



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössische Kommission für nukleare Sicherheit  
Commission fédérale de sécurité nucléaire  
Commissione federale per la sicurezza nucleare  
Swiss Federal Nuclear Safety Commission

Juni 2011

---

Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2

**Stellungnahme zur Notwendigkeit  
ergänzender geologischer Untersuchungen  
in Etappe 2**

---

KNS 23/247



## Zusammenfassung

Gemäss Sachplan geologische Tiefenlager muss die Nagra frühzeitig die Notwendigkeit ergänzender Untersuchungen in Etappe 2 mit dem ENSI abklären. Die Nagra hat diese Abklärungen getroffen und die Ergebnisse in einem Bericht zuhanden der Behörden festgehalten. Mit der vorliegenden Stellungnahme äussert sich die KNS zu diesem Bericht und zur zugehörigen Stellungnahme des ENSI.

Bei ihrer Beurteilung stützt sich die KNS auf die entsprechenden behördlichen Vorgaben für Etappe 2. Die KNS hat vier Fragen identifiziert, die für alle Standortgebiete mit einer Zuverlässigkeit beantwortet werden müssen, die eine sicherheitsgerichtete und nachvollziehbare Einengung erlaubt.

Die KNS erachtet es als richtig, dass die Nagra ihre Arbeiten primär auf die Nordschweiz konzentriert sowie auf den ‚Braunen Dogger‘ und die Effinger Schichten, wenn sie an diesen Wirtgesteinen festhalten will. Nach Ansicht der KNS sind bei den Standortgebieten zum heutigen Zeitpunkt noch nicht alle Aspekte, die für die Einengung in Etappe 2 relevant sind, genügend geklärt. Deshalb soll das 2D-Seismikmessnetz in allen Standortgebieten der Nordschweiz mit Ausnahme des Zürcher Weinlandes verdichtet werden. Das Zürcher Weinland ist bereits weitergehend untersucht.

Nach Ansicht der KNS ist noch offen, ob die Datengrundlagen, die nach Durchführung der von der Nagra vorgesehenen Arbeiten und der darüber hinaus von der KNS empfohlenen zusätzlichen 2D-Seismik sowie der ergänzenden weiteren Arbeiten vorliegen werden, zur Erreichung der Zielsetzungen von Etappe 2 ausreichen. Deshalb soll nach Abschluss dieser Arbeiten eine Lagebeurteilung mit einer umfassenden Bewertung der Datengrundlagen erfolgen.

Nach den Erwartungen der KNS wird die Einengung in Etappe 2 voraussichtlich auf der Basis des qualitativen sicherheitstechnischen Vergleichs erfolgen müssen. Vorgängig zur Einengung soll deshalb die Methodik des qualitativen Vergleichs genauer spezifiziert werden.

Das ENSI hat den Bericht der Nagra zur Klärung der Notwendigkeit ergänzender geologischer Untersuchungen systematisch und detailliert überprüft und 41 Forderungen formuliert. Die KNS kann sich dem Fazit der ENSI-Stellungnahme grundsätzlich anschliessen und unterstützt auch die Forderungen des ENSI betreffend weitere Untersuchungen in Etappe 2. Darüber hinaus hält die KNS jedoch zusätzliche Untersuchungen für erforderlich.

Als Ergebnis ihrer Beurteilung gibt die KNS fünf Empfehlungen ab. Diese betreffen:

- zusätzliche 2D-Seismik in den Standortgebieten Jura-Südfuss und Südranden;
- eine Lagebeurteilung nach erfolgter Auswertung der von der Nagra vorgesehenen und der darüber hinaus von der KNS empfohlenen zusätzlichen 2D-Seismik sowie den ergänzenden weiteren Arbeiten;
- die Spezifizierung der Einengungsmethodik in Etappe 2;
- die umfassende Abklärung von Erschliessungsvarianten mit Vertikalschächten ohne Rampen;
- die grundsätzliche Überprüfung der Lagerkonzepte<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Unter „Lagerkonzept“ versteht die KNS die technische Umsetzung des EKRA-Konzepts.



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Ausgangslage und Aufgabe der KNS	1
1.2	Vorgehen und Grundlagen	1
<b>2</b>	<b>Vorgaben für Etappe 2</b>	<b>2</b>
2.1	Vorgaben im Sachplan geologische Tiefenlager	2
2.2	Vorgaben für das standardisierte Parametervariationsverfahren	3
<b>3</b>	<b>Spezifische Beurteilungskriterien der KNS für Etappe 2</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Arbeiten der Nagra in Etappe 2</b>	<b>4</b>
4.1	Darlegungen der Nagra	5
4.1.1	Arbeiten der Nagra zu den Wirtgesteinen beziehungsweise einschlusswirksamen Gebirgsbereichen	5
4.1.2	Arbeiten der Nagra zu den hydrogeologischen Verhältnissen	7
4.1.3	Vorgesehene Arbeiten zur geologischen Langzeitentwicklung	8
4.2	Stellungnahme der KNS zu den Arbeiten der Nagra in Etappe 2	9
4.2.1	Grundsätzliche Kommentare	9
4.2.2	Bedeutung seismischer Untersuchungen	10
4.2.3	Hydrogeologische Verhältnisse	11
4.2.4	Geologische Langzeitentwicklung	11
4.2.5	Kommentare zu den einzelnen Standortgebieten	12
4.2.6	Zusammenfassende Folgerungen	14
<b>5</b>	<b>Quantitative provisorische Sicherheitsanalyse</b>	<b>15</b>
5.1	Vorgehen der Nagra	15
5.2	Beurteilung durch die KNS	16
<b>6</b>	<b>Qualitative Bewertung und Vergleich der Standortgebiete</b>	<b>17</b>
6.1	Vorgehen der Nagra	18
6.1.1	Grundsätzliches Vorgehen	18
6.1.2	Technische Machbarkeit	19
6.2	Beurteilung durch die KNS	20
6.2.1	Zum grundsätzlichen Vorgehen	20
6.2.2	Zur technischen Machbarkeit	21
<b>7</b>	<b>Zur Stellungnahme des ENSI</b>	<b>22</b>
7.1	Darlegungen des ENSI	22
7.1.1	Kenntnisstand zu den Wirtgesteinen	22
7.1.2	Kenntnisstand zu den geologisch-tektonischen Verhältnissen der Standortgebiete	22
7.1.3	Kenntnisstand zur Langzeitentwicklung	23
7.1.4	Hydrogeologischer Kenntnisstand zu den Standortgebieten	23
7.1.5	Kenntnisstand zur bautechnischen Machbarkeit	23
7.1.6	Kenntnisstand zu den geochemischen Bedingungen	23
7.1.7	Kenntnisstand zur Biosphäre	24
7.1.8	Testrechnungen	24
7.1.9	Hinweise für Etappe 3	25
7.1.10	Fazit des ENSI	25
7.2	Beurteilung der ENSI-Stellungnahme durch die KNS	26

<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Empfehlungen</b>	<b>27</b>
8.1	Beurteilungsgrundlagen und Beurteilungsmassstäbe	27
8.2	Beurteilung der KNS	27
8.2.1	Zu den Arbeiten der Nagra in Etappe 2	27
8.2.2	Zum Einengungsverfahren	28
8.2.3	Zur Stellungnahme des ENSI	30
8.3	Empfehlungen der KNS	30
	<b>Anhang</b>	<b>33</b>
	Aussagekraft von seismischen Messungen	33
	<b>Referenzen</b>	<b>34</b>
	<b>Abkürzungen</b>	<b>36</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage und Aufgabe der KNS

Gemäss Konzeptteil des Sachplans geologische Tiefenlager [SGT] muss die Nagra in Etappe 2 in den vom Bundesrat in seinem Entscheid zu Etappe 1 bezeichneten Standortgebieten mögliche Standorte identifizieren. Zu jedem dieser Standorte muss sie eine provisorische Sicherheitsanalyse sowie zwischen den Standorten einen sicherheitstechnischen Vergleich durchführen. Dies muss auf Datengrundlagen erfolgen, welche die aktuelle Situation am Standort adäquat<sup>2</sup> wiedergeben und die vorhandenen Ungewissheiten berücksichtigen. Die Nagra muss deshalb die Notwendigkeit ergänzender Untersuchungen frühzeitig mit dem ENSI abklären.

Die Nagra hat die Abklärungen durchgeführt und die Ergebnisse in einem Bericht [NTB 10-01] festgehalten. Diesen Bericht hat sie den Behörden im November 2010 zugestellt. Das ENSI hat in der Folge zu diesem Bericht Stellung genommen. Es hat die KNS in ihrer Sitzung vom 23. Februar 2011 über die vorläufigen Ergebnisse ihrer Beurteilung orientiert. Der Final Draft der ENSI-Stellungnahme wurde der KNS Anfang März 2011 zugestellt, die definitive Version Anfang April 2011 [ENSI 2011].

Gemäss Art. 71 Abs. 3 KEG verfasst die KNS unter anderem Stellungnahmen, die der Bundesrat, das Departement oder das Bundesamt von ihr verlangen. Gestützt auf diese Bestimmung hat das BFE die KNS beauftragt, zur Notwendigkeit zusätzlicher geologischer Untersuchungen in Etappe 2 des Sachplanverfahrens Stellung zu nehmen. Mit der vorliegenden Stellungnahme kommt die KNS diesem Auftrag nach.

## 1.2 Vorgehen und Grundlagen

Die KNS konzentriert sich in ihrer Stellungnahme auf einige aus ihrer Sicht wichtige grundsätzliche Aspekte. Die zentrale Frage ist, ob auf der Basis der Informationen, die für Etappe 2 vorliegen oder noch zu erwarten sind, die Zahl der in Etappe 1 vorgeschlagen Standortgebiete sicherheitsgerichtet und nachvollziehbar eingeengt werden kann. Dies ist nur möglich, wenn die für Etappe 2 verlangten provisorischen Sicherheitsanalysen und der sicherheitstechnische Vergleich belastbare und differenzierende Ergebnisse liefern. Im Weiteren geht die KNS insbesondere auf Aspekte ein, die für die technische Machbarkeit Bedeutung haben. Diese hängt nicht nur von der Geologie, sondern auch von den Lagerkonzepten ab. In einem Kapitel äussert sich die KNS zudem zur Stellungnahme des ENSI zum Bericht NTB 10-01 [ENSI 2011]. Zu massgebenden anderen Punkten hat sich die KNS bereits in ihrer Stellungnahme im Rahmen von Etappe 1 geäussert [KNS 2010].

Die KNS stützt sich bei ihrer Beurteilung insbesondere auf folgende Dokumente:

- NTB 10-01: Beurteilung der geologischen Unterlagen für die provisorischen Sicherheitsanalysen in SGT Etappe 2, Klärung der Notwendigkeit ergänzender geologischer Untersuchungen; Nagra, Oktober 2010 [NTB 10-01]
- ENSI 33/115: Stellungnahme zu NTB 10-01 ‚Beurteilung der geologischen Unterlagen für die provisorische Sicherheitsanalysen in Etappe 2 SGT‘; ENSI, März 2011 [ENSI 2011]

---

<sup>2</sup> Adäquat bedeutet, dass der von den Entsorgungspflichtigen dokumentierte Kenntnisstand ausreicht, um zu zeigen, dass die Aussagen zur Langzeitsicherheit des Tiefenlagers belastbar sind. [ENSI 2010, S. 6, Fussnote 2]

- Sachplan geologische Tiefenlager, Konzeptteil; BFE, 2. April 2008 [SGT]
- ENSI 33/075: Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2, Anforderungen an die provisorischen Sicherheitsanalysen und den sicherheitstechnischen Vergleich; ENSI, April 2010 [ENSI 2010]
- ENSI-G03: Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis; ENSI, Ausgabe April 2009 [ENSI-G03]
- KNS 23/219: Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 1, Stellungnahme zum sicherheitstechnischen Gutachten des ENSI zum Vorschlag geologischer Standortgebiete; KNS, April 2010 [KNS 2010]

In Etappe 2 plant die Nagra auch 2D-Seismikmessungen<sup>3</sup>, welche die beiden Standortgebiete Bözberg und Nördlich Lägeren abdecken. Diese Messungen haben zentrale Bedeutung für die Erweiterung des Erkenntnisstands zu diesen beiden SMA/HAA-Standortgebieten. Die KNS hat deshalb in einem Fachgespräch mit der Nagra die Möglichkeiten und Grenzen von Seismikmessungen zur Erkundung des Untergrunds diskutiert [KNS/Nagra 2011]. Zusätzlich hat sie zur Thematik zwei unabhängige Experten befragt.

## 2 Vorgaben für Etappe 2

In Etappe 2 müssen eine Gesamtbewertung und ein sicherheitstechnischer Vergleich der Standortgebiete erfolgen. Der sicherheitstechnische Vergleich muss mittels der quantitativen provisorischen Sicherheitsanalysen und der qualitativen Bewertung der Standortgebiete anhand der im Konzeptteil des Sachplans vorgegebenen Kriterien erfolgen [NTB 10-01, S. 40, Tabelle 1]. Nachfolgend sind die relevanten Vorgaben im Konzeptteil des Sachplans geologische Tiefenlager sowie die präzisierenden Anforderungen des ENSI an die provisorischen Sicherheitsanalysen und den sicherheitstechnischen Vergleich zusammengefasst.

### 2.1 Vorgaben im Sachplan geologische Tiefenlager

Für die Beurteilung der Notwendigkeit ergänzender Untersuchungen in Etappe 2 sind die folgenden Festlegungen im Konzeptteil des Sachplans geologische Tiefenlager relevant:

- *„Die Entsorgungspflichtigen erarbeiten unter Einbezug der Standortregionen Vorschläge zur Anordnung und Ausgestaltung der Oberflächeninfrastruktur, ordnen die untertägigen Teile des Lagers an und wählen pro Standortgebiet mindestens einen Standort. Für diese führen sie quantitative provisorische Sicherheitsanalysen und einen sicherheitstechnischen Vergleich durch, bevor sie für HAA und SMA je mindestens zwei Standorte vorschlagen.“* [SGT, S. 5–6]
- Die provisorischen Sicherheitsanalysen für die bezeichneten Standorte *„zeigen das Rückhaltevermögen des geologischen Tiefenlagers für die eingelagerten Radionuklide auf und weisen auf den Beitrag der geologischen Barriere zur Langzeitsicherheit hin. Die Kenntnisse über diese Standorte müssen die Durchführung einer solchen Sicherheitsanalyse erlauben; gegebenenfalls sind sie durch Untersuchungen zu ergänzen. Die Entsorgungspflichtigen müssen die Notwendigkeit ergänzender Untersuchungen frühzeitig mit der HSK abklären. Die verwendeten geologischen Daten müssen die aktuelle Situation am Standort adäquat wiedergeben und die vorhandenen Ungewissheiten berücksichtigen.“* [SGT, S. 45] *„Adäquat bedeutet, dass der von den Entsorgungspflichtigen*

---

<sup>3</sup> Echoloten des Untergrunds



*dokumentierte Kenntnisstand ausreicht, um zu zeigen, dass die Aussagen zur Langzeitsicherheit des Tiefenlagers belastbar sind.*“ [ENSI 2010, S. 6, Fussnote 2]

- *„Als Zwischenergebnis in Etappe 2 darf kein Standort vorgeschlagen werden, der aufgrund der provisorischen Sicherheitsanalyse und der weiteren sicherheitstechnischen Aspekte eindeutig als weniger geeignet bewertet ist als die anderen. Gleichzeitig dürfen Standorte nicht aufgrund von Dosisdifferenzen ausgeschlossen werden, die nur durch Ungewissheiten der zugrunde gelegten Daten verursacht werden.“* [SGT, S. 70]
- Der sicherheitstechnische Vergleich der potentiellen Standorte enthält folgende Elemente: [SGT, S. 70]
  - zeitlicher Verlauf der Personendosiskurve für das Referenzszenarium;
  - Diskussion der Robustheit des Tiefenlagersystems gegenüber externen und internen Störereignissen und Aufzeigen der Ungewissheiten/Variabilitäten der in den Modellierungen verwendeten Parameter und deren Einfluss auf die Personendosiskurven;
  - Bewertung der übrigen (qualitativen) Kriterien hinsichtlich Sicherheit und technischer Machbarkeit.

