



# Stellungnahme der ESchT zum 2x2-Vorschlag der Nagra

**Autoren:**

Prof. Dr. J.-D. Eckhardt  
G. Enste  
Dr. P. Hocke  
B. Kallenbach-Herbert  
Prof. Dr. K.-H. Lux  
Dr. J. Mönig  
Prof. Dr. Dr. B. Müller  
Dr. E. Nitsch  
Prof. Dr. S. Schlacke  
Prof. Dr. S. Siedentop  
Prof. Dr. R. Watzel (bis 31.03.16)

**Leitung:**

Dr. W. Hund (BfS)  
Januar 2017

## **Expertengruppe-Schweizer-Tiefenlager**

Im Juni 2006 hat das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) die deutsche „Expertengruppe-Schweizer-Tiefenlager“ (ESchT) einberufen. Die Expertengruppe soll Fragen des BMUB und der deutschen Begleitkommission Schweiz (BeKo-Schweiz) zum Sachplan geologische Tiefenlager der Schweiz beantworten sowie das Standortauswahlverfahren fachlich begleiten.

Kontakt:

Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH

Hr. Karsten Schüler

Schwertnergasse 1

50667 Köln

Karsten.Schueler@grs.de

Tel.: +49 (0) 221-20 68-689

Fax: +49 (0) 221-20 68-734

Internet: [www.escht.de](http://www.escht.de)

### **Anmerkung:**

Dieser Bericht ist von der Expertengruppe-Schweizer-Tiefenlager (ESchT) im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) erstellt worden.

Der Bericht kann unter Quellenangabe zitiert und auszugsweise reproduziert werden.

## Inhalt

1.	Einleitung .....	1
2.	Methodisches Vorgehen in Etappe 2 – Überblick .....	3
3.	Provisorische Sicherheitsanalysen.....	8
3.1.	Inventar der zu entsorgenden Abfälle .....	8
3.2.	Betrachtete Szenarien für die Radionuklidfreisetzung .....	9
3.3.	Biosphärenmodellierung.....	11
3.4.	Ergebnisse der provisorischen Sicherheitsanalysen.....	13
3.5.	Gesamtbewertung zu den provisorischen Sicherheitsanalysen.....	14
4.	Rückstellung von Standortgebieten.....	16
4.1	Auswahl prioritäres Wirtsgestein .....	16
4.2	Standortspezifische Platzangebote und Platzbedarfe.....	18
4.2.1	Untere Abgrenzungen .....	19
4.2.2	Obere Abgrenzungen .....	24
4.2.3	Laterale Abgrenzungen .....	26
4.2.4	Platzbedarfe.....	28
4.3	Zur Zurückstellung vorgeschlagene Standortgebiete.....	32
4.3.1	Wellenberg.....	32
4.3.2	Jura-Südfuss.....	34
4.3.3	Nördlich Lägern .....	36
4.3.4	Südranden .....	40
5.	Vorgeschlagene Standortgebiete .....	43
5.1.	Jura Ost .....	43
5.2.	Zürich Nordost .....	45
6.	Zusammenfassung .....	48
7.	Referenzen .....	53

## 1. Einleitung

In der vorliegenden Stellungnahme befasst sich die deutsche Expertengruppe-Schweizer-Tiefenlager (ESchT) mit dem von der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) am 30.01.2015 veröffentlichten Vorschlag, die Standortgebiete Zürich Nordost und Jura Ost in Etappe 3 für ein SMA-, HAA- bzw. Kombilager weiter zu untersuchen. Dieser sogenannte 2x2-Vorschlag der Nagra wurde durch die ESchT im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) bewertet.

Ein Auswahlverfahren, mit dem Standorte für Tiefenlager für radioaktive Abfälle gesucht werden, muss aus Sicht der ESchT hohen Anforderungen an die Transparenz und die Nachvollziehbarkeit der Vorgehensweise sowie an die Begründungen für die im Verfahren getroffenen Entscheidungen genügen. Zentrale Aspekte für die von den Entscheidungen betroffenen Bürger sind dabei eine größtmögliche Objektivität im Bewertungsprozess sowie durchgehende Verfahrensgerechtigkeit.

Im Rahmen der Etappe 1 des Sachplans geologische Tiefenlager (SGT, BFE 2008) hatte die Nagra nach Anwendung eines Einengungsprozesses drei Standortgebiete ausschließlich für SMA-Tiefenlager und drei Standortgebiete, die sowohl für ein HAA-, SMA- oder Kombilager in Frage kommen, zur Aufnahme in den Sachplan geologische Tiefenlager (SGT) vorgeschlagen. Am 30.11.2011 hatte der Schweizer Bundesrat diesem Vorschlag zugestimmt.

Gemäß SGT wurden diese sechs Standortgebiete im Zuge der Etappe 2 von der Nagra sicherheitstechnisch vertieft untersucht und einem weiteren Einengungsprozess unterzogen mit dem Ziel, mindestens je zwei Standorte für ein HAA- und SMA-Tiefenlager vorzuschlagen. Eine wichtige Voraussetzung hierfür war, dass der geologische Kenntnisstand zu allen betrachteten Standortgebieten einen sachgerechten sicherheitstechnischen Vergleich der Standorte zulässt. Im Ergebnis der Untersuchungen schlug die Nagra am 30.01.2015 vor, die Standortgebiete Zürich Nordost und Jura Ost in Etappe 3 für ein SMA-, HAA- bzw. Kombilager weiter zu untersuchen. Die übrigen vier Standortgebiete sollen zurückgestellt werden, da sie nach Einschätzung der Nagra eindeutige sicherheitstechnische Nachteile gegenüber den Standortgebieten Zürich Nordost und Jura Ost aufweisen. Die Grundlagen für den Vorschlag wurden von der Nagra in einer ganzen Reihe von Technischen Berichten (NTB 14-01, NTB 14-02, NTB 14-03) sowie einer großen Zahl untersetzender Arbeitsberichte (NAB) dokumentiert.

Im Rahmen der detaillierten Prüfung und Bewertung der von der Nagra zum 2x2-Vorschlag vorgelegten Berichte hat das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) Ende

August 2015 u. a. festgestellt, dass die von der Nagra für die Bewertung der Standortgebiete verwendete Datengrundlage in Bezug auf einen für die Rückstellung des Standortgebiets Nördlich Lägern entscheidenden Indikator „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ „nicht nachvollziehbar und belastbar“<sup>1</sup> ist. Das ENSI hat demzufolge entsprechende Nachforderungen an die Nagra gestellt (ENSI 33/476). Die Nagra hat im August 2016 in sechs Arbeitsberichten (NAB 16-41 bis NAB 16-46) diese Nachforderungen aufgegriffen und auf dieser Basis die Rückstellung des Standortgebiets Nördlich Lägern bestätigt. Diese Dokumente sind ebenfalls Grundlage dieser ESchT-Stellungnahme.

In Etappe 2 zurückgestellte Standortgebiete werden zunächst beim weiteren Einengungsprozess nicht mehr betrachtet. Die ESchT hat wiederholt betont, dass eine Zurückstellung oder ein Ausschluss von Standortgebieten zweifelsfrei begründet werden muss. Eine Zurückstellung oder ein Ausschluss von Standortgebieten allein aufgrund von Ungewissheiten bei Datenbeständen ist nicht zulässig. Ein wichtiger Aspekt der Bewertungen der ESchT war deshalb die Überprüfung der Gründe für die Zurückstellung der vier Standortgebiete durch die Nagra. Der Aufbau der vorliegenden Stellungnahme der ESchT folgt diesem Gedanken, in dem vorrangig bewertet wird, ob die von der Nagra angeführten Gründe für die Einengung auf bestimmte Wirtsgesteinsoptionen und für die Rückstellung von Standortgebieten von der ESchT nachvollzogen werden können und die Einschätzungen der Nagra geteilt werden.

In die Bewertungen der ESchT ist auch eingeflossen, inwieweit von der Nagra die Stellungnahme der ESchT vom Mai 2011 (ESchT 2011) berücksichtigt worden ist, in der Anforderungen an die Etappe 2 formuliert wurden.

Die Nagra hat in einem sehr umfangreichen Dokumentensatz die wissenschaftlichen Grundlagen, auf denen ihr 2x2-Vorschlag basiert, dokumentiert. Eine systematische und umfassend detaillierte Überprüfung der Faktenlage durch die ESchT ist aufgrund der begrenzten Ressourcen der ESchT nicht möglich. Die ESchT führte allerdings Plausibilitätsprüfungen sowie stichprobenartige Prüfungen an einigen Stellen durch, zu denen detailliertere Kenntnisse bei den ESchT-Mitgliedern vorliegen. Die ESchT geht davon aus, dass die von der Nagra für den Auswahlprozess herangezogenen geowissenschaftlichen Daten durch Schweizer Institutionen einer weiteren umfassenden und kritischen Prüfung unterzogen werden.

---

<sup>1</sup> Gemäß ENSI 33/075 wird unter einer „belastbaren Aussage“ eine „Aussage, die auch unter Berücksichtigung der bestehenden Variabilitäten und Ungewissheiten in Daten und Prozessen gültig ist“, verstanden.

## 2. Methodisches Vorgehen in Etappe 2 – Überblick

Die Grundsätze für das methodische Vorgehen in Etappe 2 zur Auswahl von mindestens je zwei Standorten für ein HAA- und SMA-Tiefenlager sind im Konzeptteil des SGT vom 2. April 2008 (BFE 2008) vorgegeben. Neben den methodischen Vorgaben des SGT wurden vom ENSI (vormals HSK) Vorgaben für das sicherheitsgerichtete Vorgehen im Sachplanverfahren veröffentlicht, die das Vorgehen präzisieren (HSK 33/001, ENSI 33/075, ENSI 33/154, ENSI 33/155, ENSI 33/170). Im Rahmen dieser Vorgaben hat die Nagra das Verfahren ausgestaltet (NTB 14-01). Insgesamt stellt sich die Methodik wie folgt dar:

Wie bereits in Etappe 1 hat auch in Etappe 2 die sicherheitstechnische Bewertung im Einengungsprozess die höchste Priorität. Aspekte der Raumplanung, Ökologie, Wirtschaft und Gesellschaft haben für den 2x2-Vorschlag der Nagra keine Rolle gespielt.

Die Methodik beinhaltet quantitative und qualitative Bewertungsteile. Der Vergleich der Standorte erfolgt auf Basis einer Gesamtbewertung, in der die quantitativen Ergebnisse der provisorischen Sicherheitsanalysen und die sich daran anschließende qualitative Bewertung anhand von vier Kriteriengruppen – gegliedert in 13 Kriterien – (s. Tabelle 1) zu einer Gesamtbewertung zusammengefasst werden. Den 13 Kriterien wurden von der Nagra in Etappe 1 insgesamt 49 Indikatoren zugeordnet (s. a. NTB 14-01, Tabelle 2.3-2). Für die Bewertung, Optimierung und Einengung wurde von der Nagra in Etappe 2 die Zahl der Indikatoren gegenüber Etappe 1 reduziert, da diese entweder zur Bewertung der geologisch-tektonischen Großräume verwendet wurden und damit nicht mehr relevant sind oder (auch aufgrund verbesserten Kenntnisstands) mit anderen Indikatoren besser erfasst werden (NTB 14-01, S. 32, S. 54f).<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Dies betrifft beispielsweise den Indikator „Tektonisches Regime“, da ungünstige tektonische Regime in Etappe 2 nicht mehr vertreten sind, oder den Indikator „Diffus gestörte Zonen“, der in Etappe 2 durch den Indikator „Regionale tektonische Elemente“ erfasst wird.

**Tabelle 1:** Kriterien zur Standortevaluation hinsichtlich Sicherheit und technischer Machbarkeit (BFE 2008)

Kriteriengruppe		Kriterien	
<b>1</b>	<b>Eigenschaften des Wirtsgesteins bzw. einschlusswirksamen Gebirgsbereichs</b>	<b>1.1</b>	<b>Räumliche Ausdehnung</b>
		<b>1.2</b>	<b>Hydraulische Barrierenwirkung</b>
		<b>1.3</b>	<b>Geochemische Bedingungen</b>
		<b>1.4</b>	<b>Freisetzungspfade</b>
<b>2</b>	<b>Langzeitstabilität</b>	<b>2.1</b>	<b>Beständigkeit der Standort- und Gesteinseigenschaften</b>
		<b>2.2</b>	<b>Erosion</b>
		<b>2.3</b>	<b>Lagerbedingte Einflüsse</b>
		<b>2.4</b>	<b>Nutzungskonflikte</b>
<b>3</b>	<b>Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen</b>	<b>3.1</b>	<b>Charakterisierbarkeit der Gesteine</b>
		<b>3.2</b>	<b>Explorierbarkeit der räumlichen Verhältnisse</b>
		<b>3.3</b>	<b>Prognostizierbarkeit der Langzeitveränderungen</b>
<b>4</b>	<b>Bautechnische Eignung</b>	<b>4.1</b>	<b>Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen</b>
		<b>4.2</b>	<b>Untertägige Erschließung und Wasserhaltung</b>

In dem quantitativen Teil der Vergleichsmethodik sind provisorische Sicherheitsanalysen für jedes Standortgebiet mit dem Ziel durchzuführen, das charakteristische Dosisintervall zu ermitteln, das sich aus den errechneten Radionuklidfreisetzungen für die wahrscheinliche Entwicklung des Gesamtsystems (Referenzfall) und für ein standardisiertes Parametervariationsverfahren (ENSI 33/075) ableitet. Damit werden beim quantitativen Vergleich die Robustheit des Tiefenlagersystems und Angaben zu Variationsbreiten und Ungewissheiten der in den provisorischen Sicherheitsanalysen verwendeten Parameter berücksichtigt. Diese provisorischen Sicherheitsanalysen beziehen sich auf die Langzeitsicherheit nach dem Verschluss eines zukünftigen Endlagers. Die Ergebnisse dienen dem sicherheitstechnischen Vergleich von Standorten und geben auch Hinweise auf den Umfang der notwendigen weiteren Untersuchungen in Etappe 3.

Die Standorte, die nicht aufgrund der Dosisberechnungen zurückgestellt werden und zunächst im Verfahren verbleiben, werden anhand der 13 Kriterien gemäß SGT hinsichtlich Sicherheit und (bau-) technischer Machbarkeit bewertet.

Gestützt auf die Beschreibung und Anwendung der Kriterien zur Sicherheit und technischen Machbarkeit im SGT hat das ENSI in ENSI 33/154 die folgenden vier entscheidungsrelevanten Merkmale (entsprechend den Kriteriengruppen des Konzeptteils SGT) vorgegeben und erläutert:

- (W): Wirksamkeit der geologischen Barriere,
- (E): Explorierbarkeit, bzw. Charakterisierbarkeit der geologischen Barriere,
- (L): Langzeitstabilität der geologischen Barriere und
- (B): bautechnische Machbarkeit.

Diese entscheidungsrelevanten Merkmale werden mit Hilfe einer Auswahl von 20 entscheidungsrelevanten Indikatoren bewertet (s. a. NTB 14-01, Tab. 2.3-1). Die entscheidungsrelevanten Indikatoren zu den entscheidungsrelevanten Merkmalen W und E sind kompensierbar (s. a. NTB 14-01; Fußnote 44 auf S. 60). Dementsprechend wird in der Bewertung dieser entscheidungsrelevanten Merkmale jeweils eine arithmetische Mittelung mit Gleichgewichtung der entscheidungsrelevanten Indikatorwerte vorgenommen. Die entscheidungsrelevanten Indikatoren der entscheidungsrelevanten Merkmale L und B hingegen sind nicht kompensierbar. In der Bewertung der nicht kompensierbaren Merkmale findet keine Mittelwertbildung der zugehörigen Indikatoren statt, sondern der jeweils schlechteste Indikatorwert bestimmt die Bewertung des Merkmals.

In der Umsetzung der Auswahlmethodik der Nagra werden nach dem Grundsatz der optimalen Nutzung der geologischen Standortgebiete aus Etappe 1 die folgenden Schritte in Etappe 2 durchlaufen (NTB 14-01):

1. Festlegen des Vorgehens gemäß behördlicher Vorgaben
2. Festlegung prioritärer Wirtsgesteine (Dosisberechnungen und qualitative Bewertung anhand der Kriterien)
3. Abgrenzung optimierter Lagerperimeter
4. Bewertung optimierter Lagerperimeter (Dosisberechnungen und qualitative Bewertung anhand der Kriterien)
5. Sicherheitstechnischer Vergleich und Vorschläge der Nagra für Etappe 3.

Die Nagra stellt Standortgebiete in Etappe 2 zurück, falls mindestens eine der folgenden vier Leitfragen des ENSI (ENSI 33/154) belastbar mit „ja“ beantwortet wird:

1. Erfüllt das Standortgebiet das Dosis-Schutzkriterium nicht?

2. Ist das Standortgebiet aufgrund der Ergebnisse der Dosis-Berechnungen eindeutig weniger geeignet?
3. Ist die Gesamtbewertung des Standortgebiets schlechter als „geeignet“?
4. Weist das Standortgebiet anhand der Kriterien zur Sicherheit und technischen Machbarkeit belastbare eindeutige Nachteile gegenüber anderen Standortgebieten aus?

Die vier Leitfragen sind hierarchisch geordnet und werden sequentiell beantwortet. Eine Bewertung, ob Standortgebiete eindeutige Nachteile gegenüber anderen Standortgebieten aufweisen, erfolgt nur für die Standortgebiete, bei denen jeweils die ersten drei Leitfragen mit „nein“ beantwortet wurden. Das bedeutet, dass der Vergleich in Leitfrage 4 zwischen Standortgebieten erfolgt, die das Dosis-Schutzkriterium erfüllen (Leitfrage 1), aufgrund der Ergebnisse der Dosisberechnungen nicht eindeutig weniger geeignet sind (Leitfrage 2) und in der Gesamtbewertung in Bezug auf Sicherheit und bautechnische Machbarkeit mindestens „geeignet“ sind (Leitfrage 3).

Die Bewertung von eindeutigen Nachteilen erfolgt auf der Ebene der Kriterien bezüglich Sicherheit und bautechnischer Machbarkeit und der zugehörigen Indikatoren überwiegend auf einer qualitativen Argumentationsbasis.

Eindeutige Nachteile im Vergleich mit anderen Standortgebieten sind zu begründen. Die Aussagen müssen belastbar sein, d. h., es müssen auch Angaben über Variabilitäten und Ungewissheiten gemacht werden und bei der Bewertung entsprechend berücksichtigt werden. Das Zurückstellen eines Standortgebietes aufgrund von Datenungleichheiten ist nicht zulässig.

Dem SGT folgend verbleiben bis zur Erteilung der Rahmenbewilligung alle zurückgestellten Standortgebiete für einen ggf. vorzunehmenden Rückgriff grundsätzlich im Verfahren.

### ***Einschätzung der ESchT:***

- Die Einengung von potenziell geeigneten Standortregionen in der Etappe 2 mit dem Ziel mindestens zwei Standorte jeweils für ein HAA- und für ein SMA-Tiefenlager zu finden, wurde kriteriengestützt nach der dargelegten Methode durchgeführt. Bislang wurden weltweit Endlagerstandortauswahlprozesse mit einem derart breiten Ansatz nicht durchgeführt.

