

Präzisierungen der sicherheitstechnischen Vorgaben für Etappe 3 des Sachplans geologische Tiefenlager

Sachplan geologische Tiefenlager, Etappe 3



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI

ENSI 33/649

Präzisierungen der sicherheitstechnischen Vorgaben für Etappe 3 des Sachplans geologische Tiefenlager

November 2018



Inhalt

1	Einleitung	1
2	Vorgaben für die Dokumentation des Rahmenbewilligungsgesuchs	3
2.1	Argumentenbericht und Dokumentenstruktur	5
2.2	Bericht zur Begründung der Standortwahl	6
2.3	Sicherheitsbericht	6
2.4	Sicherungsbericht	7
2.5	Nachweis für die Entsorgung der anfallenden radioaktiven Abfälle	7
2.6	Konzept für die Überwachung und die Beobachtungsphase	7
2.7	Konzept für die Stilllegung der Oberflächeninfrastruktur und für den Verschluss des Tiefenlagers	8
2.8	Referenzberichte	8
3	Vorgaben für die erdwissenschaftlichen Untersuchungen	9
3.1	Seismische Untersuchungen	9
3.2	Sondierbohrungen	9
3.3	Untersuchungen zu Hebung und Erosion	10
3.4	Erdwissenschaftliche Untersuchungen für den gewählten Standort	11
4	Sicherheitstechnische Vorgaben für den Standortvergleich	12
4.1	Abfallzuteilung	12
4.2	Einschlusswirksamer Gebirgsbereich	12
4.3	Konzept, Auslegung und Projektierung des geologischen Tiefenlagers	15
4.4	Sicherheitsanalysen für den Standortvergleich	17
4.5	Qualitative Bewertung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs	18
4.6	Vergleichende Gesamtbewertung und Standortwahl	19
5	Vorgaben für den gewählten Standort	22
5.1	Sicherheitsnachweis für die Betriebsphase	22
5.2	Sicherheitsnachweis für die Nachverschlussphase	23
5.3	Eignungskriterien	24
5.4	Schutzbereich	25
6	Abkürzungsverzeichnis und Glossar	26
7	Referenzen	32

Figuren

Figur 1:	Schematisches Vorgehen in Etappe 3 bis zum Einreichen des Rahmenbewilligungsgesuchs	1
Figur 2:	Beispielhafte Darstellung für den Zusammenhang ausgewählter Berichte des Rahmenbewilligungsgesuchs	6
Figur 3:	Schematische Darstellung des mindestens erforderlichen Platzbedarfs, Platzreserven und Platzangebot	14
Figur 4:	Schematische Darstellung der Methodik für den Standortvergleich in Etappe 3	20

Tabelle

Tabelle 1:	Dokumente und Rechtsgrundlagen zum Rahmenbewilligungsgesuch	4
------------	---	---

Anhang

Anhang I:	Beschreibung der Kriterien zu Sicherheit und technischer Machbarkeit	35
-----------	--	----

1 Einleitung

Ein geologisches Tiefenlager ist gemäss Art. 3 Bst. c des Kernenergiegesetzes vom 21. März 2003 (KEG; SR 732.1) eine Anlage im geologischen Untergrund, die verschlossen werden kann, sofern der dauernde Schutz von Mensch und Umwelt durch passive Barrieren sichergestellt wird. Es ist eine Kernanlage und umfasst das Hauptlager, das Pilotlager und die Testbereiche (Art. 64 der Kernenergieverordnung vom 10. Dezember 2004 (KEV; SR 732.11). Gemäss Art. 49 Abs. 5 KEG gehören zu einer Kernanlage auch die mit dem Bau und dem Betrieb zusammenhängenden Erschliessungsanlagen und Installationsplätze.

Im vorliegenden Dokument präzisiert und ergänzt das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) die sicherheitstechnischen Vorgaben für die dritte Etappe des Sachplans geologische Tiefenlager (BFE 2011). Entsprechend dem Regelwerk des ENSI sind Abweichungen von den Vorgaben zulässig, falls die vorgeschlagene Lösung in Bezug auf die nukleare Sicherheit und Sicherung mindestens gleichwertig ist.