Standorte, die sich bei diesem Vergleich als eindeutig weniger geeignet erweisen als andere oder das Schutzziel von 0,1 mSv/a nicht erfüllen, scheiden aus. Ein verbleibender Standort kann ausscheiden, wenn bei der anschliessenden qualitativen Bewertung anhand der Sicherheitskriterien eindeutige Nachteile gegenüber den anderen Standorten festgestellt werden. [SGT, S. 70–71]

- Der quantitative sicherheitstechnische Vergleich der Standorte erfolgt anhand von Dosisberechnungen. Dieser Schritt wird wie folgt durchgeführt: [SGT, 4.1, S. 71–73]
  - Für jeden Standort wird für das Referenzszenarium, welches die wahrscheinliche Entwicklung beschreibt, der zeitliche Verlauf der zu erwartenden Dosen ermittelt (Referenzrechenfälle).
  - Mit einem standardisierten Parametervariationsverfahren werden für jeden Standort die Robustheit sowie der Einfluss von Ungewissheiten und Variabilitäten auf den zu erwartenden Dosisverlauf ermittelt.
  - Aus den ermittelten Dosen wird für jeden Standort das charakteristische Dosisintervall bestimmt: Die obere Grenze bildet die maximale Dosis, die sich beim Parametervariationsverfahren ergibt. Die untere Grenze bildet die maximale Dosis beim Referenzszenarium.
  - Berücksichtigt werden nur Standorte, deren obere Grenze des charakteristischen Intervalls unter dem Schutzziel von 0,1 mSv/a liegt.
  - Alle Standorte, deren charakteristisches Dosisintervall unterhalb von 0,01 mSv/a liegt, gelten als sicherheitstechnisch gleichwertig.
  - Ein Standort, dessen obere Grenze des charakteristischen Dosisintervalls zwischen 0,1 und 0,01 mSv/a liegt und dessen charakteristisches Dosisintervall sich mit dem charakteristischen Dosisintervall des Standorts mit dem kleinsten Dosismaximum für das Referenzszenarium überlappt, bleibt in der Auswahl.

## **2.2 Vorgaben für das standardisierte Parametervariationsverfahren**

Für die Ermittlung der charakteristischen Dosisintervalle hat das ENSI ein standardisiertes Parametervariationsverfahren festgelegt. Ausgehend vom Referenzrechenfall müssen zusätzlich die Dosisverläufe für mindestens folgende Fälle berechnet werden: [ENSI 2010, S. 13–14]

- erhöhter Wasserfluss durch den Tiefenlagerbereich;
- ungünstige nuklidspezifische Diffusionskoeffizienten in der Geosphäre;
- erhöhte nuklidspezifische Löslichkeitslimiten im Nahfeld;
- verringerte Sorptionskoeffizienten im Nah- und Fernfeld;
- alternative Klimavarianten.

Für das HAA-Lager sind zusätzlich die folgenden Fälle zu betrachten:

- hundertfach erhöhte Auflösungsrate der Brennelemente;
- auf 1'000 Jahre begrenzte Lebensdauer der Lagerbehälter.

### **3 Spezifische Beurteilungskriterien der KNS für Etappe 2**

Gemäss Konzeptteil zum Sachplan geologische Tiefenlager definieren die Entsorgungspflichtigen „als erstes die Abfallzuteilung auf die beiden Lagertypen (SMA und HAA) und leiten darauf basierend für jeden Lagertyp quantitative Mindestanforderungen an die geologischen Barrieren ab. Diese dienen als Zielvorgaben für das im Sachplan festgehaltene Standortauswahlverfahren, das eine schrittweise Einengung möglicher Standorte bzw. Wirtgesteine und eine stufenweise Vertiefung der Sicherheitsbetrachtungen von Etappe 1 bis Etappe 3 vorsieht.“ [SGT, S. 68] In Abbildung 7 [SGT, S. 36] ist die Einengung bildlich dargestellt.

Gemäss diesen Vorgaben muss in Etappe 2 eine Einengung innerhalb der in Etappe 1 vorgeschlagenen Standortgebiete erfolgen. Nach Ansicht der KNS muss diese auf Datengrundlagen basieren, die für die verschiedenen Standortgebiete zu gleichwertigen und genügend robusten Erkenntnissen führen. Konkret heisst dies, dass die nachfolgenden Fragen für alle Standortgebiete mit einer Zuverlässigkeit beantwortet werden können müssen, die eine sicherheitsgerichtete und nachvollziehbare Einengung erlaubt:

- Sind geringdurchlässige homogene Wirtgesteinskörper von ausreichender Mächtigkeit und lateraler Ausdehnung vorhanden?
- Liegen diese Wirtgesteinskörper in geeigneter Tiefe?
- Gibt es unmittelbar angrenzend an diese Wirtgesteinskörper Aquifere?
- Besteht eine Gefährdung der Langzeitsicherheit durch Neotektonik oder Erosion?

Auch muss für jedes Standortgebiet ein fundiertes Gebirgsmodell erstellt werden können, auf dessen Basis mindestens ein Standort ausgewählt werden kann, der die Errichtung eines den Anforderungen entsprechenden Lagers erwarten lässt. Die Festlegung von konkreten Standorten ist eine Voraussetzung für die Erstellung von aussagekräftigen provisorischen Sicherheitsanalysen, wie sie in Etappe 2 gefordert sind.

Die KNS weist darauf hin, dass der Untersuchungsaufwand zur Erreichung gleichwertiger und genügend robuster Erkenntnisse stark von der geologischen Komplexität des Standortgebiets abhängt.

### **4 Arbeiten der Nagra in Etappe 2**

In Kapitel 8 des Berichts NTB 10-01 legt die Nagra die Arbeiten dar, die sie nach Einreichung der Unterlagen zu Etappe 1 bereits begonnen hat oder für Etappe 2 noch plant. Nachfolgend fasst die KNS diese Darlegungen zusammen. Anschliessend geht die KNS auf wichtige Arbei-

ten ein und beurteilt, ob aus ihrer Sicht der zu erwartende Kenntnisstand eine ausreichende Grundlage für eine sicherheitsgerichtete und nachvollziehbare Einengung in Etappe 2 bilden kann.

## **4.1 Darlegungen der Nagra**

### **4.1.1 Arbeiten der Nagra zu den Wirtgesteinen beziehungsweise einschlusswirksamen Gebirgsbereichen**

#### *Tiefenlage und Mächtigkeit der Wirtgesteine beziehungsweise einschlusswirksamen Gebirgsbereiche*

Die früher in der Nordschweiz im Auftrag der Nagra und der Erdölindustrie erhobenen seismischen Daten werden mit fortgeschrittenen Methoden und Softwareprogrammen reprozesiert. Weiter werden auch zusätzliche Daten aus Aufschlüssen und neuen Bohrungen einbezogen, auch aus solchen aus dem süddeutschen Raum. Berücksichtigt werden auch die geplanten Messungen eines Netzes zusätzlicher 2D-Seismiklinien, welches die Standortgebiete Bözberg und Nördlich Lägeren umfasst. Diese zusätzlichen Messungen werden primär durchgeführt, um die regionale tektonische Situation besser zu erfassen. Die Nagra erwartet, dass damit die Ungewissheiten bezüglich Mächtigkeit und Tiefenlage der Wirtgesteine beziehungsweise einschlusswirksamen Gebirgsbereiche in der Nordschweiz reduziert werden können.

Beim Standortgebiet Wellenberg werden die geologischen Profile<sup>4</sup> auf Grund der Ergebnisse neuester Forschungsarbeiten rekonstruiert. Die Nagra erwartet, dass die neuen Profile keinen signifikanten Einfluss auf das Wirtgesteinsvolumen haben werden, welches für die Platzierung eines Lagers in Frage kommt. [NTB 10-01, S. 192–193]

#### *Erwartete Frequenz<sup>5</sup> und typische Streichrichtungen von anordnungsbestimmenden Störungszonen*

Aus Daten aus Oberflächenstrukturen (Lineamentauswertungen, Fernerkundungsdaten, Erfassung von Aufschlüssen usw.) sollen typische regionale Frequenzen und Streichrichtungen von Störungen bestimmt werden. Diese Daten sind zum Teil noch zu erheben. Mit reprozesierten 2D-Seismikdaten sowie jenen aus der geplanten 2D-Seismik sollen die Ausdehnung und innere Struktur von grösseren Störungszonen besser beurteilt werden können. Mit Retrodeformationsmodellrechnungen<sup>6</sup> soll das Verständnis zu den regionalen Störungszonen und deren Geometrie verbessert werden. [NTB 10-01, S. 193–194]

#### *Verfeinerung der Kenntnisse bezüglich Temperatur- und Gebirgsspannungsverhältnisse*

Die Kenntnisse über die Gebirgsspannungen in den potenziellen Lagerperimetern und die neotektonische Situation werden anhand eines ergänzten und neu kompilierten Datensatzes sowie von Daten aus der Seismologie und Geodäsie verfeinert. Mit einem aus dem Jahre 2002 stammenden und nun ergänzten Datensatz werden die Temperaturen in den Wirtgesteinen abgeleitet, welche zu erwarten sind. [NTB 10-01, S. 195]

---

<sup>4</sup> Geologisches Profil: vertikaler ebener Schnitt durch den Untergrund

<sup>5</sup> Typische räumliche Abstände von Störungen

<sup>6</sup> Bei Retrodeformationsmodellrechnungen werden aus der aktuellen geologischen Konfiguration unter Beachtung der strukturellen Massenbilanz geologische Konfigurationen zu früheren Zeitpunkten ermittelt.

### *Art und Ausbildung der Transportpfade in den Wirtgesteinen*

Der Schwerpunkt der Abklärungen zu diesem Thema liegt beim ‚Braunen Dogger‘<sup>7</sup> und bei den Effinger Schichten. Zusätzliche Kenntnisse sollen aus Aufschlüssen in Süddeutschland für den ‚Braunen Dogger‘ und in Steinbrüchen im Gebiet Jura-Südfuss und Tafeljura für die Effinger Schichten, aus Tiefbohrungen Dritter (z.B. Geothermiebohrung Schlattingen) sowie Fernerkundungen und entsprechenden Publikationen gewonnen werden. Zur verbesserten Charakterisierung des Opalinustons werden zusätzliche Daten aus der Bohrung Schlattingen und aus Aufschlüssen sowie die neusten Erkenntnisse aus dem Mont Terri berücksichtigt. [NTB 10-01, S. 196–197]

### *Lithofazies der Wirtgesteine und einschlusswirksamen Gebirgsbereiche*

Einerseits will die Nagra aus Bohrungen Dritter zusätzlich Daten gewinnen, die eine verbesserte Erkennung von Kalkbank- und Sandkalkabfolgen erlauben. Andererseits will sie Fernerkundungsdaten in Hinsicht auf herauswitternde kompetente Lagen<sup>8</sup> und deren laterale Kontinuität analysieren. Schliesslich werden die reprozessierten seismischen Daten im Hinblick auf Wechsel der seismischen Fazies untersucht und zusammen mit den Fernerkundungsdaten und den geophysikalischen Bohrlochmessungen auf laterale Änderungen der Lithofazies analysiert. [NTB 10-01, S. 196]

### *Mineralogie, Porosität und Architekturelemente der Wirtgesteine*

Der mineralogische Datensatz zu den drei potenziellen Wirtgesteinen soll mit zusätzlichen Untersuchungen an Bohrkernen aus früheren Nagra-Bohrungen verbessert werden. Weitere Daten zu den Effinger Schichten im Standortgebiet Jura-Südfuss sollen aus Bohrkernen einer Bohrung in Gösgen (SO) gewonnen werden. Aus der Bohrung Schlattingen (TG) werden zudem für Informationen zur Abfolge ‚Brauner Dogger‘–Opalinuston Bohrkern zur Verfügung stehen. [NTB 10-01, S. 197]

Zur Ermittlung der Porositäten werden konservierte Proben und frische Proben aus den Bohrungen in Gösgen und Schlattingen analysiert und die Ergebnisse mit früheren Werten verglichen. Zur mikro- bis nanoskopischen Beschreibung der Porositäten des Opalinustons und allenfalls weiterer potenzieller Wirtgesteine laufen mehrjährige Forschungsprogramme. Für Etappe 2 werden nur erste Ergebnisse berücksichtigt werden können. [NTB 10-01, S. 197]

### *Referenzporenwässer der Wirtgesteine*

Auf der Basis von neuen Ansätzen zur Modellierung von Porenwässern in Tongesteinen wurden für alle potenziellen Wirtgesteine Referenzporenwässer hergeleitet. Auch sollen Porenwässer mit hoher Salinitäten berücksichtigt werden. [NTB 10-01, S. 198]

### *Transportparameter der Wirtgesteine*

Der Datensatz für die grossräumige hydraulische Durchlässigkeit und die Transmissivität von Störungen wurde für die Testrechnungen neu evaluiert. Bei der Ermittlung von Ungewissheiten wurden und werden nicht nur Messwerte einbezogen, sondern die Bandbreiten in Ab-

---

<sup>7</sup> Unter dem Begriff ‚Brauner Dogger‘ fasst die Nagra eine Abfolge von tonreichen Gesteinsformationen zusammen, die stratigraphisch zwischen dem Opalinuston und dem Malm liegen. Im Geologischen Atlas der Schweiz sind diese Gesteinsformationen mit braunen Farbtönen dargestellt.

<sup>8</sup> kompetente Lagen: Harte Gesteinsschichten, die einer Verformung massiven Widerstand entgegensetzen.

hängigkeit des lithologischen Aufbaus erweitert. Es wird angestrebt, weitere Messwerte und hydrogeologische Beobachtungen aus Bohrungen Dritter und zum Wirtgestein des Wellenbergs Informationen aus neueren Tunnelbauten zu gewinnen. Die Nagra erwartet dabei keine Änderungen der Bandbreiten, aber eine bessere Abstützung der Referenzwerte. Das Verständnis zum Selbstabdichtungsvermögen tonreicher Gesteine wird aufgrund der Erfahrungen der Gas- und der Erdölindustrie gefestigt werden. [NTB 10-01, S. 198]

Für die provisorischen Sicherheitsanalysen wird das Sorptionsmodell gezielt weiterentwickelt und auf die Tonminerale ausgelegt, die in den potenziellen Wirtgesteinen dominieren. Für die Effinger Schichten wird die Modellierung auf Porenwasser mit höheren Ionenstärken<sup>9</sup> erweitert, sofern sich die diesbezüglichen Hinweise erhärten. Alle ermittelten Daten werden durch gezielte Experimente an Bohrkernmaterial überprüft. [NTB 10-01, S. 198]

#### *Unabhängige Evidenzen der Langzeitisolation*

Es werden Profile natürlicher Tracer in den Wirtgesteinen bestimmt. Es wird abgeklärt, wie aus den Chlorid- und Bromidgehalten von ausgetrockneten Bohrkernen die ursprünglichen Konzentrationen dieser Stoffe in den Porenwässern bestimmt werden können. Für die Effinger Schichten im Standortgebiet Jura-Südfuss stehen aus der Bohrung Gösigen konditionierte Bohrkern zur Verfügung, weshalb hier umfassendere Untersuchungen erfolgen können. [NTB 10-01, S. 197]

#### *Gebirgsfestigkeiten und Verformungseigenschaften*

Hier soll insbesondere der Datensatz zum ‚Braunen Dogger‘ mit Untersuchungen an frischen Bohrkernen aus der Bohrung Schlattigen ergänzt werden. [NTB 10-01, S. 199]

### **4.1.2 Arbeiten der Nagra zu den hydrogeologischen Verhältnissen**

Die Arbeiten zu den hydrogeologischen Verhältnissen beschränken sich auf das Gebiet der Nordschweiz. Die hydrogeologischen Verhältnisse im Standortgebiet Wellenberg sind anlässlich des seinerzeitigen Rahmenbewilligungsgesuch ausreichend abgeklärt worden. [NTB 10-01, S. 199]

#### *Ergänzung der hydrogeologischen Datensätze*

Der Datensatz zu den Tiefenaquifere wird mit allenfalls neuen Messdaten und Analysen ergänzt. Die Synthesarbeiten und -darstellungen werden auf die Standortgebiete Bözberg und Jura-Südfuss ausgeweitet. Für Süddeutschland ist eine Abstimmung der Daten mit der zuständigen deutschen Fachstelle im Gang. [NTB 10-01, S. 199]

#### *Hydrogeologische Modelle und Exfiltrationsorte*

Zur Beschreibung des Grundwasserflusses im tiefen Untergrund werden ein hydrogeologisches Regionalmodell sowie zu jedem Standortgebiet ein hydrogeologisches Lokalmodell mit potenziellen Exfiltrationspfaden erstellt. [NTB 10-01, S. 200]

---

<sup>9</sup> Die Ionenstärke ist ein Mass für die elektrische Feldstärke, welche die im Porenwasser gelösten Ionen erzeugen. Die Ionenstärke beeinflusst unter anderem die chemische Aktivität der Ionen in einer Lösung.

