



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

April 2010

Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 1

Stellungnahme zum sicherheitstechnischen Gutachten des ENSI zum Vorschlag geologischer Standortgebiete

KNS 23/219

Zusammenfassung

Im April 2008 hat der Bundesrat den Konzeptteil des Sachplans geologische Tiefenlager verabschiedet. Gemäss diesem müssen die Entsorgungspflichtigen in Etappe 1 Vorschläge für geologische Standortgebiete für Tiefenlager für die radioaktiven Abfälle erarbeiten. Das ENSI muss zu den Vorschlägen ein Gutachten erstellen. Die KNS hat zum Gutachten des ENSI Stellung zu nehmen.

Mitte Oktober 2008 reichte die Nagra ihre Vorschläge für geologische Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager ein. In der Folge beriet die KNS diese Vorschläge. Dabei beachtete sie einerseits, ob die Vorgaben zu Etappe 1 erfüllt sind, und andererseits, ob sich nach ihrer Ansicht Hinweise und Empfehlungen für das weitere Vorgehen ergeben.

Anfang Februar 2010 stellte das ENSI der KNS die definitive Version seines Gutachtens zu. Aufgrund seiner Überprüfung kommt das ENSI zum Schluss, dass die Analysen der Nagra korrekt und nachvollziehbar sowie die geologischen Grundlagen umfassend dokumentiert sind. Alle relevanten Informationen für die Auswahl der Standortgebiete wurden ausreichend berücksichtigt und die im Sachplan vorgegebenen Kriterien stufengerecht und korrekt angewendet. Das ENSI stimmt den Vorschlägen der Nagra für geologische Standortgebiete für das SMA-Lager (Südranden, Zürcher Weinland, Nördlich Lägeren, Bözberg, Jura Südfuss und Wellenberg) und das HAA-Lager (Zürcher Weinland, Nördlich Lägeren und Bözberg) zu.

Das ENSI hat nach Ansicht der KNS die von der Nagra verwendeten Grundlagen, das Vorgehen der Nagra und die Ergebnisse bei der Auswahl von Standortgebieten detailliert geprüft. Dabei hat es sich konsequent an den Vorgaben im Konzeptteil des Sachplans geologische Tiefenlager orientiert. Es hat den aktuellen Kenntnisstand über die Geologie der Schweiz berücksichtigt. Zu verschiedenen Fragestellungen hat das ENSI eigene Berechnungen und Abklärungen durchgeführt sowie Experten beigezogen.

Die KNS schliesst sich der Zustimmung des ENSI zu den vorgeschlagenen Standortgebieten an. Nach ihrer Auffassung sind die Vorgaben im Sachplan zu Etappe 1 erfüllt. Der Opalinuston ist das am besten geeignete Wirtgestein.

Die Anwendung von verschärften Anforderungen und die Beschränkung der maximalen Tiefenlage haben die Auswahl an möglichen Standortgebieten und Standorten zusätzlich eingeschränkt. Da bei einigen vorgeschlagenen Standortgebieten der Wissenstand beschränkt ist, könnten schliesslich kaum oder keine Alternativen für Standorte mehr verbleiben. Auch bestehen hinsichtlich der Erosion noch offene Fragen. Nach Auffassung der KNS sollte deshalb die Option offen gehalten werden, das HAA-Lager tiefer zu legen.

Grosse Bedeutung misst die KNS der Gasentwicklung infolge der Korrosion der Metalle und der Degradation der organischen Stoffe bei. Der Druckaufbau durch die Gase kann die Barrierenwirksamkeit insbesondere des Wirtgesteins gefährden. Die Gasentwicklung muss deshalb vermieden oder zumindest auf ein unbedenkliches Mass reduziert werden.

Im Hinblick auf das weitere Vorgehen macht die KNS einige Hinweise und Empfehlungen. Die wichtigsten betreffen:

- die Bevorzugung homogener dichter Wirtgesteine
- das frühzeitige Ergänzen des Wissenstands zu vorgeschlagenen Standortgebieten,
- die Überprüfung der Lagerkonzepte¹ im Hinblick auf die lagerbedingten Einflüsse, die minimale Verletzung der Wirtgesteine und die mögliche Tieferlegung des HAA-Lagers.

¹ Unter "Lagerkonzept" versteht die KNS die technische Umsetzung des EKRA-Konzepts.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangslage	1
1.2	Aufgaben der KNS gemäss Kernenergiegesetzgebung und Konzeptteil Sachplan geologische Tiefenlager	2
1.3	Vorgehen der KNS bei der Stellungnahme zum Gutachten des ENSI	2
2	Beurteilung des Gutachtens des ENSI	3
2.1	Inventar und Abfallzuteilung zum SMA- und HAA-Lager	3
2.1.1	Vorgehen und Ergebnisse der Nagra	4
2.1.2	Beurteilung durch das ENSI	5
2.1.3	Stellungnahme der KNS	6
2.2	Barrieren- und Sicherheitskonzepte für das SMA- und das HAA-Lager	7
2.2.1	Vorgehen und Ergebnisse der Nagra	7
2.2.2	Beurteilung durch das ENSI	10
2.2.3	Stellungnahme der KNS	12
2.3	Vorgehen bei der Einengung	14
2.3.1	Vorgehen der Nagra	14
2.3.2	Beurteilung durch das ENSI	15
2.3.3	Stellungnahme der KNS	16
2.4	Identifikation geeigneter geologisch-tektonischer Grossräume	18
2.4.1	Vorgehen und Ergebnisse der Nagra	18
2.4.2	Beurteilung durch das ENSI	20
2.4.3	Stellungnahme der KNS	21
2.5	Identifikation potenziell geeigneter Wirtgesteine und einschlusswirksamer Gebirgsbereiche	22
2.5.1	Vorgehen und Ergebnisse der Nagra	22
2.5.2	Beurteilung durch das ENSI	24
2.5.3	Stellungnahme der KNS	26
2.6	Identifikation geeigneter Konfigurationen und Festlegung von Vorschlägen für geologische Standortgebiete	29
2.6.1	Vorgehen und Ergebnisse der Nagra	29
2.6.2	Beurteilung durch das ENSI	32
2.6.3	Stellungnahme der KNS	37
3	Zusammenfassende Stellungnahme, Schlussfolgerungen und Empfehlungen	39
3.1	Zusammenfassende Stellungnahme zum Gutachtens des ENSI	39
3.1.1	Zuteilung der Abfälle zu den beiden Lagertypen SMA und HAA	40
3.1.2	Quantitative und qualitative Anforderungen an die Geologie	40
3.1.3	Verfügbare geologische Informationen	41
3.1.4	Adäquate und stufengerechte Berücksichtigung der vorgegebenen Kriterien	41
3.1.5	Transparenz und Nachvollziehbarkeit des Vorgehens	42
3.1.6	Vorschläge aus Sicht der Sicherheit und Machbarkeit	42
3.2	Schlussfolgerungen und Hinweise und Empfehlungen zum weiteren Vorgehen	43
3.2.1	Schlussfolgerungen	43
3.2.2	Hinweise und Empfehlungen zum weiteren Vorgehen	44
	Referenzen	47
	Liste der Abkürzungen	49
Anhang:	Bewertung potenzieller Wirtgesteine anhand sicherheitsrelevanter Kriterien gemäss Sachplan	50

1 Einleitung

Nachfolgend ist das Sachplanverfahren kurz skizziert. Die KNS konzentriert sich dabei auf die sicherheitstechnischen Aspekte von Etappe 1. Ausserdem legt sie dar, welche Funktionen sie im Rahmen von Etappe 1 des Verfahrens hat und wie sie bei der Beurteilung des Gutachtens des ENSI vorgegangen ist.

1.1 Ausgangslage

Am 2. April 2008 hat der Bundesrat den Konzeptteil des Sachplans geologische Tiefenlager [SGT]² verabschiedet. In diesem sind die Sachziele des Bundes sowie das Verfahren und die Kriterien für die Auswahl der Standorte für geologische Tiefenlager für alle Kategorien von radioaktiven Abfällen festgelegt. Das Verfahren ist in drei Etappen gegliedert:

- Etappe 1: Auswahl von geologischen Standortgebieten für ein Tiefenlager für schwach und mittelaktive Abfälle (SMA-Lager) sowie ein Tiefenlager für hochaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente (HAA-Lager)
- Etappe 2: Auswahl von je zwei Standorten für das SMA-Lager und das HAA-Lager
- Etappe 3: Standortwahl und Rahmenbewilligung für das SMA-Lager und das HAA-Lager

Etappe 1 gliedert sich aus sicherheitstechnischer Sicht in folgende Schritte:

- Die Entsorgungspflichtigen identifizieren aufgrund der Kriterien zur technischen Sicherheit und bautechnischen Machbarkeit potenziell geeignete geologische Standortgebiete. Sie dokumentieren und beurteilen diese und treffen eine begründete Auswahl. Sie halten dies in einem Bericht zuhanden des BFE fest.
- Die Sicherheitsexperten des Bundes beurteilen das Vorgehen und die Vorschläge der Entsorgungspflichtigen und halten ihre Ergebnisse in Form von Gutachten und Stellungnahmen zuhanden des BFE fest. Im Rahmen ihrer Beurteilung müssen sie insbesondere folgende Fragen beantworten: [SGT, S. 62-63]
 - *Ist die Zuteilung der Abfälle zu den beiden Lagertypen SMA und HAA nachvollziehbar?*³
 - *Sind die von den Entsorgungspflichtigen hergeleiteten quantitativen und qualitativen Anforderungen an die geologisch-tektonische Situation, an das Wirtgestein bzw. den einschlusswirksamen Gebirgsbereich und an den Standort nachvollziehbar und genügend?*
 - *Haben die Entsorgungspflichtigen alle verfügbaren relevanten geologischen Informationen berücksichtigt und sind diese ausreichend für die Zwecke der Vororientierung?*
 - *Haben die Entsorgungspflichtigen die vorgegebenen Kriterien bei der Erarbeitung der Vorschläge potenzieller Standortgebiete adäquat und stufengerecht berücksichtigt?*
 - *Ist das Vorgehen der Entsorgungspflichtigen bei der Erarbeitung der Vorschläge potenzieller Standortgebiete transparent und nachvollziehbar?*
 - *Können die Behörden den Vorschlägen aus Sicht der Sicherheit und Machbarkeit zustimmen?*

² Referenzen werden im Folgenden in eckigen Klammern angegeben. Sie sind im Anhang Referenzen zusammengestellt.

³ Zitate sind in dieser Stellungnahme kursiv geschrieben.

- Das BFE nimmt aufgrund der sicherheitstechnischen Gutachten und Stellungnahmen sowie einer raumplanerischen Bestandaufnahme eine Gesamtbeurteilung vor und erstellt einen Ergebnisbericht sowie Objektblätter. Der Ergebnisbericht und die Objektblätter sowie die Ergebnisse der behördlichen Überprüfungen werden bei Kantonen, Bundesstellen und den betroffenen Nachbarstaaten in Anhörung gegeben. Die Kantone laden die regionalen und kommunalen Stellen sowie die Bevölkerung zur Mitwirkung ein.
- Nach der Aktualisierung des Ergebnisberichts und der Objektblätter aufgrund der Ergebnisse der Mitwirkung werden diese den Kantonen ein letztes Mal zur Stellungnahme unterbreitet. Nach einem allfälligen Bereinigungsverfahren mit den Kantonen werden der Ereignisbericht und die Objektblätter dem Bundesrat zur Genehmigung unterbreitet.

1.2 Aufgaben der KNS gemäss Kernenergiegesetzgebung und Konzeptteil Sachplan geologische Tiefenlager

Die gesetzliche Grundlage der Eidg. Kommission für nukleare Sicherheit (KNS) bildet Art. 71 des Kernenergiegesetzes (KEG) [SR 732.1]. Die Aufgaben der Kommission sind in den Absätzen 2 und 3 umschrieben:

² Die KNS nimmt zuhanden des ENSI, des Departements und des Bundesrats folgende Beratungsaufgaben wahr:

- a. Sie prüft grundsätzliche Fragen der Sicherheit.*
- b. Sie wirkt bei Gesetzgebungsarbeiten im Bereich der nuklearen Sicherheit mit.*

³ Sie kann zuhanden des Bundesrats und des Departements Stellung zu Gutachten des ENSI nehmen. Sie verfasst auch die Stellungnahmen, die Bundesrat, Departement oder das Bundesamt von ihr verlangen.

Gemäss Art. 5 ihrer Verordnung [SR 732.16] kann sich die Kommission in ihren Stellungnahmen auf ausgewählte Punkte beschränken.

Gemäss Konzeptteil des Sachplans geologische Tiefenlager hat die KNS in diesem Verfahren primär die Aufgabe, das ENSI, das UVEK und den Bundesrat in grundsätzlichen Fragen der Sicherheit zu beraten und in den drei Etappen Stellungnahmen zu den jeweiligen Gutachten des ENSI zu verfassen. Daneben arbeitet sie im technischen Forum Sicherheit mit und steht den Bundesbehörden, den kantonalen und kommunalen Behörden, dem Ausschuss der Kantone, den Standortregionen und der Bevölkerung mit Expertenwissen zur Verfügung. [SGT, S. 75]

Mit dem vorliegenden Dokument nimmt die KNS Stellung zum sicherheitstechnischen Gutachten des ENSI zum Vorschlag geologischer Standortgebiete im Rahmen von Etappe 1.

1.3 Vorgehen der KNS bei der Stellungnahme zum Gutachten des ENSI

Bei ihrer Stellungnahme zum Gutachten des ENSI [ENSI] stützt sich die KNS ausser auf das Gutachten selber primär auf folgende Dokumente der Nagra ab:

- Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA-Lager und das HAA-Lager; Darlegung der Anforderungen, des Vorgehens und der Ergebnisse [NTB 08-03]
- Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA-Lager und das HAA-Lager; Geologische Grundlagen (Bericht zur Geologie) [NTB 08-04]
- Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA-Lager und das HAA-Lager; Begründung der Abfallzuteilung, der Barrierensysteme und der Anforderungen an die Geologie (Bericht zur Sicherheit und technischen Machbarkeit) [NTB 08-05]

Daneben stützt sich die KNS auf verschiedene weitere Berichte der Nagra sowie auf die Stellungnahme der Eidg. Kommission für die Sicherheit von Kernanlagen (KSA) zum Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle [KSA].

Die KNS orientiert sich bei ihrer Beurteilung primär an folgenden Fragen:

- Ist das Verfahren gemäss SGT Etappe 1 von Nagra und ENSI eingehalten?
- Sind die Argumentationen des ENSI bzw. der Nagra nachvollziehbar?
- Spricht das ENSI in seinem Gutachten alle nach Meinung der KNS wichtigen Punkte an?
- Sind die Voraussetzungen gegeben, dass die nachfolgenden Etappen des SGT so durchgeführt werden können, wie dies im Konzeptteil des SGT vorgesehen ist.

Darüber hinaus macht die KNS in 3.2 Hinweise und Empfehlungen zum weiteren Vorgehen.

Mitte Oktober 2008 reichte die Nagra ihre Vorschläge für geologische Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager ein. Um den Zeitplan des BFE einhalten zu können, beschloss die KNS, die Vorschläge der Nagra für Standortgebiete umgehend zu beraten. In einem ersten Schritt beauftragte sie ihre beiden Mitglieder mit geologischen Fachkenntnissen, eine erste Beurteilung vorzunehmen und in einem internen Bericht zuhanden der Kommission festzuhalten. Aus dieser Beurteilung ergab sich eine Reihe von Fragen, welche mit der Nagra im April 2009 in einer Sitzung der KNS besprochen wurden.

Ende Oktober 2009 orientierte das ENSI die KNS über seine provisorischen Schlussfolgerungen und übergab ihr einen finalen Entwurf seines Gutachtens. Anfang Februar 2010 folgte die definitive Version.

Vertreter des BFE waren zeitweise bei den Beratungen der KNS anwesend.

Die KNS unterbreitete die Abschnitte "Vorgehen und Ergebnisse der Nagra" in ihrer Stellungnahme der Nagra zur Prüfung der korrekten Wiedergabe ihrer Aussagen. Die Abschnitte "Beurteilung durch das ENSI" wurden dem ENSI zur Prüfung der korrekten Wiedergabe der Inhalte seines Gutachtens zugestellt.

2 Beurteilung des Gutachtens des ENSI

2.1 Inventar und Abfallzuteilung zum SMA- und HAA-Lager

In Art. 51 KEV [SR 732.11] werden drei Kategorien Abfälle unterschieden: schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA)⁴, alphanotoxische Abfälle (ATA)⁵ sowie hochaktive Abfälle (HAA). Letztere umfassen neben den verglasten hochaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung auch die abgebrannten Brennelemente (BE). Zwischen Uran-Brennelementen und MOX-Brennelementen wird nicht unterschieden.

Im SGT sind zwei Typen geologische Tiefenlager vorgesehen: ein Lager für die HAA (HAA-Lager) und ein Lager für die SMA (SMA-Lager). Die ATA können auf die beiden Lagertypen aufgeteilt werden. SMA können auch dem HAA-Lager zugeteilt werden. Zu Beginn der Wahl

⁴ schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA): Alle radioaktiven Abfälle, die nicht den hochaktiven Abfällen oder den ATA zugeordnet sind. [SR 732.11, Art. 51]

⁵ alphanotoxische Abfälle (ATA): Abfälle, deren Gehalt an Alphastrahlern den Wert von 20 000 Becquerel/g konditionierter Abfall übersteigt. [SR 732.11, Art. 51]

der Standortgebiete haben die Entsorgungspflichtigen die Zuteilung der Abfälle in groben Zügen zu beschreiben. Je nach Zuteilung der ATA und der SMA müssen beim SMA-Lager an die Geologie andere Anforderungen gestellt werden. [SGT, S. 12-13]

Die einzulagernden Abfallmengen haben einen entscheidenden Einfluss auf die erforderliche Ausdehnung der Wirtgesteinsblöcke.

2.1.1 Vorgehen und Ergebnisse der Nagra

2.1.1.1 Ermittlung des Abfallinventars

Ausgangspunkt für die Ermittlung des Abfallinventars (Volumina und Aktivitäten) ist das Informationssystem für radioaktive Materialien (ISRAM). In diesem sind die heute vorhandenen konditionierten Abfälle, die 200-l-Einzelgebinde mit verpackten, unkonditionierten Rohabfällen sowie die abgebrannten BE und verglasten hochaktiven Abfälle in den Zwischenlagern erfasst. Die Nagra ergänzt die vorhandenen Abfälle mit in Zukunft zu erwartenden Abfällen, fasst die Abfälle mit ähnlichen Eigenschaften zu Abfallsorten zusammen und leitet daraus ein modellhaftes Inventar für radioaktive Materialien (MIRAM) ab.

Auf der Basis des MIRAM ermittelt die Nagra die Abfallmengen für folgende Szenarien:

- Abfallmenge aus 50 Jahren Betrieb der bestehenden Kernkraftwerke und der Sammelperiode für MIF-Abfälle⁶ bis 2050 (Referenzszenarium);
- zusätzliche Abfallmenge aus der Verlängerung der Betriebszeit der bestehenden Kernkraftwerke und der Sammelperiode für MIF-Abfälle um 10 Jahre (Szenarium "60 Jahre Betrieb");
- zusätzliche Abfallmenge aus 60 Jahren Betrieb neuer Kernkraftwerke mit einer elektrischen Gesamtleistung von 5 GW und Verlängerung der Sammelperiode für MIF-Abfälle um zusätzliche 60 Jahre (Szenarium "Neue KKW").

Die Nagra berücksichtigt damit die Abfälle aus dem Betrieb und aus der Stilllegung der bestehenden und von allfälligen neuen KKW. Im Bereich Medizin, Industrie und Forschung sind beim Referenzszenarium bei den SMA eine Reserve von 12'000 m³ für die Stilllegung bestehender Grossforschungsanlagen und beim Szenarium "Neue KKW" zusätzlich 25'000 m³ für die Stilllegung potenzieller neuer Grossforschungsanlagen eingeplant. [NTB 08-03, S. 12-14]

2.1.1.2 Zuteilung der Abfälle

Die Nagra ordnet alle ATA dem HAA-Lager zu. Die SMA teilt sie aufgrund von Dosisberechnungen für verschiedene Szenarien den beiden Lagertypen zu. Dabei berücksichtigt sie verschiedene generische geologische Situationen und eine erosive Freilegung des SMA-Lagers nach 100'000 Jahren. Für diese Fälle ermittelt sie die Dosen, welche die einzelnen SMA-Abfallsorten zur Folge haben, und die Gesamtdosis. Dabei zeigt sich, dass bei einer hydraulischen Durchlässigkeit von 10⁻⁹ m/s knapp 10 % und von 10⁻¹⁰ m/s weniger als 1 % des Abfallvolumens der SMA dem HAA-Lager zugeordnet werden müssen. Da die Auswahl der möglichen Wirtgesteine dadurch nicht wesentlich eingeschränkt wird, berücksichtigt sie in der Folge für das SMA-Lager nur Wirtgesteine mit einer hydraulischen Durchlässigkeit ≤ 10⁻¹⁰ m/s. [NTB 08-03, S. 15-18]

Den weiteren Abfalleigenschaften und den Eigenschaften der Barrieren, welche gemäss SGT Anhang I bei der Zuteilung in erster Linie massgebend sind [SGT, S. 57], trägt die

⁶ MIF-Abfälle: Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung.

Nagra bei der Auslegung der Lager Rechnung: Beeinträchtigungen der Langzeitsicherheit, welche durch die Abfälle verursacht werden könnten, kann laut Nagra mit Massnahmen bei den Abfällen sowie bei der Auslegung und beim Betrieb des Lagers begegnet werden. [NTB 08-03, S. 15]

2.1.2 Beurteilung durch das ENSI

2.1.2.1 Beurteilung des Vorgehens und der Grundlagen

Für das ENSI sind das Vorgehen und die Grundlagen für die Zuteilung der Abfälle unter Berücksichtigung der Abfalleigenschaften stufengerecht, transparent und nachvollziehbar dargelegt. [ENSI, S. 14]

2.1.2.2 Beurteilung des Abfallinventars

Nach Ansicht des ENSI ist das Vorgehen der Nagra bei der Herleitung der MIRAM-Datenbank auf der Basis der ISRAM-Datenbank zweckmässig. Die Erfassung der Abfälle mit Hilfe von Abfallgebindetypen im ISRAM und die Zuordnung der Abfallgebindetypen zu den MIRAM-Abfallsorten sind nachvollziehbar und vollständig. Die für die drei Szenarien ermittelten Abfallvolumina und Aktivitätsinventare entsprechen den Vorgaben des Sachplans [SGT, S. 30-31] und sind stufengerecht. Bei den Stilllegungsabfällen aus den Grossforschungsanlagen des PSI⁷ und des CERN⁸ steht in dieser Etappe der erforderliche Lagerplatz im Vordergrund. Die Bemühungen zur Charakterisierung des Nuklidinventars und des Materialstroms dieser Abfälle sind gemäss ENSI weiterzuführen und die aktualisierten Daten für die weiteren Schritte im Sachplanverfahren zu dokumentieren. [ENSI, S. 16]

2.1.2.3 Beurteilung der Zuteilung der Abfälle

Die Abfallzuteilung zu den Lagern basiert gemäss Feststellung des ENSI auf generischen Sicherheitsbetrachtungen. Eine Überprüfung dieser Sicherheitsbetrachtungen zeigt gemäss ENSI, dass

- die von der Nagra für die Berechnung der Nuklidfreisetzung getroffene Auswahl von sicherheitsrelevanten Nukliden korrekt ist,
- die betrachteten Wirtgesteinsmodelle die vorkommenden Wirtgesteinsformationen hinreichend abdecken und
- die verwendeten Parameter den aktuellen Kenntnisstand über die Wirtgesteine repräsentieren.

