

Orientierende Fachstellungnahme zu den Standortvorschlägen der Nagra im Rahmen von Etappe 2 des schweizerischen „Sachplans geologische Tiefenlager“

Verfasser: Dr. Helmut Hirsch, cervus nuclear consulting, Neustadt a. Rbge.
Dipl.-Geol. Jürgen Kreusch, intac GmbH, Hannover

Erstellt im Auftrag des Umweltbundesamtes, Wien

Bestellnummer 112-033/15

Neustadt a. Rbge. / Hannover, Juli 2015

Inhaltsverzeichnis:

0	Zusammenfassung	4
1	Einleitung	8
2	Bewertung der Methodik	11
2.0	Überblick über Etappe 2	11
2.1	Schritt 1: Methodik des sicherheitstechnischen Vergleichs	12
2.1.1	Vorgehensweise der Nagra	12
2.1.2	Diskussion und Bewertung	13
2.2	Schritt 2: Festlegung des prioritären Wirtsgesteins durch die NAGRA	13
2.2.1	Vorgehensweise der Nagra	13
2.2.2	Diskussion und Bewertung	14
2.3	Schritt 3: Abgrenzung der untertägigen Lagerperimeter	14
2.3.1	Vorgehensweise der Nagra	14
2.3.2	Diskussion und Bewertung	16
2.4	Schritt 4, erster Teil: Dosisberechnungen mittels provisorischer Sicherheitsanalysen	17
2.4.1	Funktion der provisorischen Sicherheitsanalyse	17
2.4.2	Bewertungsansatz mittels der provisorischen Sicherheitsanalyse	19
2.4.2.1	Frage 1: Inwieweit bzw. wodurch wird gewährleistet, dass die von Nagra ermittelten Dosiswerte realistisch bzw. realitätsnah sind?	19
2.4.2.2	Frage 2: Ist die Notwendigkeit einer angemessenen standortspezifischen Befundlage für die provisorische Sicherheitsanalyse ausreichend bedacht worden?	20
2.4.2.3	Frage 3: Welche Bedeutung kommt der provisorischen Sicherheitsanalyse zu, welche Aussagekraft besitzen die verschiedenen Rechenfälle (standardisiertes Parametervariationsverfahren)?	23
2.4.2.4	Frage 4: Inwieweit ist die provisorische Sicherheitsanalyse der Nagra nachvollziehbar bzw. transparent?	25
2.4.2.5	Anmerkung zum methodischen Aspekt:	26
2.5	Schritt 4, zweiter Teil, und Schritt 5: Qualitative Bewertung und Vergleich der Standortgebiete bzw. Lagerperimeter	27
2.5.1	Vorgehensweise der Nagra	27
2.5.2	Diskussion und Bewertung	31
3	Prüfung einer möglichen Betroffenheit Österreichs	35
3.1	Relevante Aussagen in den Unterlagen der Nagra	35
3.2	Diskussion und Ergebnisse	36
3.3	Zusammenfassung zur Betroffenheit Österreichs, verbleibende Unsicherheiten	37

4	Zukünftige Entwicklungen in den Standortregionen	39
4.1	Vorgehensweise der Nagra	39
4.2	Diskussion und Bewertung	40
4.2.1	Einzugsgebiete der Oberflächengewässer	40
4.2.2	Auswirkungen zukünftiger Erosion	40
4.2.3	Glaziale Tiefenerosion und Bildung von Durchbruchsrinnen	41
4.2.4	Abschließende Bewertung	42
5	Schlussfolgerungen	44
6	Literaturverzeichnis	46
6.1	Unterlagen der Nagra zu den Standortvorschlägen	46
6.2	Sonstige Quellen	47
7	Abkürzungen	48

0 Zusammenfassung

Aufgabenstellung

Das Hauptziel dieser Fachstellungnahme ist eine orientierende Bewertung der verschiedenen Schritte der Etappe 2 des Sachplans geologische Tiefenlager. Im Mittelpunkt des Interesses standen die Dosisberechnungen mittels provisorischer Sicherheitsanalysen, insb. deren Realitätsnähe und Aussagekraft. Auch die qualitativen Bewertungen und ihre Bedeutung für den Vergleich der Standortgebiete wurden genauer betrachtet.

Weiterhin wurde überprüft, ob die in früheren Arbeiten identifizierten noch offenen Fragen zu einer möglichen österreichischen Betroffenheit (insb. im Hinblick auf mögliche Freisetzungspfade an den ausgewählten Standorten Zürich Nordost und Jura Ost) in den neuen Unterlagen der Nagra ganz oder teilweise beantwortet werden, bzw. welche Lücken ggf. noch verbleiben.

Schließlich wurde der Frage nachgegangen, welche Themen im weiteren Verlauf des Sachplanverfahrens – auch unabhängig von einer österreichischen Betroffenheit – von grundsätzlichem Interesse sein könnten und weitere kritische Begleitung erfordern würden. In diesem Zusammenhang wurde vor allem die Langzeitentwicklung in den Standortregionen diskutiert.

Ergebnisse

Bei der Abgrenzung der untertägigen Lagerperimeter durch Nagra werden erhebliche Ungewissheiten bei Platzangebot und Platzbedarf der HAA-Standortgebiete Nördlich Lägern und Jura Ost deutlich; die Abschätzungen des Platzbedarfs haben sich seit 2008 stark geändert. Dies kann als Indikator dafür gewertet werden, dass diese Aussagen lediglich vorläufigen, orientierenden Charakter haben. Die größten Ungewissheiten und Bandbreiten bestehen bei Nördlich Lägern. Gerade für dieses Standortgebiet wird das als ungenügend eingeschätzte Platzangebot unter Tage von Nagra sehr kritisch beurteilt und trägt wesentlich zu seiner Zurückstellung bei.

Bei den provisorischen Sicherheitsanalysen kommt Nagra zu dem Ergebnis, dass die Dosisintervalle für sämtliche Standortgebiete unter der Optimierungsschwelle von 0,01 mSv/a (und damit deutlich auch unter dem Dosis-Schutzkriterium von 0,1 mSv/a) liegen. Damit werden alle Standortgebiete als sicherheitstechnisch geeignet betrachtet. Kein Standortgebiet wird aufgrund der Ergebnisse der provisorischen Sicherheitsanalysen zurückgestellt oder ausgeschlossen.

Mit den provisorischen Sicherheitsanalysen sollen realitätsnahe Dosiswerte ermittelt werden. Dafür sind umfassende standortspezifische Daten bzw. nachweislich übertragbare Daten von anderen Standorten erforderlich. Derartige Daten sind aber zurzeit nicht in ausreichendem Maße vorhanden.

Es ist somit zu bezweifeln, dass der Kenntnisstand für eine zuverlässige sicherheitsanalytische Bewertung der Wirtgesteine und der generellen (hydro-)geologischen Situation an allen Standortgebieten gegeben ist. Die erweiterte Informationsbasis für Etappe 2 verbessert zweifellos den allgemeinen Kenntnisstand über den Aufbau der Standortregionen. Viele der benutzten Informationen sind jedoch indirekter Art, die interpretiert werden müssen.

Fehlende Daten durch (konservative) Annahmen, Analogien usw. abzudecken, kann den Anspruch der Bewertung der sicherheitstechnischen Eignung der Standorte wegen erheblicher Ungewissheiten gleichfalls nicht erfüllen. Auch die Betrachtung von mehreren Rechenfällen (Referenzrechenfall und weitere standardisierte Rechenfälle) kann daran nichts ändern.

Die provisorischen Sicherheitsanalysen der Nagra sind zwar formal nachvollziehbar und in weitgehend transparenter Form dargestellt. Was jedoch fehlt, sind Auflistungen, in denen im Rahmen einer Zusammenschau klar dargelegt wird, an welchen Stellen der Sicherheitsanalysen Annahmen, Expertenmeinungen, Analogien usw. an Stelle standortspezifischer Befunde und Prozesse herangezogen wurden. Ebenso fehlt es an einer übersichtlichen Darstellung aller Ungewissheiten und ihrer Bedeutung für das Ergebnis.

Letztlich bleibt die tatsächliche Bedeutung der provisorischen Sicherheitsanalysen im Auswahlverfahren unklar. Denn der Anspruch der Bewertung der sicherheitstechnischen Eignung aller Standortregionen wird wegen unzureichender standortspezifischer Standortdaten nicht wirklich erfüllt. Allerdings ermöglichen die provisorischen Sicherheitsanalysen durchaus einen relativen Vergleich von Standortregionen anhand ihrer jeweiligen berechneten Dosiswerte ohne Kenntnis der absoluten Höhe dieser Werte im Verhältnis zu einem festgesetzten Dosis-Grenzwert.

Bei der qualitativen Bewertung weisen sämtliche Standortgebiete für HAA und SMA mindestens die Stufe „geeignet“ auf. Als entscheidend für die Zurückstellung von Standortgebieten erweist sich die Frage nach belastbaren eindeutigen Nachteilen. Eines der drei HAA-Standortgebiete (Nördlich Lägern) wird aufgrund von eindeutigen Nachteilen bei den Indikatoren „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ sowie „Platzangebot untertags“ zurückgestellt. Von den SMA-Standortgebieten werden vier wegen eindeutiger Nachteile zurückgestellt.

Die von Nagra angewandte Methodik, den Bewertungsstufen (sehr günstig, günstig usw.) Zahlenwerte zuzuordnen und diese Skala innerhalb der Bewertungsstufen durch Nachkommastellen zu verfeinern, ist als problematisch anzusehen. Die praktischen Auswirkungen dieses methodischen Mangels dürften in den meisten Fällen nicht bedeutsam sein. Es gibt allerdings Probleme bei der Ausgestaltung und Anwendung der Methodik im Detail, die in Grenzfällen die Ergebnisse beeinflussen könnten.

Dies betrifft Inkonsistenzen bei der Zuordnung von abgestuften Zahlenwerten innerhalb einer Bewertungsstufe, die insgesamt tendenziell das Standortgebiet Nördlich Lägern (NL) benachteiligen. Weiterhin ist das Vorgehen bei Parameterwerten, die am Rande einer Kategorie liegen, fragwürdig. Beide Probleme führen dazu, dass sich die Zuweisung von zahlenmäßigen Bewertungen mit Nachkommastellen als scheinogenau erweist.

Dies ist im Zusammenhang damit zu sehen, dass sich die Rückstellung des Standortgebietes HAA-NL aufgrund eindeutiger Nachteile bei genauer Betrachtung als sehr knappe Entscheidung herausstellt.

In Etappe 2 gilt das Prinzip, dass keine Standortgebiete zurückgestellt werden sollen, die sich bei weiteren Untersuchungen als gleich oder besser geeignet herausstellen können als die weiter verfolgten Gebiete. Unter Berücksichtigung dieses Grundsatzes sowie der aufgezeigten methodischen Schwächen stellt sich die Frage, ob die Rückstellung von HAA-NL ausreichend begründet ist.

Für die Prüfung einer möglichen Betroffenheit Österreichs wurde der Wasserpfad betrachtet. (Der Luftpfad ist lediglich für die Betriebsphase relevant, insb. bei Störfällen.)

Nach gegenwärtigem Kenntnisstand kann mit hoher Sicherheit davon ausgegangen werden, dass Österreich nicht von Radionuklidfreisetzungen über den Wasserpfad betroffen sein wird. Dies gilt sowohl für den Grundwasserpfad als auch den Oberflächenwasserpfad. Mit hoher Wahrscheinlichkeit werden Radionuklide, die aus dem Tiefenlager mit dem Grundwasser freigesetzt werden, im Bereich einiger Kilometer um den Tiefenlagerstandort exfiltrieren. Die daraus resultierenden kontaminierten Oberflächenwässer (bzw. oberflächennahen Grundwässer) werden zukünftig alle über das Flusseinzugsgebiet von Aare und Rhein in Richtung Westen/Nordwesten abgeführt.

Die Auseinandersetzung der Nagra mit den sicherheitsrelevanten zukünftigen geologischen Entwicklungen im Bereich der Standortgebiete entspricht dem Stand von Wissenschaft und Technik.

Die Tatsache, dass dabei Annahmen getroffen werden müssen, ist unabweisbar; die daraus resultierenden Unsicherheiten über die tatsächlich zukünftig ablaufende Entwicklung sind – über die Anwendung von Szenarien hinaus – nicht zu eliminieren. Wünschenswert wäre allerdings eine übersichtliche Zusammenstellung der wichtigsten normativen Annahmen, der daraus resultierenden Unsicherheiten und ihrer Bewertung in Hinblick auf sicherheitsrelevante Aussagen.

Die zukünftige Entwicklung der Einzugsgebiete der Oberflächengewässer wird voraussichtlich zur Beibehaltung der jetzigen Abflussbedingungen führen; es ist als wahrscheinlich anzunehmen, dass sich das Einzugsgebiet des Rheins weiter nach Osten/Nordosten auf Kosten des Einzugsgebietes der Donau erweitert. Auch dies spricht klar gegen eine zukünftige Betroffenheit Österreichs.

Im Hinblick auf glaziale Tiefenerosion fehlen klare Hinweise darauf, dass die gewählten Zahlenangaben letztlich normativer Natur sind (expert judgment). Den Angaben über das prognostizierte maximale Ausmaß der glazialen Tiefenerosion bzw. Rinnenbildung ist grundsätzlich mit Vorsicht zu begegnen; es ist auch eine tiefere Erosion/Rinnenbildung nicht auszuschließen.

Bei der Festlegung der Tiefenlage der Lagerebene (bzw. des Wirtgesteins) muss immer ein Kompromiss eingegangen werden – zwischen dem Wunsch nach möglichst großer Tiefe (Schutz vor Erosion u. Dekompaktionserscheinungen) einerseits und bergbautechnischen (v.a. Standsicherheit) sowie geomechanischen (z.B. Auflockerungszonen, Selbstabdichtung) Belangen andererseits. Dieser

Zielkonflikt gewinnt dadurch an Bedeutung, dass der Indikator „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ wesentlich zur Zurückstellung des Standortgebietes Nördlich Lägern beigetragen hat.

Erfüllung der Anforderungen aus der Fachstellungnahme zu Etappe 1

In der Fachstellungnahme zu Etappe 1 des Sachplans geologische Tiefenlager [HIRSCH & KREUSCH 2010] waren für Etappe 2 folgende Anforderungen gestellt worden:

- 1) Es ist eine ausreichende standortspezifische geowissenschaftliche Datenbasis zu erstellen. Auf dieser Grundlage könnte dann auch eine potenzielle Gefährdung Österreichs abgeschätzt werden.
- 2) Es muss eine angemessene Methode zur vergleichenden Bewertung der Standorte zur Verfügung stehen.
- 3) Es sollte klar auf nicht vermeidbare normative Wertungen hingewiesen werden.

Die erste Forderung ist im Hinblick auf die Beurteilung einer potenziellen Gefährdung Österreichs weitgehend erfüllt. Es bestehen jedoch begründete Zweifel daran, dass die jeweilige standortspezifische Datenbasis ausreicht, um mit den provisorischen Sicherheitsanalysen realitätsnahe Dosiswerte zu ermitteln, die an Dosis-Schutzkriterien gemessen werden können.

Die zweite Forderung ist teilweise erfüllt. Die für die vergleichende Bewertung und die Identifikation von eindeutigen Nachteilen angewandte Methodik weist allerdings Schwächen auf, die in Grenzfällen die Ergebnisse beeinflussen könnten.

Forderung drei ist überwiegend nicht erfüllt. Es wird von Nagra meist nicht klar dargelegt, an welchen Punkten und inwieweit normative Wertungen und sonstige Unsicherheiten in die Bewertungen eingeflossen sind.

1 Einleitung

Das Auswahlverfahren für Standorte für geologische Tiefenlager in der Schweiz wird im „Sachplan geologische Tiefenlager“ [BFE 2008] geregelt, den der Bundesrat 2008 verabschiedet hat. Dieser Sachplan sieht drei Etappen vor:

Etappe 1 – Identifizierung geeigneter Standortgebiete für jede Abfallkategorie (HAA und SMA)

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 (Kombilager) sind möglich.

Die Umsetzung des Sachplans erfolgt durch die Abfallverursacher (Nationale Genossenschaft für die Entsorgung radioaktiver Abfälle, Nagra).

Im Rahmen von Etappe 1 hatte die Nagra Ende 2008 ihre Vorschläge für Standortgebiete vorgelegt. Nach Prüfung durch die zuständigen Behörden bestätigte der Bundesrat diesen Vorschlag und schrieb ihn mit Entscheid vom 20. November 2011 im Sachplan fest.