### *Öl- und Gasmigration in der östlichen Subjurassischen Zone*

Die Daten zur Öl- und Gasmigration in der östlichen Subjurassischen Zone werden zusammengestellt, Ölproben nach dem neuesten Stand von Wissenschaft und Technik analysiert und allenfalls vorhandene Beziehungen zu tektonischen Gegebenheiten aufgezeigt. [NTB 10-01, S. 200]

### *Geotechnisch-hydrogeologische Verhältnisse in den zu durchfahrenden Gesteinsformationen*

Basierend auf den Erfahrungen in Untertagebauwerken in der Nordschweiz und den hydrogeologischen Kenntnissen erfolgt eine geotechnische Beschreibung der relevanten Lithologien. Durch die Wahl der Linienführung und technische Massnahmen bei den Zugangsbauwerken sollen Nutzungskonflikte mit bestehenden Mineral- und Thermalwässern vermieden werden. [NTB 10-01, S. 200–201]

#### **4.1.3 Vorgesehene Arbeiten zur geologischen Langzeitentwicklung**

Die Nagra sieht vor, Grundlagendaten neu zu erheben und bestehende zu ergänzen und daraus standortspezifische Szenarien abzuleiten. Zum Wellenberg sind keine weiteren Arbeiten vorgesehen. [NTB 10-01, S. 201]

### *Zeitliche Entwicklung der regionalen Erosionsbasis und der lokalen Topographie*

Die Informationen zur Verteilung und Höhenlage der Deckenschotter werden neu in einem GIS kompiliert und bezüglich Höhenlage ausgewertet. Die Nagra will Arbeiten zur verfeinerten Altersbestimmung an Deckenschottern unterstützen und verfolgen. [NTB 10-01, S. 201]

Das Wissen über die Versenkungs- und Erosionsgeschichte soll durch Probenahmen aus Drittbohrungen überprüft und konsolidiert werden, falls sich die Möglichkeit dazu ergibt. [NTB 10-01, S. 201]

Im Hinblick auf die rezenten Krustenbewegungen sollen die Präzisionsnivellement-Daten mit dem Datensatz des GPS-Netzes der Nordschweiz verglichen werden. [NTB 10-01, S. 201]

Beim Standortgebiet Bözberg, welches das grösste Abtragungspotenzial hat, soll im Rahmen eines Forschungsprojekts mit numerischen Modellen die Landschaftsentwicklung untersucht werden, um verbesserte Szenarien für die langfristige Erosion zu erhalten. In einem ersten Schritt wurden die Modellvorstellungen und Modellierungsansätze überprüft. [NTB 10-01, S. 202]

### *Glazial übertiefte Felsrinnen*

Im Hinblick auf die Gefährdung durch glaziale Tiefenerosion werden [NTB 10-01, S. 202]

- quartäre Ablagerungen datiert,
- das Höhenmodell der Felsoberfläche anhand der ergänzten Bohrungsdatenbank, der reprozedierten und der neu erhobenen Seismikdaten sowie der ergänzten und reprozedierten Gravimetriedaten überarbeitet,
- eine Forschungsbohrung in eine übertiefte Felsrinne abgeteuft,
- ein verbessertes Prozessverständnis angestrebt.

Für die Etappe 2 werden Zwischenergebnisse präsentiert und für jedes Standortgebiet eine Beurteilung vorgenommen. Es werden Konsequenzen für die Sicherheitsanalyse und die Anordnung der Lagerkammern abgeleitet. [NTB 10-01, S. 202]

### *Klimaentwicklung*

Das diesbezügliche Wissen soll in einem Bericht zusammengefasst werden. Bei Bedarf sollen weiterführende Arbeiten zu Klimaentwicklungen durchgeführt werden. [NTB 10-01, S. 203]

### *Geodynamische und neotektonische Aktivität*

Primär durch Auswertung des hochauflösenden digitalen Geländemodells sollen Hinweise auf Versätze, Verkippungen und Verfaltungen junger Ablagerungen gewonnen werden. Bei relevanten Hinweisen sind Feldbegehungen und weiterführende Untersuchungen vorgesehen. Auch sollen das Flussnetz und die Morphologie der Nordschweiz auf möglicherweise tektonisch bedingte Anomalien untersucht werden. [NTB 10-01, S. 203]

Eine genauere Lokalisierung der Erdbebenherde und eine verlässlichere Bestimmung der Geometrie der Bruchflächen werden vom Schwachbebennetz erwartet, welches in der Nordschweiz in Zusammenarbeit mit den Kernkraftwerksbetreibern verdichtet wird. Für Etappe 2 wird ein Statusbericht betreffend Erdbebenaktivität in der Nordschweiz verfasst. Auch wird überprüft, ob es einen möglichen Zusammenhang zwischen bekannten Störungen und un-tiefen Erdbeben gibt. [NTB 10-01, S. 203]

Im Hinblick auf die bessere Analyse rezenter Krustenbewegungsraten hat die Nagra mit dem Bau zusätzlicher GNSS<sup>10</sup>-Permanent-Messstationen in der Nordschweiz begonnen. Dieses ergänzte Netz soll nach etwa fünf Betriebsjahren erste Aussagen zu rezenten geologischen Bewegungsraten in den in diesem Raum vorgeschlagen Standortgebieten erlauben. Für Etappe 2 ist eine Auswertung von Einzelmessungen vorgesehen, wobei auch die Messkampagne 2010 von Swisstopo berücksichtigt wird. [NTB 10-01, S. 203–204]

## **4.2 Stellungnahme der KNS zu den Arbeiten der Nagra in Etappe 2**

### **4.2.1 Grundsätzliche Kommentare**

Nachfolgend bringt die KNS einige grundsätzliche Kommentare zu den von der Nagra für Etappe 2 dargelegten Arbeiten an:

- Die Arbeiten der Nagra betreffen fast ausschliesslich die Nordschweiz, wobei der Schwerpunkt bei den beiden Standortgebieten Bözberg und Nördlich Lägeren liegt. Die KNS erachtet diese Konzentration auf die Nordschweiz als richtig: Die Standortgebiete in der Nordschweiz bieten grundsätzlich bessere Voraussetzungen für die geologische Tiefenlagerung von radioaktiven Abfällen als der Wellenberg. Auch ist der Wellenberg im Zusammenhang mit dem seinerzeit eingereichten Rahmenbewilligungsgesuch für ein SMA-Lager bereits eingehend abgeklärt worden, soweit dies mit Untersuchungen von der Erdoberfläche aus möglich ist. Die KNS hat bereits in ihrer Stellungnahme im Rahmen von Etappe 1 empfohlen, sich im weiteren Verfahren auf homogene, dichte und gut prognostizierbare Wirtgesteine mit einem hohen Anteil an quellfähigen Tonmineralien und insbesondere den Opalinuston zu konzentrieren [KNS 2010, 3.2.2.1]. Das Wirtgestein im Standortgebiet Wellenberg entspricht diesen Anforderungen nicht.

---

<sup>10</sup> GNSS: Global Navigation Satellite System

- Die Nagra weist darauf hin, dass für Etappe 2 bei verschiedenen Arbeiten erst Zwischenresultate vorliegen werden. Bei diesen Arbeiten ist deshalb offen, in welchem Umfang Resultate vorliegen und inwiefern die darauf basierenden Erkenntnisse belastbar sein werden. Dies erschwert die Beurteilung der Gleichwertigkeit des Kenntnisstands, die für Etappe 2 erwartet werden kann.
- Neben den Seismikmessungen kommt den Bohrungen bei der Erkundung des Untergrunds grosse Bedeutung zu. Die Bohrungen sind insbesondere für die Kalibrierung der Seismikmessungen wichtig. Zu früheren Bohrungen kommen zusätzlich die in Gösgen und in Schlattingen dazu. Die Bohrung in Gösgen liegt im Standortgebiet Jura-Südfuss. Bei dieser ist der Opalinuston jedoch nicht erbohrt worden, sodass diese Bohrung keine zusätzlichen Erkenntnisse zum Opalinuston in diesem Standortgebiet bringen kann. Die Bohrung in Schlattingen liegt ausserhalb der Standortgebiete. Sie kann deshalb keine direkten Informationen zu Standortgebieten bringen.
- Bei den Wirtgesteinen liegt der Schwerpunkt der Nagra bei der Abklärung der Gesteinsstrukturen des ‚Braunen Doggers‘ und der Effinger Schichten. Zum Opalinuston erfolgen wenige ergänzende Untersuchungen. Die KNS teilt die Auffassung, dass weiterer Klärungsbedarf vor allem beim ‚Braunen Dogger‘ und bei den Effinger Schichten besteht, wenn die Nagra an diesen Wirtgesteinen festhalten will. Einerseits sind diese Gesteine weniger gut abgeklärt und andererseits inhomogener und schwerer prognostizierbar als der Opalinuston.

#### **4.2.2 Bedeutung seismischer Untersuchungen**

Die geplanten 2D-Seismikmessungen und die Reprozessierung von früher erhobenen seismischen Daten sind zentral für die Erlangung zusätzlicher Erkenntnisse. Die KNS legt deshalb in Anhang 1 dar, was von Seismikmessungen und von der Reprozessierung von Seismikdaten hinsichtlich Erkundung des geologischen Untergrunds erwartet werden kann.

Wichtige Grundlage für die Interpretation von Seismikmessungen sind geologische Modelle des zu untersuchenden Untergrunds. Regionale geologische Modelle können aus dem umfangreichen GIS-Datensatz der Nagra abgeleitet werden. Wichtig ist, dass diese mit geeigneten Methoden auf Plausibilität überprüft sind.

Die Nagra verfügt bereits in allen Standortgebieten der Nordschweiz über 2D-Seismikdaten. Einige dieser Daten sind jedoch von ungenügender Qualität, sodass deren Reprozessierung kaum neue Erkenntnisse bringen kann. Das Netz der Seismiklinien ist aber in allen Standortgebieten mit Ausnahme des Zürcher Weinlandes<sup>11</sup> nicht genügend dicht. Es ist deshalb zweckmässig, dass die Nagra in der Region der Standortgebiete Bözberg und Nördlich Lägeren eine gezielte Verdichtung des Netzes plant. Nach Auffassung der KNS ist aber eine Verdichtung auch in den anderen Standortgebieten in der Nordschweiz erforderlich. Die KNS begründet dies in Abschnitt 4.2.5.

3D-Seismik wie im Zürcher Weinland und Refraktionsseismik sieht die Nagra in Etappe 2 für die anderen Standortgebiete in der Nordschweiz nicht vor.

Ein weiterer wichtiger Aspekt für die Interpretation von Seismikmessungen ist die Kalibrierung der Seismik anhand von Bohrungen. Die Nagra will sich bei der Kalibrierung ausschliesslich auf vorhandene Bohrungen abstützen. Beim Bözberg und Nördlich Lägeren liegen die einbezogenen Bohrungen an der Grenze des jeweiligen Standortgebiets. Angesichts der Tatsache, dass die Geologie dieser Gebiete komplexer ist als im Standortgebiet

---

<sup>11</sup> Das Standortgebiet Zürcher Weinland wird in NTB 10-01 neu Zürich Nord-Ost genannt.



Zürcher Weinland, wird sich zeigen müssen, ob diese Bohrungen eine verlässliche und ausreichend differenzierte Bestimmung der Struktur der interessierenden Gebirgsbereiche zulassen. Im Standortgebiet Südranden gibt es keine Bohrung, an der das geologische Modell geeicht werden kann. Die nächstgelegenen Bohrungen sind jene in Siblingen und Benken.

#### **4.2.3 Hydrogeologische Verhältnisse**

Die KNS begrüsst, dass die Nagra ein hydrogeologisches Regionalmodell für die Nordschweiz und zu jedem Standortgebiet ein hydrogeologisches Lokalmodell erstellen will. Es wird sich jedoch erst zeigen müssen, ob konsistente Modelle entwickelt werden können. Dazu muss unter anderem auch die Frage allfälliger grossräumiger Wasserflüsse im schweizerischen Mittelland geklärt sein.

Hinsichtlich der Lokalmodelle stellt sich die Frage, ob die Nagra auch in den geologisch komplexeren Standortgebieten Jura-Südfuss, Bözberg und Nördlich Lägeren, über ausreichende und gesicherte Erkenntnisse verfügen wird, um belastbare hydrogeologische Modelle abzuleiten. Belastbar bedeutet beispielsweise, dass anhand dieser Modelle die Herkunft und Fließspfade der Thermalwässer in der Nordschweiz und der hochsalinen Wässer, welche in Bohrungen und beim Bau von Tunnels festgestellt wurden, geklärt werden kann. Es ist offen, ob dies aufgrund der vorhandenen Datenbasis möglich ist. Diese Datenbasis wird mit den Arbeiten, die für Etappe 2 vorgesehen sind, nicht wesentlich erweitert.

Wichtig ist auch, dass in Etappe 2 abgeklärt ist, ob sich unmittelbar angrenzend an die Wirtgesteine beziehungsweise an die einschlusswirksamen Gebirgsbereiche Grundwasserleiter befinden.

#### **4.2.4 Geologische Langzeitentwicklung**

Die geologische Langzeitentwicklung ist insbesondere für die Langzeitsicherheit des HAA-Tiefenlagers von grosser Bedeutung. Die KNS hat deshalb in ihrer Stellungnahme im Rahmen von Etappe 1 empfohlen, die Arbeiten zur Neotektonik und zur Erosion zu verstärken. Das Thema Erosion ist für alle HAA-Standortgebiete relevant, wenn auch in unterschiedlichem Ausmass.

Die KNS begrüsst daher, dass die Nagra in das Untersuchungsprogramm für Etappe 2 verschiedene Arbeiten zur Klärung der geologischen Langzeitentwicklung aufgenommen hat und damit den beiden angesprochenen Themen grosse Bedeutung zumisst. Allerdings betrifft keine dieser Arbeiten direkt den Wellenberg, der hinsichtlich Gefährdung durch Erosion vergleichsweise zu den anderen SMA-Standortgebieten eine Sonderrolle einnimmt. Es ist für die KNS offen, wie die Nagra damit umgehen will.

Bei den Abklärungen zur glazialen Tiefenerosion empfiehlt die KNS, zuerst die Arbeiten zur Altersbestimmung an Deckenschottern durchzuführen und das Höhenmodell der Felsoberfläche zu überarbeiten. Erst auf der Basis der Resultate dieser Arbeiten soll entschieden werden, welche Felsrinne angebohrt werden soll. Ob und wie ein verbessertes Verständnis der Prozesse der glazialen Tiefenerosion erzielt werden kann, ist nach Auffassung der KNS noch offen.

Die KNS begrüsst, dass das Netz der GNSS-Permanent-Messstationen in der Nordschweiz verdichtet wird. Wie vom verdichteten Schwachbebenmessnetz sind auch von dieser Massnahme aber erst mittelfristig aussagekräftige Messresultate zu erwarten. Welche Verbesserungen beim Wissensstand zur Geodynamik und Geotektonik aus den übrigen Arbeiten zu diesem Bereich resultieren werden, ist zum jetzigen Zeitpunkt schwer abzuschätzen.

