

Sachplan Geologische

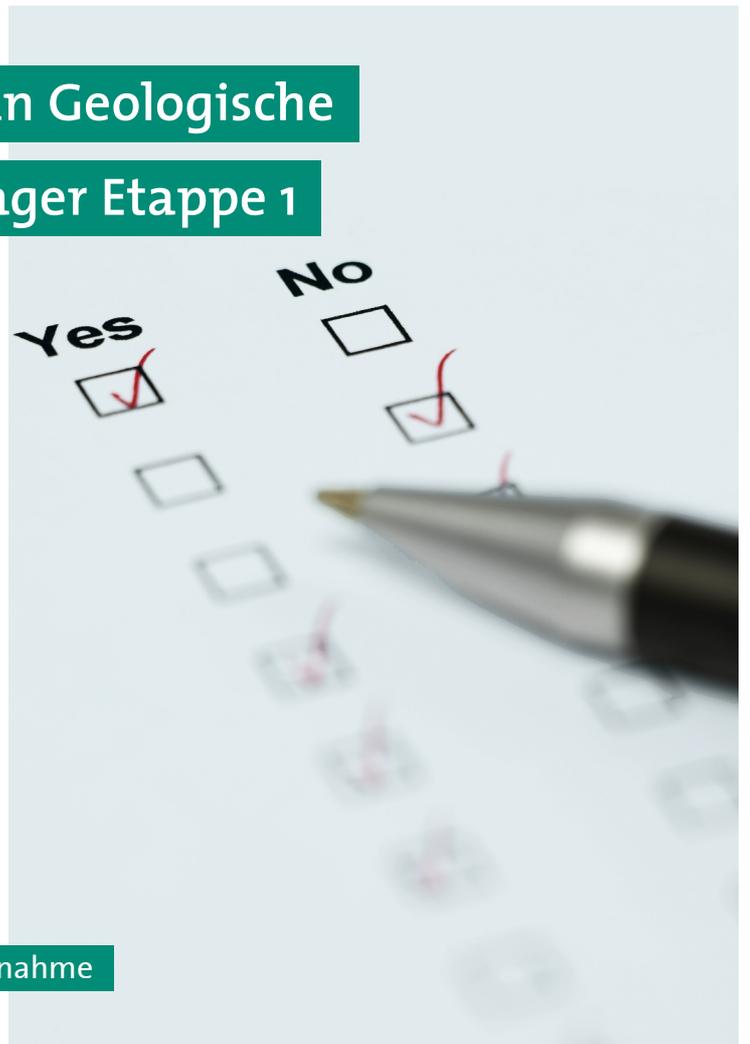
Tiefenlager Etappe 1



lebensministerium.at



Fachstellungnahme



FACHEXPERTISE ZU DEN VERÖFFENTLICHTEN BERICHTEN IM ZUSAMMENHANG MIT DER STANDORTSUCHE FÜR EIN GEOLOGISCHES TIEFENLAGER FÜR RADIOAKTIVE ABFÄLLE IN DER SCHWEIZ

Endbericht

Beurteilung der von NAGRA vorgelegten Unterlagen sowie des
Gutachtens des ENSI, der Stellungnahmen von KNE und KNS
und des Ergebnisberichtes des BFE

Helmut Hirsch
Jürgen Kreuzsch

Erstellt im Auftrag des
Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft,
Umwelt und Wasserwirtschaft,
Projektleitung Abteilung V/6 „Nuklearkoordination“
GZ BMLFUWUW.1.1.2/0001-V/6/2009



lebensministerium.at



REPORT
REP-0299

Wien, 2010

Projektleitung

Franz Meister, Umweltbundesamt

AutorInnen

Dr. Helmut Hirsch, Konsulent, Neustadt a. Rbge.
Dipl.-Geol. Jürgen Kreuzsch, intac GmbH, Hannover

Satz/Layout

Elisabeth Riss, Umweltbundesamt

Umschlagphoto

© iStockphoto.com/imagestock

Weitere Informationen zu Umweltbundesamt-Publikationen unter: <http://www.umweltbundesamt.at/>

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

Eigenvervielfältigung, gedruckt auf CO₂-neutralem 100 % Recyclingpapier

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2010

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-99004-101-7

INHALT

ZUSAMMENFASSUNG	5
1 EINLEITUNG, ZIELSETZUNG	13
2 BEWERTUNGSMASSTÄBE FÜR DIE PRÜFUNG DER UNTERLAGEN	15
3 BEURTEILUNG DER UNTERLAGEN DER NAGRA	16
3.1 Abfallinventar, Abfallzuteilung auf SMA- und HAA-Lager	16
3.2 Barrieren- und Sicherheitskonzepte sowie Sicherheitsfunktionen für SMA- und HAA-Lager	18
3.3 Methodik des Auswahlverfahrens von Großräumen, Wirtsgesteinen und Standortbereichen	24
3.4 Schritt 3: Identifikation geeigneter geologisch-tektonischer Großräume	28
3.5 Schritt 4: Identifikation bevorzugter Wirtsgesteine und einschlusswirksamer Gebirgsbereiche	32
3.6 Schritt 5: Identifikation geeigneter Konfigurationen und Festlegung von Vorschlägen für geologische Standortgebiete	36
4 BEWERTUNG DES SICHERHEITSTECHNISCHEN GUTACHTENS DES ENSI ZUM VORSCHLAG GEOLOGISCHER STANDORTGEBIETE	41
4.1 Aufgabenstellung des ENSI	41
4.2 Ergebnisse des ENSI und ihre Bewertung in dieser Fachexpertise	41
4.3 Gesamtbewertung des sicherheitstechnischen Gutachtens des ENSI	45
5 BEWERTUNG DES GUTACHTENS DER KOMMISSION NUKLEARE ENTSORGUNG (KNE)	46
5.1 Aufgabenstellung der KNE	46
5.2 Ergebnisse der KNE und Bewertung in dieser Fachexpertise	46
5.3 Gesamtbewertung der Stellungnahme der KNE in dieser Fachexpertise	51
6 BEWERTUNG DES GUTACHTENS DER EIDGENÖSSISCHEN KOMMISSION FÜR NUKLEARE SICHERHEIT (KNS)	52
6.1 Aufgabenstellung der KNS	52
6.2 Ergebnisse der KNS zum Gutachten des ENSI und Bewertung in dieser Fachexpertise	52
6.3 Gesamtbewertung der Stellungnahme der KNS und Bewertung in dieser Fachexpertise	59

7	BEWERTUNG DES ERGEBNISBERICHT DES BFE (ENTWURF, AUGUST 2010).....	61
8	PRÜFUNG MÖGLICHER AUSWIRKUNGEN AUF ÖSTERREICH	63
9	MÄNGEL, KRITISCHE VERFAHRENSCHRITTE SOWIE NACH- UND ANFORDERUNGEN	67
9.1	Darstellung von festgestellten Mängeln und kritischen Verfahrensschritten	67
9.2	Darstellung von Nachforderungen und Anforderungen	68
10	VERZEICHNIS DER HERANGEZOGENEN UNTERLAGEN	69
10.1	Zentrale Verfahrensunterlagen	69
10.2	Unterlagen zu technischen Detailfragen	69
10.3	Zusammenfassende Unterlagen (Faktenblätter).....	70
11	VERZEICHNIS SONSTIGER QUELLEN	71

ZUSAMMENFASSUNG

Ziel der Fachexpertise

Ziel ist die Klärung der Frage, ob bei Einrichtung eines Endlagers in den von der NAGRA vorgeschlagenen Standortgebieten eine potenzielle Beeinträchtigung österreichischen Staatsgebietes erfolgen kann. Dazu sind die in Etappe 1 des Sachplans geologische Tiefenlager (SGT) vorgesehenen fünf Schritte, die von der NAGRA bearbeitet wurden, auf Vollständigkeit, Plausibilität, methodische Angemessenheit und Nachvollziehbarkeit zu überprüfen. Zusätzlich sind die entsprechenden Gutachten bzw. Stellungnahmen des ENSI, der KNE und der KNS zu berücksichtigen. Abschließend ist auf den Ergebnisbericht des BFE einzugehen.

Das Ergebnis der Fachexpertise wird im Folgenden zusammenfassend dargestellt.

Schritt 1: Inventar und Abfallzuteilung für SMA- und HAA-Lager

Die Darlegungen der NAGRA zum **Abfallinventar** sind plausibel und nachvollziehbar.

Die zur **Abfallzuteilung** auf die beiden Lager angewandte Methodik erscheint ebenfalls plausibel, ebenso die Ergebnisse. Die Methodik ist allerdings komplex und in ihrer Darstellung in den Berichten der NAGRA schwer nachzuvollziehen.

Der Sachplan lässt die Möglichkeit offen, ein Kombilager (d. h. ein Lager für alle Abfallkategorien am selben Standort) zu errichten. In den Unterlagen der NAGRA fehlt eine Diskussion der Vor- und Nachteile eines solchen Kombilagers.

Schritt 2: Barrieren und Sicherheitskonzept für SMA- und HAA-Lager

Der Ansatz der NAGRA zur Bestimmung des **Betrachtungszeitraumes** erscheint plausibel und nachvollziehbar, ebenso wie die Ergebnisse (1 Million Jahre für HAA, 100.000 Jahre für SMA).

Die Darlegungen der NAGRA zum **Barrieren- und Sicherheitskonzept** sowie den Sicherheitsfunktionen beruhen auf bewährten Grundsätzen und Kenntnissen. Die Darstellung der grundsätzlichen Sachverhalte ist **vollständig, plausibel und nachvollziehbar**. Zweifel bestehen nur bei einigen Detailfragen bzw. Interpretationen zu Aspekten, die wissenschaftlich derzeit weder in der Schweiz noch in anderen Ländern abschließend geklärt sind.

Die **Langzeitstabilität der Behälter** ist vor allem für HAA von Bedeutung. NAGRA sieht Stahlbehälter vor, die eine Einschussdauer von mindestens 10.000 Jahren gewährleisten sollen und wesentlich zur Wirkung des Barrierensystems beitragen.

Obwohl speziellen Untersuchungen zu den Behältern das NAGRA-Konzept grundsätzlich bestätigen, gibt es in diesem Zusammenhang noch offene Fragen, die durch weitere Untersuchungen zu klären sind.

Bei der Bewertung der zum Teil noch nicht vollständig verstandenen Vorgänge im **Nahfeld beider vorgesehener Endlagertypen** stellt sich die Frage, inwieweit einige der von der NAGRA getroffenen Annahmen in einer realen (standortspezifischen) Endlagersituation zutreffend sind oder sein könnten, da die abgeleiteten Aussagen nicht über rein generische Betrachtungen hinausreichen. Die Ergebnisse dürfen also wegen des noch fehlenden Standortbezugs nicht überbewertet bzw. -interpretiert werden. Ansonsten sind die Darlegungen und die Ergebnisse überwiegend **vollständig, nachvollziehbar und plausibel**. **Lücken bei Vollständigkeit und Plausibilität** der Betrachtungen liegen notgedrungen dort vor, wo noch kein gesicherter abschließender Wissensstand erreicht ist.

Grundsätzliche methodische Anforderungen (gilt für die Schritte 3, 4 und 5)

Vor Beginn der Schritte 3 bis 5 wird in dieser Expertise geprüft, ob bei der Bearbeitung dieser Schritte die **fundamentalen methodischen Grundanforderungen** erfüllt sind. Diese Überprüfung zeigt, dass diese **grundsätzlichen Anforderungen für das Schweizer Auswahlverfahren sehr weitgehend erfüllt werden**.

Schritt 3: Identifizierung geeigneter geologisch-tektonischer Großräume

Die Zusammenführung der Bewertung der einzelnen Indikatoren auf die Ebene der Kriterien, die danach folgende Zusammenführung der Kriterien zu Kriteriengruppen und schließlich die Zusammenführung der Kriteriengruppen zu dem Gesamtergebnis (Aggregation) ist die schwierigste Phase bei der vergleichenden Bewertung. **Die NAGRA hat dieses Problem für die Schritte 3, 4 und 5 unzureichend gelöst**. Dieses Problem wird deshalb an dieser Stelle für alle drei Schritte zusammenfassend dargestellt.

Die von NAGRA vorgenommenen Aggregationen sind problematisch, weil die durchgeführten mathematischen Operationen (Addition, arithmetische Mittelwertbildung) im Rahmen ordinal skalierten Größen – wie hier überwiegend vorhanden – nicht zulässig sind. Dies entspricht nicht der geforderten Plausibilität. Ein ordinales Skalenniveau dient nur dazu, Objekte (z. B. Großräume) in eine Ordnung (Reihung) zu bringen.

Die praktischen Auswirkungen dieses Fehlers in den drei Auswahlritten dürften allerdings gering sein. Die deutsche Expertengruppe Schweizer Tiefenlager hat Sensitivitätsbetrachtungen (Variationen von Indikatorwerten) durchgeführt, die zeigten, dass der Einengungs- und Bewertungsprozess der NAGRA insgesamt ein robustes und belastbares Ergebnis liefert.

Ableitung und Anwendung der Kriterien in Schritt 3:

Für **Schritt 3** gilt: Bei der Identifizierung der Großräume sind vorrangig die Langzeitstabilität und die Lagergeometrie zu berücksichtigen. Die **Ableitung und Festlegung entsprechender Kriterien** durch die NAGRA ist **plausibel, vollständig und nachvollziehbar**.

Weitgehend **vollständig und nachvollziehbar** ist auch die schweizweite **Anwendung der Kriterien**. Bei der Bewertung von Großräumen für das SMA-Lager stellt sich aber die Frage, ob nicht durch eine konsequentere Anwendung der Kriterien im Bereich der Alpen eine weitergehende Differenzierung der Bewertung möglich gewesen wäre.

Insgesamt ist Schritt 3 von der NAGRA entsprechend den Anforderungen des SGT umgesetzt worden. Die Ableitung und Anwendung der Kriterien ist weitgehend plausibel und nachvollziehbar.

Schritt 4: Identifizierung potenziell geeigneter Wirtsgesteine

Die Vorgehensweise der NAGRA zur Identifizierung der bevorzugten Wirtsgesteine ist **prinzipiell nachvollziehbar**. Insbesondere das gewählte schrittweise Vorgehen mit aufeinander aufbauenden Einzelschritten und der Gebrauch von Mindestanforderungen und verschärften Anforderungen entsprechen den heutigen Anforderungen an entsprechende Verfahren. In der „**praktischen Darlegung**“ der **Vorgehensweise** zeigen die Ausführungen der NAGRA jedoch Schwächen. Es ist für Außenstehende manchmal schwierig, dem Fortgang der Argumentation zu folgen („Überkomplexität“).

Die für die Auswahl der bevorzugten Wirtsgesteine benutzten 10 Kriterien sind in 22 Indikatoren unterteilt. Diese Kriterien bzw. Indikatoren und ihre Anwendung sind insoweit als **vollständig und plausibel** anzusehen, als sie wesentliche sicherheitsorientierte Merkmale von Wirtsgesteinen abdecken.

Allerdings wird bei der Anwendung einiger Kriterien darauf hingewiesen, dass bei fehlenden Erfahrungswerten für bestimmte Parameter auf „generelle Erfahrungen“ zurückgegriffen wird. Dieses „expert judgement“, d. h. die Erfahrung bzw. Meinung einer Gruppe von Experten, tritt an die Stelle objektiver Erkenntnisse und kann so die Bewertung in unbekanntem Maße beeinflussen.

Insgesamt ist Schritt 4 von der NAGRA entsprechend den Anforderungen des SGT umgesetzt worden. Die Ableitung und Anwendung der Kriterien muss im Großen und Ganzen als plausibel und vollständig angesehen werden. Die Nachvollziehbarkeit, die im Prinzip gegeben ist, erfordert praktisch aber erhebliche Anstrengungen. Problematisch ist der Einfluss von normativen Werturteilen („expert judgement“), wenn nicht ausdrücklich und im Einzelfall darauf hingewiesen wird.

Schritt 5: Abgrenzung bevorzugter Standortbereiche

Die von NAGRA gewählte schrittweise Vorgehensweise für die **Identifikation potenzieller und bevorzugter Standortbereiche erfüllt die Anforderungen nach Vollständigkeit, Plausibilität und Nachvollziehbarkeit**. Insbesondere die Anwendung von Mindestanforderungen hinsichtlich der benutzten Kriterien ermöglicht die begründete räumliche Festlegung (den „Zuschnitt“) der möglichen Bereiche. Auch die anschließende Anwendung sicherheitsorientierter verschärfter Anforderungen hinsichtlich der benutzten Kriterien ist sachgerecht und führt bei korrekter Anwendung folgerichtig zu den bevorzugten Bereichen.

Nach ihrer Identifikation werden die bevorzugten Bereiche vergleichend bewertet. Dies geschieht jeweils getrennt für SMA- und HAA-Lager. Bei der Bewertung werden sämtliche Kriterien gemäß SGT benutzt, und es werden die Ergebnisse aller bisherigen Einengungsschritte herangezogen.

Die Aggregation über die Hierarchiestufen Indikator, Kriterium, Kriteriengruppe bis zum geologischen Standortgebiet geschieht auch hier mittels der bei ordinaler Skalierung nicht zulässigen arithmetischen Mittelwertbildung (zu diesem Problem s. Schritt 3). Allerdings dürften die praktischen Auswirkungen nicht sehr bedeutsam sein. Grund dafür ist die detaillierte Sachauseinandersetzung der NAGRA mit den einzelnen Standortgebieten sowie die Anwendung von Mindestanforderungen und verschärften Anforderungen, die dazu führen, dass ungeeignete Standortgebiete vorher schon eliminiert werden.

Sieht man von dem genannten methodischen Schwachpunkt ab, ist die Vorgehensweise der NAGRA auch für diesen Arbeitsschritt als vollständig und plausibel zu bewerten. Auch die Nachvollziehbarkeit ist gegeben, setzt aber eine intensive Beschäftigung mit der Materie und dem Vorgehen der NAGRA voraus. Insgesamt sind die Anforderungen des SGT erfüllt.

Bewertung des Sicherheitstechnischen Gutachtens des ENSI (Januar 2010)

Das sicherheitstechnische Gutachten des ENSI zum Vorgehen der NAGRA bei der Ermittlung von Vorschlägen zu geologischen Standortgebieten stellt eine detaillierte und profunde Bewertung der Unterlagen der NAGRA dar. **Es ist in seinen Aussagen plausibel und nachvollziehbar**. Zu diversen Aspekten hat ENSI eigene Berechnungen und Überlegungen angestellt, die im Ergebnis im Prinzip mit den Aussagen der NAGRA übereinstimmen.

Die Schritte 1 bis 5 werden von ENSI nachvollzogen. Einzelne Diskrepanzen zwischen ENSI und NAGRA haben keinen Einfluss auf das Gesamtergebnis. Dies gilt insbesondere für die Bewertung von geowissenschaftlichen Sachverhalten, über die in den Geowissenschaften noch keine abschließend gesicherten Meinungen vorliegen.

Der Methodik der NAGRA, Einzelergebnisse zusammenzufassen und vergleichend zu bewerten (Aggregation), stimmt ENSI nicht zu. ENSI benutzt bei seiner eigenständigen Beurteilung von Wirtsgesteinen usw. keine zahlenmäßige Aggregationsmethodik, was die entsprechende Kritik dieser Fachexpertise stützt.

Zusammenfassend bleibt festzustellen, dass das Gutachten des ENSI eine vollständige, plausible und nachvollziehbare Bewertung der Arbeiten der NAGRA darstellt. Die von ENSI festgestellten Differenzen zur NAGRA sind nachgeordneter Natur. ENSI trägt die Ergebnisse der NAGRA insgesamt mit. Damit entspricht die Bewertung des ENSI weitgehend derjenigen in dieser Fachexpertise.

Bewertung des Gutachtens der KNE (Februar 2010)

Die Stellungnahme der KNE wurde zum Zwecke der Beratung des ENSI erstellt und konzentriert sich auf sicherheitsorientierte geowissenschaftliche und bautechnische Aspekte. Wesentliche Kritikpunkte der KNE an den Arbeiten der NAGRA beziehen sich auf folgende Aspekte:

- Die Bewertungsmethodik des Einengungsprozesses mit Mittelwertbildung bei der Aggregation der Ergebnisse sowie die von der NAGRA eingeführten „Zwischenwerte“ bei den Bewertungszahlen werden als nicht nachvollziehbar begründet angesehen. An einzelnen Punkten wird der Einfluss normativer Wertungen kritisiert.
- Die Bewertung des SMA-Standortgebietes Wellenberg wird von KNE deutlich kritischer gesehen von der NAGRA. Außerdem wird die ungleiche Behandlung des Helvetikums des Alpennordrandes gegenüber allen anderen Standortgebieten moniert.
- Die unzureichende Berücksichtigung des potenziellen Radionuklidtransportes durch horizontal verlaufende Aquifere mit nachfolgender Exfiltration in Vorfluter wird angemerkt.
- Die Auswirkungen der vollflächigen Stützmittel zum Lagerausbau auf die Verhältnisse des Nahfeldes und damit auf die Barrierenwirkung werden kritisch gesehen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass für die KNE die Ergebnisse der von NAGRA vorgelegten Unterlagen trotz einzelner deutlicher Kritikpunkte insgesamt nachvollziehbar und plausibel sind. Wesentliche Kritikpunkte (s. o.) der KNE sind auch in dieser Fachexpertise bereits identifiziert worden und werden vollumfänglich geteilt. Insgesamt ist der Stellungnahme der KNE, insbesondere bezüglich der angeführten Kritikpunkte, zuzustimmen.

Bewertung der Stellungnahme der KNS (April 2010)

KNS hat die Aufgabe, zum Gutachten des ENSI Stellung zu nehmen, das seinerseits die Unterlagen der NAGRA zu Etappe 1 des SGT bewertet hat. Insgesamt stimmt KNS der Bewertung des ENSI zu. Wesentliche Anmerkungen zur Stellungnahme von KNS sind:

- Die möglichen sicherheitsmäßigen Vor- und Nachteile eines Kombilagers werden von KNS nicht thematisiert.

- Der Feststellung von KNS, dass etliche Prozesse im Nahfeld des Tiefenlagers (z. B. Gasbildung) noch nicht abschließend gelöst sind, ist zuzustimmen. Allerdings ist nicht nachvollziehbar, warum KNS sich nicht mit den Problemen befasst, die aus dem Vollausbau des Tiefenlagers resultieren können.
- KNS fordert nicht zuletzt aus Sicherheitsgründen auch Tiefenlagen von mehr als 900 m für das HAA-Lager. Dieser Forderung ist zuzustimmen, sofern die bautechnische Machbarkeit gegeben ist.
- KNS fordert gleichen Kenntnisstand für alle Standortbereiche beim Einengungsverfahren. Diese methodisch richtige Forderung ist in der Praxis nicht immer zeitnah umzusetzen. Deshalb ist im Verfahren zu gewährleisten, dass kein Wirtsgestein oder Standort allein wegen mangelnder Daten ausscheidet. Dies ist nach Meinung der Autoren dieser Fachexpertise gewährleistet.
- Den kritischen Anmerkungen der KNS hinsichtlich Tiefenerosion, Rinnenbildung und Neotektonik ist zuzustimmen.
- Die bezüglich des Standortgebietes Wellenberg von KNS geäußerte Einschätzung „erschwerte Bewertung“ ist nachvollziehbar.
- Sonstigen Anmerkungen von KNS, speziell bezüglich der Störungszonen, beschränkter Kenntnisse über einige Wirtsgesteine, der Bevorzugung homogener dichter Wirtsgesteine und sonstiger Hinweisen und Empfehlungen, ist zuzustimmen.

Zusammenfassend kommt KNS zu dem Ergebnis, dass die Aussagen im Gutachten des ENSI insgesamt nachvollziehbar und plausibel sind. Dieser Aussage von KNS sowie den angeführten kritischen Anmerkungen wird in dieser Fachexpertise zugestimmt. Bemerkenswert ist, dass KNS sich auch mit bewertungsmethodischen Fragen beschäftigt hat, jedoch wurde der wichtige Gesichtspunkt der Aggregation nicht behandelt, obwohl ENSI dies in seinem Gutachten getan hat.

Der Entwurf des Sachplans Geologische Tiefenlager: Etappe 1. Ergebnisbericht: Festlegungen und Objektblätte (BFE August 2010)

Eine Bewertung dieses zentralen Dokuments der Etappe 1 des SGT erübrigt sich, da es hinsichtlich des Sachplans geologische Tiefenlager (Etappe 1) nur nachrichtlichen Charakter hat. BFE fasst die Ergebnisse aus allen Gutachten und Stellungnahmen zu Etappe 1 SGT zusammen und leitet daraus die erforderlichen Festlegungen für das weitere Vorgehen im Standortsuchverfahren ab. Die vom BFE getroffenen Festlegungen betreffen – neben der Lage und dem Schutz der geologischen Standortgebiete und der Festlegung der Planungssperimeter – im Wesentlichen die Anforderungen an die folgende Etappe 2 des SGT.

Prüfung spezieller Aspekte mit möglichen Auswirkungen auf Österreich

Die Überprüfung potenzieller Wegsamkeiten zur Ausbreitung von Radionukliden aus den von NAGRA ausgewählten vorrangigen Standortbereichen, insbesondere über den Grundwasserpfad (bzw. über den Pfad Grundwasser – Oberflächenwasser) zeigt, dass zum gegenwärtigen Zeitpunkt des Schweizer Suchverfahrens dazu **keine belastbaren Aussagen** möglich sind. Dazu benötigt man u. a. standort- und regionsspezifische hydrogeologische und hydraulische Daten. Diese sind für Etappe 2 des SGT zu erwarten.

Dennoch wäre es vorteilhaft gewesen, wenn NAGRA die regionalen hydrogeologischen Verhältnisse auf Grundlage der vorhandenen Kenntnisse stärker mit den Standortregionen verknüpft hätte. Dann nämlich hätten erste Überlegungen in der Richtung, wie KNE sie in seiner Stellungnahme vornimmt, zu weitergehenden orientierenden Aussagen über die potenzielle regionale bzw. großräumige Ausdehnung von Radionukliden mit dem Grund- und Oberflächenwasser führen können. Daraus wären erste grob orientierende Hinweise über eine mögliche langfristige Betroffenheit Österreichs ableitbar gewesen.

Ähnliches gilt für spezielle Einzelaspekte (z. B. Tektonik, Seismik, Felsmechanik, Klimaveränderung, übertiefe Felsrinnen u. ä.). Die NAGRA hat sich damit beschäftigt, allerdings lediglich auf einem Niveau, das für die Identifikation von Großräumen, Wirtsgesteinen und Standortbereichen erforderlich und ausreichend ist. Standortspezifische Aussagen sind ohne weitere Daten bzw. Untersuchungen nicht möglich, waren aber zur Lösung der jetzigen Aufgabe im Rahmen des Sachplans aber auch nicht erforderlich.