Es handelte sich um folgende Standortgebiete:

- Jura Ost / JO (HAA, SMA)
- Jura Südfuss / JS (SMA)
- Nördlich Lägern / NL (HAA, SMA)
- Südranden / SR (SMA)
- Wellenberg / WLB (SMA)
- Zürich Nordost / ZNO (HAA, SMA)

Im Rahmen der derzeit laufenden Etappe 2 wurden in diesen Regionen verschiedene Untersuchungen durchgeführt. Ende August 2014 bescheinigte das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI), dass der geologische Kenntnisstand ausreichend sei, damit die Nagra – wie im Sachplan vorgesehen – ihre Vorschläge für mindestens zwei Standorte pro Lagertyp beim BFE einreichen kann.

Für alle in Etappe 1 ausgewählten Standortgebiete wurden provisorische Sicherheitsanalysen (Dosisberechnungen) sowie qualitative Bewertungen anhand von Kriterien zur Sicherheit und technischen Machbarkeit durchgeführt. Auf dieser Grundlage führte Nagra einen sicherheitstechnischen Vergleich sowie eine vergleichende Gesamtbewertung der Standortgebiete durch.

Die daraus abgeleiteten Vorschläge wurden von Nagra am 30. Januar 2015 vorgelegt. Es handelt sich um zwei Standortgebiete, die sich nach Ansicht der Nagra sowohl für ein HAA-Lager, ein SMA-Lager oder auch ein Kombilager eignen: Jura Ost und Zürich Nordost.

Die technischen Berichte und Arbeitsberichte, mit denen Nagra ihre Vorschläge begründet, wurden veröffentlicht. Sie werden von den schweizerischen Bundesbehörden überprüft und den Standortkantonen und –regionen zur Stellungnahme unterbreitet. Sämtliche Unterlagen einschl. der entsprechenden Gutachten und Stellungnahmen werden 2016 in eine öffentliche Anhörung (Vernehmlassung) geschickt. Voraussichtlich Mitte 2017 wird der Bundesrat auf Grundlage aller Ergebnisse entscheiden, ob er dem Vorschlag der Nagra zustimmt.

Zur Vorbereitung der Vernehmlassung wurden die Verfasser vom Umweltbundesamt beauftragt, eine orientierende Fachstellungnahme zu den Standortvorschlägen der Nagra auszuarbeiten.

Diese orientierende Fachstellungnahme wird hiermit vorgelegt.

Folgende Unterlagen der Nagra zu den Standortvorschlägen wurden veröffentlicht:

- Hauptbericht: Technischer Bericht NTB 14-01, Sicherheitstechnischer Vergleich und Vorschlag der in Etappe 3 weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete (Textband und Anhang, insg. ca. 500 Seiten)
- Technischer Bericht NTB 14-02, Geologische Grundlagen (mit 8 Teilbänden (Dossiers) zu Themen wie geologische Langzeitentwicklung, Barriereneigenschaften der Wirt- und Rahmengesteine, Nutzungskonflikte usw., insb. ca. 1200 Seiten)
- Technischer Bericht NTB 14-03, Charakteristische Dosisintervalle und Unterlagen zu Bewertung der Barrierensysteme (ca. 350 Seiten)
- Arbeitsberichte der Nagra zu einem breiten Spektrum von Themen (insg. etwa 180 Grundlagen- und Referenzberichte)

Die orientierende Fachstellungnahme bezieht sich auftragsgemäß primär auf den Hauptbericht NTB 14-01. Die Berichte NTB 14-02 und NTB 14-03 wurden, soweit erforderlich, zur Vertiefung herangezogen. Eine vertiefende Auswertung der Arbeitsberichte war im Rahmen dieser Arbeiten nicht möglich und nicht vorgesehen; sie wurden in Einzelfällen punktuell herangezogen.

Das Hauptziel dieser Fachstellungnahme ist eine orientierende Bewertung der verschiedenen Schritte der Etappe 2. Von besonderem Interesse sind dabei die Dosisberechnungen mittels provisorischer Sicherheitsanalysen, sowie die qualitativen Bewertungen und der Vergleich der Standortgebiete.

Weiterhin wurde überprüft, ob die in früheren Arbeiten identifizierten noch offenen Fragen zu einer möglichen österreichischen Betroffenheit (insb. im Hinblick auf mögliche Freisetzungspfade an den ausgewählten Standorten Zürich Nordost und Jura Ost) in den neuen Unterlagen der Nagra ganz oder teilweise beantwortet werden, bzw. welche Lücken ggf. noch verbleiben.

Schließlich wurde der Frage nachgegangen, welche Themen im weiteren Verlauf des Sachplanverfahrens – auch unabhängig von einer österreichischen Betroffenheit – von

grundsätzlichem Interesse sein könnten und weitere kritische Begleitung erfordern würden. In diesem Zusammenhang wurde vor allem die Langzeitentwicklung in den Standortregionen diskutiert.

Die Fachstellungnahme legt, insb. im Zusammenhang mit der qualitativen Bewertung und dem Vergleich von Standortgebieten, besonderes Augenmerk auf die HAA-Standorte. Die hochaktiven Abfälle beinhalten den Löwenanteil des radioaktiven Inventars; der Nachweis der Langzeit-Sicherheit ist für HAA besonders schwierig, da ein Zeitraum von 1 Million Jahren betrachtet werden muss (gegenüber 100.000 Jahren bei SMA). Auch die SMA-Standorte werden jedoch betrachtet; die meisten grundsätzlichen Aussagen sind für beide Abfallkategorien gültig.

2 Bewertung der Methodik

2.0 Überblick über Etappe 2

In Etappe 1 des SGT hatte die Nagra systematisch die gesamte Schweiz auf mögliche Standortgebiete für Tiefenlager hin untersucht. Das Vorgehen war kriterienbasiert, wobei die Sicherheit entscheidenden Einfluss hatte. Eine im Auftrag des Umweltbundesamtes von HIRSCH & KREUSCH [2010] vorgenommene Prüfung der von der Nagra vorgelegten Unterlagen und sonstigen Gutachten bzw. Stellungnahmen (ENSI, KNE, KNS, BFE) zu Etappe 1 ergab, dass trotz einzelner kritischer Aspekte ein insgesamt plausibles und nachvollziehbares Ergebnis zu den vorgeschlagenen HAA- und SMA-Standortgebieten und den zugehörigen Wirtgesteinen erbracht wurde.

In November 2011 wurde vom Schweizer Bundesrat entschieden, sechs Standortgebiete in das weitere Verfahren aufzunehmen und zu Etappe 2 fortzuschreiten.

In Etappe 2 werden die aus Etappe 1 übernommenen Standortgebiete von der Nagra einer vergleichenden Bewertung unterzogen. Hauptaufgabe der Etappe 2 ist die Identifizierung von Standortgebieten, die

- das gestellte quantitative Dosis-Schutzkriterium erfüllen und somit sicherheitstechnisch geeignet sind und
- keine qualitativen sicherheitstechnischen Nachteile gegenüber anderen Standortgebieten aufweisen.

Dazu gehören im Wesentlichen quantitative Sicherheitsanalysen mit Dosisberechnungen für alle Standortgebiete sowie eine qualitative Bewertung der Standortgebiete mittels Kriterien und Indikatoren, die qualitative Bewertung der Wirtsgesteine und Lagerperimeter sowie eine abschließende vergleichende Gesamtbewertung der Standortgebiete. Die entsprechenden behördlichen Vorgaben sind von ENSI [2010, 2013] und SGT [BFE 2008] formuliert worden.

Ziel von Etappe 2 ist die Festlegung auf zwei Standortgebiete für SMA und zwei Standortgebiete für HAA. Wenn zwei Standortgebiete identifiziert werden können, die sowohl für das SMA- als auch das HAA-Lager geeignet sind, können beide Lagertypen auch als Kombilager angelegt werden.

Etappe 2 besteht nach NAGRA [2015] aus 5 Schritten:

- Schritt 1: Anpassung der Methodik des sicherheitstechnischen Vergleichs aus Etappe 1 an die veränderten Rahmenbedingungen,

- Schritt 2: Festlegung prioritäres Wirtsgestein (für SMA-Standortgebiete mit mehr als einem Wirtsgestein),
- Schritt 3: Abgrenzung optimierter Lagerperimeter,
- Schritt 4: Prüfung der sicherheitstechnischen Eignung der Standortgebiete bzw. Lagerperimeter, (a) durch Dosisberechnungen und (b) durch qualitative Bewertung
- Schritt 5: Sicherheitstechnischer Vergleich und vergleichende Gesamtbewertung.

Im Folgenden wird auf wesentliche Aspekte dieser Schritte kurz eingegangen. Dabei werden die Dosisberechnungen (provisorische Sicherheitsanalysen) in einem eigenen Kapitel behandelt (siehe Kap. 2.4); der zweite Teil von Schritt 4 (qualitative Bewertung) wird aufgrund der engen thematischen Verknüpfung gemeinsam mit Schritt 5 erörtert (siehe Kap. 2.5).

2.1 Schritt 1: Methodik des sicherheitstechnischen Vergleichs

2.1.1 Vorgehensweise der Nagra

Die Vorgaben des SGT [BFE 2008] und die Anforderungen des ENSI [2010, 2013] stellen für die Nagra den Handlungs- und Bewertungsrahmen dar. Laut ENSI [2013] sind folgende Merkmale bei der Auswahl von Standortgebieten entscheidungsrelevant:

- Wirksamkeit der geologischen Barriere (vor allem Einhaltung des Dosis-Schutzkriteriums von 0,1 mSv/a),
- Langzeitstabilität der geologischen Barriere,
- Explorier- und Charakterisierbarkeit der geologischen Barriere im Standortgebiet,
- Bautechnische Machbarkeit eines Tiefenlagers unter Berücksichtigung der vorgeschlagenen Standortareale.

Diese Merkmale werden mittels vier Kriteriengruppen sowie zugeordneter Einzelkriterien und Indikatoren der qualitativen Bewertung zugänglich gemacht. Zusätzlich wurden von ENSI [2013] weitere Anforderungen und ein standardisiertes Vorgehen festgelegt, anhand derer die Rückstellung oder das Ausscheiden von Standortgebieten über die Beantwortung folgender Fragen ermittelt werden kann:

- Erfüllt das Standortgebiet das Dosis-Schutzkriterium von 0,1 mSv/a und ist es aufgrund der mittels provisorischer Sicherheitsanalysen ermittelten Dosisberechnungen

sicherheitstechnisch geeignet (ermittelte Dosisintervalle liegen unterhalb des Optimierungszieles von 0,01 mSv/a)?

- Ist die Gesamtbewertungen des Standortgebietes schlechter als „geeignet“?
- Können bei Standortgebieten anhand der Kriterien zur Sicherheit und technischen Machbarkeit eindeutige Nachteile gegenüber anderen Standortgebieten festgestellt werden?

Der Vergleich der Standortgebiete umfasst zudem weitere Bewertungen, die zum Teil eng an die oben skizzierte Vorgehensweise angelehnt sind. Dazu gehören die Bewertung und Auswahl prioritärer Wirtsgesteine, die Abgrenzung und Bewertung der Lagerperimeter, die Ermittlung von Ungewissheiten, Robustheiten sowie die sicherheitstechnische Optimierung.

2.1.2 Diskussion und Bewertung

Die Diskussion und Bewertung der methodischen Vorgaben zur Auswahl der Standortgebiete erübrigt sich an dieser Stelle. Die Nagra hat sich im Prinzip die Vorgaben und Anforderungen von BFE und ENSI zu Eigen gemacht und folgt ihnen bei ihren Untersuchungen und Bewertungen [NTB 14-01, 2.1.2].

Es sei hier auf die Kapitel 2.4 und 2.5 hingewiesen; dort wird näher auf die Schlüsselemente der angewandten Methoden eingegangen (provisorische Sicherheitsanalyse und qualitative Bewertung der Standortregionen).

2.2 Schritt 2: Festlegung des prioritären Wirtsgesteins durch die NAGRA

2.2.1 Vorgehensweise der Nagra

Ziel ist hierbei, in jedem Standortgebiet das Wirtsgestein zu ermitteln, das im Vergleich mit anderen Wirtsgesteinen eine optimale (beste) Barrierenwirkung besitzt und keine eindeutigen Nachteile aufweist. Die Ermittlung des prioritären Wirtsgesteins ist nicht für HAA-Lager bzw. Standortgebiete notwendig, da der Opalinuston bereits in Etappe 1 als einziges Wirtsgestein mit nachvollziehbarer Begründung festgelegt wurde [s. dazu HIRSCH & KREUSCH 2010]. Es müssen in Schritt 2 der Etappe 2 also nur die möglichen Wirtsgesteine in den SMA-Standortgebieten (Tongesteinsabfolge „Brauner Dogger“ bei den Standortgebieten Zürich Nordost und Nördlich Lägern, Effinger Schichten beim Standortgebiet Jura-Südfuss, Mergelformation des Helvetikums am Standortgebiet Wellenberg, Tongestein des Opalinuston bei allen SMA-Standorten mit Ausnahme des Wellenbergs) einem sicherheitstechnischen Vergleich unterworfen werden.

Dazu dient der Nagra [NTB 14-01, 3.] zum einen die quantitative provisorische Sicherheitsanalyse, die mittels Dosisberechnungen zeigt, ob ein Wirtgestein sicherheitstechnisch geeignet ist. Anschließend folgt eine qualitative Bewertung der Wirtgesteine mittels Kriterien bzw. Indikatoren. Dabei wird geprüft, ob die verbleibenden Wirtgesteine mindestens eine Bewertung von „geeignet“ aufweisen. Ist dies der Fall, werden abschließend in einer weiteren vergleichenden qualitativen Bewertung entscheidungsrelevanter Kriterien bzw. Indikatoren eindeutige Nachteile der Wirtgesteine identifiziert. Hieraus ergibt sich dann die Priorisierung eines Wirtgesteines.

Im Ergebnis haben die Prüfungen der Nagra ergeben, dass bei allen SMA-Lagerstandorten (mit Ausnahme des Standortgebietes Wellenberg) der Opalinuston das prioritäre Wirtgestein ist [NTB 14-01, 3.]. Alle betrachteten Wirtgesteine erfüllen das Dosis-Schutzkriterium und sind bezüglich der Dosisberechnungen als gleichwertig anzusehen. Bei der qualitativen Gesamtbewertung wird der Opalinuston als „sehr geeignet“ bewertet, die anderen Wirtgesteine als „geeignet“.

2.2.2 Diskussion und Bewertung

Die Vorgehensweise der Nagra orientiert sich an den Vorgaben des Sachplans [BFE 2008] und des ENSI [2013, 2010]. Insofern werden die formalen behördlichen Anforderungen von der Nagra erfüllt. Die qualitative Bewertung der Wirtgesteine, speziell des Opalinustones, durch die Nagra ist nachvollziehbar; die Vorteile des Opalinustons gegenüber den anderen Wirtgesteinen, die sich bereits bei der Auswahl von Opalinuston für HAA-Lagerstandorte gezeigt hat, sind offensichtlich.

Fraglich ist, inwieweit die von Nagra durchgeführten Dosisberechnungen der vorläufigen Sicherheitsanalyse zu den einzelnen Wirtgesteinen tatsächlich aussagekräftig bzw. belastbar sind, in Richtung ihrer generellen sicherheitstechnischen Eignung und ihrer sicherheitstechnischen Gleichwertigkeit. Dazu wird eine übergreifende Betrachtung in Kapitel 2.4 angestellt.

2.3 Schritt 3: Abgrenzung der untertägigen Lagerperimeter

2.3.1 Vorgehensweise der Nagra

Die Abgrenzung der optimierten untertägigen Lagerperimeter sowie verschiedener alternativer Lagerperimeter für die in Etappe 1 SGT festgelegten Standortgebiete stellt den dritten Schritt der Etappe 2 SGT dar.

Im Rahmen dieses Schrittes wird insb. auch das untertägige Platzangebot (Fläche) in den Standortgebieten ermittelt. Bei der Einengung der HAA-Standortgebiete nach der Methodik der Nagra stellte sich das Platzangebot als entscheidender Indikator heraus. (Teilweise gilt dies auch für

die SMA-Standortgebiete.) Daher liegt in diesem Abschnitt auf dem Platzangebot (sowie dem Platzbedarf, an dem es gemessen wird) besonderes Augenmerk.

Die Abgrenzung der Lagerperimeter in den Standortgebieten erfolgt in zwei Teilschritten. Im ersten Teilschritt werden die Mindestanforderungen und verschärften Anforderungen gemäß Etappe 1 angelegt, um Perimeter abzugrenzen. Falls das Platzangebot es zulässt, wird anschließend im zweiten Teilschritt eine Optimierung durchgeführt. Die Anforderungen dabei gehen über die Anforderungen in Etappe 1 hinaus. Sie betreffen insb. die Tiefenlage (im Hinblick auf Erosion, Gesteins-Dekompaktion und bautechnische Machbarkeit), sowie die zu meidenden tektonischen Zonen. Hauptergebnis ist die Abgrenzung eines „maßgebenden Lagerperimeter für die Einengung“. Daneben werden auch alternative Lagerperimeter abgegrenzt, die zur Untersuchung der Sensitivität und Robustheit verwendet und bei Bedarf punktuell bei der Entscheidungsfindung berücksichtigt werden. Dabei werden u.a. die Anforderungen betreffend die Tiefenlage variiert; weiterhin werden, um Ungewissheiten Rechnung zu tragen, auch alternative Annahmen zur Tiefenlage angesetzt [NTB 14-01, 2.3.3].