## 4.2.5 Kommentare zu den einzelnen Standortgebieten

### 4.2.5.1 SMA-Standortgebiet Südranden

Nach Ansicht der KNS sind beim Standortgebiet Südranden insbesondere die folgenden für die Einengung in Etappe 2 relevanten Fragen noch nicht genügend geklärt:

- Die Nagra geht davon aus, dass das Standortgebiet Südranden tektonisch kaum gegliedert ist. Es liegen aber Feldbeobachtungen vor, dass sich die auf der Nordseite des Klettgaus festgestellte ausgeprägte tektonische Gliederung in das Standortgebiet Südranden hinein fortsetzt [Müller 2011]. In Etappe 2 muss deshalb nach Ansicht der KNS die Frage der tektonischen Gliederung des Standortgebiets vertieft geklärt werden.
- Die Nagra gibt für die Mächtigkeit des Wirtgesteins Opalinuston im Standortgebiet eine Bandbreite von 70–130 m an [NTB 10-01, S. A-49]. Nach Ansicht der KNS muss die Mächtigkeit des Opalinustons in Etappe 2 genauer bestimmt werden, insbesondere weil eine Mächtigkeit von 70 m ungenügend wäre.

Die von der Nagra für Etappe 2 dargelegten Arbeiten werden nach Ansicht der KNS keine zusätzlichen Daten zur Klärung dieser Fragen bringen können. Nach Auffassung der KNS ist in einem ersten Schritt auch in diesem Standortgebiet eine Verdichtung des 2D-Seismikmessnetzes erforderlich. Damit sollen zusätzliche Informationen zur tektonischen Gliederung und zur Mächtigkeit des Wirtgesteins ermittelt werden. Ob darüber hinaus weitere Untersuchungen, insbesondere Eichbohrungen, notwendig sind, kann erst nach der Auswertung dieser 2D-Seismikmessungen entschieden werden.

### 4.2.5.2 SMA/HAA-Standortgebiet Zürcher Weinland

Das Standortgebiet Zürcher Weinland ist von allen HAA-Standortgebieten am besten untersucht. Noch nicht genügend abgeklärt ist aber die Gefährdung durch glaziale Tiefenerosion. Der Altersbestimmung an Deckenschottern und der Überarbeitung des Höhenmodells der Felsoberfläche kommt deshalb für dieses Standortgebiet grosse Bedeutung zu. Diese Arbeiten sowie das zusätzlich geplante Anbohren einer Felsrinne können zum besseren Verständnis der Tiefenerosion beitragen.

### 4.2.5.3 SMA/HAA-Standortgebiet Nördlich Lägeren

Dieses HAA/SMA-Standortgebiet ist geologisch komplexer als das Zürcher Weinland. Es ist aber weniger gut abgeklärt. Nach Ansicht der KNS sind insbesondere die folgenden für die Einengung in Etappe 2 relevanten Aspekte nicht genügend geklärt:

- sicherheitsrelevante Störungen,
- Freisetzungspfade entlang bestehender tektonischer Störungen und neue Freisetzungspfade auf Grund neotektonischer Aktivität,
- glaziale Tiefenerosion.

Die KNS erachtet die von der Nagra vorgesehene Verdichtung des 2D-Seismikmessnetzes als wichtigen Schritt zur weitergehenden Abklärung sicherheitsrelevanter Störungen. Wichtig für die Aussagekraft der 2D-Seismik wird sein, wie verlässlich diese anhand der Bohrung in Weiach kalibriert werden kann. Da sich diese Bohrung nahe am Rand des Standortgebiets befindet und dieses geologisch komplex ist, bleibt noch offen, ob eine auf das gesamte Standortgebiet extrapolierbare Kalibrierung möglich ist.

Die Seismikmessungen können auch zur Beantwortung der Frage nach bestehenden Freisetzungspfaden beitragen. Entscheidend wird hier sein, ob es der Nagra gelingt, ein

konsistentes hydrogeologisches Modell zu entwickeln, mit dem die Grundwasserflüsse und insbesondere auch die Herkunft und die Fließwege der Mineral- und Thermalwässer in der Region erklärt werden können.

Das Thema glaziale Tiefenerosion ist für dieses Standortgebiet von ähnlicher Bedeutung wie für das Zürcher Weinland. Die von der Nagra für Etappe 2 vorgesehenen Arbeiten werden auch hier voraussichtlich eine verbesserte Datengrundlage liefern.

#### 4.2.5.4 SMA/HAA-Standortgebiet Bözberg

Dieses Standortgebiet ist nach heutigem Kenntnisstand das vermutlich komplexeste der drei HAA/SMA-Standortgebiete. Es ist ebenfalls weniger gut abgeklärt als das Zürcher Weinland. Hinzu kommt, dass das Platzangebot in diesem Gebiet beschränkter und die Überdeckung des Wirtgesteins geringer ist als bei den anderen HAA-Standortgebieten. Nach Ansicht der KNS sind insbesondere die folgenden für die Einengung in Etappe 2 relevanten Aspekte noch nicht genügend geklärt:

- sicherheitsrelevante Störungen,
- Freisetzungspfade entlang bestehender tektonischer Störungen und neue Freisetzungspfade auf Grund neotektonischer Aktivität,
- flächenhafte Erosion und glaziale Tiefenerosion

Auch bei diesem Standortgebiet bildet die vorgesehene Verdichtung des 2D-Seismikmessnetzes einen wichtigen Schritt zur weitergehenden Abklärung sicherheitsrelevanter Störungen. Zur Kalibrierung der Seismik steht hier die Bohrung Riniken zur Verfügung. Diese Bohrung befindet sich am Rand des Standortgebiets. Da das Standortgebiet geologisch recht komplex ist, bleibt auch hier offen, ob eine auf das gesamte Standortgebiet extrapolierbare Kalibrierung anhand dieser Bohrung möglich ist.

Die Seismikmessungen können hier ebenfalls zur Beantwortung der Frage nach bestehenden Freisetzungspfaden beitragen. Entscheidend wird auch hier sein, ob es der Nagra gelingt, ein konsistentes hydrogeologisches Modell für die Region des Standortgebiets zu entwickeln. Insbesondere muss geklärt sein, wie die hochsalinen Wässer, die beim Bau des Bözbergtunnels festgestellt wurden, den Opalinuston durchqueren. Diese kommen wahrscheinlich aus dem Muschelkalk, welcher unter dem Opalinuston, dem Wirtgestein für das HAA-Lager, liegt.

Beim Bözberg ist nicht nur die Überdeckung gering, sondern auch die Topographie hügelig. Bei diesem Standortgebiet ist deshalb die Gefährdung durch Erosion am grössten. Der Osten und der Süden des Standortgebiets sind ausser durch flächenhafte Erosion auch durch glaziale Tiefenerosion gefährdet. Den von der Nagra für Etappe 2 vorgesehenen Arbeiten zum Themenbereich Erosion kommt deshalb bei diesem Standortgebiet besondere Bedeutung zu.

Inwiefern die Datenbasis für Etappe 2 genügen wird, kann auch bei diesem Standortgebiet erst entschieden werden, wenn die von der Nagra dargelegten Arbeiten erfolgt und die Ergebnisse ausgewertet sind.

#### 4.2.5.5 SMA-Standort Jura-Südfuss

Das Standortgebiet Jura-Südfuss liegt in der subjurassischen Zone. Diese ist insbesondere gegen den Faltenjura hin tektonisch stark überprägt. Als Wirtgesteine zieht die Nagra sowohl den Opalinuston mit seinen Rahmengesteinen als auch die Effinger Schichten in Betracht. Sie schreibt in ihrem Bericht zu Etappe 1 [NTB 08-03, S. 342] unter anderem Folgendes:

*„Dabei ist es offen, ob das ganze SMA-Lager jeweils im Opalinuston oder in den Effinger Schichten angeordnet oder ob das SMA-Lager auf beide Wirtgesteine aufgeteilt würde. Der Kenntnisstand der räumlichen Verhältnisse beruht auf fünf Seismiklinien, kann aber in Anbetracht der beträchtlichen Ungewissheiten betreffend Verlauf einzelner Strukturen im Untergrund höchstens als befriedigend bezeichnet werden.“*

Nach Ansicht der KNS sind insbesondere die folgenden für die Einengung in Etappe 2 relevanten Aspekte noch nicht genügend geklärt:

- sicherheitsrelevante Eigenschaften der Effinger Schichten, insbesondere die Heterogenität des Aufbaus;
- bestehende und allfällig neu entstehende Freisetzungspfade;
- sicherheitsrelevante Störungszonen, insbesondere die allfällige Fortsetzung der Born-Engelberg-Antiklinale und des Wölflinswil-Grabens ins Standortgebiet.

Die von der Nagra für Etappe 2 dargelegten Arbeiten werden nach Ansicht der KNS keine zusätzlichen Daten zur Klärung dieser Fragen bringen können. Insbesondere wird es nicht möglich sein, einen Standort und einen Vorschlag für die Anordnung der Untertagebauten festzulegen. Nach Auffassung der KNS ist deshalb in einem ersten Schritt auch in diesem Standortgebiet eine Verdichtung des 2D-Seismikmessnetzes erforderlich. Damit sollen insbesondere zusätzliche Informationen zu sicherheitsrelevanten Störungen ermittelt werden. Ob darüber hinaus weitere Untersuchungen nötig sind, kann auch hier erst nach der Auswertung dieser 2D-Seismikmessungen entschieden werden.

#### 4.2.5.6 SMA-Standortgebiet Wellenberg

Die geotektonischen Verhältnisse sind in diesem Standortgebiet viel komplexer als in den anderen Standortgebieten. Trotz der bereits sehr umfangreichen Abklärungen, die im Hinblick auf das seinerzeitige Rahmenbewilligungsgesuch vorgenommen wurden, sind deshalb noch die folgenden wesentlichen Fragen offen:

- Verlauf, Lage und Ausdehnung sicherheitsrelevanter Strukturen im Wirtgestein, insbesondere steilstehender Störungen und Kalkschollen;
- neue Freisetzungspfade durch Reaktivierung bestehender Störungen und erhöhte Erdbebengefährdung auf Grund neotektonischer Aktivität.

Diese Fragen können nach Auffassung der KNS mit den von der Nagra für Etappe 2 dargelegten Arbeiten nicht geklärt werden. Zur Klärung der ersten Frage wären aufwändige Sondierstollen erforderlich. Angesichts der deutlichen Nachteile dieses Standortgebiets ist es aus Sicht der KNS fraglich, ob der Vortrieb solcher Sondierstollen verhältnismässig ist.

#### 4.2.6 Zusammenfassende Folgerungen

Für die Ermittlung der Strukturverhältnisse in den Standortgebieten sind genügend dichte Netze von 2D-Seismiklinien, Kalibrierbohrungen und geologische Modelle des Untergrunds erforderlich. Die KNS begrüsst deshalb die geplante Verdichtung des Seismikmessnetzes in der Region der Standortgebiete Bözberg und Nördlich Lägeren. Nach ihrer Auffassung sind auch in den Standortgebieten Jura-Südfuss und Südranden zusätzliche 2D-Seismikmessungen erforderlich, da in diesen Gebieten die Reinterpretation der bestehenden Seismiklinien allein nicht genügen wird, um die Datengrundlage für den erforderlichen Kenntnisstand zu erhalten.

**Empfehlung 1: Zusätzliche 2D-Seismik**

Das 2D-Seismikmessnetz soll auch in den Regionen der Standortgebiete Jura-Südfuss und Südranden verdichtet werden.

Die KNS begrüsst, dass die Nagra ein hydrogeologisches Regionalmodell für die Nordschweiz und Lokalmodelle für jedes Standortgebiet erstellen will. Nach Auffassung der KNS muss auch geklärt sein, ob sich unmittelbar angrenzend an die Wirtgesteine beziehungsweise an die einschlusswirksamen Gebirgsbereiche Grundwasserleiter befinden. Ob dies möglich sein wird und ob konsistente hydrogeologische Modelle erstellt werden können, ist nach Ansicht der KNS zum jetzigen Zeitpunkt noch offen.

Die KNS begrüsst, dass die Nagra im Untersuchungsprogramm für Etappe 2 verschiedene Arbeiten zur Abklärung der geologischen Langzeitentwicklung der Standortgebiete vorsieht. Sie misst dabei der Neotektonik und Erosion besondere Bedeutung zu. Bei den Abklärungen zur glazialen Tiefenerosion empfiehlt die KNS, zuerst die Altersbestimmungen an Deckenschottern durchzuführen und das Höhenmodell der Felsoberfläche zu überarbeiten, bevor entschieden wird, welche Felsrinne angebohrt werden soll.

Nach Ansicht der KNS bestehen insgesamt wesentliche Ungewissheiten hinsichtlich des Kenntnisstands, der nach der Durchführung der von der Nagra vorgesehenen Arbeiten und der von der KNS empfohlenen zusätzlichen Seismikmessungen vorliegen wird. Dieser soll deshalb nach Abschluss dieser Arbeiten bewertet werden. Massstab sollen dabei insbesondere die gemäss Kapitel 3 dieser Stellungnahme zu beantwortenden Fragen sein.

**Empfehlung 2: Lagebeurteilung**

Nach erfolgter Auswertung der von der Nagra vorgesehenen Arbeiten und der darüber hinaus von der KNS empfohlenen zusätzlichen 2D-Seismik sowie den ergänzenden weiteren Arbeiten soll eine Lagebeurteilung erfolgen. Es soll umfassend bewertet werden, ob die Datengrundlagen zur Erreichung der Zielsetzungen von Etappe 2 ausreichen. Die Bewertung soll den im Sachplanverfahren involvierten Fachgremien des Bundes und der Kantone zur Stellungnahme unterbreitet werden. Reicht der Kenntnisstand für eine weitere Einengung aus, soll diese mit einer vorgängig spezifizierten Methodik des sicherheitstechnischen Vergleichs vorgenommen werden. Reichen die Datengrundlagen nicht aus, sind gezielt weitere Untersuchungen wie 3D-Seismik oder Bohrungen durchzuführen.

## **5 Quantitative provisorische Sicherheitsanalyse**

### **5.1 Vorgehen der Nagra**

Für die Abklärung der Notwendigkeit ergänzender Untersuchungen in Etappe 2 hat die Nagra im Hinblick auf die später in Etappe 2 zu erstellenden quantitativen Sicherheitsanalysen für alle Standortgebiete Testrechnungen durchgeführt. Mit diesen Testrechnungen werden der jetzige Kenntnisstand und seine mögliche Entwicklung auf Grund zukünftiger Untersuchungen bewertet. Insbesondere wird geprüft, ob mit den resultierenden Dosisintervallen eindeutige Aussagen bezüglich ‚sicherheitstechnischer Eignung‘ beziehungsweise ‚sicherheitstechnischer Gleichwertigkeit‘ gemacht werden können und wie empfindlich diese Aussagen bezüglich möglicher zukünftiger Änderungen sind [NTB 10-01, Kap. 2.1, Fig. 2.1-1].

Für die Testrechnungen hat die Nagra zur Ermittlung des Nuklidtransports aus den Lagerkammern in die Biosphäre für jedes Standortgebiet ein spezifisches Modell der Geologie entwickelt [NTB 10-01, Anhang 5]. Bei den Modellannahmen und den Werten für die Eingangsparameter hat sich die Nagra auf den Kenntnisstand von Etappe 1 abgestützt. Bei

Bedarf hat sie die Bandbreiten erweitert, um die vorhandenen Ungewissheiten abdeckend zu erfassen, sodass künftige neue Erkenntnisse nur zu einer Verringerung dieser Bandbreiten führen können.

Basierend auf diesen Modellen hat die Nagra für alle Standortgebiete für die vom ENSI vorgegebenen Rechenfälle die Dosisverläufe ermittelt. Als alternative Klimavarianten hat sie dabei entsprechend den Vorgaben des ENSI ein ‚wärmeres, trockenes Klima‘ und ein ‚eiszeitliches Klima‘ betrachtet. Um alle Ungewissheiten bezüglich der Wirksamkeit der technischen und natürlichen Barrieren abzudecken und die Robustheit der Lagersysteme aufzuzeigen, hat die Nagra zusätzlich für jedes Standortgebiet die Dosisverläufe für spezifisch ausgewählte alternative Fälle und ‚What if?‘-Fälle ermittelt.