Darstellung von festgestellten Mängeln und kritischen Verfahrensschritten

Die von der NAGRA umgesetzte Etappe 1 des SGT (Schritte 1 bis 5) ist insgesamt vollständig, plausibel und nachvollziehbar gestaltet. **Insofern sind keine gravierenden Mängel feststellbar.** Einzelne kritisch anzumerkende Aspekte besitzen für den Ablauf und das Ergebnis des Verfahrens nur nachgeordnete Bedeutung.

Der einzige schwerwiegende Kritikpunkt betrifft die Methodik der Aggregation von Einzelbewertungen zu Gesamtbewertungen in den Schritten 3 bis 5. Die Auswirkungen dieses Aspekts auf das Endergebnis sind jedoch gering, da die NAGRA mit Mindestanforderungen und verschärften Anforderungen gearbeitet und darüber hinaus eine profunde fachliche Auseinandersetzung mit den verschiedenen zu vergleichenden Alternativen geführt hat.

Weitere Schwachpunkte beziehen sich auf einzelne Darstellungen und/oder Bewertungen. Dies betrifft vor allem die schwer nachvollziehbare Bewertung des Standortbereichs Wellenberg für ein SMA-Lager im Bereich der Alpen (Helvetikum). Bei anderen Aspekten (z. B. zum Verhalten einzelner Barrierenkomponenten im Nahbereich des Endlagers) liegen zudem noch keine letztend-

lich abgesicherten Kenntnisse vor. Andere Aspekte (z. B. zukünftiges maximales Ausmaß der linearen fluviatilen Erosionsraten) unterliegen Annahmen und Interpretationen und müssen in Zukunft wegen ihrer potenziellen Sicherheitsrelevanz genauestens berücksichtigt werden.

Darstellung der Nachforderungen und Anforderungen

Nachforderungen: Die identifizierten Mängel führen wegen ihres insgesamt geringen Einflusses auf das Gesamtergebnis des Verfahrens zu keinen Nachforderungen.

Anforderungen: Erforderliche Anforderungen für die nachfolgende Etappe 2 des SGT sind:

- Erstellung einer **aussagekräftigen standortspezifischen und regionalen geo-wissenschaftliche Datenbasis**. Hierzu gehört auch die Identifikation potenzieller Ausbreitungswege für Radionuklide im großräumigen Maßstab. Die zurzeit vorliegenden Daten reichen dazu nicht aus. Die Datenbasis muss für jeden Standort einen gleichartigen und ausreichenden Informationsstand gewährleisten. Diese Anforderungen sind mit hoher Priorität umzusetzen.
- Für die vorgesehenen **provisorischen Sicherheitsanalysen** muss vorab festgelegt werden, welche Funktion und welche Aussagekraft ihnen zukommt, und welche Qualität und Quantität die dazu benötigten Daten aufweisen müssen.
- Es muss eine **angemessene Methode zur vergleichenden Bewertung der Standorte** zur Verfügung gestellt werden. Außerdem sollten **normative Wertungen** als solche im Text klar **kenntlich gemacht** und erläutert werden.
- Die in dieser Fachexpertise positiv aufgenommene Anforderung der KNE nach größerer **Tiefenlage des HAA-Lagers** sollte auf bautechnische Umsetzbarkeit überprüft werden.

FAZIT DER FACHEXPERTISE

Insgesamt ist mit Blick auf die Fragestellung festzustellen, dass die von der NAGRA durchgeführten Untersuchungen zur Etappe 1 des SGT trotz einzelner zu kritisierender Aspekte ein insgesamt plausibles und nachvollziehbares Ergebnis erbracht haben. Dies wird gestützt durch die in der Fachexpertise vorgenommene Bewertung von entsprechenden Gutachten und Stellungnahmen des ENSI, der KNE und der KNS. Allerdings erlauben die vorliegenden geowissenschaftlichen Daten noch keine belastbare Einschätzung der potenziellen Betroffenheit Österreichs. Diese ist erst möglich, wenn die Lagerstandorte in Etappe 2 des SGT auf Grundlage detaillierter geo-wissenschaftlicher Informationen und den Ergebnissen vorläufiger Sicherheitsanalysen ausgewählt worden sind. Dazu sind grundsätzliche Anforderungen formuliert worden.

1 EINLEITUNG, ZIELSETZUNG

In der Schweiz läuft zurzeit die Standortsuche für geologische Tiefenlager für radioaktive Abfälle (Kategorien HAA und SMA). Das Auswahlverfahren für Standorte wird im „Sachplan geologische Tiefenlager“ (BFE 2008) geregelt. Dieser Sachplan sieht drei Etappen vor:

- Etappe 1 – Identifizierung geeigneter Standortgebiete für jede Abfallkategorie
- Etappe 2 – Vorschlag von mindestens zwei Standorten je Abfallkategorie
- Etappe 3 – Vertiefte Untersuchung der in Etappe 2 ausgewählten Standorte, Auswahl je eines Standortes für HAA und SMA

Gemeinsame Standorte für beide Abfallkategorien sind möglich.

Die Umsetzung des Sachplans erfolgt durch die Abfallverursacher (Nationale Genossenschaft für die Entsorgung radioaktiver Abfälle, NAGRA). Die zuständigen Schweizer Behörden und Expertengremien nehmen in jeder Etappe dazu Stellung; das Bundesamt für Energie (BFE) erstellt jeweils einen Ergebnisbericht, der zur öffentlichen Anhörung ausgelegt wird.

Im Rahmen von Etappe 1 hat die NAGRA Ende 2008 ihre Vorschläge für Standortgebiete vorgelegt, zusammen mit einer Reihe von technischen Berichten und Faktenblättern (einige ergänzende Berichte wurden 2009 publiziert). Ein sicherheitstechnisches Gutachten zu den Vorschlägen der NAGRA wurde von ENSI (Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat) im Januar 2010 veröffentlicht. Die Stellungnahme der KNE (Kommission Nukleare Entsorgung) liegt seit Februar 2010 vor, jene der KNS (Eidgenössische Kommission für Nukleare Sicherheit) seit April 2010.

Ende August 2010 wurde schließlich der Entwurf des Ergebnisberichtes des BFE veröffentlicht.

Der Ergebnisbericht des BFE ist das zentrale Dokument in Etappe 1 des Sachplanverfahrens geologische Tiefenlager. In diesem Dokument werden die Standortgebiete in Form von Objektblättern (kurze Texterläuterung plus Kartendarstellung) verbindlich festgelegt. Der Entwurf des Ergebnisberichtes ist Gegenstand weiterer Anhörungen. Anschließend wird er überarbeitet und den Kantonen für eine letzte Stellungnahme zugeleitet. Danach wird der Ergebnisbericht dem Bundesrat zur Genehmigung unterbreitet.

Die Verfasser wurden vom Umweltbundesamt beauftragt, eine Fachexpertise zu den o.g. Unterlagen zu erstellen. An Berichten sind vorzulegen:

- Ein Zwischenbericht zu den Unterlagen der NAGRA und dem ENSI-Gutachten
- Ein Endbericht (zusammenfassende Fachstellungnahme), in dem auch die Stellungnahmen von KNE und KNS sowie der Ergebnisbericht des BFE berücksichtigt werden.

Nachdem der Zwischenbericht im Juli 2010 erstellt wurde, wird hiermit der Endbericht vorgelegt.

Zu seiner Erstellung haben die Verfasser die Unterlagen der NAGRA, das ENSI-Gutachten, die Stellungnahmen von KNE und KNS sowie den Entwurf des Ergebnisberichtes des BFE ausgewertet.

Das **Hauptziel der Fachexpertise** insgesamt ist die Klärung folgender Fragestellungen (gemäß Leistungsbeschreibung in der Beauftragung durch das Umweltbundesamt):

Sind die Risiken eines geologischen Tiefenlagers, insbesondere der nachhaltige sichere Einschluss der zur Endlagerung bestimmten Abfälle, in den vorgeschlagenen Regionen und mit der vorgeschlagenen Technologie derart nachvollziehbar dargestellt, dass eine Beurteilung einer während der Lagerungsdauer (mind. 1 Million Jahre) eintretenden potenziellen grenzüberschreitenden Beeinträchtigung österreichischen Staatsgebietes erfolgen kann?

Sollten Risiken identifiziert werden können, die eine potenzielle grenzüberschreitende Gefährdung Österreichs denkbar erscheinen lassen, sind diese darzustellen bzw. Problembereiche derartig darzustellen, dass sich hieraus Schlussfolgerungen auf die Qualität der vorliegenden bzw. Anforderungen an noch auszuarbeitende Unterlagen ergeben.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass Aussagen zu den Risiken der Tiefenlager und potenziellen Auswirkungen auf Österreich im Rahmen von Etappe 1 des Sachplans nur begrenzt möglich sind, weil die dazu erforderlichen Sicherheitsanalysen noch ausstehen. Die ersten derartigen Analysen werden für Standorte, die in den Standortgebieten identifiziert werden, in Etappe 2 durchgeführt.

Weiterhin können Untersuchungen erforderlich werden, um geowissenschaftliche Daten zu erfassen, die für die Sicherheitsanalysen sowie auch für die qualitative Bewertung der Standorte benötigt werden. Auch diese erfolgen erst in Etappe 2.

Aussagen zu den o. g. Fragestellungen werden sich somit im Wesentlichen darauf zu beschränken haben, zu bewerten, ob die bis August 2010 durchgeführten Arbeiten im Rahmen der Etappe 1 des Sachplans geologische Tiefenlager eine angemessene Grundlage für die späteren Etappen darstellen, bzw. ob zum jetzigen Zeitpunkt mit Blick auf eine grenzüberschreitende Gefährdung Österreichs bereits Hinweise auf Defizite, Probleme o. ä. erkennbar sind, die dann gegenüber der schweizerischen Seite zu thematisieren wären.

Im Rahmen der Fachexpertise wird weiterhin die Fragestellung bearbeitet, ob die Auswahl der Standortregionen in Etappe 1 des Sachplans korrekt und fachlich nachvollziehbar erfolgt ist. Die Beantwortung dieser Frage stellt eine wichtige und unverzichtbare Grundlage für die Bearbeitung der speziell auf mögliche Auswirkungen auf Österreich bezogenen Fragestellungen dar.

2 BEWERTUNGSMASSTÄBE FÜR DIE PRÜFUNG DER UNTERLAGEN

Die in den Kapiteln 3. und 4. vorgenommene Bewertung der Unterlagen der NAGRA und des ENSI geschieht mit Hilfe der qualitativen Kriterien

- Vollständigkeit,
- Plausibilität,
- Nachvollziehbarkeit,
- Methodische Angemessenheit.

Vollständigkeit bedeutet, dass der zu beurteilende Sachverhalt umfassend abgehandelt wird, und dass alle wichtigen Einflussgrößen, Beziehungen und Wechselwirkungen berücksichtigt worden sind.

Plausibilität bedeutet, dass die Argumentation bzw. Begründung für eine getroffene Entscheidung widerspruchsfrei ist und dem Stand von Wissenschaft und Technik entspricht.

Nachvollziehbarkeit meint, dass die Vorgehensweise bzw. der Weg zu den getroffenen Entscheidungen transparent und somit auch für Außenstehende erkennbar ist.

Methodische Angemessenheit bedeutet, dass zur Behandlung eines bestimmten Sachverhaltes nur geeignete Methoden anzuwenden sind, und entsprechende Anforderungen erfüllt werden müssen. Die Anwendung ungeeigneter Methoden führt erfahrungsgemäß zu unzureichenden Ergebnissen. Dieses Kriterium bezieht sich im Wesentlichen auf die Auswahl von bevorzugten Großräumen, Wirtsgesteinen und Standortbereichen durch die NAGRA.

Mittels dieser vier „Leitkriterien“ kann natürlich nicht jede Einzelaussage in den Unterlagen geprüft werden, es kommt vielmehr darauf an, die **wesentlichen Aussagen** und Schlussfolgerungen (Hauptaussagen) entsprechend zu bewerten. Dabei muss ein gewisser Grad an Unsicherheit in Kauf genommen werden, da zu bestimmten – insbesondere geowissenschaftlichen – Aspekten zum gegenwärtigen Stand des Verfahrens noch keine abschließenden Aussagen möglich sind.

3 BEURTEILUNG DER UNTERLAGEN DER NAGRA

In diesem Kapitel erfolgt, entsprechend den Ausführungen in Kapitel 2, eine fachliche Prüfung der Unterlagen der NAGRA auf Vollständigkeit, Nachvollziehbarkeit, Plausibilität und methodische Angemessenheit.

3.1 Abfallinventar, Abfallzuteilung auf SMA- und HAA-Lager

Abfallinventar

Ausgangspunkt für die Planung der Tiefenlager sind lt. NAGRA (NTB 08-03, Kap. 2.2.1) die Abfälle aus den bestehenden KKW bei einer angenommenen Betriebsdauer von 50 Jahren, sowie die Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung (MIF), die bis 2050 anfallen. Tabelle 2.2-1a in NTB 08-03 gibt die entsprechenden Mengen für verschiedene Abfallkategorien an.

Weitere Tabellen geben die zusätzlich erwarteten Abfallmengen bei einer Verlängerung der Betriebsdauer der KKW und der Sammelperiode der MIF-Abfälle um jeweils 10 Jahre an, sowie die zusätzlichen Abfallmengen bei einer optionalen Elektrizitätsproduktion von zusätzlich 5 GWe während 60 Jahren durch neue KKW, bei entsprechender Verlängerung der MIF-Sammelperiode.

Bewertung

Die Angaben zu den Abfallmengen erscheinen plausibel; sie sind mit früheren Angaben kompatibel.

Theoretisch ist nicht auszuschließen, dass die zu entsorgende Abfallmenge einen Einfluss auf die Standortsuche hat – bestimmte potenzielle Standorte könnten nur für kleinere Mengen geeignet sein. Praktisch dürfte dieser Aspekt jedoch im Falle der Schweiz von untergeordneter Bedeutung sein. Das schweizerische Atomprogramm ist insgesamt – verglichen etwa mit Deutschland oder Frankreich – relativ klein. Dementsprechend sind auch die Abfallmengen relativ gering. Dies gilt auch noch für die Varianten mit längerer Betriebsdauer und neuen KKW. Mengenprobleme bei der Standortsuche dürften, wenn überhaupt, erst bei größeren Inventaren auftreten.

Abfallzuteilung auf SMA- und HAA-Lager

NAGRA unterscheidet insgesamt zwischen HAA (einschl. BE), ATA (alphatoxische Abfälle) und SMA. Die ATA sowie ein Teil der SMA zeichnen sich durch hohe Langzeit-Toxizität aus. Diese Abfälle sollen unter der Bezeichnung LMA (langlebige mittelaktive Abfälle) zusammen mit dem HAA gelagert werden. Die Frage bei der Abfallzuteilung ist letztlich, welche Arten von SMA im Einzelnen der Kategorie LMA zugeordnet werden sollen (die Grenze zwischen LMA-SMA und anderen SMA ist nicht eindeutig vorgegeben).

Bei der Abfallzuteilung sind verschiedene Abfalleigenschaften wie Radionuklidinventar, Radiotoxizität, Abfallvolumen, Materialeigenschaften, Wärmeentwicklung usw. zu berücksichtigen. Bei der Festlegung der mit HAA zusammenzule-

genden Kategorie LMA geht es jedoch letztlich nur darum, die dosisdominierenden SMA-Sorten zu identifizieren. Dabei werden für ein generisches SMA-Lager die von den einzelnen SMA-Sorten hervorgerufenen maximalen Dosen für Menschen, die in der Umgebung des Lagers leben, ermittelt. Es zeigt sich, dass einige wenige SMA-Kategorien, deren Anteil am Gesamtvolumen gering ist, sehr stark zu der Strahlenbelastung beitragen.

Werden diese Kategorien den LMA zugeordnet und mit HAA gelagert, kann sich die Strahlenbelastung gegenüber dem kompletten SMA-Lager um eine Größenordnung oder mehr reduzieren – oder es kann ein Standort für das SMA-Lager gewählt werden, der bei geringeren Anforderungen an das Wirtgestein zur gleichen Strahlenbelastung führt. Die Standortwahl für das SMA-Lager wird somit erleichtert. Werden allerdings zu große Anteile des SMA dem HAA-Lager zugeordnet, wird der Volumenbedarf dort zu groß.

Im Rahmen dieser Optimierung hat NAGRA SMA-Abfälle, die ca. 0,5 % des Gesamtvolumens ausmachen, dem HAA-Lager zugeordnet (NTB 08-03, Kap. 2.2.2; s. auch NTB 08-05, Kap. 3.2.3).

Bewertung der Abfallzuteilung

Die von der NAGRA angewandte Methodik zur Abfallzuteilung erscheint plausibel, ebenso die Ergebnisse. Die Methodik ist freilich komplex und in ihrer Darstellung in den Berichten der NAGRA schwer nachzuvollziehen.

In diesem Zusammenhang ist allerdings anzumerken, dass der Sachplan geologische Tiefenlager die Eventualität offen lässt, statt der Errichtung von zwei Lagern ein Lager für alle Abfallkategorien am selben Standort (Kombilager) zu errichten.

Abgesehen von der Erwähnung möglicher Synergien (z. B. gemeinsame Oberflächenanlagen, teilweise gemeinsame untertägige Lagerteile) erfolgt im Sachplan sowie in den vorliegenden Unterlagen der NAGRA keine Diskussion von potenziellen Vor- und Nachteilen eines solchen Kombilagere.

Auf einer Sitzung des Technischen Forums Sicherheit gab NAGRA zu diesem Thema folgende Erklärung ab (TFS 2010a):

Es gibt zwei Möglichkeiten für ein Kombilager: (a) beide Lager sind zwar am gleichen Standort, aber in unterschiedlichen Wirtgesteinen; (b) die Lager sind am gleichen Standort und im gleichen Wirtgestein. Im Falle (a) handelt es sich letztlich um zwei Lager, die nicht viel anders angelegt sind, als wenn sie an separaten Standorten wären. Die Zugangstunnel treffen sich außerhalb von Wirt- und Rahmngesteinen, nur das letzte Tunnelstück zur Erdoberfläche ist gemeinsam. Auch im Falle (b) müssten die beiden Lagerteile so weit getrennt werden, dass keine negative gegenseitige Beeinflussung (durch Wärmeentwicklung oder chemische Einflüsse) möglich ist.

Als Vorteil kann gesehen werden, dass im Fall (b) die Grenze zwischen dem Wirtgestein, in dem sich das Tiefenlager befindet, und den umgebenden Schichten nur zweimal (anstatt, bei getrennten Lagern, viermal) durchlöchert wird.

Dies wird von NAGRA allerdings nicht als wesentlich eingeschätzt. Zum einen weist NAGRA darauf hin, dass die beiden Lagerteile separate Zugänge haben müssen. Die Anzahl der Zugänge innerhalb des Wirtgesteins würde sich bei einem Kombilager daher grundsätzlich nicht reduzieren. Zum anderen sei eine

ausreichend dichte Versiegelung möglich; die Freisetzungen aus dem Wirtgestein über die Tunnel und Schächte machten nur einen kleinen Teil der gesamten Freisetzungen aus. Daher ist dies für NAGRA kein Entscheidungskriterium.

Die Entscheidung, ob Kombilager oder nicht, wird somit in erster Linie nach sozio-ökonomischen und ökologischen Kriterien gefällt werden, und nicht nach Sicherheits-Kriterien.

Eine wichtige Voraussetzung dafür, dass die Einschätzung der NAGRA zutrifft, ist, dass tatsächlich ein wirksamer dichter Verschluss der Tunnel und Schächte erreicht wird. Das Verschlusskonzept ist jedoch noch in Entwicklung. Es sind dazu umfangreiche Untersuchungen erforderlich (TfS 2010b). Dieser Punkt wird daher noch weiter zu verfolgen sein.

3.2 Barrieren- und Sicherheitskonzepte sowie Sicherheitsfunktionen für SMA- und HAA-Lager

Bemerkung zu den Betrachtungszeiträumen

Im „Sachplan geologische Tiefenlager“ erfolgt keine Festlegung der Zeiträume, für die der Nachweis der Langzeitsicherheit für HAA- und SMA-Lager erbracht werden muss (Betrachtungs- oder Nachweiszeiträume). Diese Festlegung hat durch den Entsorgungspflichtigen (die NAGRA) im Rahmen von Schritt 2 der Etappe 1 zu erfolgen (BFE 2008, Anhang I). Sie kann im weiteren Verlauf des Verfahrens noch präzisiert werden.

Der Betrachtungszeitraum legt fest, wie lange die Barrieren des HAA- bzw. SMA-Lagers ihre Funktion mindestens zu erfüllen haben. Nach Ablauf des Betrachtungszeitraumes kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Lagerkammern durch geologische Vorgänge zunehmend Einflüssen der Erdoberfläche ausgesetzt sind. Auch dann soll der Variationsbereich der möglichen radiologischen Einflüsse im Bereich der natürlichen radiologischen Umweltrisiken liegen.

Einfach ausgedrückt: Die Tiefenlager dürfen erst dann in den Einfluss der Erdoberfläche kommen, wenn von ihnen kein besonderes radiologisches Risiko mehr ausgeht. Zu diesem Zeitpunkt endet der Betrachtungszeitraum.

Anhand der Analyse von drei Modellen, in denen die Lager in die Nähe der Erdoberfläche gelangen, legt NAGRA Betrachtungszeiträume von 1 Million Jahre für das HAA-Lager und von 100.000 Jahren für das SMA-Lager fest (NTB 08-05, 2.5.6 und A.5.4). Der Zeitraum von 1 Million Jahre entspricht der Anforderung in der Richtlinie ENSI-G03 (ENSI 2009).

Bewertung

Ein Betrachtungszeitraum von 1 Million Jahre stimmt mit den Positionen überein, die auch in anderen Ländern vertreten werden. Beispielsweise wird in Deutschland der Zeitraum von 1 Mio. Jahre bei der Endlagerung betrachtet, weil man für diesen Zeitraum bei günstigen Bedingungen eine geowissenschaftlich begründete Prognose erstellen kann (AKEND 2002). Die Prognose über 1 Million Jahre ist heute in den Geowissenschaften Stand der Wissenschaft und Technik – allerdings nur unter bestimmten Bedingungen. Dazu gehören unter anderem

ein mehrere Jahrtausende umfassender eindeutiger und nachvollziehbarer Ablauf der Erdgeschichte in der betrachteten Region sowie klar erkennbare Ursachen für die Phänomene, die zum heutigen Erscheinungsbild der Region geführt haben.

Die Annahme eines Betrachtungszeitraumes von 100.000 Jahren für das SMA-Lager erscheint plausibel. Die o. g. Modellrechnungen der NAGRA zeigen für das SMA-Lager Werte der Strahlenbelastung, die bereits nach 100.000 Jahren auf die Größenordnung abgesunken sind, wie die Strahlenbelastung durch das HAA-Lager nach 1 Million Jahren. Die Betrachtung von radioaktivem Inventar und Radiotoxizität bestätigt die Plausibilität dieser Ergebnisse – bei diesen Indikatoren liegt das HAA-Lager nach 1 Million Jahre noch deutlich höher als das SMA-Lager nach 100.000 Jahren (NTB 08-05, 3.2.2).

Überblick über das Barrieren- und Sicherheitskonzept

Die entsprechenden Ausführungen der NAGRA sind im Bericht NTB 08-05 im Detail dargestellt. Auf diese Detaildarstellung wird nur so weit eingegangen, wie es für das Verständnis und die Bearbeitung der Hauptaufgabenstellung (s. Kap. 1.) von Bedeutung ist. Ansonsten sind die Ausführungen in NTB 08-05 nur von nachrangiger Bedeutung.

In NTB 08-05 wird sowohl für das SMA-Lager als auch für das HAA-Lager jeweils ein Barrieren- und Sicherheitskonzept dargestellt; Sicherheitsfunktionen werden abgeleitet. Die Sicherheitsbarrieren bestehen für beide Lagertypen aus verschiedenen Elementen (s. u., Tab. 1)

Diese **Sicherheitsbarrieren** stellen jeweils ein gestaffeltes passives **Barriersystem** dar, dessen einzelne Bestandteile (technischer und natürlicher/geologischer Art) jeweils spezifische Beiträge zur Sicherheit des Gesamtsystems liefern. Dabei bedeutet der Begriff „passives Barriersystem“, dass es ohne weiteren menschlichen Beitrag langfristig funktionsfähig bleiben soll.

Die einzelnen Sicherheitsbarrieren gewährleisten einzelne **Sicherheitsfunktionen**, die nach NTB 08-05 zusammengefasst folgendermaßen lauten:

- Isolation (physische Trennung der Abfälle vom Menschen),
- Stabilität (Gewährleistung Langzeitstabilität),
- Einschluss (möglichst langer Einschluss der Radionuklide in Endlagerbehältern und Verfüllung),
- Verzögerte Freisetzung der Radionuklide,
- Rückhaltung der Radionuklide im Nahfeld der Einlagerung und in der Geosphäre,
- Kleine Freisetzungsraten (durch viele verschiedenen Prozesse sollen möglichst keine oder nur sehr kleine Radionuklidkonzentrationen den Menschen erreichen).

Tabelle 1: Darstellung der wesentlichen Sicherheitsbarrieren für SMA/LMA und HAA/BE (Quelle: NTB 08-05)

Sicherheitsbarrieren SMA bzw. LMA	Sicherheitsbarrieren BE bzw. HAA
Abfallmatrix (diverse Materialien)	Abfallmatrix (UO ₂ /MOX) oder Glas
Endlagerbehälter	Endlagerbehälter
Verfüllung (Zementmörtel)	Verfüllung (Bentonit)
Wirtsgestein	Wirtsgestein
Geologische Situation im Umfeld des Wirtsgesteins	Geologische Situation im Umfeld des Wirtsgesteins
Lagerkammern im tiefen Untergrund (Schutz und Isolation)	Lagerkammern im tiefen Untergrund (Schutz und Isolation)

Das **Sicherheitskonzept** zeigt also auf, wie die verschiedenen Barrieren und die ihnen zuzuordnenden Sicherheitsfunktionen zur Sicherheit des Gesamtsystems des geologischen Tiefenlagers beitragen. Sein Kern besteht darin, dass sowohl technische als auch geologische Barrieren jeweils ihre spezifischen Beiträge zur Gewährleistung der (Langzeit-) Sicherheit beitragen. Daraus werden auch entsprechende Anforderungen an Wirtsgesteine und Standortbereiche abgeleitet.