Zur Überprüfung der Abfallzuteilung hat das ENSI Dosisberechnungen für eine Auswahl von generischen geologischen Situationen durchgeführt, welche die Nagra betrachtet hat. Die Überprüfung erfolgte mit qualitätsüberprüften Programmen, die von jenen der Nagra unabhängig sind. Es hat dieselben Randbedingungen und Stoffdaten verwendet wie die Nagra [ENSI, S. 21]. Für die Gesamtdosis hat es etwas höhere, aber immer noch deutlich unter dem Schutzkriterium 0.1 mSv/a liegende Maximalwerte ermittelt. Das ENSI bewertet das Vorgehen der Nagra, den Beitrag einzelner Abfallsorten zu berechnen und für alle Rechenfälle zu überprüfen, welche Abfallsorten aus dem SMA-Lager entfernt und dem HAA-Lager zugeteilt werden müssen, als transparent und zielführend. Es erachtet die gewählte Abfallzuteilung als plausibel und stimmt ihr zu. [ENSI, S. 22-24]

⁷ PSI: Paul Scherrer Institut

⁸ CERN: Organisation européenne pour la recherche nucléaire (vormals: Conseil européen pour la recherche nucléaire)

2.1.3 Stellungnahme der KNS

2.1.3.1 Ermittlung des Abfallinventars

Wichtige charakterisierende Grössen der Abfallinventare sind die Volumina, die Nuklidinventare und die chemischen Eigenschaften.

Das Spektrum der Abfälle ist vielfältig. Im MIRAM ist es durch Zusammenfassung von Abfällen mit ähnlichen radiologischen und chemischen Eigenschaften auf ca. 150 Abfallsorten kondensiert. In Übereinstimmung mit dem ENSI erachtet die KNS die Ableitung der Abfallinventare für die drei Szenarien mit Hilfe des MIRAM als zweckmässig.

Die Summe der Abfallinventare aus 60 Jahren Betrieb der bestehenden KKW und neuer KKW mit einer elektrischen Gesamtleistung von 5 GW sowie der entsprechenden Sammelperioden für MIF-Abfälle ergibt ein so genanntes "umhüllendes" Inventar. Dieses trägt einer allfälligen Verlängerung des Betriebs der bestehenden KKW und den eingereichten Rahmenbewilligungsgesuchen für neue KKW Rechnung. Nach Meinung der KNS ist damit die Forderung im SGT erfüllt, allfällige Verlängerungen der Betriebszeit bei den bestehenden KKW und allfällige neue KKW zu berücksichtigen [SGT, S. 30-31].

Das Abfallvolumen ist einer der Hauptfaktoren, die das erforderliche Platzangebot untertags bestimmen. Die grösste Unsicherheit hinsichtlich Volumen besteht bei den Stilllegungsabfällen aus bestehenden und potenziellen Grossforschungsanlagen. Mit insgesamt 37'000 m³ dürfte für diese Abfälle beim SMA-Lager aber eine grosszügige Platzreserve eingeplant sein. Die KNS teilt die Auffassung des ENSI, dass für die weiteren Schritte des Sachplanverfahrens die Arbeiten zur Charakterisierung dieser Abfälle weiterzuführen und zu dokumentieren sind.

Unsicherheiten sieht die KNS auch beim Volumen der konditionierten BE. Gründe dafür sind:

- Die Konditionierung und das Behälterkonzept sind noch nicht festgelegt. Damit ist das Volumenverhältnis von unkonditionierten zu konditionierten BE noch nicht eindeutig bekannt.
- Offen ist die Frage der weiteren Wiederaufarbeitung von BE. Gemäss KEG [SR 732.1, Art. 106] dürfen bis 1. Juli 2016 keine BE mehr aufgearbeitet werden. Nach Ablauf dieses Moratoriums kann aber die Wiederaufarbeitung wieder aufgenommen werden. Bei einer Wiederaufnahme würde insbesondere das Volumen zu entsorgender BE abnehmen und jenes der verglasten HAA zunehmen. Zudem ist die Frage offen, ob künftig auch MOX-BE wiederaufgearbeitet werden können. Dies hätte Einfluss auf die Stoffflüsse und -bilanzen.

Die Nuklidinventare für die drei Szenarien sind durch die Aktivitäten der radiologisch relevanten Nuklide charakterisiert. Für die Bestimmung des Nuklidinventars der Abfälle aus den bestehenden und allfälligen neuen KKW bildet das MIRAM auch nach Ansicht der KNS eine ausreichende Grundlage für Etappe 1.

Breit ist das Spektrum der Abfälle auch hinsichtlich der chemischen Eigenschaften. Dies stellt eine Herausforderung für deren geologische Tiefenlagerung dar. Die KNS geht auf diese Thematik im nachfolgenden Abschnitt und insbesondere in 2.2.3 ein.

2.1.3.2 Zuteilung der Abfälle

Das ENSI weist darauf hin, dass die Abfallzuteilung aufgrund generischer Sicherheitsbetrachtungen erfolgt ist. Für Etappe 1 ist dies nach Auffassung der KNS stufengerecht, da gemäss SGT erst eine grobe Zuteilung erforderlich ist [SGT, S. 12]. Die definitive Zuteilung

muss in einem iterativen Prozess erfolgen und kann nach Ansicht der KNS erst mit der Rahmenbewilligung festgelegt werden, wie dies im SGT vorgesehen ist [SGT, S. 13].

Bei der Überprüfung der Berechnungen, aufgrund welcher die Nagra die Abfälle den beiden Lagern zugeteilt hat, hat sich das ENSI auf die Modelle der Nagra abgestützt. Diese Modelle sind je nach den Eigenschaften des schliesslich gewählten Wirtgesteins nicht unbedingt zutreffend. Sie berücksichtigen nicht alle chemischen und physikalischen Phänomene und sind daher als erste Näherung aufzufassen. Bei Sedimenten wie dem Opalinuston muss zudem der Radionuklidtransport entlang der Verfüllmaterialien und der Auflockerungszonen genauer abgeklärt werden. Beim Lagerkonzept⁹ muss nach Ansicht der KNS grosser Wert darauf gelegt werden, dass die Auflockerungszonen möglichst beschränkt bleiben.

Ausserdem können andere lagerbedingte Einflüsse, wie Gasbildung infolge chemischer Reaktionen zwischen den Abfallgebänden bzw. den Einbauten und den Porenwässern, die Barrierenwirksamkeit der Verfüllung und des Wirtgesteins beeinträchtigen. Um dies zu vermeiden oder zumindest auf ein unbedenkliches Mass zu reduzieren, sind die Abfallgebände an das chemische Milieu im Tiefenlager anzupassen. Die KNS wird im Folgenden wiederholt auf diese Thematik zurückkommen.

2.1.3.3 Zusammenfassende Beurteilung

Die KNS teilt die Beurteilung des ENSI, dass die ermittelten Abfallinventare trotz bestehender Unsicherheiten für Etappe 1 stufengerecht sind und die Abfallzuteilung plausibel ist. Die definitive Abfallzuteilung muss in einem iterativen Prozess erfolgen. In den weiteren Schritten der Lagerrealisierung muss den lagerbedingten Einflüssen grosse Bedeutung beigemessen werden.

Sich aus der KNS-Beurteilung ergebende Hinweise und Empfehlungen zum weiteren Vorgehen finden sich in 3.2.

2.2 Barrieren- und Sicherheitskonzepte für das SMA- und das HAA-Lager

Das Barrierenkonzept für geologische Tiefenlager umfasst technische und geologische Barrieren. Sie sollen gewährleisten, dass die Individualdosen, die in Folge der Freisetzung von Radionukliden in die Biosphäre anfallen, unterhalb des in der ENSI-Richtlinie G03 vorgegebenen Schutzkriteriums von 0.1 mSv/a bleiben [G03, S. 3].

2.2.1 Vorgehen und Ergebnisse der Nagra

2.2.1.1 Barrierenkonzept

Das von der Nagra vorgesehene Barrierenkonzept umfasst folgende technische und geologische Barrieren [NTB 08-03, S. 19]:

- Abfallmatrizen (Glas bei den HAA; Brennstoff bei den BE; Abfälle selber und Verfestigungsmaterialien bei den SMA und den langlebigen mittelaktiven Abfällen (LMA)¹⁰);
- Endlagerbehälter (massive Stahlbehälter bei den HAA und den BE, Betoncontainer bei den SMA und den LMA);

⁹ Unter "Lagerkonzept" versteht die KNS die technische Umsetzung des EKRA-Konzepts.

¹⁰ langlebigen mittelaktiven Abfälle (LMA): Diese umfassen die ATA und jene SMA, die dem HAA-Lager zugeordnet sind.

- Verfüllung der untertägigen Lagerkammern (Bentonit bei den HAA und BE, Zementmörtel bei den SMA und LMA);
- Verfüllung und Versiegelung der untertägigen Bauwerke, insbesondere der Zugänge;
- Wirtgestein zusammen mit allfälligen Rahmengesteinen¹¹;
- geologische Situation.

Für einzelne technische Barrieren wie die Endlagerbehälter für die HAA und die BE lässt die Nagra für die spätere Lagerrealisierung alternative Lösungen offen.

2.2.1.2 *Sicherheitskonzept*

Ziel der Nagra ist ein ausgewogenes Sicherheitskonzept, bei dem sowohl die technischen als auch die geologischen Barrieren signifikant zur Barrierenwirkung des Gesamtsystems beitragen. Wirtgesteine mit geringer oder fehlender Barrierenwirkung werden deshalb ausgeschlossen, auch wenn sie von dichten Rahmengesteinen umgeben sind. Ebenso werden ein Verzicht auf die Verfüllung des Lagers oder die Verwendung von nicht sorbierenden Verfüllmaterialien nicht in Betracht gezogen.

Um die Wirksamkeit der einzelnen Barrieren und die Ausgewogenheit des Barrierensystems aufzuzeigen, betrachtete die Nagra je ein modellhaftes HAA- und SMA-Lager in einem homogenen Wirtgestein. Sie berechnete für beide Lagertypen den zeitlichen Verlauf der Radiotoxizität in den einzelnen Barrieren und den zeitlichen Verlauf des Radionuklidtransfers zwischen den Barrieren. Erkenntnisse aus diesen Berechnungen sind: [NTB 08-05, S. 125-155]

- Bei allen Abfällen zeigt die Geosphäre eine ausgeprägte Barrierenwirkung.
- Bei den BE und den HAA zeigt sich, dass die Gesamtradiotoxizität fast vollständig in der Brennstoff- bzw. Glasmatrix eingeschlossen bleibt. Für die BE sind die höchsten Werte der im Bentonit, im Wirtgestein und ausserhalb des Wirtgesteins vorhandenen Radiotoxizität um etwa vier, fünf bzw. sieben Zehnerpotenzen kleiner als die ursprünglich eingebrachte Radiotoxizität.
- Auch bei den LMA und den SMA wird der grösste Teil der eingebrachten Radiotoxizität im Nahfeld zurückgehalten. Gründe dafür sind die Sorption im Zementmörtel und die geringe Löslichkeit einiger Radionuklide. Dabei ist berücksichtigt, dass sich der Zementstein mit der Zeit in Calcit umwandelt, was die Rückhalteeigenschaften des Mörtels je nach Wasserfluss in den Lagerkammern kontinuierlich verschlechtert.

2.2.1.3 *Lagerbedingte Einflüsse*

Die Nagra erörtert durch das Lager bedingte mögliche Beeinträchtigungen der Barrierenwirkung und vorgesehene Gegenmassnahmen:

- Komplexbildner und andere Stoffe [NTB 08-05, S. 120-121]: In SMA und LMA enthaltene Stoffe können mit Radionukliden Komplexe bilden, zu oxidierenden Bedingungen führen oder CO₂ freisetzen, das den Zementstein in Calcit umwandelt. Dadurch kann vor allem die Rückhaltung aufgrund chemischer Prozesse im Nahfeld beeinträchtigt werden. Um die nachteiligen Auswirkungen dieser Stoffe zu minimieren, teilt die Nagra die SMA und die LMA je in eine Gruppe mit kleinen Anteilen an solchen Stoffen (SMA 1 bzw. LMA 1) und die übrigen (SMA 2 bzw. LMA 2) auf. Die beiden Gruppen will sie in den entsprechenden Lagern räumlich voneinander getrennt einlagern, um Wechselwirkungen zwischen diesen zu verhindern.

¹¹ Die Gesamtheit von Wirtgestein und eventuellen Rahmengesteinen wird im Folgenden als einschlusswirksamer Gesteinsbereich bezeichnet.

- pH-Fahne [NTB 08-05, S. 121-122]: Der Mörtel und der Beton des SMA- und des LMA-Lagers enthalten Zementstein. Bei frischem Zement enthält das Zementporenwasser Alkalihydroxide. Es hat deshalb einen pH-Wert von über 13. Dies führt im Wirtgestein lokal zu einer starken Erhöhung des pH-Werts (Hoch-pH-Fahne), womit Mineralien in Lösung gehen. Dadurch nehmen die Porosität und die hydraulische Durchlässigkeit tendenziell zu. Wegen der kleinen Mengen an Alkalihydroxid führt diese Hoch-pH-Fahne bei homogen-porösen, nicht geklüfteten Wirtgesteinen jedoch nicht zu entscheidenden Veränderungen.

Bei älterem Zement bestimmt der in grossen Mengen vorhandene Portlandit den pH-Wert des Porenwassers; er beträgt etwa 12.5. Dies führt im Wirtgestein zu einer lokalen Erhöhung des pH-Werts (pH-Fahne). Die damit verbundene Auflösung von Mineralien wird aber volumenmässig durch die Ausfällung von Sekundärmineralien überkompensiert. Deshalb nimmt die Porosität des Wirtgesteins insgesamt ab. Die Nagra geht davon aus, dass in der pH-Fahne die Rückhaltefähigkeit für die Gesamtheit der Radionuklide nicht wesentlich beeinflusst wird. Bei einem homogen-porösen, sehr gering durchlässigen Wirtgestein (z. B. Opalinuston) dringt die pH-Fahne bis etwa 10 m ins Gestein ein.

Bei geklüfteten Wirtgesteinen (z. B. den Mergeln des Wellenbergs) sind nach Auffassung der Nagra die Auswirkungen der Hoch-pH-Fahne ungewisser. Hier kann sich diese Fahne je nach Fliesssystem bis zu 100 m ins Wirtgestein ausbreiten. Die Nagra geht jedoch davon aus, dass sich die Fliesspfade durch die nachfolgende pH-Fahne tendenziell schliessen, möglicherweise bis zur Versiegelung. Sie schliesst aber nicht aus, dass die Pfade durch im Lager produzierte Gase oder längerfristig durch tektonische Bewegungen wieder aktiviert werden.

- Nahfeld-Kolloide [NTB 08-05, S. 122-123]: Kolloide können die Mobilität der Radionuklide erhöhen. Bei geklüfteten Gesteinen ist dies von grösserer Bedeutung als bei homogen-porösen, gering durchlässigen. Kolloide können aus dem Nahfeld stammen oder natürlicherweise im Wirtgestein vorhanden sein. Bentonit wirkt einerseits für Kolloide als Barriere, andererseits kann er Quelle für Kolloide sein. Wegen des geringen Wasserflusses im Nahfeld und wegen des hohen Salzgehalts des Porenwassers im Bentonit bildet dieser allerdings keine signifikante Kolloidquelle. Im Zementmörtel des LMA- bzw. SMA-Lagers ist die Kolloidkonzentration sehr niedrig. Zudem erwartet die Nagra, dass hier die Kolloide beim Übergang vom stark alkalischen Zementmörtel in die praktisch neutrale Geosphäre ausflocken. Sie sieht daher sowohl beim SMA-Lager als auch beim HAA-Lager kein Problem für die Langzeitsicherheit.
- Gasbildung und -transport [NTB 08-05, S. 123-125]: Quellen für die Gasbildung sind gemäss Nagra die Korrosion bzw. Degradation der Metalle und der organischen Stoffe in den Abfallgebänden. Gebildet werden insbesondere Wasserstoff, Methan und Kohlendioxid. Letzteres wird im Zement gebunden. Die Radiolyse von Wasser ist für die Gasbildung von untergeordneter Bedeutung. Die Gasbildung führt zu einem Druckaufbau. Mögliche negative Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit sind:
 - Bildung neuer Freisetzungspfade,
 - Auspressen von radionuklidhaltigem Porenwasser und
 - Transport von flüchtigen Radionukliden mit dem Gas.

Für ein HAA-Lager im Opalinuston verweist die Nagra auf die detaillierten Untersuchungen anlässlich des Entsorgungsnachweises Projekt Opalinuston: Diese zeigen, dass das Gas über das Wirtgestein abtransportiert wird, ohne dessen Barrierenwirkung signifikant zu beeinflussen [NTB 02-03] [NTB 02-05] [NTB 04-06]. Als Option zur Reduktion der Gasbildung führt sie die Wahl eines anderen Materials für die Endlagerbehälter an; entsprechende Abklärungen sind im Gange [NTB 08-05, S. 87]. Bei Wirtgesteinen mit grösserer Gasdurchlässigkeit verlieren die möglichen Auswirkungen der Gasbildung an Bedeutung.

Bei den LMA und SMA sieht die Nagra verschiedene Massnahmen zur Entschärfung der möglichen Auswirkungen [NTB 08-05, S. 87]:

- Vorgaben an die Abfallproduzenten,
- zweckmässige Einlagerung von problematischen Abfällen,
- Sicherstellung einer Druckentlastung über die Verschluss- und Versiegelungsbauwerke (Engineered Gas Transport System — EGTS).

Für ein SMA-Lager in geklüftetem Wirtgestein verweist die Nagra auf das Ergebnis der Analysen anlässlich des Rahmenbewilligungsgesuchs Wellenberg: Die Gasbildung stellt auch hier die Langzeitsicherheit nicht in Frage [NTB 94-06]. Bei einem SMA-Lager in einem sehr dichten Wirtgestein wie Opalinuston zieht sie primär ein EGTS in Betracht [NTB 08-07].

- Wärmeeintrag [NTB 08-05, S. 125]: Beim SMA-Lager sieht die Nagra wegen der geringen Wärmeentwicklung der Abfälle keine Probleme.

Bei den BE, den verglasten HAA und den LMA ist hingegen der Wärmeeintrag bei der Auslegung des Lagers zu berücksichtigen. Die Nagra ist überzeugt, dass durch geeignete Massnahmen wie Zeitdauer der Zwischenlagerung, Beladung der Behälter und Einlagerungsdichte sichergestellt werden kann, dass die Barrieren nicht signifikant beeinträchtigt werden. Um dies zu gewährleisten, hat sie beim Entsorgungsnachweis Projekt Opalinuston Limiten für die Wärmeleistung eingeführt [NTB 01-04]. Im Gegensatz zu damals geht sie heute bei den HAA nicht von einer, sondern von zwei Kokillen pro Endlagerbehälter und entsprechend längeren Behältern aus. Das verbesserte Verständnis des Verhaltens des Bentonits bei erhöhten Temperaturen ist ein Schwerpunkt der aktuellen Nagra-Arbeiten.

2.2.2 Beurteilung durch das ENSI

2.2.2.1 Beurteilung des Sicherheitskonzepts

Gemäss ENSI ist das vorgesehene Mehrfachbarrierensystem geeignet, den dauernden Schutz von Mensch und Umwelt vor ionisierender Strahlung im Sinne der behördlichen Vorgaben zu gewährleisten. Der in der ENSI-Richtlinie G03 geforderte Einschluss der HAA und der BE während tausend Jahren nach deren Einlagerung [G03, S. 10] ist mit den von der Nagra vorgesehenen dickwandigen Stahlbehältern gewährleistet. Der Bentonit ist als Verfüllmaterial für ein HAA-Lager vorteilhaft wegen seiner Quellfähigkeit, seinen stabilisierenden mechanischen Eigenschaften und der guten Rückhaltung der relevanten Radionuklide. Auch die Verwendung von hochporösem Zementmörtel als Verfüllmaterial bei den SMA- und LMA-Kavernen wird vom ENSI als sinnvoll erachtet: Dieser Mörtel besitzt günstige mechanische Eigenschaften, begrenzt durch Sorption die Radionuklidenausbreitung und kann im Porenvolumen bis zu einem gewissen Mass auch entstehende Gase speichern. [ENSI, S. 27]

2.2.2.2 Beurteilung des Barrierensystems

Das ENSI hat die Beiträge der verschiedenen Elemente des Barrierensystems zur Langzeitsicherheit überprüft, zum Teil bereits im Rahmen des Entsorgungsnachweises Projekt Opalinuston. Es kommt zu folgenden Ergebnissen:

- Beim Nahfeld des SMA-Lagers stellt das ENSI einzelne Parameterwerte für die Rückhaltung im nicht degradierten Zement in Frage, hält aber fest, dass dies für das Einengungsverfahren in Etappe 1 keine Bedeutung hat. Bei der Sorption im degradierten Zement (Calcit) weist es auf die schmale Datenbasis hin. Dies ist aber nicht sicherheitsrelevant, weil die Nagra nur Wirtgesteine mit hydraulischen Durchlässigkeiten $<10^{-11}$ m/s ausgewählt hat. Damit nimmt der Anteil an Festphasen im Zementstein im Betrachtungszeit-

- raum von 100'000 Jahren nicht signifikant ab, sodass für Ausbreitungsrechnungen der Datensatz für nicht degradierten Zement verwendet werden kann. [ENSI, S. 30-32]
- Beim Bentonit des Nahfelds im HAA-Lager empfiehlt das ENSI, in künftigen Sicherheitsanalysen den Sorptionskoeffizienten für Jod null zu setzen. Die Nagra hat im Entsorgungsnachweis Projekt Opalinuston gezeigt, dass das Schutzkriterium von 0.1 mSv/a auch eingehalten ist, wenn der Sorptionskoeffizient für Jod bei der Bentonitverfüllung und beim Opalinuston null gesetzt wird. Dies ist von der HSK mit eigenen Berechnungen nachvollzogen worden. Auf die Auswahl der Standortgebiete ergibt sich damit keine Auswirkung. Die Modellierung der Barrierenwirkung der Zementverfüllung im LMA-Lager beurteilt das ENSI als zweckmässig. [ENSI, S. 33-35]
 - Beim Wirtgestein konzentriert sich das ENSI in Kapitel 3.2.3 auf die Beurteilung der Sorptionskoeffizienten, welche die Nagra bei ihren generischen Abklärungen verwendet hat. Auch hier weist es auf die relativ grossen Unsicherheiten bei den Sorptionsdaten von Calcit hin. Das Vorgehen der Nagra deckt aber eine grosse Bandbreite an Wirtgesteinen ab und stellt sicher, dass potenzielle Wirtgesteine nicht zu früh ausscheiden. Dies ist aus Sicht des ENSI für Etappe 1 nachvollziehbar und zweckmässig. Es empfiehlt, in den weiteren Etappen die Rückhaltung der Radionuklide durch Sorption wirtgesteinsspezifisch aufzuzeigen. [ENSI, S. 37-38]

Nach Ansicht des ENSI hat die Nagra die Wirksamkeit der einzelnen Elemente des Barriersystems transparent und nachvollziehbar dokumentiert. Für den Fall des HAA-Lagers stützt es seine Aussage auf die Überprüfung im Rahmen des Entsorgungsnachweises Projekt Opalinuston ab. Für das SMA-Lager hat es eigene Rechnungen mit unabhängigen Modellen durchgeführt und damit auch die Wirksamkeit der einzelnen Barrieren geprüft. [ENSI, S. 39]

2.2.2.3 *Beurteilung der lagerbedingten Einflüsse*

Das ENSI diskutiert die Erörterungen der Nagra zu möglichen Auswirkungen des Lagers auf die Wirksamkeit der Barrieren:

- Komplexbildner und andere Stoffe [ENSI, S. 41]: Es erachtet das Prinzip der getrennten Lagerung der je zwei Abfallgruppen (SMA 1 und SMA 2 bzw. LMA 1 und LMA 2) als sinnvoll. Die für die Zuteilung verwendeten Kriterien sind nachvollziehbar und die Zuteilung zu den Abfallgruppen für Etappe 1 zweckmässig und stufengerecht. Bei den LMA soll die Zuteilung für eine Abfallsorte bezüglich des Nitratgehalts bei den weiteren Schritten der Lagerrealisierung noch einmal geprüft werden.
- pH-Fahne [ENSI, S. 43-44]: Mit Bezug auf seine Überprüfungen im Rahmen des Entsorgungsnachweises Projekt Opalinuston und des Projekts Wellenberg weist das ENSI darauf hin, dass die Auswirkungen der Hoch-pH-Fahne auf die Sicherheit des Tiefenlagers mit den heutigen Kenntnissen durch umhüllende Szenarien abgeschätzt werden können, obwohl nicht alle Vorgänge im Detail bekannt sind. Die Bewertung der Wirtgesteine anhand eines Indikators "Chemische Wechselwirkungen" ist in Etappe 1 nachvollziehbar und plausibel. Der Einfluss der Hoch-pH-Fahne soll in den weiteren Schritten der Lagerrealisierung wirtgesteinsspezifisch abgeschätzt werden.