Anhand der optimierten Lagerperimeter wird das Platzangebot (d. h. die für das Tiefenlager verfügbare Fläche) an den verschiedenen Standorten für den maßgebenden Perimeter sowie für alternative Perimeter ermittelt [NTB 14-01, 4.2.5].

Das Platzangebot wird mit dem Platzbedarf (ebenfalls als Fläche ausgedrückt) verglichen. Der Platzbedarf wird zum einen von der Menge der in Endlagerbehältern verpackten Abfälle bestimmt. In Übereinstimmung mit Etappe 1 setzt Nagra hier ein „umhüllendes Inventar“ an. Weiterhin hängt der Platzbedarf aber auch von den Verhältnissen am jeweiligen Standort ab: Wichtig sind insb. die räumlichen Verhältnisse innerhalb der Lagerperimeter (Mächtigkeit von Wirtgestein und Rahmengestein, Welligkeit, Neigung), Lage und Anzahl von Störungszonen sowie die geotechnischen Bedingungen (in-situ Spannungen, Tiefenlage, Gebirgseigenschaften). Die jeweils angemessene Geometrie der Lagerkammern (Querschnitt, Länge) und deren Platzierung hängt von diesen Eigenschaften ab [NAB 14-99, 1.2 u. 3.1].

Für die drei HAA-Standortgebiete ergibt sich für Platzbedarf und Platzangebot folgendes Bild [NTB 14-01, 4.2.2 u. 4.2.5]:

	Platzbedarf	Platzangebot
Zürich Nordost	6 km ²	7,3 (5,0 – 8,8) km ²
Nördlich Lägern	8 – 12 km ²	4,2 (0,6 – 10,6) km ²
Jura Ost	6 – 9 km ²	15 (2,1 – 16,3) km ²

Beim Platzangebot entspricht die erste Zahl dem maßgebenden Lagerperimeter. Die Zahlen in Klammern geben den Bereich wieder, der von den betrachteten alternativen Lagerperimetern abgedeckt wird.

2.3.2 Diskussion und Bewertung

Die Ausführungen der Nagra zu den HAA-Standortgebieten machen deutlich, dass beim Platzangebot sehr große Spannbreiten bestehen, insbesondere bei den Standortgebieten Nördlich Lägern und Jura Ost. Bei diesen beiden Standortgebieten bestehen auch erhebliche Spannbreiten beim Platzbedarf. (Auch bei den SMA-Lagerperimetern ergibt sich das Bild, dass die Spannbreiten bei allen Standortgebieten erheblich sind, und am geringsten bei Zürich Nordost.)

In diesem Zusammenhang ist von Interesse, dass im Rahmen von Etappe 1 ein geringerer Platzbedarf ermittelt worden war: Für HAA lag dieser pauschal (ohne Differenzierung nach Standortgebieten) bei 4 – 6 km². Die kleinere Zahl steht für den Platzbedarf bei einer optimalen Situation; die zweite Zahl für den Platzbedarf unter eher ungünstigen Bedingungen [NTB 08-03, 2.4].

Die Anforderungen zum Platzbedarf wurden in Etappe 2 spezifisch für die Standortgebiete ermittelt; zwischen den Standortgebieten bestehen deutliche Unterschiede, insgesamt sind die Anforderungen gegenüber Etappe 1 gestiegen. Lt. Nagra ist dies darin begründet, dass Störungen durch kleinräumige Strukturen sich im Verlauf von Etappe 2 als problematischer herausgestellt haben, als ursprünglich angenommen [TFS 2015a].

Die erheblichen Ungewissheiten bei Platzangebot und Platzbedarf der Standortgebiete Nördlich Lägern und Jura Ost sowie die deutlichen Veränderungen der Abschätzungen des Platzbedarfs von 2008 auf 2014 bei diesen Standortgebieten können als Indikator dafür gewertet werden, dass die Aussagen zu diesem Thema zurzeit lediglich vorläufigen, orientierenden Charakter haben und der Erkenntnisprozess noch im Fluss ist. Dies gilt weniger für das Standortgebiet Zürich Nordost, für das es im Gegensatz zu den anderen Standortgebieten bereits abdeckende Daten aus 3D-Seismik gibt. In den anderen Gebieten liegt bisher lediglich ein enges Netz aus 2D-Seismik Linien vor [NAB 14-88, 1].

Im Zusammenhang mit der Ermittlung des Platzbedarfes stellt Nagra selbst fest, dass *„die in diesem Bericht verwendeten Konzepte (...) eine sehr starke Vereinfachung der komplexen Realität darstellen. Die gemachten Abschätzungen geben deshalb nur einen groben Anhaltspunkt.“* Sie sollen vor allem der Visualisierung dienen [NAB 14-99, 4].

Bei den HAA-Standortgebieten bestehen die größten Ungewissheiten und Bandbreiten bei dem Gebiet Nördlich Lägern. Für die Zurückstellung dieses Gebietes durch Nagra waren ausgeprägte Schwächen bei den Indikatoren „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ und „Platzangebot unter Tage“ ausschlaggebend. Besonders das als ungenügend eingeschätzte Platzangebot unter Tage wird von Nagra als sehr kritisch beurteilt [NTB 14-01, 5.2.1.2]. Ähnliche Überlegungen gelten für das SMA-Lager [NTB 14-01, 5.2.1.1].

Dabei stellen sich die Fragen, wie belastbar die für Nördlich Lägern vorliegenden Daten sind, insb. als Basis für eine Zurückstellung; und ob bei Vorliegen genauerer Informationen (wie sie bereits für das Standortgebiet Zürich Nordost verfügbar waren) ein anderes Bild resultieren könnte.

2.4 Schritt 4, erster Teil: Dosisberechnungen mittels provisorischer Sicherheitsanalysen

Die folgende Behandlung der Funktion der provisorischen Sicherheitsanalysen und die Bewertung der daraus abgeleiteter Aussagen zur Eignung und vergleichenden Bewertung von Standortgebieten, wie sie in NAGRA [NTB 14-03] detailliert dargestellt sind, ist nicht möglich ohne eine gleichzeitige Betrachtung der von ENSI [2010, 2013] formulierten Anforderungen an die provisorischen Sicherheitsanalysen.

Gleichzeitig ist es im Rahmen der hier erarbeiteten orientierenden Stellungnahme nicht möglich, die gesamten umfangreichen Unterlagen und Daten der Nagra, die im Zusammenhang mit der provisorischen Sicherheitsanalyse erarbeitet worden sind, im Detail zu prüfen. Deshalb muss sich die Prüfung auf grundlegende Aspekte bzw. Fragen zur Funktion und Aussagekraft der provisorischen Sicherheitsanalyse konzentrieren und beschränken.

2.4.1 Funktion der provisorischen Sicherheitsanalyse

Die provisorische Sicherheitsanalyse wird zur vergleichenden Bewertung und Auswahl von SMA- und HAA-Lager in Etappe 2 herangezogen, sie dient aber auch der Identifizierung prioritärer Wirtgesteinen für das SMA-Lager (s. dazu Kapitel 2.2). Dabei werden quantitative Bewertungen über die Berechnung von individuellen Strahlendosen (Dosisleistung) vorgenommen.

Derartige Sicherheitsanalysen bestehen im Kern aus der rechnerischen Modellierung des Radionuklidtransportes mit (Grund-)Wasser und/oder Gas vom Ort der Einlagerung der Radionuklide im Tiefenlager bis in die Biosphäre, d.h. zum Menschen hin. In den zugehörigen mathematischen Gleichungen sind die wesentlichen Größen enthalten, die Einfluss auf den Transport der Radionuklide haben (z.B. Eigenschaften der Radionuklide wie ihre Halbwertszeiten und ihr Sorptionsverhalten; Gebirgsdurchlässigkeiten; hydraulische Verhältnisse; Diffusionsprozesse etc.). Diese vielen Einflussgrößen müssen möglichst mit standortspezifischen Werten belegt werden, damit die Modellrechnungen zu einem möglichst realitätsnahen Ergebnis führen.

Zusätzlich muss auch die Umsetzung der realen geologischen Verhältnisse in das Rechenmodell möglichst realitätsnah geschehen. Dabei kommt es darauf an, die geologischen Schichten (z.B. Wirtgestein, Wasserleiter) sowie die tektonischen Verhältnisse (z.B. Störungszonen) im Bereich des Tiefenlagers halbwegs genau im Rechenmodell abzubilden.

Das Ergebnis der Modellrechnungen besteht dann üblicherweise in der zeitabhängigen Konzentration der verschiedenen Radionuklide in der Biosphäre. Daraus kann mit Hilfe eines radioökologischen Modells die potenzielle Strahlenbelastung zukünftig lebender Menschen errechnet werden.

Die Ergebnisse solcher Modellrechnungen sind natürlich an verschiedenen Stellen angreifbar (z.B. bezüglich der Repräsentativität der Parameter und der Umsetzung der Realität in das Modell).

Deshalb ist es notwendig, mit ihren Ergebnissen vorsichtig umzugehen und die Höhe der Ungewissheiten abzuschätzen. Andererseits steht keine andere Methode zur Verfügung, um quantitative Aussagen über die radiologische Belastung der Menschen in ferner Zukunft abzuschätzen.

Zusätzlich zu den provisorischen Sicherheitsanalysen wird eine qualitative Bewertung von Standorten und Wirtsgesteinen durchgeführt. Dies geschieht über verschiedene Kriterien bzw. Indikatoren, die überwiegend einen direkten Bezug zur (Langzeit-)Sicherheit besitzen (vgl. Kapitel 2.5). Quantitative und qualitative Bewertungen werden zur sicherheitstechnischen Gesamtbewertung der Standortregionen zusammengeführt, und letztlich werden SMA- und HAA-Standortregionen für Etappe 3 ausgewählt.

Die Funktion der provisorischen Sicherheitsanalyse besteht im Kern darin festzustellen, „... *ob die berechneten Dosen unterhalb des Dosis-Schutzkriteriums der Richtlinie ENSI-G03 liegen.*“ [ENSI 2010]. Es müssen also die möglichen Freisetzungen von Radionukliden aus dem Tiefenlager in die Umwelt für alle betrachteten Standortgebiete quantitativ bestimmt werden. Dabei gilt, dass alle Standortgebiete, bei denen die oberen Ränder der ermittelten Dosisintervalle (siehe dazu Kapitel 2.4.2.3) über dem Dosis-Schutzkriterium von 0,1 mSv/a [ENSI 2009] liegen, aus dem weiteren Verfahren ausgeschlossen werden. Standortgebiete, bei denen die oberen Ränder der ermittelten Dosisintervalle über der Schwelle zur Optimierung gemäß Schweizer Strahlenschutzverordnung (0,01 mSv/a) liegen, und deren Dosisintervalle nicht mit dem niedrigsten Dosisintervall überlappen, werden zurückgestellt. Die nach Ausschluss und Rückstellung verbleibenden Standortgebiete werden dann der qualitativen Bewertung unterzogen (siehe Kapitel 2.5).

Bei der quantitativen Bewertung der einzelnen Standortgebiete mittels der vorläufigen Sicherheitsanalyse stellt der sogenannte Referenzfall den Ausgangspunkt dar. Er entspricht gemäß den Anforderungen des ENSI [2010] der „... *realistischerweise zu erwartende(n) Entwicklung des Tiefenlagers...*“. Hinzu treten – ausgehend von Referenzfall – zusätzlich fünf (bei SMA) bzw. sieben (bei HAA) verschiedene von ENSI [2010] vorgegebene Szenarien, die bei den Freisetzungsberechnungen von der Nagra ebenfalls zu berücksichtigen sind (sogenanntes standardisiertes Parametervariationsverfahren, siehe Kapitel 2.4.2.3). (Für das HAA-Lager müssen wegen der erhöhten Radiotoxizität der Abfälle zwei Varianten mehr gerechnet werden.)

Nagra kommt zu dem Ergebnis, dass die Dosisintervalle für sämtliche Standortgebiete unter der Optimierungsschwelle von 0,01 mSv/a liegen. Damit werden alle Standortgebiete als sicherheitstechnisch geeignet betrachtet; kein Standortgebiet wird aufgrund der Ergebnisse der provisorischen Sicherheitsanalysen zurückgestellt oder ausgeschlossen.

Die Rechnungen mit den Parametervariationen sollen laut ENSI [2010] auch dazu dienen, Aussagen zur Robustheit des Tiefenlagersystems zu gewinnen und den Einfluss von Ungewissheiten bei Parametern und Prozessen auf die errechneten Dosisleistungen abzuschätzen. Darüber hinaus sollen Hinweise zu notwendigen weiteren Untersuchungen in Etappe 3 ermittelt werden, damit eine

ausreichende Datengrundlage für ein Rahmenbewilligungsgesuch erreicht wird. Eine detaillierte Darstellung der Vorgehensweise und Umsetzung ist einem Bericht der Nagra [NTB 14-03] zu entnehmen.

Inwieweit die Vorgaben von ENSI [2010, 2013] an die provisorische Sicherheitsanalyse und deren Umsetzung durch die Nagra problematische Aspekte bzw. Unklarheiten aufwerfen, wird in den folgenden Unterkapiteln in Form von Fragen behandelt. Die übliche Aufgliederung der Kapitel in „Vorgehensweise der Nagra“ sowie „Diskussion und Bewertung“ wird hier nicht als zielführend gesehen, weil einerseits der Detaillierungsgrad der Darstellung bei Nagra sehr hoch ist und andererseits die Verknüpfung zwischen ENSI einerseits (formuliert Anforderungen) und Nagra als ausführendem Organ (erfüllt Anforderungen) berücksichtigt werden muss.

2.4.2 Bewertungsansatz mittels der provisorischen Sicherheitsanalyse

Betrachtet man die Anforderungen an die provisorische Sicherheitsanalyse in Etappe 2, wie sie vor allem von ENSI [2010] formuliert werden, dann tauchen selbst bei nur cursorischer Durchsicht und Bewertung einschlägiger Unterlagen der Nagra [NTB 14-01, NTB 14-02, NTB 14-03] verschiedene Fragen bzw. Unklarheiten auf. Sie beziehen sich auf grundlegende Anforderungen an provisorische Sicherheitsanalysen in Standortauswahlverfahren für geologische Tiefenlager sowie ihre Aussagekraft und ihre Funktion.

Es stellen sich insbesondere vier Fragen.

2.4.2.1 *Frage 1: Inwieweit bzw. wodurch wird gewährleistet, dass die von Nagra ermittelten Dosiswerte realistisch bzw. realitätsnah sind?*

Die für die einzelnen Standortgebiete von NAGRA (TB 14-03) ermittelten maximalen Dosiswerte bzw. Dosisintervalle (die Bewertungsgrößen) werden anhand eines vorgegebenen gesetzlichen Dosis-Grenzwertes bewertet. Er entspricht in der Schweiz einem eindeutig festgelegten Zahlenwert von 0,1 mSv/a (der Bewertungsmaßstab).

Anmerkungen und Diskussion

Der Vergleich der Bewertungsgrößen mit dem Bewertungsmaßstab erfordert zwingend die Ermittlung realistischer (zumindest realitätsnaher) Dosiswerte für die Standortgebiete. Ist die Realitätsnähe der errechneten Dosiswerte nicht gegeben oder zumindest zweifelhaft, führt dies dazu, dass das Bewertungssystem aus Bewertungsmaßstab (Dosis-Grenzwert) und Bewertungsgröße (errechneter Dosiswert) nicht sinnvoll angewendet werden kann.

Ein abschließender und als ausreichend angesehener standortspezifischer Kenntnisstand der für die Modellrechnungen erforderlichen Parameter, Prozesse usw. liegt zurzeit noch nicht vor – daraus

resultiert der Begriff der provisorischen Sicherheitsanalyse. Man steht also vor dem Problem, eine provisorische Sicherheitsanalyse, die als verfahrensbeeinflussendes Instrument eingesetzt wird, zur sicherheitlichen Bewertung von Standorten durchführen zu wollen, während die dazu erforderliche standortspezifische Datenlage noch unvollständig ist. Diese Situation liegt in Etappe 2 zweifelsfrei vor.