Mit den alternativen Fällen untersucht die Nagra unter anderem die möglichen Auswirkungen eines oder mehrerer wasserführender sedimentärer Architekturelemente im Wirtgestein oder in den Rahmengesteinen auf die Radionuklidfreisetzung. Die potenziellen Auswirkungen von stark wasserführenden (verkarsteten) sedimentären Architekturelementen in den Wirtgesteinen Effinger Schichten und ‚brauner Dogger‘ und in den Rahmengesteinen des Opalinustons werden jeweils durch einen ‚What if?‘-Fall mit verkürzter Transportpfadlänge im Wirtgestein bei gleichzeitiger Vernachlässigung der Radionuklidrückhaltung in den Rahmengesteinen abdeckend erfasst. [NTB 10-01, S. A-126] Diesem wie auch den übrigen ‚What if?‘-Fällen (zum Beispiel transmissive Störungszonen im Opalinuston) sind gemäss Nagra konzeptuelle Modellannahmen und/oder Parameterwerte zu Grunde gelegt, die zwar physikalisch grundsätzlich möglich sind, aber ausserhalb der durch Messungen oder Modellvorstellungen gestützten Bandbreiten liegen [NTB 10-01, S. 12, Fussnote 6].

Die Resultate der Rechenfälle sind im Anhang 7 des Nagra-Berichts NTB 10-01 zusammengestellt. Aus diesen Resultaten hat die Nagra für die Standortgebiete die charakteristischen Dosisintervalle für folgende Varianten abgeleitet:

- ENSI-Rechenfälle mit Betrachtungszeiträumen 100'000 Jahre für das SMA-Lager und 1'000'000 Jahre für das HAA-Lager und das Kombilager;
- ENSI-Rechenfälle mit Berücksichtigung der Dosismaxima auch ausserhalb der Betrachtungszeiträume;
- alle Rechenfälle mit Betrachtungszeiträumen 100'000 Jahre für das SMA-Lager und 1'000'000 Jahre für das HAA-Lager und das Kombilager;
- alle Rechenfälle mit Berücksichtigung der Dosismaxima auch ausserhalb der Betrachtungszeiträume.

Die Ergebnisse hat die Nagra zusammenfassend dargestellt [NTB 10-01, S. 188].

## 5.2 Beurteilung durch die KNS

Die Nagra hat den Testrechnungen stark vereinfachte geologische Modelle zu Grunde gelegt. Diese repräsentieren die generelle geologische Situation im jeweiligen Standortgebiet, wie sie aus den Datengrundlagen zu Etappe 1 abgeleitet werden kann. Sie beziehen sich damit nicht auf einen konkreten Standort im jeweiligen Standortgebiet. Dies ist bei den nachfolgenden Ausführungen zu berücksichtigen.

Die oberen Grenzen der charakteristischen Dosisintervalle liegen bei allen Standortgebieten und bei allen von der Nagra betrachteten Varianten unterhalb von 0,01 mSv/a. Damit gelten auf der Basis des Kenntnisstands von Etappe 1 sowohl alle HAA-Standortgebiete als auch alle SMA-Standortgebiete gemessen an den charakteristischen Dosisintervallen als geeignet und sicherheitstechnisch gleichwertig und bleiben in der Auswahl. Massgebend dafür ist unter anderem die gute Rückhaltefähigkeit der Wirtgesteine, insbesondere des Opalinustons.

Es stellt sich deshalb die Frage, ob allenfalls charakteristische Dosisintervalle aufgrund der zusätzlichen Erkenntnisse, welche aus den Untersuchungen in Etappe 2 gewonnen werden, so stark ändern, dass Standortgebiete ausscheiden könnten. Eine Voraussetzung dafür wäre, dass für die obere Grenze der charakteristischen Dosisintervalle bei Standortgebieten Werte von mehr als 0,01 mSv/a ermittelt würden.

Die oberen Grenzen der charakteristischen Dosisintervalle sind durch ‚What if?‘-Fälle bestimmt, bei den HAA-Standortgebieten durch den jeweiligen ‚What if?‘-Fall ‚erhöhter Wasserfluss‘, bei den SMA-Standortgebieten durch den jeweiligen ‚What if?‘-Fall ‚eine wasserführende vertikale Störungszone schneidet alle Lagerkammern‘. Die maximalen Dosen für die übrigen ‚What if?‘-Fälle liegen jeweils nur unwesentlich unterhalb der oberen Grenze des entsprechenden charakteristischen Dosisintervalls.

Die Nagra geht davon aus, dass die ‚What if?‘-Fälle sehr konservativ sind. Nach Ansicht der KNS ist jedoch grundsätzlich anzumerken, dass Defizite an gesicherten Informationen und ungenügende geologische Gebirgsmodelle nicht unbedingt mit der Betrachtung von ‚What if?‘-Fällen kompensiert werden können. Zum Beispiel können hydraulische Durchlässigkeiten bei Gesteinsunregelmässigkeiten wie Störungszonen um mehrere Zehnerpotenzen erhöht sein. Auch ist die Annahme zu hinterfragen, dass beim ‚What if?‘-Fall ‚eine wasserführende vertikale Störungszone schneidet alle Lagerkammern‘ pro Kammer nur ein Lagerbehälter betroffen ist. Die Konzeptualisierung der entsprechenden Situation für eine SMA-Kaverne ist in NTB 08-05 Fig. 2.5-4 ersichtlich. Gemäss dieser Konzeptualisierung kann sich eine Störungszone auch über mehrere Lagerbehälter erstrecken.

Die Nagra geht beim Modell für die Testrechnungen auch davon aus, dass die unterirdischen Bauten ideal verfüllt und verschlossen werden können und sich die Auflockerungszone im Bereich der Untertagebauten wieder zurückbilden. Die KNS weist darauf hin, dass es heute noch keine validierten Verfahren zur Verfüllung und zum Verschluss gibt. Es ist nicht auszuschliessen, dass die Verfüllungen und Verschlüsse zusammen mit den Auflockerungszonen Schwachstellen bilden können. Wie gross diese Gefahr ist, hängt unter anderem vom gewählten Lagerkonzept ab (vgl. nachfolgendes Kapitel).

Nach den Erwartungen der KNS werden die von der Nagra in Etappe 2 bereits begonnenen oder geplanten Arbeiten aller Voraussicht nach keine Erkenntnisse liefern, die zu einer wesentlichen Anpassung der geologischen Modelle der Standortgebiete führen. Sie werden auch kaum wesentliche Auswirkungen auf das Spektrum der zu betrachtenden Rechenfälle und die Bandbreiten der Inputparameter haben. Entsprechend sind auch keine entscheidenden Änderungen bei den charakteristischen Dosisintervallen zu erwarten. Die quantitativen numerischen Sicherheitsanalysen werden deshalb kaum zum Ausscheiden von Standortgebieten oder von Bereichen in Standortgebieten führen.

Die KNS hat in Ihrer Stellungnahme im Rahmen von Etappe 1 bereits betont, dass der Opalinuston wegen seiner ausgezeichneten Rückhalteeigenschaften das bevorzugte Wirtgestein für die Entsorgung aller Arten von radioaktiven Abfällen ist. Entscheidend ist deshalb, dass in Etappe 2 nachgewiesen werden kann, dass in den Standortgebieten geringdurchlässige, homogene Wirtgesteinskörper von ausreichender Mächtigkeit und lateraler Ausdehnung in geeigneter Tiefenlage mit Eigenschaften vorhanden sind, die mit jenen des Opalinustons vergleichbar sind.

## **6 Qualitative Bewertung und Vergleich der Standortgebiete**

Im Konzeptteil des SGT sind in Tabelle 1 Kriterien zur Standortevaluation hinsichtlich Sicherheit und technischer Machbarkeit vorgegeben. Diese betreffen die Eigenschaften des Wirtgesteins beziehungsweise einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (4 Kriterien), die Langzeitsta-

bilität (4 Kriterien), die Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen (3 Kriterien) sowie die bautechnische Eignung (2 Kriterien). Die qualitative Bewertung der Standortgebiete beziehungsweise der Standorte erfolgt anhand dieser Kriterien. [SGT, S. 40]

## **6.1 Vorgehen der Nagra**

### **6.1.1 Grundsätzliches Vorgehen**

Die Nagra hat bereits in Etappe 1 das Barrieren- und Sicherheitskonzept für die geologischen Tiefenlager beschrieben und die für die Gewährleistung der Sicherheit und der technischen Machbarkeit relevanten Sicherheitsfunktionen und übergeordneten Prinzipien dargelegt [NTB 10-01, Anhang 1]. Um die Standortgebiete anhand der Kriterien im Sachplan zu bewerten, hat die Nagra aus den Sicherheitsfunktionen und Prinzipien eine Reihe von Indikatoren abgeleitet. Diese Indikatoren sind direkte und indirekte Messgrößen für die im Sachplan vorgegebenen Kriterien. [NTB 10-01, S. 23] und [NTB 08-03, Tab. 2.4-2]

Gestützt auf die Grundlagen und das Vorgehen in Etappe 1 leitet die Nagra für Etappe 2 nun relevante Prozesse und Parameter ab. Prozesse und Parameter sind Vorgänge und Eigenschaften, welche die Wirkung der sicherheitsrelevanten Eigenschaften bestimmen. Sie lassen sich deshalb direkt aus den sicherheitsrelevanten Eigenschaften der Elemente des Barrierensystems ableiten. Entsprechend der Zielsetzung legt die Nagra den Schwerpunkt auf jene Prozesse und Parameter, die entweder geologische Merkmale repräsentieren oder durch solche beeinflusst werden. Diese werden aus denselben Sicherheitsfunktionen und Prinzipien abgeleitet wie die Indikatoren in Etappe 1. Damit sind die Indikatoren und die Kriterien des SGT und die Prozesse und Parameter miteinander verknüpft. [NTB 10-01, S. 23–24]

In NTB 10-01 sind in Tab. 3.2-1 die Prozesse und Parameter aufgelistet. Ausserdem ist angegeben, welche Indikatoren ihnen zugeordnet sind und wie sie im Rahmen des sicherheitstechnischen Vergleichs in Etappe 2 verwendet werden sollen.

Sieben Prozesse und Parameter haben ausschliesslich für die technischen Barrieren Relevanz. Sie werden deshalb nicht in die qualitative Bewertung einbezogen.

Relevant für die geologischen Barrieren sind 34 Prozesse und Parameter. Diese werden mit Ausnahme jener, die auf Grund der Ausrichtung von Etappe 1 keinem Indikator zugeordnet werden können, in die qualitative Bewertung einbezogen. Diese Ausnahmen sind: ‚Relevante Exfiltrationspfade‘, ‚Zeitliche Entwicklung der lokalen Topographie im Hinblick auf Biosphärenmodellierung‘, ‚Klimaentwicklung im Hinblick auf Abschätzung der Wasserflüsse bei der Biosphärenmodellierung‘ und ‚Oberflächensituation‘. Mit Ausnahme des Parameters ‚Oberflächensituation‘ werden diese aber direkt oder indirekt in den Dosisberechnungen berücksichtigt.

Elf Prozesse und Parameter sind für die technische Machbarkeit relevant. Davon werden zehn in die qualitative Bewertung einbezogen. Nicht einbezogen wird der Parameter ‚Oberflächensituation‘.

Neun weitere Prozesse und Parameter fliessen ausschliesslich in die qualitative Bewertung ein. Diese betreffen die Nutzung der Gesteine als Rohstoffe, qualitative Aspekte der Langzeitentwicklung und der Charakterisierbarkeit der Geologie sowie die Explorierbarkeit der räumlichen Verhältnisse.



### 6.1.2 Technische Machbarkeit

Auf die technische Machbarkeit geht die Nagra in Kapitel 5 ihres Berichts im Detail ein. Zusätzlich zu den Prozessen und Parametern mit Relevanz für die technische Machbarkeit bezieht sie auch die beiden Parameter ‚Auslegung der Lagerkammern‘ und ‚Glazial übertiefte Felsrinnen‘ in ihre Betrachtungen mit ein [NTB 10-01, Tab. 5.1-1].

#### *Auslegung der Lagerkammern*

Im Bezug auf die Wahl der Querschnitte der Lagerkavernen des SMA-Lagers sieht die Nagra eine grosse Flexibilität. Die Querschnitte können deshalb den tatsächlichen standortspezifischen felsmechanischen Verhältnissen angepasst werden. [NTB 10-01, S. 118] Für die temporäre Felssicherung sieht sie Anker vor. Für die definitive Gewölbesicherung zieht sie primär einschalige Spritzbetonschalen sowie allfällige Verstärkungen mit Stahl- oder Gitterbögen in Betracht. Bei Bedarf soll mit einem Innengewölbe aus Beton eine zusätzliche Verstärkung erzielt werden. [NTB 10-01, S. 119]

Die Nagra weist darauf hin, dass auch bei den BE/HAA-Lagerstollen in jedem Fall mit Auflockerungszonen gerechnet werden muss. Deren Grösse kann mit der Wahl des Ausbruchdurchmessers und beschränkt mit Ausbauten und Ausbruchmethode beeinflusst werden; wegen des guten Selbstabdichtungsvermögens des Opalinustons sind diese Auflockerungszonen jedoch von untergeordneter Bedeutung [NTB 10-01, 5.2.1 und 6.2.4]. Beim Referenzkonzept für das HAA-Lager ist aber ein Mindestdurchmesser von rund 2,5 m erforderlich. Dieser Mindestdurchmesser ist unter anderem durch die Grösse der Lagerbehälter, die Mächtigkeit der Bentonit-Verfüllung, die Baumethode und den Einlagerungsvorgang gegeben. Zur Sicherung der Lagerstollen sieht die Nagra Netze, Anker, Spritzbeton oder Stahlbögen vor. [NTB 10-01, S. 120–122]

Die Nagra ist der Ansicht, dass die Lagerkammern für das SMA- und das HAA-Lager in allen Standortgebieten als bautechnisch machbar eingestuft werden können. Sie erwartet, dass die Arbeiten in Etappe 2 diese Beurteilung konsolidieren werden. [NTB 10-01, S. 123]

#### *Platzangebot*

Bei der Beurteilung der technischen Machbarkeit bezüglich Platzangebots misst die Nagra der optimalen Nutzung des Platzangebots grosses Gewicht bei. Als Mittel dazu sieht sie für das SMA-Lager, wo dies möglich ist, die Lagerung auf zwei Ebenen vor. Bei beiden Lagerstollentypen ist zudem die Aufteilung der Lagerkammern auf mehrere Lagerfelder möglich. Beim HAA-Lager können ausserdem die Lagerkammern und Lagerfelder auch als Blindstollenkonfiguration ausgelegt werden. [NTB 10-01, 5.3.1] Bei den Standortgebieten Nördlich Lägeren, Bözberg und Jura-Südfuss weist sie darauf hin, dass notwendigenfalls auch Zonen genutzt werden können, in welchen die Störungen kleinere typische Abstände haben; dabei muss aber eine ungünstigere Anordnung der Lagerkammern in Kauf genommen werden. Insgesamt kommt die Nagra zum Schluss, dass bei allen Standortgebieten von einem ausreichenden Platzangebot ausgegangen werden kann. [NTB 10-01, 5.3.2]

#### *Erschliessung*

Bei der Beurteilung der technischen Machbarkeit der untertägigen Erschliessung betrachtet die Nagra verschiedene Möglichkeiten mit Rampen oder mit Schächten. Bei einer Erschliessung mit Rampen ist es nach ihrer Ansicht einfach, die Linienführung der Rampen im Verlaufe der Planung und während des Baus an die örtlichen geologischen Verhältnisse anzupassen. [NTB 10-01, 5.4.1]

### *Arbeiten zur Anlagenplanung*

Die Arbeiten der Nagra in Etappe 2 zur Lagerplanung betreffen die Anordnung und die Ausgestaltung der Oberflächenanlagen sowie das Lagerkonzept. In die Überprüfung des Lagerkonzepts werden neben anderen auch die Kommentare der KNS in ihrer Stellungnahme im Rahmen von Etappe 1 einfließen. Bei den BE/HAA-Lagerkammern werden verschiedene Ausbauvarianten hinsichtlich des Einflusses auf die Langzeitsicherheit überprüft. [NTB 10-01, 8.6]

## **6.2 Beurteilung durch die KNS**

Nachfolgend äussert sich die KNS vorerst zum grundsätzlichen Vorgehen. Anschliessend geht sie spezifisch auf Aspekte ein, die für die bautechnische Machbarkeit von Bedeutung sind, insbesondere auf das Lagerkonzept.