Das ENSI weist darauf hin, dass die Auswirkungen der Hoch-pH-Fahne die Gasdurchlässigkeit der technischen und geologischen Barrieren reduzieren können. Das tiefere Verständnis der möglichen Konsequenzen ist für die Langzeitsicherheit von grosser Bedeutung. Es begrüsst deshalb die von der Nagra in NTB 08-02 dokumentierten Forschungsaktivitäten.

- Nahfeld-Kolloide [ENSI, S. 45]: Beim Opalinuston sieht das ENSI die Mobilität der Nahfeld-Kolloide wegen der kleinen Poren und der Ionenstärke als begrenzt an. Das Vor-

gehen der Nagra, die Wirtgesteine anhand eines Indikators "Kolloide" zu bewerten, ist nachvollziehbar und stufengerecht.

- Gasbildung und -transport [ENSI, S. 47-50]: Das ENSI teilt die Auffassung der Nagra, dass beim SMA-Lager und beim LMA-Lager bei realistischen Annahmen und geeigneten baulichen Massnahmen wie EGTS der Druckaufbau durch Gasbildung die Barrierenwirkung auch eines sehr dichten Wirtgesteins nicht in Frage stellt. Um das Funktionieren des EGTS zu belegen, sind weitere Untersuchungen notwendig.

Für ein HAA-Lager im Opalinuston hat die Überprüfung des Entsorgungsnachweises Projekt Opalinuston gezeigt, dass keine irreversiblen Schäden im Wirtgestein zu erwarten sind und der von der Nagra erbrachte Nachweis robust ist. Die Datenbasis ist für Etappe 1 stufengerecht, aber für die weiteren Schritte der Lagerrealisierung zu vertiefen.

Im Weiteren stellt das ENSI fest, dass die bei den Berechnungen verwendeten Modellgeometrien und Modellparameter nicht immer konsistent sind. Dies stellt jedoch die Schlussfolgerungen der Nagra für Etappe 1 nicht in Frage. Für die Sicherheitsanalysen der weiteren Etappen sollen konsistente Modelle und Parameter verwendet und auch die lagerbedingten Auswirkungen der bisher nicht spezifizierten Stilllegungsabfälle aus Grossforschungsanlagen berücksichtigt werden.

- Wärmeeintrag [ENSI, S. 51]: Aufgrund einer Expertise aus dem Jahre 2005 ist das ENSI überzeugt, dass beim unterstellten Lagerkonzept im Opalinuston nicht mit Rissen und neuen Wasserwegsamkeiten infolge Temperaturerhöhung zu rechnen ist. Im Umfeld des SMA-Lagertunnels sind nur unwesentliche Temperaturerhöhungen zu erwarten. Das ENSI erwartet, dass in den weiteren Schritten der Lagerrealisierung auch allfällige Auswirkungen der Hydratationswärme aus der Zementverfüllung auf die eingelagerten Abfälle und das Wirtgestein berücksichtigt werden.

Das ENSI kommt zum Schluss, dass die Auswirkungen von lagerbedingten Einflüssen auf die Langzeitsicherheit eines geologischen Tiefenlagers von der Nagra nachvollziehbar und stufengerecht dargelegt wurden. Die Überprüfung der Konzepte und Resultate der Nagra durch eigene Berechnungen zeigt, dass für das SMA-Lager die Barrierenfunktion des Wirtgesteins nicht in Frage gestellt ist. Für das HAA-Lager im Opalinuston sind entsprechende Beurteilungsergebnisse bereits im Rahmen des Entsorgungsnachweises Projekt Opalinuston erbracht worden. [ENSI, S. 71]

2.2.3 Stellungnahme der KNS

2.2.3.1 Barrieren- und Sicherheitskonzept

Das von der Nagra vorgeschlagene Barrierenkonzept mit gestaffelten technischen und geologischen Barrieren entspricht internationalen Standards. Die KNS teilt die Meinung des ENSI, dass dieses Konzept grundsätzlich geeignet ist, den Schutz von Mensch und Umwelt vor ionisierender Strahlung langfristig zu gewährleisten.

Die Einlagerung der HAA und der BE in Behältern, welche den Einschluss dieser Abfälle für einen längeren Zeitraum gewährleisten, ist auch nach Meinung der KNS zweckmässig. Es ist aber darauf zu achten, dass das Behältermaterial auf das chemische Milieu im Tiefenlager so abgestimmt ist, dass die Barrierenwirksamkeit des Nahfelds und des Wirtgesteins nicht gefährdet wird. Die KNS geht im nachfolgenden Abschnitt 2.2.3.2 näher auf diese Thematik ein.

Die KNS pflichtet dem ENSI bei, dass der Bentonit und der hochporöse Zementmörtel als Verfüllmaterialien verschiedene Vorteile aufweisen. Beide Verfüllmaterialien haben aber auch Nachteile: Beim Bentonit ist es primär die mögliche Kolloidbildung, beim Zementmörtel sind es die pH-Fahne und die Kalzinierung. Beim Zementmörtel ist zudem offen, wie weit sein

Speichervolumen ausreicht, um die im SMA- und im LMA-Lager entstehenden Gase zu speichern.

Das ENSI hat die Beiträge der einzelnen Barrieren zur Langzeitsicherheit nach Ansicht der KNS detailliert überprüft. Dabei hat es weitgehend die Modelle und Randbedingungen der Nagra übernommen. Es ist bis auf kleine Abweichungen zum selben Resultat gelangt wie die Nagra. Diese Abweichungen sind nach Ansicht der KNS für die Auswahl von geologischen Standortgebieten nicht von Bedeutung.

2.2.3.2 *Lagerbedingte Einflüsse*

Nach Ansicht der KNS erörtert das ENSI die möglichen Auswirkungen des Lagers auf die Wirksamkeit der geologischen Barrieren detailliert. Die KNS hält fest, dass zwischen den Abfällen, den technischen Barrieren und den geologischen Barrieren vielfältige Wechselwirkungen bestehen, deren Auswirkungen nicht alle im Detail geklärt sind.

Im Zentrum stehen für die KNS die Gasbildung und deren mögliche Auswirkungen auf die Integrität der Barrieren, insbesondere des Wirtgesteins:

- Für das HAA-Lager hat die damalige KSA bei der Beurteilung des Entsorgungsnachweises Projekt Opalinuston eingehende Abklärungen zum Druckaufbau infolge Gasbildung getroffen [KSA, 3.4]. Sie ist zum Schluss gekommen, dass bei der Verwendung von massiven Stahlbehältern, die bei der Korrosion viel Gas entwickeln, nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden kann, dass sehr dichte Wirtgesteine wie Opalinuston Risse bekommen und sich damit deren hervorragende Barriereigenschaften reduzieren. Nach Ansicht der KNS haben die Überlegungen der KSA nach wie vor Gültigkeit. Die Gasbildung muss verhindert oder zumindest auf ein unbedenkliches Mass reduziert werden. Die KNS begrüsst deshalb, dass Abklärungen bezüglich alternativer Behältermaterialien im Gang sind.
- Bei den SMA und den LMA ist die Gasbildung primär durch die Metalle und sekundär durch die Organika in den Abfallgebänden bedingt. Als primäre Massnahme sieht hier die KNS Vorgaben an die Abfallproduzenten mit dem Ziel, die Mengen an metallischen und organischen Stoffen möglichst klein zu halten und damit die Gasbildung möglichst zu vermeiden. Die Aufteilung der LMA und der SMA in je zwei Abfallgruppen und deren getrennte Einlagerung ist ein Ansatz, um den negativen Auswirkungen der unvermeidbaren Gasbildung auf die Freisetzung von Radionukliden in die Geosphäre entgegenzuwirken. Dabei ist nach Ansicht der KNS insbesondere auch zu prüfen, ob zur Erhöhung der Sicherheit kurzlebige, chemisch reaktive Abfälle in einem räumlich klar abgetrennten Bereich des SMA-Lagers eingelagert werden sollen, allenfalls mit reduzierten Anforderungen ans Wirtgestein. Dem Einbau eines EGTS zur Entschärfung der Gasproblematik steht die KNS hingegen kritisch gegenüber: Solche Systeme bilden eine potenzielle Schwachstelle, weil sie eine grössere Durchlässigkeit aufweisen als das Wirtgestein.

2.2.3.3 *Zusammenfassende Beurteilung*

Die KNS teilt die ENSI-Beurteilung, dass die Darlegungen zum Barrieren- und Sicherheitskonzept sowie zu den lagerbedingten Einflüssen für Etappe 1 stufengerecht erfolgt sind. Sie misst lagerbedingten Einflüssen wie Gasbildung und Auflockerungszone und deren möglichen Auswirkungen auf die Integrität der Barrieren, insbesondere des Wirtgesteins, eine sehr grosse Bedeutung zu. Die Lagerkonzepte, insbesondere die Abfallgebände, müssen diesen Einflüssen Rechnung tragen.

Sich aus der KNS-Beurteilung ergebende Hinweise und Empfehlungen zum weiteren Vorgehen finden sich in 3.2.

2.3 Vorgehen bei der Einengung

Im SGT ist der Einengungsprozess, welcher zur Standortwahl für geologische Tiefenlager führen soll, weitgehend vorgegeben. Es werden 13 Kriterien aufgeführt, welche die Geologie charakterisieren und für die Sicherheit und die technische Machbarkeit eines geologischen Tiefenlagers massgebend sind [SGT, S. 40]. Anhand dieser Kriterien erfolgt der Einengungsprozess. Im SGT sind auch die Aspekte dargelegt, die bei den einzelnen Kriterien beurteilt werden müssen [SGT, S. 52-56].

2.3.1 Vorgehen der Nagra

Ausgangspunkte für die Einengung zur Auswahl von Standortgebieten sind die Zuteilung der Abfälle zum SMA- und zum HAA-Lager, die Festlegung der Barrieren- und Sicherheitskonzepte für die beiden Lagertypen und die Abfallinventare für das Referenzszenarium.

2.3.1.1 Anforderungen an die Geologie

Bei den quantitativen Anforderungen an das Wirtgestein und die Geosphäre spielt der Betrachtungszeitraum eine wichtige Rolle. Das ist der Zeitraum, während dem die Barrieren ihre Funktion erfüllen müssen. Aufgrund eigener Sicherheits- und Systemanalysen sowie internationaler Erfahrung veranschlagt die Nagra einen Betrachtungszeitraum von 100'000 Jahren für das SMA-Lager und von einer Million Jahre für das HAA-Lager. [NTB 08-05, S. 160]

Die Bewertung der 13 Kriterien im SGT erfolgt im Einengungsverfahren anhand von 49 Indikatoren. [NTB 08-03, S. 41-42]

Für 22 Indikatoren, die Merkmale repräsentieren, die für die Langzeitsicherheit unabdingbar sind, werden Mindestanforderungen festgelegt; diese sind zum Teil qualitativ und zum Teil quantitativ. Diese Indikatoren und Mindestanforderungen betreffen u. a.

- die Tiefenlage unter Terrain (z. B. Lagerebene ≤ 900 m u. T. bei Sedimentgesteinen für HAA-Lager),
- den Abstand zu regionalen Störungszonen (Richtwert von 200 m; dieser Wert wird vergrössert, wo dies durch geologische Daten angezeigt ist),
- die laterale Ausdehnung des Wirtgesteins (räumliches Potenzial für wenig zergliederte Bereiche ≥ 2 km² bei nutzbarer Breite ≥ 1 km für SMA-Lager und ≥ 4 km² bei nutzbarer Breite ≥ 1.5 km für HAA-Lager) und
- den minimalen Tongehalt des Wirtgesteins (mittlerer Tongehalt ≥ 25 % für SMA- und HAA-Lager bei Sedimentgesteinen ausser Evaporiten), falls keine Angaben zur hydraulischen Durchlässigkeit bzw. Transmissivität vorliegen.

Haben Merkmale einen sehr ausgeprägten Einfluss auf die Sicherheit oder bestehen bei potenziell möglichen Varianten in Bezug auf gewisse Merkmale von übergeordneter Bedeutung noch grössere Ungewissheiten, werden für die entsprechenden Indikatoren zusätzlich zu den Mindestanforderungen verschärfte Anforderungen festgelegt. Damit soll sichergestellt werden, dass alle ausgewählten Standortgebiete bzw. Standorte das Potenzial haben, sich in Etappe 2 als sicherheitsmässig vergleichbar zu qualifizieren. [NTB 08-03, S. 28] Diese Indikatoren betreffen u. a.

- die Tiefenlage unter Terrain (u. a. für östliche subjurassische Zone bei Sedimentgesteinen Lagerebene für HAA-Lager ≤ 800 m u. T.),
- die Homogenität des Gesteinsaufbaus (nur für das HAA-Lager) und
- das Platzangebot untertags (ausreichend für "umhüllendes" Abfallinventar).

Die Mindestanforderungen und die verschärften Anforderungen sind zum Teil für das SMA-Lager und das HAA-Lager unterschiedlich, weil sich die Abfälle in Menge und Charakter unterscheiden.

Die Varianten, welche die verschärften Anforderungen erfüllen, werden als "bevorzugt" bezeichnet. Die Varianten, welche nur die Mindestanforderungen erfüllen, werden zurückgestellt.

2.3.1.2 *Auswahlverfahren für Standortgebiete*

Das Auswahlverfahren für die Standortgebiete erfolgt gemäss den Schritten 3 bis 5 des SGT: [SGT, S. 58]

- Identifikation geeigneter geologisch-tektonischer Grossräume,
- Identifikation potenziell geeigneter Wirtgesteine bzw. einschlusswirksamer Gebirgsbereiche und
- Identifikation geeigneter Konfigurationen für die potenziell geeigneten Wirtgesteine bzw. einschlusswirksamen Gebirgsbereiche.

Bei jedem dieser Schritte wird grundsätzlich dreistufig vorgegangen: [NTB 08-03, S. 43]

- Stufe 1: Identifikation potenziell möglicher Varianten durch Anwendung von Mindestanforderungen für ausgewählte Indikatoren
- Stufe 2: Auswahl bevorzugter Varianten durch die Anwendung von verschärften Anforderungen für ausgewählte Indikatoren auf die potenziell möglichen Varianten (Diese Stufe entfällt bei der Identifikation geeigneter geologisch-tektonischer Grossräume.)
- Stufe 3: Charakterisierung und Bewertung der bevorzugten Varianten und darauf basierend evtl. Bezeichnung von prioritären Varianten

Vorgehen und Methodik sind von der Nagra im Detail dargelegt. [NTB 08-03, S. 41-90]

2.3.2 **Beurteilung durch das ENSI**

2.3.2.1 *Beurteilung der Herleitung der Anforderungen an die Geologie*

Das ENSI hat die Herleitung der Anforderungen an die Geologie an zwei Grundsatzfragen geprüft: [ENSI, S. 53]

- Wurden die im SGT vorgegebenen Kriterien stufengerecht korrekt umgesetzt?
- Sind die durch die Entsorgungspflichtigen hergeleiteten quantitativen Vorgaben nachvollziehbar.

Das ENSI erachtet die zur Ermittlung der Betrachtungszeiträume verwendeten Modelle als geeignet, die radiologischen Konsequenzen der Freisetzung von im Grundwasser gelösten Radionukliden aus den nahe an der Erdoberfläche liegenden Lagerkammern sowie der Freisetzung durch Erosion aufzuzeigen. Die vorgeschlagenen Betrachtungszeiträume sind für das ENSI nachvollziehbar und entsprechen den Anforderungen in der ENSI-Richtlinie G03. [ENSI, S. 53-54]

Das ENSI hat auch die Umsetzung der 13 im SGT vorgegebenen Kriterien in 49 Indikatoren sowie die von der Nagra formulierten Anforderungen an diese Indikatoren überprüft. Es bezeichnet die Herleitung der quantitativen Vorgaben als stufengerecht [ENSI, S. 55]. Die Beurteilungen zu den 27 Indikatoren, zu welchen die Nagra Mindestanforderungen oder verschärfte Anforderung formuliert hat, sind im Gutachten zusammengefasst [ENSI, S. 55-71].

2.3.2.2 Zusammenfassende Beurteilung des ENSI

In der zusammenfassenden Beurteilung hebt das ENSI u. a. hervor, dass der Nachweis der bautechnischen Machbarkeit für das HAA-Lager bei der Verwendung von beschränkten Stützmitteln nur bis zu einer Tiefe von 650 m erbracht ist. Für grössere Tiefenlagen wären zusätzliche vollflächige Stützmittel notwendig. Für diese Ausbaukonzepte sind aber die Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit und die sicherheitstechnisch relevanten Prozesse im Nahfeld noch vertieft zu untersuchen. [ENSI, S. 71-72]

2.3.3 Stellungnahme der KNS

2.3.3.1 Anforderungen an die Geologie

Die KNS hat sich eingehend mit der Überprüfung der Indikatoren und der Anforderungen an die Indikatoren durch das ENSI auseinandergesetzt. In den meisten Fällen, deckt sich ihre Beurteilung mit jener des ENSI. Nachfolgend äussert sich die KNS spezifisch zu den Anforderungen an einige Indikatoren:

- Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit [ENSI, S. 55]: Die KNS teilt die Feststellung des ENSI, dass beim von der Nagra unterstellten Lagerkonzept und den vorgesehenen beschränkten Stützmitteln die bautechnische Machbarkeit für ein HAA-Lager nur bis zu einer Tiefenlage von 650 m nachgewiesen ist. Zur Ermöglichung der bautechnischen Machbarkeit in grösseren Tiefenlagen sind ausser massiveren Stützmitteln nach Auffassung der KNS auch Anpassungen des Lagerkonzepts sowie der Bau- und der Einlagerungstechnik zu prüfen. Sie erwartet, dass bei angepasstem Lagerkonzept (z. B. kleinere Stollenquerschnitte) das HAA-Lager gar in grösseren Tiefenlagen als 900 m bautechnisch machbar ist. Nach Ansicht der KNS sollte die Option "Grössere Tiefenlage" für das HAA-Lager offen gehalten werden. Die KNS kommt auf das Thema in 2.5.3 und 2.6.3 zurück.
- Abstand zu regionalen Störungszonen [ENSI, S. 60]: Gemäss ENSI haben eigene Berechnungen gezeigt, dass bei homogenen tonhaltigen Gesteinen mit einer Durchlässigkeit $< 10^{-10}$ m/s ein Minimalabstand von 200 m für die Einhaltung der in der ENSI-Richtlinie G03 festgelegten Schutzziele ausreichend ist. Dieser Befund ist nach Meinung der KNS wenig aussagekräftig, weil die effektiven Durchlässigkeiten von Gesteinen im Bereich grosser Störungszonen heterogen sind. Die KNS schliesst deshalb nicht aus, dass sehr viel grössere Sicherheitsabstände zu regionalen Störungszonen einzuhalten sein werden. Die effektiv einzuhaltenden Abstände werden mit standortspezifischen Sicherheitsanalysen bestimmt werden müssen.
- Laterale Ausdehnung [ENSI, S. 60]: Nach Auffassung der KNS ist es weder zielführend noch möglich, ungünstigen geologischen Konfigurationen durch eine grössere laterale Ausdehnung des Wirtgesteinskörpers begegnen zu wollen. Die Ausdehnung von lateralen Inhomogenitäten ist nämlich bereits über kurze Distanzen kaum explorierbar.
- Homogenität des Gesteinsaufbaus [ENSI, S. 62]: Der Flexibilität bei der Anordnung der Lagerkavernen des SMA-Lagers in heterogenen geologischen Konfigurationen sind nach Meinung der KNS Grenzen gesetzt. Bei inhomogenen Gesteinen ist die genaue Lage der Inhomogenitäten nur schwer oder nicht erkundbar. Grössere Inhomogenitäten, wie mehrere Meter mächtige und bis mehrere hundert Meter ausgedehnte Fremdkörper, im Wirtgestein können die Sicherheit eines Tiefenlagers grundsätzlich in Frage stellen. Gesteine mit solchen Inhomogenitäten sind als Wirtgesteine für Tiefenlager daher nicht geeignet.
- Tongehalt [ENSI, S. 62-63]: Für Gesteine, für welche keine Erfahrungswerte für die hydraulische Durchlässigkeit bzw. die Transmissivität vorliegen, legt die Nagra eine Mindestanforderung für den mittleren Tongehalt (≥ 25 %) fest. Tonminerale können

sich hinsichtlich Quellfähigkeit jedoch stark unterscheiden; die Quellfähigkeit ist aber aus sicherheitstechnischer Sicht eine wichtige Eigenschaft (vgl. auch 2.5.3). Die Eignung von tonigen Wirtgesteinen ist deshalb stark davon abhängig, wie gross der Anteil an quellfähigen Tonmineralien ist und wie stark der Tongehalt lokal variiert. Flysch kann zum Teil recht hohe Tonanteile enthalten; in Folge der Entwicklungsgeschichte ist die Quellfähigkeit der Tonmineralien im Flysch aber gering.

2.3.3.2 *Vorgehen bei der Einengung*

Die KNS ist sich der methodischen Probleme bei der Anwendung von Multikriterienanalysen (siehe etwa Methoden wie ELECTRE¹², Kosten-Nutzen-Analysen, Umweltverträglichkeits-Untersuchungen) bewusst. Es gibt keine validierte Methode, die erlaubt, in vollständiger Objektivität unterschiedliche Kriterien auf unterschiedliche Standortgebiete bzw. Standorte anzuwenden und diese gesamthaft zu bewerten und aufgrund dieser Bewertungen zu vergleichen.

Der Wissenstand kann beim Einengungsverfahren eine massgebliche Rolle spielen. Ein ungenügender Wissenstand muss nämlich durch konservative Annahmen abgedeckt werden. Dies kann dazu führen, dass Optionen ausscheiden, die ebenso gut oder eventuell gar besser sind, wie solche, die im Verfahren bleiben.

Die Anwendung verschärfter Anforderungen ist im SGT für Etappe 1 nicht vorgesehen. Sie führt zu einer kleineren Anzahl von Standortgebieten; insbesondere können zusätzlich Standortgebiete ausscheiden, über die weniger Informationen vorliegen. Dies kann dazu führen, dass beim Ausscheiden jetzt vorgeschlagener Standortgebiete in späteren Etappen des Sachplanverfahrens kaum oder keine Alternativen mehr verbleiben. Nach Ansicht der KNS ist es wichtig, dass in einem nachvollziehbaren Prozess eine für die Durchführung des Sachplanverfahrens ausreichende Anzahl potenziell geeigneter Standortgebiete ausgewiesen werden.

2.3.3.3 *Zusammenfassende Beurteilung*

Nach Auffassung der KNS hat das ENSI die Herleitung der Anforderung an die Geologie eingehend analysiert. Die KNS schliesst sich in weiten Teilen den Beurteilungen und den Schlussfolgerungen des ENSI an. Sie hält aber fest, dass eine Begrenzung der maximalen Tiefenlage für das HAA-Lager auf Basis der von der Nagra unterstellten Lagerkonzepte weder notwendig noch zweckmässig ist. Zu bevorzugen sind nach Auffassung der KNS zudem möglichst homogene und gut prognostizierbare Gesteine mit hohem Anteil an quellfähigen Tonmineralien.

Das Einengungsverfahren der Nagra beruht auf einer Multikriterienanalyse. Ein ungenügender Wissenstand kann zum Ausscheiden der entsprechenden Standorte führen. Dies hat für das Verfahren keine Konsequenzen, wenn eine ausreichende Zahl von Standortgebieten in der Auswahl verbleibt, die sich auch im weiteren Verfahren als geeignet erweisen.

Sich aus der KNS-Beurteilung ergebende Hinweise und Empfehlungen zum weiteren Vorgehen finden sich in 3.2.

¹² ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalité): Von Bernard Mitte der 60er Jahre des letzten Jahrhunderts entwickelte Multikriterienanalyse. Diese arbeitet mit Gewichtungsfaktoren und Ausschlusskriterien.