Mit der Anwendung von quantitativen Ergebnissen aus provisorischen Sicherheits-

analysen und qualitativen Elementen und deren Aggregation zu einer Gesamtbewertung wird aus Sicht der ESchT u. a. auch der Safety Case Gedanke<sup>3</sup> aufgegriffen, wie er von der OECD/NEA (NEA 2004, NEA 2013) und der IAEA (IAEA 2012) diskutiert wird. Dieses methodische Vorgehen ist sachgerecht und repräsentiert den Stand von Wissenschaft und Technik für ein Standortauswahlverfahren.

- Die von der Nagra vorgelegten Unterlagen (Nagra Technische Berichte und referenzierte Arbeitsberichte) sind sehr umfang- und detailreich. Die Berichte können von der Nagra-Webseite heruntergeladen werden und sind somit jedem Interessierten zugänglich, was von der ESchT als sehr positiv bewertet wird. Allerdings ist die Systematik der Berichtsinhalte schwer nachvollziehbar, um relevante Textstellen bestimmten Stichworten oder Fragestellungen zuzuordnen, so dass einige Sachverhalte von externen Experten kaum beurteilt werden können. Ein Strukturplan o. ä., in dem vorhabenträgerseitig sämtliche für das Schweizer Standortauswahlverfahren relevanten Berichte – möglichst mit thematischer Zuordnung und hierarchisch strukturiert – aufgeführt sind, wäre aus Sicht der ESchT wünschenswert und würde die Nachvollziehbarkeit der Nagra-Vorschläge wesentlich erleichtern.

---

<sup>3</sup> Mit einem Safety Case werden vom Vorhabenträger quantitative, anhand numerischer Berechnungen ermittelte Bewertungsgrößen sowie qualitative Argumente zu einer Gesamtaussage zusammengeführt, um umfassend zu belegen und zu begründen, dass ein Endlager an einem Standort in Verbindung mit dem technischen Endlagerkonzept sicher betrieben und langzeitsicher verschlossen werden kann.

### 3. Provisorische Sicherheitsanalysen

Voraussetzung für die Durchführung der provisorischen Sicherheitsanalysen sind Kenntnisse zu den Eingangsgrößen mitsamt ihren Variabilitäten und/oder Ungewissheiten. Dazu gehören das zu entsorgende radioaktive Inventar, die geologischen Gegebenheiten in den Standortgebieten mitsamt den dazugehörenden Kennwerten, Vorstellungen zum technischen Endlagerkonzept und Modellkonzepte für die im Endlagersystem ablaufenden Prozesse. Hierfür müssen geeignete qualifizierte Programme zur Berechnung der Radionuklidenausbreitung zur Verfügung stehen.

#### 3.1. Inventar der zu entsorgenden Abfälle

Bereits für die Identifizierung von potenziellen geologischen Standortgebieten in Etappe 1 wurde von der Nagra ein Modellinventar der im Tiefenlager zu entsorgenden radioaktiven Materialien (MIRAM) aufgestellt und im Bericht NTB 08-06 dokumentiert. Diese Zusammenstellung wurde im März 2010 in Teil II der ESchT-Stellungnahme zur Etappe 1 (ESchT 2010) positiv bewertet. In Etappe 2 wurde von der Nagra das Modellinventar im Jahr 2014 aktualisiert und im Bericht NTB 14-04 dokumentiert. Die Aktualisierungen reflektieren die geänderten Randbedingungen der Kernenergienutzung für die Stromerzeugung in der Schweiz und die neuen Erkenntnisse zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme der geologischen Tiefenlager.

Die beiden MIRAM-Berichte aus den Jahren 2008 (NTB 08-06) und 2014 (NTB 14-04) sind bzgl. der genannten Abfallmengen und der Radionuklidinventare nicht direkt vergleichbar, da unterschiedliche Szenarien für die Ableitung der Zahlenwerte zugrunde gelegt wurden:

- Basisszenario MIRAM 08 – Betriebszeit für alle KKW 50 Jahre; Abfälle aus dem Bereich der medizinischen und industriellen Nutzung von Radionukliden (MIF-Abfälle) werden bis 2050 gesammelt, 142 Abfallarten,
- Basisszenario MIRAM 14 – Betriebsdauer für ein KKW 47 Jahre, für restliche KKW 60 Jahre; MIF-Abfälle werden bis 2065 gesammelt, 162 Abfallarten<sup>4</sup>.

Im MIRAM 14 werden für die Lagerung der schwach-radioaktiven Abfälle zum Teil neue, kleinere Endlagerbehälter betrachtet. Insgesamt werden im MIRAM 14 nunmehr 631 Abfallgebindetypen mit 14 Abfallsorten-Behältertypen betrachtet, für deren Einlagerung 9 Endlagerbehälter in Frage kommen, die in NAB 14-104 im Detail beschrieben werden.

---

<sup>4</sup> Im SGT und in den Berichten der Nagra wird der Begriff Abfallsorten für die verschiedenen Typen der Abfälle verwendet. In Deutschland ist der Begriff Abfallarten gebräuchlicher.

**Einschätzung der ESchT:**

- Die Änderungen in dem neuen Modellinventar MIRAM 14 (NTB 14-04) sind nach Einschätzung der ESchT nachvollziehbar. Sie stellen Anpassungen an die seit Abschluss der Etappe 1 erfolgten Festlegungen zur Nutzung der Kernenergie in der Schweiz, an aktualisierte Zeitabschätzungen für die Inbetriebnahme der Tiefenlager und damit den Sammelzeitraum der MIF-Abfälle sowie an die zu betrachtenden Abfallgebindetypen dar. Im Hinblick auf die Ergebnisse der Dosisberechnungen bei den provisorischen Sicherheitsanalysen üben die Änderungen des Modellinventars aus Sicht der ESchT keinen relevanten Einfluss aus.

**3.2. Betrachtete Szenarien für die Radionuklidfreisetzung**

Im Bericht ENSI 33/075 sind die Anforderungen zur Durchführung der provisorischen Sicherheitsanalysen detailliert festgelegt. Die provisorischen Sicherheitsanalysen in Etappe 2 umfassen für jeden Standort zwei Elemente:

- Freisetzungsberechnungen für die realistischer Weise zu erwartende Entwicklung des Tiefenlagers (Referenzszenarium) sowie
- Betrachtungen der Robustheit des Endlagersystems und Berücksichtigung der Ungewissheiten und Variabilitäten der quantitativen Parameter anhand eines standardisierten Parametervariationsverfahrens.

Beim standardisierten Parametervariationsverfahren sollen für das SMA-Lager fünf Fälle berechnet werden, bei denen gegenüber dem Referenzfall einzelne, sich ungünstig auswirkende Parameterwerte<sup>5</sup> unterstellt werden. Für das HAA-Lager sind zusätzlich die Robustheit gegenüber alternativen Annahmen zum Verhalten der technischen Barrieren zu untersuchen<sup>6</sup>.

Über die in ENSI 33/075 aufgeführten Fälle hinaus hat die Nagra jeweils eine Reihe von weiteren Rechenfällen betrachtet. Für jedes Standortgebiet wurde ein maßgebender Fall für die Einengung sowie eine Reihe von Fällen zur Erfassung von Ungewissheiten bzgl. ausgewählter Prozesse und Parameter bzw. Indikatoren betrachtet. Der maßgebende Fall für die Einengung basiert laut Nagra auf einer ungünstigen Situation, die für den Betrachtungszeitraum

---

<sup>5</sup> Erhöhter Wasserfluss im Tiefenlagerbereich, ungünstigere Diffusionskoeffizienten, erhöhte nuklidspezifische Löslichkeitswerte, verringerte Sorptionskoeffizienten und alternative Klimavarianten

<sup>6</sup> Erhöhte Freisetzung von Radionukliden durch erhöhte Auflösungsrate der Brennelemente sowie eine frühzeitige Freisetzung von Radionukliden aus Brennelementen und verglasten Abfällen aufgrund einer begrenzten Lebensdauer der Endlagerbehälter

aufgrund einzelner Evidenzen oder allgemeiner lithologischer Überlegungen nicht auszuschließen ist und die auch nach zusätzlichen Untersuchungen voraussichtlich nicht ausgeschlossen werden kann. Der maßgebende Fall für die Einengung wurde für jedes Standortgebiet bei der Ermittlung des charakteristischen Dosisintervalls berücksichtigt.

Eine Freisetzung von Radionukliden aus dem Endlager kann grundsätzlich entweder großflächig durch das Wirtsgestein selbst erfolgen oder entlang der bei der Errichtung des Tiefenlagers geschaffenen Wegsamkeiten (Einlagerungsstrecken, Rampe und Schächte). Die Nagra hat die potenziellen Auswirkungen einer Radionuklidausbreitung aus einem verfüllten und verschlossenen Tiefenlager entlang dieser beiden möglichen Ausbreitungswege berechnet. Dabei wurden für beide Lagertypen (SMA- und HAA-Lager) auch die Auswirkungen der Gasbildung auf die Radionuklidfreisetzung und damit die Langzeitsicherheit untersucht. Diese liegen potenziell sowohl in einem Verdrängen von Porenwässern mit gelösten Radionukliden aus dem Nahfeld als auch in dem Transport von volatilen Radionukliden in der Gasphase. Die verschiedenen Studien belegen, dass die Auswirkungen der Gasbildung auf die Langzeitsicherheit klein sind (NTB 14-03)<sup>7</sup>. Sie wurden von der Nagra deshalb in den Dosisberechnungen für die provisorischen Sicherheitsanalysen nicht explizit berücksichtigt.

Eine Freisetzung von Radionukliden entlang der Strecken, Rampen und Schächte ist bei Modellrechnungen der Nagra mit realistischen Parameterwerten sehr gering im Vergleich zur Radionuklidfreisetzung durch das Wirtsgestein (NTB 14-10). Die Berechnung der charakteristischen Dosisintervalle und die Bewertung der Wirksamkeit des Barrierensystems erfolgten durch die Nagra deshalb nur anhand des Radionuklidtransports von im Porenwasser gelösten Radionukliden durch das Wirtsgestein und die Rahmengesteine. Die Ergebnisse im Bericht NTB 14-03 zeigen, dass der Transport überwiegend diffusiv erfolgt.

Die Charakteristika der Dosiskurven für den Referenzfall und das standardisierte Parameter variationsverfahren sind für die verschiedenen Standortregionen für HMA- bzw. SMA-Tiefenlager ähnlich. Unterschiede in den charakteristischen Dosisintervallen ergeben sich aus dem Inventar und der Art der radioaktiven Abfälle, der Größe des Tiefenlagers sowie den Freisetzungsmodi der Radionuklide aus den Abfällen.

---

<sup>7</sup> Ergänzend hat die Nagra darauf hingewiesen, dass durch geeignete technische Maßnahmen (z. B. Wahl alternativer Materialien für die HAA-Behälter mit deutlich geringerer Gasbildungsrate, geeignete Abfallbehandlungsmethoden) eine deutlich reduzierte Gasbildungsrate erreicht werden kann.

**Einschätzung der ESchT:**

- Die betrachteten Fälle und Parametervariationen für die Radionuklidfreisetzungsberechnungen gehen über die Anforderungen des SGT und des ENSI hinaus. Sie sind nach Einschätzung der ESchT geeignet, die Robustheit gegenüber einer großen Bandbreite möglicher Parameterwerte und Entwicklungen an den Standortgebieten zu bewerten und einen sicherheitstechnischen Vergleich von Standortgebieten durchzuführen.
- Die Schlussfolgerungen der Nagra zur geringen Bedeutung einer Radionuklidfreisetzung entlang der bei der Errichtung des Tiefenlagers geschaffenen Wegsamkeiten sind nachvollziehbar. Da eine Reihe von Modellannahmen getroffen wurde, die zu einer Überschätzung der Auswirkungen der Radionuklidfreisetzung entlang dieses Freisetzungspfades führen (konservative Parameterwerte<sup>8</sup>), teilt die ESchT die Einschätzung der Nagra, dass eine Radionuklid-Ausbreitung aus dem Tiefenlager im Wesentlichen durch das Wirtsgestein und die Rahmengesteine erfolgt.

**3.3. Biosphärenmodellierung**

Dosisberechnungen erfolgen jeweils auf Basis eines Biosphärenmodells, das sich auf ein abgegrenztes Gebiet bezieht, in dem sich eine von der Radionuklidfreisetzung aus dem geologischen Tiefenlager potenziell am meisten betroffene Bevölkerungsgruppe dauerhaft aufhält. Im Biosphärenmodell wird das Verhalten der Radionuklide in der Biosphäre abgebildet und die wichtigsten Expositionspfade sowie Festlegungen zu den Ernährungsgewohnheiten werden berücksichtigt. Für jedes geologische Standortgebiet wurde von der Nagra das Spektrum typischer Exfiltrationssituationen mit den jeweiligen hydrogeologischen und hydrologischen Kennwerten für die Grundwasserleiter in den Exfiltrationsgebieten beschrieben. Dazu wurden ein regionales hydrogeologisches Modell für die Nordschweiz sowie lokale hydrogeologische Modelle für die Standortgebiete erstellt und dokumentiert. In den sechs geologischen Standortgebieten gibt es insgesamt 16 Exfiltrationsgebiete, deren heutige Situation in NAB 13-75 dargestellt ist. Für jedes Exfiltrationsgebiet wurden Biosphärentransferkoeffizienten (BTK)<sup>9</sup> für das heutige Klima berechnet. Die von der Nagra durchgeführten Biosphärenmodellierungen und die Parameterwerte sind im Bericht NAB 13-04 detailliert beschrieben. Die konzeptuellen Modelle für die Biosphärenmodellierung basieren weitgehend

---

<sup>8</sup> Hoher Diffusionskoeffizient, geringe Rückhaltung

<sup>9</sup> Durch Multiplikation und Summation über alle relevanten Radionuklide werden aus den radionuklidspezifischen BTK die Radionuklidfreisetzungsraten aus einem geologischen Tiefenlager in eine jährliche Individualdosis umgerechnet.

auf den Arbeiten im Projekt Entsorgungsnachweis (NTB 02-05) sowie in der Etappe 1 SGT, wurden aber in Teilbereichen weiterentwickelt bzw. in neuen Rechencodes implementiert. Dabei wurden auch Anforderungen aus dem Bericht ENSI 33/115 umgesetzt.

Für die Dosisberechnungen zur Ermittlung der charakteristischen Dosisintervalle wurde in Etappe 2 für alle geologischen Standortgebiete und Lagertypen das gleiche Biosphärenmodell, eine generische Referenzbiosphäre, verwendet. Die BTK wurden für die generische Referenzbiosphäre sowohl für das heutige Klima (Referenzfall) als auch für die regulatorisch geforderten Klimavarianten (eiszeitliches Klima und wärmeres, trockenes Klima) berechnet. Dabei zeigte sich, dass die für das wärmere, trockene Klima berechneten BTK wegen des geringeren Zuflusses zum Oberflächengewässer und der damit verbundenen geringeren Verdünnung um bis zu eine Größenordnung über den BTK für das heutige Klima liegen, während die BTK für ein eiszeitliches Klima in der Regel um 1 – 2 Größenordnungen niedriger sind.

Die standortspezifischen BTK liegen in der Regel in der Spanne zwischen den Werten für die Referenzbiosphäre für das heutige Klima und für das wärmere, trockene Klima. Die höchsten BTK wurden für alle Nuklide jeweils für das Exfiltrationsgebiet Sissletal, Bözen (ein kleines Tal im geologischen Standortgebiet Jura Ost) ermittelt, wo die Verdünnung nur sehr gering ist, da dort der Wasserfluss weniger als ein Zehntel des Wertes im Referenzbiosphärenmodell beträgt. Für dieses Exfiltrationsgebiet werden mit der Referenzbiosphäre daher in den provisorischen Sicherheitsanalysen Dosiswerte berechnet, die niedriger liegen als bei Berücksichtigung der standortspezifischen Parameterwerte. Die getroffenen Aussagen bezüglich der sicherheitstechnischen Eignung des geologischen Standortgebietes werden dadurch aber nicht in Frage gestellt.

### ***Einschätzung der ESchT:***

- Die in Etappe 2 von der Nagra gewählte Methodik für die Biosphärenmodellierung steht in Übereinstimmung mit den international praktizierten Vorgehensweisen.
- Die Verwendung einer Referenzbiosphäre für alle betrachteten Standortgebiete und Exfiltrationsgebiete in Etappe 2 wird vor dem Hintergrund der dargestellten Variabilitäten in den BTK als sachgerecht eingestuft. Die ESchT geht aber davon aus, dass bei den Sicherheitsanalysen in Etappe 3 jeweils standortspezifische Biosphärenmodelle für die möglichen Exfiltrationsgebiete in den Standorten verwendet werden.

### 3.4. Ergebnisse der provisorischen Sicherheitsanalysen

In ENSI 33/075 ist festgelegt, wie die numerischen Ergebnisse der errechneten Radionuklidfreisetzungen in die Biosphäre zu bewerten sind. Für jeden Standort wird aus den für die verschiedenen Fälle errechneten Personendosiskurven ein charakteristisches Dosisintervall ermittelt, bei dem das Maximum des Referenzfalls die untere Grenze bildet und das höchste der Maxima der übrigen Parametervariationsrechnungen die obere Grenze des charakteristischen Dosisintervalls darstellt. Die Ausdehnung dieses Dosisintervalls spiegelt die Robustheit des gesamten Endlagersystems und die Ungewissheiten bzw. Variabilitäten in den quantitativen Parametern wider.

Die Nagra hat zunächst für die Standortgebiete für das SMA-Lager, in denen zwei Wirtsgesteine vorkommen, das prioritäre Wirtsgestein identifiziert. Dazu wurden für jedes Wirtsgestein jeweils mit Sicherheitsanalysen die charakteristischen Dosisintervalle berechnet, wobei unterstellt wurde, dass das gesamte Inventar in Lagerkammern in dem betrachteten Wirtsgestein gelagert wird. Die Maximalwerte liegen in allen Fällen unterhalb des Schwellenwertes gemäß Schweizer Strahlenschutzverordnung von 0,01 mSv/a, ab dem eine weitere Optimierung nicht mehr erforderlich ist, so dass alle betrachteten Wirtsgesteine sicherheitstechnisch geeignet sind. Gemäß ENSI 33/075 sind zudem alle Wirtsgesteine als „sicherheitstechnisch gleichwertig“<sup>10</sup> einzuordnen. Trotzdem unterscheiden sich die Dosisintervalle für die verschiedenen Wirtsgesteine innerhalb der Standortgebiete deutlich und systematisch bezüglich der Radiotoxizitätsfreisetzung aus dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich. In den drei Standortgebieten, in denen zwei Wirtsgesteine vorkommen, zeigt das Wirtsgestein Opalinuston deutliche Vorteile im Vergleich zu dem jeweils anderen Wirtsgestein (NTB 14-03), insbesondere im Hinblick auf die Rückhaltung der Radionuklide im einschlusswirksamen Gebirgsbereich. Diese Unterschiede spiegeln sich auch in den Bewertungen bezüglich der entscheidungsrelevanten Merkmale der verschiedenen Wirtsgesteine wieder (s. Kap. 4.1).