### **6.2.1 Zum grundsätzlichen Vorgehen**

Aus dem vorangehenden Kapitel 5 geht hervor, dass die KNS nicht erwartet, dass in Etappe 2 Standortgebiete aufgrund der charakteristischen Dosisintervalle ausscheiden werden. Die gemäss Sachplan geforderte Einengung wird deshalb voraussichtlich im Rahmen des sicherheitstechnischen Vergleichs auf der Basis der qualitativen Bewertung der Standortgebiete anhand der Kriterien im Sachplan erfolgen müssen.

Die Nagra hat bereits in Etappe 1 alle Standortgebiete qualitativ anhand der Kriterien im Sachplan bewertet. Dazu hat sie aus den Sicherheitsfunktionen und Prinzipien eine Reihe von Indikatoren abgeleitet und Anforderungen an diese festgelegt. Dabei hat sie zum Teil bereits verschärfte Anforderungen vorgegeben, was im Sachplan für Etappe 1 nicht vorgehen ist. [NTB 08-03, Tab. 2.5–2]

Da die Nagra in Etappe 2 die Standortgebiete anhand von Prozessen und Parametern bewerten wird, muss ein nachvollziehbarer Zusammenhang zwischen der Bewertung anhand dieser Prozesse und Parameter und der Bewertung anhand der Indikatoren aufgezeigt werden.

Soweit die KNS dem Bericht NTB 10-01 entnehmen kann, sieht die Nagra nicht vor, in Etappe 2 Anforderungen an Indikatoren zu stellen, die gegenüber jenen von Etappe 1 verschärft sind. Damit werden in Etappe 2 keine Standortgebiete aufgrund der Anwendung neuer verschärfter Anforderungen ausscheiden.

Gemäss Sachplan können Standorte ausscheiden, wenn sich bei der Bewertung anhand der qualitativen Sicherheitskriterien zeigt, dass diese gegenüber anderen eindeutige Nachteile aufweisen [SGT, S. 71].

Im Konzeptteil des Sachplans ist wohl ausführlich dargelegt, wie die Bewertung von Standorten beziehungsweise Standortgebieten anhand der charakteristischen Dosisintervalle erfolgt. Wie der sicherheitstechnische Vergleich auf Basis der qualitativen Bewertungen erfolgen soll, wird aber nicht ausgeführt. Auch das ENSI umschreibt im Dokument, in welchem es die Anforderungen an die provisorische Sicherheitsanalyse und den sicherheitstechnischen Vergleich konkretisiert, diesen Teil des Vergleichs nur summarisch [ENSI 2010, S. 11-12]. Insbesondere fehlen konkrete Entscheidungskriterien, für die Beurteilung ‚eindeutiger Nachteile‘.

**Empfehlung 3: Einengungsmethodik**

Vorgängig zur Einengung in Etappe 2 soll die Methodik des qualitativen sicherheitstechnischen Vergleichs auf der Basis der im Sachplan vorgegebenen Kriterien hinsichtlich Sicherheit und technischer Machbarkeit genauer spezifiziert werden. Dabei sollen insbesondere Kriterien festgelegt werden, aufgrund welcher entschieden wird, ob ein Standortgebiet oder ein Standort gegenüber anderen ‚eindeutige Nachteile‘ aufweist.

**6.2.2 Zur technischen Machbarkeit**

Die KNS begrüsst, dass die Nagra im Rahmen der technischen Machbarkeit die Lagerkonzepte inklusive die Erschliessung der Untertagebauten überprüfen will.

Bei der Erschliessung der Untertagebauten betrachtet die Nagra neu auch Varianten, bei welchen die Erschliessung ausschliesslich mit Vertikalschächten erfolgt. Die KNS erwartet bei diesen Varianten Vorteile gegenüber solchen mit Rampen. So kann bei einem Schacht eine vorgängige Erkundung zuverlässig und ohne grossen Aufwand mit einer Bohrung erfolgen. Auch die Abdichtung von wasserführenden Zonen ist bei einem Schacht weniger anspruchsvoll als bei einer Rampe.

**Empfehlung 4: Erschliessungsvarianten**

Erschliessungsvarianten mit Vertikalschächten ohne Rampen sollen umfassend abgeklärt werden.

Bei der Überprüfung der Lagerkonzepte muss der Langzeitsicherheit höchste Priorität eingeräumt werden. Die KNS hat deshalb bereits in ihrer Stellungnahme im Rahmen von Etappe 1 empfohlen, die Konzepte im Hinblick auf folgende Ziele zu überprüfen: [KNS 2010, 3.2.2.3]

- Verhinderung oder Minimierung der negativen Auswirkungen von lagerbedingten Einflüssen auf die geologischen Barrieren,
- minimale Schädigung der Wirtgesteine,
- mögliche Tieferlegung des Lagers.

Hinsichtlich der lagerbedingten Einflüsse hat die KNS insbesondere die Bedeutung der Gasbildung hervorgehoben. Ein wichtiger Aspekt betrifft in diesem Zusammenhang die Verwendung von alternativen Behältermaterialien für die HAA/BE-Lagerbehälter. Die KNS hat ein entsprechendes Forschungsprojekt initiiert. Es ist wichtig, dass dieses Projekt mit Priorität realisiert wird.

Im Hinblick auf die minimale Schädigung der Wirtgesteine sollen einerseits die Querschnitte der Ausbrüche möglichst klein gehalten und andererseits nur die notwendigsten Bauten im Wirtgestein platziert werden. Die KNS hat bereits erwähnt, dass sie den Opalinuston wegen seiner ausgeprägten Homogenität und der sehr geringen hydraulischen Durchlässigkeit als Wirtgestein auch für das SMA-Lager bevorzugt. Der Opalinuston ist aber hinsichtlich lagerbedingter Einflüsse anspruchsvoll. Nach Ansicht der KNS muss deshalb auch für das SMA-Lager ein Konzept gewählt werden, bei dem die Bauten im Wirtgestein möglichst kleine Querschnitte haben. Die Dimensionen der Lagerbehälter sind gegebenenfalls entsprechend anzupassen.

Die Nagra erwähnt zwar, dass sie die Lagerkonzepte unter Berücksichtigung auch der Empfehlungen der KNS überprüfen wird. Es ist aber unklar, inwieweit sie sich dabei an ihren bisherigen Konzepten für das SMA- und das HAA-Lager orientiert. In NTB 10-01 bezeichnet sie diese als Referenzkonzepte.

Nach Auffassung der KNS muss eine grundsätzliche und umfassende Überprüfung der Konzepte erfolgen. Dabei soll das gesamte Spektrum von machbaren Konzepten einbezogen werden, die dem EKRA<sup>12</sup>-Konzept genügen. Insbesondere für das HAA-Lager sollen auch Konzepte abgeklärt werden, bei welchen das Wirtgestein möglichst wenig geschädigt wird.

Diese Überprüfung ist nach Auffassung der KNS dringlich, da sich die Standortwahl und die Wahl der Lagerkonzepte gegenseitig beeinflussen. So können verschiedene Konzepte unterschiedlichen Platzbedarf im Untergrund erfordern.

#### Empfehlung 5: Lagerkonzepte

Die Lagerkonzepte sollen noch in Etappe 2 einer grundsätzlichen Überprüfung unterzogen und die entsprechenden Forschungsprojekte mit hoher Priorität bearbeitet werden. In die Überprüfung soll das gesamte Spektrum von machbaren Konzepten einbezogen werden, die dem EKRA-Konzept genügen. Die Ergebnisse dieser Überprüfung sollen den im Sachplanverfahren involvierten Fachgremien des Bundes und der Kantone zur Beurteilung unterbreitet werden.

## 7 Zur Stellungnahme des ENSI

In diesem Kapitel äussert sich die KNS zur Stellungnahme des ENSI [ENSI 2011]. Sie konzentriert sich dabei auf Kapitel ‚12 Zusammenfassende Beurteilung und Schlussfolgerungen‘.

### 7.1 Darlegungen des ENSI

Beurteilungskriterium ist für das ENSI, ob der Kenntnisstand, der mit den von der Nagra aufgezeigten ergänzenden Arbeiten erreicht wird, ausreicht für belastbare provisorische Sicherheitsanalysen und den sicherheitstechnischen Vergleich.

#### 7.1.1 Kenntnisstand zu den Wirtgesteinen

Den zu erwartenden Kenntnisstand betreffend die beiden Wirtgesteine Opalinuston und Mergel-Formationen des Helvetikums beurteilt das ENSI als ausreichend.

Für die beiden Wirtgesteine ‚Brauner Dogger‘ und Effinger Schichten hält das ENSI neben den von der Nagra dargelegten zusätzlich weitere ergänzende Arbeiten für erforderlich. Entsprechend formuliert es sieben Forderungen (Forderungen 1–7). Unter Berücksichtigung dieser Forderungen wird nach Erwartung des ENSI auch für diese beiden Wirtgesteine ein ausreichender Kenntnisstand erreicht werden.

#### 7.1.2 Kenntnisstand zu den geologisch-tektonischen Verhältnissen der Standortgebiete

Nicht abschliessend geklärt ist aus Sicht des ENSI, inwiefern im ‚Braunen Dogger‘ über die Ost-West-Erstreckung des Standortgebiets Nördlich Lägeren sicherheitsrelevante Fazieswechsel stattfinden. Ausserdem ist der Verlauf der Born-Engelberg-Antiklinale im Standortgebiet Jura-Südfuss nicht abschliessend geklärt. Das ENSI stellt zwei entsprechende Forderungen (Forderungen 8 und 9).

---

<sup>12</sup> EKRA: Expertengruppe Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle

### 7.1.3 Kenntnisstand zur Langzeitentwicklung

Das ENSI fordert zusätzlich für alle HAA-Standortgebiete vergleichende Betrachtungen zur geomorphologischen Entwicklung in der nächsten Million Jahre. (Forderung 10)

Weiter fordert das ENSI, dass beim Standortgebiet Wellenberg die Aspekte Hebung, Seismizität, Neotektonik und glaziale Tiefenerosion bei der Beurteilung der Langzeitentwicklung unter Einbezug aller seit der Einreichung des Rahmenbewilligungsgesuchs neu erfassten Ergebnisse zu berücksichtigen sind. (Forderung 11)

Gemäss ENSI wird unter Berücksichtigung dieser beiden Forderungen ein Kenntnisstand erreicht, der für alle Standortgebiete die Durchführung von provisorischen Sicherheitsanalysen erlaubt.

### 7.1.4 Hydrogeologischer Kenntnisstand zu den Standortgebieten

Zum Bereich hydrogeologische Kenntnisse formuliert das ENSI insgesamt 14 Forderungen. Die beiden folgenden betreffen alle Standortgebiete:

- standortspezifische Konkretisierung der Annahmen zu den hydraulischen Gradienten (Forderung 12);
- Berücksichtigung der Ergebnisse der Messung von weiteren Chloridprofilen, der Integration neuer hydrogeologischer und hydrochemischer Daten zum Nachweis des Stockwerksbaus sowie der gesamthaften Auswertung von Druckmessungen in den Wirtgesteinen im sicherheitstechnischen Vergleich (Forderung 14).

Eine Forderung betrifft die Standortgebiete mit ‚Braunem Dogger‘ oder Effinger Schichten:

- genauere Beschreibung der sedimentären Architekturelemente in diesen Wirtgesteinen (Forderung 13).

Die übrigen betreffen jeweils nur ein Standortgebiet:

- drei das Standortgebiet Südranden (Forderungen 15–17),
- je zwei die Standortgebiete Zürcher Weinland (Forderungen 18+19), Nördlich Lägeren (Forderungen 20+21) und Jura-Südfuss (Forderungen 23+24),
- je eine die Standortgebiete Bözberg (Forderung 22) und Wellenberg (Forderung 25).

### 7.1.5 Kenntnisstand zur bautechnischen Machbarkeit

Zum Bereich bautechnische Machbarkeit fordert das ENSI (Forderung 26):

- die Überführung der geologischen und geotechnischen Informationen in die Baugrundmodelle und Gebirgsbeschreibungen,
- die Erstellung von bautechnischen Risikoanalysen zum Vergleich der Standortgebiete und der Erschliessungsbauwerke sowie die Berücksichtigung der Resultate in den Sicherheitsanalysen.

### 7.1.6 Kenntnisstand zu den geochemischen Bedingungen

Zu diesem Bereich formuliert das ENSI im Hinblick auf die provisorischen Sicherheitsanalysen und den sicherheitstechnischen Vergleich insgesamt neun Forderungen. Diese betreffen:

- die Ermittlung von separaten Bandbreiten für die mineralogischen Parameter in den tonigen Abfolgen und den sandig/kalkigen Architekturelementen der Effinger Schichten und des ‚Braunen Doggers‘ (Forderung 27);
- die Abklärung des Einflusses der Salinität der Porenwässer auf alle Prozesse, die für die provisorische Sicherheitsanalysen relevant sind (Forderung 28);
- die Verbesserung des Kenntnisstands bezüglich zugänglicher Porosität in den Effinger Schichten (Forderung 29);
- das Testen der Methodik der Nagra zur Herleitung der Sorptionskoeffizienten anhand aller Wirtgesteine (Forderung 30);
- die Abklärung des Einflusses der zu erwartenden Variabilität bezüglich Temperatur in den Standortgebieten auf die Diffusionskoeffizienten (Forderung 31);
- die Ableitung separater Bandbreiten für die Porosität in den Effinger Schichten und im ‚Braunen Dogger‘ (Forderung 32);
- die Diskussion der für Anionen zugänglichen Porositäten der Effinger Schichten und des ‚Braunen Doggers‘ (Forderung 33);
- die Darlegung des Einflusses des Degradationsprodukts von Zellulose, die in der Abfallgruppe 2 der langlebigen mittelaktiven Abfälle enthalten ist, auf die maximale Löslichkeit der Radionuklide (Forderung 34);
- die Diskussion des Einflusses der im Nahfeld vorhandenen Radionuklide und stabilen Isotope auf die Sorptionskoeffizienten für anorganischen Kohlenstoff, Kobalt und Nickel (Forderung 35).

### **7.1.7 Kenntnisstand zur Biosphäre**

Das ENSI weist darauf hin, dass das Standortgebiet Bözberg den potenziell grössten geomorphologischen Einflüssen unterliegt und die Nagra für Etappe 2 eine entsprechende Studie ausarbeitet.

Zur Ergänzung des Kenntnisstands sieht das ENSI die folgenden zusätzlichen Arbeiten als erforderlich:

- die Bestätigung der Annahme, dass das Grundwasser aus Tiefenaquiferen an der tiefsten Stelle der Oberfläche exfiltriert, durch eine Untersuchung der regionalen Fließmodelle in den Standortgebieten anhand eines grossräumigen hydrogeologischen Modells (Forderung 36);
- die Verarbeitung der vorhandenen Datenbasis zu den Grundwasserverhältnissen in den quartären Ablagerungen typischer grosser und kleiner Täler in der Nordschweiz.

### **7.1.8 Testrechnungen**

Das ENSI hat die von der Nagra den Testrechnungen zu Grunde gelegten Modellkonzepte nachvollziehen können. Die Resultate der Testrechnungen zeigen, dass die Dosiswerte gegenüber den bestehenden Ungewissheiten sicherheitstechnisch robust sind.