2.4 Identifikation geeigneter geologisch-tektonischer Grossräume

Dieser Einengungsschritt entspricht Schritt 3 gemäss SGT Etappe 1 [SGT, S. 58]. Im Sachplan sind die Kriterien und Indikatoren zur Identifikation von geeigneten geologisch-tektonischen Grossräumen für HAA- und SMA-Lager vorgegeben [SGT, S. 59-60]. Geeignet sind Grossräume, die folgende Eigenschaften haben:

- Das Potenzial zum Auffinden und zuverlässigen Explorieren von wenig zergliederten Bereichen, welche eine ausreichende Grösse für die Unterbringung des entsprechenden Lagers haben, ist vorhanden.
- Im jeweiligen Betrachtungszeitraum sind keine geologisch-tektonische Veränderungen zu erwarten, welche grössere Bereiche betreffen und die Sicherheit der Lager grundsätzlich in Frage stellen.

2.4.1 Vorgehen und Ergebnisse der Nagra

2.4.1.1 Aufteilung der Schweiz in geologisch-tektonische Grossräume

Die Nagra verwendet bei der Identifikation geeigneter geologisch-tektonischer Grossräume zusätzlich zu den im SGT vorgegebenen Kriterien und Indikatoren den Indikator "Laterale Ausdehnung". Damit stellt sie zusätzlich das Potenzial für wenig zergliederte Bereiche in ausreichender Grösse sicher. Die Bewertung erfolgt anhand aller Kriterien und zugehöriger Indikatoren. Der Ausschluss von Grossräumen basiert auf der Nichterfüllung von Mindestanforderungen. [NTB 08-04, S. 76-77]

Die Kriterien und Indikatoren erfassen die Eignung der heutigen tektonischen Verhältnisse für die Realisierung eines Lagers sowie die Langzeitstabilität der Geologie im Hinblick auf die Langzeitsicherheit. Für die entsprechende Beurteilung werden nach dem aktuellen Stand der Kenntnisse die heutigen tektonischen Verhältnisse zusammengefasst. Dazu gehören die Darstellung der geodynamischen Entwicklung der zur Diskussion stehenden Grossräume und eine Prognose über regionale Hebungs- und Senkungstendenzen. In Gebieten mit Hebungstendenzen werden entsprechende Erosionsraten berücksichtigt. Verschiedene Szenarien werden von der Nagra modellmässig überprüft mit dem Ziel, geologische Gesteinskonfigurationen im Untergrund zu ermitteln, die von möglichen gebirgsmechanischen Anpassungen an veränderte Spannungszustände möglichst nicht betroffen sein werden. Für solche Gesteinskonfigurationen kann die räumliche Langzeitstabilität am zuverlässigsten beurteilt werden.

In einem ersten Schritt unterteilt die Nagra auf der Basis der heutigen Kenntnisse der geologischen Verhältnisse und von Modellvorstellungen zur Geodynamik und Tektonik [NTB 08-04, S. 19-74] die Schweiz in geologisch-tektonische Grossräume [NTB 08-04, S. 77-79]: Alpen, Molassebecken und Jura. Der Jura wird in den Faltenjura und den Tafeljura unterteilt. Beim Molassebecken trennt sie die Subjurassische Zone ab, die im Einflussbereich der Auffaltung des Jura liegt. Die Subjurassische Zone, der verbleibende Teil des Molassebeckens und der Tafeljura werden je in einen westlichen Teil und einen Teil östlich der Ostgrenze des dichten rheinischen Störungsmusters gegliedert. Das Molassebecken östlich dieser Grenze wird wegen unterschiedlicher Betroffenheit durch die Jurafaltung (Fernschub) in einen östlichen und einen zentralen Teil gegliedert.

2.4.1.2 Bewertung der geologisch-tektonischen Grossräume

Die Nagra prüft, inwieweit die geodynamischen Modellvorstellungen geeignet sind, die Entwicklung der Geologie über die Betrachtungszeiträume prognostizieren zu können. Für die Beurteilung der Langzeitsicherheit betrachtet sie einerseits die aufgrund des heutigen

Wissenstands wahrscheinlichste geologische Entwicklung. Wegen der z. T. grossen Unsicherheiten untersucht sie andererseits auch pessimistische Szenarien im Hinblick darauf, ob die Langzeitsicherheit gewährleistet ist. Sie kommt zum Schluss, dass beim SMA-Lager wegen des kürzeren Betrachtungszeitraums in allen Grossräumen keine signifikante Gefährdung zu erwarten ist, falls sich das Lager in einer geeigneten lokalen Konfiguration befindet. Für das HAA-Lager bewertet die Nagra den östlichen Tafeljura und das östliche Molassebecken als günstig bis sehr günstig. Bei allen andern Grossräumen hat sie mehr oder weniger starke Vorbehalte; in den Alpen schätzt sie die Wahrscheinlichkeit für eine Gefährdung längerfristig als sehr hoch ein. [NTB 08-04, S. 79-81]

Keine Gefährdung sieht die Nagra durch Vulkanismus. Sie stützt sich bei der einzigen hinsichtlich Vulkanismus relevanten Region (Hegau) auf eine deutsche Expertenbefragung ab [AkEnd, S. 91-93 und 250]: Gemäss dieser kann eine Reaktivierung der Vulkane in dieser Region in der nächsten Million Jahre ausgeschlossen werden [NTB 08-04, S. 81].

Die Nagra nimmt an, dass die grossräumigen Erosionsraten im langfristigen Mittel etwa gleich gross oder eher kleiner als die Hebungsraten sind. Sie geht zudem davon aus, dass die Hebungsraten in den Alpen deutlich grösser sind als in den übrigen Grossräumen. Für das SMA-Lager fällt die grossräumige Erosion wegen des kürzeren Betrachtungszeitraums nicht ins Gewicht. Die Nagra weist aber darauf hin, dass in den Alpen und im Faltenjura lokal erhöhte Erosionsraten auftreten können. Am günstigsten werden hinsichtlich Erosion der Tafeljura und die Subjurassische Zone bewertet; das Molassebecken schneidet leicht ungünstiger ab. [NTB 08-04; S. 81-82]

Die Nagra stützt ihre Bewertung der Grossräume hinsichtlich der Eignung der heutigen tektonischen Verhältnisse und der ausreichenden lateralen Ausdehnung von geeigneten Gesteinskonfigurationen auf das geologische Kartenwerk und die Fachliteratur zur Geologie der Schweiz ab. In den Alpen, im Faltenjura, im westlichen Tafeljura und in der westlichen Subjurassischen Zone sieht sie auf dieser Grundlage nur äusserst geringe Chancen ein HAA-Lager realisieren zu können. Als günstigste Grossräume stuft sie den östlichen Tafeljura und das östliche Molassebecken ein. Beim westlichen Molassebecken schliesst sie nicht aus, dass einzelne Wirtgesteinskonfigurationen genügender Ausdehnung gefunden werden könnten. Sie erachtet es als sehr schwierig, in den Alpen und im Faltenjura geeignete Gesteinskonfigurationen lokalisieren zu können. [NTB 08-04, S. 82-83]

Die Bewertung der Explorierbarkeit der räumlichen Verhältnisse ist eng verknüpft mit der Bewertung der lateralen Ausdehnung. Die Nagra bewertet deshalb die Grossräume hinsichtlich beider Indikatoren gleich. [NTB 08-04, S. 83; NTB 08-03, S. 106 Tab. 3.5-1 und S. 111 Tab. 3.5-2]

2.4.1.3 Schlussfolgerungen

Zusammenfassend kommt die Nagra zu folgendem Schluss:

- Für das SMA-Lager kommen alle Grossräume in der Schweiz, auch die Alpen in Betracht. Sehr günstig bis günstig sind das gesamte Molassebecken, der östliche Faltenjura und die östliche Subjurassische Zone. [NTB 08-03, S. 105 Fig. 3.5-1]
- Für das HAA-Lager ungenügend sind die Alpen, der Faltenjura, die westliche Subjurassische Zone der westliche Tafeljura. Ungünstig bis bedingt günstig sind das westliche Molassebecken und die östliche Subjurassische Zone. Das Molassebecken östlich der Ostgrenze des dichten rheinischen Störungsmusters und der östliche Tafeljura sind günstig bis sehr günstig. [NTB 08-03, S. 110 Fig. 3.5-2]

2.4.2 Beurteilung durch das ENSI

2.4.2.1 Beurteilung des Vorgehens der Nagra

Das ENSI bestätigt, dass die Nagra bei der Einengung potenziell geeigneter geologisch-tektonischer Grossräume gemäss Schritt 3 von Etappe 1 SGT vorgegangen ist. Es erachtet den zusätzlichen Einbezug des Indikators "Laterale Ausdehnung" durch die Nagra als sinnvoll. [ENSI; S. 74]

2.4.2.2 Beurteilung der geologisch-tektonischen Grossräume

Bei seiner Beurteilung der Grossräume geht das ENSI speziell auf die maximale Tiefenlage potenzieller Wirtgesteinsformationen, die Erosions- und Hebungsgeschichte und die regionalen Störungsmuster ein. Es diskutiert die entsprechende Fachliteratur und überprüft diese auf ihre Stichhaltigkeit. [ENSI, S. 75-78]

In seinen Beurteilungen spricht das ENSI u. a. folgende Punkte an:

- Grossräumige Erosionsrate: Die Annahme der Nagra, die langfristige grossräumige Erosionsrate liege im Bereich der ermittelten Hebungsrate, wird vom ENSI als konservativ beurteilt. Die langfristigen Erosionsraten sind wahrscheinlich nur halb so gross. Die nördlich des Bodensees gemessenen ungewöhnlich hohen Hebungsraten (bis zu 0,7 mm/a) sind in ihren Auswirkungen auf die Region südlich und südwestlich des Bodensees auch in einer Million Jahren unproblematisch. [ENSI, S. 75-77]
- Bei der Tiefenerosion durch Gletschervorstösse sind hinsichtlich der Zeiträume, in welchen die Rinnenübertiefungen in der Nordschweiz erfolgt sind, der dafür relevanten Prozesse, der Eintiefungsraten und der Möglichkeit einer Wiederholung zwar noch Fragen offen. Für den Fall eines Lagers in der Nähe bestehender Rinnen plant die Nagra bei der Lagertiefe aber Sicherheitszuschläge ein, die für alle plausiblen Szenarien ausreichend sind. [ENSI, S. 77-78]
- Die Bewertung bezüglich Eignung der Alpen für ein SMA-Lager ist nach Auffassung des ENSI zu wenig differenziert dargestellt. Es kommt bezüglich der Indikatoren "Modellvorstellungen zur Geodynamik und Neotektonik" und "Seismik" zu einer differenzierteren Bewertung. Bei tektonisch aktiven Gebieten mit starken Hebungsgradienten und erhöhter Seismizität kann die Langzeitsicherheit in Frage gestellt sein. Zudem nimmt der Gehalt an quellfähigen Tonmaterialien und damit die Fähigkeit zur Selbstabdichtung mit steigendem Metamorphosegrad der Gesteine ab. [ENSI, S. 79-81]
- Übereinstimmend mit der Nagra ist das ENSI der Meinung, dass nur der östliche Tafeljura und das Molassebecken östlich der Ostgrenze des dichten rheinischen Störungsmusters für das HAA-Lager als günstig bis sehr günstig eingestuft werden können. Das westliche Molassebecken ist tektonisch komplizierter gebaut und stärker zergliedert sowie seismisch unruhiger; das ENSI stimmt deshalb der Bewertung "ungünstig bis bedingt günstig" durch die Nagra zu. Das ENSI weist darauf hin, dass das gesamte Molassebecken in Schritt 5 gemäss SGT Etappe 1 wegen zu tiefer Lage des Opalinus-tons für beide Lagertypen ausscheidet. [ENSI, S. 83-84]

Das ENSI kann der Gliederung, der Darstellung und der Bewertung der geologisch-tektonischen Grossräume durch die Nagra im Allgemeinen folgen. Es stimmt der günstigen bis sehr günstigen Bewertung des östlichen Tafeljuras, der östlichen Subjurassischen Zone und des östlichen Molassebeckens für das SMA-Lager zu unter dem Vorbehalt, dass Wirtgesteinskonfigurationen in bautechnisch machbarer Tiefe vorhanden sind. Als Kriterium für die bautechnische Machbarkeit nennt es eine maximale Felstemperatur von 55°C (Vorgabe der SUVA). Das ENSI weist darauf hin, dass in den Alpen aber lokal die Mindestanforderungen auch für ein SMA-Lager nicht erfüllt sein könnten. Für das HAA-Lager bewertet es den öst-

lichen Tafeljura sowie das zentrale und östliche Molassebecken als günstig bis sehr günstig. [ENSI, S. 84]

2.4.3 Stellungnahme der KNS

2.4.3.1 Gliederung in geologisch-tektonische Grossräume

Die KNS teilt die Beurteilung des ENSI, dass die Gliederung der Schweiz in geologisch-tektonische Grossräume sinnvoll ist und gut dokumentiert wird. Die Nagra hat die Gliederung richtigerweise primär nach den Einflussbereichen der Faltung der Alpen und des Juras sowie der südlichen Fortsetzung des Bruchsystems Rheintalgrabens ausgerichtet.

2.4.3.2 Bewertung der geologisch-tektonischen Grossräume

Dass das ENSI das westliche Molassebecken grundsätzlich weniger günstig bewertet als das östliche, ist nach Ansicht der KNS aufgrund der erhöhten tektonischen Beanspruchung nachvollziehbar. Eine weniger günstige Bewertung eines Grossraums bedeutet aber nicht, dass in diesem keine geeigneten Standortgebiete vorkommen können. Solche sind aber meist nur mit grossem Aufwand zu identifizieren und möglicherweise auch mit grösseren Unsicherheiten verbunden. Beispiel dafür ist das Standortgebiet Wellenberg, welches im Grossraum Alpen liegt, der sowohl von der Nagra als auch vom ENSI nur als ungünstig bis günstig eingestuft wird.

Die Bewertung der geologisch-tektonischen Grossräume hinsichtlich ihrer Eignung für ein SMA-Lager durch das ENSI [ENSI, S. 82 Fig. 4.2-3) ist für die KNS nachvollziehbar. Die Darlegungen des ENSI zum Gehalt an quellfähigen Tonmineralien in den Gesteinen sind wichtig [ENSI, S. 81]: Die KNS hat bereits darauf hingewiesen, dass der Gehalt an quellfähigen Tonmineralien ein entscheidendes Beurteilungskriterium für die Qualität von tonigen Wirtgesteinen ist. Dies ist insbesondere für den Grossraum Alpen von Bedeutung.

Auch hinsichtlich der Eignung der Grossräume für ein HAA-Lager kann sich die KNS in weiten Teilen der Beurteilung durch das ENSI anschliessen. Dabei ist deutlich darauf hinzuweisen, dass das östliche Molassebecken und der östliche Tafeljura weniger bis gar nicht vom Fernschub der Alpen beeinflusst sind. Die günstigere Bewertung der Grossräume im östlichen Teil der Schweiz ist für die KNS deshalb nachvollziehbar.

Vorbehalte hat die KNS hinsichtlich der Beurteilungen des ENSI zu Neotektonik und Erosion, z. B. Rinnenbildung. Hier sind die Wissensdefizite zum Teil noch beträchtlich. Dies betrifft insbesondere Prognosen zur Tiefenerosion. Gemäss neuesten Erkenntnissen könnte die Tiefenerosion um bis zu einem Faktor fünf höher sein, als bisher angenommen wurde. Es ist deshalb aus Sicht der KNS wichtig, dass die Option "Grössere Tiefenlage" für das HAA-Lager offen gehalten wird.

2.4.3.3 Zusammenfassende Beurteilung

Zusammenfassend schliesst sich die KNS der Auffassung des ENSI an, dass die Nagra bei der Einengung der für geologische Tiefenlager potenziell geeigneten tektonisch-geologischen Grossräume den Vorgaben zu Etappe 1 des SGT gefolgt ist. Nach Ansicht der KNS sind die Alpen infolge tektonischer Überprägung generell ungünstiger als die nördlich anschliessenden Gebiete des Molassebeckens und des Juras. Wesentliche Unsicherheiten bestehen bei Neotektonik und Erosion. Es ist deshalb wichtig, dass die Option "Grössere Tiefenlage" für das HAA-Lager offen gehalten wird.

Sich aus der KNS-Beurteilung ergebende Hinweise und Empfehlungen zum weiteren Vorgehen finden sich in 3.2.

2.5 Identifikation potenziell geeigneter Wirtgesteine und einschlusswirksamer Gebirgsbereiche

Gemäss SGT sind in Schritt 4 von Etappe 1 innerhalb der geeigneten Grossräume Wirtgesteine bzw. einschlusswirksame Gebirgsbereiche¹³ zu identifizieren, welche für geologische Tiefenlager geeignet sind. Die Kriterien, die bei diesem Auswahlverfahren angewendet werden müssen, sind im SGT vorgegeben. Sie betreffen das räumliche Eignungspotenzial, die für die Barrierenwirkung relevanten Eigenschaften, die Langzeitbeständigkeit und Explorierbarkeit der geologischen Situation sowie das Verhalten gegenüber lagerbedingten Einflüssen. [SGT, S. 58]

2.5.1 Vorgehen und Ergebnisse der Nagra

2.5.1.1 Vorgehen und Grundlagen

Die Nagra betrachtet das gesamte Spektrum der Gesteine in der Schweiz, welche aufgrund heutiger Erkenntnisse für ein geologisches Tiefenlager in Frage kommen könnten. Dieses Spektrum schränkt sie in der Folge schrittweise ein: [NTB 08-03, S. 113-114]

- Im 1. Teilschritt geht die Nagra von den Merkmalen "Mächtigkeit" und "hydraulische Durchlässigkeit" bzw. "Tongehalt" aus, die für die Sicherheit und Machbarkeit zentral sind. Anhand der Mindestanforderungen für diese beiden Indikatoren werden die detaillierter zu evaluierenden Gesteine identifiziert.
- Im 2. Teilschritt wird zur Bestimmung der potenziell möglichen Wirtgesteine neben den vorerwähnten Mindestanforderungen zusätzlich die Einhaltung der Mindestanforderungen für die folgenden Indikatoren geprüft:
 - "Potenzial zur Bildung neuer Wasserwegsamkeiten (Verkarstung)",
 - "Transmissivität präferenzialer Freisetzungspfade" (Leitfähigkeit von speziell durchlässigen Strukturen im Gesteinsuntergrund),
 - "Laterale Ausdehnung",
 - "Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf flächenhafte Erosion",
 - "Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit",
 - "Gesteinsfestigkeit und Verformungseigenschaften",
 - "Rohstoffvorkommen innerhalb des Wirtgesteins".

In der Auswahl verbleiben schliesslich die potenziell möglichen Wirtgesteine.

- Im 3. Teilschritt werden aufgrund der verschärften Anforderungen für die Indikatoren "Hydraulische Durchlässigkeit" und "Variabilität der Gesteinseigenschaften im Hinblick auf ihre Charakterisierbarkeit" sowie für das HAA-Lager zusätzlich für den Indikator "Homogenität des Gesteinsaufbaus" schliesslich die bevorzugten Wirtgesteine ausgewählt.

Damit berücksichtigt die Nagra zusätzlich zu den im SGT für diesen Schritt vorgegebenen Kriterien [SGT, S. 58] auch die für diesen Schritt zutreffenden Indikatoren zu den Kriterien "2.4 Nutzungskonflikte" und "3.3. Prognostizierbarkeit der Langzeitveränderungen" [SGT, S. 40].

¹³ Im Folgenden wird einheitlich der Begriff "Wirtgestein" verwendet.

Methodisch unterscheidet die Nagra Sedimentgesteine und Kristallingesteine. Letztere haben im Gegensatz zu jenen Sedimenten, die quellfähige Tonminerale enthalten, praktisch kein Selbstabdichtungsvermögen. Stärker metamorph überprägte Sedimentgesteine enthalten keine quellfähigen Tonminerale mehr und werden deshalb den Kristallingesteinen gleichgestellt. [NTB 08-03, S. 114-115]

Bei der Auswahl berücksichtigt die Nagra die tektonische Überprägung, die Entlastung des Gesteinsverbunds und die damit verbundene Auflockerung (Dekompaktion) der Schichten sowie die Verkarstung, weil diese zur Beeinträchtigung der Barrierenwirkung führen können. [NTB 08-03, S. 115-116]

2.5.1.2 1. Teilschritt: Bestimmung genauer zu evaluierender Gesteinsformationen

Alle Karbonatgesteine und Sandsteine scheiden insbesondere wegen allgemein hoher hydraulischer Durchlässigkeit aus. Für das SMA-Lager verbleiben 26 Gesteinsformationen zur genaueren Evaluation [NTB 08-03, S. 130-131 Tab 4.2-1], für das HAA-Lager acht Gesteinsformationen [NTB 08-03, S. 135 Tab 4.3-1].

2.5.1.3 2. Teilschritt: Bestimmung potenziell möglicher Wirtgesteine

Die genauer zu evaluierenden Gesteinsformationen werden auf die Einhaltung der entsprechenden Mindestanforderungen untersucht. Für das HAA-Lager erweisen sich folgende Gesteinsformationen als potenziell mögliche Wirtgesteine: [NTB 08-03, S. 135 Tab 4.3-1]

- Opalinuston im östlichen Tafeljura und in der östlichen Subjurassischen Zone,
- Tongesteinsabfolge "Brauner Dogger" im östlichen Tafeljura,
- Effinger Schichten im östlichen Tafeljura und in der östlichen Subjurassischen Zone,
- Marnes Bariolées (Untere Süsswasser Molasse) im westlichen Molassebecken,
- Obere Süsswasser Molasse (Basiszone und Bodensee-Schüttung) im östlichen Molassebecken,
- Kristallingesteine (wenig deformierte Blöcke) in der Nordschweiz,

Für das SMA-Lager erweisen sich zusätzlich folgende Gesteinsformationen als potenziell mögliche Wirtgesteine: [NTB 08-03, S. 130-131 Tab 4.2-1]

- Mergelbildungen des Helvetikums,
- Kristallingesteine (wenig deformierte Blöcke) in den Alpen.

Nicht weiter berücksichtigt werden u. a. die Evaporitfolgen der Trias [NTB 08-03, S. 122] und die diversen Flyschformationen.

2.5.1.4 3. Teilschritt: Bestimmung und Bewertung bevorzugter Wirtgesteine

Anhand der vorerwähnten verschärften Anforderungen werden die potenziell möglichen Wirtgesteine bewertet. Die verschärften Anforderungen für das SMA-Lager erfüllen gemäss Nagra [NTB 08-03, S. 133]

- der Opalinuston im östlichen Tafeljura und in der östlichen Subjurassischen Zone,
- die Tongesteinsabfolge "Brauner Dogger" im östlichen Tafeljura,
- die Effinger Schichten im östlichen Tafeljura und in der östlichen Subjurassischen Zone und
- die Mergel-Formationen des Helvetikums.

Die verschärften Anforderungen für das HAA-Lager erfüllt nur der Opalinuston im östlichen Tafeljura und in der östlichen Subjurassischen Zone.

Bei allen übrigen potenziell möglichen Wirtgesteinen (u. a. Marnes Bariolées, Obere Süswasser Molasse, Kristallingesteine der Nordschweiz) ist jeweils mindestens eine der verschärften Anforderungen mit grosser Wahrscheinlichkeit nicht erfüllt.

Abschliessend bewertet die Nagra die bevorzugten Wirtgesteine anhand aller im SGT vorgegebenen Kriterien [NTB 08-03, S. 139-175].

2.5.1.5 *Schlussfolgerungen*

In der Gesamtbewertung kommt die Nagra zu folgendem Schluss: [NTB 08-03, S. 175-181]

- Der Opalinuston ist sowohl für ein SMA- als auch ein HAA-Lager hinsichtlich aller Kriterien als günstig bis sehr günstig zu bewerten.
- Der "Braune Dogger", die Effinger Schichten und die Mergelformationen des Helvetikums sind für ein SMA-Lager insgesamt als günstig bis sehr günstig zu bewerten. Alle diese Gesteine sind aber jeweils hinsichtlich mindestens eines der Kriterien nur ungünstig bis bedingt günstig.