Dieses Problems sind sich ENSI und Nagra bewusst. ENSI [2013] fordert, dass die Nagra bei der provisorischen Sicherheitsanalyse Informationen und Daten durch Kenntnisse aus dem geologischen Standortgebiet zu belegen hat. Ist dies nicht vollständig möglich, hat Nagra aufzuzeigen, dass die Übertragung von Informationen aus einem gleichen oder sicherheitstechnisch ähnlichen Wirtgestein an anderen Orten für die provisorische Sicherheitsanalyse belastbar ist. Nagra versucht, mittels umfangreicher Dokumentation zu den benutzten Daten die Anforderungen des ENSI zu erfüllen [NTB 14-02]. Inwieweit dies gelingt, wird im nächsten Abschnitt (Frage 2) behandelt.

Festzuhalten ist jedenfalls, dass die Nagra zur Erfüllung der Anforderungen des ENSI mittels provisorischer Sicherheitsanalysen realitätsnahe Dosiswerte ermitteln muss, für die umfassende standortspezifische Daten oder Daten von anderen Standorten, die nachweislich übertragen werden können, erforderlich sind.

2.4.2.2 Frage 2: Ist die Notwendigkeit einer angemessenen standortspezifischen Befundlage für die provisorische Sicherheitsanalyse ausreichend bedacht worden?

Eine wesentliche Voraussetzung zur Ermittlung realitätsnaher Dosiswerte ist eine qualitativ und quantitativ ausreichende (repräsentative) Befundlage über die realen standortspezifischen Verhältnisse der Standortregionen, speziell über Sachverhalte und Prozesse, die den Radionuklidtransport direkt oder indirekt beeinflussen.

Anmerkungen und Diskussion

Dieses Problem ist bekannt und wird von ENSI [2010, 2013] in Forderungen umgesetzt. Danach muss die geologische, hydrogeologische, tektonische (und andere Aspekte betreffende) Situation für jedes Standortgebiet „adäquat“ wiedergegeben werden. Adäquat bedeutet dabei, dass der Kenntnisstand ausreicht, damit Aussagen zur Langzeitsicherheit des Tiefenlagers belastbar sind [ENSI 2010].

Nach Angaben der Nagra [NTB 14-01, 3.1.1, NTB 14-02] stehen in Etappe 2 gegenüber Etappe 1 weitere Informationen zur Verfügung. Es sind dies im Wesentlichen Informationen aus Bohrungen Dritter (Tief- u. Flachbohrungen), vertiefte Analysen (einschließlich Laboruntersuchungen) sowie vor allem seismische Informationen (reprozessierte vorhandene 2D-Seismikprofile, neue 2D-Seismikprofile aus den Jahren 2011/12, regionale Seismik-Interpretation, 3D-Seismik Zürcher Weinland). Hinzu treten ergänzende Kartierungen und neuere Schweredaten. Nach Nagra [NTB 14-01, 3.1.1] erlauben es diese Informationen, für die Wirtgesteine Konzepte und zugehörige Datensätze abzuleiten, die Ungewissheiten in Konzepten und Parametern anzugeben sowie die Möglichkeiten der Reduktion der Ungewissheiten zu beurteilen. Nagra folgert daraus, dass der Kenntnisstand für

eine zuverlässige Bewertung der Wirtgesteine und der generellen (hydro-)geologischen Situation an den Standortgebieten gegeben ist. An diesen Aussagen sind Zweifel anzumelden.

Ein Beispiel soll dies verdeutlichen: In einem Bericht der Nagra [NTB 14-02, Dossier VIII, 2.2.1 u. 2.3] werden Eigenschaften des Opalinustons dargestellt. Er wird im Vergleich zu anderen mesozoischen Formationen der Nordschweiz als homogenes Sedimentpaket mit geringen lateralen Fazieswechseln beschrieben. Über seine Mächtigkeit betrachtet lässt sich der Opalinuston im Dekameter-Maßstab in mehrere Untereinheiten gliedern, und er weist eine gewisse lithologische Variabilität auf. Weiterhin heißt es, dass Einschaltungen mit geringeren Tonmineralgehalten von geringer Mächtigkeit sind und die Formation als Ganzes über ein hohes Selbstabdichtungsvermögen verfügt. Zusammengefasst führt dies zu der Aussage, dass sich nach heutigem Kenntnisstand über den Bereich der Standortgebiete keine ausreichenden Hinweise ergeben, um eine Unterscheidung des Opalinuston zwischen den Standortgebieten vornehmen zu können.

Diese Darstellung der Nagra vermittelt das Bild eines recht gleichförmig ausgebildeten Sedimentpaketes, das nach heutigem Kenntnistand bezüglich seiner Charakteristik in allen Standortgebieten gleich ist. Dies entspricht nicht den tatsächlichen Erkenntnissen, denn in einem anderen Teil des gleichen Berichtes [NTB 14-02, Dossier II, 3.3.2] werden beispielsweise deutliche lithologische Unterschiede im Opalinuston beschrieben (z.B. Sandsteinlagen der „coarsening-upward-Zyklen“, die sehr wohl hydraulisch wirksam sein können). Auf solche Unterschiede kommt es bei der Bewertung von Standortgebieten aber gerade an, denn selbst eine geringmächtige in Ton eingeschaltete Sand- oder Kalksteinlage kann bei entsprechenden Bedingungen (laterale Ausdehnung, Hydraulik) bedeutsam für die Ausbreitung von Radionukliden sein. (Ungeachtet dessen, dass ein hohes Selbstabdichtungsvermögen bei einem Wirtgestein Ton grundsätzlich vorausgesetzt werden muss, denn sonst bräuchte man kein Tiefenlager in Ton planen.)

Bedeutsam ist also für einen Standortvergleich nicht die allgemeine Aussage, wie gut beispielsweise das Wirtgestein ist. Es kommt vielmehr auf die standort- bzw. regionsspezifische Ausbildung dieses Wirtgesteins an. Darüber muss man konkrete Befunde erlangen, um weitergehende differenzierte Aussagen vornehmen zu können und sie letztlich in provisorische Sicherheitsanalysen einfließen zu lassen. Wenn dies nicht möglich ist, stellt sich die weitere Frage, wie denn die provisorische Sicherheitsanalyse halbwegs belastbare und differenzierende Ergebnisse für die einzelnen Standortregionen erzeugen soll.

Die erweiterte Informationsbasis für Etappe 2 verbessert sicherlich den allgemeinen Kenntnisstand über den Aufbau der Standortregionen, im Einzelnen auch die Kenntnisse über das Wirt- und die Rahmengesteine. Auffällig ist, dass viele der neu benutzten Informationen jedoch indirekter Art sind, d.h. sie müssen interpretiert und wie die seismischen Profile an reale Befunde (z.B. Tiefbohrungen) angeschlossen werden. Standortspezifische „Primärbefunde“ (z.B. Mächtigkeitsangaben des Opalinustons und der Rahmengesteine) aus den Standortgebieten sind in den einschlägigen Nagra-Berichten eher selten anzutreffen, und sie beziehen sich auf bekannte Lokalitäten (z.B. Felslabor Mont Terri, Bohrung Benken im Standortgebiet Zürich-NO) und weniger auf die überwiegende Mehrzahl der zu vergleichenden Standortregionen.

Die fehlenden standortspezifischen Befunde müssen für die provisorischen Sicherheitsanalysen durch Annahmen, Analogieschlüsse und Erfahrungswissen ersetzt werden. Ob dies jedoch ausreicht, die für jedes Standortgebiet erforderlichen Befunde zu ersetzen, muss angezweifelt werden. Ob beispielsweise Daten vom Felslabor Mont Terri bei den Modellrechnungen einfach auf die Standortregionen übertragen werden können, ist nicht so eindeutig klar; denn von vielen Standortregionen liegen keine entsprechenden standortspezifischen Kenntnisse vor, um einen Vergleich vornehmen zu können. Wenn mit Analogieschlüssen gearbeitet wird, sollten zumindest die damit zusammenhängenden Ungewissheiten abgeschätzt werden.

ENSI [2013] fordert, dass die Nagra die in der provisorischen Sicherheitsanalyse verwendeten Informationen und Daten durch Kenntnisse aus dem Standortgebieten zu belegen hat. Wenn dies nicht vollständig möglich ist, hat Nagra zu zeigen, dass Übertragungen von Informationen zu einem gleichen oder ähnlichen Wirtgestein an anderen Orten für die provisorische Sicherheitsanalyse belastbar sind. Dieser Forderung ist zuzustimmen, aber sie greift zu kurz. Es geht nicht nur um Informationen zum Wirtgestein, sondern zu allen Daten und Prozessen, die mit der Mobilisierung und Ausbreitung von Radionukliden über den Wasser- und Gaspfad zusammenhängen. Letztlich kann das weitgehende Fehlen realer standortspezifischer Daten, insbesondere zu Wirt- und Rahmengesteinen, bei der provisorischen Sicherheitsanalyse durch Annahmen, Analogieschlüsse usw. nicht ersetzt werden, wenn das Ergebnis der vorläufigen Sicherheitsanalyse mit „harten“ Dosis-Grenzwerten verglichen werden soll.

Der Hinweis der Nagra [NTB 14-01, Anhang D.], dass die wichtigsten standortspezifischen geologischen Informationen für Etappe 3 die Geometrie und die Qualität des Wirtgesteins und der Rahmengesteine betreffen, zeigt, dass der jetzige Kenntnisstand in Etappe 2 darüber noch unzureichend ist. Er soll nach Nagra für Etappe 3 durch geplante Explorationsarbeiten erweitert werden, so dass die Ungewissheiten, die im zentralen Bericht der Nagra [NTB 14-01] vorliegen, reduziert werden können. Darüber hinaus erwartet Nagra, dass bei sonstigen standortspezifischen Informationen, die bei Dosisberechnungen eine wichtige Rolle spielen (z.B. hydraulische Parameter), keine merkbare Reduktion der Ungewissheiten mehr erforderlich ist, da hierzu bereits realitätsnahe Daten verfügbar sind. Diese Erwartungshaltung der Nagra hat einen optimistischen Grundton, allein der Nachweis fehlt noch.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass nach Meinung der Verfasser die für die Durchführung provisorischer Sicherheitsanalysen mit dem Bewertungsanspruch des ENSI erforderlichen standortspezifischen Daten (bzw. nachweislich übertragbaren Daten von anderen Standorten) bisher nicht vorliegen. Die fehlenden Daten durch (konservative) Annahmen, Analogien usw. abzudecken, kann den Bewertungsanspruch wegen systemimmanenter erheblicher Ungewissheiten gleichfalls nicht erfüllen.

2.4.2.3 *Frage 3: Welche Bedeutung kommt der provisorischen Sicherheitsanalyse zu, welche Aussagekraft besitzen die verschiedenen Rechenfälle (standardisiertes Parametervariationsverfahren)?*

Die von ENSI [2010] formulierten und von Nagra [NTB 14-03] umgesetzten Anforderungen nach einem Referenzrechenfall und davon ausgehenden weiteren standardisierten Rechenfällen (standardisierte Parametervariationsverfahren) sollen es ermöglichen, einen nachvollziehbaren Vergleich der Standortgebiete anhand charakteristischer Dosisintervalle vorzunehmen. Der Referenzfall soll jeweils eine „realistische Situation“ wiedergeben und die maximale Personendosis im Referenzfall ergeben [ENSI 2010]. Mittels der standardisierten Parametervariationen sollen, da noch keine umfassenden standortspezifischen Datensätze vorliegen, mögliche relevante Freisetzungs- und Transportprozesse für Radionuklide abgedeckt werden. Dies geschieht zum Beispiel durch Annahme eines erhöhten Wasserflusses gegenüber dem Referenzfall, ungünstiger nuklidspezifischer Diffusionskoeffizienten usw. Mit Hilfe dieser Rechengänge soll dann die maximale Personendosis ermittelt werden. Die jeweiligen Maxima des Referenzfalles und der Parametervariationen ergeben das charakteristische Dosisintervall des Standortgebietes. Standorte, die unter dem Dosis-Schutzkriterium von 0,1 mSv/a liegen, werden als „sicherheitstechnisch geeignet“ eingestuft [ENSI 2010].

Anmerkungen und Diskussion

Die Aussage von ENSI [2010], dass Standortgebiete „sicherheitstechnisch geeignet“ seien, wenn ihr Dosisintervall unter dem Dosischutzkriterium von 0,1 mSv/a liegt, führt zu folgenden Überlegungen:

- Es bestehen begründete Zweifel daran, ob das Ergebnis der in Etappe 2 durchgeführten provisorischen Sicherheitsanalysen so tragfähig bzw. aussagesicher ist, dass man es sinnvoll mit einem Dosisgrenzwert vergleichen kann. Allein die Tatsache, dass konkrete standortspezifische sicherheitsrelevante Informationen (z.B. genaue Mächtigkeit des Opalinustons, Mächtigkeit und genaue Ausbildung der Rahmengesteine, hydrogeologische und hydraulische Verhältnisse, Transportpfade und -länge) bei weitem nicht in erforderlicher Vollständigkeit vorliegen, lässt die Realitätsnähe der erzeugten Rechenergebnisse höchstens rein zufällig erscheinen. Das Fehlen konkreter Daten kann auch nicht in allen Fällen durch Veränderungen von Parametern, konservative Annahmen, Analogiebetrachtungen (mittels Daten von anderen Standorten) oder Expertenmeinungen kompensiert werden, weil beispielsweise der Nachweis konservativer Annahmen zu Parametern oder Prozessen manchmal schwierig zu führen ist und Analogiebetrachtungen und Expertenmeinungen die bekannten Nachteile aufweisen (es ist unbekannt, ob Analogieschlüsse und ihre Übertragbarkeit zutreffen, Expertenmeinungen sind normativ; s. dazu Kapitel 2.4.2.4).
- Eine absolute Bewertung der Standortregionen mittels der durchgeführten provisorischen Sicherheitsanalysen ist nicht möglich, da die konkreten standortspezifischen Daten und Prozesse derzeit vielfach noch nicht (sicher) bekannt sind und somit die erforderliche Realitätsnähe der Ergebnisse der vorläufigen Sicherheitsanalyse nicht gegeben, zumindest aber nicht nachgewiesen ist. Ein Vergleich der ermittelten Dosisintervalle mit dem

Dosisgrenzwert von 0,1 mSv/a ist deshalb nicht sinnvoll. Gleiches gilt für den aus der Strahlenschutzverordnung abgeleiteten Wert von 0,01 mSv/a (Optimierungswert), unterhalb dem gemäß ENSI [2010, 5.2] alle Standorte als sicherheitstechnisch gleichwertig angesehen werden. Die Nagra nimmt die Anforderung des ENSI [2010] auf und schließt aus den Ergebnissen der von ihr durchgeführten vorläufigen Sicherheitsanalyse, dass alle Standortgebiete „sicherheitstechnisch geeignet“ sind [z.B. NAGRA 2015, S. 18]. Dieses Prädikat „sicherheitstechnisch geeignet“ kann für die öffentliche Debatte irreführend sein, denn es spricht von Eignung, ohne dass diese tatsächlich nachgewiesen worden ist. Besser wäre der Begriff „potenziell geeignet“ für ein Standortgebiet, das erwünschte Eigenschaften besitzt und bis jetzt noch keinen gravierenden Nachteil aufweist. Im Übrigen ist es auffallend, dass in Nagra [2015] der provisorischen Sicherheitsanalyse – im Gegensatz zu den Anforderungen von ENSI [2010, 2013] – offensichtlich kein großer Stellenwert zugeschrieben wird.

- Das für jedes Standortgebiet (oder auch Wirtgestein) erzeugte Dosisintervall kann deshalb keinen „absoluten Wert“ der Strahlenbelastung erzeugen. Vielmehr wird durch die Anwendung der Referenzfälle und der Parametervariationsverfahren lediglich eine vergleichende relative Bewertung der Standortgebiete anhand von Dosisberechnungen ermöglicht. Diese sagt aus, dass unter den jeweiligen Rechenvoraussetzungen Standortregionen relativ besser oder schlechter abschneiden als andere. Dies ist ja eine der Aufgaben, die die provisorische Sicherheitsanalyse nach ENSI [2010] zu erfüllen hat. Zur Lösung dieser Aufgabe benötigt man nicht zwingend Dosis-Grenzwerte oder Dosis-Schwellenwerte, sondern es genügt, die Ergebnisse der vorläufigen Sicherheitsanalysen direkt miteinander in Bezug zu setzen. Standorte mit geringeren errechneten Individualdosen sind dann besser zu bewerten als solche mit höheren Individualdosen (oder auch Dosisintervallen). Einen Dosis-Grenzwert als Maßstab für sicherheitsmäßige Eignung anzulegen, ist nur dann möglich, wenn die erforderlichen standortspezifischen Daten vorliegen.