Die Ergebnisse der Dosisberechnungen für das prioritäre Wirtsgestein in allen Standortgebieten im Rahmen der quantitativen Bewertung sind für einen Zeitraum von 1 Mio. Jahren für

---

<sup>10</sup> Die Aussage „sicherheitstechnisch gleichwertig“ erfolgt hier in Anlehnung an die in ENSI 33/075 verwendete Begrifflichkeit. Aus Sicht der ESchT birgt diese Bezeichnung die Gefahr, als Gesamtaussage einer Bewertung der Standortgebiete missverstanden zu werden, obwohl damit nur die Ergebnisse der quantitativen Betrachtung eingeordnet werden. Der Vergleich der Standorte und die Gesamtbewertung für jeden Lagertyp wird in einem sicherheitstechnischen Bericht zur Etappe 2 dokumentiert, in dem die Ergebnisse der einzelnen provisorischen Sicherheitsanalysen, der standardisierten Vergleichsmethode und der qualitativen Bewertung anhand der Kriterien zusammengefasst und gesamthaft bewertet werden.

ein SMA-Lager und 10 Mio. Jahren für ein HAA-Lager und ein Kombi-Lager dargestellt. Sie überschreiten den Nachweiszeitraum um jeweils eine Größenordnung. Damit wird gezeigt, dass dann nicht deutlich höhere Auswirkungen, z. B. durch den Zerfall von Tochternukliden, auftreten. Die Radionuklidfreisetzungsberechnungen ergeben für alle betrachteten geologischen Standortgebiete charakteristische Dosisintervalle, die einen Bereich von 1 – 4 Größenordnungen umfassen, deren oberster Wert aber jeweils unterhalb des Schwellenwertes von 0,01 mSv/a liegt. Damit sind die drei betrachteten Standortgebiete für HAA-Tiefenlager und die sechs Standortgebiete für SMA-Tiefenlager gemäß ENSI 33/075 als „sicherheitstechnisch gleichwertig“ zu betrachten.

#### ***Einschätzung der ESchT:***

- Die verwendeten Modelle, Parameterwerte und eingesetzten Rechencodes sind in mehreren Berichten und einer Datenbank sehr ausführlich dokumentiert.
- Die Ergebnisse der numerischen Berechnungen zur Radionuklidfreisetzung und zu den charakteristischen Dosisintervallen liegen in den für derartige Endlagersysteme zu erwartenden Bandbreiten. Die daraus abgeleitete Einordnung der Standortgebiete als „sicherheitstechnisch gleichwertig“ ist aus Sicht der ESchT folgerichtig.

### **3.5. Gesamtbewertung zu den provisorischen Sicherheitsanalysen**

Aufbauend auf den Vorgaben des SGT (BFE 2008) und des ENSI (ENSI 33/075) hat die Nagra in Etappe 2 provisorische Sicherheitsanalysen für alle betrachteten Standortgebiete durchgeführt. Die dafür notwendigen Kenntnisse und Daten sowie die Ergebnisse wurden von der Nagra ausführlich dokumentiert. Die ESchT bewertet die Vorgehensweise und Schlussfolgerungen der Nagra wie folgt:

#### ***Einschätzung der ESchT:***

- Die Dosisberechnungen im Rahmen der provisorischen Sicherheitsanalysen in Etappe 2 wurden entsprechend der international praktizierten Vorgehensweisen durchgeführt.
- Die quantitativen Ergebnisse der provisorischen Sicherheitsanalysen sind belastbar für eine Bewertung der Standortgebiete als Grundlage für den sicherheitstechnischen Vergleich in Etappe 2.
- Aus Sicht der ESchT ist es nachvollziehbar, dass ein Ausschluss oder eine Rückstellung von Standortgebieten in Etappe 2 nicht auf Basis der quantitativen Ergebnisse der provisorischen Sicherheitsanalysen erfolgt ist. Dies ist nach Einschätzung

der ESchT auch darauf zurückzuführen, dass bereits bei der Identifizierung der potenziellen Standortregionen in Etappe 1 in Ergänzung zu den Vorgaben im SGT von der Nagra bei sieben Indikatoren verschärfte Anforderungen gestellt worden sind.

## 4. Rückstellung von Standortgebieten

Im Ergebnis ihres Einengungsprozesses wurde von der Nagra vorgeschlagen, vier Standortgebiete zurückzustellen, wobei unterschiedliche Aspekte für die verschiedenen Standortgebiete eine Rolle gespielt haben. Die Einengung erfolgte schrittweise. Zunächst hat die Nagra bei den Standortgebieten, bei denen zwei potenzielle Wirtsgesteine vorhanden sind, das prioritäre Wirtsgestein identifiziert. Dieser Einengungsschritt ist im Konzeptteil des SGT nicht explizit gefordert. Anschließend wurde auf Basis von raumwirksamen geometrischen Begrenzungen das Platzangebot in den jeweiligen Standortgebieten ermittelt und mit dem Platzbedarf für ein Tiefenlager für SMA bzw. HAA verglichen. Die geometrischen Begrenzungen berücksichtigen die unteren, die oberen und die lateralen Abgrenzungen für das Tiefenlager.

### 4.1 Auswahl prioritäres Wirtsgestein

In den Standortgebieten Zürich Nordost, Nördlich Lägern und Jura-Südfuss wurden in Etappe 1 zwei mögliche Wirtsgesteine für die Einlagerung von SMA ausgewählt (NTB 08-04). Die Gesamtbewertung für jedes Wirtsgestein war mindestens geeignet.

Gleichwohl hat die Nagra in der Etappe 2 das Wirtsgestein Opalinuston in allen Fällen als prioritäres Wirtsgestein gegenüber den Effinger Schichten und dem „Braunen Dogger“ festgelegt (s. NTB 14-01, Abschnitt 3.4). Die Priorisierung der Wirtsgesteine erfolgte über die Identifizierung von eindeutigen Nachteilen hinsichtlich entscheidungsrelevanter Merkmale (hier: Indikatoren, die die Wirksamkeit der geologischen Barriere bewerten).

#### **Wirtsgestein Effinger Schichten**

Im Vergleich zum Wirtsgestein Opalinuston weist das Wirtsgestein Effinger Schichten Nachteile bei der Homogenität des Gesteinsaufbaus („harte Bänke“ (Kalkbänke) in der Sedimentabfolge) und ungünstigere hydrogeologische Eigenschaften (geringere Mächtigkeit der tonreichen Gebirgsanteile und mögliche Karstbildung in Kalkbänken) auf. Daher wird bei den Effinger Schichten insbesondere das Kriterium *1.4 Freisetzungspfade* (s. Tabelle 1) qualitativ deutlich schlechter bewertet als beim Opalinuston. Diese Bewertung wird auch durch die Ergebnisse der provisorischen Sicherheitsanalyse gestützt (s. Kap. 3.4). Hinzu kommt eine qualitativ schlechtere Bewertung der Kriterien *1.3 Geochemische Bedingungen*, *2.1 Beständigkeit der Standort- und Gesteinseigenschaften*, *2.3 Lagerbedingte Einflüsse*, *3.1 Charakterisierbarkeit der Gesteine* und *3.2 Explorierbarkeit der räumlichen Verhältnisse*. Dies führt trotz

teilweise günstigerer Bewertung gegenüber dem Wirtsgestein Opalinuston bei anderen Kriterien in der Gesamtbetrachtung zu einem schlechteren Bewertungsergebnis (NTB 14-01). Bei den genannten Eigenschaften weisen die Effinger Schichten im maßgebenden Fall für die Einengung im Vergleich mit dem Opalinuston eindeutige Nachteile auf.

### **Wirtsgestein „Brauner Dogger“**

Obwohl die Abfolgen des „Braunen Dogger“ ähnliche Eigenschaften wie der Opalinuston zeigen, weist das Wirtsgestein „Brauner Dogger“ Nachteile bei der Homogenität des Gesteinsaufbaus („harte Bänke“ (Sandkalkabfolgen) in der Sedimentabfolge) und ungünstigere hydrogeologische Eigenschaften (geringere Mächtigkeit der tonreichen Gebirgsanteile) auf. Gestützt wird diese Bewertung auch durch die Ergebnisse der provisorischen Sicherheitsanalyse (s. Kap. 3.4). Diese Nachteile führen auf Indikatorebene in einigen Fällen zu weniger positiven Bewertungen. Beim Wirtsgestein „Brauner Dogger“ werden insbesondere die Indikatoren „Homogenität des Gesteinsaufbaus“, „Länge der maßgebenden Freisetzungspfade“ und „Explorationsverhältnisse im geologischen Untergrund“ qualitativ deutlich schlechter bewertet als beim Wirtsgestein Opalinuston. Dies führt dann auch in der Gesamtbetrachtung zu einem schlechteren Bewertungsergebnis (NTB 14-01). Bei den genannten Eigenschaften weist der „Braune Dogger“ im maßgebenden Fall für die Einengung im Vergleich mit dem Opalinuston eindeutige Nachteile auf.

Damit werden die Lageroptionen für SMA-Tiefenlager in den Standortregionen Zürich Nordost „Brauner Dogger“, Nördlich Lägern „Brauner Dogger“ und Jura-Südfuss Effinger Schichten von der Nagra nicht weiter betrachtet. In der Nordschweiz wird demzufolge fortan Opalinuston als prioritäres Wirtsgestein betrachtet.<sup>11</sup>

### ***Einschätzung der ESchT:***

- Die in Etappe 2 ergänzten sedimentologisch-lithologischen Daten und Informationen ermöglichen aus Sicht der ESchT eine stufengerechte Charakterisierung der geologischen Strukturmerkmale der Wirtsgesteine. Dabei unterstützt die Interpretation re-

---

<sup>11</sup> Dieser Einengungsschritt ist im Konzeptteil des SGT nicht explizit gefordert. Eine Überprüfung, ob eine andere Herangehensweise ein anderes Ergebnis des Einengungsprozesses ergeben hätte, konnte von der ESchT im Rahmen der Stellungnahme nicht vorgenommen werden. Die ESchT erwartet jedoch bei Anlegung gleicher sicherheitsgerichteter Bewertungsmaßstäbe kein anderes Ergebnis.

flexionsseismischer Daten („seismische Faziesanalyse“) die Regionalisierung der Punktinformationen.

- Die relevanten hydrogeologischen Charakteristika der Wirtsgesteine Effinger Schichten und „Brauner Dogger“ lassen sich – wie von der Nagra durchgeführt – anhand von hydrochemischen und isopenhydrologischen Untersuchungen und Proxy-Betrachtungen (Tongehalte, generische Fließpfadbetrachtungen) gegenüber denen des Wirtsgesteins Opalinuston abgrenzen.
- Die Einstufung der Wirtsgesteine Effinger Schichten und „Brauner Dogger“ als nicht prioritäre Wirtsgesteine im Vergleich zum Wirtsgestein Opalinuston durch die Nagra ist nachvollziehbar. Auf der für die Befassung in der ESchT möglichen Prüftiefe ist insgesamt festzustellen, dass diese Bewertung der Wirtsgesteine Effinger Schichten und „Brauner Dogger“ gerechtfertigt ist.
- Der sich daraus ergebenden Festlegung des Opalinustons als prioritäres Wirtsgestein durch die Nagra kann die ESchT folgen.
- Die ESchT schätzt ein, dass die Einengung über die Priorisierung der Wirtsgesteine in den Standortgebieten, in denen in Etappe 1 mehrere potenzielle Wirtsgesteine ausgewiesen wurden, sachgerecht und sicherheitsgerichtet ist. Die ESchT geht davon aus, dass die Wirtsgesteine Effinger Schichten und „Brauner Dogger“ mit dieser Priorisierung lediglich zurückgestellt sind.

## **4.2 Standortspezifische Platzangebote und Platzbedarfe**

Es gibt eine Reihe von raumwirksamen Elementen, die für die Abgrenzung der Lagerperimeter und damit für die Ermittlung des Platzangebots in den Standortgebieten relevant sind. Dazu gehören neben den oberen und unteren Abgrenzungen auch laterale Abgrenzungen, die z. B. durch regionale Störungszonen und zu meidende tektonische Zonen bedingt sind. Die geometrischen Begrenzungen bestimmen das Wirtsgesteinsvolumen, das maximal für das Tiefenlager zur Verfügung steht. Dieses Volumen muss größer sein als der unter den spezifischen geologischen Randbedingungen im Standortgebiet erforderliche Platzbedarf für das Tiefenlager. Bei einem Tiefenlager mit nur einer Einlagerungsebene erfolgt der Vergleich zwischen Platzangebot und Platzbedarf anhand der jeweiligen Flächen in dem betrachteten Tiefenbereich.

#### 4.2.1 Untere Abgrenzungen

Die untere Abgrenzung eines Tiefenlagers wird insbesondere aus der bautechnischen Machbarkeit abgeleitet. Die Nagra bewertet das entscheidungsrelevante Merkmal „Bautechnische Machbarkeit eines Tiefenlagers unter Berücksichtigung der vorgeschlagenen Standortareale“ gemäß ENSI 33/154 als günstig, wenn

- bautechnisch einfach zu beherrschende Verhältnisse vorliegen, bei denen sich durch die Tiefenlage keine extremen Anforderungen bei Erstellung, Betrieb und Überwachung inklusive eventueller Rückholung sowie Verschluss ergeben,
- der Verschluss des Lagers ohne technische Probleme mit der erforderlichen Abdichtung realisierbar ist und
- keine wesentlichen hydrogeologischen und geotechnischen Probleme oberhalb der Lagerebene zu erwarten sind.

Die Nagra ging in Etappe 1 davon aus, dass das SMA-Tiefenlager bis in eine Tiefe von 800 m und das HAA-Tiefenlager bis in eine Tiefe von 900 m bautechnisch sicher realisierbar seien. Die ESchT hatte in ihrer Stellungnahme zur ersten Etappe des Schweizer Standortauswahlverfahrens für geologische Tiefenlager – Teil II: „Sicherheitstechnische und geowissenschaftliche Aspekte“ (ESchT 2010) eingeschätzt, dass die maximale Tiefenlage für ein HAA-Tiefenlager bei dem bis dahin von der Nagra vorgesehenen Ausbaukonzept auf 600 m begrenzt sei.

In Etappe 2 wurden von der Nagra unter dem Aspekt der Sicherheit (Langzeit- wie Betriebssicherheit, insbesondere Bergbausicherheit) Betrachtungen bezüglich der Menge an einzusetzendem Materialeinsatz (Ausbaumittel zur Stabilisierung des Tonsteingebirges) und der noch akzeptablen Gefügeschädigungen im Tonsteingebirge (hinreichender Erhalt der Integrität der geologischen Barriere) angestellt. Art und Menge der Ausbaumittel wirken sich auf die bautechnischen Rahmenbedingungen und die geometrische und konstruktive Ausgestaltung eines Tiefenlagers aus (NAB 14-81). Aus Gründen der Bergbausicherheit ist beim Wirtsgestein Opalinuston in der Betriebsphase für Grubenräume mit zunehmender Tiefe in der Regel ein verstärkter Ausbau notwendig. Die dabei eingesetzten Ausbaumittel (z.B. Spritzbeton, Armierungen) können das geochemische Milieu und die Gasbildung beeinflussen und die sicherheitsrelevanten Eigenschaften der geotechnischen Barriere (Bentonitversatz) und des Wirtsgesteins in der Umgebung der Einlagerungsbereiche nachteilig verändern. Diese Auswirkungen sind umso größer, je mehr Ausbaumaterial eingebracht wird. Demgegenüber bedingt ein unzureichender Einsatz von Ausbaumitteln zunehmende Gebirgsentfestigungen und damit eine Verschlechterung des Wirtsgesteins in seiner Funktion als Tragelement (Be-

einträchtigung der Betriebssicherheit) und als geologischer Barriere (Beeinträchtigung der Langzeitsicherheit).

Anzumerken ist, dass die Nagra in den numerischen Simulationen einen tragenden Ausbau durch den Ansatz eines Ausbauwiderstandes berücksichtigt hat. Allerdings wird alternativ auch betrachtet, dass der Ausbau im Lauf der Zeit seine Tragwirkung verliert. Die Auswirkungen einer solchen Entwicklung werden dadurch bewertet, dass in den numerischen Simulationen von vornherein kein Ausbauwiderstand berücksichtigt und somit das Tragverhalten der nur mit Stahlbögen und Verzugsmatten ausgebauten Versiegelungsbereiche angenommen wird (Standzeit bis Versatzeinbringung maximal ca. 4 Jahre).

In Bezug auf das SMA-Lager wird neben dem Tragverhalten der Lagerkammern für die SMA-Abfälle mit den deutlich größeren Querschnitten auch das Tragverhalten der Lagerfeldzugangsbauwerke betrachtet, die größere Ausbruchquerschnitte als die Lagerstollen und ebenfalls Versiegelungsbereiche aufweisen, für die allerdings Standzeiten von bis zu 100 Jahren (NAB 16-45) zu erwarten sind.

Die Nagra hat im NTB 14-01 auf der Grundlage von nationalen und internationalen tunnelbautechnischen Erfahrungen sowie von umfangreichen und methodisch unterschiedlichen geomechanischen Untersuchungen mit den von ihr verwendeten Gebirgseigenschaften für den Opalinuston die folgenden maximalen Tiefenlagen abgeleitet:

<i>Tiefenlager HAA</i>	<i>Maximale Tiefenlage 700 m</i>
<i>Tiefenlager SMA</i>	<i>Maximale Tiefenlage 600 m</i>

Im Zuge der Bearbeitung der Nachforderungen des ENSI zum Indikator „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ (ENSI 33/476) wurden von der Nagra zur Thematik der unteren Abgrenzung weitere Untersuchungen zur Begründung der gegenüber Etappe 1 reduzierten maximalen Tiefenlage angestellt. Dazu wurden insbesondere folgende Aspekte betrachtet:

- Prüfung der Lager- und Barrierenkonzepte (NAB 16-42),
- geomechanische Unterlagen (NAB 16-43),
- standortspezifische geologische Modelle und geologische Gefährdungsbilder (NAB 16-44),
- Projektkonzepte für die Lagerkammern und Versiegelungsbereiche und deren Bewertung (NAB 16-45),
- Vortriebs- und Sicherungskonzepte für die Profile F, K09, K04, K04a und D (NAB 16-46).