Bewertung

Die Darlegungen der NAGRA zum Barrieren- und Sicherheitskonzept sowie den Sicherheitsfunktionen stellen im Grundsatz keine neuen Erkenntnisse dar, sondern sie beschreiben – teilweise detailliert – das Barrierensystem und seine Sicherheitsfunktionen, wie sie in der Schweiz und auch aus andere Ländern bekannt – und anerkannt – sind. Positiv zu bewerten ist vor allem Betonung der Bedeutung von technischen **und** geologischen Barrieren sowie des Grundsatzes, die langfristige Sicherheit durch passiv wirkende Barrieren zu gewährleisten. Dabei ist davon auszugehen, dass die geologischen Barrieren die Hauptrolle beim Einschluss über lange Zeiträume spielen werden.

Die Berücksichtigung der hier anzulegenden Bewertungsmaßstäbe zeigt, dass die Darstellungen der grundsätzlichen Sachverhalte **vollständig** sind. Ebenso ist **Plausibilität** gegeben, da die Begründungen dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechen. Zweifel bestehen nur bei einigen Detailfragen bzw. Interpretationen zu entsprechenden Aspekten, die wissenschaftlich derzeit weder in der Schweiz noch sonstwo abschließend geklärt sind (s. u. Langzeitstabilität/Eigenschaften der Verfüllung). Die Darlegungen in NAGRA sind im Übrigen klar gegliedert und gut **nachvollziehbar**. Dies gilt im Prinzip auch für die abgeleiteten Anforderungen an Wirtsgesteine und generell die geologische Situation sowie an die Standortbereiche. Darauf wird in Kap. 3.5 und 3.6 näher eingegangen.

Langzeitstabilität der Behälter

Die Abfallbehälter, insbesondere für HAA und BE, tragen nach NAGRA wesentlich zur Wirkung des Barrierensystems bei. Diese Stahlbehälter sollen eine Einschussdauer von mindestens 10.000 Jahren gewährleisten. In dieser Zeit klingt die Radiotoxizität für BE um einen Faktor von ca. 30 ab, für HAA um einen Faktor von ca. 600 (NTB 08-03, S. 16).

Die in der ENSI-Richtlinie G03 (ENSI 2009) geforderte Mindest-Einschlusszeit für HAA und BE beträgt 1000 Jahre.

Die Abschätzung der NAGRA zur Behälter-Lebensdauer beruht auf der Annahme einer Langzeit-Korrosionsrate von $1\mu\text{m/a}$. Verschiedene Technische Berichte, die von der NAGRA bei Sachverständigen im Ausland in Auftrag gegeben worden waren, setzen sich mit dem Problem der Behälterkorrosion auseinander.

Die o. g. Korrosionsrate von $1\mu\text{m/a}$ wird in dem Technischen Bericht TR 08-12 grundsätzlich bestätigt. Es wird auch bestätigt, dass nichts gegen die Verwendung einer konstanten Langzeit-Korrosionsrate spricht.

Im Technischen Bericht TR 09-02 wird die Argumentation der NAGRA als überzeugend bezeichnet. Eine Auslegung des Tiefenlagers mit Stahlbehältern in Bentonit-Verfüllung wird als gangbarer Weg angesehen – sofern sich die Bildungsdaten von Wasserstoff auch für die Zukunft bestimmen lassen. Allerdings wird ein umfassendes Programm für weitere Untersuchungen empfohlen, betreffend z. B. die Messung von Korrosionsraten unter realistischen Langzeitbedingungen und technische Lösungen für Schweißen, Oberflächenbehandlung und Spannungsverminderung für dickwandige Stahlbehälter.

TR 09-04 schließlich bezeichnet Rissbildung in den Behältern als unwahrscheinlich. Um die Wahrscheinlichkeit weiter zu senken, werden Empfehlungen zur Auswahl der Stahlzusammensetzung, der Stahlbearbeitung und der Schweißverfahren gemacht.

Bewertung Langzeitstabilität der Behälter

Die speziellen Arbeiten, die NAGRA zu den Behältern in Auftrag gegeben hat, bestätigen das NAGRA-Konzept und die Analysen der Aussagen grundsätzlich.

Allerdings wird auch deutlich, dass es in diesem Zusammenhang noch offene Fragen gibt, die durch weitere Untersuchungen zu klären sind. Weiterhin werden verschiedene Empfehlungen gegeben, die umzusetzen wären.

Insgesamt erscheint das Thema der Behälter-Standzeit damit aus derzeitiger Sicht zwar nicht als besonders kritisch; es wird aber jedenfalls in den kommenden Jahren weiter zu verfolgen sein.

Langzeitstabilität/Eigenschaften der Verfüllung (Nahfeld)

Hierbei geht es im Wesentlichen um das Nahfeld des SMA- bzw. HAA-Lagers, d. h. um die Wirkung des Zementmörtels bei SMA und des Bentonits bei HAA/BE.

Die NAGRA kommt in NTB 08-05 für das **SMA-Lager** zu dem Ergebnis, dass die Endlagerbehälter aus Beton, das poröse Verfüllmaterial aus Zementmörtel und die Kavernenauskleidung aus Beton die Langzeitentwicklung im Nahfeld des SMA-Lagers dominieren. Dazu werden verschiedene Annahmen getroffen (z. B. Redox-Zustand im Nahfeld mit Einfluss auf Sorption der Radionuklide, Änderungen der Sorptionskoeffizienten im Zeitverlauf durch Änderung von Festphasen mit Übergang zu Sekundärphasen, Löslichkeiten) sowie Erfahrungen aus dem früher geplanten SMA-Lager Wellenberg herangezogen. Letztlich ist für SMA (und LMA) die Sorption im Nahfeldbereich von entscheidender Bedeutung. Löslichkeitsgrenzen werden hier nicht berücksichtigt.

Die **LMA-Abfälle** werden wie die SMA-Abfälle gelagert und betrachtet. Allerdings werden hier jetzt Löslichkeitsgrenzen berücksichtigt.

Beim **HAA-Lager** werden die massiven Endlagerbehälter auf Bentonitblöcken gelagert und dann von Bentonitgranulat umgeben. Hierbei werden u. a. radionuklidspezifische Löslichkeitsgrenzen, Porositätsfaktoren und Sorptionskonstanten benutzt, die aus dem „Projekt Opalinuston“ stammen.

Bewertung Langzeitstabilität/Eigenschaften der Verfüllung

Eine detaillierte Bewertung der vielfältigen, zumeist (geo-/hydro-chemischen) Vorgänge im Nahfeld ist mit Blick auf die eigentliche Aufgabe hier nicht sinnvoll. Es stellt sich jedoch die Frage, inwieweit viele der von NAGRA getroffenen Annahmen in einer realen Endlagersituation zutreffend sind oder sein könnten. Sicherlich sind die „chemischen Gesetzmäßigkeiten“ korrekt angewendet worden, allerdings bleibt offen, wie weit die abgeleiteten Aussagen wegen der vielen getroffenen grundlegenden Annahmen über rein generische Betrachtungen hinausreichen.

Geht man davon aus, dass es sich bei den Darstellungen in NTB 08-05 um rein generische Betrachtungen handelt, dann gilt, dass die **Vollständigkeit** und **Plausibilität** der Ausführungen in weitem Maße gegeben ist. In diesem Falle gilt allerdings auch, dass die Ergebnisse nicht überinterpretiert werden dürfen.

Lücken bei Vollständigkeit und Plausibilität der Betrachtungen liegen überall dort vor, wo noch kein gesicherter abschließender Wissensstand erreicht ist (z. B. Sorptionswerte verschiedener Radionuklide für degradierten Zement). Ähnliches gilt für das Verhalten von Bentonit, der dem Wärmeeinfluss aus den Abfällen sowie der Einwirkung von Gasentwicklung ausgesetzt ist. Wie sich das Verfüllmaterial dann in einer konkreten und komplexen Endlagersituation mit verändertem chemischem Milieu verhält, sei dahingestellt.

Die **Nachvollziehbarkeit** des Themenkomplexes in NTB 08-05 ist befriedigend.

Lagerbedingte Einflüsse

In NTB 08-05 (Kap. 4.6) werden folgende lagerbedingte Einflüsse als wesentlich angesehen:

- Komplexbildner (können die Rückhaltung von Radionukliden verringern, v. a. in SMA und LMA),

- pH-Fahne (kann in SMA- und LMA-Kavernen durch Degradation zementhaltiger Materialien zur Bildung einer Fahne mit hohen pH-Werten führen, die wiederum die Sorptionswerte negativ beeinflussen kann),
- Nahfeld-Kolloide (kolloidale Partikel können die Radionuklidausbreitung auch stark sorbierender Radionuklide beschleunigen),
- Gasbildung (kann zu neuen Freisetzungspfaden führen, Porenwasser mit Radionukliden auspressen oder volatile Radionuklide transportieren),
- Wärmeeintrag (v. a. für HAA-Lager; kann die Nahfeldbarrieren und das Wirtsgestein negativ beeinflussen).

Die möglichen Auswirkungen jedes einzelnen der benannten Einflüsse auf die Langzeitsicherheit der Tiefenlager SMA und HAA werden von der NAGRA kurz diskutiert. Dabei bezieht sie sich vor allem auf Erfahrungen bzw. Ergebnisse aus früheren Sicherheitsanalysen und Untersuchungen zum geplanten SMA-Lager Wellenberg. Gemeinsam ist allen lagerbedingten Einflüssen, dass sie komplexe geochemische und thermomechanische Sachverhalte betreffen, die jeweils von mehreren Einflussgrößen abhängen und insofern beispielsweise je nach Wirtsgestein und geochemischer Umgebung standortspezifische Ausprägungen erfahren können.

Bewertung

Die Aussagen der NAGRA zu den einzelnen lagerbedingten Einflussgrößen sind insgesamt mit Vorsicht zu betrachten und auch nicht über zu bewerten. Zwar sind die dargestellten Begründungen trotz ihrer Kürze jeweils plausibel und nachvollziehbar, jedoch sind die vielfältigen Einflussgrößen und ihr komplexes Zusammenwirken ohne Kenntnis der standortspezifischen Verhältnisse des jeweiligen SMA- bzw. HAA-Lagers (z. B. Wirtsgestein, Chemismus des Tiefen Grundwassers, Diffusion oder Advektion als Ausbreitungsantrieb) unvollständig. Aus diesen Gründen ist eine Detailbewertung der Einzelaussagen zu den lagerbedingten Einflussgrößen in NTB 08-05 an dieser Stelle nicht angebracht, sondern es genügt die allgemeine Bewertung und Einordnung der Aussagen.

Erst nach Festlegung auf einen konkreten Standort können die erforderlichen Aussagen zu diesen lagerbezogenen Einflussgrößen dann unter Berücksichtigung der standortspezifischen Verhältnisse tatsächlich abgeleitet werden. Zum jetzigen Zeitpunkt sind nur allgemeine Aussagen und Schlussfolgerungen möglich. Allerdings erlauben diese Aussagen bereits Hinweise darauf, auf welche Aspekte bei den lagerbedingten Einflussgrößen besonders zu achten ist. Gleichermaßen lassen sich dadurch sinnvolle Indikatoren festlegen, die zur Beurteilung der geochemischen Bedingungen bei der Auswahl von Großräumen, Wirtsgesteinen oder Standortbereichen benötigt werden. Entsprechende Indikatoren sind dann auch in NTB 08-03 für das Kriterium 2.3 „geochemische Bedingungen“ festgelegt worden (z. B. pH, Redox-Bedingungen, Salinität, Kolloide).

Gleiches gilt für die Bewertung der Wirtsgesteine, wo berücksichtigt wird, inwieweit bauliche Maßnahmen zur Ableitung der Gase notwendig sind (Indikator Verhalten des Wirtsgesteines bzgl. Gas) und wie das Wirtsgestein durch die eingebrachte Wärmelast beeinflusst wird (Indikator Verhalten des Wirtsgesteins bzgl. Temperatur).

3.3 Methodik des Auswahlverfahrens von Großräumen, Wirtsgesteinen und Standortbereichen

3.3.1 Generelle methodische Anforderungen an Auswahlverfahren

Die Auswahl von Wirtsgesteinen oder Standortbereichen für geologische Tiefenlager stellt eine Entscheidungssituation dar, wie sie häufig in der Stadt- und Regionalplanung, bei der Auswahl von Standorten für beliebige Anlagentypen (z. B. Deponien, Kraftwerke) oder bei der Identifizierung von Trassenvarianten (z. B. Autobahn, Pipeline) auftreten. Die Aufgabe besteht darin, aus einer größeren Zahl von Möglichkeiten die optimale oder bestmögliche Lösung zu finden. Es liegt also ein **Entscheidungsproblem** vor. Dabei gilt: „Unter ‘Entscheidung’ wird die (mehr oder weniger bewusste) Auswahl einer von mehreren möglichen Handlungsalternativen verstanden“ (LAUX 2004).

Für den Umgang mit Entscheidungsproblemen stellt die **Entscheidungstheorie** das Handwerkszeug zur Verfügung, auch wenn dieser Begriff häufig nicht benutzt wird. Bei der Entscheidungstheorie geht es um **rationales Entscheiden**: Die Erfolgsaussichten von Entscheidungen sollen durch rationales Vorgehen verbessert werden. Unter Rationalität wird dabei verstanden, dass einerseits gewisse Anforderungen an den Entscheidungsprozess gestellt und eingehalten werden (prozedurale Rationalität), und andererseits der Grundsatz der Widerspruchsfreiheit verfolgt wird.

Die Entscheidungstheorie zeigt weiterhin auf, dass es keine „objektiv richtigen“ Entscheidungen gibt. Entscheidungen werden vielmehr gesteuert bzw. beeinflusst durch subjektive Erwartungen, Ziele und Prämissen von Entscheidern, die nur begrenzt überprüfbar sind. Aufgabe muss es also sein, die subjektiven Erwartungen, Ziele und Prämissen im Entscheidungsprozess zu minimieren, zumindest jedoch offen zu legen.

Ein **echtes Entscheidungsproblem** ist immer dann gegeben, wenn die zu vergleichenden Alternativen (hier: potenzielle Endlagerbereiche) sowohl Vor- als auch Nachteile aufweisen. Wenn eine Alternative alle Vorteile auf ihrer Seite hat und alle Nachteile bei den anderen Alternativen liegen, liegt kein echtes Entscheidungsproblem vor, da die Alternative mit allen Vorteilen den Vergleich eindeutig dominiert. Dieser Fall ist hier ohne Bedeutung.

Zur Lösung von Entscheidungsproblemen existieren eine Vielzahl von Vorgehensweisen bzw. Methoden, die jeweils ihre spezifischen Vor- und Nachteile aufweisen. Letztlich beruhen alle auf der **Abwägung der Vor- und Nachteile** der jeweiligen Alternativen. Dies bedeutet: Für den Vergleich von Alternativen bzw. Varianten existiert **keine universelle maßgeschneiderte Methode**. Vielmehr müssen im konkreten Fall die Teile aus dem methodischen „Werkzeugkasten“ so zusammengestellt werden, dass es zu einer angemessenen rationalen Lösung des Entscheidungsproblems kommt.

Unabhängig davon, welche Vorgehensweisen und Methoden bei einem Auswahlverfahren benutzt werden, müssen jedoch folgende **allgemeine Anforderungen** erfüllt sein:

- Die **Ziele der Entscheidung** (Zielsystem) müssen klar formuliert werden, um unnötige Konflikte durch Unklarheiten u. ä. zu verhindern. Kurz: Wonach wird bei der Entscheidung gesucht? Daran muss sich das Bewertungssystem orientieren.

- Die **Festlegung von Kriterien** (bzw. Indikatoren) muss mit Blick auf das Ziel der Entscheidung sorgfältig vorgenommen werden. Es besteht ansonsten die Gefahr verdeckter subjektiver Einflüsse. Die Kriterienauswahl ist zu begründen.
- Die **Kriterien, ihre Wichtigkeit und die Art und Weise ihrer Anwendung sowie der Aggregation** von Einzelbewertungen zu zusammenfassenden Bewertungen müssen vor Beginn der Bewertung festgelegt und begründet werden.
- Der **Mindest-Informationsbedarf** für die Anwendung der Kriterien muss qualitativ und quantitativ abgedeckt werden. Er muss bereits bei der Formulierung der Kriterien berücksichtigt werden. Alle Kriterien müssen bezüglich der zu vergleichenden Objekte gleich behandelt werden.
- **Kenntnislücken oder Unsicherheiten** bei der Anwendung von Kriterien sind durch gezielte Untersuchungen zu schließen. Wo dies nicht möglich ist, können hilfsweise Annahmen benutzt werden; diese sind zu begründen und zu dokumentieren. Dabei ist sicher zu stellen, dass nicht unterschiedliche Annahmen zu den zu vergleichenden Optionen das Ergebnis des Vergleichs bestimmen.
- **Bewertungsmaßstab und Bewertungsgröße** müssen zueinander passen: Bei der Anwendung von Kriterien dürfen nur **Skalentypen** benutzt werden, die für das jeweilige Kriterium (Eigenschaft) geeignet sind. Es dürfen nur die für den jeweiligen Skalentyp zulässigen Operationen durchgeführt werden.
- Bei der **Aggregation der Bewertungsergebnisse** für die einzelnen Kriterien sind die jeweiligen Abwägungsentscheidungen (Vor- und Nachteile) zu begründen. Vorteilhaft ist eine möglichst geringe, dabei aber problemangemessene Aggregation, da so die mit der Aggregation verbundenen Informationsverluste minimiert werden können. Verfahren mit Kompensation der Kriterien (Vorteil Kriterium a kompensiert Nachteil Kriterium b) sind bei der hier vorliegenden Fragestellung nicht geeignet.
- Der gesamte **Entscheidungsprozess** muss klar gegliedert sein, um den Entscheidungsgang **nachvollziehbar und transparent** zu gestalten.
- Art, Ausmaß und Ort von **Unsicherheiten** bei der Bewertung müssen dargestellt werden; die übergreifende Bewertung der Unsicherheit kann mit Hilfe eines eigenständigen Kriteriums geschehen.
- Die den Entscheidungsprozess beeinflussenden **normativen Elemente** (subjektive Bewertungen, s. u.) müssen deutlich gemacht werden.
- Bis zur abschließenden Bewertung eines Standortes auf Grund einer vollständigen Informationsbasis gilt der **Irrtumsvorbehalt**.

Diese Anforderungen müssen auch im Schweizer Auswahlverfahren erfüllt sein, da nur dann eine rationale Entscheidung gewährleistet werden kann.

3.3.2 Erfüllung der allgemeinen Anforderungen durch das Schweizer Auswahlverfahren

Im diesem Kapitel wird eine kurze allgemeine Prüfung des Schweizer Auswahlverfahrens anhand der in Kap. 3.3.1 genannten Anforderungen vorgenommen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass insbesondere hinsichtlich der benötigten Informationen und Kenntnisse keine Anforderungen gestellt werden dürfen, die erst in späteren Schritten des SGT zur Verfügung stehen.

- Die **Ziele der Entscheidung** (Zielsystem) müssen klar formuliert werden.
Bewertung: Das Ziel der Entscheidung ist eindeutig formuliert. Es besteht darin, den „Sachplan geologische Tiefenlager“ (BFE 2008), der das in den nächsten Jahren durchzuführende Standortauswahlverfahren regelt, umzusetzen. Angestrebt werden die Einrichtung eines SMA-Lagers und eines HAA-Lagers bzw. eines Kombilagers für alle Abfallarten. Derzeit steht die Etappe 1 des Sachplanverfahrens, die wiederum aus fünf Einzelschritten besteht, zur Diskussion.
Ergebnis: Anforderung erfüllt.
- Die **Festlegung von Kriterien** (bzw. Indikatoren) muss sorgfältig vorgenommen werden; sie ist zu begründen.
Bewertung: Die Festlegung der Kriterien für die Schritte 3 bis 5 der Etappe 1 sind begründet. In Etappe 1 werden nur Kriterien berücksichtigt, die sich auf (Langzeit-) Sicherheit und technische Machbarkeit beziehen. Erforderliche Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen kommen zur Anwendung. Fragliche Einzelaspekte werden in den Kap. 3.4 bis 3.6 behandelt.
Ergebnis: Anforderung erfüllt.
- Die **Kriterien, ihre Gewichtung und die Art und Weise ihrer Anwendung und Aggregation** müssen vor Beginn der Bewertung festgelegt und begründet werden.
Bewertung: Alle Aspekte werden erfüllt, da sie vor Beginn der Bewertung festgelegt wurden. Allerdings ist die Art der Aggregation der Kriterien durch NAGRA kritikwürdig, und auch die Anwendung bestimmter Kriterien bzw. Indikatoren für den Großraum Alpen (speziell Helvetikum) ist fraglich (s. Kap. 3.4.2).
Ergebnis: Die Anforderung ist – von Ausnahmen abgesehen – erfüllt.
- Der **Mindest-Informationsbedarf** für die Anwendung der Kriterien muss qualitativ und quantitativ abgedeckt werden.
Bewertung: In NTB 08-03 wird darauf hingewiesen, dass neueste geowissenschaftliche Daten berücksichtigt werden. Dem ist zuzustimmen. Beim derzeitigen Stand des Verfahrens ist naturgegeben davon auszugehen, dass der Kenntnisstand nicht überall gleich ist. Entscheidend ist aber, dass der für die Abarbeitung des Verfahrensschrittes nötige (Mindest-) Informationsbedarf überall abgedeckt wird. Dies ist der Fall.
Ergebnis: Anforderung ist erfüllt.
- **Kenntnislücken oder Unsicherheiten** bei der Anwendung von Kriterien sind durch gezielte Untersuchungen zu schließen. Wo dies nicht möglich ist, können hilfsweise begründete Annahmen benutzt werden.
Bewertung: Ein regional unterschiedlicher Kenntnisstand hinsichtlich geowissenschaftlicher Aspekte wird in NTB 08-03 eingeräumt. Verschiedentlich wird auf Unsicherheiten in der Datenlage hingewiesen. Dies ist beim gegenwärtigen Verfahrensstand naturgemäß und hinnehmbar.
Ergebnis: Anforderung ist im Rahmen des laufenden Verfahrensschrittes erfüllt. Vorhandene Unsicherheiten bzw. Kenntnislücken müssen im weiteren Verfahren geschlossen werden.

- **Bewertungsmaßstab und Bewertungsgröße** müssen zueinander passen; zudem passender Skalentyp (z. B. Ordinalskala, Verhältnisskala) erforderlich.
Bewertung: Bewertungsmaßstab und Bewertungsgröße passen zusammen. Bei quantitativen Kriterien ist eine Vergrößerung der Aussage in Richtung „besser – schlechter“ möglich. Der umgekehrte Weg ist nicht zulässig.
Ergebnis: Anforderung erfüllt.
- Bei der **Aggregation der Bewertungsergebnisse** für die einzelnen Kriterien sind die jeweiligen Abwägungsentscheidungen (Vor- und Nachteile) zu begründen.
Bewertung: Die Aggregation der einzelnen Indikatoren zu Bewertungskriterien oder Bewertungsgruppen geschieht bei NAGRA durch Ermittlung von arithmetischen Mittelwerten. Dies ist nur zulässig bei einer Verhältnisskala. Bei ordinal skalierten Größen ist diese Rechenoperation nicht zulässig. Dennoch werden qualitative Indikatoren bzw. Kriterien entsprechend aggregiert (s. dazu Kap. 3.4.2).
Ergebnis: Anforderung bei kardinal skalierten Größen erfüllt, bei ordinal skalierten Größen nicht erfüllt.
- Der gesamte **Entscheidungsprozess** muss klar gegliedert sein (schrittweises Vorgehen), um den Entscheidungsgang **nachvollziehbar und transparent** zu gestalten.
Bewertung: Der Entscheidungsprozess ist im Großen und Ganzen nachvollziehbar und transparent. Allerdings leidet er an einer gewissen Überkomplexität. In jedem der drei Einzelschritte 3 bis 5 tauchen Modifizierungen der Vorgehensweise sowie viele Querverweise und zusätzliche Fußnoten auf, die die Wahrnehmung und das Verständnis des Gesamtprozesses erschweren.
Ergebnis: Anforderung im Prinzip erfüllt. Dennoch Hang zur Überkomplexität. Daraus resultiert für interessierte Laien ein teilweise nur schwer nachvollziehbarer Entscheidungsprozess.
- Art, Ausmaß und Ort von **Unsicherheiten** bei der Bewertung müssen dargestellt werden.
Bewertung: Die Unsicherheiten bei der Bewertung von wichtigen Indikatoren werden in Anhang B in NTB 08-03 genannt. Allerdings bleibt unklar, bei welchen zugeordneten Befunden welches Ausmaß an Unsicherheiten bestehen.
Ergebnis: Anforderung teilweise erfüllt.
- Die den Entscheidungsprozess beeinflussenden **normativen Elemente** (subjektive Bewertungen, s. u.) müssen deutlich gemacht werden.
Bewertung: Die eindeutige Darlegung normativer Elemente fehlt in den meisten Fällen.
Ergebnis: Anforderung weitgehend nicht erfüllt.
- Bis zur abschließenden Bewertung eines Standorts auf Grund vollständiger Informationsbasis gilt der **Irrtumsvorbehalt**.
Bewertung: Es ist zu erkennen, dass ein dem Irrtumsvorbehalt identischer Ansatz benutzt wird. Bei neuen Erkenntnissen muss neu bewertet werden.
Ergebnis: Anforderung erfüllt.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die meisten grundlegenden methodischen Anforderungen an Entscheidungsprozesse von dem Schweizer Auswahlverfahren ganz oder doch weitgehend erfüllt werden. Nur wenige Anforderungen werden nicht oder weitgehend nicht erfüllt.

Damit stellt die methodische Vorgehensweise der NAGRA zur Auswahl von Großräumen, Wirtsgesteinen und Standortbereichen eine gute Basis für die zu treffenden Entscheidungen dar. Einzelne identifizierte Schwachpunkte sollten im Rahmen eines ansonsten gut strukturierten und komplexen Suchverfahrens nicht überbewertet werden. Die problematischsten Aspekte betreffen die Anwendung und Aggregation einzelner Indikatoren bzw. Kriterien, die unklare bzw. fehlende Darlegung normativer Einflüsse auf die Entscheidung sowie den zumindest für interessierte Laien nur schwer überschaubaren komplexen Entscheidungsprozess.