Im Hinblick auf die quantitativen provisorischen Sicherheitsanalysen stellt das ENSI die folgenden vier Forderungen:

- die standortspezifische Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen dem Aufsättigungsprozess in den unterirdischen Bauten und den lagerinduzierten Prozessen nach dem Verschluss des Lagers (Forderung 38);

- den Miteinbezug der unteren Rahmengesteine bei der Konzeptualisierung der Exfiltrationspfade (Forderung 39);
- die Berücksichtigung der Resultate der ergänzenden Untersuchungen in den Modellkonzeptualisierungen, die den Ausbreitungsrechnungen in den Effinger Schichten und im ‚Braunen Dogger‘ zu Grunde gelegt werden (Forderung 40);
- die Berücksichtigung des Umstands, dass bei den SMA-Standortgebieten mit den Wirtgesteinen Effinger Schichten oder ‚Brauner Dogger‘ möglicherweise nicht alle Lagerkammern in tonreichen Bereichen plaziert werden können (Forderung 41).

### 7.1.9 Hinweise für Etappe 3

Das ENSI gibt auch bereits Hinweise für Etappe 3. Diese betreffen folgende Punkte:

- Falls ein SMA-Lagerprojekt mit den Wirtgesteinen ‚Brauner Dogger‘ oder Effinger Schichten weiter verfolgt wird, sollen bei diesen Gesteinen für die verschiedenen Lithologien und die Lithologiegrenzen die Gaseintrittsdrücke bestimmt werden, da mit einer detaillierten Gastransportmodellierung durchgeführt werden kann.
- Falls die Option SMA-Lager im westlichen Teil des Standortgebiets Nördlich Lägeren weiter verfolgt wird, sollen in diesem Teil die faziellen Wechsel im ‚Braunen Dogger‘ mit einer Eichbohrung genauer abgeklärt werden.
- Die Nagra soll mit standortspezifischen Sicherheitsanalysen aufzeigen, welche Abstände zu Trinkwasser führenden Gesteinskörpern und zu Mineral- und Thermalwasservorkommen zu beachten sind, damit die Schutzkriterien gemäss Richtlinie ENSI-G03 eingehalten sind.
- Im Hinblick auf das Rahmenbewilligungsgesuch ist der Einfluss allfälliger Nutzungen des Untergrunds auf die Sicherheit eines geologischen Tiefenlagers aufzuzeigen und zu quantifizieren.
- Zur Vertiefung des Prozessverständnisses der glazialen Erosion soll die Bildungsgeschichte der Glattalrinne in die ergänzenden Untersuchungen einbezogen werden.
- Falls ein Lagerprojekt im HAA-Standortgebiet Zürich Nord-Ost (Zürcher Weinland) weiter verfolgt wird, sollen eine Bohrung in der Thurtalrinne südlich des Standortgebiets und Altersbestimmungen an den dort vorhandenen Verfüllungen sowie an den Sedimenten der nach Norden abzweigenden Basadingenrinne durchgeführt werden.

### 7.1.10 Fazit des ENSI

Aufgrund seiner Überprüfung kommt das ENSI zum Schluss, dass mit den von der Nagra vorgeschlagenen ergänzenden Untersuchungen und den vom ENSI geforderten Ergänzungen der notwendige Kenntnisstand erreicht werden kann, um in Etappe 2 belastbare Aussagen zur sicherheitstechnischen Einstufung und zur bautechnischen Machbarkeit machen zu können. Es fordert deshalb für Etappe 2 keine bewilligungspflichtigen erdwissenschaftlichen Untersuchungen. Es wird aber die für Etappe 2 erforderlichen Unterlagen vor deren Einreichung einer Grobüberprüfung unterziehen, um festzustellen, ob diese die Anforderungen für die provisorische Sicherheitsanalyse erfüllen.

Das ENSI weist schliesslich darauf hin, dass in Etappe 3 bewilligungspflichtige Untersuchungen erforderlich sein werden, und erwartet, dass die entsprechenden Gesuche in Etappe 2 zusammen mit den Standortvorschlägen eingereicht werden.

## 7.2 Beurteilung der ENSI-Stellungnahme durch die KNS

Aufgrund des Studiums der ENSI-Stellungnahme kommt die KNS zum Schluss, dass das ENSI die Darlegungen der Nagra systematisch und detailliert überprüft hat. Aufgrund dieser Überprüfung hat das ENSI insgesamt 41 Forderungen formuliert.

Nachfolgend äussert sich die KNS zu ausgewählten Forderungen des ENSI:

- Die Forderungen zur Erweiterung des Kenntnisstands zu den Wirtgesteinen betreffen mit einer Ausnahme ausschliesslich den ‚Braunen Dogger‘ und die Effinger Schichten. Die Ausnahme bildet die Forderung 7, welche auch die Mergel-Formationen des Helvetikums betrifft. Nach Auffassung der KNS zeigt dies, dass die beiden Wirtgesteine ‚Brauner Dogger‘ und Effinger Schichten noch ungenügend abklärt sind. Sie sind auch inhomogener und schwerer prognostizierbar als der Opalinuston.
- Die Forderung 7 betrifft den Gastransport in den Wirtgesteinen und insbesondere den Einfluss der wirtgesteinsspezifischen Prozesse auf ein ‚engineered gas transport system‘. Die KNS hat bereits in ihrer Stellungnahme im Rahmen von Etappe 1 ‚engineered gas transport systems‘ kritisch beurteilt. Sie weist erneut darauf hin, dass den lagerbedingten Einflüssen vorrangig durch Massnahmen bei den Abfällen und bei der Lagerauslegung begegnet werden muss. Dies gilt insbesondere für die Gasbildung. Einerseits sollen die Abfälle wenn immer möglich in eine chemische Form gebracht werden, die unter den im Lager herrschenden chemischen Bedingungen inert ist. Andererseits sind die Abfallbehälter und das Lagerkonzept so zu wählen, dass möglichst wenig Fremdstoffe in Form von Stützmitteln, massiven Lagerbehältern und wirtgesteinsfremden Verfüllmaterialien verwendet werden müssen. Damit verlieren auch die Forderungen 34 (Einfluss der Degradationsprodukte von Zellulose) und 38 (Wechselwirkungen zwischen Aufsättigungsprozess und lagerinduzierten Prozessen) des ENSI an Bedeutung. Die KNS weist in diesem Zusammenhang auf ihre Empfehlung betreffend Überprüfung der Lagerkonzepte hin (Empfehlung 5).
- Die KNS hat darauf hingewiesen, dass beim Standortgebiet Jura-Südfuss verschiedene für die Sicherheit wichtige Aspekte noch nicht genügend geklärt sind. Sie unterstützt deshalb ausdrücklich jene Forderungen des ENSI, welche ergänzende Arbeiten zu diesem Standortgebiet betreffen. Über die Forderungen des ENSI hinausgehend empfiehlt die KNS, in diesem Standortgebiet zusätzliche 2D-Seismikmessungen durchzuführen.
- Mehrere Forderungen des ENSI betreffen zusätzliche Abklärungen zu den hydrogeologischen Verhältnissen in den Standortgebieten, drei dieser Forderungen das Standortgebiet Südranden. Diese Forderungen sind in Übereinstimmung mit der Beurteilung der KNS.
- Für den bautechnischen Vergleich fordert das ENSI bautechnische Risikoanalysen für alle Standorte. Die KNS legt unter Hinweis auf ihre Empfehlung 5 Wert darauf, dass dabei nicht nur verschiedene Varianten für die Erschliessungsbauwerke, sondern auch alternative Konzepte für die Untertagebauten berücksichtigt werden.

Die KNS kann sich dem Fazit des ENSI grundsätzlich anschliessen. Sie unterstützt die vom ENSI gestellten Forderungen betreffend weitere Untersuchungen in Etappe 2. Sie hält aber darüber hinaus zusätzliche Untersuchungen für erforderlich. Diese umfassen unter anderem zusätzliche 2D-Seismikmessungen in den Regionen der beiden Standortgebiete Südranden und Jura-Südfuss sowie eine umfassende Beurteilung des Kenntnisstands, wenn alle ergänzenden Arbeiten zu Etappe 2 abgeschlossen sind.

Die KNS unterstützt auch den Vorschlag des ENSI, dass die Gesuche für bewilligungspflichtige erdwissenschaftliche Untersuchungen in Etappe 3 bereits mit den Unterlagen zu Etappe 2 eingereicht werden sollen.



## 8 Zusammenfassung und Empfehlungen

### 8.1 Beurteilungsgrundlagen und Beurteilungsmassstäbe

Gemäss Sachplan geologische Tiefenlager [SGT] muss die Nagra in den vom Bundesrat in seinem Entscheid zu Etappe 1 bezeichneten Standortgebieten Standorte identifizieren und provisorische Sicherheitsanalysen sowie einen sicherheitstechnischen Vergleich durchführen. Im Hinblick darauf muss die Nagra frühzeitig die Notwendigkeit ergänzender Untersuchungen mit dem ENSI abklären. Die Nagra hat diese Abklärungen getroffen und die Ergebnisse in einem Bericht [NTB 10-01] festgehalten. Das BFE hat die KNS beauftragt, sich zu diesem Bericht und zur zugehörigen Stellungnahme des ENSI [ENSI 2011] zu äussern.

Bei ihrer Beurteilung stützt sich die KNS primär auf die entsprechenden Vorgaben im Sachplan geologische Tiefenlager [SGT] und die Anforderungen des ENSI an die provisorischen Sicherheitsanalysen und den sicherheitstechnischen Vergleich [ENSI 2010]. Nach Auffassung der KNS muss der Kenntnisstand zu den Standortgebieten gewährleisten, dass insbesondere die nachfolgenden Fragen für alle Standortgebiete mit einer Zuverlässigkeit beantwortet werden können, die eine sicherheitsgerichtete und nachvollziehbare Einengung erlaubt:

- Sind geringdurchlässige homogene Wirtgesteinskörper von ausreichender Mächtigkeit und lateraler Ausdehnung vorhanden?
- Liegen diese Wirtgesteinskörper in geeigneter Tiefe?
- Gibt es unmittelbar angrenzend an diese Wirtgesteinskörper Aquifere?
- Besteht eine Gefährdung der Langzeitsicherheit durch Neotektonik oder Erosion?

### 8.2 Beurteilung der KNS

#### 8.2.1 Zu den Arbeiten der Nagra in Etappe 2

Die Arbeiten der Nagra für Etappe 2 sind im NTB 10-01 in Kapitel 8 dargelegt. Von einigen Arbeiten werden bei Abschluss der Etappe 2 erst Zwischenresultate vorliegen. Dies erschwert eine Beurteilung des Kenntnisstands, der mit diesen Arbeiten erreicht wird.

Die KNS erachtet es als richtig, dass die Nagra ihre Arbeiten primär auf die Nordschweiz konzentriert, da diese Region grundsätzlich bessere Voraussetzungen für die geologische Tiefenlagerung von radioaktiven Abfällen bietet. In diesem Zusammenhang erinnert die KNS daran, dass sie bereits im Rahmen von Etappe 1 empfohlen hat, sich im weiteren Verlauf auf homogene, dichte und gut prognostizierbare Wirtgesteine mit einem hohen Anteil an quellfähigen Tonmineralien und insbesondere den Opalinuston zu konzentrieren. Hinsichtlich der Wirtgesteine sieht die KNS in Übereinstimmung mit der Nagra primär zusätzlichen Abklärungsbedarf beim ‚Braunen Dogger‘ und bei den Effinger Schichten, wenn die Nagra an diesen Wirtgesteinen festhalten will. Einerseits sind diese Gesteine weniger gut abgeklärt und andererseits inhomogener und schwerer prognostizierbar als der Opalinuston. (vgl. 4.2.1)

Nach Ansicht der KNS ist das Netz der Seismiklinien in allen Standortgebieten in der Nordschweiz mit Ausnahme des Zürcher Weinlandes nicht genügend dicht. Die KNS begrüsst deshalb, dass die Nagra zusätzliche 2D-Seismikmessungen vorsieht, welche die Standortgebiete Nördlich Lägeren und Bözberg abdecken. Nach Ansicht der KNS ist aber auch eine Verdichtung der 2D-Seismikmessnetze in den SMA-Standortgebieten Südranden und Jura-Südfuss erforderlich. (vgl. 4.2.2 und 4.2.6 Empfehlung 1)

Zur Interpretation von Seismikmessungen sind einerseits geologische Modelle des zu untersuchenden Untergrunds erforderlich. Solche können aus dem umfangreichen GIS-Datensatz der Nagra abgeleitet werden. (vgl. 4.2.2)

Andererseits müssen die Seismikmessungen anhand von Bohrungen kalibriert werden. Die Nagra will diese Kalibrierung anhand bestehender Tiefbohrungen vornehmen. Beim Standortgebiet Nördlich Lägeren ist dies primär die Bohrung Weiach und beim Standortgebiet Bözberg die Bohrung Riniken. Beide Bohrungen liegen am Rand des jeweiligen Standortgebiets. Da diese Standortgebiete geologisch komplexer sind als das Standortgebiet Zürcher Weinland, wird sich zeigen müssen, ob anhand dieser Bohrungen eine verlässliche und ausreichend differenzierte Bestimmung der geologischen Struktur der interessierenden Gebirgsbereiche möglich ist. Dieselbe Frage stellt sich auch beim Standortgebiet Südranden, wo keine Eichbohrung direkt im Standortgebiet zur Verfügung steht. (vgl. 4.2.2)

Die KNS begrüsst, dass die Nagra ein hydrogeologisches Regionalmodell für die Nordschweiz sowie hydrogeologische Lokalmodelle für die Standortgebiete erstellen will. Für die KNS ist aber offen, ob es möglich sein wird, konsistente und belastbare Modelle zu entwickeln. Abgeklärt muss auch sein, ob sich unmittelbar angrenzend an die Wirtgesteine beziehungsweise an die einschlusswirksamen Gebirgsbereiche Grundwasserleiter befinden. (vgl. 4.2.3)

Die geologische Langzeitentwicklung ist für die Langzeitsicherheit des HAA-Tiefenlagers von grosser Bedeutung. Die KNS misst deshalb den Arbeiten der Nagra zur Neotektonik und zur Erosion grosse Bedeutung zu. Bei den Abklärungen zur glazialen Tiefenerosion empfiehlt sie, zuerst die Arbeiten zur Altersbestimmung an Deckenschottern durchzuführen und das Höhenmodell der Felsoberfläche zu überarbeiten. Erst auf der Basis der Resultate dieser Arbeiten soll entschieden werden, welche Felsrinne angebohrt werden soll. Vom verdichteten Netz der GNSS<sup>13</sup>-Permanent-Messstationen sind erst mittelfristig aussagekräftige Messresultate zu erwarten, die zur Verbesserung des Wissensstands zur Geodynamik und Geotektonik beitragen. (vgl. 4.2.4)

Bei den einzelnen Standortgebieten sind nach Ansicht der KNS verschiedene Aspekte, die für die Einengung in Etappe 2 relevant sind, noch nicht genügend geklärt. Mit den Arbeiten in Etappe 2 muss die Datengrundlage daher entsprechend gezielt ergänzt werden. Dabei kommt der Verdichtung der Seismikmessnetze in den Regionen der Standortgebiete Südranden und Jura-Südfuss grosse Bedeutung zu. (vgl. 4.2.5)

Nach Ansicht der KNS bestehen insgesamt wesentliche Ungewissheiten hinsichtlich des Kenntnisstands, der nach Durchführung der von der Nagra vorgesehenen und der darüber hinaus von der KNS empfohlenen zusätzlichen 2D-Seismik sowie den ergänzenden weiteren Arbeiten vorliegen wird. Nach Abschluss dieser Arbeiten soll deshalb umfassend bewertet werden, ob die Datengrundlagen zur Erreichung der Zielsetzungen von Etappe 2 ausreichen. Die Bewertung soll den im Sachplanverfahren involvierten Fachgremien des Bundes und der Kantone zur Beurteilung unterbreitet werden. (vgl. 4.2.6 Empfehlung 2)

### **8.2.2 Zum Einengungsverfahren**

Die Einengung in Etappe 2 muss aufgrund der Ergebnisse der quantitativen provisorischen Sicherheitsanalysen, der qualitativen Bewertung der Standortgebiete anhand der im Sachplan vorgegebenen Kriterien und des sicherheitstechnischen Vergleichs erfolgen.