Der Referenzfall und die Fälle des standardisierten Parametervariationsverfahren beruhen auf einem Modellkonzept, das nach Nagra [NTB 14-03, 4.3] die aufgrund der Erfahrungsbasis plausibelste Situation abbildet. Nagra betont darin ausdrücklich, „... dass der Referenzfall aufgrund der zahlreichen Vereinfachungen und Abstraktionen bei und im Vorfeld der Dosisberechnungen, sowie angesichts der vorhandenen Ungewissheiten v.a. bzgl. der geologischen Langzeitentwicklung nicht als zu erwartende Entwicklung im Sinne einer Prognose interpretiert werden kann. Vielmehr wird durch den Referenzfall eine typische, mittlere Entwicklung aufgezeigt.“ Inwieweit diese Aussage der Nagra mit der Anforderung des ENSI [2010, 5.2], dass der Referenzfall „gemäß Stand von Wissenschaft und Technik eine realistische Situation“ wiedergibt, übereinstimmt, bleibt unklar. Wenn der Referenzfall einer „realistische Situation“ entsprechen soll, dann stellt sich die Frage, wie dies „aufgrund der zahlreichen Vereinfachungen und Abstraktionen“ und „Ungewissheiten v.a. bzgl. der geologischen Langzeitentwicklung“ [NTB 14-03] erfüllt werden soll.

- Die von ENSI [2010] geforderten und von Nagra [NTB 14-01, NTB 14-03] umgesetzten Freisetzungsberechnungen erlauben mit den verfügbaren Daten (v.a. Tiefbohrungen, Seismik) eine erste vergleichende quantitative Abschätzung des Isolationsvermögens der Standortregionen. Durch die fünf (für SMA) bzw. sieben (für HAA) Parametervariationen für wesentliche transportbestimmende Größen, die für jeden Standortbereich durchgerechnet wurden, ist der Einfluss von Ungewissheiten bezüglich dieser Parameter grob abschätzbar, und es sind begrenzte Aussagen zur Robustheit möglich. Die Parametervariationen berücksichtigen allerdings keine Prozesse, und auch die angenommenen Konservativitäten und Analogien ersetzen keine standortspezifischen Befunde.
- Generell ist bereits im Rahmen dieser kursorischen Überprüfung festzustellen, dass Nagra einen erheblichen Aufwand betrieben hat [NTB 14-01, NTB 14-02, NTB 14-03, sonstige untermauernde Berichte der Nagra], um die Anforderungen des ENSI [2010] hinsichtlich der provisorischen Sicherheitsanalyse zu erfüllen. Dennoch verbleiben Fragen, so zum Beispiel bei der Bewertung der beiden SMA + HAA-Kombilager (Standorte Zürich NO und Jura O). Dort werden die ermittelten Dosiskurven aus den Modellrechnungen für das SMA-Lager und das HAA-Lager im jeweiligen Standortgebiet durch Addition gebildet und anschließend die Dosisintervalle abgeleitet [NTB 14-03, 4.3.1 u.6.3]. Ob dies den möglichen Problemen – insbesondere verstärkter Gasbildung mit Auswirkungen auf die Gas-Wasser-Migration der Radionuklide (Zwei-Phasen-Fluss) – gerecht wird, darf bezweifelt werden. Bei der Vorläufigen Sicherheitsanalyse Gorleben beispielsweise [GRS 2013] zeigte sich, dass es bei gemeinsamer Ablagerung von LAW und HAA zu erheblichen Gasbildungen kommen kann, die die Ausbreitung der Radionuklide deutlich verstärken können.

Im Ergebnis bleibt festzustellen, dass die provisorische Sicherheitsanalyse den Anspruch der absoluten Bewertung in dem Sinne, dass Dosis-Grenzwerte unterschritten werden und deshalb Standortregionen sicherheitstechnisch geeignet sind, nicht erfüllen kann. Es können lediglich relative Bewertungen der Standortregionen vorgenommen werden. Daran ändert auch das standardisierte Parameter variationsverfahren nichts, da die standortspezifischen Informationen und die verfügbaren Daten von anderen Standorten nicht ausreichen.

2.4.2.4 Frage 4: Inwieweit ist die provisorische Sicherheitsanalyse der Nagra nachvollziehbar bzw. transparent?

Die von der Nagra durchgeführten provisorische Sicherheitsanalyse wird in mehreren Berichten dargestellt [v.a. NTB 14-01, NTB 14-02, NTB 14-03, weitere unterlagernde spezielle Berichte], in denen jeder Schritt der Nagra detailliert dargelegt wird. Die kursorische Überprüfung von Vorgehensweise und Aussagen in den wichtigsten Berichten [NTB 14-01, NTB 14-02 u. NTB 14-03] zeigt, dass Nagra sich bemüht hat, ihre Vorgehensweise für mit der Materie vertrauten Personen nachvollziehbar und transparent zu gestalten. In den zitierten Nagra-Berichten werden immer wieder

Hinweise auf Annahmen, Ungewissheiten usw. gegeben, und relevante Prozesse und Parameter für Modellbildung und Dosisberechnung werden übersichtlich zusammengefasst in Text- und Tabellenform vorgestellt [v.a. in NTB 14-03, Tab. 3.3.-1, und Anhang A 2 Systemanalysen]. Insofern muss die Darstellung der provisorischen Sicherheitsanalysen der Nagra als im Prinzip nachvollziehbar und weitgehend transparent bewertet werden.

In den Berichten der Nagra ist häufig erkennbar, dass Annahmen, Expertenmeinungen, Analogien usw. an Stelle standortspezifischer Befunde und Prozesse herangezogen werden. Was nach Erachten der Verfasser dieser Stellungnahme jedoch fehlt, sind Auflistungen, in denen im Rahmen einer Zusammenschau klar dargelegt wird, an welchen Stellen der Sicherheitsanalyse dies der Fall ist und welche Auswirkungen auf das Ergebnis daraus resultieren können.

Gleiches gilt für die Abbildung der Realität in dem „Rechenmodell“ bzw. bei der Modellbildung. Auch hier wäre eine Zusammenstellung der Vereinfachungen, Abstraktionen und der daraus zu erwartenden Auswirkungen auf das Ergebnis der Sicherheitsanalyse hilfreich. So werden beispielsweise über Seiten hinweg Sorptionskoeffizienten für verschiedene Gesteinsarten dargestellt [NTB 14-03, Tab. 3.5-4a bis e]. Es gibt aber beispielsweise keine zusammenfassende Darstellung sämtlicher getroffener normativer Annahmen (Expertenabschätzungen), mit denen Kenntnislücken überbrückt werden, die einen Überblick ermöglichen würde. Notwendig ist zudem die Abschätzung der Auswirkungen normativer Annahmen auf das Ergebnis der provisorischen Sicherheitsanalyse.

2.4.2.5 Anmerkung zum methodischen Aspekt:

Die Forderung nach einer Darstellung getroffener normativer Annahmen und einer Abschätzung ihres Einflusses auf die Sicherheitsanalyse sind deshalb bedeutsam, weil bei jeder Sicherheitsanalyse eine „Verrechnung“ der bewertungsrelevanten Eigenschaften der potenziellen Standorte bzw. Tiefenlagersysteme stattfindet. Dies führt im Ergebnis zur integralen Bewertung sicherheitlich vorteilhafter und nachteiliger Eigenschaften im Sinne einer Kompensation, die an die Stelle der Bewertung der realen „materiellen“ Eigenschaften des Standortes tritt. Diese „Verrechnung“ und Kompensation bewertungsrelevanter Eigenschaften verschiedener Standorte kann außerdem zu übereinstimmenden oder ähnlichen Maßzahlen (z.B. Individualdosen) für die Sicherheit führen, obwohl dafür hinsichtlich ihrer realen Bedeutung für die Sicherheit unterschiedliche Faktoren verantwortlich sind.

Notwendig ist deshalb für eine sicherheitsgerichtete vergleichende Bewertung der Standortregionen die Herstellung des Zusammenhangs zwischen den Ergebnissen der provisorischen Sicherheitsanalysen und den konkreten sicherheitsrelevanten standortspezifischen Eigenschaften der Tiefenlagerstandorte. Diese Forderung ist in Etappe 2 insoweit erfüllt, als neben der provisorischen Sicherheitsanalyse auch eine sicherheitsorientierte kriterienbasierte Bewertung der Standortregionen stattfindet. Die Probleme liegen nach Ansicht der Verfasser vor allem in den kaum erfüllbaren Anforderungen an die provisorische Sicherheitsanalyse. Diese kann nur das leisten, was die Daten- und Erkenntnislage hergibt. Berücksichtigt man diese Einschränkung, kann die

provisorische Sicherheitsanalyse im späten Stadium einer Standortsuche durchaus wertvolle Vorteile bringen.

Festzustellen ist, dass die Nagra ein insgesamt gut gegliedertes und nachvollziehbares Berichtswesen zur provisorischen Sicherheitsanalyse vorgelegt hat. Es fehlt jedoch an einer übersichtlichen Darstellung aller Ungewissheiten und der normativen Einflüsse auf die durchgeführten Sicherheitsanalysen. Dieses ist notwendig, um die möglichen Auswirkungen von Ungewissheiten und normativer Einflüsse auf das Ergebnis abschätzen zu können.

2.5 Schritt 4, zweiter Teil, und Schritt 5: Qualitative Bewertung und Vergleich der Standortgebiete bzw. Lagerperimeter

Die Prüfung der sicherheitstechnischen Eignung der geologischen Standortgebiete durch eine qualitative Bewertung anhand der Kriterien zur Sicherheit und technischen Machbarkeit gemäß SGT stellt nach den provisorischen Sicherheitsanalysen den zweiten Teil des vierten Schrittes der Etappe 2 SGT dar.

Aufbauend auf der qualitativen Bewertung erfolgen der sicherheitstechnische Vergleich und die vergleichende Gesamtbewertung der Standortgebiete im fünften Schritt von Etappe 2.

2.5.1 Vorgehensweise der Nagra

Ausgangspunkt sind die geologischen Standortgebiete mit den dazugehörigen Lagerperimetern. Die Standortgebiete werden unter Anwendung der 4 Kriteriengruppen und 13 Kriterien gemäß SGT, sowie der jeweils zu den Kriterien gehörigen Indikatoren, charakterisiert und bewertet.

Die Kriteriengruppen lt. SGT sind

1. Eigenschaften des Wirtgesteins bzw. des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs
2. Langzeitstabilität
3. Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen
4. Bautechnische Eignung

Beispielsweise umfasst die Kriteriengruppe 3 die Kriterien 3.1 Charakterisierbarkeit der Gesteine, 3.2 Explorierbarkeit der räumlichen Verhältnisse und 3.3 Prognostizierbarkeit der Langzeitveränderungen. Zum Kriterium 3.3 gehören die Indikatoren „Modellvorstellungen zur Langzeitentwicklung“ und „Unabhängige Evidenzen der Langzeitisolation“. [NTB 14-01, 2.3.5]

Die qualitative Bewertung wird auf der Stufe der Indikatoren vorgenommen und dann schrittweise auf die Stufen der Kriterien, der Kriteriengruppen und der Gesamtbewertung aggregiert.

Fünf Indikatoren aus Etappe 1 wurden in Etappe 2 nicht mehr verwendet – drei davon waren nur für die Beschreibung der geologisch-tektonischen Großräume in Etappe 1 erforderlich; der Indikator „Vulkanismus“ ist für die in Etappe 1 ausgewählten Standortgebiete nicht relevant; und der Indikator „Kontinuität der interessierenden Schichten“ verliert in Etappe 2 an Bedeutung [NTB 14-01, 2.3.5].

Die Bewertungsskala für Indikatoren, Kriterien und Kriteriengruppen umfasst die bereits in Etappe 1 angewandten Bewertungsstufen ungünstig / bedingt günstig / günstig / sehr günstig. Die unterste Stufe in Etappe 1 (ungenügend) kommt in Etappe 2 nicht mehr zur Anwendung. Für die Gesamtbewertung wird die gleiche Skala verwendet; die Stufen werden jedoch als weniger geeignet / bedingt geeignet / geeignet / sehr geeignet bezeichnet.

Den einzelnen Stufen werden Zahlenwerte zugeordnet, wobei die Zuordnung dieser Zahlenwerte gegenüber Etappe 1 im oberen Bereich verändert wurde [NTB 14-01, 2.3.1]:

Bewertungsstufe	Wertebereich in Etappe 1	Wertebereich in Etappe 2
Sehr günstig	$3,5 \leq x \leq 4$	$4 \leq x \leq 5$
Günstig	$3 \leq x < 3,5$	$3 \leq x < 4$
Bedingt günstig	$2 \leq x < 3$	$2 \leq x < 3$
Ungünstig	$1 \leq x < 2$	$1 \leq x < 2$

Auch die zahlenmäßige Bewertung wird zunächst auf der Stufe der Indikatoren vorgenommen und dann schrittweise über Kriterien und Kriteriengruppen zur Gesamtbewertung aggregiert. Die Aggregation erfolgt jeweils über Mittelwertbildung.

Bei den Indikatoren werden je nach der Lage des Indikatorwertes innerhalb der entsprechenden Bewertungsstufe abgestufte Werte verwendet. Wenn beispielsweise der Indikator nur knapp die Stufe „günstig“ erreicht, wird der Wert 3,1 vergeben; liegt er an der oberen Grenze dieser Stufe, der Wert 3,9. In manchen Fällen wurde eine solche Abstufung allerdings von Nagra nicht durchgeführt, wenn die entsprechende Bewertungsstufe nur eine kleine Bandbreite aufwies (wie etwa auf der Skala des Indikators „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ die Stufe „günstig“ mit lediglich 100 m – siehe unten). In anderen Fällen wurde allerdings trotz geringer Bandbreite eine Abstufung angewandt [TFS 2015a].

Die Skalen, die für die einzelnen Indikatoren zur Einordnung in Bewertungsstufen verwendet werden, entsprechend weitgehend den in Etappe 1 verwendeten. Zu den Ausnahmen mit veränderten Bewertungsskalen gehören mehrere Indikatoren, die für die Bewertung der Wirtgesteine benötigt werden und daher für das HAA-Lager (für das in Etappe 2 nur das Wirtgestein Opalinuston in Frage kommt) nicht von Interesse sind. Weiterhin wurden vier Indikatoren modifiziert, die im sicherheitstechnischen Vergleich eine Schlüsselstellung innehaben:

- Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf Gesteins-Dekompaktion
- Tiefenlage unter lokaler Erosionsbasis im Hinblick auf die Bildung neuer Rinnen

- Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit
- Platzangebot untertags

Besonders stark hat sich die Skala des Indikators „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ von 2008 auf 2014 verändert:

	2008	2014
Sehr günstig	$x \leq 300$ m u. T.	$x \leq 600$ m u. T.
Günstig	$300 < x \leq 600$ m	$600 < x \leq 700$ m
Bedingt günstig	$600 < x \leq 900$ m	$700 < x \leq 800$ m
Ungünstig	--	800 m < x

[NTB 14-01, 4.4.1 & NTB 08-03, 2.5.5]

Diese Veränderung wurde von Nagra mit neuen Erkenntnissen zur Felsmechanik, insb. aus dem Felslabor Mont Terri, begründet. Die Schwierigkeiten im Tongestein, die sich aus Konvergenzen in tiefen Lagen ergäben, seien damit deutlicher geworden.

Weiterhin solle keine unnötig schlechte Bewertung von mäßigen Tiefenlagen entstehen. Insgesamt wurden dabei die Bandbreiten der Bewertungsskala deutlich verkleinert.

Im Hinblick auf die maximale Tiefenlage ergibt sich lt. Nagra eine Abwägung. Einerseits könnte zu geringe Tiefenlage zu Dekompaktion und Erosion führen; eine Wirkung, die, wenn überhaupt, in fernerer Zukunft eintreten würde. Andererseits wird beim Bau in zu großer Tiefe das geologische Barrierensystem geschädigt – die Auflockerungszonen rund im Grubenbauwerke nehmen erheblich zu. In größerer Tiefe müssten, um dies zu verhindern, Stützmittel eingesetzt werden, die aber ihrerseits die Barrieren negativ beeinflussen (Zement enthält Porenwasser mit hohem pH-Wert, das Bentonit schädigen kann; Stahl bildet bei Korrosion Gas.)

Der Beginn des kritischen Bereiches kann nicht exakt angegeben werden. Er ist grundsätzlich in jener Tiefe anzusetzen, in der sich das Gestein in größeren Zonen rund um das Bauwerk nicht mehr elastisch verhält. Eine Tiefe von 700 m kann als Richtwert angesehen werden; größere Tiefen können im Falle günstiger Gesteinseigenschaften möglich sein.