3.4 Schritt 3: Identifikation geeigneter geologisch-tektonischer Großräume

3.4.1 Vorgehensweise und Ergebnisse der NAGRA

Ausgangspunkt von Schritt 3 ist die Gliederung der Schweiz nach geologisch-tektonischen Großräumen. Davon ausgehend wird die potenzielle Eignung der Großräume für die Anlage eines SMA- bzw. HAA-Lagers bewertet. Dabei kommen nach NTB 08-03, Tab.C.2-1, folgende mit Mindestanforderung versehene Kriterien bzw. Indikatoren zur Anwendung:

- 1.1: Kriterium Räumliche Ausdehnung mit dem Indikator laterale Ausdehnung,
- 2.1: Kriterium Beständigkeit der Standort- und Gesteinseigenschaften mit den Indikatoren Modellvorstellungen zur Geodynamik und Neotektonik und Seltene geologische Ereignisse (Vulkanismus),
- 2.2: Kriterium Erosion mit dem Indikator Großräumige Erosion im Betrachtungszeitraum,
- 3.2: Kriterium Explorierbarkeit der räumlichen Verhältnisse mit den Indikatoren Regionale Störungsmuster und Lagerungsverhältnisse plus Kontinuität der interessierenden Schichten,
- 3.3: Kriterium Prognostizierbarkeit der Langzeitveränderung mit dem Indikator Modellvorstellungen zur Geodynamik und Neotektonik.

Für jedes Kriterium bzw. jeden Indikator werden in NTB 08-03, Tab. 2.5.2, die jeweiligen Anforderungen bzw. Erfüllungsfunktionen jeweils für das SMA- und HAA-Lager angegeben. Anhand der Anforderungen bzw. der Erfüllungsfunktionen werden die geologischen Verhältnisse in den jeweiligen Großräumen sodann bewertet. Diese Bewertung erfolgt über die Aggregation der Indikatoren zu Kriterien und schließlich der Kriterien zum Gesamtergebnis (jeweils für SMA und HAA getrennt).

Es ergeben sich für das SMA-Lager acht Großräume, von denen vier günstig bis sehr günstig (östlicher Tafeljura, östliche Subjurassische Zone, östliches Molassebecken, westliches Molassebecken), vier weitere als ungünstig bis bedingt günstig bewertet werden (westlicher Tafeljura mit Oberrheingraben, Faltenjura, westliche Subjurassische Zone und Alpen).

Für das HAA-Lager ergeben sich zwei günstig bis sehr günstig bewertete Großräume (östlicher Tafeljura, östliches Molassebecken) und zwei ungünstig bis bedingt günstige Großräume (östliche Subjurassische Zone, westliches Molassebecken). Alle anderen Großräume sind für die Anlage eines HAA-Lagers ungeeignet.

3.4.2 Bewertung der Vorgehensweise und der Ergebnisse der NAGRA

Die Bewertung wird auf folgende wichtige Einzelschritte der NAGRA konzentriert:

- Gliederung der Schweiz in geologisch-tektonische Großräume,
- Sinnhaftigkeit der benutzten Kriterien bzw. Indikatoren sowie ihrer Anwendung,
- Die Zusammenfassung der Einzelergebnisse zu einem Gesamtergebnis (Aggregation),
- Sonstiges (Potenzielle Beeinflussung Österreichs sowie Anmerkungen zu verschiedenen Einzelaspekten).

Gliederung der Schweiz in geologisch-tektonische Großräume

Die Gliederung der Schweiz in geologisch-tektonische Großräume gründet sich auf die Darstellung der geologischen Verhältnisse in der Schweiz (NTB 08-04, Kap. 2). In diesem Bericht wird der gegenwärtige Wissensstand über die Geologie der Schweiz zusammenfassend dargelegt. Diese Darstellung beruht wesentlich auf PFIFFNER (2008). Sie enthält ausreichend detaillierte Angaben über die Verbreitung und Ausbildung der Gesteinstypen, die tektonische Situation und die mit der alpinen Gebirgsbildung einhergehende Deformations- und Metamorphosegeschichte.

Die Abgrenzung und Beschreibung des strukturellen Aufbaus der verschiedenen tektonischen Großeinheiten, die Beschreibung des rezenten Spannungsfeldes und der Seismizität, die Darstellung der großräumigen Vertikal- und Horizontalbewegungen sowie jüngster differenzieller Bewegungen sind gleichfalls ausreichend detailliert.

Schließlich werden die verschiedenen Arten der Erosion (Denudation, lineare Erosion), die Wechselwirkung von Erosion und Tektonik sowie die Historie der Vergletscherung samt Ausblick auf die zukünftige klimatische Entwicklung beschrieben.

Diese Darstellung der geologischen Verhältnisse ist ausreichend genau, um darauf basierend geologisch-tektonische Großräume auszuweisen. Sie beruht auf der Auswertung jüngerer und jüngster Quellen, so dass der derzeit erreichte Kenntnisstand in den Geowissenschaften als Grundlage vorausgesetzt werden kann. Wissenschaftliche Unterschiede und Interpretationen in Einzelfragen sind dabei naturgemäß nicht auszuschließen, berühren aber den eigentlichen Zweck der Darstellung nicht.

Aufbauend auf der Darstellung der geologischen Verhältnisse in der Schweiz werden acht geologisch-tektonischen Großräume von NAGRA ausgegliedert (NTB 08-04, Fig. 3.2-1; NTB 08-04 Beilagenband; NTB 08-03). Die einzelnen

Großräume sind jeweils durch bestimmte Merkmale gekennzeichnet, die sie auszeichnen (z. B. ruhige Lagerung der Schichten, Verfaltungen, tektonische Komplexität, Grad der Erosion).

Insgesamt ist die von der NAGRA vorgenommene Gliederung der Schweiz in geologisch-tektonische Großräume plausibel und nachvollziehbar. Diese Gliederung stellt eine gute Grundlage zur Bewertung der einzelnen Großräume dar. Im Rahmen des Betrachtungs- bzw. Arbeitsmaßstabes ist davon auszugehen, dass eine weitgehende Vollständigkeit der Darstellung gegeben ist.

Sinnhaftigkeit der benutzten Kriterien bzw. Indikatoren sowie ihrer Anwendung

Die oben in Kap. 3.4.1 aufgelisteten fünf Kriterien werden von der NAGRA für die Ausweisung von Großräumen für SMA- und HAA-Lager verwendet. Lediglich bei ihrer konkreten Anwendung werden – soweit erforderlich – unterschiedliche Ansätze verwendet. So wird beispielsweise beim Kriterium Erosion die Abhängigkeit der ermittelten Gesamterosion von den unterschiedlichen Betrachtungszeiträumen für SMA-Lager (100.000 Jahre) und für HAA-Lager (1 Million Jahre) berücksichtigt.

Diese fünf Kriterien umfassen die wesentlichen sicherheitsorientierten Aspekte, die bei einer frühen Suchphase berücksichtigt werden müssen. Dabei geht es vorrangig um Fragen der Langzeitstabilität (Großräumige Erosion, Geodynamik der verschiedenen Regionen, geologische Ereignisse wie Vulkanismus), der räumlichen Ausdehnung und Kontinuität möglicher Wirtsgesteinskonfigurationen sowie das Vorkommens regionaler Störungszonen.

Insgesamt ist die **Festlegung auf diese Kriterien plausibel und nachvollziehbar**. Hinsichtlich der **Vollständigkeit** lassen sich immer noch weitere Aspekte bzw. Kriterien benennen, deren zusätzliche Anwendung führt aber nicht zwangsweise zu besseren Ergebnissen. Für die Durchführung dieses ersten Suchschrittes genügen die benutzten fünf Kriterien bzw. die zugrunde gelegenen Indikatoren durchaus (beispielweise hat der (AKEND 2002) vier Kriterien sehr ähnlichen Inhaltes für den ersten Suchschritt vorgeschlagen).

Weitgehend vollständig und nachvollziehbar ist auch **Anwendung der Kriterien**. Dabei ist zu beachten, dass zu ihrer Anwendung auch die entsprechende Informationslage verfügbar ist. Bei großräumig anzuwendenden Kriterien ist der Detaillierungsgrad der verfügbaren Informationen natürlich deutlich geringer.

Hinsichtlich der **Plausibilität der Anwendung der Kriterien** ist festzustellen, dass das Ergebnis für das SMA-Lager eine Frage aufwirft. In der gesamten Schweiz liegt nach den Ergebnissen der NAGRA kein Großraum vor, der für die Anlage eines SMA-Lagers ungenügend ist. Andererseits werden große Teile der Schweiz (v. a. gesamter Alpenbereich) als ungünstig bis bedingt günstig für ein SMA-Lager bewertet. Hier stellt sich die Frage, ob man nicht durch eine schärfere Anwendung der Kriterien eine weitergehende Differenzierung in Richtung ungünstiger bis ungenügende Bereiche hätte erreichen können. Dies könnte gegebenenfalls auch zu einer angemesseneren Bewertung des Standortbereichs Wellenberg führen. Das Argument in NAGRA NTB 08-03, die Flexibilität bei der Anlegung der Lagerkammern könne trotz der teilweise engräumig zergliederten und deformierten Gesteinsbereiche im Alpenbereich die Umsetzung dennoch ermöglichen, überzeugt nicht.

Demgegenüber tritt bei der Gliederung der Großräume für HAA-Lager kein derartiges Plausibilitätsproblem auf.

Die Zusammenfassung der Einzelergebnisse zu einem Gesamtergebnis (Aggregation)

Hierbei geht es um die in NTB 08-03, Tab. C.2.-1 u. C.2.-2, vorgenommene Bewertung durch Aggregation der Indikatoren zu Kriterien und schließlich der Kriterien zu einer Gesamtbewertung der Großräume (jeweils getrennt für SMA und HAA).

Ausgangspunkt ist die Bewertung der Indikatoren. Dies geschieht durch Eingruppierung in eine von vier Bewertungsklassen (sehr günstig, günstig, bedingt günstig, ungünstig). Diesen Bewertungsklassen werden Zahlen zugeordnet (sehr günstig = 4, günstig = 3, bedingt günstig = 3, ungünstig = 1). Zur weiteren Differenzierung bei der Bewertung der Indikatoren können auch diskrete Zwischenstufen verwendet werden (günstig bis sehr günstig: 3,6 bis 3,4 bis hinunter zu ungünstig bis bedingt günstig: 1,5).

Der fünften und schlechtesten Bewertungsklasse (ungenügend) wird keine Zahl zugeordnet.

Im nächsten Schritt werden die den einzelnen Indikatoren zugeordneten Zahlenwerte durch die Bildung von arithmetischen Mittelwerten aggregiert, um die Bewertung des jeweiligen Kriteriums, dem die Indikatoren zugeordnet sind, vorzunehmen. Fällt ein Indikator in die Klasse „ungenügend“, wird auch das Kriterium als ungenügend bewertet und der Großraum wird aus der weiteren Betrachtung ausgeschlossen.

Sodann erfolgt die Bewertung einer Kriteriengruppe durch die Aggregation ihrer einzelnen Kriterien über Mittelwertbildung. Die Kriteriengruppen werden schließlich auf gleichem Wege zu einer Gesamtbewertung aggregiert.

Diese Vorgehensweise der NAGRA, die im Übrigen auch für die Bewertung der Wirtsgesteine und der Standortgebiete gilt, ist als problematisch anzusehen. Der Kern des Problems liegt darin, dass die Zuordnung von Bewertungsklassen im Sinne von „günstig“ oder „weniger günstig“, die auf einem ordinalen Skalenniveau beruhen, durch die Zuordnung von Zahlenwerten und deren Verrechnung (Mittelwertbildung) zu unsinnigen Werten führt, weil auf einem ordinalen Skalenniveau die Durchführung von Rechenoperationen nicht statthaft ist (STRASSERT 1995). Ein ordinales Skalenniveau dient nur dazu, Objekte (z. B. Großräume) in eine Ordnung zu bringen. Sie erlaubt jedoch keine Angaben zu den Abständen zwischen den einzelnen Rangplätzen.

Zudem entheben solche (unzulässigen) Rechenoperationen den Anwender von der genauen Auseinandersetzung und Abwägung der Vor- und Nachteile der einzelnen Kriterien bzw. Indikatoren bei ihrer Zusammenführung zu einem Gesamtergebnis. Weiterhin besteht durch die (unzulässige) Verrechnung die Gefahr, dass wichtige Merkmalsausprägungen nicht entsprechend gewürdigt werden. Dazu trägt auch die (gleichsam automatisch erfolgende) Kompensation „schlechter“ Merkmale durch „gute“ Merkmale durch Verrechnung bei.

Generell ist die Aggregation von Einzelausprägungen von Kriterien bzw. Indikatoren zu einem Teil- oder Gesamturteil die schwierigste Phase der Bewertung. In dieser Phase muss besonders sorgfältig gearbeitet werden, da das Gesamtergebnis gemeinhin der Entscheidungsvorbereitung dient.

Die Bewertung der Einzelindikatoren durch die NAGRA geschieht im vorliegenden Fall auf einem ordinalen Skalenniveau (ausgedrückt in den verbalen Bewertungsstufen). Diese Vorgehensweise ist plausibel und nachvollziehbar. Es wäre vorteilhaft gewesen, wenn die Aggregation der Indikatoren zu Kriterien und weiter zu Kriteriengruppen bzw. zur Gesamtbewertung auf diesem Niveau stattgefunden hätte, und man auf die Aggregation durch unzulässige Mittelwertbildungen verzichtet hätte. Es liegen genügend methodische Ansätze dafür vor, mit denen die genannten Fehlerquellen hätten vermieden oder zumindest minimiert werden könnten (z. B. MÜLLER-HERBERTS 2007).

Die praktischen Auswirkungen der Methodenwahl in den drei Auswahlritten dürften wahrscheinlich gering sein. Die deutsche Expertengruppe Schweizer Tiefenlager hat Sensitivitätsbetrachtungen (Variationen von Indikatorwerten) durchgeführt, die zeigten, dass der Einengungs- und Bewertungsprozess der NAGRA insgesamt ein robustes und belastbares Ergebnis liefert (ESCHT 2010).

Sonstiges (potenzielle Beeinflussung Österreichs sowie Anmerkungen zu verschiedenen Einzelaspekten)

Auf der Ebene der Bewertung der Großräume werden noch keine Befunde dargestellt oder bewertet, die Aussagen über eine potenzielle Betroffenheit Österreichs ermöglichen könnten. Dies entspricht auch der üblichen Vorgehensweise bei solchen Auswahlverfahren, da in Frühphasen der Verfahren erst einmal grundsätzliche Aspekte überprüft werden (z. B. Hebung/Erosion, Störungen, Vulkanismus).

Die Überprüfung verschiedener Einzelaspekte geschieht erst bei einer Überarbeitung bzw. Revision dieses Zwischenberichtes im Rahmen der Erstellung des Endberichtes.

3.5 Schritt 4: Identifikation bevorzugter Wirtsgesteine und einschlusswirksamer Gebirgsbereiche

3.5.1 Vorgehensweise und Ergebnisse der NAGRA

Die NAGRA geht bei der Identifizierung bevorzugter Wirtsgesteine in drei Schritten vor (NTB 08-03):

- (1) Identifizierung der detaillierter zu bewertenden Gesteinseinheiten (gemeinsam für SMA- und HAA-Lager). Dabei werden die für Sicherheit und technische Machbarkeit wichtigen Kriterien bzw. Indikatoren benutzt (Mächtigkeit und hydraulische Durchlässigkeit bzw. Tongehalt). Die Mindestanforderungen für beide Indikatoren werden angelegt, um eine erste Reduktion zu ermöglichen.
- (2) Im zweiten Teilschritt wird für die Identifikation möglicher Wirtsgesteine eine Vielzahl von Kriterien angewendet, um die aus Teilschritt (1) resultierenden

Gesteinseinheiten weiter einzugrenzen. Dazu gehören z. B. hydraulische Durchlässigkeit, Transmissivität bevorzugter Freisetzungspfade, Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften. Es werden also auch hydrogeologische Aspekte und die bautechnische Machbarkeit bewertet. Gesteine, die die Mindestanforderungen nicht erfüllen, werden ausgeschlossen.

- (3) Im dritten Teilschritt werden für das SMA- und das HAA-Lager verschärfte Anforderungen angelegt für die Indikatoren „hydraulische Durchlässigkeit“ und „Variabilität der Gesteinseigenschaften im Hinblick auf ihre Charakterisierbarkeit“ sowie – zusätzlich für das HAA-Lager – auch für den Indikator „Homogenität des Gesteinsaufbaus“. Gesteine, die den verschärften Anforderungen nicht genügen, werden zurückgestellt.

Grundlage für die Identifikation der zu bewertenden Gesteinskörper ist eine Aufteilung der Schweiz in Areale, deren geologischer Aufbau durch repräsentative Gesteinsabfolgen charakterisiert und in 27 stratigraphischen Sammelprofilen dargestellt wird (NTB 08-03, Fig. 4.1-2). Dadurch verfügt man über das in den Großräumen insgesamt vorhandene Inventar an Gesteinsabfolgen in lithologischer Darstellung.

Sodann werden sämtliche potenziell möglichen **Wirtsgesteine für das SMA- und HAA-Lager** detailliert beschrieben (soweit vorhanden auch einschließlich ihrer Oberen und/oder Unteren Rahmengesteine), und die Erfüllung der Mindestanforderungen wird überprüft. Daraus resultierenden für das **SMA-Lager 26 potenziell mögliche Wirtsgesteine**, und für das **HAA-Lager sechs potenziell mögliche Wirtsgesteine**.

Anschließend werden die potenziell möglichen Wirtsgesteine für das SMA-Lager nochmals unter Anwendung verschärfter Anforderungen zu den Indikatoren „Hydraulische Durchlässigkeit“ und „Variabilität der Gesteinseigenschaften“ überprüft. Im Ergebnis verbleiben folgende **bevorzugte Wirtsgesteine für das SMA-Lager**:

- Opalinuston
- Tongesteinsabfolge „Brauner Dogger“,
- Effinger Schichten
- Mergel-Formation des Helvetikums.

Anschließend werden für das HAA-Lager unter Anwendung der verschärften Anforderungen für die Indikatoren „Hydraulische Durchlässigkeit“, „Homogenität“ und „Variabilität der Gesteinseigenschaften“ die sechs potenziellen Wirtsgesteine nochmals überprüft. Daraus resultiert ein **bevorzugtes Wirtsgestein für das HAA-Lager**:

- Opalinuston.

Bei der Identifizierung der bevorzugten Wirtsgesteine für SMA- und HAA-Lager wird neben den oben dargestellten verschärften Anforderungen auch eine **Methode zur vergleichenden Bewertung der Wirtsgesteine** benötigt. Dazu wird wiederum das Bewertungsverfahren angewendet, das im Prinzip schon für die Ausweisung der Großräume zur Anwendung gekommen ist (s. Kap. 3.4.2). Es werden lediglich einige andere Indikatoren bzw. Kriterien (zusätzlich) benutzt. Die Aggregation der Bewertungen von der Ebene der Indikatoren über die Ebe-

ne der Kriterien bis zur Gesamtbewertung geschieht nach dem Vorgehen, wie es schon in Kap. 3.4 dargestellt und kritisiert wurde.

3.5.2 Bewertung der Vorgehensweise und der Ergebnisse der NAGRA

Die Bewertung dieses Arbeitsschrittes muss sich auf folgende wesentliche Aspekte konzentrieren:

- Sinnhaftigkeit der benutzten Kriterien bzw. Indikatoren sowie ihrer Anwendung,
- Identifizierung der Wirtsgesteine, ihre zunehmende Einengung und Festlegung auf die bevorzugten Wirtsgesteine,
- die Zusammenfassung der Einzelergebnisse zu einem Gesamtergebnis (Aggregation),
- Sonstiges (potenzielle Beeinflussung Österreichs sowie Anmerkungen zu verschiedenen Einzelaspekten).

Sinnhaftigkeit der benutzten Kriterien bzw. Indikatoren sowie ihrer Anwendung

Die für die Auswahl der bevorzugten Wirtsgesteine benutzten 10 Kriterien sind in 22 Indikatoren unterteilt. Die Anwendung dieser Kriterien bzw. Indikatoren ist in dem Sinne als **vollständig** anzusehen, da sie ganz wesentliche sicherheitsbezogene Merkmale von Wirtsgesteinen abbilden. Solche wesentlichen Merkmale sind inzwischen gut bekannt und betreffen beispielsweise die hydraulische Barrierenwirkung des Wirtsgesteins, die möglichen Transportpfade, geochemische Bedingungen und auch die Zuverlässigkeit der zu den Gesteinen zu treffenden Aussagen. Zudem weisen die benutzten Kriterien bzw. Indikatoren auch die erforderliche Plausibilität auf, da sie zweifellos dem gegenwärtigen Stand von Wissenschaft und Technik entsprechen.

Auch in diesem Arbeitsschritt gilt der bereits in Kap. 3.4.2 gegebene Hinweis, dass ein Kriterienkatalog immer im Sinne der Vollständigkeit angreifbar ist. Entscheidend ist, dass die wesentlichen sicherheitsgerichteten Merkmale des Wirtsgesteins in Form von Indikatoren bzw. Kriterien vorliegen.

Die Beschreibung und Anwendung der Kriterien bzw. Indikatoren in NAGRA NTB 08-03 ist im Prinzip **nachvollziehbar**, allerdings können sich Schwierigkeiten daraus ergeben, dass bei ihrer Anwendung eine gewisse Komplexität auftritt, die für Außenstehende nicht einfach zu verstehen ist. Diese zeigt sich beispielsweise in der Vielzahl von Fußnoten, die Ausnahmen oder zusätzliche Bedingungen vorsehen, aber auch in der schwierig nachzuvollziehenden Darstellung, wann genau im Verfahrensfortgang Mindestanforderungen oder verschärfte Anforderungen angelegt werden. Hier wäre eine übersichtlichere Darstellung sicherlich besser.

Von Bedeutung für die Bewertung der Wirtsgesteine sind die den einzelnen Kriterien zugeordneten Anforderungen (Erfüllungsfunktionen). Für etliche Indikatoren werden quantitative Anforderungen gestellt (z. B. bei Kriterium 1.2: hydraulische Durchlässigkeit; bei Kriterium 1.3: Salinität, Kolloide, Mineralogie; bei Kriterium 1.4: Transmissivität präferenzialer Freisetzungspfade). Ob die zur Beur-

teilung notwendigen quantitativen Anforderungen für alle potenziellen Wirtsgesteine durch entsprechende Befunde gedeckt sind, ist zumindest fraglich. Bei Anwendung des Indikators Tongehalt bei Kriterium 1.2 beispielsweise wird darauf hingewiesen, dass bei fehlenden Erfahrungswerten für die hydraulische Durchlässigkeit u. U. auch auf „generelle Erfahrungen“ zurückgegriffen werden kann. Dies weist auf „expert judgement“ hin, d. h. die Erfahrung bzw. Meinung einer bestimmten Gruppe von Experten wird anstelle objektiver Erkenntnisse gesetzt und beeinflusst so die Bewertung. Es wäre sicherlich vorteilhaft, wenn NAGRA an entsprechenden Stellen einen diesbezüglichen Hinweis auf „subjektive Erfahrungswerte“ gegeben hätte.

In NAGRA NTB 08-04, S. 88 f, wird auf die Beschränkung der quantitativen Datenbasis in der Schweiz und den Zusammenhang zwischen hydraulischer Durchlässigkeit und dem Tongehalt hingewiesen. Offensichtlich ist man sich bei der NAGRA wohl bewusst, dass damit Entscheidungen deutlich beeinflusst werden können (z. B. Zurückstellung einer Gesteinseinheit, obwohl die Mindestanforderung bezüglich der Durchlässigkeit noch erfüllt ist).

Identifizierung der Wirtsgesteine, ihre zunehmende Einengung und Festlegung auf die bevorzugten Wirtsgesteine

Die Vorgehensweise der NAGRA zur Einengung potenzieller Wirtsgesteine und zur letztendlichen Identifizierung der bevorzugten Wirtsgesteine ist prinzipiell nachvollziehbar. Insbesondere das gewählte schrittweise Vorgehen mit aufeinander aufbauenden Einzelschritten entspricht den heutigen Anforderungen an entsprechende Verfahren.

In der „**praktischen Darlegung**“ der **Vorgehensweise** zeigen NTB 08-03 und NTB 08-04 jedoch Schwächen. Es ist für Außenstehende manchmal schwierig, dem Fortgang der Argumentation zu folgen. Gründe hierfür sind u. a. die teilweise Vermengung der Vorgehensweise bei der Identifizierung der Wirtsgesteine für SMA- und HAA-Lager, die Trennung des Verfahrens nach Sediment- und Kristallingesteinen, die fehlende Übersicht bei der Anwendung der Indikatoren bzw. Kriterien bei einzelnen Schritten, sowie auch der Mindestanforderungen und der verschärften Anforderungen. Wohlgermerkt, dieser Schwachpunkt berührt nicht die Inhalte des Verfahrensschrittes, sondern nur die Darlegung. Hier tritt der bereits früher genannte Begriff der „Überkomplexität“ auf.

Die Beschreibung der potenziell möglichen Wirtsgesteine und die Darstellung ihrer sicherheitsgerichteten Eigenschaften können hier nicht im Einzelnen überprüft werden, jedoch lassen die Darstellungen in NTB 08-03 und NTB 08-04 keine offensichtlichen Unklarheiten oder gar Fehler erkennen. Deshalb wird davon ausgegangen, dass den von NAGRA getroffenen Aussagen und Schlussfolgerungen ein hohes Maß an **Plausibilität** zukommt. Dafür spricht auch die Anwendung von Mindestanforderungen und verschärften Anforderungen, weil dadurch eine klare Handlungsweise bei der Einengung der Wirtsgesteine vorgegeben ist.

Gleiches gilt für die Vollständigkeit. Die in jedem Fall zu berücksichtigenden Merkmale von Wirtsgesteinen, ihre sicherheitsrelevanten Einflussgrößen und Wechselwirkungen, aber auch unvermeidbare Unsicherheiten, werden dargestellt. In diesem Sinne ist die Vollständigkeit der Ausführungen gegeben.

Die Zusammenfassung der Einzelergebnisse zu einem Gesamtergebnis (Aggregation)

Die generelle Vorgehensweise der NAGRA bei der Aggregation der Einzelergebnisse der Indikatoren zu Kriterien sowie die Zusammenführung von Kriterien zu Kriteriengruppen und abschließend zum Gesamtergebnis wird bereits in Kapitel 3.4.2 kurz dargestellt. Die dortigen Ergebnisse bzw. Kritikpunkte treffen auch auf die Bewertung der bevorzugten Wirtsgesteine für das SMA-Lager und HAA-Lager zu (NTB 08-03, Tab. C.3-1 und C.3-2). Hauptkritikpunkt ist die Einführung von Zahlenwerten, mit denen dann gerechnet wird (Mittelwertbildung), obwohl nur ordinal skalierte Größen vorliegen, bei denen arithmetische Operationen nicht zulässig sind.