2.5.2 **Beurteilung durch das ENSI**

2.5.2.1 *Beurteilung des Vorgehens und der Grundlagen*

Das ENSI erachtet das Vorgehen der Nagra in drei Teilschritten als zweckmässig und sicherheitsgerichtet. Es beurteilt die zusätzliche Berücksichtigung der beiden Kriterien "Nutzungskonflikte" und "Prognostizierbarkeit der Langzeitveränderungen" durch die Nagra als sinnvoll. Die Verwendung verschärfter Anforderungen ist zwar im Sachplan nicht gefordert, aber sicherheitsgerichtet und daher zu begrüssen. [ENSI, S. 88]

Das ENSI hat die Sammelprofile, anhand derer die Nagra die Sedimentgesteine evaluiert hat, durch Swisstopo überprüfen lassen. Swisstopo ist zum Schluss gekommen, dass die Sammelprofile und die darin dargestellten Gesteine vollständig sind und die daraus abgeleitete Auswahl potenzieller Wirtgesteine korrekt ist. Swisstopo hat auch geprüft, ob es ausser den von der Nagra untersuchten weitere Gesteinsformationen von ausreichender Mächtigkeit und lateraler Ausdehnung in geeigneter Tiefenlage gibt. Dabei haben sich keine Gesteinseinheiten ergeben, deren Eignung aufgrund des Tongehalts anders eingeschätzt worden ist oder die zusätzlich zu den betrachteten zu berücksichtigen wären. [ENSI, S. 88-90]

Das ENSI geht auch auf die Bedeutung der "quellfähigen Tonmineralien" für die Barrierenwirkung ein: Es weist u. a. auf den Verlust an solchen Mineralien infolge diagenetischer und metamorpher Überprägung und auf die Unschärfen bei der Erfassung des Tongehalts (Subjektivität des Feldbefunds des kartierenden Geologen) hin. Diese Feststellung hat vor allem für tonige Gesteinsvorkommen in den Alpen Bedeutung. [ENSI, S. 88 und 91]

Im Zusammenhang mit den Effinger Schichten macht das ENSI darauf aufmerksam, dass in grösserer Tiefe das Verkarstungspotenzial in diesen Gesteinen nicht nur vom Karbonatgehalt des Wirtgesteins, sondern auch von der lokalen hydrogeologischen und tektonischen Situation und vom Verkarstungspotenzial darüber liegender Gesteine abhängt. In den weiteren Schritten der Lagerrealisierung ist deshalb stufengerecht und standortspezifisch zu berücksichtigen, inwieweit eine initiale Klüftung im Wirtgestein vorhanden ist und sich über den Betrachtungszeitraum hinweg Wasserwegsamkeiten bilden könnten. [ENSI, S. 90]

Des Weiteren weist das ENSI darauf hin, dass der Indikator "Homogenität des Gesteinsaufbaus" (Kriterium 1.4) nur auf Wirtgesteine für das HAA-Lager angewendet wurde, weil die Nagra beim SMA-Lager davon ausgeht, dass durch die flexible Anordnung der Lagerkavernen beschränkten Heterogenitäten ausgewichen werden kann. Nach Ansicht des ENSI ist die Begründung zu diesem Vorgehen nachvollziehbar, da damit nicht all zu früh Wirtgesteine ausgeschieden werden, die für das SMA-Lager potenziell geeignet sind. [ENSI, S. 91]

2.5.2.2 *Beurteilung der Identifikation der SMA-Wirtgesteine*

Das ENSI hat die von der Nagra durchgeführte Evaluation der Wirtgesteine für ein SMA-Lager im Detail überprüft. Die Resultate sind in einer Tabelle zusammengestellt und werden mit jenen der Nagra verglichen [ENSI, S. 94]. Das ENSI beurteilt bei einigen potenziell möglichen Wirtgesteinen die Einhaltung der Mindestanforderungen und die Einhaltung der verschärften Anforderungen bei einzelnen Indikatoren kritischer als die Nagra. Dies betrifft mit Ausnahme der Kristallingesteine (Nordschweiz und Alpen) ausschliesslich Gesteine, welche auch gemäss Nagra mindestens eine Mindestanforderung nicht erfüllen.

Die tonreichen Gesteine der Unteren und der Oberen Süsswassermolasse, die Kristallingesteine [ENSI, S. 96] und der Flysch [ENSI, S. 96-97] werden nach Ansicht des ENSI aufgrund der zu ausgeprägten Heterogenitäten (Störungen, Sandsteinvorkommen) und den dadurch bedingten erhöhten hydraulischen Durchlässigkeiten zu recht nicht weiter betrachtet.

Das ENSI bewertet die bevorzugten Wirtgesteine – Opalinuston, "Brauner Dogger", Effinger-Schichten und helvetische Mergel – anhand aller relevanten Kriterien des Sachplans und vergleicht die Resultate mit jenen der Nagra. [ENSI, S. 98 Tab. 5.2-2] Dieser Vergleich zeigt u. a.:

- Das ENSI bewertet alle bevorzugten Wirtgesteine hinsichtlich lagerbedingter Einflüsse eine Stufe ungünstiger als die Nagra. Gründe dafür sind u. a. die zu erwartende relevante Auflockerungszone und die Umwandlung der Tonminerale bei hohem pH-Wert des Zementnahfelds. Es kommt aber zum Schluss, dass alle lagerbedingten Einflüsse ausreichend bekannt sind und die Langzeitsicherheit dank genügend Flexibilität bei der Lagerauslegung gewährleistet werden kann. [ENSI, S. 98-99].
- Auch rechnet das ENSI bei allen bevorzugten Wirtgesteinen generell nur mit bedingt günstigen bautechnischen Eigenschaften. Es schliesst aber nicht aus, dass sich diese Bewertung für den "Braunen Dogger" und die Effinger Schichten aufgrund der Erhebung bautechnischer Kennwerte ändern kann. [ENSI, S. 99]
- Beim "Braunen Dogger" und bei den Effinger-Schichten weist das ENSI darauf hin, dass deren laterale Variabilität aufgrund ihres marinen Charakters zwar beschränkt ist im Vergleich zu den Gesteinen der Süsswassermolasse. Trotzdem haben auch Daten aus Bohrungen nur beschränkte laterale Aussagekraft. Das ENSI erachtet daher diese beiden Gesteine nur als bedingt günstig. [ENSI, S. 99]
- Bei den helvetischen Mergeln weist das ENSI auf die tektonisch komplexe Verfaltung dieser tonreichen Gesteine und das mögliche Vorkommen grösserer Fremdgesteinschollen hin. Es stuft deshalb diese Gesteine hinsichtlich Charakterisierbarkeit eine Stufe schlechter ein als die Nagra. Wegen ihrer alpinen Lage bewertet es zudem die Prognostizierbarkeit der Langzeitveränderungen nur als bedingt günstig. [ENSI, S. 99]

Das ENSI stellt fest, dass seine insgesamt strengere Bewertung keinen Einfluss hat auf die getroffene Wirtgesteinsauswahl. [ENSI, S. 99]

Gemäss ENSI hat die Nagra für das westliche Molassebecken gezeigt, dass kein Opalinuston in bautechnisch geeigneter Tiefe und notwendiger lateraler Ausdehnung vorliegt. [ENSI, S. 100].

Abschliessend werden die vier bevorzugten Wirtgesteine vom ENSI detailliert betrachtet und beurteilt. Im Ergebnis stimmt es der von der Nagra getroffenen Auswahl bevorzugter Wirtgesteine für das SMA-Lager zu. [ENSI, S. 100-105]

2.5.2.3 *Beurteilung der Identifikation der HAA-Wirtgesteine*

Bei der Überprüfung der Evaluation der Wirtgesteine für ein HAA-Lager beurteilt das ENSI zuerst das Ausscheiden der weniger geeigneten Wirtgesteine. Bei den Evaporiten weist es auf die zu geringe Mächtigkeit bzw. die Mächtigkeitsschwankungen, potenzielle Nutzungskonflikte und Lösung/Verkarstung hin. [ENSI, S. 110]

Danach werden die sechs für das HAA-Lager potenziell möglichen Wirtgesteine bewertet, welche innerhalb der für das HAA-Lager bezeichneten Grossräume liegen: Die Marnes Bariolées (Untere Süsswassermolasse), die Obere Süsswassermolasse und das Kristallin in der Nordschweiz werden – wie beim SMA-Lager – aufgrund der Heterogenitäten und der hydraulischen Durchlässigkeiten nach Auffassung des ENSI zu Recht nicht mehr weiter betrachtet [ENSI, S. 112 Tab. 5.3-2 und S. 114-115]. Weniger Vorbehalte werden gegenüber dem "Braunem Dogger" und den Effinger Schichten geäussert [ENSI, S. 113-114], die aber wegen kleinräumiger Faziesänderungen und vertikaler Heterogenitäten gemäss ENSI die verschärften Anforderungen ebenfalls nicht erfüllen.

Die Wahl des Opalinuston als einziges bevorzugtes Wirtgestein für das HAA-Lager ist aus Sicht des ENSI nachvollziehbar und sicherheitsgerichtet [ENSI, S. 118]. Die Bewertung des Opalinustons anhand aller relevanten Kriterien des Sachplans wird durch das ENSI nicht dargelegt.

2.5.3 **Stellungnahme der KNS**

2.5.3.1 *Vorgehen und Grundlagen*

Die KNS stimmt der Beurteilung des ENSI betreffend das schrittweise Vorgehen der Nagra bei der Evaluation der Wirtgesteine und die zusätzliche Berücksichtigung der Kriterien "Nutzungskonflikte" und "Prognostizierbarkeit der Langzeitveränderungen" zu.

Die Anwendung verschärfter Anforderungen engt die Auswahl von Wirtgesteinen zusätzlich ein. Falls von allen potenziell möglichen Wirtgesteinen die für diesen weiteren Einengungsschritt notwendigen Kenntnisse genügend verlässlich vorliegen, ist dies sicherheitsgerichtet: Die ausgewählten Optionen sind dann die am besten geeigneten und die Gefahr gering, dass im weiteren Verfahren Optionen wegen Ungenügens ausscheiden.

Der Wissensstand zu den verschiedenen potenziell möglichen Wirtgesteinen ist nach Ansicht der KNS recht unterschiedlich, da nicht alle gleich gründlich untersucht sind. Dies liegt u. a. daran, dass sich die Nagra zum Teil auf Untersuchungen stützt, die nicht im Hinblick auf die Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle durchgeführt wurden. Ein Beispiel dafür sind die Marnes Bariolées: Bei diesen stehen beispielsweise keine Altersangaben zu den Tiefenwässern zur Verfügung. Umfangreiche und gut belegte Daten liegen primär für jene Wirtgesteine vor, welche die Nagra spezifisch im Hinblick auf Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle untersucht hat. Dies sind u. a. die Kristallingesteine (Projekt Gewähr, Felslabor Grimsel), die Mergel des Wellenbergs (Projekt Wellenberg) und der Opalinuston (Entsorgungsnachweis Projekt Opalinuston, Felslabor Mont Terri). Eine vergleichende Darlegung der Kenntnisstände zu den potenziell möglichen Wirtgesteinen hätte hier Transparenz schaffen können. Die KNS beurteilt den Kenntnisstand zu einzelnen Wirtgesteinen als knapp: Dies betrifft sowohl bevorzugte Wirtgesteine (vgl. nachfolgende Ausführungen) als auch solche, die im Verlauf des Evaluationsverfahrens zurückgestellt worden sind.

Im Verlauf des Verfahrens zur Bestimmung der bevorzugten Wirtgesteine ist der Indikator "Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit" zur Anwendung gekommen. Die Anforderungen zu diesem Indikator sind anhand der bautechnischen Machbarkeit der von der Nagra zu Grunde gelegten Lagerkonzepte ermittelt worden. Swisstopo hat bei der Vollständigkeitsüberprüfung der untersuchten Gesteinseinheiten die von der Nagra vorgeschlagene maximale Tiefenlage als Kriterium übernommen. Damit haben sich nach Auffassung der KNS Einschränkungen ergeben, welche weder notwendig noch zweckmässig sind. Die KNS hat bereits darauf hingewiesen, dass die bautechnische Machbarkeit wesentlich vom Lagerkonzept abhängt und bei entsprechend angepassten Lagerkonzepten auch Lager in grösseren Tiefenlagen realisierbar sind. Nach Ansicht der KNS ist es wichtig, die Option "Grössere Tiefenlage" für das HAA-Lager offen zu halten. (vgl. auch 2.3.3)

Die KNS stimmt der Beurteilung des ENSI zu, dass bei tonigen Gesteinen nicht der Tongehalt an sich, sondern der Anteil an quellfähigen Tonmineralien eine entscheidende Beurteilungsgrösse für die Barrierenwirkung ist. Sie stützt auch die Forderung des ENSI, dass in den weiteren Schritten der Lagerrealisierung das Verkarstungspotenzial insbesondere bei den Effinger Schichten stufengerecht und standortspezifisch zu berücksichtigen ist.

2.5.3.2 *Opalinuston*

Vorbehaltlos stimmt die KNS der Beurteilung des ENSI zu, dass der Opalinuston das einzige der betrachteten Wirtgesteine ist, das alle verschärften Anforderungen für das HAA-Lager erfüllt [ENSI, S. 116]. Nach Ansicht der KNS ist dieses Gestein für die Tiefenlagerung von radioaktiven Abfällen allen anderen Gesteinsformationen in der Schweiz überlegen. Die relativ uniformen Ablagerungsbedingungen im marinen Sedimentationsbecken vor ca. 180 Millionen Jahren spiegeln sich in der grossen Homogenität dieses Gesteins wider. Damit sind auch wesentliche Voraussetzungen für die Prognostizierbarkeit über längere Zeiträume gegeben. Der Opalinuston eignet sich sowohl für das HAA- als auch für das SMA-Lager.

Das ENSI beurteilt die lagerbedingten Einflüsse (insbesondere Gasentwicklung, pH-Fahne) kritischer als die Nagra, was für die KNS nachvollziehbar ist. Wegen der grossen Dichtigkeit des Opalinustons stellen diese bei diesem Gestein eine besondere Herausforderung dar. Die KNS ist deshalb der Ansicht, dass die Abfallgebände, die Lagereinbauten und die Verfüllmaterialien dem chemischen Milieu im Tiefenlager angepasst werden müssen. Die Langzeitsicherheit von Tiefenlagern im Opalinuston ist nur gewährleistet, wenn diese lagerbedingten Einflüsse, insbesondere die Gasbildung, eliminiert oder zumindest auf ein unbedenkliches Mass reduziert werden können. In vermindertem Ausmass gilt diese Feststellung auch für alle anderen zur Auswahl und zur Diskussion stehenden Gesteine.

2.5.3.3 *Übrige bevorzugte Wirtgesteine*

Alle weiteren für ein SMA-Lager bevorzugten Wirtgesteine sind weniger geeignet als der Opalinuston [ENSI, S. 98 Tab. 5.2-2]. Die KNS hat verschiedene interessante Wirtgesteine anhand von Kriterien des Sachplanverfahrens qualitativ bewertet und die Resultate in einer Tabelle einander gegenübergestellt (Siehe Anhang: Bewertung potenzieller Wirtgesteine anhand sicherheitsrelevanter Kriterien gemäss Sachplan).

Die KNS pflichtet dem ENSI bei, dass beim "Braunen Dogger" [ENSI, S. 101-102] die faziellen Verzahnungen die Prognostizierbarkeit hinsichtlich Ausdehnung und Homogenität erschweren und die Wissensbasis schmal ist. Im Gegensatz zu den Effinger Schichten weist der "Braune Dogger" aber nördlich des Faltenjuras keine verheilten oder offenen Klüfte auf.

Die Effinger Schichten [ENSI, S. 90 und 103-104] bestehen aus einer Abfolge von verschiedenenmächtigen Kalkbänken mit dazwischen gelagerten Mergelhorizonten, die für sich genommen für ein SMA-Lager zu wenig mächtig sind. Das ENSI weist darauf hin, dass die Kalke

wasserführend sein können, und misst bestehenden initialen Klüftungen und künftig sich evtl. bildenden Wasserwegsamkeiten zu Recht grosse Bedeutung bei: Auch nach Ansicht der KNS bestehen hinsichtlich Verkarstung dieses Gesteins noch wesentliche Ungewissheiten. Folgende Befunde sind in diesem Zusammenhang von Bedeutung:

- Bei Bohrungen für Erdwärmesonden im Raum südlich von Aarau wurde Wasserführung festgestellt.
- Im Raum südlich von Aarau wurden bei Bohrungen zudem in der Unteren Süsswassermolasse Kohlenwasserstoffe (Gas- und Erdölsuren) nachgewiesen, deren Herkunft nicht geklärt ist.
- In der Bohrung Oftringen zeigten sich Klüfte, die mehrheitlich verheilt, zum Teil aber auch offen sind.
- Weiter im Osten sind Wasserzuflüsse aus den Effinger Schichten in der "Jodquelle" Wildegg nachgewiesen. Diese Zuflüsse dürften ebenfalls mit Störungen und dazugehörenden grösseren Klüften in Zusammenhang stehen. Die Zusammensetzung des Wassers aus der Bohrung "Wildegg" ist vergleichbar mit jener des Wassers aus der Bohrung Küttigen 2 der Nagra. Auch wenn die Zuflussraten in der erbohrten "Jodquelle" Wildegg gering sind, ist der Zufluss doch ein Beweis für einen aktiven Fliess- und Transportweg innerhalb der Effinger Schichten.

Weitere Abklärungen, insbesondere auch standortspezifische, sind erforderlich. Nach Auffassung der KNS wird sich zeigen müssen, ob in den Effinger Schichten überhaupt ein Standort gefunden werden kann.

Bei den bevorzugten Wirtgesteinen bilden die Mergel-Formationen des Helvetikums einen Spezialfall. Sie sind die einzigen bevorzugten Wirtgesteine, die in Form von Gesteinsakkumulationen auftreten. Sie sind auch die einzigen bevorzugten Wirtgesteine, die in einem Grossraum liegen, der nur mit ungünstig bis bedingt günstig bewertet ist. Die KNS teilt die Auffassung des ENSI, dass bei diesen Gesteinsakkumulationen die Identifikation von geeigneten Gesteinskörpern anspruchsvoll und nur mit grossem Aufwand möglich ist und sich deren Erkundung später auch auf Sondierstollen abstützen muss.

2.5.3.4 Ausgeschiedene Gesteinsarten

Wichtige Gründe für den Ausschluss der Evaporite sind gemäss Nagra das Verkarstungsrisiko, die zu geringe räumliche Ausdehnung in bautechnisch geeigneter Tiefenlage und das mögliche Nutzungspotenzial der darin enthaltenen Salzlagen. Diese Gründe und die Heterogenitätsfrage sind nach Ansicht der KNS nicht zwingend für eine Zurückstellung: Heterogenitäten weisen ausser dem Opalinuston auch alle anderen für das SMA-Lager bevorzugten Wirtgesteine auf. Zudem ist das Nutzungspotenzial der Evaporite gering, da sie nur einzelne Salzlagen enthalten.

Die KNS teilt bei Flysch und Unterer Süsswassermolasse die Bedenken des ENSI betreffend vorhandener Schüttungsrinnen bzw. Sandsteinrinnen [ENSI, S. 96 und 114), weist aber auch hier darauf hin, dass Heterogenitäten auch bei Wirtgesteinen vorhanden sind, die für das SMA-Lager als bevorzugt eingestuft sind.

Die Zurückstellung der Kristallingesteine ist für die KNS in Übereinstimmung mit dem ENSI nachvollziehbar und sachlich vertretbar. In den günstigen Gebieten der Nordschweiz ist das Gestein wegen der mächtigen Sedimentüberdeckung praktisch nicht explorierbar. Zudem ist es wegen des engständigen Störungsnetzes zergliedert und wasserführend.

2.5.3.5 Zusammenfassende Beurteilung

Die KNS stimmt der Beurteilung des ENSI zu, dass das von der Nagra in Teilschritten durchgeführte Auswahlverfahren transparent und nachvollziehbar ist. Auch wenn sie das Ausscheiden nicht bei allen Gesteinen als unbedingt zwingend erachtet, kann sie der getroffenen Auswahl bevorzugter Wirtgesteine zustimmen. Der Opalinuston ist für beide Lagertypen das am besten geeignete Wirtgestein. Für das SMA-Lager können auch nach Ansicht der KNS grundsätzlich verschiedene weitere Wirtgesteine in Frage kommen. Gegenüber dem Opalinuston weisen aber alle Nachteile auf. Bei allen Gesteinen muss den lagerbedingten Einflüssen grosse Bedeutung beigemessen werden, insbesondere durch Anpassung der Abfallgebinde und der Lagerauslegung.

Sich aus der KNS-Beurteilung ergebende Hinweise und Empfehlungen zum weiteren Vorgehen finden sich in 3.2.

2.6 Identifikation geeigneter Konfigurationen und Festlegung von Vorschlägen für geologische Standortgebiete

Gemäss SGT sind in Schritt 5 von Etappe 1 geeignete Wirtgesteinskonfigurationen zu identifizieren und daraus Vorschläge für Standortgebiete abzuleiten. Die dabei anzuwendenden Kriterien und Indikatoren betreffen: [SGT, S. 58-59]

- die Mächtigkeit und laterale Ausdehnung,
- die hydrogeologischen Verhältnisse und Wasserführung,
- die präferenziellen Transportpfade,
- die Gefährdung durch Erosion,
- die potenziellen Nutzungskonflikte,
- die im Hinblick auf den Bau eines Tiefenlagers relevanten Eigenschaften,
- die geotechnischen und hydrogeologischen Bedingungen oberhalb des Wirtgesteins,
- die Langzeitstabilität bzw. Prognostizierbarkeit der Langzeitveränderungen sowie
- die Charakterisierbarkeit des Wirtgesteins und die Explorierbarkeit der räumlichen Verhältnisse.

2.6.1 Vorgehen und Ergebnisse der Nagra

2.6.1.1 Vorgehen bei der Festlegung von geologischen Standortgebieten

Die Nagra geht bei ihrer Evaluation von den bevorzugten Wirtgesteinen aus. Sie unterscheidet zwischen flächenhaft verbreiteten Wirtgesteinen und tektonisch bedingten Wirtgesteinsakkumulationen wie die Mergel-Formationen des Helvetikums. [NTB 08-03, S. 49]

Die Nagra wendet zur Festlegung von Vorschlägen für geologische Standortgebiete mit flächenhaft verbreiteten Wirtgesteinen ein mehrstufiges Verfahren an: In einem ersten Teil ermittelt sie vorerst potenziell mögliche und dann bevorzugte Bereiche, in welchen die bevorzugten Wirtgesteine vorkommen¹⁴. In einem zweiten Teil werden die bevorzugten Bereiche priorisiert und zur Abgrenzung von Standortgebieten verwendet. [NTB 08-03, S. 183]

¹⁴ Die Nagra bestimmt "bevorzugte Wirtgesteine"; dieser Schritt ist dieser Stellungnahme im Unterkapitel 2.5 beschrieben. Für diese Wirtgesteine bestimmt sie dann "bevorzugte Bereiche"; dieser Schritt ist im aktuellen Unterkapitel 2.6 beschrieben.

Grundlage ist ein Geographisches Informationssystem (GIS). Die Nagra hat darin die Geometrie der interessierenden Wirtgesteinsschichten und der bereichsbegrenzenden geologischen Elemente, die beim Einengungsprozess verwendet werden, erfasst und auf Richtigkeit überprüft. Grundlagen dafür waren gemessene Seismiklinien und Daten aus Bohrungen.

Die potenziell möglichen Bereiche werden in fünf Teilschritten bestimmt.

Im 1. Teilschritt bestimmt die Nagra jene Gebiete, in welchen die bevorzugten Wirtgesteine folgende Mindestanforderungen erfüllen:

- Mächtigkeit (gegebenenfalls zusammen mit gering durchlässigen Rahmengesteinen) mindestens 100 m,
- Tiefenlage unter Terrain mindestens 200 m für das SMA-Lager und 400 m für das HAA-Lager,
- Tiefenlage der potenziellen Lagerebene unter Terrain höchstens 800 m für das SMA-Lager und höchstens 900 m für das HAA-Lager.

Die Resultate sind in Verbreitungskarten festgehalten [NTB 08-03, S. 201, 207, 213 und 224].

Im 2. Teilschritt schliesst die Nagra jene Teilgebiete aus, welche im Einflussbereich regionaler Störungszonen (Abstand zu regionalen Störungszonen 200 m oder, falls aufgrund der geologischen Verhältnisse angezeigt, mehr als 200 m) liegen. [NTB 08-03, S. 185 Fig. 5.1-1]

Im 3. Teilschritt scheidet sie Gebiete unterhalb von übertieften Felsrinnen [NTB 08-03, S. 186 Fig. 5.1-2] aus, wenn der für den Einschluss erforderliche Gebirgsbereich nicht von mindestens 200 m (SMA-Lager) bzw. 400 m (HAA-Lager) zusätzlichem Fels überdeckt ist. Fallengelassen werden auch Bereiche, welche die Anforderungen hinsichtlich "Lateraler Ausdehnung" nicht erfüllen (3 km² bei einer nutzbaren Breite von 1 km für SMA-Lager und 6 km² bei einer nutzbaren Breite von 1,5 km für HAA-Lager).