Aus den ergänzenden Untersuchungen der Nagra (insbesondere NAB 16-41 und NAB 16-43) folgt:

- Das bestehende Referenz-Lagerkonzept wird unter den Aspekten Vermeidung größerer Gebirgsentfestigungen hinter dem Ausbau, Vermeidung des Einsatzes größerer Mengen an Zement und Stahl, Verwendung heute grundsätzlich vorhandener und bewährter Technologien mit Ablauf der Arbeiten ähnlich einem industriellen Prozess beibehalten (NAB 16-42, S. 58/59).
- Zur Verbesserung der vom ENSI bemängelten geomechanischen Datenbasis und der Kennwerte für Modellberechnungen sind auf der Basis zusätzlicher Überlegungen und Ableitungen vereinfachend nunmehr drei Baugrundmodelle gegenüber vorher sechs Gebirgsmodellen formuliert worden. Dabei wurden die Auswirkung von Diagenese und tektonischer Überprägung auf Festigkeit und Steifigkeit konzeptuell berücksichtigt. Unterschieden werden ein Referenzmodell (BGM-2; überkonsolidierter unzementierter Tonstein), ein Alternativmodell max (BGM-1; überkonsolidierter, zementierter Tonstein) und ein Alternativmodell min (BGM-3; geotektonisch entfestigter Tonstein, Mont Terri).
- Basis für die Neuausrichtung sind theoretische Ansätze in Verbindung mit laborativen Untersuchungen (Ödometerversuche<sup>12</sup>). Zum Beleg der Robustheit der abgeleiteten Parameterwerte wurden Ergebnisse aus ausgewählten Triaxialversuchen herangezogen.
- Die dem Baugrundmodell BGM-1 mit den günstigsten Materialeigenschaften entsprechenden Baugrundverhältnisse liegen laut Nagra in der Lagerebene nicht vor, so dass das Baugrundmodell BGM-2 in der Lagerebene die Gebirgsqualität für den Opalinuston am besten repräsentiert.
- Zur Bewertung der geomechanischen Untersuchungen, die für die unterschiedlichen Hohlraumprofile für den Tiefenbereich von 600 – 900 m durchgeführt werden, werden die Kriterien Gebirgstragverhalten (Indikator Konvergenz) und Gebirgsentfestigung (Indikator plastische Zone) herangezogen.
- Die Bewertung der Berechnungsbefunde erfolgt im Zusammenhang mit den möglichen Bauverfahren und betrachtet vor dem Hintergrund des erwarteten Tragverhaltens insbesondere die jeweils resultierenden Risiken für eine den Anforderungen entsprechende bautechnische Machbarkeit. Dabei wird der gesamte Prozess von der Auffahrung bis zu den Bedingungen bei einer eventuell erforderlich werdenden Rück-

---

<sup>12</sup> Spezifische bodenmechanische Versuche zur Bestimmung des Steifemoduls und des Konsolidationsverhaltens

holung einbezogen. Grundsätzlich sollen vor diesem Hintergrund durch den im Lauf der Zeit zunehmenden Gebirgsdruck infolge von Porenwasserdruckabbau und Konsolidation, die Entfestigung sowie einen ungleichmäßigen Kompaktionsdruckaufbau weder der Ausbau zu stark geschädigt noch die Abfallbehälter beschädigt werden.

Im Ergebnis der ergänzenden Untersuchungen hält die Nagra an der im NTB 14-01 im Jahr 2015 bereits vorgeschlagenen bzw. ermittelten unteren Tiefenbegrenzung von maximal 600 m unter Terrain für die SMA-Lagerkammern und von maximal 700 m unter Terrain für die HAA-Lagerstollen fest. Hierbei wurden die ENSI-Vorgaben bezüglich zu berücksichtigender positiver Eigenschaften im Hinblick auf die bautechnische Machbarkeit eines Tiefenlagers sowie Aspekte in Bezug auf Auffahrung, Abfalleinlagerung (ferngesteuert), Verschluss des Lagers und einer ggf. erforderlichen einfachen Rückholung der Abfälle (noch tragfähiger Ausbau, keine beschädigten Abfallbehälter) als industrieähnliche Prozesse in einem Bergwerksbetrieb berücksichtigt.

### **Einschätzung der ESchT:**

Grundlage der Bewertung der ESchT sind die mit dem Bericht NTB 14-01 im Januar 2015 eingereichten Unterlagen der Nagra sowie die zusätzlichen Unterlagen, die entsprechend den Nachforderungen des ENSI (ENSI 33/476) im August 2016 von der Nagra nachgereicht worden sind.

Die ESchT bewertet die vorliegenden Unterlagen mit den Schlussfolgerungen zur Begrenzung der Tiefenlage hinsichtlich der Untersuchungsgegenstände als systematisch und konsistent, angemessen detailliert sowie trotz der grundsätzlich aufgrund der Datenlage eher generischen Betrachtungsweise hinreichend differenziert auch in Bezug auf die Berücksichtigung standortgebietsbezogener Charakteristika und damit insgesamt als überzeugend.

Insbesondere sind die folgenden Punkte hervorzuheben:

- Grundsätzlich kann im Zusammenhang mit der entwickelten Referenz-Endlagerkonzeption der von der Nagra abgeleiteten Tendenz gefolgt werden, die maximalen Tiefenlagen für das HAA- und das SMA-Tiefenlager gegenüber Etappe 1 zu reduzieren. Daraus resultieren standortgebietsbezogen unterschiedliche Reduktionen der für die Anordnung eines Tiefenlagers verfügbaren Flächen (Lagerperimeter).
- Aufgrund bisher weitgehend fehlender lokaler Aufschlüsse in den Standortregionen kann nach Einschätzung der ESchT nicht bewertet werden, ob dort tatsächlich bautechnisch einfach zu beherrschende Verhältnisse vorliegen. Die bautechnische Machbarkeit ist stark abhängig von den lokalen Gebirgsverhältnissen mit Inhomogenitäten, tektonischer Vorbeanspruchung, Schichtungsgefüge, Fazieswechseln,

Porenwasserzutritten und Porenwasserdrücken und anisotropen primären Gebirgsspannungen sowie der konfigurativen Ausgestaltung des Tiefenlagers insgesamt, aber auch der Hohlräume mit spezifischen Querschnitten und Ausbaumitteln.

- Die ESchT kann auf Basis der vorliegenden Unterlagen nicht bewerten, inwieweit die vorstehend skizzierten Zusammenhänge zwischen Tiefenlage, Gebirgsqualität, Ausbaumiteinsatz und tolerierter Schädigung des Wirtsgesteins in seiner Funktion als geologische Barriere durch die aktualisierten Tiefenzuordnungen seitens der Nagra zahlenmäßig zutreffend charakterisiert werden.
- Eine aus Sicht der ESchT noch nicht abschließend geklärte Frage ist, ob auf Grundlage von alternativen Lager- und/oder Ausbaukonzepten eine Einlagerung der Abfälle auch in größeren Tiefen möglich ist.
- Die Überlegungen und Ausführungen der Nagra unter dem Aspekt „Abgrenzung für alternative Tiefenlagen“ (Umgang mit geotechnisch-geomechanischen Ungewissheiten) weisen eher pauschalierenden Charakter auf. Die Darstellung der Nagra, dass ein vorsichtiger Ansatz<sup>13</sup> bezüglich eines frühzeitigen Zurückstellens von Standortgebieten gewählt wurde (s. NTB 14-01, S. 171), ist kaum nachvollziehbar.
- Nur vor dem Hintergrund des von der Nagra zugrunde gelegten Lagerkonzeptes mit der angesetzten Gebirgsqualität und der vorgesehenen restriktiven Verwendung von Ausbaumitteln kann den vorgeschlagenen Begrenzungen der Tiefenlage auf 700 m unter Terrain für das HAA-Tiefenlager und auf 600 m unter Terrain für das SMA-Tiefenlager gefolgt werden.
- Die von der Nagra nachgereichten Ansätze zur Gebirgsqualität beruhen weder auf ergänzenden laborativen Untersuchungen zu den hydromechanischen Eigenschaften noch auf weiteren Felduntersuchungen. Die Überarbeitung erfolgte ersatzweise auf eher theoretischer Grundlage, bei der die Tiefenabhängigkeit der Materialeigenschaften des Opalinuston berücksichtigt und eine fazielle Zuordnung vorgenommen wurde. In Verbindung mit geowissenschaftlichen Einschätzungen zum Gebirgsbau (aus Erkundungsbefunden abgeleitetes oder vermutetes geotektonisches Inventar) werden von der Nagra standortgebietsbezogen großräumig und auch kleinräumig

---

<sup>13</sup> Bei der Tiefenlage des Opalinustons gibt es Ungewissheiten, die laut Nagra bei der Abgrenzung der Lagerperimeter berücksichtigt wurden, um deren Einfluss auf die Entscheidungsfindung zu untersuchen. Durch großzügige Erhöhung bzw. Vertiefung der Tiefenlage sollte sichergestellt werden, dass bei der Abgrenzung für alternative Tiefenlagen auch Lagerperimeter resultieren, die bezüglich der Tiefenlage eher als zu günstig bewertet werden. Die zugehörigen Standortgebiete würden demnach eher als zu günstig bewertet und somit nicht zurückgestellt werden.

ausgerichtete Baugrundmodelle aufgestellt. Diesem Vorgehen kann aus Sicht der ESchT grundsätzlich gefolgt werden.

- Zusätzlich wurden von der Nagra Unterlagen zu geotektonischen und bautechnischen Aspekten vorgelegt, die von der ESchT als vertiefte Vorplanung angesehen werden. Die ausführliche Befassung mit den hohen sicherheitlichen und funktionalen Anforderungen, die an die Realisierung der Tiefenlager als Nuklearanlage gestellt werden, die umfassende und systematische Diskussion der bautechnischen Risiken sowie die intensive Auseinandersetzung mit den verfügbaren Vortriebs- und Sicherheitsmaßnahmen vor dem Hintergrund des Gebirgstragverhaltens und der Anforderungen an die betriebliche Sicherheit findet die Zustimmung der ESchT. Die daraus resultierenden Bewertungen basieren dabei aber auf pessimistischen Annahmen, was als sicherheitsgerichtet zu bewerten ist, aber auf das potenzielle Platzangebot unter Tage stark einschränkend wirkt.
- Die rechnerischen Analysen erscheinen der ESchT mit Blick auf die Aufgabenstellung in dem hier relevanten Stand des Verfahrens und mit Blick auf die Schaffung grundsätzlicher und tendenzieller Erkenntnisse zum Tragverhalten als plausibel und hinreichend aussagekräftig. Eine zahlenmäßige Überprüfung ist durch die ESchT nicht erfolgt.

#### **4.2.2 Obere Abgrenzungen**

In der Etappe 1 des Auswahlverfahrens wurden zur Betrachtung der „oberen Abgrenzung“ die im Sachplan festgelegten Kriterien *1.1 Räumliche Ausdehnung* und *2.2 Erosion* und die zugeordneten Indikatoren betrachtet. Die Kriterien bewerten die Gefährdung der Überdeckung des Wirtsgesteins durch zukünftige Erosion. Potenzielle weitere Vertiefungen vorhandener Rinnen können dazu führen, dass nur Teilbereiche des ursprünglichen Standortgebietes für das Tiefenlager genutzt werden können.

Die ESchT hatte in Etappe 1 und in Hinblick auf Etappe 2 die Empfehlung abgegeben, mit modernen Methoden dem Maß der glazialen Tiefenerosion nachzugehen, „um belastbare und quantitative Aussagen treffen zu können.“ (ESchT 2010; ESchT 2011). Zudem hatte das ENSI für Etappe 2 und Etappe 3 empfohlen, die Datengrundlage zu verbessern, das Prozessverständnis „Glaziale Tiefenerosion“ zu vertiefen und Szenarienbetrachtungen anzustellen (ENSI 33/115). Die KNS hat ebenfalls darauf hingewiesen, dass bei Neotektonik und Erosion noch beträchtliche Ungewissheiten bestehen (KNS 23/247).

Die Nagra hat das Thema in Etappe 2 intensiv bearbeitet. In NTB 14-01 und insbesondere in NTB 14-02 Dossier III „Geologische Langzeitentwicklung“ und NTB 14-02 Dossier II „Sedimentologische und tektonische Verhältnisse“ wird auf die Empfehlungen eingegangen.

#### ***Verbesserung der Datengrundlage:***

- Zur Untersuchung der geologischen Langzeitentwicklung wurden vor allem Literaturstudien, GIS-gestützte Kompilationsarbeiten sowie Analysen von hoch auflösenden digitalen Geländemodellen durchgeführt (NTB14-02 Dossier III). In der Nordschweiz wurden bezüglich der geologischen Langzeitentwicklung u. a. Studien zur Deformation von Schotterterrassen oder Schotterbasisflächen durchgeführt.
- Das in Etappe 1 verwendete digitale Höhenmodell der Felsoberfläche der Nordschweiz wurde kritisch überarbeitet (NAB 14-02).
- Die relevante Datengrundlage zur Abschätzung der Tiefenlage und Mächtigkeit der Wirtsgesteine wurde verbessert. Die Konstruktion der Tiefen- und Mächtigkeitskarten basiert vor allem auf der umfangreichen und in Etappe 2 noch weiter ausgebauten Bohrdatenbank der Nagra, der tiefenkonvertierten regionalen Strukturinterpretation des 2D-Seismikdatensatzes, der bestehenden Interpretation der 3D-Seismik im Zürcher Weinland und den darauf basierenden geologischen Profilschnitten.

#### ***Vertiefung des Prozessverständnisses „Glaziale Tiefenerosion“:***

- Im Bericht NAB 15-05 hat die Nagra nochmals Bezug genommen auf die Frage, ob Sicherheitsprognosen für eine Million Jahre für hochradioaktive Abfälle überhaupt möglich sind. Einer der dazu relevanten Aspekte betrifft die zukünftige Klimaentwicklung und die damit verbundenen möglichen Auswirkungen „glazialer Tiefenerosion“ auf die Langzeitsicherheit eines Tiefenlagers.
- Als offene Forschungsschwerpunkte wurden von der Nagra identifiziert:
  - Wasserfluss- und Sedimenttransportprozesse als Schwachpunkt vieler Modellerstudien zur glazialen Erosion.
  - Obwohl die Tragweite des subglazialen Schmelzwassers für das Ausmaß der Erosion zunehmend erkannt wird, bleibt eine vollständige Untersuchung der glaziofluvialen Prozesse und deren Implementierung in glazialen Erosionsmodellen ausstehend.

**Szenarienbetrachtung:**

In NTB 14-02 Dossier III werden jeweils drei Erosionsszenarien (erwartete Entwicklung und Entwicklungen mit optimistischen bzw. pessimistischen Annahmen) für die Standortgebiete der Nordschweiz für die nächsten  $10^5$  –  $10^6$  Jahre abgeleitet, wobei sich nur beim pessimistischen Szenario Unterschiede zwischen den Standortgebieten ergeben. Betrachtet wurde die zukünftig sich ergebende Entwicklung der Hauptflüsse, insbesondere deren Eintiefung in den Fels und die damit verbundene Absenkung der lokalen Erosionsbasis.

Dabei ist im Hinblick auf die Langzeitsicherheit eines geologischen Tiefenlagers nicht nur die Lage der lokalen Erosionsbasis am Ende des Betrachtungszeitraums relevant, sondern auch deren zeitliche Entwicklung.

**Einschätzung der ESchT:**

- Die Nagra hat Empfehlungen der KNS (KNS 247), des ENSI (ENSI 33/115) und der ESchT (ESchT 2010, ESchT 2011) aufgenommen und umfangreich bearbeitet. Die Datengrundlage konnte in Etappe 2 deutlich verbessert werden.
- Das entscheidungsrelevante Merkmal Langzeitstabilität der geologischen Barriere mit den dazugehörigen Indikatoren ist in Bezug auf die obere Abgrenzung von der Nagra sachgerecht angewendet worden.
- Szenarien für die zukünftige Entwicklung der lokalen Erosionsbasis, Szenarien für die Abgrenzung und Bewertung der Lagerperimeter sowie Erosionsszenarien für die Standortgebiete für die nächsten  $10^5$  –  $10^6$  Jahre sind abgeleitet worden. Die Herleitung der Erosionsszenarien kann nachvollzogen werden.
- Um die Tiefe und den Verlauf der glazialen Rinnen zuverlässiger prognostizieren zu können, ist aus Sicht der ESchT eine umfassende Untersuchung der Genese glazialer Rinnen erforderlich. Die zu diesem Zweck in Etappe 3 vorgesehenen Bohrungen in verschiedene Felsrinnen zur Charakterisierung und Datierung der Talfüllungen sind auch aus Sicht der ESchT notwendig.

**4.2.3 Laterale Abgrenzungen**

Als regionale Störungszonen werden analog zu Etappe 1 aus Oberflächenkartierungen und/oder Seismikinterpretationen bekannte tektonische Störungen im Bereich der Wirts- und Rahmengesteine verstanden, die eine Längserstreckung im Kilometerbereich aufweisen (NTB 14-02 Dossier II).

Bereits in Etappe 1 wurden regionale Störungszonen bei der Abgrenzung der geologischen Standortgebiete berücksichtigt. Um die Störungszonen wurde ein Sicherheitsabstand von 200 m eingehalten. Daraus resultieren die regionalen Störungszonen, die als laterale Abgrenzungen der geologischen Standortgebiete berücksichtigt wurden.

Als gebietsbegrenzende geologische Elemente sind in der Nordschweiz Zonen mit Anzeichen für erhöhte tektonische Zergliederung (diffus gestörte Zonen) wichtig. Diese wurden in der Nordschweiz mit Hilfe der geologischen Karten und der Reflexionsseismik abgegrenzt.

In Etappe 2 wurden im Gebiet der Nordschweiz der Verlauf der regionalen Störungszonen von der Nagra bestätigt und, wo notwendig, die geologischen Modelle angepasst. Die grundlegende Ausweisung der regionalen Störungszonen fußt auf der regionalen strukturellen Interpretation des in Etappe 2 reprozessierten und verdichteten 2D-Seismikdatensatzes (NAB 14-34).

Neben regionalen Störungszonen wurden in Etappe 2 in den Standortgebieten zusätzlich „zu meidende tektonische Zonen“ ausgewiesen. Als solche werden die Einflussbereiche von post-paläozoisch reaktivierten Grundgebirgsstörungen, welche mehrheitlich mit dem Nordschweizer Permokarbondrog assoziiert sind, und Antiklinalstrukturen im Nahbereich des Faltenjuras aufgefasst (NTB 14-02 Dossier II).

Betroffen von derartigen zu meidenden tektonischen Zonen sind der südliche Teil des Standortgebiets Zürich Nordost, der nördliche Teil des Standortgebiets Nördlich Lägern sowie der äußerste Südostabschnitt des Standortgebiets Jura Ost. Das Standortgebiet Jura-Südfuss weist im südöstlichen Teil ebenfalls zu meidende tektonische Zonen auf.