Zudem stellt sich die Frage, warum in NTB 08-03, Tab. C.3-2, der Opalinuston überhaupt bewertet wird, denn er ist das einzig verbliebene bevorzugte Wirtsgestein für HAA. Die dort durchgeführte Bewertung hätte nur einen Sinn, wenn mehrere Wirtsgesteine miteinander verglichen werden sollten. Dies ist aber nicht der Fall, denn die Entscheidung für Opalinuston fällt bereits früher, und zwar beim Anlegen verschärfter Anforderungen an das Wirtsgestein für HAA (NTB 08-03, Tab. 4.3-2). Die mit dieser Tabelle vorgenommene Zurückstellung der übrigen fünf potenziell möglichen Wirtsgesteine ist nachzuvollziehen.

3.6 Schritt 5: Identifikation geeigneter Konfigurationen und Festlegung von Vorschlägen für geologische Standortgebiete

3.6.1 Vorgehensweise und Ergebnisse der NAGRA

In diesem fünften Arbeitsschritt werden – entsprechend den „Vorgaben des Sachplanes Geologisches Tiefenlager (SGT)“ – von der NAGRA innerhalb der geologisch-tektonischen Großräume (s. Kap. 3.4) geeignete Konfigurationen für die in Schritt vier identifizierten bevorzugten Wirtsgesteine (s. 3.5) abgegrenzt. Dabei werden Mindestanforderungen angewandt, die vor allem die Tiefenlage und Mächtigkeit des Wirtsgesteins betreffen, sowie weitere Mindestanforderungen, wie die erforderlichen Mindestflächengrößen für SMA- und HAA-Endlager, gebietsbegrenzende geologische-tektonische Elemente, glazial übertiefte Felsrinnen u. a. Zusätzlich kommen verschärfte Anforderungen zur Anwendung. Letztlich werden alle Kriterien bzw. Indikatoren aus dem SGT in diesem Arbeitsschritt angewandt.

Bei Identifikation geeigneter Konfigurationen wird unterschieden zwischen flächenhafter Verbreitung der Wirtsgesteine (für SMA und HAA) und lokalen „Einzelvorkommen“ (nur für SMA). Die flächenhafte Verbreitung von Wirtsgesteinen findet man im östlichen Tafeljura, der östlichen Subjurassischen Zone und im Molassebecken. Einzelvorkommen beschränken sich auf Großräume, bei denen die Sedimentgesteine durch tektonische Vorgänge kleinräumig zergliedert sind (westlicher Tafeljura, westliche Subjurassische Zone, Faltenjura, Alpen).

In den flächenhaft verbreiteten Wirtsgesteinen werden der Einengungsprozess und die Festlegung der Standortgebiete mittels eines Geografischen Informationssystems (GIS) vorgenommen. Hier werden zuerst potenziell mögliche Be-

reiche identifiziert, charakterisiert und bewertet. Dies führt zu prioritären Bereichen (besonders günstige Bereiche), die die Grundlage für die Festlegung der geologischen Standortgebiete bilden.

Bei lokalen Vorkommen bevorzugter Wirtsgesteine, bei denen die Anwendung eines GIS nicht möglich ist, beschränkt sich die Einengungsprozedur auf eine Beurteilung der Indikatoren hinsichtlich der gestellten Mindestanforderungen sowie verschärfter Anforderungen. Abschließend wird eine Bewertung vorgenommen.

Schließlich werden in bzw. aus den Bereichen hoher Priorität die Standortgebiete ermittelt. Diese werden schließlich vergleichend bewertet, und es werden daraus Vorschläge für die geologischen Standortgebiete abgeleitet. Als Standortgebiete für das SMA-Lager werden drei „sehr geeignete“ Gebiete und drei „geeignete Gebiete“ identifiziert. Für das HAA-Lager werden zwei „sehr geeignete“ Gebiete und ein „geeignetes“ Gebiet identifiziert.

Insgesamt nimmt die Festlegung der Vorschläge für geologische Standortgebiete in den Berichten NTB 08-03 sowie NTB 08-04 (inklusive Beilagenband) einen erheblichen Umfang ein.

3.6.2 Bewertung der Vorgehensweise und der Ergebnisse der NAGRA

Bei der Festlegung von Vorschlägen für geologische Standortgebiete wird eine sehr große Anzahl räumlicher und geowissenschaftlicher Informationen verarbeitet. Diese Datenmenge entzieht sich der Detailüberprüfung im Rahmen dieser Stellungnahme. Deshalb können nur die wesentlichen Schritte, Bewertungen und Schlussfolgerungen der NAGRA überprüft werden. Daraus ergeben sich folgende zu prüfende Aspekte:

- Identifikation der potenziell möglichen und der bevorzugten Bereiche,
- Bewertung bevorzugter Bereiche und Festlegung der Vorschläge für geologische Standortgebiete (einschließlich Aussagen zur Methodik),
- Sonstiges (potenzielle Beeinflussung Österreichs sowie Anmerkungen zu verschiedenen Einzelaspekten).

Identifikation der potenziell möglichen und der bevorzugten Bereiche

Die Bestimmung bevorzugter Bereiche hat zum Ziel, sicherheitsmäßig ungefähr gleichwertige Bereiche zu bestimmen und den Einfluss relevanter Ungewissheiten zu reduzieren. Dabei wird in fünf komplexen Teilschritten vorgegangen.

In einem **ersten Teilschritt sind für jedes bevorzugte Wirtsgestein die potenziell möglichen Bereiche zu identifizieren**. Dazu wird die räumliche Verbreitung des Wirtsgesteins, seine Tiefenlage und seine Mächtigkeit untersucht. Dabei gelten Mindestanforderungen, die erfüllt werden müssen. Ergebnis dieses Teilschrittes sind Karten des Vorkommens bevorzugter Wirtsgesteine in flächenhafter Verbreitung und in lokalen Vorkommen.

In den weiteren Teilschritten werden dann nach und nach weitere Anforderungen überprüft. Dazu gehören das Vorkommen regionaler Störungszonen und übertieferer glaziale Felsrinnen, die von den Flächen weggeschnitten werden.

Zudem werden noch weitere Mindestanforderungen überprüft (z. B. Forderung nach gesättigten Verhältnissen, kein Verkarstungspotenzial, keine nutzungs-würdigen Rohstoffe, genügend zuverlässige Exploration).

Als Ergebnis dieser Vorgehensweise resultieren Karten, die für die einzelnen Wirtsgesteine die potenziell möglichen Bereiche aufzeigen. Diese Bereiche erfüllen alle Mindestanforderungen und kommen auch bezüglich ihrer Größe und Form in Frage.

Die von NAGRA gewählte Vorgehensweise (dargestellt in NTB 08-03, zugehörige geologische Informationen in NTB 08-04) **erfüllt die Kriterien Vollständigkeit, Plausibilität und Nachvollziehbarkeit**. Gerade die Anwendung von Mindestanforderungen zu den oben genannten Aspekten ermöglicht die begründete räumliche Festlegung (den „Zuschnitt“) der möglichen Bereiche. Die Anwendung der Mindestanforderungen mittels eines GIS-basierten Einengungsverfahrens konnte nicht überprüft werden; es wird davon ausgegangen, dass die Kriterien richtig angewandt worden sind.

In einem **zweiten Teilschritt werden die bevorzugten Bereiche identifiziert**. Dazu werden je nach Wirtsgestein sicherheitstechnisch besonders wichtige Merkmale in Form verschärfter Anforderungen benutzt. Diese betreffen u. a. Mächtigkeit und Tiefenlage des Wirtsgesteins, tektonische Überprägung und Zonen mit Neotektonik. Diese verschärften Anforderungen können dazu führen, dass die im ersten Teilschritt identifizierten potenziell möglichen Bereiche weiter beschnitten werden oder gar auszuschließen sind (schrittweise Einengung). Das Ergebnis ist in Karten der bevorzugten Bereiche (je nach SMA- und HAA-Lager) in NTB 08-03 dargestellt.

Auch die **Vorgehensweise der NAGRA im zweiten Teilschritt erfüllt die Kriterien Vollständigkeit, Plausibilität und Nachvollziehbarkeit**. Die Anwendung sicherheitsorientierter verschärfter Anforderungen ist sachgerecht und führt bei korrekter Anwendung folgerichtig zu den bevorzugten Bereichen. Zudem ist das gewählte schrittweise Vorgehen problemangemessen und ermöglicht die grundsätzliche Nachvollziehbarkeit des Vorgehens.

Bewertung bevorzugter Bereiche und Festlegung der Vorschläge für geologische Standortgebiete

Nach der Identifikation der bevorzugten Bereiche werden diese bewertet. Die Bewertung geschieht hier – jeweils getrennt für SMA- und HAA-Lager – von den Indikatoren über die Kriterien zu den Kriteriengruppen. Bei der Bewertung werden sämtliche Kriterien gemäß SGT benutzt.

Darauf aufbauend werden dann besonders geeignete Bereiche je für SMA- und HAA-Lager ausgewählt, die dann als prioritäre Bereiche den Ausgangspunkt für die Festlegung der geologischen Standortgebiete bilden. Bevorzugte Bereiche, die etwas weniger gut bewertet werden, können in ein geologisches Standortgebiet integriert werden, wenn sie mit dem prioritären Bereich überlappen oder in dessen Nähe liegen.

Abschließend werden geologischen Standortgebiete je für SMA- und HAA-Lager zusammenfassend bewertet, und die Vorschläge für geologische Standortgebiete festgelegt. Dabei werden die Ergebnisse bzw. Bewertungen aller bisherigen Einengungsschritte herangezogen. Benutzt wird dabei eine qualitati-

ve Werteskala mit den Werten „sehr geeignet“, „geeignet“, „bedingt geeignet“ und „weniger geeignet“. Dieser Werteskala werden sodann Zahlenwerte zugeordnet. Nach SGT kommen als geologische Standortgebiete nur solche in Frage, die mindestens die Bewertung „bedingt geeignet“ erreicht haben.

Diese Bewertung der bevorzugten Bereiche geschieht nach dem gleichen Muster, die bereits in Kap. 3.4.2 ausführlich dargelegt und kritisiert wird (s. dort). Die Aggregation über die Hierarchiestufen Indikator, Kriterium, Kriteriengruppe bis zum geologischen Standortgebiet geschieht mittels der bei ordinaler Skalierung nicht zulässigen arithmetischen Mittelwertbildung. Dadurch wird eine Genauigkeit des Ergebnisses vorgespiegelt, die real nicht vorhanden ist. Dazu tragen allein schon der übliche geowissenschaftliche Datenmangel und nicht vermeidbare Ungenauigkeiten bei der Anwendung der Indikatoren bzw. Kriterien bei.

Betrachtet man das Ergebnis der zusammenfassenden Bewertung der geologischen Standortgebiete für das SMA- und HAA-Lager in NTB 08-03, Abb. C.5-1 u. C.5-2, dann muss sich die Frage stellen, warum ein Standortgebiet mit der Punktzahl 3,6 „sehr geeignet“ ist, eines mit 3,3 lediglich „geeignet“ (SMA-Lager) oder warum ein Standortgebiet mit der Punktezahl 3,6 ebenso wie eines mit der Zahl 3,5 „sehr geeignet“ ist, während eins mit der Punktzahl 3,4, das um weitere 0,1 Punkte schlechter ist, nur „geeignet“ ist (HAA-Lager).

Ein weiteres Problem mit solch „verrechneten“ Punktezahlen besteht darin, dass man sich damit der notwendigen Abwägung der Vor- und Nachteile des zu bewertenden Sachverhaltes (oder Kriteriums) entziehen kann, da die Verrechnung von Zahlenwerten implizit zur Kompensation nicht kompensierbarer Vor- und Nachteile führen kann. Im vorliegenden Fall ist dieser Kritikpunkt etwas abgemildert, da die NAGRA sich in NTB 08-03 und NTB 08-04 recht intensiv mit den einzelnen Standortgebieten auseinandersetzt. Um so mehr stellt sich die Frage, warum man nicht auf einer rein qualitativen Bewertungsebene geblieben ist.

Durch die nicht zulässige Verrechnung von Zahlenwerten wird immer ein Fehler in die Bewertung eingebracht. Im vorliegenden Fall ist allerdings davon auszugehen, dass dieser Fehler eher gering ist. Ursache dafür ist die schon genannte sehr detaillierte Sachauseinandersetzung der NAGRA mit den einzelnen Standortgebieten sowie die Anwendung von Mindestanforderungen, die dazu führen, dass ungeeignete Standortgebiete vorher schon eliminiert werden, sowie verschärften Anwendungen.

Auch die NAGRA weist ausdrücklich darauf hin, dass die Aggregations-Methodik bei der Auswahl der Standortgebiete nur eine untergeordnete Rolle gespielt hat.

Tatsächlich wurden etwa für das SMA-Lager im Schritt 5 gemäß SGT aus den vorgegebenen Wirtsgesteinen 12 bevorzugte Bereiche nur durch Anwendung der Mindestanforderungen und dann der verschärften Anwendungen ausgewählt, ohne dass die hier kritisierte Methodik der Verrechnung von Zahlenwerten eingesetzt wurde. Von diesen 12 Bereichen wurden dann lediglich zwei (SMA-OPA-SJ-W und SMA-EFF-SJ-W) nach Anwendung dieser Methodik zurückgestellt und nicht in ein Standortgebiet integriert (NTB 08-03, Kapitel 5; TFS 2010c).

Allerdings spielen die errechneten Zahlenwerte für die Bewertung der ausgewählten Gebiete eine Rolle; es kann der Eindruck entstehen, dass damit bei den ausgewählten Gebieten bereits Prioritäten gesetzt werden, auch wenn NAGRA und

ENSI dies als nicht beabsichtigt und nicht relevant bezeichnen. Insofern könnte sich die kritisierte Methodik auch noch im Laufe des weiteren Vorgehens als nachteilig erweisen.

Auch aufgrund einer möglicherweise gegebenen internationalen Beispielwirkung des Schweizer Vorgehens sollte die methodische Kritik festgehalten werden.

Sieht man von diesem methodischen Schwachpunkt ab, **ist jedoch die Vorgehensweise der NAGRA auch für diesen Arbeitsschritt als vollständig und plausibel zu bewerten**. Auch die **Nachvollziehbarkeit ist gegeben**, setzt aber eine intensive Beschäftigung mit der Materie und dem Vorgehen der NAGRA voraus. Diese Aussagen gelten vor dem Hintergrund, dass zu den bevorzugten Bereichen und den Vorschlägen für die geologischen Standortgebiete naturgemäß die Informationslage Lücken aufweist. Deshalb unterliegen sämtliche Aussagen dem Irrtumsvorbehalt, d. h. sie müssen bei Vorlage neuer Erkenntnisse gegebenenfalls korrigiert werden.

4 BEWERTUNG DES SICHERHEITSTECHNISCHEN GUTACHTENS DES ENSI ZUM VORSCHLAG GEOLOGISCHER STANDORTGEBIETE VOM JANUAR 2010

4.1 Aufgabenstellung des ENSI

Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) ist im Rahmen des Sachplans geologische Tiefenlager (SGT) als Aufsichtsbehörde des Bundes gesamtverantwortlich für die sicherheitstechnische Beurteilung der geologischen Standortgebiete. Es beurteilte die von der NAGRA eingereichten Vorschläge und fertigte ein sicherheitstechnisches Gutachten an. Dieses Gutachten liegt seit Januar 2010 vor (ENSI 2010), und es soll im Rahmen dieser Fachexpertise gleichfalls kurz bewertet werden.

ENSI beurteilte alle fünf Teilschritte, die in Etappe 1 des SGT verlangt werden:

- Schritt 1: Abfallzuteilung auf die Lagertypen SMA und HAA,
- Schritt 2: Festlegung des Sicherheitskonzepts und der kriterienbezogenen Anforderungen und Vorgaben,
- Schritt 3: Identifikation geeigneter Großräume,
- Schritt 4: Identifikation potenziell geeigneter Wirtsgesteine und einchlusswirksamer Gebirgsbereiche,
- Schritt 5: Identifikation bevorzugter Standortbereiche.

Das ENSI prüfte insbesondere die geologischen Grundlagen, die Ergebnisse der generischen Sicherheitsbetrachtungen, die Transparenz des Vorgehens und vor allem die Nachvollziehbarkeit der vorrangig sicherheitsgerichteten Argumentation.

ENSI wurde dabei durch verschiedene Behörden, ETH Zürich sowie spezialisierte Ingenieurbüros unterstützt. Zu nennen ist insbesondere das Bundesamt für Landestopografie (swisstopo). Ein Expertenbericht dieses Amtes stellte für ENSI eine der Grundlagen für die Erstellung seines Gutachtens dar (SWISSTOPO 2010). Eine separate Auswertung dieses Berichtes, in den die Verfasser Einblick genommen haben, erübrigt sich, da die wichtigsten Aussagen dieses Expertenberichtes in das ENSI-Gutachten eingeflossen sind.

4.2 Ergebnisse des ENSI und ihre Bewertung in dieser Fachexpertise

Kurz gefasst werden die Kernaussagen des ENSI zu den in Kap. 4.1 dargelegten fünf Schritten dargestellt. Zu jedem der Schritte wird anschließend eine Bewertung abgegeben.

Schritt 1: Abfallzuteilung auf die Lagertypen SMA und HAA

Aussage ENSI

Die Dokumentation der Abfallmengen und -sorten sowie ihrer Inventare durch die NAGRA ist ausreichend. Somit hat die NAGRA eine ausreichend genaue Datenbasis berücksichtigt, um die verschiedenen endzulagernden Abfallarten zu bestimmen und diese auf die beiden Endlagertypen SMA und HAA aufzuteilen.

Zusammenfassend stimmt die ENSI der von der NAGRA gewählten Zuteilung der Abfälle auf die beiden Endlagertypen zu.

Bewertung

Die Aussagen des ENSI stimmen im Prinzip mit der Bewertung dieser Fachexpertise überein. Die Kriterien Vollständigkeit, Plausibilität und Nachvollziehbarkeit sind weitestgehend erfüllt. (Die Frage nach möglichen sicherheitsmäßigen Vor- und Nachteilen eines Kombilagere wird von ENSI allerdings nicht aufgegriffen, vgl. Kapitel 3.1)

Schritt 2: Festlegung des Sicherheitskonzepts und der kriterienbezogenen Anforderungen und Vorgaben

Aussagen ENSI

Dem von der NAGRA vorgestellten Sicherheits- und Barrierenkonzept wird von ENSI zugestimmt. Das Konzept wird als geeignet angesehen, um den erforderlichen Schutz von Mensch und Umwelt zu gewährleisten.

Wichtige Festlegungen werden von ENSI als plausibel angesehen. Dies betrifft vor allem den Platzbedarf, die beiden Endlagertypen sowie den Betrachtungszeitraum, für den das Barrierensystem seine Funktion beibehalten muss. Die mittels generischer Sicherheitsbetrachtungen abgeleiteten quantitativen Vorgaben an die geologischen Barrieren werden akzeptiert. Auch weitere Anforderungen an die geologischen Barrieren wurden von ENSI detailliert überprüft, und ENSI kann den Aussagen der NAGRA zu den Mindestanforderungen sowie den verschärften Anforderungen an die Indikatoren weitgehend folgen.

Nur bedingt folgen kann das ENSI der NAGRA hinsichtlich der maximalen Tiefenlage für das HAA-Lager. Nach ENSI müssen bereits ab Tiefen von 650 m – und nicht ab 900 m, wie von NAGRA angenommen – im Tongestein verstärkt Ausbaumittel eingesetzt werden, wozu noch weitergehende Untersuchungen notwendig sind.

ENSI übernimmt die von NAGRA vorgenommene Bewertung von Indikatoren mit Zahlenwerten und die folgende Aggregation nicht und stützt somit insofern die im vorliegenden Zwischenbericht dazu formulierte Kritik (s. Kapitel 3.4). Als Gründe für die Beschränkung auf eine mehr qualitative Bewertung gibt ENSI an (S. 54):

- Die Zahlenwerte suggerieren eine zu große Genauigkeit.
- Den verschiedenen Bewertungsstufen werden unterschiedlich große Zahlenbereiche zugeordnet, dies kann eine Verzerrung verursachen.

- Gewisse Indikatoren wirken nicht differenzierend und können damit das Ergebnis der Aggregation beeinflussen.

Insgesamt kommt ENSI zu dem Schluss, dass die Festlegung des Sicherheitskonzepts und der kriterienbezogenen Anforderungen an die geologische Barriere den Vorgaben des Sachplans entsprechen.

Bewertung

Den Aussagen des ENSI ist weitgehend zuzustimmen. Dies gilt insbesondere hinsichtlich der Anforderungen an die geologische Barriere und das Sicherheitskonzept sowie vor allem die Kritik an der von der NAGRA benutzten Bewertungsmethodik. Die von ENSI festgestellten möglichen Probleme mit der maximalen Tiefenlage im Tongestein sind als plausibel anzusehen. Die positive Bewertung der lagerinduzierten Einflüsse (z. B. Gasbildung, chemische Prozesse im Nahbereich des Tiefenlagers) durch ENSI kann aber nicht nachvollzogen werden, da einige dieser Prozesse immer noch nicht vollständig verstanden werden. Dennoch hat dies keinen gravierenden Einfluss auf die folgenden Schritte, d. h. auf die Auswahl von Standortbereichen, da diese nur von einem generischen Sicherheitskonzept auszugehen haben. Erst nach Festlegung von Endlagerstandorten werden diese Probleme virulent.

Schritt 3 Identifikation geeigneter Großräume

Aussagen ENSI

ENSI stellt fest, dass die NAGRA umfangreiche geologische Literatur und eigene Studien herangezogen hat, um die geologisch-tektonischen Großräume zu bestimmen. Insbesondere hinsichtlich der großräumigen Erosion und der Modellvorstellungen zur Geodynamik der Alpen hat ENSI eigene Untersuchungen vorgenommen. Diese ergeben keine grundsätzlichen Abweichungen von den Vorstellungen der NAGRA.

Hinsichtlich der Großräume für das SMA-Lager teilt ENSI im Grundsatz die Meinung der NAGRA, dass die Mindestanforderungen an die Großräume überall in der Schweiz erfüllt sind. ENSI hat allerdings eine differenzierte Auffassung hinsichtlich Gebieten mit hohen Hebungsraten von $> 1\text{mm/a}$ und Gebieten mit hohen Gradienten von Hebungsraten. Deshalb sind solche Gebiete nach ENSI ungünstig anzusehen, und die Nordwestschweiz und der nördliche Teil der Alpen sind nur als bedingt günstig anzusehen. Den restlichen Bewertungen der NAGRA kann ENSI folgen.

Hinsichtlich der Großräume für das HAA-Lager folgt ENSI der NAGRA, soweit es sich um nicht geeignete Räume handelt. Bei einigen anderen Räumen, speziell das westliche Molassebecken, sieht ENSI eine ungünstigere Bewertung als die NAGRA.

Insgesamt akzeptiert ENSI die von der NAGRA identifizierten Großräume trotz vereinzelter Differenzen bei ihrer Bewertung. Diese Differenzen haben nach Meinung der ENSI keinen Einfluss auf die in Schritt 5 vorgeschlagenen geologischen Standortgebiete.

Bewertung

Der generellen Einschätzung des ENSI für diesen Arbeitsschritt ist zu folgen. Dies gilt auch für die teilweise abweichende Bewertung einzelner Großräume (Herabstufung) durch ENSI. Dies ändert aber nichts am Ergebnis dieses Arbeitsschrittes und auch nichts am Gesamtergebnis, weil nur die jeweils besten Teilräume weiter im Verfahren verbleiben.

Schritt 4: Identifikation potenziell geeigneter Wirtsgesteine und einschlusswirksamer Gebirgsbereiche

Aussagen ENSI

Die von der NAGRA als Ausgangspunkt für diesen Schritt vorgenommene Analyse der potenziellen Wirtsgesteine auf Basis von 27 schweizweit ausgewählten Sammelprofilen wird von ENSI als gute Basis bewertet. ENSI hat die 27 Sammelprofile überprüfen lassen. Dabei sind keine substanziellen Lücken identifiziert worden.

Die nachfolgende Auswahl potenziell geeigneter Wirtsgesteine durch die NAGRA ist aus Sicht des ENSI sowohl für das SMA-Lager als auch das HAA-Lager nachvollziehbar, obwohl ENSI eine teilweise etwas strengere Bewertung angelegt hat. Speziell zum „Braunen Dogger“, der ein mögliches Wirtsgestein bzw. auch Rahmengestein für ein SMA- oder HAA-Lager sein könnte, sieht ENSI noch gewisse Kenntnislücken.

ENSI betrachtet die Wahl der helvetischen Mergel als Wirtsgestein für das SAM-Lager zwar als anspruchsvoll, stimmt ihr aber zu.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass auch nach Meinung des ENSI der Opalinuston das bevorzugte Wirtsgestein für beide Endlagertypen ist.

Bewertung

Die Aussagen des ENSI sind insgesamt plausibel und nachvollziehbar. Insbesondere die von der NAGRA gewählte Vorgehensweise, in einem ersten Teilschritt 27 Sammelprofile zu analysieren und darauf aufbauend die potenziellen Wirtsgesteine unter Anwendung von Mindestanforderungen und verschärften Anforderungen auszuwählen, ist fachlich sinnvoll und nachvollziehbar.

Die nach Meinung der ENSI „anspruchsvolle“ Berücksichtigung der helvetischen Mergel können sich die Verfasser nur anschließen. In Kap. 3.4.2 dieser Stellungnahme wird bereits auf damit zusammenhängende potenzielle Probleme hingewiesen. Die Aussagen von ENSI zum „Braunen Dogger“ sind nachvollziehbar. Zur Methodik s. o. Schritt 4.

Schritt 5: Identifikation bevorzugter Standortbereiche

Aussagen ENSI

ENSI beurteilt das Vorgehen der NAGRA, das sich durch eine möglichst breite Vielfalt an Wirtsgesteinen, eine optimale Abgrenzung der geologischen Standortgebiete und die Forderung nach vergleichbarer Sicherheit auszeichnet, als zielführend und sicherheitsgerichtet. Zudem wird dem von der NAGRA umgesetzte Einengungsprozess zugestimmt.

ENSI hat insbesondere das GIS-Einengungsverfahren überprüfen lassen. Dabei zeigt sich eine gute Deckung der resultierenden geologischen Standortbereiche mit den von der NAGRA erzeugten Ergebnissen.

Zudem überprüft ENSI jeden der ausgewählten geologischen Standortbereiche und kommt zusammenfassend zu dem Ergebnis, dass allen von der NAGRA ausgewählten Standortgebieten für SMA und HAA trotz vereinzelt im Detail unterschiedlicher Bewertung einzelner Indikatoren zuzustimmen ist.