Im 4. Teilschritt werden die verbleibenden Bereiche dann auf die Erfüllung der Mindestanforderungen für sechs weitere Indikatoren hin überprüft [NTB 08-03, S. 186-189].

In einem 5. Teilschritt resultieren schliesslich nach einer weiteren Anwendung des Indikators "Laterale Ausdehnung" die potenziell möglichen Bereiche bevorzugter Wirtgesteine [NTB 08-03, S. 203, 209, 215 und 226].

Die potenziell möglichen Bereiche bevorzugter Wirtgesteine werden in der Folge anhand von gebiets- oder wirtgesteinsspezifisch verschärften Anforderungen hinsichtlich der Merkmale "Mächtigkeit", "Tiefenlage unter Terrain", "Tiefenlage unter Oberfläche Fels" und "Platzangebot untertags" weiter eingeengt. Die wirtgesteinsspezifisch verschärften Anforderungen betreffen primär den "Braunen Dogger", die Effinger Schichten und die Mergel-Formationen des Helvetikums, weil diese Inhomogenitäten mit erhöhter hydraulischer Durchlässigkeit aufweisen. Ausserdem werden Zonen mit Anzeichen für erhöhte kleinräumige Zergliederung und neotektonische Aktivität gemieden. Am Schluss wird im Detail und unter Berücksichtigung vorhandener Ungewissheiten überprüft, ob das Platzangebot untertags den verschärften Anforderungen genügt. [NTB 08-03, S. 191-193] Im Ergebnis resultieren die von der Nagra als bevorzugt bezeichneten Bereiche, zwölf für das SMA-Lager und vier für das HAA-Lager [NTB 08-03, S. 206, 212, 218 und 229].

Die bevorzugten Bereiche für das SMA-Lager und das HAA-Lager werden anschliessend charakterisiert und bewertet. Die Nagra bewertet jeden bevorzugten Bereich stufenweise: zuerst hinsichtlich jedes Indikators, dann jedes Kriteriums und schliesslich jeder Kriterien-gruppe gemäss SGT [SGT, S. 40]. Die Bewertung hinsichtlich eines Indikators wird mit

einem Zahlenwert zwischen 1 und 4 quantifiziert. Die Bewertung eines Kriteriums ist der Mittelwert der Bewertungen hinsichtlich der Indikatoren, welche zum Kriterium gehören. Die Bewertung hinsichtlich einer Kriteriengruppe ist der Mittelwert der Bewertungen der Kriterien, welche zur Kriteriengruppe gehören. [NTB 08-03, S. 230-296 Bereiche für SMA-Lager, S. 297-322 Bereiche für HAA-Lager]

Die Gesamtbewertung eines bevorzugten Bereichs wird schliesslich nicht mehr rein arithmetisch abgeleitet, sondern erfolgt unter Einbezug auch qualitativer Erwägungen. Aufgrund der Gesamtbewertung werden für jedes Wirtgestein separat prioritäre Bereiche für die Festlegung von Standortgebieten ausgewählt, sieben für das SMA-Lager und drei für das HAA-Lager. [NTB 08-03, S. 326 und 329]

Bei der Festlegung der Standortgebiete wird von den prioritären Bereichen ausgegangen. Zusätzlich werden mit diesen überlappende oder in der Nähe liegende Bereiche einbezogen, wenn diese voraussichtlich für ein Lager geeignet sind. Bestehen Ungewissheiten hinsichtlich der Abgrenzung der Bereiche werden die Grenzen so gezogen, dass die Standortgebiete auch jene Teilbereiche umfassen, die mit Ungewissheiten behaftet sind. Damit verhindert die Nagra, dass Gebietsteile ausgeschlossen werden, die sich bei späteren Untersuchungen als geeignet erweisen könnten. [NTB 08-03, S. 331]

Bei den Mergel-Formationen des Helvetikums geht die Nagra sinngemäss gleich vor. Jedoch entfallen bei diesen Gesteinsakkumulationen die Schritte zur Abgrenzung von Bereichen, weil es sich bei diesen Gesteinen um lokale Vorkommen handelt. Die Nagra beurteilt jedes bekannte grössere Vorkommen von Mergel-Formationen individuell.

2.6.1.2 *Ergebnisse für das SMA-Lager*

Für das SMA-Lager identifiziert die Nagra insgesamt zwölf bevorzugte Bereiche, sechs im Opalinuston, drei im "Braunen Dogger", zwei in den Effinger Schichten und einen in den Mergel-Formationen des Helvetikums. Aufgrund der Gesamtbewertung ordnet sie sieben Bereichen das Prädikat "prioritär" zu. [NTB 08-03, S. 327] Ausgehend von den prioritären Bereichen legt sie schliesslich folgende sechs Standortgebiete fest: [NTB 08-03, S. 332]

- Südranden (SH)¹⁵ und Bözberg (AG) mit dem Wirtgestein Opalinuston inklusive seiner Rahmengesteine;
- Zürcher Weinland (ZH, TG) und Nördlich Lägeren (ZH, AG) mit den Wirtgesteinen Opalinuston und "Brauner Dogger" inklusive ihrer Rahmengesteine;
- Jura-Südfuss (SO, AG) mit den Wirtgesteinen Opalinuston inklusive seiner Rahmengesteine und Effinger Schichten;
- Wellenberg (NW, OW) mit dem Wirtgestein Mergel-Formationen des Helvetikums.

Die Nagra erwägt, das SMA-Lager in den Standortgebieten Zürcher Weinland, Nördlich Lägeren und Jura-Südfuss auf zwei Wirtgesteine aufzuteilen. [NTB 08-03, S. 336, 338, 342]

2.6.1.3 *Ergebnisse für das HAA-Lager*

Für das HAA-Lager identifiziert die Nagra insgesamt vier bevorzugte Bereiche, alle mit Opalinuston als Wirtgestein. Aufgrund der Gesamtbewertung ordnet sie drei Bereichen das Prädikat "prioritär" zu. [NTB 08-03, S. 329] Ausgehend von den prioritären Bereichen legt sie schliesslich folgende drei Standortgebiete fest: [NTB 08-03, S. 331-332]

¹⁵ In den Unterlagen der Nagra als "Südliches Schaffhausen" bezeichnet.

- Zürcher Weinland (ZH, TG),
- Nördlich Lägeren (ZH, AG) und
- Bözberg (AG).

Bei Gebieten mit Opalinuston, die sich für beide Lagertypen eignen, sind die Standortgebiete für das SMA-Lager und für das HAA-Lager jeweils nicht deckungsgleich.

2.6.2 Beurteilung durch das ENSI

2.6.2.1 Beurteilung des Vorgehens und der Grundlagen

Das ENSI folgt bei seiner Überprüfung den Vorgaben des Sachplans [SGT, S. 58]. Es hält das Vorgehen der Nagra beim Einengungsprozess für zweckmässig und zielführend. Den Einengungsschritt mit einem GIS hat es durch einen externen Experten überprüfen lassen. Dieser hat die GIS-Datensätze und das Verfahren bewertet. Das ENSI weist darauf hin, dass dabei über 40 Datensätze verwendet worden sind: zur Geländeoberfläche, zur Felsoberfläche mit allen glazial übertieften Rinnen, zur Tiefenlage und Mächtigkeit der bevorzugten Wirtgesteine, zu den Gesteinswechseln, zu tektonischen Störungen und neotektonisch aktiven Zonen, zu diffus gestörten Bereichen, zu Seismiklinien und zu Bohrungen. Aufgrund dieser Überprüfungen kommt das ENSI zum Schluss, dass die Struktur des für die Nordschweiz verwendeten GIS-Modells zweckmässig ist und alle relevanten Daten aus erdwissenschaftlichen Untersuchungen berücksichtigt worden sind. Die Höhen- und Mächtigkeitsmodelle sind mit den Grundlagendaten im Einklang. [ENSI, S. 122-123]

Das ENSI bewertet die Prioritätensetzung bei den bevorzugten Bereichen: Aus Sicht der Sicherheit und im Hinblick auf die späteren Etappen ist zweckmässig und zielführend, nur geologische Standortgebiete vorzuschlagen, die geeignet oder sehr geeignet sind. Die Nagra hat für jedes bevorzugte Wirtgestein separat prioritäre Wirtgesteinsbereiche festgelegt. Damit wird bei diesem Schritt kein bevorzugtes Wirtgestein eliminiert. Die Möglichkeit, bei Standortgebieten für das SMA-Lager zwei verschiedene Wirtgesteine zur Verfügung zu haben, ist aus sicherheitstechnischer Sicht von Vorteil. [ENSI, S. 123-124]

2.6.2.2 Beurteilung der Standortgebiete für das SMA-Lager

Das ENSI kommt aufgrund der Überprüfung der Standortgebiete weitgehend zu den gleichen Beurteilungen wie die Nagra, insbesondere bestätigt es die Grenzziehung für alle Gebiete. Die Abweichungen sind gering und beziehen sich im Wesentlichen auf lokale Eigenheiten. Bei allen Standortgebieten schlechter bewertet es die lagerbedingten Einflüsse, u. a. wegen der Gasprobleme [ENSI, S. 169]. Das ENSI erörtert auch mögliche Nutzungskonflikte.

Das Standortgebiet Südranden mit Opalinuston als Wirtgestein bewertet das ENSI praktisch gleich wie die Nagra. Eine Ausnahme betrifft das Kriterium "Lagerbedingte Einflüsse": Hinsichtlich dieses Kriteriums bewertet es den Standort im Gegensatz zur Nagra nur als bedingt günstig. Bezüglich aller andern Kriterien erhält er die Bewertung günstig bis sehr günstig; damit bewertet das ENSI dieses Standortgebiet hinsichtlich des Kriteriums "Erosion" günstiger als die Nagra. Zusammenfassend bewertet das ENSI das Standortgebiet Südranden in Übereinstimmung mit der Nagra als sehr geeignet für das SMA-Lager. [ENSI, S. 127-128]

Beim Standortgebiet Zürcher Weinland mit den Wirtgesteinen Opalinuston und "Brauner Dogger" macht das ENSI auf die Wechsel von mehr tonigen und mehr kalkigen Schichten im "Braunen Dogger" aufmerksam. Es ist aber der Auffassung, dass diese Fazieswechsel keinen schwer wiegenden Nachteil darstellen, da ausreichend Platz für eine optimale Positionierung der Lagerkavernen besteht. Das ENSI weist auf verschiedene Schwierigkeiten hinsichtlich Bautechnik und lagerbedingter Einflüsse hin (Gas, Auflockerungszone) und

bewertet auch diesen Standort bezüglich des Kriteriums "Lagerbedingte Einflüsse" im Gegensatz zur Nagra nur als bedingt günstig. Zusammenfassend bewertet das ENSI das Standortgebiet Zürcher Weinland in Übereinstimmung mit der Nagra als sehr geeignet für das SMA-Lager. [ENSI, S. 129-132]

Beim Standortgebiet Nördlich Lägeren weist das ENSI einerseits auf die in Teilgebieten grosse Tiefenlage der Wirtgesteine und andererseits auf mögliche Störungszonen hin. Für das ENSI ist offen, ob im westlichen Teil des Gebiets bei einer Aufteilung des Lagers ein Teil der SMA im Opalinuston eingelagert werden kann: Die Tiefenlage des Opalinustons ist dort an der Grenze der bautechnischen Machbarkeit. Dank der Grösse des Standortgebiets, der zwei Wirtgesteinsoptionen und der Flexibilität bei der Anordnung der Lagerkavernen sieht das ENSI die Realisierung eines SMA-Lagers aber nicht in Frage gestellt. Wie die Nagra bewertet es das Standortgebiet hinsichtlich der Kriterien "Nutzungskonflikte" und "Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen" nur als bedingt günstig. Insgesamt bewertet das ENSI das Standortgebiet Nördlich Lägeren in Übereinstimmung mit der Nagra als geeignet für das SMA-Lager. [ENSI, S. 133-135]

Beim Standortgebiet Bözberg verweist das ENSI darauf, dass das Wirtgestein die bautechnisch maximale Tiefenlage nirgends erreicht. Im zentralen Teil sind im tieferen Untergrund zwar eine Aufschiebung und Schichtverstellungen zu erkennen und im Nordosten reicht eine Überschiebung bis an die Gebietsgrenze heran; es muss damit gerechnet werden, dass diese ins Standortgebiet hineinreicht. Allfällig damit verbundene Einschränkungen des Platzangebots sind gemäss ENSI aber angesichts der Grösse des gesamten Standortgebiets nicht relevant. Einen Schwerpunkt bilden für das ENSI die Nutzungskonflikte: Als Anlass sieht es ein Projekt zum Abbau der Effinger Schichten am Homberg. Falls dereinst ein vollständiger Abbau erfolgen sollte, wäre die minimale Überdeckung des Wirtgesteins nicht mehr gegeben. Es hält dieses Szenario für die nächsten 1000 Jahre zwar für unwahrscheinlich, misst jedoch der Einrichtung einer Schutzzone in diesem Gebiet eine besonders grosse Bedeutung bei. Das ENSI stuft aufgrund seiner Erwägungen das Standortgebiet hinsichtlich des Kriteriums "Nutzungskonflikte" nur als bedingt günstig ein; auch die Kriterien "Lagerbedingte Einflüsse" (bedingt günstig) und "Explorierbarkeit der räumlichen Verhältnisse" (günstig) bewertet es kritischer als die Nagra. Insgesamt kommt das ENSI aber in Übereinstimmung mit der Nagra zum Schluss, dass das Standortgebiet Bözberg sehr geeignet ist für das SMA-Lager. [ENSI, S. 136-138]

Beim Standortgebiet Jura-Südfuss weist das ENSI vorerst darauf hin, dass die Nagra in diesem Gebiet vier bevorzugte Bereiche ausgemacht hat, zwei mit Opalinuston und zwei mit Effinger Schichten. Es stellt fest, dass alle Bereiche primär durch tektonische Elemente begrenzt sind. Bei den Bereichen mit Effinger Schichten wirkt sich gegen Südosten zudem die maximale Tiefe wegen der bautechnischen Machbarkeit begrenzend aus. Die Nagra hat nur die beiden östlichen Bereiche, der eine mit Opalinuston und der andere mit Effinger Schichten, ins Standortgebiet einbezogen. Das Zentrum des einbezogenen Bereichs mit Effinger Schichten liegt gemäss ENSI möglicherweise in der Fortsetzung einer durch Faltung erzeugten Aufwölbung, weshalb es im Gegensatz zur Nagra diesen Bereich hinsichtlich des Indikators "Platzangebot untertags" nur als bedingt günstig einstuft [ENSI, S. 140]. Ebenfalls nur als bedingt günstig bewertet das ENSI das Standortgebiet hinsichtlich des Kriteriums "Lagerbedingte Einflüsse". Auch hinsichtlich des Kriteriums "Nutzungskonflikte" ist die Bewertung des ENSI kritischer als jene der Nagra: Sowohl für Geothermie als auch für Kohlenwasserstoffe sieht es ein gewisses Nutzungspotenzial. Aufgrund einer vergleichenden Bewertung der von der Nagra nicht einbezogenen westlichen Bereiche und der östlichen Bereiche kommt das ENSI zum Schluss, dass die Bereiche mit Opalinuston deutlich günstiger zu bewerten sind als jene mit Effinger Schichten. Wie die Nagra beurteilt es die westlichen Gebiete wirtgesteinsspezifisch nicht ungünstiger als die östlichen. Bei den östlichen Bereichen kann aber ein SMA-Lager auf zwei Wirtgesteine aufgeteilt werden. Das ENSI erklärt sich daher mit dem vorgeschlagenen Standortgebiet einverstanden. [ENSI, S. 140-144]

Beim Wellenberg stimmt das ENSI den vorgeschlagenen Standortgebietsgrenzen zu [ENSI, S. 146]. Gemäss heutigem Kenntnisstand ist der Wellenberg im Alpenraum eine in seiner Ausdehnung einzigartige Akkumulation von geringdurchlässigen Mergelgesteinen, die genügend Selbstabdichtungsvermögen aufweisen. Dank der vertikalen Mächtigkeit sind genügend Platzreserven vorhanden: Im Gegensatz zum seinerzeitigen Projekt Wellenberg ist nämlich die Nutzung in vertikaler Richtung wesentlich erweitert, da keine horizontale Erschliessung der Lagerkavernen mehr vorausgesetzt wird. Beim Indikator "Platzangebot untertags" muss aber gemäss ENSI berücksichtigt werden, dass wegen der bautechnischen Eigenschaften die maximale Grösse der Lagerkavernen eventuell beschränkt werden muss und die Nagra auch Gesteinsbereiche eingeschlossen hat, bei welchen mit entlastungsbedingter Dekompaktion zu rechnen ist. In Analogie zum Indikator "Abstand zu regionalen Störungszonen" hält das ENSI einen lateralen Abstand von jeweils 200 m zu den potenziell durchlässigen Kalksteinen der Axen- und Drusbergdecke für notwendig. Im Weiteren weist es darauf hin, dass der Indikator "Grundwasserstockwerke" nicht anwendbar ist, die Alpen generell höhere Erosionsraten aufweisen und das Standortgebiet von einer alpinen Vergletscherung verstärkt betroffen sein kann. [ENSI, S. 147] Die Exploration der räumlichen Verhältnisse kann vermutlich nur mit Sondierstollen erfolgen [ENSI, S. 169]. Längerfristige Probleme sieht das ENSI auch bei Hangrutschungen und tiefer greifenden Massenbewegungen [ENSI, S. 147]. Insgesamt bewertet das ENSI das Standortgebiet hinsichtlich von fünf Kriterien weniger günstig als die Nagra. In der Gesamtbewertung kommt es aber in Übereinstimmung mit der Nagra zum Schluss, dass das Standortgebiet geeignet ist.

Das ENSI geht auch auf die mögliche Aufteilung des SMA-Lagers auf zwei unterschiedliche und räumlich getrennte Wirtgesteine ein. Es weist darauf hin, dass dies im Gebiet Jura-Südfuss anspruchsvoll ist, weil ein 75 m mächtiger Grundwasserleiter die beiden Wirtgesteine trennt. Bei den Gebieten Nördlich Lägeren und Zürcher Weinland sieht es hingegen keine Probleme, weil die verschiedenen Wirtgesteine einen zusammenhängenden Gebirgsbereich bilden. [ENSI, S. 148]

Das ENSI äussert sich auch dazu, ob allenfalls weitere geologische Gebiete hätten in die Auswahl einbezogen werden müssen. Es kommt zum Schluss, dass alle andern potenziell geeigneten Gebiete primär wegen des eingeschränkten Platzangebots nicht weiter zu betrachten sind.

Da der Transport im und mit dem Grundwasser der wichtigste Freisetzungspfad für Radionuklide ist, analysiert das ENSI auch die hydrogeologischen Situation in den vorgeschlagenen Standortgebieten. Im Standortgebiet Jura-Südfuss sind die Effinger Schichten und der Opa-linuston nicht oder nur beschränkt von Rahmengesteinen umgeben, die das Grundwasser schlecht leiten; deshalb werden an die untertägige Wasserhaltung besondere Anforderungen gestellt. Das ENSI weist auch auf mögliche Wasserführungen in den Kalkbankabfolgen der Effinger Schichten und den sandigen Kalkgesteinen des Wedelsandsteins ("Brauner Dogger"), im Arietenkalk des unteren Lias und in den Sandsteinen des Keupers hin. [ENSI, S. 151] Zusammenfassend kommt es zum Schluss, dass die hydrogeologischen Verhältnisse im Südranden, im Zürcher Weinland und im Gebiet Nördlich Lägeren besonders vorteilhaft sind. Bei den Standortgebieten Bözberg und Jura-Südfuss sind die potenziell einschlusswirksamen Gebirgsbereiche wegen des Haupttrogensteins weniger mächtig. Als einzigartig bezeichnet das ENSI die Situation am Wellenberg, wo der einschlusswirksame Gebirgsbereich bis 1'000 m mächtig ist. [ENSI, S. 146 und 152]

2.6.2.3 Beurteilung der Standortgebiete für das HAA-Lager

Für das ENSI sind das Vorgehen der Nagra beim GIS-Schnittverfahren, die geologischen Grundlagendaten und die resultierende Abgrenzung von geologischen Standortgebieten sachplangemäss und nachvollziehbar. [ENSI, S. 153]

Bezüglich des Standortgebiets Zürcher Weinland weist das ENSI u. a. auf folgende Aspekte hin:

- Trotz der Orientierung am sehr schwachen Fernschub bestehen gewisse Unsicherheiten über die zu erwartenden Deformations- und Hebungsdaten. Die Erosionsraten sind aber genügend konservativ abgeschätzt, sodass auch nach 1 Million Jahre eine ausreichende Überdeckung gewährleistet ist. [ENSI, S. 154-155]
- Die Gefährdung eines HAA-Lager durch glaziale Rinnenbildung ist sehr unwahrscheinlich, aber nicht absolut auszuschliessen. [ENSI, S. 155-156]
- Aus Sicht der bautechnischen Machbarkeit liegt der Opalinuston im südlichen Teil des Standortgebiets in einer kritischen Tiefenlage, was einen verstärkten Ausbau der Untertagbauten mit Stützmitteln erfordert. [ENSI, S. 156]
- Mögliche Nutzungskonflikte sind als gering einzustufen. [ENSI, S. 156]

Zusammenfassend bewertet das ENSI trotz einzelner Einwände das Standortgebiet Zürcher Weinland in Übereinstimmung mit der Nagra als sehr geeignet. [ENSI, S. 156]

Beim Standortgebiet Nördlich Lägeren weist das ENSI u. a. auf folgende Aspekte hin:

- Bei der Festlegung der Tiefenlage des Wirtgesteins unter Terrain ist die Nagra beim bevorzugten westlichen Bereich von einem mittleren Niveau der Geländetopographie ausgegangen. Dies hat zu einer Erweiterung des Bereichs geführt, in dem ein Lager aus bautechnischer Sicht machbar ist. Nur dank dieser Erweiterung können die verschärften Anforderungen an den Indikator "Platzangebot untertags" auch unter Berücksichtigung von Ungewissheiten erfüllt werden. Das ENSI beurteilt deshalb das Standortgebiet hinsichtlich des Kriteriums "Räumliche Ausdehnung" im Gegensatz zur Nagra nur als günstig. [ENSI, S. 169]
- Die tektonische Zergliederung ist deutlich grösser als im Zürcher Weinland. Auch innerhalb des Standortgebiets sind tektonisch beanspruchte Strukturen erkennbar. Die Beständigkeit des Wirtgesteins ist aber sehr günstig und die Wahrscheinlichkeit für relevante Deformationen in der nächsten Million Jahre klein. [ENSI, S. 159]
- Die flächenhafte Erosion ist eher geringer als von der Nagra angenommen. Das Gebiet ist auch unter Einbezug der glazialen Tiefenerosion hinsichtlich des Kriteriums "Erosion" als sehr günstig einzustufen. [ENSI, S. 159]
- Nutzungskonflikte ergeben sich möglicherweise durch lokale Vorkommen von Kohlenwasserstoffen im unter dem Wirtgestein liegenden Permokarbon-Trog. [ENSI, S. 159]
- In einem Grossteil des Standortgebiets liegt der Opalinuston unterhalb der vom ENSI als kritisch angesehenen Tiefe von 650 m. Hier ist ein verstärkter Ausbau der Untertagbauten mit Stützmitteln erforderlich. [ENSI, S. 160]

Zusammenfassend bewertet das ENSI in Übereinstimmung mit der Nagra das Standortgebiet Nördlich Lägeren als günstig. [ENSI, S. 160]

Beim Standortgebiet Bözberg hebt das ENSI u. a. folgende Aspekte hervor:

- Die tektonische Zergliederungen mit Rampenüberschiebungen ist stärker ausgeprägt. Dies kann das Platzangebot untertags einschränken, was aber angesichts der Grösse des Gebiets nicht problematisch ist. [ENSI, S. 162]
- Wegen des reduzierten einschliessungswirksamen Gebirgsbereichs ist langfristig die hydraulische Barrierenwirkung geringer als bei den übrigen Standortgebieten, weshalb die Bewertung sehr günstig nur knapp erreicht ist. [ENSI, S. 162]
- Den Abbau von Mergel und Kalk für die Zementindustrie hat die Nagra bei den Nutzungskonflikten nicht berücksichtigt. Falls ein Abbau bis zum heutigen Talgrund erfolgen

würde, wären als Schutz des Wirtgesteins Opalinuston nur noch etwa 135 m "Brauner Dogger" in kalkiger, potenziell wasserführender Ausbildung plus ein Rest Effinger Schichten vorhanden, die dann zur Dekompaktionszone zu zählen wären. Ein grossräumiger Abbau stellt langfristig eine Beeinträchtigung des Standortgebiets dar. [ENSI, S. 163]

Zusammenfassend kommt das ENSI zu Schluss, dass die sehr günstige Bewertung durch die Nagra nur für den südlichen Kernbereich des Standortgebiets Bözberg zutrifft. Das Standortgebiet als Ganzes ist als günstig zu bewerten.