### ***Einschätzung der ESchT:***

- Die laterale Abgrenzung der raumwirksamen Elemente wie regionale Störungszonen und geografische Elemente wie Landesgrenzen erfolgt sachplankonform und schlüssig auf der Grundlage der in Etappe 2 ermittelten Ergebnisse.
- Die Nagra hat in Etappe 2 als Teil der Optimierung für die Abgrenzung der Lagerperimeter „zu meidende tektonische Zonen“ eingeführt, wobei die Lagerperimeter, welche voll oder teilweise im Bereich von „zu meidenden tektonischen Zonen“ liegen, bezüglich des Indikators „Modellvorstellungen zur Langzeitentwicklung“ „als ungünstiger“ eingestuft werden (NAB 16-41). Durch die „zu meidenden tektonischen Zonen“ resultiert eine Einengung des verfügbaren Platzangebotes. Diese Einengung ist si-

cherheitsgerichtet, setzt jedoch voraus, dass die Ausdehnung der „zu meidenden tektonischen Zonen“ in den Standortgebieten hinreichend belegt ist.

#### 4.2.4 Platzbedarfe

Ein Tiefenlager kann dann in einem geologischen Standortgebiet angeordnet werden, wenn das Platzangebot im Wirtsgestein unter Berücksichtigung der jeweiligen geologischen Verhältnisse sowie der Ungewissheiten bezüglich der Lage von geologischen Elementen, die wie z. B. lokale Störungszonen die Anordnung der Lagerkammern bestimmen, größer als der Platzbedarf des Tiefenlagers auf der Lagerebene ist. Der Platzbedarf ergibt sich

- aus dem Platzbedarf für das Hauptlager, in dem die Abfälle eingelagert werden,
- dem Platzbedarf für das Pilotlager und
- dem Platzbedarf für den Infrastrukturbereich, der die Stollen und Nischen des Testbereichs, den zentralen Bereich mit dem Anschluss der Zugangsbauwerke und die separaten untertägigen Besuchereinrichtungen umfasst.

Da der Platzbedarf zunächst unter idealen Bedingungen (ideale Geometrie ohne anordnungsbestimmende geologische Elemente) ermittelt wurde, hat die Nagra für jedes Standortgebiet aufgrund der spezifischen geologischen Charakteristika zusätzlich Reserven zur Berücksichtigung anordnungsbestimmender und einlagerungsbestimmender Elemente und zur Berücksichtigung geotechnischer Erschwernisse berücksichtigt und somit die Bandbreite des jeweiligen Platzbedarfs anhand vereinfachter Überlegungen zum Endlagersystem abgeschätzt (NAB 14-99).

Die erforderliche Gesamtlänge an Lagerkammern wurde aus der Menge der jeweils betrachteten Abfälle auf Basis des Lagerkonzeptes abgeleitet. Hierzu wurde in NAB 14-99 von dem „umhüllenden Abfallinventar“ ausgegangen, das in Etappe 1 für die Festlegung der Standortgebiete verwendet wurde (NTB 08-01). Bei der Abschätzung dieser Abfallmenge im Jahr 2008 wurde neben einer 60-jährigen Betriebszeit der zurzeit betriebenen Kernkraftwerke von Neubau und 60-jährigem Betrieb von drei Kernkraftwerken mit einer elektrischen Leistung 5 GW<sub>el</sub> und einer Sammelperiode für die Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung bis 2120 ausgegangen.

In Teil II ihrer Stellungnahme zur Etappe 1 zu den sicherheitstechnischen und geowissenschaftlichen Aspekten (ESchT 2010) führte die ESchT aus, dass die Annahme einer maximalen Abfallmenge zwar zu einem größeren Platzbedarf für die Tiefenlager führt, aber in Etappe 1 die unterstellte Abfallmenge keine steuernde Wirkung auf den Einengungsprozess

habe. Vor dem Hintergrund des zur damaligen Zeit noch vorgesehenen Zubaus von Kernkraftwerkskapazitäten verhindere ein maximales Abfallvolumen vielmehr, dass bestimmte Standortgebiete erst im späteren Einengungsprozess herausfallen, da sie die geometrischen Anforderungen nicht erfüllten. Die ESchT wies darauf hin, dass die Annahme eines größeren Platzbedarfs sicherheitsgerichtet sei, da die auf dieser Basis identifizierten Standortgebiete weitere Platz- und Sicherheitsreserven aufwiesen, falls es nicht zu dem zur damaligen Zeit noch vorgesehenen Zubau von Kernkraftwerkskapazitäten käme.

Aufgrund der in den vergangenen Jahren in der Schweiz getroffenen Entscheidungen zur weiteren Nutzung der Kernenergie zur Stromerzeugung mitsamt Verzicht auf den Zubau von drei Kernkraftwerken entsprechen die aus heutiger Sicht tatsächlich zu erwartenden Mengen an HAA, LMA und SMA nur noch etwa die Hälfte des in Etappe 1 zugrunde gelegten umhüllenden Abfallinventars. So wurde bei der Aktualisierung des modellhaften Inventars an radioaktiven Materialien im Jahr 2014 (NTB 14-04) für das Basisszenario eine Gesamtmenge an SMA von knapp 100.000 m<sup>3</sup> ermittelt.

In den zu den ENSI-Nachforderungen vorgelegten Unterlagen ist dargelegt (NAB 16-41), dass für die Ermittlung des Platzbedarfs „von einem äquivalenten, erhöhten Abfallvolumen zur Berücksichtigung von Ungewissheiten ausgegangen“ wird. Für das HAA-Lager ergab sich dabei – ohne Änderung des Radionuklidinventars – nahezu eine Verdopplung des äquivalenten Abfallvolumens durch

- eine Zunahme der Abfallmenge durch verringerten Abbrand (10%),
- eine Verringerung der lokalen Temperaturen durch eine reduzierte Beladung der Endlagerbehälter (15 %) und
- eine verbesserte Barrierenwirkung durch einen erhöhten Abstand der Endlagerbehälter (25 %) sowie durch Abstand bzw. Länge der Zwischensiegel (25 %).

In ähnlicher Weise wurde für das SMA-Lager nahezu eine Verdopplung des äquivalenten Abfallvolumens abgeleitet, wobei den Hauptbeitrag von 40 % Zunahme die Annahme lieferte, dass auch nach Ende der Stromerzeugung mittels Kernenergie das SMA-Lager zur Endlagerung von Abfällen aus dem Bereich von Medizin, Industrie und Forschung genutzt wird. In der Konsequenz führen das unterstellte äquivalente erhöhte Abfallvolumen zu einer deutlichen Überschätzung des Platzbedarfs für ein HAA- bzw. SMA-Tiefenlager unter idealen Bedingungen für die Lagerstollen und -kammern.

Das Hauptlager kann ein Lagerfeld umfassen oder in mehrere Lagerfelder unterteilt sein. Zu einem Lagerfeld gehören jeweils die Grubenbaue, in denen die Einlagerung erfolgen soll

(BE/HAA-Lagerstollen und LMA-Lagerkavernen im HAA-Tiefenlager sowie SMA-Lagerkavernen im SMA-Tiefenlager) sowie die Zugänge zu den Lagerkammern. Abhängig von in den jeweiligen Standortgebieten zu berücksichtigenden linearen anordnungsbestimmenden geologischen Elementen wurde der Hauptlagerbereich in Teillagerzonen unterteilt. Damit ergeben sich unter sonst identischen vereinfachten Annahmen zum Volumen der einzulagernden Abfälle und des jeweils betrachteten Lagerkonzeptes unterschiedliche Flächenbedarfe in den verschiedenen Standortgebieten. Um eine optimale Nutzung des Platzangebots zu erreichen, wurden die Lagerkonzepte von der Nagra innerhalb bestimmter Grenzen an die standortspezifischen Bedingungen angepasst. Bezüglich der weiterhin betrachteten Option eines Kombilagers an einem Standort geht die Nagra davon aus, dass, falls die Optimierung der Lagerperimeter für das SMA- und das HAA-Lager zu einer Situation führt, in der ohne wesentliche Kompromisse bei der Abgrenzung für beide Lagertypen geeignete Lagerperimeter angeordnet werden können, das Standortgebiet für ein Kombilager vorgemerkt werden. Eine in sich geschlossene und nachvollziehbare Planung zu einem Kombilager ist in den von der Nagra vorgelegten Unterlagen nicht enthalten.

#### ***Einschätzung der ESchT:***

- Die prinzipielle Vorgehensweise zur Abschätzung des Platzbedarfs der HAA- und SMA-Tiefenlager und des verfügbaren Platzangebots in den verschiedenen Standortgebieten ist aus Sicht der ESchT sachgerecht für die Etappe 2.
- Der Ansatz der Nagra, äquivalente erhöhte Abfallvolumina zu Grunde zu legen, erscheint prinzipiell sinnvoll, da er Flexibilität für eine spätere sicherheitsgerichtete Optimierung der technischen Endlagerauslegung bietet, falls diese notwendig werden sollte. Allerdings sind die unterstellten Zahlenwerte für die Erhöhung des Abfallvolumens und damit einhergehend des Platzbedarfs aus Sicht der ESchT kaum nachvollziehbar.
- Anhand der der ESchT vorliegenden Unterlagen (NTB 14-01, NAB 14-99 und NAB 16-41) lässt sich lediglich das grundsätzliche Vorgehen, nicht jedoch die jeweils standortspezifische Ableitung des Platzbedarfs und des Platzangebots nachvollziehen. So ergeben sich aufgrund der jeweiligen geologischen Parameter in unterschiedlichen Tiefen Bandbreiten der Platzangebote und der Platzbedarfe, bei denen von der Nagra geotechnische Erschwernisse (z. B. „anordnungsbestimmende[r] Störungszonen“ und „geotechnische[r] Schwäche zonen“ (NAB 16-41)) berücksichtigt wurden. Die Lagerperimeter wurden optimiert und ggf. gemäß Expertenbeurteilung angepasst (NTB 14-01), ohne dass dies aus den Unterlagen direkt ersichtlich ist. Die ESchT geht davon aus, dass die von der Nagra gewählte Vorgehensweise zur Ermitt-

lung der Platzbedarfe und der Platzangebote, die für das Einengungsverfahren von zentraler Bedeutung sind, im Rahmen der Begutachtung der von der Nagra vorgelegten Unterlagen durch die Schweizer Institutionen kritisch hinterfragt wird.

- Die Nagra geht nicht auf alle Forderungen des ENSI ein. Als Beispiel sei die Forderung des ENSI nach einer Dokumentation der Betrachtungen und Bewertungen alternativer Lagerkonzepte (für HAA und SMA) sowie nach einer Diskussion der Auswirkungen auf die Bau-, Betriebs- und Langzeitsicherheit inklusive Aufzeigen der Vor- und Nachteile angeführt. Alternative Konzeptualisierungen könnten zu Änderungen im Platzbedarf führen und sollten entsprechend der Forderungen des ENSI bei Entscheidungen zur Einengung im Standortauswahlverfahren berücksichtigt werden. Die Diskussion von alternativen Endlagerkonzepten wie die Oberflächenlagerung oder die oberflächennahe Endlagerung ist nach dem Verständnis der ESchT nicht zielführend für die in Etappe 2 des SGT anstehenden Entscheidungen.
- Nach Einschätzung der ESchT ist die Umsetzbarkeit eines Kombilagers mit dem Vorgehen der Nagra, die optimierten Lagerperimeter für ein SMA-Lager und ein HAA-Lager additiv anzuordnen, plausibel. Dennoch ist ohne eine konkrete Planung für ein Kombilager z. B. aufgrund unterschiedlicher Anforderungen aus dem Betrieb und die insgesamt längere Betriebsdauer eines Kombilagers die Umsetzbarkeit an den betrachteten Standorten nicht zweifelsfrei belegt. Nach bisherigen Erkenntnissen ergeben sich grundsätzlich aus den unterschiedlichen Abfalltypen relevante unterschiedliche Anforderungen an den Betrieb eines Kombilagers und an die für den sicheren Verschluss und die Gewährleistung der Langzeitsicherheit in der Nachbetriebs- und Nachverschlussphase. Diese unterschiedlichen Anforderungen erfordern in der Regel eine räumliche und systemtechnische Trennung der Lagerung der Abfalltypen in einem Endlager. Die Nagra-Unterlagen für den Vorschlag zur Etappe 2 enthalten keine konkretere Darstellung für die Realisierung eines Kombilagers an diesen Standorten. Für den Fall, dass nur zwei Standorte nach Etappe 2 verbleiben und an diesen jeweils nur ein Lagertyp realisiert werden kann, erfolgt damit faktisch bereits zum Abschluss der Etappe 2 eine abschließende Entscheidung der Endlagerstandorte (keine weitere Einengung).
- Aus Sicht der ESchT sollte in Etappe 2 kein Standort vorrangig aufgrund eines möglicherweise deutlich überschätzten Abfallvolumens zurückgestellt werden.

### **4.3 Zur Zurückstellung vorgeschlagener Standortgebiete**

Entsprechend SGT wurden von der Nagra sechs Standortgebiete im Zuge der Etappe 2 sicherheitstechnisch vertieft untersucht und einem weiteren Einengungsprozess unterzogen mit dem Ziel, mindestens je zwei Standorte für ein HAA- und SMA-Tiefenlager auszuwählen. Im Ergebnis dieser Untersuchungen schlug die Nagra am 30.01.2015 vor, die Standortgebiete Zürich Nordost und Jura Ost in Etappe 3 für ein SMA-, HAA- bzw. Kombilager weiter zu untersuchen (2x2-Vorschlag; NTB 14-01). Dieser Vorschlag wurde mit den Unterlagen, die von der Nagra zu den Nachforderungen des ENSI im August 2016 vorgelegt worden sind, bestätigt. Die übrigen vier Standortgebiete Wellenberg, Jura-Südfuss, Nördlich Lägern und Südranden sollen zurückgestellt werden, da sie nach Einschätzung der Nagra eindeutige sicherheitstechnische Nachteile gegenüber den Standortgebieten Zürich Nordost und Jura Ost aufweisen. Auf die entsprechende Argumentation der Nagra wird im Folgenden eingegangen.

#### **4.3.1 Wellenberg**

Das Standortgebiet Wellenberg wurde im Ergebnis der Etappe 1 als möglicher Standort für ein SMA-Tiefenlager im Schweizer Standortauswahlverfahren weiter untersucht. Gemäß den Untersuchungen und Bewertungen der Nagra in Etappe 2 soll das Standortgebiet Wellenberg zurückgestellt werden.

Das Standortgebiet Wellenberg mit den Wirtsgesteinen der Helvetischen Mergelformationen war schon einmal von 1987 bis Mitte der 90er Jahre im Rahmen des Standortsuchverfahrens und Rahmenbewilligungsgesuchs für ein SMA-Tiefenlager Gegenstand eines intensiven Untersuchungsprogramms („Untersuchungsphasen I und II“). Aufgrund dieser älteren Kampagne existieren detaillierte Kenntnisse basierend auf Tiefbohrungen, Seismik und Oberflächenkartierungen. Die damaligen Ergebnisse wurden in mehreren Berichten zusammengefasst und später mit weiteren Untersuchungen ergänzt (Synthesebericht NTB 96-01, Sicherheitsanalyse NTB 94-06, NTB 93-34, zusätzliche hydrogeologische Ergebnisse in Etappe 1 in NTB 08-04). Aufgrund dieser Erkenntnislage bezüglich der Standortregion Wellenberg wurde in Etappe 2 seitens der Nagra vor allem die Neuinterpretationen alter Daten durchgeführt. Insbesondere wurde die 3D-Modellierung aktualisiert (NTB 14-02 Dossier II, NAB 14-33). Weiterhin wurde die ENSI-Forderung zur Betrachtung der Tiefenerosion (über-tiefte Rinnen) und möglicher erhöhter Seismizität betrachtet (ENSI 33-115). Die beiden letztgenannten Aspekte führen aufgrund der im Vergleich zu den anderen Standorten inneralpinen Lage zu einer schlechteren Bewertung für die Region Wellenberg.

Im Vergleich zu den anderen Standortgebieten weist Wellenberg eine komplexe tektonische Situation auf, in der geringdurchlässige Mergel in mehreren Decken zu einer großen Mächtigkeit akkumuliert sind.

Wellenberg ist das einzige Standortgebiet, an dem kein Opalinuston als Wirtsgestein ansteht. Im aktuellen Einengungsprozess hat dies die Konsequenz, dass die Helvetischen Mergelformationen, die gleichwohl die Mindest- und verschärften Anforderungen erfüllen, nicht bei der vergleichenden Bewertung der Wirtsgesteine („Identifikation eindeutiger Nachteile“) zurückgestellt werden, wie dies für Effinger Schichten und „Braunen Dogger“ im Vergleich zum Opalinuston geschieht. Vielmehr scheidet das Standortgebiet Wellenberg dadurch erst im Verfahrensschritt „Sicherheitstechnischer Vergleich der geologischen Standortgebiete“ aus.

Im Vergleich zu den anderen potenziellen Standortgebieten für ein SMA-Tiefenlager sieht die Nagra für das Standortgebiet Wellenberg eindeutige Nachteile bei der

- Wirksamkeit der geologischen Barriere,
- Langzeitstabilität der geologischen Barriere und
- Explorierbarkeit und Charakterisierbarkeit der geologischen Barriere im Standortgebiet.

Diese Einschätzungen werden begründet und führen zu schwächeren Bewertungen einzelner oder mehrerer Indikatoren.

Weiterhin ist die Nagra der Forderung des ENSI nachgekommen, mögliche Tiefenerosion und erhöhte seismische Aktivität näher zu untersuchen. Aufgrund dieser Ergebnisse wird die Langzeitstabilität am Standort Wellenberg im Vergleich zu den potenziellen Standortgebieten in der Nordschweiz als „günstig“ bewertet.

### ***Einschätzung der ESchT:***

Die Bewertungen der Wirtsgesteine Helvetischer Mergel und des Standortgebiets Wellenberg durch die Nagra werden von der ESchT wie folgt eingeschätzt:

- Die schlechte bzw. sehr aufwändige Explorierbarkeit am Standort sowie die gegenüber dem Opalinuston insgesamt schlechteren Eigenschaften der Helvetischen Mergel und Kalke bei einer Radionuklidfreisetzung werden auch seitens der ESchT als entscheidungsrelevant angesehen.

- Die „günstige“ Bewertung seitens der Nagra bezüglich einer möglichen Erosion und erhöhten seismischen Aktivität ist aus Sicht der ESchT fachlich begründet und nachvollziehbar.
- Die Charakterisierung und qualitative Bewertung der Wirtsgesteine in den Standortgebieten erfolgt seitens der Nagra anhand verschiedener Kriteriengruppen. Die dabei vorgenommenen Bewertungen erscheinen auch auf Ebene der Indikatoren für die Helvetischen Mergelformationen plausibel und korrekt. Die Bewertungen der Nagra werden aber von der ESchT insgesamt als eher zu positiv eingestuft. Die „sehr günstige“ Bewertung der bautechnischen Eignung der Helvetischen Mergelformationen erscheint, insbesondere wenn man die komplexe tektonische Situation in Wellenberg in Betracht zieht (s. a. NTB 14-02 Dossier IV, Anhang), eher optimistisch. Die Aussagen zur schlechten Explorierbarkeit werden von der ESchT als nachvollziehbar und korrekt angesehen.
- Die Einschätzungen der Nagra in NTB 14-01 zur „Abgrenzung optimierter Lagerperimeter und deren Bewertung“ hinsichtlich des Standortgebiets Wellenberg erscheinen plausibel. Allerdings sind die Auswahl und die Festlegung der Tiefenlagen der Lagerkammern in den Unterlagen schlecht nachvollziehbar.