[TFS 2015b]

Bei der Auswahl der geologischen Standortgebiete in Etappe 2 müssen auch die bestehenden Variabilitäten und Ungewissheiten berücksichtigt werden. Dies betrifft u.a. die Geometrie der Wirtgesteine sowie die räumliche Variabilität von Gesteinseigenschaften. Insbesondere werden konzeptuelle Ungewissheiten mit potenziell ungünstiger Wirkung auf das Barrierensystem, die durch weitere Untersuchungen entscheidend verringert werden können, berücksichtigt. Dies geschieht dadurch, dass auch eine alternative Konzeptualisierung herangezogen wird, bei der angenommen

wird, dass sich die angenommenen ungünstigen Wirkungen nach weiteren Untersuchungen als gegenstandslos herausstellen. Mit diesem Vorgehen soll insb. sichergestellt werden, dass keine Standortgebiete zurückgestellt werden, die sich bei weiteren Untersuchungen als gleich oder besser geeignet herausstellen könnten als die weiter verfolgten Standortgebiete [NTB 14-01, 2.3.1].

Die verschiedenen betrachteten Konzeptualisierungen betreffen bei den HAA-Standortgebieten überwiegend alternative Lagerperimeter sowie Variationen der Tiefenlage des Wirtgesteins. Bei HAA-NL und HAA-JO wird ferner auch die Barrierenwirkung der Rahmengesteine variiert, bei HAA-JO die Bildung einer Durchbruchsrinne [NTB 14-01, Anhang C 3.1.2].

Von den eingangs aufgelisteten vier Fragen, die für das Zurückstellen von Standortgebieten in Etappe 2 maßgeblich sind, betreffen die Fragen 3 (ist die Gesamtbewertung schlechter als geeignet) und 4 (weist das Standortgebiet belastbare eindeutige Nachteile auf) die qualitative Bewertung.

Frage 3 ist für alle drei HAA-Standortgebiete zu verneinen. Sie weisen alle mindestens die Stufe „geeignet“ auf. In der Gesamtbewertung liegen sie außerdem sehr eng beisammen (NL bei 3,9, JO bei 4,0 und ZNO bei 4,1). Auch bei Betrachtung alternativer Lagerperimeter und Konzeptualisierungen variieren die Gesamtbewertungen kaum (keine Variationen bei ZNO und JO, Bandbreite 3,8 – 3,9 bei NL) [NTB 14-01, 4.4.45 & NTB 14-02, C 3.1.2].

Auch alle sechs SMA-Standortgebiete (die die HAA-Standortgebiete einschließen) weisen mindestens die Stufe „geeignet“ auf. In der Gesamtbewertung liegt das Standortgebiet Wellenberg deutlich ungünstiger (bei 3,4); die anderen fünf liegen im Bereich 3,9 bis 4,1 [NTB 14-01, 4.4.3.8].

Frage 4 erweist sich bei Nagra als entscheidend für die Zurückstellung eines der drei Standortgebiete. Für die Identifikation eindeutiger Nachteile werden von Nagra „entscheidrelevante Merkmale“, die weitgehend den vier Kriteriengruppen entsprechen, herangezogen, zu denen jeweils entscheidrelevante Indikatoren gehören. Letztere stellen eine Teilmenge der für die Bewertung herangezogenen Indikatoren dar, die von Nagra nach Vorgaben des ENSI ausgewählt wurde [NTB 14-01, 2.3.5 u. 2.3.6].

Für die entscheidrelevanten Indikatoren wurden die bereits im Rahmen der Bewertung der Standortgebiete ermittelten Werte eingesetzt. Bei den Merkmalen „Wirksamkeit der geologischen Barriere“ und „Explorier- und Charakterisierbarkeit der geologischen Barriere im Standortgebiet“ (Kriteriengruppen 1 und 3) werden die zugehörigen Indikatoren durch Mittelwertbildung aggregiert. Bei den Merkmalen „Langzeitstabilität der geologischen Barriere“ und „Bautechnische Machbarkeit“ (Kriteriengruppen 2 und 4) erfolgt die Aggregation durch Übernahme des Minimums der Bewertung der zugehörigen Indikatoren, da sich in diesen Fällen die Beiträge der Indikatoren nicht kompensieren können [NTB 14-01, 5.1].

Nagra legt folgende Kriterien für die Identifikation eindeutiger Nachteile an: Ist die Bewertung für ein entscheidrelevantes Merkmal oder einen zugehörigen Indikator um mindestens zwei Bewertungsstufen tiefer als die Bewertung der besten Lagerperimeter bzw. Standortgebiete für dasselbe Merkmal bzw. denselben Indikator, so wird dies als Hinweis auf einen eindeutigen Nachteil interpretiert. Diese Hinweise werden auf Stichhaltigkeit geprüft und können bei Bestätigung zu einem eindeutigen Nachteil führen [NTB 14-01, 5.2.1].

Unter diesen Voraussetzungen ergeben sich bei einem der drei HAA-Standortgebiete (Nördlich Lägern) eindeutige Nachteile bei den Indikatoren „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ sowie „Platzangebot untertags“, die bewirken, dass auch bei dem übergeordneten entscheiderelevanten Merkmal „Bautechnische Machbarkeit“ ein eindeutiger Nachteil vorliegt. Der Indikator „Platzangebot untertags“ liegt überdies auf der Bewertungsstufe „ungünstig“ [NTB 14-01, 5.2.1.2]. Diesen eindeutigen Nachteile führen zur Zurückstellung des HAA-Standortgebietes Nördlich Lägern.

Bei den SMA-Standortgebieten weist Wellenberg bei sieben Indikatoren (und einem Merkmal) eindeutige Nachteile auf; Südranden bei drei Indikatoren, Nördlich-Lägern bei zwei Indikatoren und einem Merkmal (wie bei HAA), und Jura-Südfuss bei zwei Indikatoren [NTB 14-01, 5.2.1.1].

2.5.2 Diskussion und Bewertung

Die Methodik der Nagra, den Bewertungsstufen (sehr günstig, günstig usw.) Zahlenwerte zuzuordnen und diese Skala innerhalb der Bewertungsstufen durch Nachkommastellen weiter zu verfeinern, wurde auch schon in Etappe 1 angewandt und ist grundsätzlich als problematisch anzusehen. Der Kern des Problems liegt darin, dass die Bewertungsstufen ein ordinales Skalensystem darstellen, auf dem Rechenoperationen (wie die meist angewandte Mittelwertbildung auf mehreren Hierarchiestufen) nicht zulässig sind. Eine ordinale Skala dient dazu, Objekte in eine Ordnung zu bringen; sie erlaubt jedoch keine Angaben zu den Abständen zwischen den einzelnen Rangplätzen.

Diese Methodik wurde in der Fachexpertise der Verfasser zu den Unterlagen zu Etappe 1 SGT bereits diskutiert und bewertet [HIRSCH & KREUSCH 2010]. Die damals gezogene Schlussfolgerung, dass die praktischen Auswirkungen dieses methodischen Mangels nicht sehr bedeutsam sein dürften, gilt weitgehend auch für Etappe 2. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass bei der Identifizierung eindeutiger Nachteile bei der Aggregation der entscheiderelevanten Indikatoren zu Merkmalen differenziert vorgegangen wird – in jenen Fällen, in denen „gute“ Merkmale bei einem Indikator „schlechte“ Merkmale bei einem anderen nicht kompensieren können, wurde bei der Aggregation keine Mittelwertbildung angewandt. Vielmehr wurde jeweils das Minimum der Bewertung der zugehörigen Indikatoren angesetzt.

Ungeachtet dessen gibt es Probleme bei der Ausgestaltung und Anwendung der Methodik im Detail, die in Grenzfällen die Ergebnisse beeinflussen könnten.

Inkonsistenzen bei der Zuordnung von abgestuften Zahlenwerten innerhalb einer Bewertungsstufe

Dazu drei Beispiele, die besonders wichtige Indikatoren betreffen:

1. Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit: ZNO fällt mit 700 m gerade noch in die Kategorie „günstig“ ($700 \geq x > 600$ m), dem Indikator wird der Zahlenwert 3,5 zugeordnet. NL liegt mit 800 m ebenso knapp in der Kategorie „bedingt günstig“ ($800 \geq x > 700$ m), dem Indikator wird der Wert 2,1 zugeordnet. Es ist nicht einsichtig, warum zum Indikator für ZNO nicht der Wert 3,1 gehört (s. aber auch unten, fragwürdiges Vorgehen bei Parameterwerten am Rande einer Kategorie).

2. Tiefenlage unter Fels im Hinblick auf glaziale Tiefenerosion: ZNO liegt mit 430 m in der Kategorie „günstig“ ($500 > x \geq 400$ m), der Indikator erhält den Wert 3,5. NL liegt mit 570 m in der Kategorie „sehr günstig“ ($x \geq 500$ m), mit Indikator 4,3. Es wäre naheliegend, dem Indikator für ZNO den Wert 3,3 zuzuordnen. Im Falle NL ist die Zuordnung schwierig, da die Kategorie „sehr günstig“ keine Untergrenze aufweist. Angesichts des deutlichen Abstandes (70 m) käme jedenfalls auch der Wert 4,5 in Frage, wie aus dem nächsten Beispiel zu entnehmen ist.
3. Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf Gesteins-Dekompaktion: ZNO liegt mit 500 m im Bereich „sehr günstig“ ($x \geq 450$ m), dem Indikator wird der Wert 4,5 zugeordnet (und nicht 4,3, wie bei einer ähnlichen Situation im oberen Beispiel). NL liegt mit 590 m ebenfalls im Bereich „sehr günstig“, deutlich weiter von der Bereichsgrenze; der zugeordnete Indikatorwert ist 4,7. Angesichts des sehr großen Abstandes von der Bereichsgrenze käme auch 4,9 in Frage.

Für sich genommen, ist die Bedeutung jedes dieser Beispiele gering und die Auswirkung einer unterschiedlichen Zahlenzuordnung fiel im Gesamtbild praktisch nicht ins Gewicht. Die Beispiele insgesamt erwecken jedoch den Eindruck, dass die Vergabe der Unter-Stufen bei den Indikatorwerten nicht nach einer konsistenten Methodik erfolgt ist und die Angabe dieser Zahlenwerte mit Kommastellen bei den Indikatoren (sowie dann auch auf den höheren Aggregationsebenen wie Kriterien und entscheidungsrelevanten Merkmalen) eine Genauigkeit bei der Bewertung und Identifikation von Nachteilen suggeriert, die in dieser Form tatsächlich nicht gegeben ist und sich als Scheingenauigkeit erweist.

Bei den angeführten Beispielen, die wichtige und entscheidungsrelevante Indikatoren betreffen, ist anzumerken, dass durch die von Nagra durchgeführte Zuordnung von Werten das Standortgebiet HAA-ZNO begünstigt und das Standortgebiet HAA-NL benachteiligt wird.

Fragwürdiges Vorgehen bei Parameterwerten am Rande einer Kategorie

Auch hier können drei Beispiele, die wichtige Indikatoren betreffen, angeführt werden:

1. Beim ersten oben betrachteten Beispiel (Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit) liegt HAA-NL genau an der Grenze der Kategorie „bedingt günstig“. Es fällt rein formal in diese Kategorie, weil als Grenze „kleiner/gleich“ definiert wurde, und nicht „kleiner“ – in letzterem Falle wäre der Indikator in der Kategorie „ungünstig“. Ebenso liegt HAA-ZNO an der Grenze der Kategorie „günstig“, bei anderer Definition dieser Grenze der Parameter in „bedingt günstig“. Tatsächlich besteht bei Werten im Bereich der Grenze unter Berücksichtigung der Ungewissheit eine Beliebigkeit, da die Parameterwerte nicht auf den Meter genau ermittelt werden können; im Beispiel wären auch die Werte 2,9 (ZNO) und 1,9 (NL) denkbar. (Abgesehen von der Frage, warum in solchen Fällen nicht zumindest 3,0 bzw. 2,0 gesetzt wird, um die Grenzlage deutlicher zu machen.)

2. Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit: HAA-JO liegt mit 600 m genau an der Grenze des Bereiches „sehr günstig“ ($x \leq 600$ m), dem Indikator wird der Wert 4,1 zugewiesen. Analog zum ersten Beispiel wäre hier auch der Wert 3,9 denkbar (oder 4,0).
3. Tiefenlage unter lokaler Erosionsbasis, im Hinblick auf die Bildung neuer Rinnen: HAA-JO liegt mit 200 m genau an der Grenze des Bereiches „günstig“ ($250 > x \geq 200$ m); dem Indikator wird der Wert 3,1 zugewiesen. Analog zum ersten Beispiel wäre auch der Wert 2,9 denkbar (oder 3,0).

Da die Parameterwerte nicht auf den Meter genau ermittelt werden können, ist die Zuordnung in eine Kategorie aufgrund von Gleichheit mit der Grenze äußerst problematisch. Ebenso wie bei dem ersten aufgezeigten Problem (Inkonsistenzen bei der Zuordnung) wird hier eine Genauigkeit suggeriert, die tatsächlich nicht gegeben ist.

Die besondere Bedeutung dieses Problems liegt darin, dass es sich nicht nur auf die Abstufung der Zahlenwerte innerhalb einer Bewertungsstufe auswirkt, sondern mit der Zuordnung zu Bewertungsstufen verbunden ist. Es zeigt sich, dass auch bei dieser Zuordnung eine gewisse Beliebigkeit gegeben ist.

Auch hier ist die Bedeutung jedes einzelnen Beispiels beschränkt; insgesamt trägt dieses Problem jedoch dazu bei, die Transparenz und Nachvollziehbarkeit der von Nagra angewandten Bewertungsmethodik in Frage zu stellen.

Identifikation von eindeutigen Nachteilen bei fragwürdigen Unterschieden

Ausschlaggebend für die Rückstellung des Standortgebietes Nördlich Lägern durch die Nagra war die Identifikation eindeutiger Nachteile bei den entscheidungsrelevanten Indikatoren „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ sowie „Platzangebot untertags“, die bewirken, dass auch bei dem übergeordneten entscheidungsrelevanten Merkmal „Bautechnische Machbarkeit“ ein eindeutiger Nachteil vorliegt.

Dies stützt sich auf die maßgebende Konzeptualisierung für das Standortgebiet Nördlich Lägern. Bei der Tiefenlage des Wirtgesteins bestehen in NL allerdings Ungewissheiten. Um diesen Rechnung zu tragen, wurde u.a. die alternative Konzeptualisierung HAA-NL-mLE-u betrachtet.

Diese Konzeptualisierung weist für den entscheidungsrelevanten Indikator „Platzangebot unter Tage“ lt. Nagra einen Wert von 2,7 auf (statt 1,3 wie die primäre Konzeptualisierung). Das entscheidungsrelevante Merkmal „bautechnische Machbarkeit“ hat für diesen Fall den Wert 2,1 statt 1,3 [NTB 14-01, C 3.2.1].

Für diese Konzeptualisierung liegt keiner der Indikatoren in der Bewertungsstufe „ungünstig“.

HAA-NL-mLE-u weist lediglich bei einem entscheidungsrelevanten Indikator (Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit) einen eindeutigen Nachteil auf (zwei Bewertungsstufen unter dem besten Standortgebiet bzw. Lagerperimeter). Der Wert dieses Indikators liegt bei 2,1, bei ZNO ist er 3,5 und bei JO beim maßgebenden Perimeter 4,1 (Schwankungsbreite zwischen verschiedenen Konzeptualisierungen 3,5 bis 4,5) [NTB 14-01, C 3.2.1].

Formal ist damit das Kriterium des eindeutigen Nachteils auch bei der Konzeptualisierung HAA-NL-mLE-u erfüllt. Bei einem der entscheidungsrelevanten Indikatoren liegt ein eindeutiger Nachteil vor. Bei der Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit liegt der beste Wert (4,1 bei JO) um 2 Bewertungsstufen über dem Wert von NL (2,1).

Allerdings sind diese Werte, wie oben ausgeführt, scheinbar und insgesamt fragwürdig. In beiden Fällen liegen die zu den Indikatoren gehörigen Parameter an der Grenze eines Bereiches (800 m bei NL, 600 m bei JO). Bei Veränderungen des Parameters in die gleiche Richtung an beiden Standortgebieten oder dem Ansatz von „größer“ statt „größer gleich“ in der Bewertungsskala würde sich am „eindeutigen Nachteil“ nichts ändern. Aber schon eine geringfügig größere Tiefenlage im Falle JO würde nur noch zu einem Unterschied von einer Bewertungsstufe führen.

Natürlich darf bei diesen Überlegungen nicht vergessen werden, dass die primäre Konzeptualisierung von NL deutlichere eindeutige Nachteile aufweist als HAA-NL-mLE-u. Letztere ist bereits eine Variation, die Ungewissheiten berücksichtigen soll, und aus heutiger Sicht nicht die wahrscheinlichste Variante.

Andererseits gilt in Etappe 2 das Prinzip, dass keine Standortgebiete zurückgestellt werden sollen, die sich bei weiteren Untersuchungen als gleich oder besser geeignet herausstellen könnten als die weiter verfolgten Standortgebiete [NTB 14-01, 2.3.1].