Das ENSI weist darauf hin, dass sich die Nagra für die Standortgebiete Zürcher Weinland, Nördlich Lägeren und Bözberg die Option eines Kombilagers für die SMA und HAA offen hält. Nach Ansicht des ENSI wäre in den anderen Standortgebieten ein Kombilager nicht realisierbar. Das ENSI stellt auch fest, dass kein zumindest als bedingt günstig zu bewertendes Standortgebiet für ein HAA-Lager zurückgestellt oder übersehen worden ist. [ENSI, S. 164-165]

Auch hier vergleicht das ENSI zum Schluss die hydrogeologischen Verhältnisse an den drei Standortgebieten. Das Zürcher Weinland stuft es diesbezüglich als besonders vorteilhaft ein. [ENSI, S. 166]

2.6.2.4 Zusammenfassende Bewertung der Vorschläge geologischer Standortgebiete

In seiner zusammenfassenden Bewertung kommt das ENSI zu folgenden Schlüssen: [ENSI, S. 167-170]

- Die Nagra hat die Vorgaben des SGT und die darin definierten sicherheitstechnischen Kriterien adäquat berücksichtigt.
- Es ist mit den von der Nagra mit einem GIS eingegrenzten bevorzugten Bereichen von Opalinuston, "Braunem Dogger" und Effinger Schichten für das SMA-Lager und von Opalinuston für das HAA-Lager einverstanden.
- Das Einengungsverfahren bei den Mergelformationen des Helvetikums, welches zum Standortgebiet Wellenberg für das SMA-Lager geführt hat, ist nachvollziehbar und korrekt.
- Den Bewertungen der bevorzugten Bereiche hinsichtlich Indikatoren, Kriterien und Kriteriengruppen stimmt es bis auf wenige Ausnahmen im Grundsatz zu. Die Gesamtbewertung dieser Bereiche unterscheidet sich nur geringfügig von jener der Nagra, sodass das ENSI den bevorzugten Bereichen zustimmen kann.
- Die Prioritätensetzung bei den bevorzugten Bereichen gewährleistet eine möglichst breite Vielfalt an Wirtgesteinen, eine optimale Abgrenzung der Standortgebiete, eine Flexibilität bei den Wirtgesteinen und eine vergleichbare Sicherheit. Dass die Nagra nur geeignete und sehr geeignete Standortgebiete vorschlägt, ist im Hinblick auf den in späteren Etappen durchzuführenden sicherheitstechnischen Vergleich zweckmässig und zielführend.
- Die Ableitung einer Rangliste aus den Bewertungen anhand der sicherheitstechnischen Kriterien ist nicht sinnvoll. Grundsätzlich sind aber Gebiete mit ruhiger tektonischer Lagerung als geeigneter zu beurteilen.

Zusammenfassend stimmt das ENSI den Vorschlägen der Nagra für geologische Standortgebiete zu.

2.6.3 Stellungnahme der KNS

2.6.3.1 Vorgehen und Grundlagen

Nach Auffassung der KNS hat das ENSI das Vorgehen und die Grundlagen der Nagra bei der Auswahl und Festlegung der Standortgebiete eingehend überprüft. Dabei hat es zu Recht grossen Wert auf den Einengungsschritt mit dem GIS gelegt, weil diesem im Prozess eine zentrale Bedeutung zukommt. Die Überprüfung durch einen externen Experten des ENSI bietet nach Ansicht der KNS Gewähr, dass das verwendete GIS-Modell zweckmässig und dieser Einengungsschritt korrekt erfolgt ist. Bezüglich der Art der Priorisierung der bevorzugten Bereiche teilt die KNS die positive Beurteilung des ENSI.

Grosse Bedeutung kommt den Anforderungen zu, die beim Einengungsprozess zur Anwendung gekommen sind. Eine dieser Anforderungen betrifft die maximale Tiefe unter Terrain im Hinblick auf die bautechnische Machbarkeit. Sie hat Einfluss auf die Festlegung der bevorzugten Bereiche und der Standortgebiete, u. a. beim Zürcher Weinland. Die KNS hat bereits darauf hingewiesen, dass bei einer Anpassung des Lagerkonzepts ein HAA-Lager auch in grösserer Tiefenlage als 900 m errichtet werden könnte.

Nach Ansicht der KNS hat das ENSI die vorgeschlagenen Standortgebiete sorgfältig anhand der 13 Evaluationskriterien bewertet, welche im SGT vorgegeben sind [SGT, S. 40]. Es ist dabei bei allen Standortgebieten hinsichtlich einzelner Kriterien zu abweichenden, in der Regel weniger günstigen Bewertungen gekommen als die Nagra [ENSI, S. 176-177]. Dies betrifft neben dem Kriterium "Lagerbedingte Einflüsse" (vgl. nachfolgenden Abschnitt) die Kriterien "Nutzungskonflikte", "Erosion", "Prognostizierbarkeit der Langzeitveränderungen" und "Explorierbarkeit der räumlichen Verhältnisse". Die KNS schliesst sich den abweichenden Beurteilungen des ENSI an.

Durchwegs ungünstiger als die Nagra bewertet das ENSI die vorgeschlagenen Standortgebiete hinsichtlich des Kriteriums "Lagerbedingte Einflüsse". Als primäre Gründe führt es die mögliche Beeinträchtigung der Barrierenwirkung der Wirtgesteine infolge Gasentwicklung aus den Abfallgebänden und die durch den Ausbruch der Untertagebauten bedingten Auflockerungszonen an. Die KNS teilt die Ansicht des ENSI, dass sich die lagerbedingten Einflüsse nachteiliger auswirken können, als von der Nagra erwartet. Sie hat bereits darauf hingewiesen, dass gerade bei bevorzugten sehr dichten Wirtgesteinen wie dem Opalinuston diesen Einflüssen grosse Bedeutung beigemessen werden muss. Der Gasentwicklung muss durch geeignete Massnahmen, insbesondere bei der Konditionierung der Abfälle, begegnet werden. Die Auflockerungszonen müssen mit einer geeigneten Auslegung der unterirdischen Bauten beschränkt werden: Grossräumige Stollen und Kavernen wirken sich negativ aus und können im Extremfall die Eignung von Standortgebieten in Frage stellen.

Noch nicht hinreichend geklärt sind mögliche Zusammenhänge zwischen den Randstörungen der Permokarbon-Tröge und Überschiebungen bzw. tektonischen Linien (z. B. Baden-Irchel-Herdern-Lineament, Bregenzerlinie). Bei den rheinischen Störungen sind Präzisierungen bezüglich ihrer Ausdehnung erforderlich. Die Klärung dieser offenen Punkte ist potenziell für alle vorgeschlagenen Standortgebiete mit Ausnahme des Wellenbergs von Bedeutung.

Das ENSI hat erkannt, dass den Nutzungskonflikten, insbesondere bei den Standortgebieten für das HAA-Lager, eine grosse Bedeutung zukommt. Nutzungskonflikte in der ferneren Zukunft sind grundsätzlich schwierig abzuschätzen. Aus heutiger Sicht können sich solche bei den vorgeschlagenen Standortgebieten durch die Nutzung von Rohstoffen für die Zementindustrie, von Kohlenwasserstoffen, von Mineral- und Thermalwässern, von quartären Kiesen und Schottern sowie durch die Nutzung von Tiefengeothermie ergeben. Das Ausmass der potenziellen Konflikte ist von Standortgebiet zu Standortgebiet unterschiedlich. Wie das ENSI darlegt, ist beim Standortgebiet Bözberg der Abbau von Rohstoffen für die Zement-

industrie von besonderer Bedeutung; hier besteht bereits ein Projekt der Jura Cement Fabriken AG im Bereich Homberg¹⁶. Nach Ansicht der KNS kann ein grossflächiger Abbau, welcher die Überdeckung des Opalinuston in diesem Standortgebiet entscheidend schwächen würde, für die fernere Zukunft nicht ausgeschlossen werden. Dass ein solcher Abbau technisch machbar und nicht unrealistisch ist, zeigt die Tatsache, dass bereits heute sogar offene Gruben mit Flächen bis zu mehreren Quadratkilometern und Abbautiefen bis über 1 km betrieben werden. Die Nutzung der Tiefengeothermie ist in der Schweiz noch im Anfangsstadium, wird aber in Zukunft an Bedeutung gewinnen. Der geothermische Ressourcenatlas der Schweiz [Geowatt] zeigt, dass auch in der Nordschweiz ein Potenzial zu deren Nutzung besteht. Davon betroffen wären z. B. die drei Standortgebiete nördlich der Jurafaltung, nämlich Bözberg, Nördlich Lägeren und Zürcher Weinland.

Das ENSI weist verschiedentlich auf den noch zu vervollständigenden Wissensstand hin. Nach Ansicht der KNS sind diese Hinweise berechtigt: Bei allen Standortgebieten ausser dem Zürcher Weinland ist der Wissenstand beschränkt. Dies liegt daran, dass diese Standortgebiete einerseits weniger untersucht und andererseits geologisch komplexer sind. Gemäss Sachplan ist in Etappe 2 in jedem der jetzt vorgeschlagenen Standortgebiete mindestens ein Standort auszuwählen und zu jedem dieser Standorte eine provisorische Sicherheitsanalyse zu erstellen. Die Sicherheitsanalysen zu den verschiedenen Standorten müssen hinsichtlich Konservativität und Robustheit vergleichbar sein. Die Frage, ob dies mit dem unterschiedlichen Wissenstand zu den Standortgebieten möglich ist, ist noch nicht beantwortet. Die KNS geht davon aus, dass für vergleichbare provisorische Sicherheitsanalysen zusätzliche erdwissenschaftliche Untersuchungen (z. B. 3D-Seismik, Tiefbohrungen, Datierungen) erforderlich sind.

2.6.3.2 Standortgebiete für SMA-Lager

In seinen zusammenfassenden Bewertungen der Standortgebiete für das SMA-Lager kommt das ENSI zum Schluss, dass der Südranden, das Zürcher Weinland und der Bözberg sehr geeignet sind. Das Standortgebiet Nördlich Lägeren stuft es als geeignet ein. Das Standortgebiet Jura-Südfuss bewertet das ENSI differenziert: Die Bereiche mit Opalinuston bewertet es deutlich günstiger als jene mit Effinger Schichten. Die KNS stimmt diesen Bewertungen zu: Die Standortgebiete mit Opalinuston und Rahmengesteinen nördlich des Faltenjuras sind grundsätzlich geeigneter als die Standorte südlich des Faltenjuras.

Nach Auffassung der KNS weist das ENSI richtigerweise auf Besonderheiten des Standortgebiets Wellenberg hin, welche eine Bewertung nach dem für die andern Standortgebiete angewendeten Schema erschweren. Das ENSI hat sich aber bemüht, diesen Standort hinsichtlich möglichst aller Indikatoren zu bewerten. Nach Ansicht der KNS zeichnet sich dieses Standortgebiet durch eine aussergewöhnliche Gesteinsakkumulation mit komplexen geologisch-tektonischen Strukturen aus. Solche sind schwer abzuklären. Dies zeigt u. a. der folgende Sachverhalt: Obwohl im Zusammenhang mit dem seinerzeitigen Projekt Wellenberg in diesem Standortgebiet zwar bereits sechs Sondierbohrungen abgeteuft wurden, sind nach Ansicht des ENSI zur Abklärung der räumlichen Verhältnisse vermutlich zusätzlich noch Sondierstollen notwendig. Die KNS teilt diese Einschätzung des ENSI.

Das ENSI weist verschiedentlich darauf hin, dass die Möglichkeit einer Aufteilung des SMA-Lagers auf zwei verschiedene Wirtgesteine Vorteile bringt [ENSI, S. 124, 132, 168 und 178]. Die KNS pflichtet dem ENSI bei. Eine Aufteilung kann aber nur erfolgen, wenn zwischen den beiden Wirtgesteinen keine Grundwasser führenden Schichten liegen. Im Standortgebiet Jura-Südfuss ist diese Voraussetzung nach Ansicht der KNS nicht gegeben. Auch das ENSI

¹⁶ Ein Abbauprojekt sieht u. a. den Abtransport der Rohstoffe in einem Stollen bis zum Standort des Zementwerks Wildegg vor.

äussert sich kritisch bezüglich Aufteilung des Lagers in diesem Standortgebiet auf die beiden Wirtgesteine Effinger Schichten und Opalinuston [ENSI, S. 148].

2.6.3.3 Standortgebiete für HAA-Lager

Die KNS hat die von der Nagra vorgenommenen und vom ENSI akzeptierten Bewertungen der Standortgebiete für das HAA-Lager geprüft. Die Nagra und das ENSI geben übereinstimmend dem Zürcher Weinland die beste Bewertung, vor den beiden Standortgebieten Bözberg und Nördlich Lägeren. Die KNS trägt diese Beurteilung mit. Alle Standortgebiete nördlich des Faltenjuras liegen im Randbereich oder ausserhalb des alpinen Fernschubs und erfüllen somit eine wesentliche Voraussetzung für ein HAA-Lager. Gemäss aktuellen Erkenntnissen bestehen aber bei allen diesen Gebieten hinsichtlich Gefährdung der Langzeitsicherheit eines HAA-Lagers infolge Tiefenerosion Unsicherheiten.

2.6.3.4 Zusammenfassende Beurteilung

Die KNS kommt in Übereinstimmung mit dem ENSI zum Schluss, dass die Identifikation geeigneter Wirtgesteinskonfigurationen und die Ableitung der Vorschläge für geologische Standortgebiete den Vorgaben des SGT für Etappe 1 entsprechen. Das ENSI hat in seine Überprüfung alle heute als relevant betrachteten Aspekte einbezogen und bewertet.

Die vorgeschlagenen Standortgebiete unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Qualität. Die geologische Komplexität ist von Standortgebiet zu Standortgebiet verschieden. Die Erkundung des Untergrunds muss diesem Umstand Rechnung tragen. Fehlende Informationen können dazu führen, dass Standortgebiete unter- oder überbewertet sind. Es ist im weiteren Verlauf des Verfahrens möglich, dass vorgeschlagene Standortgebiete wegen Ungenügens ausscheiden, sodass insbesondere für das HAA-Lager kaum oder keine Alternativen für Standorte mehr verbleiben. Auch aus diesem Grund ist die Einschränkung der maximalen Tiefenlage des HAA-Lagers nicht zweckmässig. Unsicherheiten sieht die KNS zudem hinsichtlich der Erosionsszenarien und der Zusammenhänge zwischen grossen Störungszonen nördlich des Faltenjuras.

Sich aus der KNS-Beurteilung ergebende Hinweise und Empfehlungen zum weiteren Vorgehen finden sich in 3.2.

3 Zusammenfassende Stellungnahme, Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Im vorliegenden Kapitel fasst die KNS ihre Stellungnahme zum Gutachten des ENSI zusammen. Anschliessend zieht sie Schlussfolgerung und formuliert Empfehlungen zum weiteren Vorgehen.

3.1 Zusammenfassende Stellungnahme zum Gutachtens des ENSI

Das ENSI hat nach Auffassung der KNS die von der Nagra verwendeten Grundlagen, das Vorgehen der Nagra und die Ergebnisse bei der Auswahl von Standortgebieten detailliert nachvollzogen. Dabei hat es sich konsequent an den Vorgaben im Konzeptteil des Sachplans geologische Tiefenlager orientiert und den aktuellen Kenntnisstand über die Geologie der Schweiz berücksichtigt. Zu verschiedenen Themen hat das ENSI eigene Berechnungen und Untersuchungen durchgeführt. Zudem hat es spezifische Fragestellungen durch externe Experten beurteilen lassen.

Die Ergebnisse seiner Beurteilungen fasst das ENSI zusammen, indem es sich zum Schluss zu den Fragestellungen äussert, welche von den Behörden gemäss Konzeptteil des Sachplans geologische Tiefenlager zu beantworten sind (vgl. 1.1 bzw. [SGT, S. 62]).

3.1.1 Zuteilung der Abfälle zu den beiden Lagertypen SMA und HAA

3.1.1.1 Beurteilung durch das ENSI

Das ENSI kommt zum Schluss, dass die Dokumentation der Abfallsorten und ihrer Inventare für Etappe 1 ausreichend ist. Die Abfallmengen sind nachvollziehbar abgeleitet und grosszügig gewählt. Nur näherungsweise bekannt sind die zu erwartenden Abfälle aus der Stilllegung der Grossforschungsanlagen des CERN und des PSI. Eine vertiefte Charakterisierung dieser Abfälle ist anzustreben und die Ergebnisse sind zu dokumentieren. [ENSI, S. 173]

Die vorgeschlagene Zuteilung der Abfälle zum SMA- und zum HAA-Lager beruht auf Berechnungen zur Langzeitsicherheit für ein breites Spektrum von Gesteinseigenschaften und geologischen Situationen. Die unterschiedlichen Eigenschaften der Abfälle sind berücksichtigt worden. Das ENSI stimmt der von der Nagra gewählten Zuteilung der Abfälle zu. [ENSI, S. 172-173]

3.1.1.2 Stellungnahme der KNS

Die KNS schliesst sich hinsichtlich des Abfallinventars der Beurteilung des ENSI an. Sie sieht zusätzlich Unsicherheiten beim Volumen der zu entsorgenden abgebrannten Brennelemente, da einerseits deren Konditionierung noch nicht bekannt ist und andererseits Fragen zur Wiederaufarbeitung offen sind. Trotz dieser Unsicherheiten sind die ermittelten Abfallinventare nach Ansicht der KNS für Etappe 1 genügend verlässlich bestimmt. Der Klärung der Konditionierung der abgebrannten Brennelemente muss hohe Priorität beigegeben werden; diese machen gemäss Annahmen der Nagra 90 % des Abfallinventars des HAA-Lagers aus.

In Übereinstimmung mit dem ENSI erachtet die KNS das Vorgehen bei der Zuteilung der Abfälle als plausibel und zweckmässig für Etappe 1. Die Zuteilung muss nach Ansicht der KNS aber als vorläufig betrachtet werden. Die definitive Zuteilung muss in einem iterativen Prozess im weiteren Verlauf des Verfahrens erfolgen. Nach der Festlegung der Wirtgesteine müssen die Abfallgebinde den Eigenschaften der Wirtgesteine angepasst werden. Auch ist zu gegebener Zeit zu prüfen, ob zur Erhöhung der Sicherheit kurzlebige, chemisch reaktive Abfälle nicht in einem räumlich klar abgetrennten Bereich des SMA-Lagers eingelagert werden sollen.

3.1.2 Quantitative und qualitative Anforderungen an die Geologie

3.1.2.1 Beurteilung durch das ENSI

Das ENSI hat das Sicherheitskonzept und die daraus abgeleiteten qualitativen und quantitativen Anforderungen an die Geologie mit eigenen Berechnungen überprüft. Es kommt zum Schluss, dass die Anforderungen nachvollziehbar und genügend sind. [ENSI, S. 178] Sollte für das HAA-Lager eine Tiefenlage zwischen 650 und 900 m in Betracht gezogen werden, müssten gemäss ENSI die Auswirkungen der zusätzlich erforderlichen Stützmittel auf die Langzeitsicherheit des geologischen Tiefenlagers vertieft untersucht werden. Hinsichtlich der lagerbedingten Einflüsse stellt das ENSI fest, dass bei beiden Lagertypen die Barrierenfunktion des Wirtgesteins nicht in Frage gestellt ist. [ENSI, S. 174]

3.1.2.2 *Stellungnahme der KNS*

Die KNS stimmt den Beurteilungen des ENSI zu. Darüber hinaus ist sie der Auffassung, dass eine aus bautechnischen Überlegungen resultierende Begrenzung der maximalen Tiefenlage für das HAA-Lager, welche sich auf das aktuelle Lagerkonzept der Nagra abstützt, weder notwendig noch zweckmässig ist: Ein HAA-Lager ist nach Ansicht der KNS auch in grösseren Tiefen als 900 m machbar, wenn das Lagerkonzept¹⁷ entsprechend angepasst wird. Grössere Tiefenlagen öffnen im Bereich der vorgeschlagenen Standortgebiete zusätzliche Optionen für Standorte. Auch können sich bei grösseren Tiefenlagen zurückgestellte Standortgebiete als geeignet erweisen. Dadurch stehen Alternativen zur Verfügung.

Den lagerbedingten Einflüssen misst die KNS sehr grosse Bedeutung zu. Beim gegenwärtigen Wissensstand sind diese Einflüsse nicht mit hinreichender Genauigkeit abzuschätzen. Die Belastbarkeit gegen lagerbedingte Einflüsse wird von den Eigenschaften des Wirtgesteins bestimmt. Bei den geforderten dichten Wirtgesteinen kann insbesondere die Gasbildung deren Barrierenwirkung langfristig beeinträchtigen. Die Gasbildung muss deshalb durch geeignete Massnahmen bei den Abfallgebänden und bei den Stützmitteln verhindert oder zumindest auf ein unbedenkliches Mass reduziert werden.

3.1.3 **Verfügbare geologische Informationen**

3.1.3.1 *Beurteilung durch das ENSI*

Das ENSI hat die geologischen Grundlagen überprüft, auf welche sich die Nagra abstützt. Es kommt zum Schluss, dass diese für Etappe 1 ausreichend sind [ENSI, S. 179]. Es stellt keine grundlegenden Abweichungen zwischen dem aktuellen Wissensstand betreffend grossräumige Erosion sowie Modellvorstellungen zur Geodynamik der Alpen und ihres Vorlands und dem von der Nagra dargelegten Wissensstand fest [ENSI, S. 175]. Die von der Nagra verwendeten Sammelprofile sind gemäss ENSI eine gute Basis für die Identifikation potenziell geeigneter Wirtgesteine [ENSI, S. 176]. Bei der Einschränkung auf die bevorzugten Wirtgesteinsbereiche sind alle relevanten Daten berücksichtigt worden [ENSI, S. 177].

3.1.3.2 *Stellungnahme der KNS*

Nach Ansicht der KNS hat das ENSI die von der Nagra umfassend und mit Sorgfalt aufbereiteten Informationen zur Geologie der Schweiz eingehend überprüft. Sie stimmt der Beurteilung zu, dass diese für Etappe 1 ausreichen. Nach Auffassung der KNS bestehen bei Neotektonik und Erosion noch beträchtliche Ungewissheiten. Auch sind die vorgeschlagenen Standortgebiete recht unterschiedlich untersucht. Dies gilt sowohl für Standortgebiete für das SMA- und als auch für das HAA-Lager. Ungenügend ist der Wissensstand bei den Effingerschichten und beim "Braunen Dogger". Dies kann im weiteren Verfahren zu Schwierigkeiten führen.

3.1.4 **Adäquate und stufengerechte Berücksichtigung der vorgegebenen Kriterien**

3.1.4.1 *Beurteilung durch das ENSI*

Aufgrund seiner Überprüfungen kommt das ENSI zum Schluss, dass die Nagra alle im SGT vorgegebenen sicherheitstechnischen Kriterien korrekt berücksichtigt und stufengerecht angewendet hat [ENSI, S. 179]. Der Herleitung der Mindestanforderungen an die Indikatoren

¹⁷ Unter "Lagerkonzept" versteht die KNS die technische Umsetzung des EKRA-Konzepts.

kann das ENSI weitgehend folgen. Die zusätzliche Berücksichtigung von verschärften Anforderungen erachtet es als sicherheitsgerichtet. [ENSI, S. 174]

3.1.4.2 *Stellungnahme der KNS*

Die KNS teilt die Auffassung, dass die Nagra die vorgegebenen Kriterien bzw. die diese charakterisierenden Indikatoren korrekt und stufengerecht angewendet hat. Vorbehalten bleiben ihre Ausführungen zur maximalen Tiefenlage des HAA-Lagers. Die Anwendung verschärfter Anforderungen hat die Auswahlmöglichkeiten für das weitere Verfahren zusätzlich eingeschränkt.