Bewertung

Die Bewertungen des ENSI sind plausibel und nachvollziehbar. Sie beruhen auf einer guten Grundlage, insbesondere durch die genaue Überprüfung des GIS-Einengungsverfahrens sowie der einzelnen ausgewählten Standortbereiche.

4.3 Gesamtbewertung des sicherheitstechnischen Gutachtens des ENSI

Das sicherheitstechnische Gutachten des ENSI zum Vorgehen der NAGRA bei der Ermittlung von Vorschlägen zu geologischen Standortgebieten (SGT, Etappe 1) stellt eine profunde Bewertung der Unterlage der NAGRA dar. Es ist in seinen Aussagen plausibel und nachvollziehbar. Zu diversen Aspekten hat ENSI eigene Berechnungen und Überlegungen angestellt, die im Ergebnis im Prinzip mit den Aussagen der NAGRA übereinstimmen.

Die Schritte 1 bis 5, insbesondere die Kernschritte 3 bis 5 (s. Kap. 4.1), werden von ENSI nachvollzogen. Dem wird auch im Rahmen dieser Fachexpertise zugestimmt. Kleinere Diskrepanzen zwischen ENSI und NAGRA haben keinen Einfluss auf das Gesamtergebnis. Dies gilt insbesondere für die Bewertung von geowissenschaftlichen Sachverhalten, über die in den Geowissenschaften noch keine abschließend gesicherte Meinung vorliegt.

Zur Methodik der NAGRA, Indikatoren mittels Zahlenwerten zu bewerten, Einzelergebnisse zahlenmäßig zusammenzufassen und vergleichend zu bewerten, äußert sich ENSI kritisch. ENSI benützt bei seiner eigenständigen Beurteilung von Wirtsgesteinen usw. keine zahlenmäßige Aggregationsmethodik, sondern stützt sich dabei auf rein qualitative Bewertungen. Dies stützt die entsprechende Kritik in dieser Fachexpertise.

Zusammenfassend bleibt festzustellen, dass die Ergebnisse dieser Fachexpertise in ihrer Bewertung der Arbeitsschritte der NAGRA weitgehend mit den Ergebnissen des ENSI übereinstimmen.

5 BEWERTUNG DES GUTACHTENS DER KOMMISSION NUKLEARE ENTSORGUNG (KNE)

5.1 Aufgabenstellung der KNE

Die Kommission Nukleare Entsorgung ist eine außerparlamentarische Fachkommission, deren Aufgabe darin besteht, als erdwissenschaftliches Fachgremium das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI in Fragen der nuklearen Entsorgung zu beraten. Im Rahmen der Etappe 1 des Sachplans Geologisches Tiefenlager (SGT) hat die KNE die Aufgabe, das ENSI zu ausgewählten inhaltlichen Aspekten der Schritte 2 bis 5 der Etappe 1 des SGT sicherheits- und bautechnischen zu beraten (KNE 2010). Dazu hat KNE die Vorschläge der NAGRA zu den bevorzugten geologischen Standortgebieten und den dazu gehörigen dreistufigen Einengungsprozess für ENSI detailliert beurteilt. Ebenfalls werden von KNE als relevant angesehenen Kriterien und Indikatoren im Einzelnen bewertet.

Schritt 1 des SGT (Abfallzuteilung auf HAA- und SMA-Lager) wird von KNE nicht behandelt. Gleichfalls nicht behandelt werden von KNE die Auswirkungen von Korrosionsgasen sowie die generischen Modellrechnungen zum Radionuklidtransport.

5.2 Ergebnisse der KNE und Bewertung in dieser Fachexpertise

Die zusammenfassenden Ergebnisse des Gutachtens der KNE sind entlang von fünf Prüffragen strukturiert, die im Konzeptteil des SGT an die Prüfbehörden formuliert worden sind. Im Folgenden werden die Fragen benannt, sodann die Antworten der KNE gegeben, und anschließend wird die Bewertung dieser Fachexpertise zu den Antworten der KNE vorgelegt.

Frage 1: *Sind die von den Entsorgungspflichtigen hergeleiteten quantitativen und quantitativen Anforderungen an die geologisch-tektonische Situation, an das Wirtgestein bzw. den einschlusswirksamen Gebirgsbereich und an den Standort für die KNE nachvollziehbar und genügend?*

Ergebnis KNE

Die KNE kann die durch die NAGRA festgelegten Anforderungen an die Bewertungsindikatoren insgesamt nachvollziehen. KNE wirft jedoch zu einzelnen Anforderungen Fragen auf. Diese betreffen die felsmechanischen Eigenschaften der Wirtgesteine (betrifft v. a. die Standortregion Wellenberg), die minimale Tiefenlage der Tiefenlager (betrifft v. a. die glaziale Tiefenerosion), die zukünftige Klimaentwicklung und die Landschaftsgeschichte (betrifft v. a. das Gewässernetz), den Tongehalt sowie die Selbstabdichtung (betrifft v. a. die Standortregion Wellenberg, die deutlich weniger günstig eingeschätzt wird).

Außerdem müssen nach Meinung der KNE die Auswirkungen zementhaltiger und vollflächiger Stützmittel zum Vollausbau des Tiefenlagers berücksichtigt werden, da deren hochalkalischen Porenwässer quellfähige Tonminerale auflösen können. Diese Auswirkungen auf den Nahbereich bzw. die Barrieren des Tiefenlagers sind im Detail noch zu überprüfen. Sie können zu Begrenzungen der HAA-Standortgebiete (Verkleinerungen) führen. Des Weiteren liegt für HAA-Lager kein nachvollziehbarer bautechnischer Nachweis des vollflächigen Ausbaukonzeptes für Tiefenlagen von > 650 m weder für intaktes noch für tektonisch überprägtes Gebirge vor.

Bewertung des Ergebnisses der KNE

Die kritischen Anmerkungen der KNE hinsichtlich einzelner Bewertungsindikatoren sind nachvollziehbar. In den entsprechenden Unterkapiteln der KNE-Stellungnahme werden die fachlichen Zusammenhänge durch KNE plausibel dargelegt. Die im Tiefenlager nach Meinung der KNE verstärkt notwendigen zementhaltigen Stützmittel können eine Gefahr für die Barrierenfunktion des Bentonits darstellen. Die Forderung der KNE, entsprechende Auswirkungen genauer zu überprüfen, ist zu unterstützen. Gleiches gilt für die Forderung, das neue vollflächige Ausbaukonzept genauer zu spezifizieren. Dies könnte Auswirkungen auf die maximale Tiefenlage und die Begrenzungen der Standortregionen haben.

Frage 2: *Haben die Entsorgungspflichtigen alle verfügbaren relevanten geologischen Informationen berücksichtigt und sind diese ausreichend für die Zwecke der Vororientierung?*

Ergebnis KNE

Die KNE kommt zu dem Schluss, dass die NAGRA die bekannten relevanten geologischen Informationen und regionalgeologischen Grundlagen umfassend berücksichtigt hat und dass diese für die Bearbeitung der Etappe 1 der SGT ausreichend sind. Damit ist die Grundlage dafür gegeben, die Kriterien und Indikatoren im eigentlichen Einengungsprozess fachgerecht anwenden zu können.

Bewertung des Ergebnisses der KNE

Dieser Bewertung der KNE ist nichts hinzuzufügen. Die Bereitstellung einer guten geologischen Grundlage ist den Entsorgungspflichtigen (NAGRA) auch in dieser Expertise bescheinigt worden (s. Kap. 3.4.2).

Frage 3: *Haben die Entsorgungspflichtigen die vorgegebenen Kriterien bei der Erarbeitung der Vorschläge potenzieller Standortgebiete adäquat und stufengerecht berücksichtigt?*

Ergebnis KNE

Nach KNE hat die NAGRA die vorgegebenen sicherheitstechnischen Kriterien bei der Erarbeitung potenzieller Standortgebiete stufengerecht berücksichtigt.

Allerdings erfolgt die Anwendung der Kriterien nicht immer in adäquater Form. KNE kritisiert insbesondere die in Schritt 5 von NAGRA vorgenommene Mittelwertbildung bei der Aggregation der Ergebnisse von den Indikatoren über die Kriterien zur Gesamtbewertung, da dadurch das Bewertungssystem an Sensitivität verliert. Weiterhin wird kritisiert, dass die Gewichtung einzelner Indikatoren teilweise als Ermessenfrage angesehen wird und in einigen Fällen von Experten der KNE anders bewertet wird als durch diejenigen der NAGRA.

Bewertung des Ergebnisses der KNE

Dem Ergebnis von KNE ist zuzustimmen. In dieser Fachexpertise wird mehrfach darauf hingewiesen (z. B. Kap. 3.3, 3.4.2, 3.6.2) dass die Mittelwertbildung und einige andere bewertungsmethodische Sachverhalte als problematisch anzusehen sind. Dies gilt nicht zuletzt auch für die normative Festlegung der Gewichtung von Kriterien und das sogenannte „expert-judgement“, das nur einen dürftigen Ersatz für unzureichende Kenntnis darstellt.

Frage 4: *Ist das Vorgehen der Entsorgungspflichtigen bei der Erarbeitung der Vorschläge potenzieller Standortgebiete für die KNE transparent und nachvollziehbar?*

Ergebnis KNE

KNE stellt fest, dass die von der NAGRA vorgelegten Unterlagen äußerst umfangreich und in den meisten Fällen fachlich sehr kompetent geschrieben sind. Sie erfüllen damit die fachlichen Anforderungen, die für Etappe 1 des SGT gefordert werden. KNE betont zudem die außerordentlich hohe Transparenz und Verfügbarkeit aller relevanten Projektunterlagen und Daten. Das Studium dieser Unterlagen ist allerdings selbst für Fachleute sehr anspruchsvoll, was nicht zuletzt auch auf den komplexen und iterativen Einengungsprozess zurückzuführen ist. Zudem hat die NAGRA im Reviewprozess zahlreiche Zusatzinformationen geliefert, die für das Verständnis und die Beurteilung durch die KNE wesentlich waren.

Bewertung des Ergebnisses der KNE

Dem Ergebnis der KNE ist grundsätzlich zuzustimmen. Insbesondere die Anforderungen an die geowissenschaftlichen Erkenntnisse, die in Etappe 1 benötigt werden, sind von NAGRA erfüllt worden. Gleiches gilt für die Transparenz und Verfügbarkeit der Projektunterlagen, soweit die Bearbeiter dieser Fachexpertise dies beurteilen können. Inwieweit die NAGRA im Reviewprozess zusätzliche Informationen geliefert hat, entzieht sich hier der Bewertung.

Der komplexe kriterien- bzw. indikatorgesteuerte Einengungsprozess hin zu den bevorzugten Standortgebieten ist teilweise als „überkomplex“ zu bewerten. Darauf ist in dieser Fachexpertise gelegentlich hingewiesen worden (z. B. Kap. 3.5.2). Diese Überkomplexität hat aber nicht zu offensichtlichen und das Endergebnis verfälschenden Beurteilungen geführt. Allerdings erschwert sie die Nachvollziehbarkeit des Vorgehens deutlich.

Frage 5: Kann die KNE den Vorschlägen aus Sicht von Sicherheit und Machbarkeit zustimmen?

Ergebnis KNE

Die Antwort auf diese Frage wird von KNE jeweils für die Schritte 3, 4 und 5 differenziert gegeben.

Schritt 3 des SGT (Auswahl geologisch-tektonischer Großräume):

Grundsätzlich stimmt KNE der Auswahl geologisch-tektonischer Großräume für das SMA- und das HAA-Lager zu. Kritisiert wird allerdings, dass sehr unterschiedliche Gesteinskörper im Großraum der Alpen nicht differenziert betrachtet werden. Dadurch lassen sich für den Alpenraum keine Rückschlüsse ziehen, welche Bereiche „bedingt günstig“ oder „ungünstig“ für ein SMA-Tiefenlager einzustufen sind.

Weiterhin beurteilt die KNE es als sinnvoll, aus Sicht der Langzeitsicherheit die Großräume östlicher Tafeljura und östliches Molassebecken für ein HAA-Tiefenlager weiter zu betrachten, und die übrigen Großräume für ein HAA-Lager auszuschließen.

Schritt 4 des SGT (Auswahl bevorzugter Wirtsgesteine):

KNE stimmt der Auswahl des Opalinustons als bevorzugtes Wirtsgestein für SMA- und HAA-Lager vollumfänglich zu. Weiterhin sind nach Meinung der KNE die Effinger Schichten, der „Braune Dogger“ und die Helvetischen Mergel nicht auszuschließen. Zudem unterstützt KNE ausdrücklich die Zurückstellung der Oberen und Unteren Süßwassermolasse, der Flysche und Bündnerschiefer als potenzielle Wirtsgesteine, weil diese Gesteine verschiedene sicherheitsrelevante Anforderungen (v. a. hydraulische Durchlässigkeit und Transmissivität) nicht erfüllen.

Schritt 5 des SGT (Auswahl bevorzugter Standortgebiete):

KNE hat die bevorzugten Bereiche und Vorschläge für Standortgebiete im Detail überprüft. Dabei wurden viele Indikatoren von KNE anders beurteilt als von NAGRA. Ursache dafür ist der Ermessensspielraum bei der Bewertung erdwissenschaftlicher Daten und der Vorgaben des SGT. Signifikante Bewertungsunterschiede und methodische Schwachpunkte wurden jedoch nur in vereinzelten Fällen identifiziert. Letztlich kann die KNE den Bewertungen und der Standortgebietsauswahl hinsichtlich der außeralpinen SMA- und HAA-Lager zustimmen.

Dagegen ist die Bewertung des Standortbereichs für ein SMA-Lager im alpinen Raum für KNE diskussionswürdig. Insbesondere legt KNE Wert darauf, dass nur schwach tektonisierte Gebiete mit möglichst unbedeutender neotektonischer Aktivität als potenzielle Standortregionen weiter verfolgt werden. Dies führt dazu, dass KNE das Standortgebiet Wellenberg als deutlich weniger geeignet ansieht als die NAGRA. In dem Zusammenhang kritisiert KNE, dass für alle Standortgebiete – speziell auch für das Helvetikum, d. h. den Standort Wellenberg – ein einheitliches Auswahlverfahren angewandt werden muss.

Ein von KNE angesprochener interessanter Aspekt ist die Bewertung des Kriteriums „Freisetzungspfade“. Die KNE ist der Ansicht, dass die von NAGRA betrachtete überwiegend vertikale Ausbreitung von Radionukliden erweitert werden muss um die horizontale Ausbreitung entlang des Aquifers und die Berücksichtigung vorhandener Vorfluter.

Bewertung des Ergebnisses der KNE

Die Bewertung der Ergebnisse der KNE in dieser Fachexpertise wird gleichfalls für die Schritte 3, 4 und 5 differenziert vorgenommen.

Bewertung zu Schritt 3 des SGT (Auswahl geologisch-tektonischer Großräume):

Der Bewertung der KNE ist zuzustimmen. In dieser Fachexpertise ist an anderer Stelle (Kap. 3.4.2) bereits ausgedrückt worden, dass die von NAGRA vorgenommene Gliederung in geologisch-tektonische Großräume insgesamt plausibel und nachvollziehbar ist. Die von KNE kritisierte fehlende Differenzierung des Großraums der Alpen ist mit Blick auf ein SMA-Lager ist plausibel. Davon konkret betroffen ist der SMA-Standortbereich Wellenberg (s. dazu unten „Bewertung zu Schritt 5“).

Bewertung zu Schritt 4 des SGT (Auswahl bevorzugter Wirtsgesteine):

Die Bewertungen der KNE sind plausibel, und ihnen ist zuzustimmen. Insbesondere die Einstufung des Opalinustons als relativ bestes potenzielles Wirtsgestein für HAA- und SMA-Tiefenlager im Verhältnis zu allen anderen in Frage kommenden Gesteinsarten ist fachlich zweifellos richtig und durch weitgehende Erfüllung entsprechender sicherheitsorientierter Indikatoren bzw. Kriterien aufgezeigt worden.

Bewertung zu Schritt 5 des SGT (Auswahl bevorzugter Standortgebiete):

KNE stimmt den Bewertungen der NAGRA bezüglich der außeralpinen Standortregionen für HAA- und SMA-Lagern zu. Diese Bewertung durch KNE wird in dieser Fachexpertise geteilt (Kap. 3.6).

Einen diskussionswürdigen Punkt sieht KNE in der Auswahl des Standortgebietes Wellenberg im Bereich des Helvetikums am Alpennordrand. Die Argumentation von KNE ist insofern plausibel, als KNE ein einheitliches Auswahlverfahren für alle Standortgebiete fordert. Dies bedeutet konkret, dass bei strikter Anwendung der Indikatoren „Abstand zu regionalen Störungszonen“, „Diffus gestörte Zonen“ und „Regionales Störungsmuster und Lagerungsverhältnisse“ auf den Alpenraum und speziell auf den Bereich Wellenberg dazu führen müsste, dass dieser als deutlich weniger geeignet eingestuft wird als die bevorzugten Standortgebiete in der Nordschweiz. Überdies besteht nach KNE die Gefahr, dass am Wellenberg das Platzangebot für die Anlage eines SMA-Lagers deutlich eingeschränkt ist.

Diese Bewertung von KNE spricht zwei Aspekte an: Einerseits den methodischen Aspekt der gleichartigen Anwendung von Indikatoren bzw. Kriterien auf alle potenziellen Standortgebiete, andererseits den daraus abzuleitenden speziellen Aspekt bezüglich der Bewertung der Standortregion Wellenberg. Die entsprechenden Ausführungen der KNE sind plausibel und nachvollziehbar, insbesondere wenn man sich die von KNE vorgenommene Bewertung des Standortbereichs Wellenberg (KNE 2010, Tab. 5-20) im Gegensatz zu denen der NAGRA anschaut. Dort treten bei den Kriterien 1.1 und 1.4 signifikante Bewertungsunterschiede (> 0.5 Bewertungspunkte) zwischen KNE und NAGRA auf.

Die Kritik von KNE an der unzureichenden Berücksichtigung des horizontalen Radionuklidtransports im Aquifer und gegebenenfalls in zugehörigen Vorflutern durch die NAGRA ist zuzustimmen. Diese Aspekte müssen in Etappe 2 des SGT genauer betrachtet werden.

5.3 Gesamtbewertung der Stellungnahme der KNE in dieser Fachexpertise

Die vorliegende Stellungnahme der KNE (2010) für das ENSI konzentriert sich auf sicherheitsorientierte geowissenschaftliche und bautechnische Aspekte. Sie enthält eine detaillierte und profunde Auseinandersetzung mit den von NAGRA vorgelegten geowissenschaftlichen Unterlagen, speziell auch dem Bericht NTB 08-03.

Ein wesentliches Ergebnis der Stellungnahme der KNE sind **Aussagen zu der von der NAGRA angewandten Bewertungsmethodik** des dreistufigen Einengungsprozesses. Wesentlicher Kritikpunkt ist dabei die Mittelwertbildung bei der Aggregation von Indikatoren zu Kriterien bzw. zur Gesamtbewertung. Weiterhin sind die von der NAGRA eingeführten „Zwischenwerte“ bei den Bewertungszahlen (z. B. 3.6, 3.4) nicht nachvollziehbar begründet. Einige zentrale Indikatoren werden nicht konsequent (gleichartig) auf das Helvetikum des Alpennordrandes angewandt, so dass kein einheitlicher Bewertungsmaßstab bei der Bewertung des Alpennordrandes gegenüber den außeralpinen Standortregionen besteht. Des Weiteren wird von KNE festgestellt, dass die Gewichtung von Indikatoren bzw. Kriterien teilweise als Ermessensfrage angesehen wird und die Experten der KNE teilweise zu anderen Ergebnissen kommen als die der NAGRA. Hinsichtlich aller außeralpinen HAA- und SMA-Standortgebiete kann KNE – trotz mancher Bedenken im Einzelnen – die Bewertungen der NAGRA nachvollziehen. Der Meinung der KNE ist zuzustimmen.

Des Weiteren ist die Bewertung des **SMA-Standortgebietes Wellenberg** durch die KNE deutlich kritischer als die der NAGRA. KNE ist der begründeten Meinung, dass der Wellenberg trotz einiger positiver Eigenschaften deutlich weniger günstig geeignet eingestuft werden müsste, als NAGRA dies getan hat. Dem ist gleichfalls zuzustimmen.

Kritisch gesehen werden von KNE die Auswirkungen der Stützmittel (Spritzbeton, Betontübbinge) auf die hydrochemischen Verhältnisse im Tiefenlager und damit letztlich auf die Barrierenwirkung und die Langzeitsicherheit. Der Aussage wird in dieser Fachexpertise zugestimmt.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die von KNE erarbeiteten Ergebnisse zu den von NAGRA vorgelegten Unterlagen nachvollziehbar und plausibel sind. Einige Kritikpunkte der KNE sind auch in dieser Fachexpertise bereits angesprochen worden. Die sehr kritische Bewertung des SMA-Standortgebietes Wellenberg wird von den Autoren dieser Fachexpertise geteilt. Gleiches gilt für die Kritik der KNE hinsichtlich der ungenügenden Berücksichtigung des horizontalen Radionuklidtransportes in Aquiferen durch die NAGRA.

6 BEWERTUNG DES GUTACHTENS DER EIDGENÖSSISCHEN KOMMISSION FÜR NUKLEARE SICHERHEIT (KNS)

6.1 Aufgabenstellung der KNS

Die Eidgenössische Kommission für nukleare Sicherheit hat die Aufgabe, Stellung zum Gutachten des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats (ENSI 2010) zu nehmen, welches seinerseits die Unterlagen der NAGRA zu Etappe 1 des SGT bewertet hat. Die Stellungnahme der KNS (KNS 2010) stützt sich dabei neben (ENSI 2010) im Wesentlichen auf die NAGRA-Berichte NTB 08-03, NTB 08-04 und NTB 08-05.

Bei ihrer Beurteilung orientiert sich die KNS primär an Fragen wie „Sind die Argumentationen von ENSI und der NAGRA nachvollziehbar?“, „Spricht ENSI in seinem Gutachten alle wichtigen Punkte an?“, „Ist das Verfahren gemäß SGT Etappe 1 von NAGRA und ENSI eingehalten worden?“ und „Können die nachfolgenden Etappen des SGT gemäß dem Konzeptteil des SGT durchgeführt werden?“. Darüber hinaus gibt KNS Hinweise auf bestimmte Aspekte und Empfehlungen zum weiteren Vorgehen.

6.2 Ergebnisse der KNS zum Gutachten des ENSI und Bewertung in dieser Fachexpertise

Der inhaltliche Kernbereich der Stellungnahme der KNS besteht in der Behandlung der einzelnen Schritte, wie sie NAGRA in NTB 09-03 vorgegeben und an denen sich ENSI orientiert hat. Behandelt werden also Inventar und Abfallzuteilung zum SMA- und HAA-Lager, Barrieren- und Sicherheitskonzept, das Vorgehen bei der Einengung und schließlich die Teilschritte Identifikation geeigneter geologisch-tektonischer Großräume, Identifikation potenzieller Wirtsgesteine sowie die Festlegung von Vorschlägen für geologische Standortgebiete. Entsprechend dieser Gliederung von KNS wird bei der Bewertung der Stellungnahme dieser Fachexpertise vorgegangen.

6.2.1 Inventar und Abfallzuteilung zum SMA- und HAA-Lager

Stellungnahme der KNS zur Beurteilung des Vorgehens und der Ergebnisse der NAGRA durch ENSI

KNS schließt sich hinsichtlich des Abfallinventars der Beurteilung des ENSI an, dass die ermittelten Abfallinventare trotz bestehender Unsicherheiten für Etappe 1 stufengerecht sind. Im Zusammenhang mit den Unsicherheiten verweist die Kommission insbesondere auf die abgebrannten Brennelemente, deren Konditionierungsverfahren noch nicht feststeht.

Das Vorgehen bei der Zuteilung der Abfälle sieht KNS als plausibel und zweckmäßig für Etappe 1 an. Die Zuteilung muss nach Ansicht der KNS aber als vorläufig betrachtet werden; die definitive Zuteilung muss in einem iterativen Prozess im Laufe des weiteren Verfahrens erfolgen.

Bewertung der Stellungnahme der KNS

Die Stellungnahme der KNS zu Abfallinventar und Zuteilung der Abfälle erscheint zutreffend. Der Hinweis, dass die definitive Zuteilung erst später erfolgen kann, ist berechtigt. Die Abfallgebinde müssen den Eigenschaften der Wirtgesteine angepasst werden; daraus könnten sich Änderungen der Zuteilung ergeben.

Die Frage möglicher sicherheitsmäßiger Vor- und Nachteile eines Kombilagers wird von KNS nicht thematisiert (vgl. Kapitel 3.1).

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

Stellungnahme der KNS zur Beurteilung des Vorgehens und der Ergebnisse der NAGRA durch ENSI

KNS teilt die Meinung von ENSI, dass das vorgesehene Mehrbarrierensystem vom Grundsatz her geeignet ist, den Schutz von Mensch und Umwelt dauerhaft zu gewährleisten. KNS betont ausdrücklich die Bedeutung der lagerbedingten Einflüsse auf die Barrieren und das Sicherheitskonzept. Dies betrifft besonders die Gasbildung, die Auswirkungen auf die Integrität der Barrieren haben kann. KNS ist deshalb der Meinung, Gasbildung müsse verhindert oder zumindest auf ein unbedenkliches Maß reduziert werden. Insgesamt trägt KNS aber die Aussagen von ENSI mit, dass die Darlegungen zum Barrieren- und Sicherheitskonzept sowie zu den lagerbedingten Einflüssen für Etappe 1 des SGT angemessen erfolgt sind.

Bewertung der Stellungnahme der KNS

Der Stellungnahme der KNS ist prinzipiell zuzustimmen, soweit es um die Probleme und die Behandlung lagerbedingter Einflüsse auf das Barrierensystem und das Sicherheitskonzept geht. Die Gasproblematik wird von KNS klar benannt, und auch andere Vorgänge im Nahfeld des Tiefenlagers werden diskutiert. Allerdings sind noch etliche Prozesse im Nahfeld des Tiefenlagers nicht abschließend gelöst. KNS fordert konsequenterweise weitere Abklärungen zu diesen Fragen. Dem ist zuzustimmen.

Bemerkenswert ist, dass die von KNE in ihrer Stellungnahme bereits dargelegte Problematik eines möglicherweise erforderlichen Vollausbaus des Tiefenlagers und die damit einhergehende Änderung der geo- bzw. hydrochemischen Verhältnisse im Nahfeld (hochalkalische Porenwässer) mit möglichen negativen Auswirkungen auf den Bentonit und somit auch auf Radionuklidtransport (s. Kap. 5.2) nicht näher von KNS angesprochen werden.