Vor diesem Hintergrund ist die Frage berechtigt, ob die Rückstellung von NL ausreichend begründet ist, angesichts der gleichwertigen Gesamtbewertung und der Tatsache, dass eine den Ungewissheiten der Tiefenlage Rechnung tragende alternative Konzeptualisierung in diesem Standortgebiet nur noch bei einem einzigen Indikator das Kriterium „eindeutige Nachteile“ erfüllt.

Dabei sind auch die oben aufgezeigten Inkonsistenzen und der Scheingenauigkeiten der Methodik, die sich sowohl auf Abstufung innerhalb einer Bewertungsstufe, als auch bei der Zuordnung zu den Bewertungsstufen auswirken, zu bedenken.

3 Prüfung einer möglichen Betroffenheit Österreichs

In diesem Kapitel wird auf Grundlage des erweiterten Kenntnisstandes in Etappe 2 untersucht, auf welche Art und Weise österreichisches Staatsgebiet durch eine mögliche Freisetzung von Radionukliden aus dem geplanten Schweizer Tiefenlagerstandort möglich sein könnte. Da am Ende von Etappe 2 noch kein Standort festgelegt ist, sondern zwei mögliche Standortgebiete identifiziert worden sind, können derzeit nur diese beiden Standortgebiete berücksichtigt werden. Beide Standortgebiete sind nach Nagra geeignet, sowohl HAA als auch SMA in einem Tiefenlager gemeinsam aufzunehmen.

Die Fragestellung der Betroffenheit Österreichs wurde von HIRSCH & KREUSCH [2010] auf dem damaligen Kenntnisstand behandelt. Die dort getroffenen Aussagen können nunmehr präzisiert werden.

Eine Betroffenheit Österreichs ist nur über folgende Pfade möglich:

- Ausbreitung von Radionukliden über den Grundwasserpfad,
- Ausbreitung von Radionukliden über Oberflächenwasser,
- Ausbreitung von Radionukliden über den Luftpfad.

Die Ausbreitung über den Luftpfad wird nicht geprüft, weil hierzu noch keinerlei Grundlagen vorliegen. Sie könnte nur während der Betriebsphase des Tiefenlagers stattfinden, vorzugsweise bei Störfällen.

3.1 Relevante Aussagen in den Unterlagen der Nagra

Bei ihren Untersuchungen zu Etappe 2 hat die Nagra die mögliche Betroffenheit Österreichs nicht explizit berücksichtigt. Dies war auch nicht ihr Ziel. Vielmehr ging es der Nagra um die Auswahl von zwei Standortgebieten (ausgewählt: Zürich NO, Jura O), aus denen in Etappe 3 dann der Standort für das Schweizer Tiefenlager identifiziert werden soll. Die für dieses Ziel von der Nagra erarbeiteten umfangreichen neuen Unterlagen eignen sich jedoch auch dazu, die Frage der Betroffenheit Österreichs auf einer verbesserten Grundlage zu bewerten.

Benötigt werden dafür neben den in vorherigen Kapiteln benutzten Berichten der Nagra [z.B. NAGRA TB 14-01] weitere spezielle Untersuchungen über die sedimentologischen und tektonischen Verhältnisse [NAGRA TB 14-02, Dossier II], über die Langzeitentwicklung der Standortregionen

einschließlich der Entwicklung der Flusssysteme [NAGRA TB 14-02, Dossier III) sowie über die hydrogeologischen Verhältnisse [NAGRA TB 14-02, Dossier V].

Insbesondere die von Nagra erarbeiteten Dossiers stellen sowohl inhaltlich als auch formal (v.a. durch ausführliche Darstellungen in Abbildungen und Tabellen) eine sehr gute Arbeitsgrundlage dar. In ihnen wird auch die grundsätzliche Problematik behandelt, die sich aus Vorhersagen bzw. Prognosen der geologischen Entwicklung über den langen zu betrachtenden zukünftigen Zeitraum von rund 1 Mio. Jahre resultiert. Selbst Aussagen über die nähere geologische Vergangenheit sind häufig wegen mangelhafter Befundlage mit mehr oder weniger großen Unsicherheiten behaftet. Daran ist zu denken, wenn man Aussagen über die zukünftige geologische Entwicklung und über die mögliche Betroffenheit Österreichs trifft. Die denkbare zukünftige Entwicklung (das Szenario) kann mehr oder weniger wahrscheinlich in der beschriebenen Form oder ähnlich ablaufen; sie muss aber nicht eintreten und kann völlig anders gestaltet sein.

3.2 Diskussion und Ergebnisse

Ausbreitung über den Grundwasser- und Oberflächenwasserpfad:

Aus dem Tiefenlager freigesetzte Radionuklide gelangen zwangsläufig ins Grundwasser. Nach den heutigen Vorstellungen, die auch von realen Messwerten belegt werden, werden sich die Radionuklide zuerst im Wirtgestein Opalinuston vom Lagerbereich mit dem Grund-(Poren-)wasser des Opalinustons entweder nach oben oder nach unten bewegen. Grund für die Bewegung nach oben sind Porenwasserdrücke im Opalinuston, die auch eine aufwärtsgerichtete, gegen die Schwerkraft gerichtete Bewegung erzwingen können.

Eine nach oben gerichtete Wasserbewegung wird von Nagra [NTB 03-14, C.] für den Standort Jura-O angenommen, und nach Austritt des kontaminierten Grundwassers aus dem Wirtgestein verläuft der Weitertransport der Radionuklide dann im Rahmengestein (eine Sandkalkabfolge) direkt oberhalb des Wirtgesteins in Richtung weitere Aquifere bzw. Biosphäre.

Bei Bewegung der Radionuklide nach unten innerhalb des Opalinuston (Standort Zürich-NO) verläuft der Transport anschließend im Rahmengestein „Toniger Lias“ und dann weiter bis zum Aquifer Arietenkalk [NTB 03-14, C.]. Denkbar ist auch eine laterale (seitliche) Bewegung der Radionuklide im Opalinuston. Diese ist nach den vorliegenden Kenntnissen jedoch nicht wahrscheinlich.

Die von Nagra modellhaft umgesetzten Wegsamkeiten für Radionuklide führen letzten Endes immer über einen oder mehrere Aquifere in die Biosphäre. Wichtige Aquifere sind dabei der Keuper-Aquifer und der Arieten-Aquifer, die den Opalinuston unterlagern. Oberhalb des Opalinuston sind die Hauptrogensteinformation des Keupers und die Kalke des Malms wichtige Wasserleiter. Darüber hinaus können auch andere Aquifere sowie Störungen von Bedeutung sein (z.B. Muschelkalk-Aquifer)

Über einen oder mehrere dieser Aquifere könnten also Radionuklide aus dem Tiefenlager freigesetzt werden. Im nächsten Schritt müssen zwischen den beiden von Nagra ausgewählten

Tiefenlagerstandorten die Hauptexfiltrationsgebiete (Austritt des Grundwassers in Oberflächengewässer) bestimmt werden. Diese hat die Nagra mittels Modellrechnungen ermittelt. Ein Exfiltrationsgebiet befindet sich nach Nagra [NTB 14-02, Dossier V, 5.2.2] für den Standort Zürich-NO im Rheintal zwischen Schaffhausen und Dachsen. Dieser Austrittspunkt ist besonders wichtig für den Malm-Aquifer, teilweise aber auch für den Keuper- und Muschelkalk-Aquifer. Ein weiteres Hauptexfiltrationsgebiet liegt im Raum Marthalen – Andelfingen. Hier findet ein vertikaler Aufstieg durch die Untere Süßwassermolasse statt. Auch eine Freisetzung über den Muschelkalk-Aquifer kann erfolgen. Dieser Fall führt zu besonders langen Fließpfaden, wobei die Exfiltrationszone im Raum des Klingnauer Stausees oder im Rheintal im Bereich Laufenburg – Sisseln liegt.

Die Berechnungen der Nagra [NTB 14-02, Dossier V, 5.4.2] zeigen, dass die berechneten Hauptexfiltrationsgebiete für den Standort Jura-O im Aaretal bei Villnachern und Beznau (bei Radionuklidtransport über Störungszonen) liegen, sowie im Rheintal im Raum Laufenburg – Sisseln (für Muschelkalk- und Keuper-Aquifer). Ein weiteres Exfiltrationsgebiet liegt im Sissletal bei Hornussen und im Tal von Herznach für den Haupttrogenstein-Aquifer.

Geht man von diesen Exfiltrationsgebieten für die beiden Standorte aus, dann ist erkennbar, dass der Abfluss dieses mit Radionukliden beladenen Grundwassers immer in Richtung der Vorfluter Aare und Rhein geht. Damit wird das kontaminierte Wasser mit dem Rhein nach Westen/Nordwesten bzw. anschließend nach Norden weg von Österreich geführt. Bei einer Nutzung von kontaminiertem Grundwasser wäre Österreich ebenfalls nicht betroffen. Nach den Ausführungen in [NTB 14-02, Dossier III, 1.3.1] ist auch in Zukunft kaum zu erwarten, dass sich diese Situation trotz anzunehmender Wechsel von glazialen-interglazialen Zyklen in den nächsten hunderttausenden von Jahren grundsätzlich ändert. Außerdem werden sich die Flusseinzugsgebiete von Rhein/Aare zukünftig sehr wahrscheinlich weiterhin auf Kosten des Einzugsgebietes der Donau vergrößern (s. dazu Kap. 4.2.1).

Zudem ist zu bedenken, dass beim Transport der Radionuklide mit dem Grundwasser aus dem Tiefenlager hinaus eine Verdünnung sowie ein radioaktiver Zerfall bestimmter Radionuklide stattfinden. Beim Übergang vom Grundwasser ins Oberflächenwasser – speziell in Aare und Rhein – findet nochmals eine erhebliche Verdünnung der Radionuklidkonzentration in deren Wasser statt.

3.3 Zusammenfassung zur Betroffenheit Österreichs, verbleibende Unsicherheiten

Nach gegenwärtigem Kenntnisstand kann mit hoher Sicherheit davon ausgegangen werden, dass Österreich nicht von Radionuklidfreisetzungen über den Wasserpfad betroffen sein wird. Dies gilt sowohl für den Grundwasserpfad als auch den Oberflächenwasserpfad. Beide sind eng aneinander gekoppelt und können deshalb nur gemeinsam beurteilt werden. Mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit werden Radionuklide, die aus dem Tiefenlager mit dem Grundwasser freigesetzt werden, im Bereich einiger Kilometer um den Tiefenlagerstandort exfiltrieren. Die daraus resultierenden kontaminierten Oberflächenwässer (gegebenenfalls auch oberflächennahen Grundwässer) werden alle über das

Flusseinzugsgebiet von Aare und Rhein in Richtung Westen/Nordwesten abgeführt (s. dazu Kap. 4.2.1)

Diese getroffenen Aussagen gelten nur unter folgenden Bedingungen:

- Die Modellrechnungen geben die Fließbewegung des Grundwassers in Wirtgestein und Rahmengesteinen korrekt wieder,
- Die Modellrechnungen zu den Exfiltrationsgebieten sind einigermaßen realitätsnah,
- Die gegenwärtig herrschenden Rahmenbedingungen (v.a. betreffend Flusseinzugsgebiete) ändern sich nicht entscheidend (s. dazu Kap. 4.2.1 „Einzugsgebiete der Oberflächengewässer“).

4 Zukünftige Entwicklungen in den Standortregionen

Die geologische Langzeitentwicklung der Standortregionen stellt eine wichtige Grundlage zur Einschätzung der Langzeitsicherheit des Tiefenlagers dar, weil durch bestimmte Entwicklungen (z.B. klimatischer oder geologischer Art) negative Einflüsse auf die Integrität der Barrieren möglich sind. Bei diesem Blick in die Zukunft bedient man sich der Daten und Befunde, die man aus der Vergangenheit hat. Die Vergangenheit wird rekonstruiert, die dort stattgefundenen Entwicklungen werden in die Zukunft hinein fortgeschrieben. Dabei kann man durch Änderungen wesentlicher Einflussgrößen zu verschiedenen Aussagen für die Zukunft kommen, die man als Szenarien bezeichnet.

4.1 Vorgehensweise der Nagra

Die Nagra hat mit einem Bericht [NTB 14-02, Dossier III] die geologische Langzeitentwicklung untersucht, soweit sie für den sicherheitstechnischen Vergleich der Standortregionen in Etappe 2 bedeutsam ist. Dazu gehören:

- Die Landschafts- und Flussnetzentwicklung in der Nordschweiz in der Vergangenheit,
- Vorstellungen zur langfristigen Entwicklung zur Neotektonik und Geodynamik,
- künftige Seismizität,
- zukünftige Auswirkungen der Erosion (v.a. Rinnenbildung, glaziale Tiefenerosion, Gesteins-Dekompaktion).

Dabei ist die Ableitung von Erosionsszenarien von besonderer Bedeutung, da sie zu einem direkten oder indirekten Eingriff in die Integrität des Wirtgesteins führen können und somit von hoher Sicherheitsrelevanz sind. Bei ihrer Analyse und Szenarienentwicklung stützt sich die Nagra auf einschlägige Fachliteratur und eigene Untersuchungen. Speziell für die (flächenhafte) Erosion werden vier Szenarien entwickelt, die einen Basisfall (125 m Eintiefung) sowie optimistische (75 m Eintiefung) und pessimistische (200 m bzw. 175 m Eintiefung) Varianten umfassen. Weiter Szenarien werden zur möglichen Entwicklung der glazialen Tiefenerosion und der Bildung von Durchbruchsrinnen bei den verschiedenen Standortgebieten abgeleitet (s.u. „Glaziale Tiefenerosion und Bildung von Durchbruchsrinnen“).

4.2 Diskussion und Bewertung

Die folgende Diskussion und Bewertung bezieht sich auf ausgewählte Themenbereiche, die für die Betroffenheit Österreichs und/oder die Sicherheit der Tiefenlagerstandorte von besonderem Interesse sind. Es handelt sich dabei um die Themen:

- Einzugsgebiete der Oberflächengewässer,
- Auswirkungen zukünftiger Erosion (einschließlich glaziale Tiefenerosion und Bildung von Durchbruchsrinnen).

4.2.1 Einzugsgebiete der Oberflächengewässer

Hierbei geht es um das Flusseinzugsgebiet des Rheins (einschließlich der Aare) und seine Abgrenzung gegenüber dem Einzugsgebiet der nach Osten entwässernden Donau. Nagra [NTB 14-02, Dossier III, 1.3.1] zeigt die Entwicklung der Einzugsgebiete während der vergangenen ca. 5 Millionen Jahre. Die Entwicklung der Einzugsgebiete wird in Text und Karten [Fig. 1.3-1 in NTB 14-02, Dossier III] im Detail begründet und nachvollziehbar beschrieben.

Demnach ist das Einzugsgebiet der Donau in den letzten 5 Millionen Jahren nach Osten zurückverlegt worden. Ab ca. 700.000 Jahren bis heute sind die Grenzen der Einzugsgebiete von Rhein und Donau ziemlich stabil geblieben. Die Vergrößerung des Einzugsgebietes des Rheins zu Ungunsten der Donau setzt sich allerdings fort, in dem die Entwässerung des Schwarzwaldes Richtung Donau vor rund 18.000 Jahren im Gebiet von Blumbach unterbrochen und vom tiefer liegenden Rheinsystem angezapft wurde.

Wenn die heutige Situation beibehalten wird oder gar eine weitere – sehr wahrscheinliche – Vergrößerung des Rhein-Einzugsgebietes nach Osten/Nordosten stattfindet, besteht keine Möglichkeit, dass Österreich über den Pfad Grundwasser → Oberflächenwasser durch eine aus dem Tiefenlager stammende Radionuklidkontamination beeinflusst werden kann. In Oberflächengewässern austretende Radionuklide werden dann immer über das Rhein-System in Richtung Westen/Nordwesten transportiert. Festzuhalten ist, dass die zukünftige (Weiter-)Entwicklung der Flusseinzugsgebiete mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit zur Beibehaltung der jetzigen Abflussbedingungen führt.

4.2.2 Auswirkungen zukünftiger Erosion

Von der Nagra [NTB 14-01, Dossier III, 4] wird eine detaillierte und nachvollziehbare Auseinandersetzung mit der zukünftigen Entwicklung der Erosion in den Standortgebieten vorgenommen. Dies ist wegen der zentralen Bedeutung der Erosion für das Wirtgestein sowie seiner

Überdeckung notwendig. Mit steigender Überdeckung des Wirtgesteins steigt auch der Schutz des Tiefenlagers bzw. des Wirtgesteins vor erosionsbedingten Dekompaktionseffekten oder gar seiner Freilegung.