---

<sup>13</sup> GNSS: Global Navigation Satellite System

Im Rahmen der quantitativen Sicherheitsanalysen erfolgt die Bewertung der Standortgebiete beziehungsweise der Standorte anhand der charakteristischen Dosisintervalle. Das Vorgehen ist im Sachplan [SGT] und im entsprechenden Dokument des ENSI [ENSI 2010] im Detail beschrieben. Die Nagra hat für alle Standortgebiete auf der Basis der aktuellen Datengrundlage im Hinblick auf die quantitativen provisorischen Sicherheitsanalysen Testrechnungen unter Beachtung dieser Vorgaben durchgeführt. Die dabei verwendeten Modelle sind stark vereinfacht. Gemäss den Resultaten sind alle Standortgebiete geeignet und sicherheitstechnisch gleichwertig. Nach den Erwartungen der KNS werden die von der Nagra für Etappe 2 dargelegten Arbeiten aller Voraussicht nach keine Erkenntnisse liefern, die zum Ausscheiden von Standortgebieten oder Bereichen in Standortgebieten aufgrund der quantitativen provisorischen Sicherheitsanalysen führen werden. (vgl. 5.2)

Damit muss die für Etappe 2 geforderte Einengung der Standortgebiete voraussichtlich anhand der qualitativen Bewertung und des darauf basierenden sicherheitstechnischen Vergleichs erfolgen. Die Nagra hat bereits in Etappe 1 alle Standortgebiete qualitativ anhand der Kriterien im Sachplan bewertet. Dazu hat sie direkte und indirekte Messgrössen für diese Kriterien ermittelt, die sogenannten Indikatoren, und Anforderungen an diese Indikatoren festgelegt. Dabei hat sie zum Teil bereits verschärfte Anforderungen vorgegeben, was im Sachplan für Etappe 1 nicht vorgesehen ist.

Für Etappe 2 legt nun die Nagra neue Prozesse und Parameter fest und ordnet diese den Indikatoren aus Etappe 1 zu. An diese Prozesse und Parameter formuliert sie keine Anforderungen. Die qualitative Bewertung muss daher grundsätzlich wieder an den Indikatoren erfolgen. Die KNS erwartet deshalb, dass nachvollziehbar darlegt wird, wie die Indikatoren auf der Basis der Prozesse und Parameter bewertet werden. (vgl. 6.2.1)

Die Nagra beabsichtigt nicht, an Indikatoren Anforderungen zu stellen, die gegenüber jenen von Etappe 1 verschärft sind. Damit wird voraussichtlich auf Grund der Bewertung anhand der Indikatoren kein Standortgebiet ausscheiden. Neu wird in Etappe 2 aber ein sicherheitstechnischer Vergleich der Standortgebiete durchgeführt. Standortgebiete können gemäss Sachplan ausscheiden, wenn sich dabei zeigt, dass sie gegenüber anderen wesentliche Nachteile aufweisen. Die Einengung wird in Etappe 2 voraussichtlich auf Basis dieser Festlegung erfolgen müssen. Wie der sicherheitstechnische Vergleich anhand der qualitativen Bewertungen erfolgen soll, ist in den behördlichen Vorgaben nur summarisch dargelegt. Nach Auffassung der KNS sollte in Etappe 2 vorgängig zur Einengung die Methodik des qualitativen sicherheitstechnischen Vergleichs genauer spezifiziert werden. Insbesondere sollten Kriterien festgelegt werden, aufgrund welcher entschieden wird, ob ein Standortgebiet gegenüber anderen ‚eindeutige Nachteile‘ aufweist. (vgl. 6.2.1 Empfehlung 3)

Ein Teil der qualitativen Bewertung betrifft die bautechnische Machbarkeit. Die bautechnische Machbarkeit hängt einerseits von den Eigenschaften des Wirtgesteins, der Tiefenlage und der allgemeinen geologischen Situation ab. Andererseits hängt sie aber auch stark vom Lagerkonzept ab, inklusive der Erschliessung der unterirdischen Bauten.

Bei der Erschliessung der unterirdischen Bauten sieht die KNS bei Vertikalschächten Vorteile gegenüber Rampen. Deshalb sollten Erschliessungsvarianten mit Vertikalschächten ohne Rampen umfassend abgeklärt werden. (vgl. 6.2.2 Empfehlung 4)

Das Lagerkonzept beeinflusst nicht nur die bautechnische Machbarkeit, sondern hat wegen der lagerbedingten Einflüsse auch Bedeutung für die Langzeitsicherheit. Die KNS begrüsst deshalb, dass die Nagra in Etappe 2 die Lagerkonzepte überprüfen will. Die KNS hat bereits in ihrer Stellungnahme in Etappe 1 [KNS 2010, 3.2.2.3] die Aspekte aufgeführt, die dabei beachtet werden sollen. Sie empfiehlt, in die Überprüfung das gesamte Spektrum von machbaren Konzepten einzubeziehen, die dem EKRA-Konzept genügen, und die Ergebnisse den

im Sachplanverfahren involvierten Fachgremien des Bundes und der Kantone zur Beurteilung zu unterbreiten. (vgl. 6.2.2 Empfehlung 5)

### **8.2.3 Zur Stellungnahme des ENSI**

Das ENSI hat den Bericht der Nagra [NTB 10-01] systematisch und detailliert überprüft und insgesamt 41 Forderungen formuliert.

Die KNS kann sich dem Fazit des ENSI grundsätzlich anschliessen und unterstützt die Forderungen des ENSI betreffend weiter Untersuchungen in Etappe 2. Sie hält aber darüber hinaus zusätzliche Untersuchungen für erforderlich. Die KNS unterstützt auch den Vorschlag des ENSI, dass die Gesuche für bewilligungspflichtige Untersuchungen in Etappe 3 bereits mit den Unterlagen zu Etappe 2 eingereicht werden sollen.

## **8.3 Empfehlungen der KNS**

Als Ergebnis ihrer Beurteilung macht die KNS folgende Empfehlungen:

### **Empfehlung 1: Zusätzliche 2D-Seismik**

Das 2D-Seismikmessnetz soll auch in den Regionen der Standortgebiete Jura-Südfuss und Südranden verdichtet werden.

### **Empfehlung 2: Lagebeurteilung**

Nach erfolgter Auswertung der von der Nagra vorgesehenen Arbeiten und der darüber hinaus von der KNS empfohlenen zusätzlichen 2D-Seismik sowie den ergänzenden weiteren Arbeiten soll eine Lagebeurteilung erfolgen. Es soll umfassend bewertet werden, ob die Datengrundlagen zur Erreichung der Zielsetzungen von Etappe 2 ausreichen. Die Bewertung soll den im Sachplanverfahren involvierten Fachgremien des Bundes und der Kantone zur Stellungnahme unterbreitet werden. Reicht der Kenntnisstand für eine weitere Einengung aus, soll diese mit einer vorgängig spezifizierten Methodik des sicherheitstechnischen Vergleichs vorgenommen werden. Reichen die Datengrundlagen nicht aus, sind gezielt weitere Untersuchungen wie 3D-Seismik oder Bohrungen durchzuführen.

### **Empfehlung 3: Einengungsmethodik**

Vorgängig zur Einengung in Etappe 2 soll die Methodik des qualitativen sicherheitstechnischen Vergleichs auf der Basis der im Sachplan vorgegebenen Kriterien hinsichtlich Sicherheit und technischer Machbarkeit genauer spezifiziert werden. Dabei sollen insbesondere Kriterien festgelegt werden, aufgrund welcher entschieden wird, ob ein Standortgebiet oder ein Standort gegenüber anderen ‚eindeutige Nachteile‘ aufweist.

### **Empfehlung 4: Erschliessungsvarianten**

Erschliessungsvarianten mit Vertikalschächten ohne Rampen sollen umfassend abgeklärt werden.

### **Empfehlung 5: Lagerkonzepte**

Die Lagerkonzepte sollen noch in Etappe 2 einer grundsätzlichen Überprüfung unterzogen und die entsprechenden Forschungsprojekte mit hoher Priorität bearbeitet werden. In die Überprüfung soll das gesamte Spektrum von machbaren Konzepten einbezogen werden, die dem EKRA-Konzept genügen. Die Ergebnisse dieser Überprüfung sollen den im Sachplanverfahren involvierten Fachgremien des Bundes und der Kantone zur Beurteilung unterbreitet werden.

---

Die vorliegende Stellungnahme wurde von der KNS am 24. Juni 2011 in ihrer 38. Sitzung verabschiedet.

Brugg, 7. Juli 2011

Eidgenössische Kommission  
für nukleare Sicherheit

Der Präsident

Sign. Dr. B. Covelli

Geht an: Eidg. Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)  
Bundesamt für Energie (BFE)  
Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI)



## Anhang

### Aussagekraft von seismischen Messungen

#### *Grundsätzliche Aspekte*

Mit Seismik können nur Impedanzkontraste ermittelt werden. Die Impedanz ist das Produkt von Gesteinsdichte und seismischer Geschwindigkeit.

Die maximale Auflösung hängt von der Wellenlänge der erzeugten seismischen Wellen ab: Bei einer Wellenlänge von 200 m liegt sie im besten Fall bei 20 m für relative Aussagen und bei 50 m für absolute Aussagen.

Bei Seismik ist die 3. Dimension die Laufzeit der Signale und nicht die Tiefe. Um die Tiefe zu bestimmen, müssen deshalb die seismischen Geschwindigkeiten bestimmt werden. Die Tiefenbestimmung ist wegen der sich teilweise auch lateral stark ändernden seismischen Geschwindigkeiten anspruchsvoll.

Das Top Opalinuston kann nur über die Basis des Opalinustons und dessen Mächtigkeit bestimmt werden. Die Basis des Opalinustons lässt sich mit 2D-Seismik recht gut bestimmen, die Mächtigkeit hingegen nicht.

Zur Bestimmung von Tiefenlage, Mächtigkeit und Homogenität der Wirtgesteine sind Daten aus Bohrungen und Aufschlüssen erforderlich. Bei den Rahmengesteinen müssen die grossräumige Deformation, die Bruchmuster und die strukturelle Zerrüttung sowie die verkarstungsaktive Wasserzirkulation bekannt sein.

Zur Interpretation von Seismikdaten ist ein geologisches Modell des Untersuchungsgebiets erforderlich, das mit Deformationsmodellen und hydraulischen Modellen überprüft ist. Je komplexer die geologische Struktur des Untersuchungsgebiets ist, desto mehr Felddaten sind erforderlich.

#### *Abklärung des Untergrunds mit Seismik*

Regionale Strukturverhältnisse können mit 2D-Seismik ermittelt werden. Dazu ist aber ein zusammenhängendes und entsprechend dichtes Netz von Seismiklinien erforderlich. Die Interpretation von 2D-Seismikmessungen kann durch zusätzliche Analyseverfahren sowie Kombination mit Gravimetrie und Präzisionsmessungen des Magnetfeldes verbessert werden. Flache Störungen, wie Abscherungen im Opalinuston, und subvertikale Störungen ohne grossen Versatz lassen sich mit 2D-Seismik allein nicht bestimmen.

Für die Kalibrierung der 2D-Seismik sind zudem Bohrungen erforderlich, bei geologisch komplexen Gebieten in grösserer Zahl als bei geologisch einfachen. Diese Kalibrierbohrungen werden sinnvoll erst nach einer ersten Interpretation der 2D-Seismik festgelegt.

Das Reprozessieren früherer 2D-Seismikmessungen bringt nur dann Verbesserungen, wenn unter anderem statische Korrekturen, Migrationsverfahren und Filterung (Unterdrückung von oberflächennahen Störwellen grosser Amplituden) noch wesentlich verbessert werden können.

Für die Bestimmung der lokalen Strukturen und Geometrien ist 3D-Seismik erforderlich, wie sie von der Nagra im Zusammenhang mit dem Entsorgungsnachweis für HAA im Zürcher

Weinland durchgeführt wurde. Zusätzliche refraktionsseismische Messungen sind zur Bestimmung der seismischen Geschwindigkeiten sinnvoll.

Interne Strukturen in lokalen Gesteinskomplexen können nur mit einer Kombination von Bohrungen, Bohrlochtomographie und gezielter 3D-Seismik erfasst werden. Für hohe Auflösungen ist Bohrlochtomographie mit Bohrungen in Abständen von 2–3 km erforderlich.

Die von der Nagra als 3D-Seismik bezeichnete flächenmässige Aufnahme von Reflexionsseismik (Bsp. 3D-Seismik der Nagra im Zürcher Weinland) ist zwar in der Exploration üblich, entspricht für sich allein aber nicht einer 3D-seismischen Tomographie. In Kombination mit Bohrungen, Bohrlochtomographie und 3D-Geschwindigkeitsaufnahmen ist 3D-Seismik die beste heute verfügbare Methode zur Erfassung der oberflächennahen 3D-Geometrien, Strukturen und Gesteinsparameter.



## Referenzen

- [ENSI 2010] ENSI 33/075: Anforderungen an die provisorischen Sicherheitsanalysen und den sicherheitstechnischen Vergleich, Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2; ENSI, April 2010 ([www.ensi.ch](http://www.ensi.ch))
- [ENSI 2011] ENSI 33/115: Stellungnahme zu NTB 10-01 ‚Beurteilung der geologischen Unterlagen für die provisorischen Sicherheitsanalysen in Etappe 2 SGT‘, Sachplan geologische Tiefenlager; ENSI, März 2011 ([www.ensi.ch](http://www.ensi.ch))
- [ENSI-G03] ENSI-G03: Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis, Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen; ENSI, April 2009 ([www.ensi.ch](http://www.ensi.ch))
- [KNS 2010] KNS 23/219: Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 1, Stellungnahme zum sicherheitstechnischen Gutachten des ENSI zum Vorschlag geologischer Standortgebiete; KNS, April 2010 ([www.kns.admin.ch](http://www.kns.admin.ch))
- [KNS/Nagra 2011] KNS 23/253: Fachgespräch vom 23. Mai 2011 mit Experten der Nagra; KNS, 7. März 2011
- [Müller 2011] Zu erwartende tektonische Verhältnisse im Standortgebiet Südranden; Erich R. Müller, 26. Mai 2011
- [NTB 08-03] Technischer Bericht 08-03: Darlegung der Anforderungen, des Vorgehens und der Ergebnisse, Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager; Nagra, Oktober 2008 ([www.nagra.ch](http://www.nagra.ch))
- [NTB 10-01] Technischer Bericht 10-01: Beurteilung der geologischen Unterlagen für die provisorischen Sicherheitsanalysen in SGT Etappe 2, Klärung der Notwendigkeit ergänzender geologischer Untersuchungen; Nagra, Oktober 2010 ([www.nagra.ch](http://www.nagra.ch))
- [SGT] Sachplan geologische Tiefenlager, Konzeptteil; BFE, 2. April 2008 ([www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch))

## Abkürzungen

BE	(abgebrannte) Brennelemente
BFE	Bundesamt für Energie
EKRA	Expertengruppe Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
GIS	Geographisches Informationssystem
GNSS	Global Navigation Satellite System
HAA	Hochaktive Abfälle: abgebrannte Brennelemente und verglaste Spaltprodukte aus der Wiederaufarbeitung (Art. 51 KEV)
KEG	Kernenergiegesetz (SR 732.1)
KNS	Eidgenössische Kommission für nukleare Sicherheit
NTB	Nagra Technischer Bericht
SMA	Schwach- und mittelaktive Abfälle: alle radioaktiven Abfälle, die nicht den hochaktiven oder den alphanuklidischen zugeteilt sind (Art. 51 KEV)



Eidgenössische Kommission  
für nukleare Sicherheit  
Gaswerkstrasse 5  
5200 Brugg  
Schweiz / Switzerland

Telefon +41 56 462 86 86  
[contact@kns.admin.ch](mailto:contact@kns.admin.ch)  
[www.kns.admin.ch](http://www.kns.admin.ch)