Insgesamt wird die Einstufung der Nagra des Standortgebiets Wellenberg mit seinen Helvetischen Mergelformationen und die vorgeschlagene Rückstellung des Standortgebiets von der ESchT als plausibel, nachvollziehbar und fachlich richtig eingeschätzt.

#### **4.3.2 Jura-Südfuss**

Das Standortgebiet Jura-Südfuss wurde im Ergebnis der Etappe 1 als möglicher Standort für ein SMA-Tiefenlager im Schweizer Standortauswahlverfahren weiter untersucht. Im Standortgebiet Jura-Südfuss kommen Opalinuston und die Effinger Schichten als Wirtsgesteine in Frage. Gemäß den Untersuchungen und Bewertungen der Nagra in Etappe 2 soll das Standortgebiet Jura-Südfuss zurückgestellt werden.

Die Effinger Schichten weisen gegenüber dem Opalinuston eindeutige Nachteile auf (s. Kap. 4.1). Von daher verbleibt im Standortgebiet Jura-Südfuss nur der Opalinuston als prioritäres Wirtsgestein.

Das Wirtsgestein Opalinuston weist im Standortgebiet Jura-Südfuss eine Mächtigkeit von ca. 90 m auf. Diese Angaben beruhen im Wesentlichen auf den Ergebnissen der Bohrung Gösigen SB4, die fast den gesamten einschlusswirksamen Gebirgsbereich durchteuft und mitten

im Standortgebiet liegt (NAB 14-101), sowie auf den 2D-seismischen Untersuchungen und teilweise auch auf der im weiteren Umfeld liegenden Tiefbohrung Schafisheim.

Die unteren Rahmengesteine des Opalinustons bestehen aus Sedimenten des Gipskeupers, des Oberen Mittelkeupers und des Lias und sind in der Bohrung Schafisheim 144 m mächtig (NTB 86-03). Der Lias ist im Standortgebiet Jura-Südfuss im Unterschied zu den anderen Standortgebieten der Nordschweiz nicht in toniger, sondern in sandigkalkiger Fazies ausgebildet.

Die oberen Rahmengesteine des Opalinustons bestehen im Standortgebiet Jura-Südfuss aus den Sedimenten der Passwang-Formation und den Unteren Acuminata-Schichten (Teil der Hauptrogenstein-Formation). Die Zusammensetzung und Mächtigkeit der Passwang-Formation variiert lateral stark. Mehrere Meter mächtige sandig-kalkige Abfolgen treten v. a. im unteren Teil der Passwang-Formation auf (NAB 12-51).

In Etappe 2 wurde durch die Nagra der seismische Datensatz um zwei Seismikprofile im Schichtfallen und ein Profil im Schichtstreichen ergänzt. Die Auswertung der reprozessierten früheren und der neuen seismischen Daten zeigt, dass der Einfluss von regionalen Störungszonen vor allem im Nordosten und Süden des Standortgebiets wesentlich stärker ist, als bisher bekannt (NTB 14-02 Dossier II). So wurde im Nordosten die über mehrere Kilometer nachweisbare Schönenwerd-Eppenberg-Antiklinale (entspricht der Eppenberg-Flexur in Jordan 2011) in SGT Etappe 2 neu als regionale Störungszone ausgewiesen. Im Südosten zeigte sich durch die neu aufgenommenen Seismikdaten, dass sich die Born-Engelberg-Antiklinale weiter nach Osten fortsetzt als bisher bekannt und in das eigentliche Standortgebiet hineinreicht (NTB 14-02 Dossier II). Die im Standortgebiet Jura-Südfuss ausgewiesenen zu meidenden tektonischen Zonen stehen in engem Zusammenhang mit den oben genannten regionalen Störungszonen. Das potenzielle Platzangebot untertags in diesem Gebiet ist davon abhängig und mit hoher Wahrscheinlichkeit vergleichsweise nur bedingt günstig (NTB 14-02 Dossier II).

### ***Einschätzung der ESchT:***

- Die Mächtigkeit des Opalinustons von 90 m im Vergleich zu den Standortgebieten Zürich Nordost (110 m) und Jura Ost (110 m) in Zusammenhang mit den ungünstigen Eigenschaften der unteren Rahmengesteine und der konzeptuell begründeten Annahme einer beschränkten Barrierenwirkung der oberen Rahmengesteine kann aus Sicht der ESchT als eindeutiger Nachteil bewertet werden.

- Wegen der erhöhten Anzahl von Störungzonen als Folge der tektonischen Überprägung ist ein geringeres Platzangebot in den in Frage kommenden Tiefenlagen zu erwarten.
- Die Argumente der Nagra für das Zurückstellen des Standortgebietes Jura-Südfuss werden von der ESchT als schlüssig und nachvollziehbar bewertet.

### 4.3.3 Nördlich Lägern

Das Standortgebiet Nördlich Lägern wurde im Ergebnis der Etappe 1 als möglicher Standort für ein SMA-, HAA- oder Kombilager im Schweizer Standortauswahlverfahren in Etappe 2 weiter untersucht. Das prioritäre Wirtsgestein Opalinuston weist im Standortgebiet Nördlich Lägern ähnlich positive Eigenschaften bezüglich der hydraulischen Barrierewirkung, der geochemischen Bedingungen, der Freisetzungspfade, der Langzeitstabilität und der Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen auf wie das Wirtsgestein in den Standortgebieten Jura Ost und Zürich Nordost. Aufgrund des entscheidungsrelevanten Merkmals *Bautechnische Machbarkeit eines Tiefenlagers unter Berücksichtigung der vorgeschlagenen Standortareale* und hier speziell aufgrund des Indikators *Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit* hat die Nagra vorgeschlagen, das Standortgebiet Nördlich Lägern zurückzustellen (NTB 14-01). Dazu hat das ENSI im Zuge seiner Prüfung festgestellt, dass die von der Nagra für die Bewertung der Standortgebiete verwendete Datengrundlage in Bezug auf den Indikator „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ nicht vollständig und belastbar sei und entsprechende Nachforderungen an die Nagra gestellt (ENSI 33/476). Die Nagra hat im August 2016 diese Nachforderungen aufgegriffen und auf der Grundlage der ergänzenden Arbeiten die Rückstellung des Standortgebiets Nördlich Lägern bestätigt (NAB 16-41).

Die vorgeschlagene Rückstellung des Standortgebiets Nördlich Lägern ergibt sich laut Nagra für alle Lagertypen insbesondere wegen der in Etappe 2 erfolgten Anhebung der unteren Tiefenbegrenzungen um jeweils 200 m gegenüber Etappe 1 und des daraus folgenden reduzierten Platzangebots. Für eine maximale Tiefe des SMA-Tiefenlagers von 600 m steht kein hinreichendes Platzangebot zur Verfügung, während für ein HAA-Tiefenlager für eine maximale Tiefe von 700 m das Platzangebot ohne weitere Quantifizierung mit als „sehr klein“ angegeben wurde. Hierzu hat die Nagra in einer Art Variantenbetrachtung im NTB 14-01 standortgebietsbezogene Optimierungen der Lagerperimeter untersucht. So führt z. B. die tiefere Lage der unteren Abgrenzung für ein SMA-Tiefenlager im Tiefenbereich 590 – 750 m zu einem Lagerperimeter mit einer Fläche von 1,2 km<sup>2</sup> (erforderlich 4 – 5 km<sup>2</sup>) und für ein HAA-Tiefenlager im Tiefenbereich 590 – 800 m zu einem Lagerperimeter mit einer Fläche von 4,2 km<sup>2</sup> (erforderlich sind laut Nagra 8 – 12 km<sup>2</sup>).

Damit wird gemäß Nagra die Realisierung eines Tiefenlagers in diesem Standortgebiet aufgrund des zu geringen Platzangebotes unabhängig von anderen Bewertungsmerkmalen faktisch ausgeschlossen.

Angesichts dieser signifikanten Auswirkungen der reduzierten Tiefenbegrenzungen für die beiden Lagertypen ergibt sich die Frage nach der geotechnischen Zuverlässigkeit der Anhebung der unteren Abgrenzungen in Verbindung mit der Frage nach der Verfahrenskonformität der daraus für das Standortgebiet Nördlich Lägern abgeleiteten vorgeschlagenen Rückstellung.

Die Herleitung der unteren Abgrenzungen für das HAA- und für das SMA-Tiefenlager beruht auf sicherheitstechnisch und bautechnisch begründeten Anforderungen an das Gebirgstragverhalten. Die für die Herleitung der Gebirgsbeanspruchung und des zu erwartenden Gebirgstragverhaltens während Auffahrung und Offenhaltung der Einlagerungsstollen und -kammern angesetzten Gebirgseigenschaften entsprachen zunächst einer mittleren Qualität des Opalinuston, sind aber für den Opalinuston nicht standortbezogen belegt. Grundsätzlich sind damit auch günstigere Verhältnisse nicht ausgeschlossen. In den ergänzend vorgelegten Unterlagen erfolgt nunmehr eine realitätsnähere und umfangreich begründete Einschätzung zu den Gebirgseigenschaften und zu dem zu erwartenden Tragverhalten der Einlagerungsstollen und -kammern.

Der Norden des Standortgebiets Nördlich Lägern wird gemäß aktueller integrativer Interpretation aller Daten, dem Analogschluss aus den Befunden der 3D-Seismik-Exploration des Zürcher Weinlands und unter Berücksichtigung von Modellvorstellungen zur Geodynamik von der Nagra als zu meidende tektonische Zone bewertet.

Ob Bereiche des Standortgebiets Nördlich Lägern im Einflussbereich einer post-paläozoisch reaktivierten Randzone des Nordschweizer Permokarbondrogs stehen, ist aus den Ergebnissen der bisherigen 2D-Seismik nicht eindeutig abzuleiten. Die Nagra erwartet, dass die Kartierung dieser Zone mit Hilfe der 3D-Seismikdaten zumindest teilweise präzisiert werden kann, dass aber Ungewissheiten bezüglich ihrer seismischen Nachweisbarkeit und ihrer Bedeutung für die geologische Langzeitstabilität bestehen bleiben (NAB 16-41). Hierbei wird von der Nagra auf die anerkannten Modellvorstellungen zur Geodynamik des nördlichen Alpenvorlands verwiesen (NTB 14-02 Dossier II). In NAB 14-17 wird die Überarbeitung der synoptischen Strukturkarte des Nordschweizer Permokarbondrogs dokumentiert.

Auch auf der Grundlage der Ergebnisse der ergänzenden Untersuchungen in Etappe 2 bewertet die Nagra die Bedingungen im Standortgebiet Nördlich Lägern weiterhin als „weniger

günstig“ im Vergleich zu den Standortgebieten Zürich Nordost und Jura Ost und bekräftigt damit die vorgeschlagene Rückstellung des Standortgebietes Nördlich Lägern. Als signifikante Gründe werden u. a. vor dem Hintergrund einer zur Darstellung des erforderlichen Platzangebotes notwendigen Auffahrungstiefe bis 900 m bzw. bis 800 m aufgeführt (NAB 16-45, S. 190 ff):

#### 1. HAA-Lagerstollen

- Tiefenlage 900 m und Baugrundmodell BGM-2 (Referenzmodell, das die Gebirgsqualität für den Opalinuston am besten repräsentiert) lassen ein druckhaftes Gebirgstragverhalten erwarten. Das für die Lagerstollen bevorzugte Bauverfahren Tunnelbohrmaschine mit Gripper lässt unter diesen Umständen keine sichere bautechnische Machbarkeit erwarten.
- Zwischenversiegelungen mit Stahlbogenausbau erfordern einen derart geringen Stahlbogenabstand, dass die Funktionalität des Abdichtungsmaterials nicht im hinreichenden Maße gegeben ist (unmittelbare Quelldruckübertragung auf das entfestigte konturnahe Gebirge).

#### 2. SMA/LMA-Lagerkammern

- Tiefenlage 800 m und Baugrundmodell BGM-2 lassen ein druckhaftes Gebirgstragverhalten erwarten. Das für die Lagerkammern bevorzugte Bauverfahren mit Teilausbruch Kalotte sowie Strecke /Sohle mit Ringschluss weist unter diesen Bedingungen erhebliche bautechnische Risiken auf (große Auflockerungen und Deformationen, Ausbauschädigungen, erschwerte Rückholbarkeit).
- Das knappe Platzangebot reduziert von vornherein den Handlungsspielraum bezüglich einer Reaktion auf geotektonische Imponderabilien.

#### 3. Lagerfeldzugangsbauwerke

- Tiefenlage 900 m und Baugrundmodell BGM-2 lassen ein druckhaftes Gebirgstragverhalten erwarten. Daraus resultieren größere Auflockerungen und Deformationen sowie ein deutlich höherer Sicherheitsaufwand.
- Die Sicherung der Versiegelungsstrecken mit Stahlbögen erfordert derart geringe Stahlbögenabstände, dass die erforderliche funktionale Wirkung des Abdichtungsmaterials nicht zu erwarten ist.

**Einschätzung der ESchT:**

Bei der Bewertung der von der Nagra vorgelegten Ergebnisse wird von der ESchT eher die generelle Vorgehensweise betrachtet. Die zahlenmäßigen Befunde werden ohne Prüfung als mechanisch-mathematisch zutreffend unterstellt. Unter diesen Prämissen kommt die ESchT auf Grundlage der von der Nagra insgesamt vorgelegten Unterlagen zum 2x2-Vorschlag zu folgender Einschätzung:

- Ob die von der Nagra vorgeschlagene Rückstellung des Standortgebietes Nördlich Lägern als gerechtfertigt eingestuft werden kann, hängt nach Einschätzung der ESchT vor allem davon ab, ob die Begründungen für den Platzbedarf für ein SMA- bzw. HAA-Tiefenlager und für das zur Verfügung stehende Platzangebot belastbar sind. Diese Anforderung an die Begründungen ist aus Sicht der ESchT beim Standortgebiet Nördlich Lägern nicht zweifelsfrei erfüllt.
- Die Ausweisung von zu meidenden tektonischen Zonen im Norden des Standortgebietes Nördlich Lägern ist auf der Grundlage der Berichte NAB 16-41 bis NAB 16-46 nachvollziehbar. Diese würden zu einer Verringerung des Platzangebots im Standortgebiet führen, was in Bezug zu den Standortgebieten Zürich Nordost und Jura Ost als Nachteil gewertet werden kann. Allerdings liegen bisher noch keine gegenständlichen Belege für die zu meidenden tektonischen Zonen im Standortgebiet Nördlich Lägern vor. Im Herbst 2016 wurden im Standortgebiet Nördlich Lägern 3D-Seismikuntersuchungen begonnen. Auf deren Basis kann u. a. auch eine bessere Identifizierung von zu meidenden tektonischen Zonen erfolgen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen können voraussichtlich erst in Etappe 3 genutzt werden.
- Für das Standortgebiet Nördlich Lägern sind keine standortbezogenen Daten zu der geomechanischen und zu der geohydraulischen Qualität des anstehenden Opalinustongebirges auf der Grundlage einer Erkundungsbohrung ausgewiesen worden. Nicht explizit geklärt ist damit auch, ob nicht im Standortgebiet Nördlich Lägern signifikant günstigere Gebirgsverhältnisse vorliegen als die als repräsentativ lokationsübergreifend angesetzten Gebirgsverhältnisse und Gebirgskennwerte. Unklar ist damit, ob gerade in diesem Standortgebiet in der analysebezogenen gewählten konservativen Ausgestaltung der geotektonischen, faziellen, hydraulischen und primärspannungsbezogenen Verhältnisse die tatsächlich vorliegende Situation hinreichend umfassend abgebildet ist. Eine eventuell mögliche Nutzung tiefer gelegener Gebirgsbereiche würde zu einem höheren Platzangebot führen.
- In der Konsequenz könnte aufgrund günstigerer geologischer Bedingungen bezüglich der zu meidenden tektonischen Zonen bzw. einer geringeren Anzahl diffus gestörter Zonen sowie günstigerer geomechanischer Bedingungen das bei größeren

zulässigen Tiefenlagen vorhandene Platzangebot tatsächlich dann doch hinreichend groß sein, auch wenn dies aufgrund der bisher vorliegenden Modelle als unwahrscheinlich erscheint.

- Wie in Kap. 4.2.4 ausgeführt, werden bei der Ermittlung der standortspezifischen Platzbedarfe Aufschläge auf das repräsentative Abfallvolumen angesetzt, um Ungewissheiten u. a. in Bezug auf die geologischen Standortbedingungen abzudecken. Ob die daraus resultierende annähernde Verdopplung des Platzbedarfs gerechtfertigt ist, lässt sich kaum beurteilen. In diesem Zusammenhang ist auch zu berücksichtigen, dass bei der Ermittlung des Platzbedarfs zusätzlich geologische Aspekte mit ihren Ungewissheiten, wie z. B. diffus gestörte Zonen, berücksichtigt werden.
- Aus Sicht der ESchT sollten durch Überlagerungen von Ungewissheiten in den Parameterwerten keine zu großen Konservativitäten zugrunde gelegt werden, die dazu führen, dass ein zu großer Platzbedarf und ein zu kleines Platzangebot ermittelt werden. Vielmehr sollte vermieden werden, dass ein Standortgebiet vorrangig aufgrund nicht belegter standortbezogener Erkenntnisse zurückgestellt wird. Eine derartige Zurückstellung wäre nicht verfahrenskonform und daher als ungerechtfertigt anzusehen.
- Auf Grundlage der durch die Nagra vorgelegten Unterlagen erscheint der ESchT eine Rückstellung des Standortgebietes Nördlich Lägern unter dem Gesichtspunkt der Verfahrenskonformität derzeit nicht hinreichend begründet. Die Übernahme des Standortgebietes Nördlich Lägern in Etappe 3 ermöglicht es, noch fehlende Daten standortspezifisch zu erheben und die Bewertung auf eine fundiertere fachliche Basis zu stellen.

#### **4.3.4 Südranden**

Das Standortgebiet Südranden wurde im Ergebnis der Etappe 1 als möglicher Standort für ein SMA-Tiefenlager im Schweizer Standortauswahlverfahren weiter untersucht. Gemäß den Untersuchungen und Bewertungen der Nagra in Etappe 2 soll das Standortgebiet Südranden zurückgestellt werden.

Im geologischen Standortgebiet Südranden kommt auf Basis der Ergebnisse in Etappe 1 Opalinuston als Wirtsgestein in Frage. Die hydrogeologischen Eigenschaften des Opalinustons werden von der Nagra hinsichtlich der Barriereneigenschaften eines Wirtsgesteins als „sehr günstig“ eingeschätzt. In NTB 14-01 wird die Mächtigkeit des Opalinustons im Lagerperimeter Südranden mit ca. 105 m angegeben.