Die durchgeführten Untersuchungen der Nagra berücksichtigen alle bekannten Einflussgrößen (z.B. tektonische Hebungen, erhöhter Abfluss in Abhängigkeit der Klimaentwicklung, Absenkung der regionalen Erosionsbasis). Dabei wird insbesondere auch auf die „linienhafte“ Erosion eingegangen, d.h. glaziale Tiefenerosion und Durchbruchsrinnen (s.u.). Dabei wird die Tiefenlage des Wirtgesteins in Etappe 2 nicht nur relativ zur Gelände- bzw. zur Felsoberfläche berechnet, sondern auch relativ zur lokalen Erosionsbasis (gegeben durch das Niveau der tiefsten fluviatilen Paläorinnen). Dabei werden verschiedene Szenarien berücksichtigt (Basisfall, optimistisch, pessimistisch). Die resultierenden Ergebnisse werden dann bei der Abgrenzung und Bewertung von Lagerperimetern beim sicherheitstechnischen Vergleich der Standortgebiete berücksichtigt.

4.2.3 Glaziale Tiefenerosion und Bildung von Durchbruchsrinnen

Durch Abrasion an der Gletscherbasis oder durch subglaziale Schmelzwassererosion können während Eiszeiten Rinnen entstehen, die bis unter die lokale Erosionsbasis greifen. In der Nordschweiz haben solche Rinnen zu einer Übertiefung von 200 – 300 m geführt, wobei in die tiefsten Rinnen bis 250 m unter der lokalen Erosionsbasis herabreichen. Dies ist durch Bohrungen nachgewiesen. Auch eine größere Maximaltiefe der Rinnen ist nicht auszuschließen [NTB 14-02, Dossier III, 4.4.4].

Die Bildung von tiefen Rinnen durch glaziale Erosion kann für die Zukunft im Bereich der Standortgebiete also nicht ausgeschlossen werden. Über ihre genaue Lage, Erstreckung und Tiefe sind gleichfalls keine genauen Vorhersagen möglich. Glaziale Tiefenerosion kann eine Gefahr für das Tiefenlager sein, wenn sie bis nahe an oder gar in das Wirtgestein heranreicht. Die von Nagra [NTB 14-01, 4.1] genannten verbleibenden Reserven von 75 m bis 150 m Überdeckung des Top des Opalinustons können dabei nur rechnerische Festlegungen darstellen. Ob sich die natürliche zukünftige Entwicklung solch glazialer Rinnensysteme daran halten wird, ist letztendlich ungewiss.

Die von Nagra [NTB 14-02, Dossier III, 4.4.4] aus Etappe 1 übernommene Mindestüberdeckung bezüglich der Felsoberfläche für HAA von 500 m (für SMA 300 m) im Bereich nachgewiesener großer glazial übertieferter Felsrinnen und von 400 m (HAA) bzw. 200 m (SMA) in allen anderen Gebieten ist nachvollziehbar, unter Berücksichtigung der regionalen Kenntnisse und vergangener Entwicklungen. Damit ist aber keinesfalls ausgeschlossen, dass es nicht auch zu einer tieferen glazialen Erosion kommen kann, wodurch die Integrität des Wirtgesteins beeinflusst würde.

Gerade für die Standorte Zürich-NO und N-Lägern sind in Zukunft neue Übertiefungen durchaus möglich. Deshalb wird bei beiden Standorten für HAA mit übertieften Rinnen von 100 m (Basisfall) bis 200 m (Pessimistischer Fall) ausgegangen. Für den Standort Jura-O wird im optimistischen Fall nicht von der Bildung einer tiefen Rinne ausgegangen. Im Basisfall wird jedoch aus Vorsichtsgründen und wegen des langen Betrachtungszeitraumes von 1 Million Jahre eine Rinne von 50 m Tiefe angenommen. Die generell geringere Mindestüberdeckung des SMA-Lagers gegenüber dem HAA-

Lager wird mit dem kürzeren Betrachtungszeitraum von 100.000 Jahren und den damit einhergehenden selteneren Vergletscherungen begründet [NTB 14-01, Dossier III, 4.4.5].

Die Vorgehensweise der Nagra ist im Prinzip nachvollziehbar. Fraglich ist die Begründung für die geringere Mindestüberdeckung des SMA-Lagers. Bei den Ungewissheiten über die zukünftige Klimaentwicklung ist nicht auszuschließen, dass auch innerhalb von 100.000 Jahren eine große Eiszeit mit sehr tiefer Rinnenbildung stattfinden kann.

Ein Schwachpunkt der diskutierten Darstellungen der Nagra ist das Fehlen klarer Hinweise, dass die gewählten Zahlenangaben letztlich normativer Natur sind, d.h., sie werden von Experten festgelegt (expert judgement), und nicht allein aufgrund wissenschaftlicher Nachweise. Den Zahlenangaben ist also grundsätzlich mit Vorsicht zu begegnen. Gerade weil wissenschaftliches Werkzeug fehlt, um die entfernte Zukunft zu verlässlich beschreiben zu können, muss man auch Extremszenarien durchspielen und die Auswirkungen abschätzen.

In Zusammenhang mit zukünftigen Vergletscherungen können auch neue Täler (sogenannte Durchbruchsrinnen) entstehen. Dabei können durch die Bildung von Eisstauseen und/oder Aufschotterungen vorhandene Täler verschlossen werden und an anderer Stelle neue Täler gebildet werden. Beispiele dafür finden sich in unmittelbarer Nähe der Standortgebiete; insofern sind entsprechende Ereignisse auch in der Zukunft nicht auszuschließen.

Die Bildung von Durchbruchsrinnen ist für die lokale Erosion kritisch, weil sie vergleichsweise schnell abläuft und der Ort der Rinnenbildung sich nur bedingt an der gegebenen Topografie orientiert. Nach Nagra [NTB 14-01, Dossier III, 4.4.3.2] ist gerade für den Standort Jura-O die Entstehung von Durchbruchsrinnen wegen der relativ geringen Tiefenlage des Wirtgesteins bezüglich der lokalen Erosionsbasis empfindlich. Dieses Szenario führt bei diesem Standort zu einer vergleichsweise geringen verbleibenden Überdeckung des Wirtgesteins.

4.2.4 Abschließende Bewertung

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Auseinandersetzung der Nagra mit den sicherheitsrelevanten zukünftigen geologischen Entwicklungen im Bereich der Standortgebiete dem Stand von Wissenschaft und Technik entspricht. Es werden alle Einflussgrößen und ihr Zusammenspiel berücksichtigt, Szenarien der (möglichen) zukünftigen Entwicklung abgeleitet und die Ergebnisse hinsichtlich ihrer Sicherheitsrelevanz für Tiefenlager in den Standortregionen bewertet. Die Tatsache, dass dabei Annahmen getroffen werden müssen, ist unabweisbar; die daraus resultierenden Unsicherheiten über die eine tatsächlich zukünftig ablaufende Entwicklung sind – über die Anwendung von Szenarien hinaus – nicht zu eliminieren. Wünschenswert wäre allerdings eine Zusammenstellung der getroffenen normativen Annahmen, der daraus resultierenden Unsicherheiten und ihrer Bewertung in Hinblick auf sicherheitsrelevante Aussagen.

An dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, dass bei der Festlegung der Tiefenlage der Lagerebene (bzw. des Wirtgesteins) immer ein Kompromiss eingegangen werden muss zwischen dem

Wunsch nach möglichst großer Tiefe (Schutz vor Erosion u. Dekompaktionserscheinungen) einerseits und bergbautechnischen (v.a. Standsicherheit) sowie geomechanischen (z.B. Auflockerungszonen, Selbstabdichtung) Belangen andererseits. Im Rahmen dieser orientierenden Stellungnahme kann auf diese komplexen Zusammenhänge nicht im Detail eingegangen werden. Dazu sein nur angemerkt, dass der daraus resultierende Zielkonflikt nicht aufgelöst werden kann, sondern einer Optimierung zugeführt werden muss. Dabei muss der Langzeitsicherheitsaspekt an vorderster Stelle beachtet werden.

Der Indikator „Tiefenlager im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ hat wesentlich zur Zurückstellung des Standortgebietes Nördlich Lägern beigetragen (s. Kapitel 2.5). Der oben dargestellte Zielkonflikt gewinnt dadurch besondere Bedeutung.

5 Schlussfolgerungen

Das Auswahlverfahren für Standorte für geologische Tiefenlager in der Schweiz im Rahmen des „Sachplan geologische Tiefenlager“ kann insgesamt als beispielgebend angesehen werden. Das Verfahren ist zielgerichtet, systematisch und übersichtlich.

Gleichwohl wurden im Ablauf der Etappe 2 – wie auch schon bei Etappe 1 – verschiedene methodische Fragen und Themen identifiziert, die auf potenzielle Schwächen im Verfahren hindeuten. Diese sind aus österreichischer Sicht von grundsätzlichem Interesse und erfordern weitere Begleitung.

Dabei wird zunächst zu prüfen sein, inwieweit und in welcher Form diese Punkte bei der zurzeit laufenden Begutachtung des Standortvorschlags der Nagra durch die schweizerischen Bundesbehörden sowie in den entsprechenden Stellungnahmen der Standortkantone und –regionen aufgegriffen werden. Darüber hinaus werden die meisten Fragen und Themen auch noch in Etappe 3 des Sachplanverfahrens von Bedeutung sein.

Weiter zu verfolgen sind in erster Linie folgende Punkte:

- 1) Es bestehen große Ungewissheiten und Bandbreiten bei Platzangebot und Platzbedarf der HAA-Standortgebiete Nördlich Lägern und Jura Ost. Gerade bei Nördlich Lägern ist dies gleichzeitig ein Punkt, der wesentlich für die Rückstellung mit verantwortlich war.
- 2) Der zurzeit gegebene Kenntnisstand ist für belastbare provisorische Sicherheitsanalysen nicht ausreichend. Insbesondere können keine realitätsnahen Dosiswerte ermittelt werden, die mit Dosis-Grenzwerten verglichen werden können. Grund dafür ist, dass nicht genügend standortspezifische Informationen vorliegen. Als Folge davon werden häufig normative Aussagen in Form von Expertenmeinungen, Analogien und konservativen Annahmen herangezogen. Deshalb erscheint es gewagt, zum jetzigen Zeitpunkt bereits absolute Eignungsaussagen („sicherheitstechnisch geeignet“) aus den Ergebnissen der provisorischen Sicherheitsanalysen abzuleiten.
- 3) Bei der Methodik zur qualitativen Bewertung und dem Vergleich der Standortgebiete mit Kriteriengruppen, Kriterien und Indikatoren bestehen Inkonsistenzen. Diese dürften in den meisten Fällen ohne bedeutsame praktische Auswirkungen sein. Sie könnten jedoch im Zusammenhang mit der Entscheidung zur Rückstellung des Standortgebietes Nördlich Lägern Bedeutung haben, die auf Basis dieser Methodik erfolgt ist und sehr knapp war.
- 4) Die zukünftige geologische Entwicklung wurde von der Nagra gemäß dem Stand von Wissenschaft und Technik behandelt. Normative Annahmen sind dabei nicht vermeidbar. Allerdings ist diesen Annahmen mit Vorsicht zu begegnen, insb. im Hinblick auf glaziale

Tiefenerosion/Rinnenbildung. Dieses Thema ist angesichts des Zielkonfliktes zwischen dem Schutz vor Erosion, der für möglichst große Tiefe spricht, und bergbautechnischen und geomechanischen Aspekten, für die eine geringere Tiefe günstig ist, von großer Bedeutung.

- 5) Grundsätzlich sollte stets klar darauf hingewiesen werden, zu welchen Punkten und inwieweit nicht vermeidbare normative Wertungen in die Überlegungen eingeflossen sind. Dies ist in den vorliegenden Unterlagen der Nagra oft nicht erfüllt.

Die Frage der direkten Betroffenheit von österreichischem Staatsgebiet über die Exfiltration von kontaminiertem Grundwasser in die Donau, die bereits in der Fachstellungnahme zu Etappe 1 des Sachplans geologische Tiefenlager [HIRSCH & KREUSCH 2010] aufgeworfen worden war, wird in den vorliegenden Unterlagen der Nagra weitgehend beantwortet. Dieser Punkt könnte allerdings bei unerwarteten neuen Erkenntnissen wieder relevant werden und ist insofern weiter zu beobachten.

Weitere Anforderungen, die in dieser Fachstellungnahme für Etappe 1 aufgestellt worden waren, betrafen die ausreichende standortspezifische Datenbasis, die Bewertungsmethodik der Standorte und konsequente Hinweise auf normative Wertungen. Sie sind insgesamt nur teilweise erfüllt.

6 Literaturverzeichnis

6.1 Unterlagen der Nagra zu den Standortvorschlägen

NTB 14-01: Technischer Bericht 14-01, Sicherheitstechnischer Vergleich und Vorschlag der in Etappe 3 weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete (Textband und Anlagenband).- Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Wettingen, Dezember 2014.

NTB 14-02, Dossier II: Technischer Bericht 14-02, Geologische Grundlagen – Sedimentologische und tektonische Verhältnisse.- Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Wettingen, Dezember 2014.

NTB 14-02, Dossier III: Technischer Bericht 14-02, Geologische Grundlagen – Geologische Langzeitentwicklung.- Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Wettingen, Dezember 2014

NTB 14-02, Dossier V: Technischer Bericht 14-02, Geologische Grundlagen – Hydrogeologische Verhältnisse.- Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Wettingen, Dezember 2014.

NTB 14-02, Dossier VIII: Technischer Bericht 14-02, Geologische Grundlagen – Charakterisierbarkeit und Explorierbarkeit.- Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Wettingen, Dezember 2014.

NTB 14-03: Technischer Bericht 14-03, Charakteristische Dosisintervalle und Unterlagen zur Bewertung der Barrierensysteme.- Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Wettingen, Dezember 2014.

NAB 14-88: Arbeitsbericht 14-88, Simulation of Layout Determining Fault Networks based on 2D-seismic Interpretations: Implications for Subsurface Space Reserves in Geological Siting Regions in Northern Switzerland.- Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Wettingen, Dezember 2014.

NAB 14-99: Arbeitsbericht 14-99: Unterlagen zum Platzbedarf in den Lagerperimetern der geologischen Standortgebiete.- Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Wettingen, Dezember 2014.

NAGRA [2015]: Standortgebiete für geologische Tiefenlager - Sicherheitstechnischer Vergleich: Vorschläge für Etappe 3.- Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Wettingen, Faltblatt

6.2 Sonstige Quellen

BFE [2008]: Sachplan geologische Tiefenlager – Konzeptteil.- Bundesamt für Energie, Bern, April 2008.

ENSI [2009]: Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis, Richtlinie ENSI G03.- Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg, April 2009.

ENSI [2010]: Anforderungen an die provisorischen Sicherheitsanalysen und den sicherheitstechnischen Vergleich, ENSI 33/075.- Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg, April 2010.

ENSI [2013]: Präzisierungen zur sicherheitstechnischen Methodik für die Auswahl von mindestens zwei Standortgebieten je für HAA und SMA in Etappe 2 SGT, ENSI 33/154.- Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg, Januar 2013.

GRS [2013]: Synthesebericht für die VSG – Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben.- Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH, GRS-290, Köln, Dezember 2013.

HIRSCH & KREUSCH [2010]: Fachexpertise zu den veröffentlichten Berichten im Zusammenhang mit der Standortsuche für ein geologisches Tiefenlager für radioaktive Abfälle in der Schweiz.- Erstellt im Auftrag des Bundesumweltamtes, Wien, Zl. 751-376/10, Neustadt a. Rbge./Hannover, Oktober 2010.

TFS [2015a]: Nagra-Aussage auf 25. TFS-Sitzung am 02.06.2015

TFS [2015b]: Nagra-Aussagen auf der 24. TFS-Sitzung am 05.03.2015 und der 25. TFS-Sitzung am 02.06.2015

7 Abkürzungen

BFE	Bundesamt für Energie
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
GRS	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit
HAA	hochaktive Abfälle
JO	Jura Ost (Standortgebiet für HAA und SMA)
JS	Jura Südfuss (Standortgebiet für SMA)
KNE	Kommission Nukleare Entsorgung
KNS	Eidgenössische Kommission für nukleare Sicherheit
mLE	maßgebender Lagerperimeter für die Einengung
mSv(/a)	Millisievert (pro Jahr)
NAB	Nagra Arbeitsbericht
Nagra	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle
NL	Nördlich Lägern (Standortgebiet für HAA und SMA)
NTB	Nagra Technischer Bericht
SGT	Sachplan geologische Tiefenlager
SMA	schwach- und mittelaktive Abfälle
SR	Südranden (Standortgebiet für SMA)
TFS	Technisches Forum Sicherheit
WLB	Wellenberg (Standortgebiet für SMA)
ZNO	Zürich Nordost (Standortgebiet für HAA und SMA)