6.2.3 Vorgehen bei der Einengung

Stellungnahme der KNS zur Beurteilung des Vorgehens und der Ergebnisse der NAGRA durch ENSI

Hierbei hat sich KNS mit den Anforderungen und Indikatoren bzw. Kriterien auseinandergesetzt, die von NAGRA bei der schrittweisen Einengung benutzt worden sind und die von der ENSI begutachtet worden sind. In der Mehrzahl der Fälle deckt sich die Beurteilung der KNS mit derjenigen des ENSI. Zu einzelnen Indikatoren bzw. Kriterien äußert sich KNS explizit, wobei folgende beiden Aspekte erhebliche Bedeutung haben können:

- Danach sollte bei angepasstem Lagerkonzept das HAA-Lager auch tiefer als 900 m bautechnisch machbar sein,
- Der Minimalabstand von 200 m zu Störungszonen ist nicht immer ausreichend; im Einzelfall sind deutlich größere Abstände erforderlich.

Weiterhin äußert sich KNS zur Methodik der Einengung. KNS sieht immanente methodische Probleme, wobei insbesondere der Wissensstand eine maßgebliche Rolle spielen kann. So kann ein ungenügender Wissensstand an einem Standort dazu führen, dass der Standort ausscheidet, obwohl er so gut oder besser sein mag als andere Standorte, die im Verfahren bleiben. Außerdem ist die Anwendung verschärfter Anforderungen nach KNS problematisch, weil dadurch schnell viele Standortgebiete ausscheiden und im späteren Verfahren kaum oder keine Alternativen verbleiben.

Abgesehen von den oben dargestellten Anmerkungen schließt sich KNS weitgehend der Beurteilung und den Schlussfolgerungen des ENSI an.

Bewertung der Stellungnahme der KNS

Von besonderem Interesse sind vier Aspekte, die KNS ausdrücklich als wichtig ansieht. Diese werden im Einzelnen bewertet:

- Tiefenlage HAA-Lager: Eine größere Tiefenlage als 900 m ist im Prinzip aus verschiedenen Gründen wünschenswert: Schutz gegen Erosion, verlängerte Wegstrecke für Radionuklide bei ihrem Transport in die Biosphäre, mehr Standorte. Problematisch ist der notwendige großflächige Ausbau in größeren Tiefen, da sehr viel Zement ins Tiefenlager eingebracht wird. Dennoch ist der Option „größere Tiefenlage“ aus den genannten positiven Gründen (Langzeitsicherheit) zuzustimmen. Bei Schließung des Tiefenlagers müsste der Ausbau allerdings weitgehend entfernt werden.
- Minimalabstand zu Störungszonen: Dieser Forderung ist zuzustimmen, denn ein starrer Minimalabstand von 200 m zu Störungen bei homogenen Tongestein können zu gering sein. Allerdings liegen erst in der nächsten Etappe 2 des SGT entsprechende Informationen vor, die eine Beurteilung des Sachverhaltes erlauben.
- Der ungenügende Wissensstand kann beim Einengungsverfahren Standortbereiche mit geringer Kenntnis tatsächlich benachteiligen. Dem kann nur durch einen möglichst gleichartigen Kenntnisstand über die zu beurteilenden Standortregionen begegnet werden. Diese immanente Schwierigkeit ist nicht immer zeitnah durch Untersuchungen zu lösen. Nach KNS spielt dieser Aspekt allerdings dann keine Rolle, wenn genügend Standortgebiete im Verfahren bleiben. Dem ist im Grundsatz zuzustimmen (s. aber Kap. 6.2.5).

- Die Anwendung verschärfter Anforderungen führt zu schnellerem Ausscheiden von Standortregionen. Dies ist so lange kein Problem, wie genügend Standortregionen im Verfahren bleiben. Der Vorteil verschärfter Anforderungen besteht gerade darin, nur noch hochrangige Standortregionen im Verfahren zu belassen. KNS sieht hierbei das Problem, dass zu wenige Standortregionen übrig bleiben. Sollte sich dies in Etappe 2 des SGT bewahrheiten, muss man auf die zurückgestellten Regionen zurückgreifen. Die tatsächlich von NAGRA ermittelten Standortregionen – speziell für HAA-Lager – sollten jedoch ausreichen, um auch in weiteren Etappen einen vernünftigen Auswahlprozess gestalten zu können.

Die von KNS dargelegten Probleme können tatsächlich auftreten. Insofern ist der Kritik von KNS an ENSI bzw. NAGRA in diesen Punkten zuzustimmen. Ansonsten kann man der Zustimmung von KNS zur Stellungnahme von ENSI im Prinzip beipflichten. Allerdings ist schwer verständlich, warum KNS sich nicht zu offensichtlichen methodischen Schwachstellen (z. B. Mittelwertbildung bei Aggregation) bei NAGRA äußert, obwohl ENSI sich selbst in seiner Stellungnahme damit beschäftigt.

6.2.4 Identifikation geeigneter geologisch-tektonischer Großräume

Stellungnahme der KNS zur Beurteilung des Vorgehens und der Ergebnisse der NAGRA durch ENSI

Zusammenfassend schließt sich KNS der Auffassung des ENSI an, dass NAGRA sich bei der Identifikation der Großräume an den Vorgaben zu Etappe 1 des SGT gehalten hat und demzufolge die Auswahl der Großräume nachvollziehbar und plausibel ist.

Allerdings besitzt KNS Vorbehalte hinsichtlich der Beurteilung des ENSI zu Erosion (z. B. Rinnenbildung) und Neotektonik. Insbesondere die Prognosen zur Tiefenerosion, die nach neuesten Ergebnissen um den Faktor fünf höher sein kann, als bisher angenommen wurde, sind dabei zu beachten. Generell liegen noch Wissensdefizite speziell zur Rinnenbildung vor. Deshalb ist nach KNS auch die Option „Größere Tiefenlage“ für das HAA-Lager offen zu halten.

KNS ist zudem der Meinung, dass der Großraum Alpen, in dem die Standortregion Wellenberg liegt, infolge tektonischer Überprägung generell ungünstiger zu bewerten ist als die anderen Großräume.

Bewertung der Stellungnahme der KNS

Der allgemeinen Bewertung der KNS zur Stellungnahme des ENSI wird von den Autoren dieser Fachexpertise beigespflichtet.

Gleiches gilt auch für die Vorbehalte, die KNS hinsichtlich der Beurteilung von ENSI bezüglich Tiefenerosion, Neotektonik und der spezifisch ungünstigeren Situation des Großraums Alpen (Standortregion Wellenberg) hat. Die Offenhaltung der Option „Größere Tiefenlage“ des HAA-Lagers sollte auch nach Meinung der Autoren dieser Fachexpertise wegen der Kenntnisdefizite zum möglichen Ausmaß der Tiefenerosion beibehalten werden (s. Kap. 6.2.3).

6.2.5 Identifikation potenziell geeigneter Wirtsgesteine und einschlusswirksamer Gebirgsbereiche

Stellungnahme der KNS zur Beurteilung des Vorgehens und der Ergebnisse der NAGRA durch ENSI

KNS stimmt der Beurteilung des ENSI hinsichtlich der Vorgehensweise der NAGRA generell zu. Das Verfahren wird als transparent und nachvollziehbar angesehen, und der Auswahl bevorzugter Wirtsgesteine kann zugestimmt werden. Allerdings werden folgende Aspekte von KNS kritisch gesehen:

- Der Wissensstand über die potenziell möglichen Wirtsgesteine ist recht unterschiedlich. Dadurch ist fraglich, ob für die Einengung auf bevorzugte Wirtsgesteine mittels verschärfter Anforderungen genügend verlässliche Kenntnisse vorliegen. Insgesamt bewertet KNS den Kenntnisstand zu einzelnen Wirtsgesteinen als „knapp“. Dies betrifft sowohl bevorzugte Wirtsgesteine als auch solche, die im Laufe des Verfahrens zurückgestellt worden sind.
- Der angewendete Indikator „Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ führt nach KNS zu Einschränkungen der Tiefenlage, die weder notwendig noch zweckmäßig sind. KNS plädiert deshalb dafür, dass auch größere Tiefenlagen bei einem angepassten Lagerkonzept realisiert werden können.
- KNS beurteilt die Mergel-Formation des Helvetikums kritisch. Die Identifikation geeigneter Gesteinskomplexe ist anspruchsvoll und nur mit großem Aufwand möglich. Außerdem liegen sie in dem Großraum Alpen, der generell nur mit „ungünstig bis bedingt günstig“ bewertet wird.

Bewertung der Stellungnahme der KNS

Der generellen Bewertung des Gutachtens des ENSI durch KNS ist zuzustimmen. Zu den von KNS als kritisch bewerteten Aspekten ist folgendes anzumerken:

- Der Kenntnisstand zu den verschiedenen Wirtsgesteinen ist tatsächlich unterschiedlich. So ist der Kenntnisstand über Opalinuston (Benken, Mont Terri), Helvetische Mergel (Wellenberg) und Kristallin (Projekt Gewähr, Felslabor Grimsel) deutlich besser als der über andere Wirtsgesteine, die bisher noch nicht näher untersucht worden sind (z. B. Effinger Schichten, „Brauner Dogger“, Süßwassermolasse).

Das Problem besteht darin, dass man im Rahmen eines breit angelegten Suchverfahrens nach möglichen Wirtsgesteinen allein aus Zeitgründen das Kenntnisniveau für alle Wirtsgesteine nicht auf eine gleiche Ebene heben kann. Man muss deshalb die Bewertungskriterien bzw. Indikatoren so formulieren, dass der geringere Wissensstand über einige Wirtsgesteine bei der Bewertung nicht zu deren Nachteil ausgelegt werden kann und sie vorzeitig aus dem Verfahren ausscheiden. Nach Meinung der Autoren dieser Fachexpertise ist dies – auch unter Berücksichtigung der von NAGRA benutzten „verschärften Anforderungen“ – bei dem durchgeführten Verfahren insgesamt gewährleistet. Insofern ist die Auswahl bevorzugter Wirtsgesteine und die Zurückstellung anderer Wirtsgesteine durch NAGRA nachvollziehbar und plausibel begründet.

- Die Forderung von KNS nach Berücksichtigung größerer Tiefenlagen ist im Prinzip vernünftig, weil dadurch die Langzeitsicherheit der Tiefenlager zweifellos positiv beeinflusst werden kann. Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass nach Meinung der KNE (2010) kein bautechnischer Nachweis für ein vollflächiges Ausbaukonzept für Tiefenlagen > 650 m vorliegt. Darüber hinaus können die aus dem Ausbau resultierenden hochalkalischen Porenwässer Probleme im Nahbereich des Tiefenlagers verursachen. Dennoch sollte diese Option „Größere Tiefenlage“ offen gehalten werden, weil damit der Handlungsspielraum erweitert wird.
- Der kritischen Bewertung der Mergel-Formation des Helvetikums durch die KNS ist beizupflichten. In dieser Fachexpertise wird in Kap. 3.4.2 bereits darauf hingewiesen, dass es vorteilhaft wäre, den Großraum Alpen differenziert zu betrachten, um so zu einer verbesserten Einschätzung der Mergel des Helvetikums zu kommen.

6.2.6 Identifikation geeigneter Konfigurationen und Festlegung von Vorschlägen für geologische Standortgebiete

Stellungnahme der KNS zur Beurteilung des Vorgehens und der Ergebnisse der NAGRA durch ENSI

KNS stimmt mit ENSI überein, dass die Identifikation geeigneter Wirtsgesteinskonfigurationen und die Ableitung der Vorschläge für geologische Standortgebiete durch die NAGRA den Vorgaben des SGT für Etappe 1 entsprechen. Nach Meinung von KNS hat ENSI dabei in seiner Überprüfung alle relevanten Aspekte berücksichtigt und bewertet. KNS trägt insbesondere die Beurteilung von ENSI mit, dass das Zürcher Weinland das relativ beste Standortgebiet für ein HAA-Lager ist.

Ungeachtet dieser allgemeinen Bewertung hat KNS noch einige kritische Gesichtspunkte hervorgehoben:

- KNS teilt die Ansicht des ENSI, dass sich die lagerbedingten Einflüsse negativer auf das Tiefenlager auswirken können, als von der NAGRA erwartet.
- Nicht hinreichend geklärt sind mögliche Zusammenhänge zwischen den Randstörungen der Permokarbon-Tröge und Überschiebungen bzw. tektonischen Linien. Zudem sind bei den rheinisch verlaufenden Störungen Präzisierungen notwendig.
- KNS teilt die Ansicht des ENSI, dass für den Standortgebietes Wellenberg wegen seiner Besonderheiten eine Bewertung nach dem für alle anderen Standortgebiete benutzten Schema erschwert ist.
- Nach Meinung von KNS können fehlende Informationen über die Standortgebiete dazu führen, dass Standorte unter- oder überbewertet sind. Im weiteren Verfahrensverlauf kann es geschehen, dass insbesondere für HAA-Lager wegen des Ausscheidens von Standortgebieten kaum oder keine Alternativen für Standorte verbleiben. Auch deshalb ist die Option „Größere Tiefenlage“ für HAA-Lager sinnvoll.

Bewertung der Stellungnahme der KNS

Der generellen Bewertung des Gutachtens des ENSI durch die KNS ist zuzustimmen. Zu den von KNS als kritisch bewerteten Aspekten ist folgendes anzumerken:

- Der Einschätzung der KNS zu den möglichen Auswirkungen lagerbedingter Einflüsse auf das Tiefenlager ist vollumfänglich zuzustimmen (s. auch Kap. 3.2 dieser Fachexpertise). Dies betrifft vorrangig mögliche Auswirkungen der Gasbildung bei Lagerung in sehr dichtem Wirtsgestein wie beispielsweise dem Opalinuston, aber auch sonstige Einflüsse (z. B. Komplexbildner, Wärmeeintrag, pH-Fahne, Degradation von Tonmineralen, Auflockerungszone). Diese lagerbedingten Einflüsse sind teilweise noch nicht vollständig verstanden; zudem sind sie teilweise auch standortspezifisch. Die wesentlichen Aspekte müssen in den nächsten Jahren weiter untersucht werden.
- Die Bedeutung der Randstörungen und Überschiebungen für das Tiefenlager sollten auf ihre Relevanz geklärt werden, und notwendige Präzisierungen sind vorzunehmen.
- Die Besonderheit des Standortgebietes Wellenberg ist bekannt (Akkumulation helvetischer Mergel, die eine komplexe geologisch-tektonische Struktur bilden). Wegen der fehlenden Differenzierung des Großraums Alpen und der Schwierigkeit, das Bewertungsverfahren korrekt auf das Standortgebiet anwenden zu können, steht der Wellenberg in der Kritik (s. auch Kap. 5.2, Frage 5 dieser Fachexpertise). Die von KNS angesprochene Schwierigkeit der Exploration der räumlichen Verhältnisse muss im weiteren SGT, Etappe 2, berücksichtigt und neu bewertet werden.
- Das Problem des unterschiedlichen Informationsniveaus verschiedener Wirtsgesteine bzw. Standortgebiete und daraus möglicherweise folgender Konsequenzen sollten zum jetzigen Zeitpunkt in Kauf genommen werden. Dabei ist zu bedenken, dass mit Kriteriengruppe 3 (Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen, s. NTB 08-03, S. 391 ff.) entsprechende Aspekte Eingang in die Bewertung finden. Für den Fall, dass keine oder kaum Alternativen für (HAA-)Standorte bestehen bleiben, lässt sich durch Rückgriff auf zurückgestellte Wirtsgesteine und Standortgebiete Abhilfe schaffen. Unabhängig davon ist der Option „Größere Tiefenlage“ für HAA-Lager zuzustimmen.

6.2.7 Hinweise und Empfehlungen zum weiteren Vorgehen

KNS gibt abschließend eine Vielzahl von Hinweisen und Empfehlungen ab. Aus der Vielzahl der Empfehlungen werden im Folgenden einige besonders wichtige aufgeführt:

- In Etappe 2 des SGT muss für jeden Standort eine quantitative provisorische Sicherheitsanalyse durchgeführt werden. Diese Sicherheitsanalysen erfordern einen bestimmten Mindestbedarf an Informationen. Es muss sichergestellt sein, dass dieser Bedarf erfüllt wird. Im Zweifelsfall sind dazu Untersuchungen durchzuführen. Datenunsicherheiten dürfen nicht dazu führen, dass ein Standort ausscheidet.
- Die lagerbedingten Einflüsse müssen vertieft untersucht werden, um negative Auswirkungen auf die Barrieren zu verhindern oder zu minimieren.

- Eine größere Tiefenlage des HAA-Lagers verspricht mehr Sicherheit und eröffnet mehr Alternativen für Standorte. Deshalb sollte die bautechnische Machbarkeit in Abhängigkeit vom Wirtsgestein überprüft und konkretisiert werden.
- Wegen der bestehenden Unsicherheiten zum Ausmaß der Tektonik und der Höhe der Erosionsraten sollten die Arbeiten zur Abklärung von Neotektonik und Erosion verstärkt werden.

Bewertung der Hinweise und Empfehlungen der KNS

Den Hinweisen und Empfehlungen der KNS ist uneingeschränkt zuzustimmen. Mit ihrer Hilfe können bestehende sicherheitsrelevante Kenntnislücken verringert werden, und es werden Hinweise auf notwendige Vorarbeiten für zukünftige Etappen des SGT gegeben.

6.3 Gesamtbewertung der Stellungnahme der KNS und Bewertung in dieser Fachexpertise

Mit der Stellungnahme der KNS wird das Gutachten des ENSI beurteilt, welches sich seinerseits mit den Unterlagen der NAGRA zur Etappe 1 des SGT beschäftigt. Die Stellungnahme der KNS ist entlang der zentralen Unterlage NTB 08-03 strukturiert. Die wesentlichen Ergebnisse der Überprüfung der Stellungnahme der KNE in dieser Fachexpertise werden daran orientiert:

- **Inventar und Abfallzuteilung zum SMA- und HAA-Lager:**
Im Hinblick auf Abfallinventar und Abfallzuteilung kann der KNS-Stellungnahme zugestimmt werden. (Es ist anzumerken, dass die möglichen Vor- und Nachteile eines Kombilagers von KNS nicht angesprochen werden. Dies ist kein schwerer Mangel, da dieser Punkt im weiteren Laufe des Verfahrens noch angesprochen werden kann.)
- **Barrieren und Sicherheitskonzept:**
Soweit es um die Behandlung lagerbedingter Einflüsse auf das Barrierensystem und das Sicherheitskonzept geht, ist der Stellungnahme der KNS im Grundsatz zuzustimmen. Allerdings werden die (negativen) Auswirkungen eines möglichen Vollausbaus des Tiefenlagers auf das Nahfeld bzw. die Barrierenfunktionen nicht näher behandelt.
- **Vorgehen bei der Einengung:**
Der Zustimmung der KNS zur Stellungnahme von ENSI hinsichtlich des Vorgehens bei der Einengung ist im Prinzip beizupflichten. Allerdings ist unverständlich, warum KNS sich nicht zu offensichtlichen methodischen Schwachstellen (z. B. Mittelwertbildung) bei NAGRA äußert, obwohl ENSI sich in seiner Stellungnahme damit beschäftigt. Des Weiteren werden mehrere Aspekte von KNS angesprochen, denen zugestimmt wird (Tiefenlage HAA-Lager, Minimalabstand zu Störungszonen, Benachteiligung und vorzeitiger Ausschluss von Standortbereichen durch geringen Kenntnisstand und verschärfte Anforderungen).

- **Identifikation geeigneter geologisch-tektonischer Großräume:**
Der allgemeinen Bewertung der KNS zur Stellungnahme des ENSI hinsichtlich der Identifikation der Großräume wird von den Autoren dieser Fachexpertise beigespflichtet. Gleiches gilt auch für die Vorbehalte, die KNS hinsichtlich der Beurteilung von ENSI bezüglich Tiefenerosion, Neotektonik und der spezifisch ungünstigeren Situation des Großraumes Alpen hat.
- **Identifikation potenziell geeigneter Wirtsgesteine und einschlusswirksamer Gebirgsbereiche:**
Der generellen Bewertung des Gutachtens des ENSI durch die KNS hinsichtlich der Identifikation von Wirtsgesteinen und einschlusswirksamen Gebirgsbereichen ist zuzustimmen. Weitergehende Anmerkungen der KNS betreffen u. a. den unterschiedlichen Kenntnisstand verschiedener Wirtsgesteine und daraus resultierende Probleme beim Auswahlverfahren, die kritischen Bewertung der Mergel-Formation des Helvetikums sowie die Forderung nach größerer Tiefenlage des HAA-Lagers. Diesen Aspekten ist zuzustimmen.
- **Identifikation geeigneter Konfigurationen und Festlegung von Vorschlägen für geologische Standortgebiete:**
Der Bewertung des Gutachtens des ENSI durch die KNS hinsichtlich der Festlegung von Standortgebieten ist zuzustimmen. Gleiches gilt für einige spezielle Aspekte, die KNS näher ausführt (v. a. verschiedene lagerbedingte Einflüsse mit Auswirkungen auf die Sicherheit, die Bedeutung von Randstörungen und Überschiebungen sowie spezielle Probleme mit der Exploration beim Standortgebiet Wellenberg).
- **Hinweise und Empfehlungen der KNS:**
Sämtlichen Anmerkungen der KNS zur Bevorzugung homogener dichter Wirtsgesteine, zur Ergänzung des Wissenstandes, zur Überprüfung der Lagerkonzepte sowie weiteren Hinweisen und Empfehlungen ist zuzustimmen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die von KNS erarbeiteten Ergebnisse zum Gutachten des ENSI insgesamt nachvollziehbar und plausibel sind. Des gilt auch für spezielle Aspekte, die KNS näher ausführt. Dabei handelt es sich u. a. um das Standortgebiet Wellenberg, das Vorkommen und die Erstreckung von Störungszonen, beschränkte Kenntnisse zu Wirtsgesteinen sowie den Vorschlag, das HAA-Lager gegebenenfalls auch in größerer Tiefe anzulegen. Zwar hat sich KNS auch mit bewertungsmethodischen Fragen beschäftigt, jedoch wurde der wichtige Gesichtspunkt der Aggregation nicht behandelt, obwohl ENSI dies in seinem Gutachten getan hat. Den von KNS gegebenen Hinweisen und Empfehlungen ist zuzustimmen.

7 BEWERTUNG DES ERGEBNISBERICHT DES BFE (ENTWURF, AUGUST 2010)

Dem Bundesamt für Energie obliegt die Federführung im Schweizer Standortauswahlverfahren. Der vorliegende Entwurf des (vorläufigen) Ergebnisberichtes des Bundesamtes für Energie (BFE 2010a) ist das **zentrale Dokument in Etappe 1 des Sachplanverfahrens geologische Tiefenlager**. In diesem Dokument werden die Standortgebiete in Form von Objektblättern (kurze Texterläuterung plus Kartendarstellung) verbindlich festgelegt. Der Entwurf des Ergebnisberichtes ist Gegenstand weiterer Anhörungen. Anschließend wird er überarbeitet und den Kantonen für eine letzte Stellungnahme vorgelegt. Danach wird der Ergebnisbericht dem Bundesrat zur Genehmigung unterbreitet.

Der Ergebnisbericht gliedert sich in drei Teile:

- Sachplan geologische Tiefenlager: Etappe 1,
- Festlegungen,
- Objektblätter.

Im Abschnitt **Sachplan geologische Tiefenlager (Etappe 1)** wird ein kurzer Überblick über die wichtigsten Ergebnisse der Gutachten und Stellungnahmen (v. a. ENSI 2010, KNE 2010, KNS 2010, SWISSTOPO 2010), die zu den Standortgebietsvorschlägen der NAGRA von verschiedensten Fachstellen des Bundes erarbeitet worden sind, gegeben. Sämtliche Informationen haben dem BFE zur Erstellung seines Ergebnisberichtes gedient. Im Ergebnis laufen die Aussagen der Gutachten bzw. Stellungnahmen darauf hinaus, dass die NAGRA eine plausible, umfassende und nachvollziehbare Analyse der geologischen Situation der Schweiz vorgelegt hat und auf dieser Grundlage eine gleichfalls plausible, nachvollziehbare und sicherheitsorientierte Bestimmung von Standortregionen erarbeitet hat.

Weiterhin werden die Festlegungen der Planungssperimeter und der raumplanerischen Beurteilungsmethodik für Etappe 2 des SGT kurz dargestellt. Als Planungssperimeter werden geographische Räume verstanden, in denen oberirdische Bauten und Anlagen für geologische Tiefenlager errichtet werden können. Gleichfalls festgelegt werden die Gemeinden der jeweiligen Standortregionen, die am regionalen Partizipationsverfahren in Etappe 2 des SGT teilnehmen werden. Dadurch sollen die Interessen, Bedürfnisse und Wertvorstellungen der Standortregionen berücksichtigt werden.

Schließlich wird auf durch menschliche Tätigkeiten hervorgerufenen Gefahren für die Langzeitsicherheit kurz hingewiesen (z. B. Rohstoffförderung, Bohrungen tiefer 200 m). Um solche Gefährdungen zu vermeiden, werden die Kantone verpflichtet, entsprechende Nutzungsvorhaben von ENSI prüfen zu lassen.

Die Festlegungen enthalten im Wesentlichen die Anforderungen, die in Etappe 2 des SGT erfüllt werden müssen. Dabei handelt es sich um den Schutz der geologischen Standortgebiete (v. a. Sicherheitsabstände), die Festlegung der Planungssperimeter für jede Standortregion sowie Grundsätze und Beurteilung für die Standortsuche für Oberflächenanlagen in Etappe 2 des SGT. Da die Betroffenheit von Gemeinden sich je nach dem konkreten Standort für Oberflächenanlagen verändern kann, wird in Etappe 2 die Betroffenheit der Gemeinden nochmals überprüft und angepasst.

Die Objektblätter bestehen für jedes der sechs Standortgebiete aus einem knapp gehaltenen Text und einer Detailkarte. Im Text werden alle Gemeinden im jeweiligen Planungssperimeter sowie eventuell betroffener Nachbarländer in unmittelbarer Nähe des Standortgebietes aufgelistet. Außerdem werden die geologische Charakteristik des jeweiligen Standortgebietes und das Ergebnis der sicherheitstechnischen Beurteilung sowie der Koordinationsbedarf (potenzielle Nutzungskonflikte) kurz dargelegt.