Mit Bezug auf die geowissenschaftliche Datenlage zum Abschluss der Etappe 1 wird das geologische Standortgebiet Südranden durch eine seismische Linie im Streichen und zwei im Fallen der Schichten sowie durch Oberflächenaufschlüsse erfasst. Geologische Informationen über das Wirtsgestein und die Rahmengesteine lieferten die nächstgelegenen Tiefbohrungen Benken (ca. 5 km südöstlich des Standortgebiets) und Weiach (ca. 10 km südsüdwestlich des Standortgebiets). Weitere geologische Informationen lieferten Oberflächenaufschlüsse und Bohrungen im Klettgau und im Wutachgebiet.

Die Nagra hat die verschiedenen Forderungen des ENSI (ENSI 33-115), Empfehlungen der KNS (KNS 23/247) und der ESchT aus Etappe 1 aufgegriffen und für die Etappe 2 folgende geowissenschaftliche Untersuchungen mit Bezug zum geologischen Standortgebiet Südranden durchgeführt:

- Auswertung von Bohrungen Dritter,
- seismische Untersuchungen und
- zusätzliche Feldarbeiten.

Da im Standortgebiet Südranden die oberen Rahmengesteine aufgrund einer zu geringmächtigen Überdeckung einen nur unzureichenden Beitrag zur Barrierenwirkung leisten können (keine nutzbare Mächtigkeit bei einer Überdeckung von weniger als 300 m), kommt die Nagra im sicherheitstechnischen Vergleich der Standortgebiete für das SMA-Lager zu dem Ergebnis, das Standortgebiet Südranden zurückzustellen. Maßgebend für dieses Ergebnis sind:

- die geringe Tiefenlage des Wirtsgesteins,
- die höhere Wahrscheinlichkeit der Bildung von Durchbruchsrinnen bzw. der Verbreiterung bestehender Durchbruchsrinnen,
- die Ungewissheiten in den dazu gehörenden Modellvorstellungen zur Erosion und
- die daraus resultierenden unzureichenden Platzverhältnisse für die Einrichtung eines SMA-Tiefenlagers.

### ***Einschätzung der ESchT:***

- Die Nagra berücksichtigt bei der Optimierung der oberen Abgrenzung (geringe Tiefenlage des Wirtsgesteins und mögliche Einwirkungen glazigener Prozesse) die Forderungen bzw. Empfehlungen des ENSI, der KNS und der ESchT aus der Etappe 1.

- Die Argumente der Nagra für das Zurückstellen des Standortgebietes Südranden werden von der ESchT als schlüssig und nachvollziehbar bewertet.
- Die zur Abgrenzung der Lagerperimeter herangezogenen raumwirksamen Elemente (regionale Störungszonen, zu meidende tektonische Zonen, minimale Tiefenlage der Wirtsgesteine zur Abgrenzung wegen Dekompaktion bzw. Erosion, maximale Tiefenlage der Lagerebene unter Terrain wegen geotechnischer Aspekte und bautechnischer Machbarkeit) werden nachvollziehbar erläutert.
- Auch die Berücksichtigung der Neuhauserwald-Rinne mit dem Resultat der Zerschneidung des Standortgebietes und zu kleiner Flächen für ein SMA-Lager ist als Argument für ein Zurückstellen nachvollziehbar.

## 5. Vorgeschlagene Standortgebiete

Im Ergebnis der Untersuchungen in Etappe 2 schlug die Nagra am 30.01.2015 vor, die Standortgebiete Jura Ost und Zürich Nordost in Etappe 3 für ein SMA-, HAA- bzw. Kombilager weiter zu untersuchen (2x2-Vorschlag, NTB 14-01). Auf die entsprechende Argumentation der Nagra wird im Folgenden eingegangen. Die Nachforderungen des ENSI (ENSI 33/476) und die weiteren Untersuchungen der Nagra (NAB 16-41) hatten keine Änderung der vorgeschlagenen Standortgebiete zur Folge.

### 5.1. Jura Ost

Das Standortgebiet Jura Ost liegt in der Vorfaltenzone in einem Übergangsbereich zwischen dem Tafelfura im Norden und der subjurassischen Zone im Süden und kommt sowohl für ein HAA-Lager als auch für ein SMA-Lager oder ein Kombi-Lager in Frage. Das tektonische Regime der alpinen Vorfaltenzone zeichnet sich grundsätzlich durch eine kompressive Überprägung aus und ist abschnittsweise, insbesondere im Standortgebiet Jura Ost über ausgedehnte Bereiche wenig tektonisch gestört. Es wird lediglich in seinen Randbereichen von tektonischen Elementen berührt und weist in den seismischen Profilen wenige Störungen auf. Das Wirtsgestein Opalinuston fällt im Standortgebiet Jura Ost mit geringer Neigung nach Süden ein. Der Opalinuston weist eine nutzbare Mächtigkeit von 105 bis 110 m auf. Die Rahmengesteine im Liegenden des Opalinustons sind die Schichten des Tonigen Lias mit einer Mächtigkeit von 30 m. Der Tonige Lias unterscheidet sich hinsichtlich seiner transportrelevanten Eigenschaften kaum vom Opalinuston. Im Standortgebiet Jura Ost ist die Tonsteinfolge des „Braunen Dogger“ im Hangenden des Opalinuston nicht ausgebildet.

Der Kenntnisstand in Etappe 1 zu den räumlichen Verhältnissen beruht im Wesentlichen auf vier Seismiklinien und einer Tiefbohrung am Rand des Gebiets (Bohrung Riniken). Am Ende der Etappe 1 wurde das Standortgebiet Jura Ost mit dem Opalinuston und seinen Rahmengesteinen als sehr geeignet klassifiziert, sowohl für SMA als auch für HAA.

Die Datengrundlage zu den sedimentologischen und tektonischen Verhältnissen wurde in den geologischen Standortgebieten durch gezielte Untersuchungen in der Etappe 2 des Sachplanverfahrens verbessert. Dies betrifft einerseits die Bohrdaten und andererseits geophysikalische Messungen in Bohrungen. Das 2D-Seismiknetz der Nordschweiz wurde in der Etappe 2 vollständig reprozessiert. Hinzu kam eine neue 2D-Seismikkampagne in den Jahren 2011/2012, die die bekannten Störungen in ihrem Verlauf bestätigte.

Im Standortgebiet Jura Ost werden die unmittelbar an die regionalen Störungszonen „Mandach-Überschiebung“ und „Jura-Hauptüberschiebung“ angrenzenden Bereiche als zu meidende tektonische Zonen auf Grundlage der Interpretation der seismischen Profile eingestuft.

Aufgrund des gegebenen Platzangebotes wurde das Standortgebiet Jura Ost von der Nagra auch für ein Kombilager als potenziell geeignet eingeschätzt. Sämtliche vier Kriteriengruppen erhielten für ein SMA- sowie für ein HAA-Lager die qualitative Bewertung günstig bzw. sehr günstig und das Standortgebiet Jura Ost wurde in der Gesamtbewertung als sehr geeignet eingestuft.

Die Ergebnisse der Dosisberechnungen im Rahmen der quantitativen Bewertung zeigen für das HAA-Lager im Standortgebiet Jura Ost, dass der obere Wert des charakteristischen Dosisintervalls etwas höher als bei den Standortgebieten Zürich Nordost und Nördlich Lägern liegt, weil im Referenzfall kein Kredit von den oberen Rahmengesteinen genommen wurde. Der Freisetzungspfad ist somit in diesen Fällen deutlich kürzer als bei den anderen HAA Standortgebieten. Im Standortgebiet Jura Ost liegen für beide Lagertypen SMA und HAA jedoch die maximalen Dosiswerte mehr als eine Größenordnung unterhalb des Schwellenwertes von 0,01 mSv/a nach Schweizer Strahlenschutzverordnung.

In der Gegenüberstellung sämtlicher Bewertungen der Indikatoren, Kriterien und letztlich der Kriteriengruppen für den maßgebenden Fall der Einengung ist der Opalinuston im Vergleich der Standorte sowohl für SMA als auch für HAA geeignet. Es zeigt sich, dass der Opalinuston im Standortgebiet Jura Ost grundsätzlich zu den jeweils am besten bewerteten zählt. Eine Ausnahme besteht lediglich beim Indikator „Mächtigkeit“ für das Kriterium *räumliche Ausdehnung*. Dies ist begründet durch die im maßgebenden Fall nicht in Betracht gezogenen hangenden Rahmengesteine. Trotzdem erhält der Indikator an dieser Stelle den Wert 3,5 und somit die Einstufung „günstig“.

Ungewissheiten, die nicht reduziert werden können, wurden von der Nagra durch alternative Konzeptionen mit einer ungünstigen Wirkung auf das Barrierensystem als maßgebende Konzeptualisierung für die Einengung berücksichtigt.

### **Einschätzung der ESchT:**

- Generell sind aus Sicht der ESchT die optimierten Lagerperimeter ausreichend für die Aufnahme des gesamten Abfallinventars und weisen Reserven auf. Auch wenn der Einschätzung der Nagra, dass das Standortgebiet zur Aufnahme eines Kombila-

gers geeignet ist, grundsätzlich gefolgt werden kann, sollte die Realisierbarkeit eines Kombilagers im Standortgebiet Jura Ost durch Vorlage einer konkreteren Planung aufgezeigt werden.

- Insgesamt sind die von der Nagra vorgenommenen Einschätzungen der Indikatoren für die ESchT plausibel und entsprechen dem allgemeinen geowissenschaftlichen Verständnis und dem gegebenen Kenntnisstand zum Opalinuston am Ende der Etappe 2 des Sachplanverfahrens.
- In der Aggregation der entscheidungsrelevanten Indikatoren weist das Standortgebiet Jura Ost keine Schwächen (Indikatorwerte < 3) auf. Es ergeben sich somit aus Sicht der ESchT keine eindeutigen Nachteile gegenüber den weiteren betrachteten Standortgebieten.
- Insgesamt erscheint aus Sicht der ESchT der Vorschlag der Nagra, das Standortgebiet Jura Ost in der Etappe 3 weiter zu untersuchen, gerechtfertigt.

## 5.2. Zürich Nordost

Das Standortgebiet Zürich Nordost umfasst eine Fläche von 49 km<sup>2</sup>. Es wird im Westen und Nordwesten geografisch durch die Staatsgrenze, im Nordosten geologisch durch die Neuhauser Störung und im Südosten durch die maximale Tiefenlage des Wirtsgesteins begrenzt. Es kommt sowohl für ein HAA-Lager als auch für ein SMA-Lager oder ein Kombi-Lager in Frage.

In der Etappe 1 ist das Standortgebiet von der Nagra für HAA insgesamt als „sehr günstig“ bewertet worden. Für SMA ist das Standortgebiet mit dem Wirtsgestein Opalinuston ebenfalls als „sehr günstig“ bewertet worden. Für das Wirtsgestein „Brauner Dogger“ ist das Standortgebiet als „günstig“ bewertet worden.

Der Kenntnisstand über die räumlichen Verhältnisse beruht unter anderem auf einer 3D-Seismik sowie einer Tiefbohrung (Benken), die zentral im Standortgebiet liegt. Der Opalinuston weist in der Bohrung Benken eine Mächtigkeit von 112 m auf (NAB 12-51). Die oberen Rahmengesteine des Opalinustons bestehen aus der Tongesteinsabfolge „Brauner Dogger“ und den Effinger Schichten.

Die unteren Rahmengesteine des Opalinustons bestehen aus Sedimenten des Gipskeupers, des Oberen Mittelkeupers und des Lias und sind in der Bohrung Benken 155 m mächtig. Die Bohrung Benken (NTB 00-01) stellt für das Standortgebiet Zürich Nordost das wichtigste stratigraphische Profil dar. Sie durchteuft den gesamten potenziell einschlusswirksamen Ge-

birgsbereich. Mit der Priorisierung des Wirtsgesteins in Etappe 2 wird nur noch der Opalinuston als Wirtsgestein betrachtet (s. Kap. 4.1).

In der Nordschweiz ist das Wissen um die Lokation von potenziell anordnungsbestimmenden Strukturen nur im Standortgebiet Zürich Nordost annähernd vollständig, da hier bereits eine hochauflösende und nahezu flächendeckende 3D-Seismik vorliegt.

Die glaziale Tiefenerosion betrifft das Standortgebiet Zürich Nordost mehr als andere Gebiete. In den südlichsten Teil des Standortgebiets reicht die leicht übertiefte Marthalen-Rinne hinein. Die Forderung des ENSI war daher, das Prozessverständnis der glazialen Tiefenerosion weiter zu verbessern und weitere Untersuchungen hinsichtlich Verbreitung, Geometrie, Sedimentinhalt und Entstehungsgeschichte vorzusehen (ENSI 33/115). Bei einer Weiterverfolgung des Standortgebietes in Etappe 3 empfiehlt das ENSI eine Bohrung in der übertiefen Thurtal-Rinne südlich des Standortgebiets Zürich Nordost.

In Etappe 2 wurden die Ergebnisse von den in dem Gebiet bereits durchgeführten 2D-Seismikmessungen reprozessiert. An der Strukturinterpretation der flächendeckenden und höher auflösenden 3D-Seismik wurde festgehalten, so dass sich diesbezüglich keine Neuerungen ergeben.

Das Standortgebiet Zürich Nordost hat bei keinem der entscheidungsrelevanten Merkmale und Indikatoren eine relevante Schwäche; die vergleichsweise etwas tieferen Bewertungen der Indikatoren „Tiefenlage unter Fels im Hinblick auf glaziale Tiefenerosion“, „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit (z. B. Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften)“ und „Geotechnische und hydrogeologische Verhältnisse in überlagernden Gesteinsformationen“ werden wegen der insgesamt günstigen Tiefenlage und der insgesamt gesehen günstigen Bedingungen für die Zugangsbauwerke nach Untertage als unbedeutend eingestuft. Damit ergeben sich beim Standortgebiet Zürich Nordost gemäß NTB 14-01 keine eindeutigen Nachteile gegenüber den anderen Standortgebieten.

Der Lagerperimeter für das HAA-Lager liegt am Rand des direkten Bereichs größerer übertiefer Felsrinnen; deshalb wird die Bedeutung der Felsrinnen im Hinblick auf zukünftige Vergletscherungen untersucht. Hierfür sind weitere Studien an der Oberfläche und Bohrungen zur Erkundung der Quartärvorkommen und ihrer Ablagerungsgeschichte vorgesehen (NTB 14-01).

***Einschätzung der ESchT:***

- Insgesamt erscheint aus der Sicht der ESchT der Vorschlag der Nagra gerechtfertigt, das Standortgebiet Zürich Nordost in der Etappe 3 weiter zu untersuchen.
- Die Realisierbarkeit eines Kombilagers im Standortgebiet Zürich-Nordost sollte durch Vorlage einer konkreteren Planung aufgezeigt werden.

## 6. Zusammenfassung

Nach der Zustimmung des Schweizer Bundesrats am 30.11.2011, die insgesamt sechs von der Nagra vorgeschlagenen und von den Behörden bestätigten Standortgebiete in die Etappe 2 des Sachplan geologische Tiefenlager aufzunehmen, wurden diese Standortgebiete von der Nagra sicherheitstechnisch vertieft untersucht und einem weiteren Einengungsprozess unterzogen. Ziel der Etappe 2 ist es, mindestens je zwei Standorte für ein HAA- und SMA-Tiefenlager auszuwählen.

Im Januar 2015 hat die Nagra vorgeschlagen, die Standortgebiete Zürich Nordost und Jura Ost in Etappe 3 sowohl für ein SMA- und ein HAA-Lager als auch für ein Kombilager weiter zu untersuchen (2x2-Vorschlag). Die übrigen vier Standortgebiete sollen zurückgestellt werden, da sie nach Einschätzung der Nagra eindeutige sicherheitstechnische Nachteile gegenüber den Standortgebieten Zürich Nordost und Jura Ost aufweisen. Insbesondere ist im Rahmen einer Optimierung der Lagerperimeter die maximale Tiefenlage um jeweils 200 m reduziert worden. Aus dieser Reduzierung resultiert aufgrund der flachgeneigten Lagerung des Wirtsgesteins eine Verringerung des Platzangebotes. Im Zuge der Prüfung der von der Nagra vorgelegten Unterlagen hat das ENSI Kritikpunkte hinsichtlich der Optimierung der maximalen Tiefenlage der Lagerebenen für SMA und HAA geäußert und Nachforderungen gestellt. Die Nagra hat daraufhin eine Zusatzdokumentation zur maximalen Tiefenlage und der damit verknüpften bautechnischen Machbarkeit eines Tiefenlagers im August 2016 vorgelegt und darin ihren bisherigen 2x2-Vorschlag bestätigt.

Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) hat die deutsche Expertengruppe-Schweizer-Tiefenlager (ESchT) den 2x2-Vorschlag der Nagra bewertet. Die Bewertung sollte auf die Verfahrensgerechtigkeit und die Nachvollziehbarkeit des Vorschlags eingehen. Insbesondere waren neben den Argumenten für die vorgeschlagenen Standortgebiete auch die Argumente der Nagra zu bewerten, die zur Rückstellung von Standortgebieten führen. Dabei sollten auch die Empfehlungen vorangegangener Stellungnahmen der ESchT berücksichtigt werden, soweit diese relevant erschienen. Auch die nachträglich veröffentlichte Zusatzdokumentation der Nagra wurde, gemäß der Auftragsweiterung des BMUB, in die Bewertung der ESchT einbezogen.

Bei der Überprüfung der Gründe für den Vorschlag zur Zurückstellung der restlichen vier Standortgebiete durch die Nagra hat sich die ESchT zunächst mit der Frage befasst, ob das von der Nagra dargelegte Vorgehen verfahrensgerecht und sicherheitsgerichtet ist. Besonderes Augenmerk wurde auf die Plausibilität und Nachvollziehbarkeit der dokumentierten geowissenschaftlichen und technischen Grundlagen gerichtet, mit denen die Rückstellung

beziehungsweise die Weiterführung von Standortgebieten im Verfahren begründet worden sind. Eine Detailprüfung von Datengrundlagen konnte durch die ESchT nicht erfolgen. Sie bleibt der Sachverständigenprüfung im Rahmen des Sachplanverfahrens vorbehalten. Die Einschätzungen der ESchT werden im folgenden Text zusammengefasst.

Die von der Nagra vorgelegten Unterlagen sind sehr umfang- und detailreich. Durch das Vorhalten einer sehr großen Zahl von Berichten im Download-Bereich auf der Internetseite der Nagra wird den Anforderungen an Transparenz Rechnung getragen, was von der ESchT begrüßt wird. Bezüglich des sehr großen Umfangs der von der Nagra vorgelegten Unterlagen wäre allerdings ein Unterlagen-Strukturplan oder Vergleichbares wünschenswert, in dem vorhabensträgerseitig sämtliche relevante Berichte, möglichst mit thematischer Zuordnung und hierarchisch strukturiert, aufgeführt sind. Dies würde die fachliche Nachvollziehbarkeit der Nagra-Vorschläge wesentlich erleichtern.