3.1.5 **Transparenz und Nachvollziehbarkeit des Vorgehens**

3.1.5.1 *Beurteilung durch das ENSI*

Aufgrund der Prüfung sämtlicher Unterlagen der Nagra kommt das ENSI zum Schluss, dass die Erarbeitung der Standortvorschläge transparent und nachvollziehbar dargelegt ist [ENSI, S. 179].

Den Grossraum Alpen bewertet das ENSI hinsichtlich seiner Eignung für ein SMA-Lager differenzierter als die Nagra [ENSI, S. 175]. Es bestätigt, dass der Opalinuston das einzige der betrachteten Gesteine ist, welches alle verschärften Anforderungen für ein HAA-Lager erfüllt [ENSI, S. 176]. Den Einengungsprozess mit dem GIS-Verfahren bewertet es als zielführend, transparent und nachvollziehbar. Das ENSI verweist auch auf das spezielle Verfahren, welches bei der Bestimmung von geeigneten Mergel-Formationen des Helvetikums angewendet wurde. Nach seiner Auffassung müssen beim Standortgebiet Wellenberg zu den potenziell wasserführenden Kalksteinen ebenso Abstände eingehalten werden wie bei den flächenhaft verbreiteten Wirtgesteinen zu den regionalen Störungszonen. [ENSI, S. 177] Die Priorisierung der bevorzugten Bereiche wertet das ENSI als zielführend und sicherheitsgerichtet [ENSI, S. 178].

3.1.5.2 *Stellungnahme der KNS*

Die KNS geht mit dem ENSI weitgehend einig, dass das Vorgehen der Nagra transparent und nachvollziehbar dargelegt ist. Weitergehende Folgerungen hat die KNS begründet (vgl. 3.1.2, 3.1.3, 3.1.4).

In wesentlichen Fragen wie der Qualität der Wirtgesteine und der Standortauswahl deckt sich die Beurteilung der KNS mit jener des ENSI. Auch nach Ansicht der KNS ist der Opalinuston das am besten geeignete Wirtgestein für die geologische Tiefenlagerung von radioaktiven Abfällen.

3.1.6 **Vorschläge aus Sicht der Sicherheit und Machbarkeit**

3.1.6.1 *Beurteilung durch das ENSI*

Das ENSI stimmt den Vorschlägen der Nagra für geologische Standortgebiete für das SMA-Lager und für das HAA-Lager zu [ENSI, S. 179].

3.1.6.2 *Stellungnahme der KNS*

Wie das ENSI kann die KNS den Vorschlägen für geologische Standortgebiete für das SMA-Lager und das HAA-Lager zustimmen.

Die vorgeschlagenen Standortgebiete unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Qualität und der erhobenen Felddaten. Es ist deshalb möglich, dass im weiteren Verfahren Standortgebiete wegen Ungenügens ausscheiden. Dies kann dazu führen, dass kaum oder keine Alternativen für Standorte mehr verbleiben. Die KNS erachtet es deshalb als wichtig, dass die Einschränkung der maximalen Tiefenlage für HAA-Lager im weiteren Verlaufe des Verfahrens überprüft wird.

Besondere Bedeutung kommt den Nutzungskonflikten zu, aus heutiger Sicht insbesondere auch mit der Tiefengeothermie. Offensichtliche Nutzungskonflikte betreffen vor allem das Standortgebiet Bözberg.

Die KNS kann der Bevorzugung der nördlich der Jurafaltung liegenden Standortgebiete grundsätzlich zustimmen. Diese Gebiete haben aber auch einen Nachteil: Sie sind durch Erosion stärker gefährdet. Auch aus dieser Sicht ist die Einschränkung der maximalen Tiefenlager für das HAA-Lager zu überprüfen.

3.2 Schlussfolgerungen und Hinweise und Empfehlungen zum weiteren Vorgehen

3.2.1 Schlussfolgerungen

Nach Ansicht der KNS sind primär Standortgebiete mit Wirtgesteinen und geologischen Gesamtsituationen zu wählen, welche die Langzeitsicherheit besonders gut gewährleisten. Sind solche Standortgebiete gefunden, müssen die Lagerkonzepte dem Wirtgestein und der geologischen Gesamtsituation angepasst werden.

Das ENSI hat das Vorgehen der Nagra nach Ansicht der KNS detailliert nachvollzogen und die vorgeschlagenen Standortgebiete umfassend bewertet. Basierend darauf stimmt es den Vorschlägen der Nagra für Standortgebiete zu. Die KNS schliesst sich dem ENSI diesbezüglich an.

Der Opalinuston ist auch nach Auffassung der KNS das am besten geeignete Wirtgestein für die Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle. Für das HAA-Lager kommt nur Opalinuston in Frage. Besonders bei diesem sehr dichten Gestein ist die Gasentwicklung von sehr grosser Bedeutung: Sie muss vermieden oder zumindest auf ein unbedenkliches Mass reduziert werden.

Die KNS weist darauf hin, dass die Anwendung von verschärften Anforderungen und insbesondere die Beschränkung der maximalen Tiefenlage für das HAA-Lager die Auswahl an möglichen Standortgebieten und Standorten zusätzlich eingeschränkt hat. Da bei einigen Standortgebieten der Wissenstand beschränkt ist, besteht die Gefahr, dass aufgrund neuer Erkenntnisse kaum oder keine Alternativen für Standorte mehr verbleiben. Gemäss Konzeptteil des Sachplans werden in solchen Fällen frühere Entscheide überprüft und gegebenenfalls revidiert und es kann auf zurückgestellte Standortgebiete oder Standorte zurückgegriffen werden [SGT, S. 39].

Um hinsichtlich möglicher Standorte grössere Flexibilität zu schaffen und weil noch beträchtliche Unsicherheiten zu Tektonik und Erosion bestehen, ist ein Lagerkonzept für das HAA-Lager für grössere Tiefenlagen zu entwickeln.

Offensichtliche Nutzungskonflikte betreffen vor allem das Standortgebiet Bözberg. Konflikte mit der Nutzung der Tiefengeothermie können mit Ausnahme des Wellenbergs alle vorgeschlagenen Standortgebiete betreffen.

3.2.2 Hinweise und Empfehlungen zum weiteren Vorgehen

3.2.2.1 *Bevorzugung homogener dichter Wirtgesteine*

Die KNS empfiehlt, sich im weiteren Verfahren auf homogene, dichte und gut prognostizierbare Wirtgesteine mit einem hohen Anteil an quellfähigen Tonmineralien und insbesondere den Opalinuston zu konzentrieren. Im Hinblick auf die Option, das HAA-Lager tiefer legen zu können, sollen deshalb auch die geeigneten Opalinustonvorkommen in tieferen Lagen ermittelt werden.

3.2.2.2 *Ergänzung des Wissenstands*

Gemäss Konzeptteil des Sachplans müssen die Entsorgungspflichtigen in Etappe 2 mindestens einen Standort pro Standortgebiet auswählen. Für diese Standorte müssen sie eine quantitative provisorische Sicherheitsanalyse erstellen und einen sicherheitstechnischen Vergleich durchführen. [SGT, S. 5-6] Die Kenntnisse über die Standorte müssen die Durchführung einer solchen Sicherheitsanalyse erlauben; gegebenenfalls sind sie durch Untersuchungen zu ergänzen. Die Entsorgungspflichtigen müssen die Notwendigkeit ergänzender Untersuchungen mit dem ENSI abklären. [SGT, S. 45] Bei der anschliessenden Einengung auf mindestens je zwei Standorte für das HAA- und das SMA-Lager dürfen Standorte nicht aufgrund von Dosisdifferenzen ausscheiden, die durch Unsicherheiten der zu Grunde gelegten Daten verursacht werden. [SGT, S. 70]

Diese Vorgaben im Sachplan bedeuten nach Ansicht der KNS, dass die provisorischen Sicherheitsanalysen zu den Standorten in den verschiedenen Standortgebieten hinsichtlich Konservativität und Robustheit vergleichbar sein müssen. Die Frage, ob dies mit dem unterschiedlichen Wissenstand zu den Standortgebieten möglich ist, ist noch nicht beantwortet. Die KNS geht davon aus, dass für vergleichbare provisorische Sicherheitsanalysen zusätzliche erdwissenschaftliche Untersuchungen (z. B. 3D-Seismik, Tiefbohrungen, Datierungen) erforderlich sind.

Die KNS weist auf die unter Umständen erheblichen Zeiten hin, die eventuelle zusätzliche erdwissenschaftliche Untersuchungen in Anspruch nehmen können. Das Gesamtverfahren wird umso mehr verlängert, je später notwendige Untersuchungen durchgeführt werden. Aus dieser Sicht empfiehlt die KNS, die Notwendigkeit zusätzlicher Untersuchungen mit höchster Priorität abzuklären und notwendige erdwissenschaftliche Untersuchungen umgehend in Angriff zu nehmen.

3.2.2.3 *Überprüfung der Lagerkonzepte¹⁸*

Im weiteren Verlauf des Verfahrens müssen die Entsorgungspflichtigen die Lagerkonzepte überprüfen und konkretisieren. Dazu müssen die lagerbedingten Einflüsse vertieft untersucht werden, um negative Auswirkungen auf Barrieren zu verhindern oder zu minimieren. Die Anpassung der Abfallgebände, Verfüllmaterialien und Einbauten an das chemisch-physikalische Milieu im Tiefenlager ist deshalb nach Ansicht der KNS von wesentlicher Bedeutung.

Im Hinblick auf die minimale Schädigung des Wirtgesteins, sind im Wirtgestein unnötige Bauten zu vermeiden und notwendige Bauten möglichst kleinräumig zu halten. Dies gilt insbesondere für bautechnisch anspruchsvolle Wirtgesteine wie Opalinuston. Die bisher

¹⁸ Unter "Lagerkonzept" versteht die KNS die technische Umsetzung des EKRA-Konzepts.

dargelegten Lagerkonzepte berücksichtigen dies nach Auffassung der KNS nicht oder zuwenig konsequent.

Grössere Tiefenlagen für das HAA-Lager eröffnen mehr Alternativen für Standorte, bieten besseren Schutz gegen Erosion und gewährleisten eine bessere Selbstheilung. Die maximal mögliche Tiefenlage eines Lagers aus Sicht der bautechnischen Machbarkeit hängt ausser von den bautechnischen Eigenschaften des Wirtgesteins vom Lagerkonzept ab. Die bisher dargelegten Lagerkonzepte für das HAA-Lager lassen nur eine begrenzte Tiefenlage zu.

Aus den oben angeführten Gründen empfiehlt die KNS, bei der Überprüfung und Konkretisierung der Lagerkonzepte Folgendes zu beachten:

- Im Hinblick auf die lagerbedingten Einflüsse, insbesondere die Gasbildung, sollen die folgenden Punkte berücksichtigt werden:
 - Bei den Lagerbehältern für verglaste hochaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente soll die Verwendung von Behältermaterialien, welche im Tiefenlager nicht zur Gasbildung führen, untersucht werden. Dabei sollen auch die Grösse und die Konstruktion der Behälter hinterfragt werden.
 - Stützmittel sollen vor dem Verfüllen der Untertagebauten entfernt werden, wenn sie wesentlich zur Gasentwicklung beitragen oder die Barrierenwirksamkeit des Wirtgesteins in anderer Weise gefährden können.
 - Metallische Abfälle sollen nach Möglichkeit vermieden werden. Für kurzlebige und chemisch reaktive Abfälle, die nicht lange von der Biosphäre isoliert sein müssen, soll beim SMA-Lager allenfalls ein eigener Lagerbereich vorgesehen werden. Dieser soll vom Lagerbereich für die übrigen Abfälle getrennt sein und kann eventuell in einem Wirtgestein liegen, das nur reduzierte Anforderungen erfüllt.
 - Organische Stoffe sollen nach Möglichkeit in eine Form gebracht werden, die unter den im Tiefenlager gegebenen Bedingungen inert ist. Dies gilt sowohl für die noch zu konditionierenden Abfälle als auch für die bereits bestehenden Abfallgebilde.
- Bei den Untertagebauten ist im Hinblick auf die minimale Schädigung des Wirtgesteins u. a. Folgendes zu beachten:
 - Querschnitte und Länge der Lagerstollen bzw. Kavernen sollen nach den Erfordernissen der Langzeitsicherheit gewählt werden.
 - Die untertägigen Erschliessungsbauten sollen so konzipiert werden, dass die Wege im Wirtgestein möglichst kurz sind.
- Das Lagerkonzept für das HAA-Lager soll die bautechnische Machbarkeit in grösseren Tiefenlagen ermöglichen.

3.2.2.4 *Weitere Empfehlungen*

Die KNS empfiehlt beim weiteren Vorgehen ausserdem Folgendes zu beachten:

- Unsicherheiten bestehen bei Tektonik und Erosion: Gemäss neuesten Erkenntnissen könnten die grossräumigen Erosionsraten bis zu einem Faktor fünf grösser sein, als bisher angenommen. Die Arbeiten zur Abklärung von Neotektonik und Erosion sollen deshalb verstärkt werden.
 - Künftige Nutzungskonflikte sind schwer abzuschätzen. Die Tiefengeothermie dürfte aber an Bedeutung gewinnen. Bei der Standortwahl soll deshalb den Nutzungskonflikten, insbesondere auch mit der Tiefengeothermie, erhöhte Beachtung geschenkt werden.
-

Die vorliegende Stellungnahme wurde von der KNS im Anschluss an ihre 24. Sitzung vom 10. März 2010 auf dem Korrespondenzweg verabschiedet.

Brugg, 12. April 2010

Eidgenössische Kommission
für nukleare Sicherheit

Der Präsident



Dr. B. Covelli

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

Referenzen

- [AkEnd] Auswahlverfahren für Endlagerstandorte - Empfehlungen des AkEnd. Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte, Dezember 2002.
- [ENSI] Sicherheitstechnisches Gutachten zum Vorschlag geologischer Standortgebiete. Sachplan geologische Tiefenlager, Etappe 1. ENSI, Januar 2010.
- [G03] Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen. ENSI-G03, Ausgabe April 2009.
- [Geowatt] Geothermischer Ressourcenatlas der Schweiz; Erarbeitung und Bewertung des geothermischen Potentials der Schweiz. Schlussbericht Dezember 2004
- [KSA] Stellungnahme zum Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle (Projekt Opalinuston). Eidgenössische Kommission für die Sicherheit von Kernanlagen (KSA), August 2005.
- [NTB 94-06] Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle (Endlager SMA) - Bericht zur Langzeitsicherheit des Endlagers SMA am Standort Wellenberg. Nagra Technischer Bericht, Juni 1994.
- [NTB 01-04] Calculations of the Temperature Evolution of a Repository for Spent Fuel, Vitrified High-Level Waste and Intermediate Level Waste in Opalinus Clay. Nagra Technischer Bericht 01-04, Oktober 2002.
- [NTB 02-03] Projekt Opalinuston; Synthese der geowissenschaftlichen Untersuchungsergebnisse. Nagra Technischer Bericht 02-03, Dezember 2002.
- [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). Nagra Technischer Bericht 02-05, Dezember 2002.
- [NTB 04-06] Effects of Post-disposal Gas Generation in a Repository for Spent Fuel, High-level Waste and Long-lived Intermediate Level Waste Sited in Opalinus Clay. Nagra Technischer Bericht 04-06, Juli 2004.
- [NTB 08-03] Vorschlag geologischer Standortgebiete für ein SMA- und ein HAA-Lager. Darlegung der Anforderungen, des Vorgehens und der Ergebnisse. Nagra Technischer Bericht 08-03, Oktober 2008.
- [NTB 08-04] Vorschlag geologischer Standortgebiete für ein SMA- und ein HAA-Lager. Geologische Grundlagen (Bericht zur Geologie). Nagra Technischer Bericht 08-04, Oktober 2008.
- [NTB 08-05] Vorschlag geologischer Standortgebiete für ein SMA- und ein HAA-Lager. Begründung der Abfallzuteilung, der Barrierensysteme und der Anforderungen an die Geologie (Bericht zur Sicherheit und technischen Machbarkeit). Nagra Technischer Bericht 08-05, Oktober 2008.

- [NTB 08-07] Effects of post-disposal gas generation in a repository for low- and intermediate-level waste sited in the Opalinus Clay of Northern Switzerland. Nagra Technischer Bericht 08-07, Oktober 2008.
- [SGT] Sachplan geologische Tiefenlager. Konzeptteil. BFE; 2. April 2008.
- [SR 732.1] Kernenergiegesetz (KEG) vom 21. März 2003 (Stand am 1. Januar 2009).
- [SR 732.11] Kernenergieverordnung (KEV) vom 10. Dezember 2004 (Stand am 1. Januar 2010)
- [SR 732.16] Verordnung über die Eidgenössische Kommission für nukleare Sicherheit vom 12. November 2008 (Stand am 1. Januar 2009)

Liste der Abkürzungen

ATA	Alphatoxische Abfälle: Abfälle, deren Gehalt an Alphastrahlern den Wert von 20'000 Becquerel/g konditionierter Abfall übersteigt (Art. 51 KEV)
BE	(abgebrannte) Brennelemente
BFE	Bundesamt für Energie
CERN	Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire
EGTS	Engineered Gas Transport System
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
GIS	Geographisches Informationssystem
HAA	Hochaktive Abfälle: abgebrannte Brennelemente und verglaste Spaltprodukte aus der Wiederaufarbeitung (Art. 51 KEV)
HSK	Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (seit 1.1.2009 ENSI)
ISRAM	Informationssystem für radioaktive Materialien: Datenbank der Entsorgungspflichtigen für die existierenden radioaktiven Abfälle in der Schweiz
KEG	Kernenergiegesetz (SR 732.1)
KEV	Kernenergieverordnung vom 10. Dezember 2004 (SR 732.11)
KKW	Kernkraftwerk
KNS	Eidgenössische Kommission für nukleare Sicherheit
KSA	Eidgenössische Kommission für die Sicherheit von Kernanlagen
LMA	Langlebige mittelaktive Abfälle: die alphatoxischen Abfälle und die dem HAA-Lager zugeordneten schwach- und mittelaktiven Abfälle
MIF	Medizin, Industrie und Forschung
MIRAM	Modellhaftes Inventar für radioaktive Materialien: Datenbank der Entsorgungspflichtigen für die bereits vorhandenen und die noch zu erwartenden radioaktiven Abfälle in der Schweiz
MOX	Uran/Plutonium-Mischoxid
NTB	Nagra Technischer Bericht
PSI	Paul Scherrer Institut
SGT	Sachplan geologische Tiefenlager (Konzeptteil)
SMA	Schwach- und mittelaktive Abfälle: alle radioaktiven Abfälle, die nicht den hochaktiven oder den alphatoxischen zugeteilt sind (Art. 51 KEV)
SR	Systematische Sammlung des Bundesrechts
u. T.	(Tiefenlage) unter Terrain

Anhang: Bewertung potenzieller Wirtgesteine anhand sicherheitsrelevanter Kriterien gemäss Sachplan

Kriterien	Opalinuston	Brauner Dogger	Effinger-Schichten	Evaporite (Salz / Anhydritgruppe)	USM	Flysch	Valanginien-Mergel	
1.1 Räumliche Ausdehnung	Mächtigkeit knapp	Mächtigkeit im Verbund mit Opalinuston genügend	Mächtigkeit der Mergelhorizonte ungenügend, Gesamtmächtigkeit genügend	Ablagerungsmächtigkeit möglicherweise ungenügend, tektonisch angehäuft	Mächtigkeit tonreicher Horizonte ungenügend, Gesamtmächtigkeit genügend	Ablagerungsmächtigkeit möglicherweise ungenügend, tektonisch angehäuft	Ablagerungsmächtigkeit möglicherweise ungenügend, tektonisch angehäuft	
1.2 Hydraulische Barrierenwirkung	Sehr gute hydraulische Barrierenwirkung, experimentell bestätigt	Standortspezifisch: im Zürcher Weinland gut	Sofern Ofringen: vorsichtig positiv, Kalkbänke und Klüfte aber grundsätzlich problematisch	Quellfähigkeit gegeben, Barrierenwirkung vorhanden	Rinnensysteme, Barrierenwirkung aufgehoben	Sandhorizonte, Barrierenwirkung aufgehoben, räumliche Konfiguration für Bewertung entscheidend	Wegen Fremdeinschlüssen und tektonischer Beanspruchung problematisch	
1.3 Geochemische Bedingungen	Gute Eigenschaften zu Quellfähigkeit	Ausreichende Daten zu quellfähigen Tonmineralen vorhanden?	Ausreichende Daten zu quellfähigen Tonmineralen vorhanden?	Quellfähigkeit Anhydrit und Ton, Sorption teils gegeben	Ausreichende Daten zu quellfähigen Tonmineralen vorhanden?	Ausreichende Daten zu quellfähigen Tonmineralen vorhanden?	Beschränkt quellfähig	
1.4 Freisetzungspfade	Trotz unterschiedlicher Fazies "homogen", keine natürlichen Freisetzungspfade	Keine Klüfte in Bohrung Benken, keine präferenziellen Pfade	Präferenzielle Pfade (Kalkbänke und Klüfte) grundsätzlich vorhanden	Störungen, Klufsysteme standortbezogen	Rinnen	Evtl. Sandhorizonte	Störungen, Klufsysteme standortbezogen	
2.1 Beständigkeit der Eigenschaften	Beständigkeit gegeben	Standortspezifisch; im Zürcher Weinland gegeben	Verkarstbarkeit und Kalziumklüfte, Reaktivierung Klüfte möglich, neue Wegsamkeiten	Solung bei Salz, Verkarstbarkeit bei Kalken und Dolomiten, ansonsten Bestk. gegeben	Beständigkeit gegeben, auch der negativen Eigenschaften	Beständigkeit gegeben, auch der negativen Eigenschaften	Beständigkeit gegeben, Verkarstbarkeit der evtl. vorhandenen Kalke	
2.3 Lagerbedingte Einflüsse	Siehe Bemerkungen unter 4.1: Bestehende Lagerkonzepte sind zu überdenken.							
2.4 Nutzungskonflikte im Wirtgestein	In Tiefenlage des Lagers kein interessanter Rohstoff	In Tiefenlage des Lagers kein interessanter Rohstoff	In Tiefenlage des Lagers kein interessanter Rohstoff	Ja, wenn auch bei Anhydrit eher klein	In Tiefenlage des Lagers kein interessanter Rohstoff	In Tiefenlage des Lagers kein interessanter Rohstoff	In Tiefenlage des Lagers kein interessanter Rohstoff	
3.1 Charakterisierbarkeit der Gesteine	fazielle Übergänge langsam und wenig ausgeprägt	Variabilität in Benken begrenzt, fazielle Übergänge fließend	fazielle Übergänge ausgeprägt (Kalkbänke) und nicht prognostizierbar	fazielle Übergänge ausgeprägt und nicht prognostizierbar, aber dichte Konfigurationen	fazielle Übergänge ausgeprägt (Rinnen) und nicht prognostizierbar	fazielle Übergänge ausgeprägt (Sandbänke) und nicht prognostizierbar	Übergänge ausgeprägt und nicht prognostizierbar	
3.2 Explorierbarkeit	Laterale Ausdehnung in der Regel gut prognostizierbar	Laterale Ausdehnung schlecht prognostizierbar	Laterale Ausdehnung der Problemhorizonte (Kalkbänke) nicht prognostizierbar	Laterale Ausdehnung schlecht prognostizierbar	Laterale Ausdehnung der Problemhorizonte (Sandsteine) kaum prognostizierbar	Laterale Ausdehnung der Problemhorizonte (Sandhorizonte) schlecht prognostizierbar	Laterale Ausdehnung schlecht prognostizierbar	
4.1 Felsmechanische Eigenschaften	Bautechnisch anspruchsvoll, Lagerkonzepte überdenken	Bautechnisch problematisch, nicht bewertet wegen ungenügender Datenlage						

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

Telefon +41 56 462 86 86
contact@kns.admin.ch
www.kns.admin.ch