Hinweis

Der vorläufige Ergebnisbericht des BFE wird ergänzt durch einen von BFE erstellten **Erläuterungsbericht** für die Anhörung zu Etappe 1 des SGT (BFE 2010b). In dem Erläuterungsbericht wird eine Übersicht gegeben über den bisherigen Ablauf des Auswahlverfahrens sowie über die Berichte, Gutachten und Stellungnahmen, die in Etappe 1 von verschiedenster Seite erstellt worden sind. Damit wird allen Interessierten Zugang zu den Dokumenten und Sachverhalten erleichtert, und es wird Hilfestellung gegeben beim Verfassen von Stellungnahmen im Zuge der formellen Anhörung über die Festlegungen und Objektblätter in Etappe 1, bevor der Bundesrat darüber abschließend befindet.

Bewertung des Ergebnisberichts (Entwurf) des BFE

Eine Bewertung erübrigt sich, da der Ergebnisbericht hinsichtlich des Sachplans geologische Tiefenlager (Etappe 1) nur nachrichtlichen Charakter hat. BFE fasst die Ergebnisse aus allen Gutachten und Stellungnahmen zu Etappe 1 SGT zusammen und leitet daraus die erforderlichen Festlegungen für das weitere Vorgehen im Standortsuchverfahren ab. Die vom BFE getroffenen Festlegungen betreffen – neben der Lage und dem Schutz der geologischen Standortgebiete und der Festlegung der Planungssperimeter – im Wesentlichen die Anforderungen an die folgende Etappe 2 des SGT.

8 PRÜFUNG MÖGLICHER AUSWIRKUNGEN AUF ÖSTERREICH

In den folgenden kurz gehaltenen Abschnitten wird auf einige spezielle Gesichtspunkte eingegangen, die im Zusammenhang mit der potenziellen Beeinflussung Österreichs durch (Langzeit-)Sicherheitsaspekte von Interesse sein könnten. Die Darstellung beruht in erster Linie auf den Ausführungen der NAGRA, insbesondere auf entsprechenden Angaben im Bericht NTB 08-04 plus Beilagenband, weil er die detailliertesten Angaben zu geowissenschaftlichen Aspekten enthält. Berücksichtigt werden weiterhin die Stellungnahmen von KNE und KNS sowie das Gutachten des ENSI.

Behandelt werden folgende Aspekte:

- Ausbreitung von Radionukliden über den Grundwasserpfad,
- Ausbreitung von Radionukliden über Oberflächenwasser,
- Ausbreitung von Radionukliden über den Luftpfad,
- Spezielle Einzelaspekte: Prüfung, ob diese von NAGRA angemessen berücksichtigt worden sind (Tektonik, Seismik, Felsmechanik, Klimaveränderung, übertiefte Felsrinnen).

Ausbreitung von Radionukliden über den Grundwasserpfad

Die Bewertung der Radionuklidausbreitung von einem (geplanten) Endlager über den Grundwasserpfad erfordert bestimmte Kenntnisse. Diese betreffen grundsätzlich Lage und Ausdehnung der grundwasserführenden Schichten, die Art der Grundwasserleiter, die hydraulischen Verhältnisse (Druckpotenziale), die Grundwasserfließgeschwindigkeit – kurz: die hydrogeologische und hydraulische Gesamtsituation in der weiteren Umgebung des Endlagers.

Im gegebenen Falle liegt der Standort des Endlagers noch nicht fest. Es sind von NAGRA (NTB 08-03) lediglich einige Standortgebiete vorgeschlagen worden, innerhalb derer möglicherweise potenzielle Endlagerstandorte identifiziert und später errichtet werden könnten. Die Österreich am nächsten liegenden Standortgebiete sind Zürcher Weinland (HAA, SMA), südliches Schaffhausen (nur SMA) und Nördlich Lägeren (HAA, SMA). Wirtsgestein ist in allen Fällen der Opalinuston, teilweise im Verbund mit Braunem Dogger. Mögliche Aquifere sind der die Wirtsgesteine unterlagernde Obere Muschelkalk und möglicherweise der Keuper, bei den überlagernden Schichten sind vor allem die Malmkalke als Grundwasserleiter von Bedeutung.

Die genannten geologischen Schichtglieder verlaufen nachweislich NTB 08-04 (Beilagenband) mit schwachem Einfallen in Richtung Südosten unter die Molasse bzw. Subalpine Molasse und die Helvetische und Peninnische Decke.

Aus der Lagesituation und Beschaffenheit dieser geologischen Schichten (Grundwasserleiter) alleine ist beim derzeitigen Kenntnisstand keine belastbare Aussage über die Gefährdung Österreichs möglich. Dazu benötigt man zusätzliche standort- und regionsspezifische Daten zur Hydraulik, zu wirksamen Störungen u. ä. Dies gilt auch für die Ausbreitung von Schadstoffen über „Kurzschlüsse“ im Grundwasser, d. h. beispielsweise senkrecht zur Schichtung nach oben in oberflächennahe nutzbare Grundwasserleiter. Erhebliche Bedeutung können auch geringmächtige Grundwasserleiter in ansonsten schlecht wasserleitenden Gesteinen erlangen.

Der Betrachtungsmaßstab, in dem die geologischen Standortgebiete von NAGRA ermittelt und bewertet worden sind, benötigt diese speziellen standortspezifischen Daten beim derzeitigen Verfahrensstand noch nicht. Diese werden erst interessant bei der Festlegung und ersten Bewertung von Standorten. Berücksichtigt wurde von NAGRA lediglich das Kriterium 1.4 (Freisetzungspfade) für Schritt 5. Indikator dabei ist die Beurteilung des vertikalen Transportes durch den einschlusswirksamen Gebirgsbereich (ewG). Ziel ist die Beurteilung des Indikators über die entsprechenden Gesteinsmächtigkeiten des ewG. Zusätzlich wurde der Indikator Grundwasserstockwerke zum Kriterium 1.2 (Hydraulische Barrierenwirkung) in Schritt 5 berücksichtigt. Dort wurde allgemein die Trennung bzw. fehlende Trennung von Grundwasserstockwerken in den Standortbereichen bewertet.

Gleichwohl wird in der Stellungnahme (KNE 2010) zu recht bemängelt, dass nicht allein der vertikale Abstand von Lagerhorizonten zu Aquiferen bewertet werden sollte, sondern auch die mögliche Radionuklidfreisetzung in horizontaler Richtung betrachtet werden sollte (s. auch Kap. 5.2 dieser Expertise). Dazu hat (KNE 2010) erste grobe Überlegungen angestellt. Diese müssten in der nächsten Etappe des SGT vorrangig fortgesetzt werden. Daraus ergäben sich dann belastbare Aussagen über die mögliche Betroffenheit Österreichs über den Wasserpfad.

Ausbreitung von Radionukliden über Oberflächenwasser

Denkbar ist die Ausbreitung von Radionukliden mit dem Grundwasser über „Kurzschlüsse“ (s. o.) in oberflächennahe Grundwasserleiter oder über ausgehende horizontale Aquifere mit anschließender Freisetzung in einen Vorfluter. Als großer Vorfluter käme hier gegebenenfalls die Donau in Frage, über die dann freigesetzte Radionuklide aus Standortgebieten bis nach Österreich gelangen könnten. In ihrer Stellungnahme hat (KNE 2010) erste Überlegungen dazu angestellt. Danach könnte für Standorte im Bereich „nördlich Lägeren“ die in den Rhein mündende Aare als möglicher Vorfluter in Frage kommen. Denkbar ist aber auch eine Freisetzung aus den Bereichen „Zürcher Weinland“ und „Nördlich Lägeren“ in den Rhein über andere Vorfluter (Wutach, Neckar). Wenn dieses zuträfe, wäre Österreich von diesen Auswirkungen nicht betroffen. Darüber hinaus zeigt KNE noch weitere potenzielle Freisetzungsmöglichkeiten über Vorfluter auf.

Die weitere Diskussion dieses Sachverhaltes ist jedoch zum jetzigen Zeitpunkt vorläufig und nicht ausreichend belastbar. Erst muss ein Endlagerstandort festgelegt worden sein, und die erforderlichen standort- und regional-spezifischen Daten müssen zur Verfügung stehen. Nur so kann man zu den benötigten belastbaren Aussagen gelangen.

Ausbreitung von Radionukliden über den Luftpfad

Die Ausbreitung von Radionukliden über den Luftpfad kann nur während der Betriebszeit des Endlagers stattfinden. Durch den Normalbetrieb eines Endlagers sowie durch Störfälle können mehr oder weniger große Mengen an Radionukliden freigesetzt werden, die je nach Wetterbedingungen auch in Richtung Österreich transportiert werden können.

Die weitere Diskussion dieses Sachverhaltes ist jedoch zum jetzigen Zeitpunkt ebenfalls nicht sinnvoll. Weder der Ort des Endlagers noch das genaue Inventar sind bekannt, und auch Störfallbetrachtungen während der Betriebsphase sind noch nicht durchgeführt worden. Dies ist jedoch die Bedingung für solche Betrachtungen. Die NAGRA hat konsequenterweise diesen Betriebsaspekten keinerlei Bedeutung für die Ermittlung geologischer Standortgebiete zugesprochen.

Spezielle Einzelaspekte (Tektonik, Seismik, Felsmechanik, Klimaveränderung, übertiefte Felsrinnen u. ä.): Prüfung, ob diese von NAGRA angemessen berücksichtigt worden sind

In NTB 08-03 werden in Tab. 2.5-2 sämtliche Kriterien mit den jeweiligen Anforderungen aufgelistet, die bei der Suche nach Großräumen, Wirtsgesteinen und Standortgebieten zur Anwendung kommen. Die Anwendung dieser Kriterien wird unterlegt mit geowissenschaftlichen Informationen, die NTB 08-04 zu entnehmen sind.

Der Tab. 2.5-2 ist zu entnehmen, dass **tektonische Aspekte** mittels mehrerer Indikatoren in das Bewertungsverfahren eingeführt worden sind, und zwar teilweise getrennt nach den spezifischen Anforderungen des SMA- bzw. HAA-Lagers (z. B. Kriterium 1.1 für Schritt 5: Indikatoren „Abstand zu regionalen Störungszonen“ und „tektonisch zu meidende Zonen“). Die entsprechenden Ausführungen sind weitgehend plausibel, und damit ist den Anforderungen an ein entsprechendes Suchverfahren Genüge getan.

Die **Seismizität** ist ebenfalls berücksichtigt worden. Ein entsprechender Indikator gehört zum Kriterium 2.1 „Beständigkeit der Standort- und Gesteinseigenschaften“. Beurteilt wird die Seismizität anhand der Erdbebenkarte sowie Überlegungen zur Abgrenzung von Herdzone. Detaillierte Ausführungen finden sich in NTB 08-04, Kap.2.7.4. Die Behandlung dieses Themas durch NAGRA ist plausibel und völlig ausreichend für ein entsprechendes Suchverfahren.

Gleiches gilt für das Thema **Felsmechanik, Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften**. Auch hier werden je nach Suchschritt bestimmte und angemessene Bewertungen mittels Kriterien vorgenommen. Beispielweise wird in NTB 08-03 in Suchschritt 4 das Kriterium 4.1 „Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen“ berücksichtigt. Weitere Kriterien bzw. Indikatoren mit Bezug auf Gesteinseigenschaften und Felsmechanik werden in verschiedenen Suchschritten herangezogen. In NTB 08-04 wird die fachliche Grundlage dazu entsprechend erläutert. Diese Vorgehensweise der NAGRA ist plausibel. Darüber hinaus gehende Untersuchungen wären zum derzeitigen Stand des Verfahrens unangemessen und nicht unbedingt hilfreich.

In NTB 08-04 werden in Kap.2.9 qualifizierte Darlegungen zur **flächenhaften Erosion** (Denudation) und zur **linearen Erosion** (fluviatile Erosion, glazigene Tiefenerosion) gegeben. In NTB 08-03 werden diese Aspekte mittels Kriterien bzw. Indikatoren für das Suchverfahren verwendet. Beispielweise wird in Schritt 5 des Suchverfahrens das Kriterium 2.2 „Erosion“ benutzt. Dabei werden sowohl die großräumige Erosion als auch die lineare Erosion berücksichtigt. Im übrigen werden auch Wechselwirkungen zwischen Erosion und Tektonik in NTB 08-04 behandelt. Auch diese Einflüsse sind plausibel und angemessen behandelt und in das Suchverfahren eingebunden worden. Gleichfalls wird in der Stel-

lungnahme (KNS 2010) darauf hingewiesen, dass noch erhebliche Unsicherheiten hinsichtlich tektonischer und erosiver Vorgänge bestehen. Darauf muss besonders geachtet werden.

Die **zukünftige klimatische Entwicklung** kann Einflüsse auf ein Endlager haben (z. B. glazigene Tiefenerosion). Die entsprechenden Ausführungen in NTB 08-04 sind recht knapp geraten, dabei allerdings plausibel. Sie behandeln im Wesentlichen die Vergletscherung, die sicherlich den größten Einfluss auf das Relief haben dürfte. Die direkten Folgen davon zeigen sich dann in der Erosion, die mittels Kriterien in das Suchverfahren Eingang findet (s. o.).

Die genannten speziellen Einzelaspekte lassen derzeit keine Schlussfolgerungen zu über eine potenzielle Beeinflussung Österreichs. Dies wird erst möglich sein, wenn potenzielle Endlagerstandorte festgelegt worden sind. Dann müssen diese Aspekte standortspezifisch und im Detail betrachtet werden.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Prüfung möglicher Auswirkungen auf Österreich derzeit nur auf einer sehr allgemeinen Ebene stattfinden kann. Hauptgrund dafür ist der unzureichende standortspezifische und regionale Kenntnisstand zu hydrogeologischen, hydraulischen und anderen Aspekten. Dies darf nicht verwundern, denn in der jetzigen Etappe des SGT liegen noch keine Standorte vor, sondern nur Standortregionen.

Dennoch wäre es vorteilhaft gewesen, wenn NAGRA die regionalen hydrogeologischen Verhältnisse auf Grundlage der vorhandenen Kenntnisse stärker mit den Standortregionen verknüpft hätte. Dann nämlich hätten erste Überlegungen in der Richtung, wie KNE sie in seiner Stellungnahme vornimmt, zu weitergehenden orientierenden Aussagen über die potenzielle regionale bzw. großräumige Ausdehnung von Radionukliden mit dem Grund- und Oberflächenwasser führen können. Daraus wären erste halbwegs belastbare Hinweise über eine mögliche langfristige Betroffenheit Österreichs ableitbar gewesen.

9 MÄNGEL, KRITISCHE VERFAHRENSSCHRITTE SOWIE NACH- UND ANFORDERUNGEN

9.1 Darstellung von festgestellten Mängeln und kritischen Verfahrensschritten

Die von der NAGRA umgesetzte Etappe 1 des SGT (Schritte 1 bis 5) weist insgesamt keine gravierenden Mängel auf. Zudem werden die Anforderungen der Etappe 1 des SGT erfüllt. Einzelne kritisch anzumerkende Aspekte besitzen für den Ablauf und das Ergebnis des Verfahrens nur nachgeordnete Bedeutung.

Der bedeutsamste Mangel betrifft den methodischen Aspekt der vergleichenden Bewertung von Großräumen, Wirtsgesteinen und Standortbereichen. Er besteht darin, dass die NAGRA durch die Zuordnung von Zahlenwerten zu ordinal skalierten Bewertungen und Verrechnung dieser Zahlenwerte gegen die Regel verstößt, dass ordinal skalierte Werte keinen arithmetischen Operationen unterzogen werden dürfen. Außerdem wird durch die nicht zulässige Verrechnung der Werte eine implizite Kompensation der Vor- und Nachteilen der zu aggregierenden Indikatoren bzw. Kriterien bewirkt.

Dieser Fehler wird allerdings abgemildert durch die systematische Anwendung von Mindestanforderungen und verschärften Anforderungen während des Verfahrens. Dadurch wird der Einfluss dieses Fehlers deutlich vermindert, da nur grundsätzlich geeignete und besonders gut bewertet Großräume, Wirtsgesteine und Standortbereiche im Verfahren verbleiben. Die implizite Kompensation von Vor- und Nachteilen wird dadurch aufgefangen, dass die NAGRA zu jedem Indikator bzw. Kriterium eine ausreichende Darstellung der Befundlage liefert.

Weitere Schwachpunkte beziehen sich auf einzelne Darstellungen und/oder Interpretationen von einzelnen Befunden, oder aber deren Bewertung. Dies betrifft z. B. die Bewertung der potenziellen Anlage eines SMA-Lagers im Bereich der Alpen (Helvetikum). Darüber hinaus existieren noch weitere Schwachpunkte, die aber einen geringen bis vernachlässigbaren Einfluss auf das Gesamtergebnis haben. Bei einigen Aspekten (z. B. zum Verhalten einzelner Barrierenkomponenten im Nahbereich des Endlagers) liegen zudem noch keine letztendlich abgesicherten Kenntnisse vor. Andere Aspekte (z. B. zukünftiges maximales Ausmaß der linearen fluviatilen Erosionsraten) unterliegen Annahmen und Interpretationen und müssen in Zukunft wegen ihrer potenziellen Sicherheitsrelevanz genauestens berücksichtigt werden.

All diese Schwachpunkte sind jedoch im Rahmen der Etappe 1 des SGT hinnehmbar. Erst in zukünftigen Schritten, die deutlich standortspezifischer geprägt sein müssen, werden die Anforderungen an die zugrunde liegenden Informationen höher sein. Erst dann können auch potenzielle Auswirkungen auf Österreich konkreter und belastbar dargestellt werden. Dies ist zurzeit nur „allgemeinhypothetisch“ möglich.

Im Übrigen sei noch angemerkt, dass die in dieser Fachexpertise geäußerte Methodenkritik auch von ENSI und KNE geteilt wird. In diesem Zusammenhang wird auch die Bewertung des Standortgebietes Wellenberg durch ENSI und KNS, vor allem aber durch KNE, gleichfalls sehr kritisch gesehen.

9.2 Darstellung von Nachforderungen und Anforderungen

Nachforderungen

Bezüglich der in Kap. 9.1 dargestellten Mängel sind wegen ihres insgesamt geringen Einflusses auf das Gesamtergebnis des Verfahrens keine Nachforderungen zu stellen.

Anforderungen

Anforderungen können nur in Richtung der nächsten Etappe des SGT gestellt werden. In Etappe 2 des SGT geht es um die Festlegungen von Endlagertypen SMA und HAA (ggf. eines Kombilagere) innerhalb der Standortbereiche. Dazu wird nach den Vorgaben des SGT pro Standortbereich mindestens ein Lager ausgewählt. Zudem werden quantitative provisorische Sicherheitsanalysen und ein sicherheitstechnischer Vergleich der Standorte durchgeführt.

In dem Zusammenhang ist es unabdingbar, eine **ausreichende standortspezifische geowissenschaftliche Datenbasis zu erstellen** (ggf. mit (Standort-)Untersuchungen, Bohrungen usw.). Die zurzeit vorliegenden Daten reichen nicht aus. Auf dieser Grundlage kann dann auch die potenzielle Gefährdung Österreichs abgeschätzt werden. Zusätzlich muss eine **angemessene Methode zur vergleichenden Bewertung der Standorte** zur Verfügung gestellt werden (ohne Rechenoperationen, ohne Kompensation der jeweiligen Vor- und Nachteile). Zudem sind Anforderungen zu stellen an die Funktion und die Aussagekraft der Ergebnisse der provisorischen Sicherheitsanalysen und an die Qualität und Quantität der dazu benötigten Daten. Außerdem sollte klar auf nicht vermeidbare normative Wertungen hingewiesen werden.

Hinsichtlich der notwendigen standortspezifischen Datenbasis fordert im übrigen auch KNS, dass ein gleichartiger und ausreichender Informationsstand für alle Standorte/Standortgebiete erreicht werden muss, und dass die entsprechenden Untersuchungen mit hoher Priorität umgesetzt werden. Zudem fordert KNS zu Recht die Sicherstellung des notwendigen Mindestbedarfs an Informationen für die provisorischen Sicherheitsanalysen, denn Datenmangel oder Datenunsicherheiten dürfen nicht zum Ausschluss eines Standortes führen.

Die von KNS angesprochene Forderung nach einer größeren Tiefenlage des HAA-Lagers sollte wegen der daraus resultierenden Sicherheitsvorteile gegenüber erosiven Vorgängen daraufhin überprüft werden, ob sie bautechnisch umgesetzt werden kann.

10 VERZEICHNIS DER HERANGEZOGENEN UNTERLAGEN

10.1 Zentrale Verfahrensunterlagen

- BFE – Bundesamt für Energie (2010a): Sachplan geologisches Tiefenlager: Etappe 1. Ergebnisbericht: Festlegungen und Objektblätter, Entwurf. Bern, 20. August 2010.
- BFE – Bundesamt für Energie (2010b): Sachplan geologisches Tiefenlager: Etappe 1. Erläuterungsbericht für die Anhörung zu Etappe 1. Bern, 20. August 2010.
- NTB 08-03 (2008): Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager. Darlegung der Anforderungen, des Vorgehens und der Ergebnisse. Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (NAGRA), Technischer Bericht 08-03, Wettingen, Oktober 2008.
- NTB 08-04 (2008): Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager. Geologische Grundlagen – Textband und Beilagenband. Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (NAGRA), Technischer Bericht 08-04, Wettingen, Oktober 2008.
- NTB 08-05 (2008): Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager. Begründung der Abfallzuteilung, der Barrierensysteme und der Anforderungen an die Geologie. Bericht zur Sicherheit und technischen Machbarkeit. Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (NAGRA), Technischer Bericht 08-05, Wettingen, Oktober 2008.
- ENSI – Eidgenössisches Nuklearinspektorat (2010): Sicherheitstechnisches Gutachten zum Vorschlag geologischer Standortgebiete. Sachplan geologische Tiefenlager, Etappe 1. Eidgenössisches Nuklearinspektorat, Brugg, Januar 2010.
- KNE – Kommission Nukleare Entsorgung (2010): Sachplan Geologisches Tiefenlager, Etappe 1 – Stellungnahme der KNE zur Sicherheit und bautechnischen Machbarkeit der vorgeschlagenen Standortgebiete. 23. Februar 2010.
- KNS – Eidgenössische Kommission für nukleare Sicherheit (2010): Sachplan geologisches Tiefenlager Etappe 1 – Stellungnahme zum sicherheitstechnischen Gutachten de sENSI zum Vorschlag geologischer Standortgebiete. KNS 23/219, April 2010.
- SWISSTOPO – Bundesamt für Landestopographie (2010): Beurteilung der Sammelprofile und der hergeleiteten Wirtsgesteine sowie der Grundlagen für die Herleitung von Standortgebieten im Sachplan geologische Tiefenlager. Expertenbericht ENSI 33/67, swisstopo, Wabern, 2010.

10.2 Unterlagen zu technischen Detailfragen

- TR 08-12 (2008): Corrosion of carbon steel under anaerobic conditions in a repository for SF and HLW in Opalinus Clay. Autor: Fraser King, Integrity Corrosion Consulting Ltd. Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (NAGRA), Technical Report 08-12, Wettingen, Oktober 2008.

TR 09-02 (2009): A Review of Materials and Corrosion Issues Regarding Canisters for Disposal of Spent Fuel and High-level Waste in Opalinus Clay. Autoren: Landolt, D., Davenport, A., Payer, J., Shoesmith, D. Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (NAGRA), Technical Report 09-02, Wettingen, January 2009.

TR 09-04 (2009): A Review of the Possible Effects of Hydrogen on Lifetime of Carbon Steel Nuclear Waste Canisters. Autor: Alan Turnbull, National Physical Laboratory, UK. Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (NAGRA), Technical Report 09-04, Wettingen, July 2009.

10.3 Zusammenfassende Unterlagen (Faktenblätter)

Zur Orientierung und zur Gewährleistung eines raschen Überblickes haben verschiedene Institutionen im Rahmen des Sachplanverfahrens sogen. Faktenblätter herausgegeben:

- BFE: 8 Faktenblätter zum Sachplan geologische Tiefenlager insgesamt
- ENSI: 8 Faktenblätter zum sicherheitstechnischen Gutachten und zu den Standortgebieten
- KNE: 1 Faktenblatt zur KNE-Stellungnahme zum ENSI-Gutachten
- NAGRA: 9 Faktenblätter zu den Standortgebieten

Der Umfang der Faktenblätter beschränkt sich jeweils auf zwei Seiten. Eine Durchsicht durch die Verfasser zeigte, dass sie ausschließlich – in zusammengefasster Form – Informationen enthalten, die auch den zentralen Verfahrensunterlagen zu entnehmen ist. Eine spezielle Diskussion der Faktenblätter erübrigt sich daher im Rahmen der vorliegenden Fachexpertise.

11 VERZEICHNIS SONSTIGER QUELLEN

- AKEND – Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte (2002): Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. Empfehlungen des AkEnd. Köln, Dezember 2002
- BFE – Bundesamt für Energie (2008): Sachplan geologische Tiefenlager, Konzeptteil, Bern, 02.04.2008
- ENSI – Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (2009): Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis; Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen ENSI-G03, April 2009
- ESCHT – Expertengruppe Schweizer Tiefenlager (2010): Stellungnahme der ESchT zur ersten Etappe des Schweizer Standortauswahlverfahrens für geologische Tiefenlager, Teil II: Sicherheitstechnische und geowissenschaftliche Aspekte. März 2010 (www.escht.de)
- MÜLLER-HERBERTS (2007): Methoden zur Beurteilung von Varianten. Arbeitspapier des Instituts für Grundlage der Planung, Universität Stuttgart, 4. Auflage, 2007
- LAUX (2004): Entscheidungstheorie. 6. Auflage, 484 S., Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York.
- PIFFNER (2008): Kleine Geologie der Schweiz. Nagra Arbeitsbericht NAB 07-33.
- STRASSERT (1995): Das Abwägungsproblem bei multikriteriellen Entscheidungen. Verlag Peter Lang, Frankfurt a. Main
- TFS – Technisches Forum Sicherheit (2010a): Schriftliche Antwort der NAGRA auf die Frage Nr. 41 (gestellt von Österreich), präsentiert auf der Sitzung am 26.08.2010 in Brugg
- TFS – Technisches Forum Sicherheit (2010b): Diskussion der Frage 28 (gestellt von Kanton Zürich) auf der Sitzung am 26.03.2010 in Zürich
- TFS – Technisches Forum Sicherheit (2010c): Schriftliche Antwort der NAGRA auf die Frage Nr. 42 (gestellt von Österreich), präsentiert auf der Sitzung am 26.08.2010 in Brugg

Umweltbundesamt GmbH

Spittelauer Lände 5
1090 Wien/Österreich

Tel.: +43-(0)1-313 04

Fax: +43-(0)1-313 04/5400

office@umweltbundesamt.at

www.umweltbundesamt.at



EMAS

Geprüftes
Umweltmanagement
REG.NR. AT-000484