Bei der Vorgehensweise in Etappe 2 zur Auswahl von mindestens je zwei Standortgebieten folgt die Nagra den Vorgaben des SGT und des ENSI. Neben den methodischen Vorgaben räumt das ENSI der Nagra ein, weitergehende Bewertungsmaßstäbe auf der Grundlage der vorgegebenen Methodik zu verwenden. Von dieser Möglichkeit hat die Nagra an einigen Stellen Gebrauch gemacht. So wurden beispielsweise die bereits in Etappe 1 verwendeten entscheidungsrelevanten Indikatoren zum Zweck einer weiteren Einengung der zu betrachtenden Standortgebiete in Etappe 2 angepasst. An Standortgebieten mit mehr als einem potenziellen Wirtsgestein wurde das prioritäre Wirtsgestein über einen Abwägungsprozess abgeleitet. Weitere entscheidungsrelevante Merkmale der geometrischen Einengung von Standortgebieten (Ausweisung von optimierten Lagerperimetern) wurden hergeleitet und angewendet.

Der methodische Ansatz ist kriteriengestützt und führt sowohl quantitativ als auch qualitativ zu einer Gesamtbewertung der zur Auswahl stehenden Standortgebiete. Nach Einschätzung der ESchT ist diese Vorgehensweise sachgerecht, dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechend und damit grundsätzlich für ein Standortauswahlverfahren zur Standort-suche für Endlager für radioaktive Abfälle geeignet.

Die von der Nagra betrachtete Szenarien bei den provisorischen Sicherheitsanalysen sind nach Einschätzung der ESchT geeignet, die Robustheit gegenüber einer großen Bandbreite möglicher Parameterwerte und Entwicklungen an den Standortgebieten zu belegen und einen sicherheitstechnischen Vergleich von Standortgebieten durchzuführen. Es ist aus Sicht der ESchT nachvollziehbar, dass allein aufgrund der Ergebnisse der provisorischen Sicher-

heitsanalysen keines der Standortgebiete in Etappe 2 des Sachplanverfahrens zurückgestellt werden muss.

Die Bewertung der Effinger Schichten und des „Braunen Dogger“ als nicht prioritäre Wirtsgesteine gegenüber dem Wirtsgestein Opalinuston ist nach Einschätzung der ESchT nachvollziehbar und gerechtfertigt.

Grundsätzlich kann die ESchT dem Vorgehen der Nagra folgen, auf Basis von raumwirksamen geometrischen Begrenzungen das Platzangebot in den jeweiligen Standortgebieten zu ermitteln und mit dem Platzbedarf für ein Tiefenlager für SMA bzw. HAA zu vergleichen. Die geometrischen Begrenzungen berücksichtigen die unteren, die oberen und die lateralen Abgrenzungen für das Tiefenlager. Die Nachforderungen des ENSI vom September 2015 beziehen sich auf zusätzliche Analysen zum Indikator „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“. Dieser Indikator definiert die maximale Tiefenlage eines Lagerbereichs und schränkt bei einfallenden Gebirgsstrukturen somit die geometrischen Verhältnisse eines Tiefenlagers ein. Diese Reduktion des Platzangebotes kann entscheidend für eine Rückstellung von Standortgebieten werden. Die im August 2016 von der Nagra vorgelegten Unterlagen wurden von der ESchT geprüft. Die vorgelegten rechnerischen Analysen erscheinen der ESchT mit Blick auf die Aufgabenstellung in dem hier relevanten Stand des Verfahrens und mit Blick auf die Schaffung grundsätzlicher und tendenzieller Erkenntnisse zum Tragverhalten als plausibel und hinreichend aussagekräftig. Eine zahlenmäßige Überprüfung ist durch die ESchT nicht erfolgt.

Obwohl die ESchT in früheren Stellungnahmen zu Etappe 1 in Bezug auf die maximale Tiefenlage ähnliche Zahlenwerte empfohlen hat wie in Etappe 2 von der Nagra vorgeschlagen, bleibt festzuhalten, dass aufgrund bisher weitgehend fehlender lokaler Aufschlüsse kaum gesicherte Kenntnisse zu den Gebirgsqualitäten in den Standortgebieten vorliegen. Nur vor dem Hintergrund des von der Nagra zugrunde gelegten Lagerkonzepts mit der angesetzten Gebirgsqualität und der vorgesehenen restriktiven Verwendung von Ausbaumitteln kann den von der Nagra vorgeschlagenen Begrenzungen der Tiefenlage auf 700 m unter Terrain für das HAA-Tiefenlager und auf 600 m unter Terrain für das SMA-Tiefenlager gefolgt werden.

Die prinzipielle Vorgehensweise zur Abschätzung des Platzbedarfs der HAA- und SMA-Tiefenlager und des verfügbaren Platzangebots in den verschiedenen Standortgebieten ist aus Sicht der ESchT sachgerecht. Wie von der Nagra durchgeführt, sollte aus Sicht der ESchT der Platzbedarf in den Standortgebieten anhand des Basisszenarios im MIRAM 14 (NTB 14-04) ermittelt und Sicherheitszuschläge für das Abfallvolumen berücksichtigt werden, die die derzeit bestehenden Ungewissheiten bei der Abfallmengenenermittlung und den geolo-

gischen Gegebenheiten an den Standorten berücksichtigen sowie Möglichkeiten für eine sicherheitsgerichtete Optimierung der technischen Endlagerauslegung bieten. Anhand der verfügbaren Unterlagen kann die ESchT jedoch die von der Nagra zugrunde gelegten unterschiedlichen Platzbedarfe nicht nachvollziehen.

Die Festlegung der oberen Abgrenzungen der Gesteinskörper ist grundsätzlich nachvollziehbar. Weitere Untersuchungen zu diesem Thema hält die ESchT in Etappe 3 für zweckmäßig.

Die lateralen Abgrenzungen von Standortgebieten auf Grundlage der zu meidenden tektonischen Zonen sind nicht in jedem Fall eindeutig nachvollziehbar und sollten im Hinblick auf die Auswirkungen auf die Platzangebote überprüft werden. Werden die Ausdehnungen der zu meidenden tektonischen Zonen bzw. der diffus gestörten Zonen entscheidungsrelevant, empfiehlt die ESchT für das Zurückstellen eines Standortes, diese Zonen nachvollziehbar zu belegen, um eine Zurückstellung von Standortgebieten nicht auf Grundlage von Ungewissheiten und somit eventuell zu groß umfasster Bereiche zu basieren.

Grundsätzlich sollten Platzbedarf und Platzangebot tiefenbezogen klarer strukturiert und nachvollziehbar dargestellt werden. Bei der Ermittlung des standortspezifischen Platzangebotes und des Platzbedarfs ist darauf zu achten, dass durch eine Überlagerung von Ungewissheiten in den Parameterwerten den weiteren Ableitungen keine zu großen Konservativitäten zugrunde gelegt werden.

Hierbei sollte auch die Realisierbarkeit eines Kombilagere (eines in einem Standortgebiet kombinierten SMA- und HAA-Lagers) in den zu betrachtenden Standortgebieten nachvollziehbar dargestellt und durch Planungen unterlegt werden, insbesondere da die unterschiedlichen Abfalltypen unterschiedliche Anforderungen an ein Kombilager ergeben, die in der Regel eine räumliche und systemtechnische Trennung bei der Lagerung der Abfalltypen bedingen. Für den Fall, dass nur zwei Standorte nach Etappe 2 verbleiben und an diesen jeweils nur ein Lagertyp realisiert werden kann, wäre faktisch bereits zum Abschluss der Etappe 2 eine abschließende Entscheidung der Endlagerstandorte getroffen. Aus Sicht der ESchT sollte in Etappe 2 kein Standort vorrangig aufgrund einer deutlich überschätzten Abfallmenge bzw. eines deutlich überschätzten Platzbedarfs zurückgestellt werden.

Die Argumente der Nagra für den Vorschlag, die Standortgebiete Wellenberg, Jura-Südfuss und Südranden im Standortauswahlverfahren zurückzustellen, sind aus Sicht der ESchT plausibel. Ebenso hält es die ESchT für gerechtfertigt, die Standortgebiete Jura Ost und Zürich Nordost in der Etappe 3 weiter zu untersuchen. Auf Grundlage der durch die Nagra vorgelegten Unterlagen erscheint der ESchT eine Rückstellung des Standortgebietes Nördlich

Lägern unter dem Gesichtspunkt der Verfahrenskonformität derzeit nicht hinreichend begründet. Bei unzureichender Kenntnis der das Platzangebot bestimmenden geowissenschaftlichen Daten und bei einer Überschätzung des Platzbedarfs aufgrund von Ungewissheiten darf ein Standortgebiet aus Verfahrensgründen nicht zurückgestellt werden. Die Übernahme des Standortgebietes Nördlich Lägern in Etappe 3 ermöglicht es, noch fehlende Daten standortspezifisch zu erheben und die Bewertung auf eine abgesichertere fachliche Basis zu stellen.

## 7. Referenzen

- BFE 2008 Sachplan geologische Tiefenlager – Konzeptteil;  
Bundesamt für Energie (BFE); Bern; April 2008
- ENSI 33/075 Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2:  
Anforderungen an die provisorischen Sicherheitsanalysen und den sicherheitstechnischen Vergleich;  
Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI; Brugg; April 2010
- ENSI 33/115 Stellungnahme zu NTB 10-01 „Beurteilung der geologischen Unterlagen für die provisorischen Sicherheitsanalysen in Etappe 2 SGT“;  
Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI; Brugg; März 2011
- ENSI 33/154 Präzisierungen zur sicherheitstechnischen Methodik für die Auswahl von mindestens zwei Standortgebieten für je HAA und SMA in Etappe 2 SGT;  
Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI; Brugg; Januar 2013
- ENSI 33/155 Ablauf der Überprüfung des geologischen Kenntnisstands vor Einreichen der sicherheitstechnischen Unterlagen für Etappe 2 SGT;  
Eidgenössisches Sicherheitsinspektorat ENSI; Brugg; Januar 2013
- ENSI 33/170 Anforderungen an die bautechnischen Risikoanalysen und an ergänzende Sicherheitsbetrachtungen für die Zugangsbauwerke in Etappe 2 SGT;  
Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI; Brugg; Januar 2013
- ENSI 33/476 Nachforderung zum Indikator „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ in Etappe 2 SGT;  
Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI; Brugg; November 2015
- ESchT 2010 Stellungnahme der ESchT zur ersten Etappe des Schweizer Standortauswahlverfahrens für geologische Tiefenlager. Teil II: Sicherheitstechnische und geowissenschaftliche Aspekte;  
Expertengruppe-Schweizer-Tiefenlager ESchT, 05.03.2010
- ESchT 2011 Stellungnahme der ESchT zum Abschluss der ersten Etappe des Schweizer Standortauswahlverfahrens für ein geologisches Tiefenlager – Anforderungen an Etappe 2;  
Expertengruppe-Schweizer-Tiefenlager ESchT, 31.05.2016
- HSK 33/001 Sachplan Geologisches Tiefenlager; Herleitung. Beschreibung und Anwendung sicherheitstechnischer Kriterien für die Standortevaluation;  
Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK); Villingen-HSK; 2007

- IAEA 2012 IAEA Safety Standards. The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. SSG-23;  
International Atomic Energy Agency, Wien, 2012
- Jordan 2011 Jordan, P., Graf, H.R., Eberhard, M., Jost, J., Kälin, D. & Bitterli-Dreher, P.H. (2011): Aarau (Atlasblatt 1089), Geologischer Atlas der Schweiz 1: 25'000, Erläuterungen.  
Swisstopo, Wabern, 2011
- KNS 23/247 Sachplan geologische Tiefenlager (SGT) Etappe 2: Stellungnahme zur Notwendigkeit ergänzender geologischer Untersuchungen in Etappe 2;  
Eidgenössische Kommission für nukleare Sicherheit; Juni 2011
- NAB 12-51 Sedimentologie und Stratigraphie des 'Braunen Doggers' und seiner westlichen Äquivalente;  
Arbeitsbericht der Nagra; Wettingen; Dezember 2013
- NAB 13-04 SGT Etappe 2: Biosphärenmodellierung für die provisorischen Sicherheitsanalysen;  
Arbeitsbericht der Nagra; Wettingen; November 2014
- NAB 13-75 Charakterisierung der Lockergesteinsaquifere für die Modellierung der Biosphäre;  
Arbeitsbericht der Nagra; Wettingen; Juni 2014
- NAB 14-02 Digitales Höhenmodell Basis Quartär der Nordschweiz – Version 2014 und ausgewählte Auswertungen;  
Arbeitsbericht der Nagra; Wettingen; Juli 2014
- NAB 14-17 Tektonische Karte des Nordschweizer Permokarbons: Aktualisierung basierend auf 2D-Seismik und Schweredaten;  
Arbeitsbericht der Nagra; Wettingen; Dezember 2014
- NAB 14-33 Geologisches 3D-Modell Wellenberg;  
Arbeitsbericht der Nagra; Wettingen; März 2014
- NAB 14-34 Tiefenkonvertierung der regionalen Strukturierung der Nagra 2D-Seismik 2011/12; B. Meier, P. Kuhn, S. Muss, P. Roth, H. Madritsch  
Arbeitsbericht der Nagra; Wettingen; September 2014
- NAB 14-81 Beurteilung der Tiefenlage in Bezug auf die geotechnischen Bedingungen: Grundlagen für die Abgrenzung und Bewertung der Lagerperimeter;  
Arbeitsbericht der Nagra; Wettingen; Dezember 2014

- NAB 14-99      Unterlagen zum Platzbedarf in den Lagerperimetern der geologischen Standortgebiete;  
Arbeitsbericht der Nagra; Wetztingen; Dezember 2014
- NAB 14-101     Geologie, Stratigraphie und bohrlochgeophysikalisches Logging der Bohrung Gösgen SB4 (Rohdaten);  
Arbeitsbericht der Nagra; Wetztingen; November 2014
- NAB 14-104     Erläuterungen zur Verpackung radioaktiver Abfälle im Endlagerbehälter;  
Arbeitsbericht der Nagra; Wetztingen; Dezember 2014
- NAB 15-05      Prozessverständnis der glazialen Tiefenerosion: Zusammenfassung;  
Arbeitsbericht der Nagra; Wetztingen; März 2015 (unveröffentlicht)
- NAB 16-41      ENSI-Nachforderung zum Indikator „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ in SGT Etappe 2. Zusammenfassende Darstellung der Zusatzdokumentation (Hauptbericht);  
Arbeitsbericht der Nagra, Wetztingen; Juli 2016
- NAB 16-42      ENSI-Nachforderung zum Indikator „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ in SGT Etappe 2. Prüfung der Lager- und Barrierenkonzepte;  
Arbeitsbericht der Nagra, Wetztingen; Juli 2016
- NAB 16-43      ENSI-Nachforderung zum Indikator „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ in SGT Etappe 2. Geomechanische Unterlagen;  
Arbeitsbericht der Nagra, Wetztingen; Juli 2016
- NAB 16-44      ENSI-Nachforderung zum Indikator „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ in SGT Etappe 2. Standortsspezifische geologische Modelle und geologische Gefährdungsbilder;  
Arbeitsbericht der Nagra, Wetztingen; Juli 2016
- NAB 16-45      ENSI-Nachforderung zum Indikator „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ in SGT Etappe 2. Projektkonzepte für die Lagerkammern und Versiegelungsstrecken und deren Bewertung;  
Arbeitsbericht der Nagra, Wetztingen; Juli 2016
- NAB 16-46      ENSI-Nachforderung zum Indikator „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ in SGT Etappe 2. Vortriebs- und Sicherungskonzepte für die Profile F, K09, K04, K04a und D (Ergänzende Unterlagen zu NAB 16-45);  
Arbeitsbericht der Nagra, Wetztingen; Juli 2016

- NEA 2004 Post-closure Safety Case for Geological Repositories: Nature and Purpose;  
OECD Nuclear Energy Agency; NEA-Report No. 3679; Paris; 2004
- NEA 2013 The Nature and Purpose of the Post-closure Safety Case for Geological Repositories;  
OECD Nuclear Energy Agency; OECD/NEA/RWM/R (2013) 1; Paris; 2013
- NTB 86-03 Sondierbohrung Schafisheim – Geologie.  
Technischer Bericht der Nagra; Wettingen; Juni 1988
- NTB 93-34 Erosionsszenarien Wellenberg; W. Klemenz;  
Colenco Power Consulting AG; Baden;  
Technischer Bericht der Nagra; Wettingen; September 1993
- NTB 94-06 Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle (Endlager SMA);  
Bericht zur Langzeitsicherheit des Endlagers SMA am Standort Wellenberg;  
Technischer Bericht der Nagra; Wettingen; Juni 1994
- NTB 96-01 Geosynthese Wellenberg 1996:  
Ergebnisse der Untersuchungsphasen I und II; Textband;  
Technischer Bericht der Nagra; Wettingen; September 1997
- NTB 00-01 Sondierbohrung Benken. Untersuchungsbericht:  
Technischer Bericht der Nagra; Wettingen; August 2001
- NTB 02-05 Project Opalinus Clay – Safety Report; Demonstration of Disposal feasibility for spent fuel, vitrified high-level waste and long-lived intermediate level waste (Entsorgungsnachweis);  
Technischer Bericht der Nagra; Wettingen; Dezember 2002
- NTB 08-01 Entsorgungsprogramm 2008 der Entsorgungspflichtigen  
Technischer Bericht der Nagra; Wettingen; Oktober 2008
- NTB 08-03 Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager;  
Darlegung der Anforderungen, des Vorgehens und der Ergebnisse;  
Technischer Bericht der Nagra; Wettingen; Oktober 2008
- NTB 08-04 Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager; Geologische Grundlagen (Textband und Beilagenband);  
Technischer Bericht der Nagra; Wettingen; Oktober 2008
- NTB 08-06 Modellhaftes Inventar für radioaktive Materialien; MIRAM 08;  
Technischer Bericht der Nagra; Wettingen; Juli 2008

- NTB 10-01 Beurteilung der geologischen Unterlagen für die provisorischen Sicherheitsanalysen in SGT Etappe 2 – Klärung der Notwendigkeit ergänzender geologischer Untersuchungen;  
Technischer Bericht der Nagra; Wettingen; Oktober 2010
- NTB 14-01 Sicherheitstechnischer Bericht zu SGT Etappe 2; Sicherheitstechnischer Vergleich und Vorschlag der in Etappe 3 weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete (Textband);  
Technischer Bericht der Nagra; Wettingen; Dezember 2014
- NTB 14-02 SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage – Geologische Grundlagen; Dossier I – VIII;  
Technischer Bericht der Nagra; Wettingen; Dezember 2014
- NTB 14-03 SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage – Charakteristische Dosisintervalle und Unterlagen zur Bewertung der Barriersysteme;  
Technischer Bericht der Nagra; Wettingen; Dezember 2014
- NTB 14-04 Modellhaftes Inventar für radioaktive Materialien; MIRAM 14;  
Technischer Bericht der Nagra; Wettingen; Dezember 2014
- NTB 14-10 Modelling of Radionuclide Transport along the Underground Access Structures of Deep Geological Repositories;  
Technischer Bericht der Nagra; Wettingen; August 2014