In Etappe 3 gilt es, die verbliebenen Standorte vertieft zu untersuchen und die standortspezifischen geologischen Kenntnisse falls nötig mittels erdwissenschaftlicher Untersuchungen (Seismik, Bohrungen, etc.) auf einen Stand zu bringen, der im Hinblick auf die Vorbereitung der Rahmenbewilligung einen vertieften Vergleich aus sicherheitstechnischer Sicht ermöglicht (BFE 2011, S. 36). In einem weiteren Schritt geben die Entsorgungspflichtigen die Auswahl der Standorte für die Vorbereitung des Rahmenbewilligungsgesuchs bekannt und reichen nach Abschluss der weiteren Untersuchungen für den gewählten Standort das Rahmenbewilligungsgesuch beim Bundesamt für Energie (BFE) ein (BFE 2011, S. 52, Figur 1). Das ENSI beurteilt das Rahmenbewilligungsgesuch aus sicherheitstechnischer Sicht und erstellt ein Gutachten.



Figur 1: Schematisches Vorgehen in Etappe 3 bis zum Einreichen des Rahmenbewilligungsgesuchs (BFE 2011, S. 52). In der Figur wurden beispielhaft einzelne Berichte für das Rahmenbewilligungsgesuch aus dem Aufsichtsbereich des ENSI ausgewählt.

Das ENSI hat weitere Hinweise zur Klärung von sicherheitstechnischen Fragen im Hinblick auf das Rahmenbewilligungsgesuch in Etappe 3 in seinem Gutachten zu Etappe 2 (ENSI 33/540) und zum Entsorgungsprogramm 2016 der Entsorgungspflichtigen (ENSI 33/593; ENSI 33/592) dokumentiert. Diese sind bei der Erarbeitung des Rahmenbewilligungsgesuchs in Etappe 3 angemessen zu berücksichtigen. Bei der Erstellung des vorliegenden Dokuments wurden auch sicherheitstechnische Empfehlungen der Kommission für nukleare Sicherheit (KNS 2017), der Expertengruppe Geologische Tiefenlager (EGT 2017), der AG SiKa/KES (AdK 2017) und der Expertengruppe-Schweizer-Tiefenlager (ESchT 2018) herangezogen.

Im vorliegenden Dokument werden zur besseren Lesbarkeit die Begriffe Standortwahl und Rahmenbewilligungsgesuch in Einzahl verwendet, obwohl die Entsorgungspflichtigen je einen Standort wählen und ein Rahmenbewilligungsgesuch für ein HAA- und ein SMA-Lager in separaten Standortgebieten oder für beide Lagertypen im gleichen Standortgebiet einreichen können.

Das vorliegende Dokument ist wie folgt gegliedert:

- In Kapitel 2 werden die Vorgaben an die einzureichende Dokumentation für das Rahmenbewilligungsgesuch ausgeführt. Erforderliche Unterlagen für ein Rahmenbewilligungsgesuch sind in Art. 23 KEV und Art. 62 KEV aufgelistet. Sie umfassen unter anderem einen Sicherheits- und Sicherungsbericht, einen Umweltverträglichkeitsbericht, einen Bericht über die Abstimmung mit der Raumplanung sowie einen Bericht zur Begründung der Standortwahl (Tabelle 1). Der Sicherheitsbericht, der Sicherungsbericht und der Bericht zur Begründung der Standortwahl werden durch das ENSI geprüft.
- Die Vorgaben für die erdwissenschaftlichen Untersuchungen sind in Kapitel 3 beschrieben. Sie betreffen bewilligungspflichtige (z. B. Quartär- oder Tiefbohrungen) und weitere Untersuchungen (z. B. seismische Messungen und Untersuchungen nahe der Geländeoberfläche (Gravimetrie, Geoelektrik, Kartierungen etc.) und beziehen sich insbesondere auf den Standortvergleich, aber auch auf ergänzende Untersuchungen für den gewählten Standort.
- In Kapitel 4 werden die sicherheitstechnischen Vorgaben für den Standortvergleich ausgeführt. Der sicherheitstechnische Vergleich der Standortgebiete erfolgt in mehreren Schritten. In Etappe 3 ist die Abfallzuteilung auf die beiden Lagertypen (HAA- oder SMA-Lager) zu aktualisieren. Anschliessend ist aufgrund der geologischen Daten der einschlusswirksame Gebirgsbereich (EG) mit seiner räumlichen Ausdehnung aufzuzeigen und standortspezifisch abzugrenzen. Für den Standortvergleich sind aus dem Lagerkonzept standortspezifische Lagerauslegungen zu entwickeln. Die darauf folgende Lagerprojektierung für die Untertagebauwerke basiert auf standortspezifischen Daten. Die vergleichende Gesamtbewertung und die Standortwahl beruhen auf den Resultaten der Sicherheitsanalysen und der Bewertung der EG anhand der 13 Kriterien zu Sicherheit und technischer Machbarkeit des Sachplans (Anhang I).
- Das Rahmenbewilligungsgesuch wird für den gewählten Standort eingereicht. Die Vorgaben für den Sicherheitsnachweis dieses Standorts werden in Kapitel 5 beschrieben. Sie umfassen den Sicherheitsnachweis für die Betriebsphase und die Nachverschlussphase (ENSI-G03). Für den gewählten Standort schlägt der Gesuchsteller Kriterien, bei deren Nichterfüllung ein vorgesehener Lagerbereich wegen fehlender Eignung ausgeschlossen wird (Eignungskriterien, Art. 14 KEG, Art. 63 KEV), und einen vorläufigen Schutzbereich (Art. 14 KEG, Art. 70 KEV) vor. Diese werden durch das ENSI geprüft.

2 Vorgaben für die Dokumentation des Rahmenbewilligungsgesuchs

Erforderliche Unterlagen für ein Rahmenbewilligungsgesuch sind in der Kernenergieverordnung aufgelistet. Eine Übersicht über die Gesuchunterlagen ist in Tabelle 1 dargestellt. Der Gesuchsteller hat für Kernanlagen gemäss Art. 23 KEV folgende Gesuchunterlagen einzureichen:

a. den Sicherheits- und den Sicherungsbericht, aus denen folgende Angaben hervorgehen:

- die Standorteigenschaften,
- der Zweck und die Grundzüge des Projektes,
- die voraussichtliche Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage,
- die wichtigen personellen und organisatorischen Angaben,
- bei geologischen Tiefenlagern zudem die Langzeitsicherheit;

b. den Umweltverträglichkeitsbericht;

c. den Bericht über die Abstimmung mit der Raumplanung;

d. das Konzept für die Stilllegung oder für die Beobachtungsphase und den Verschluss;

e. den Nachweis für die Entsorgung der anfallenden radioaktiven Abfälle.

Der Gesuchsteller hat für geologische Tiefenlager gemäss Art. 62 KEV zusätzlich einen Bericht mit folgenden Angaben einzureichen:

- ein Vergleich der zur Auswahl stehenden Optionen hinsichtlich der Sicherheit des geplanten Tiefenlagers;
- eine Bewertung der für die Auswahl des Standortes ausschlaggebenden Eigenschaften;
- die Höhe der Kosten.

Die erforderlichen Unterlagen müssen zeigen, dass die Voraussetzungen für die Erteilung der Rahmenbewilligung gemäss Art. 13 KEG erfüllt sind. Ein wesentlicher Aspekt ist der Nachweis der Langzeitsicherheit nach Verschluss des Tiefenlagers. Für den gewählten Standort hat der Gesuchsteller die für die Einreichung des Rahmenbewilligungsgesuchs erforderlichen Daten, Unterlagen und Berichte vorzulegen.

Zusätzlich verlangt das ENSI einen Argumentenbericht, in dem die wesentlichen Gründe für die Standortwahl und die Sicherheit des Tiefenlagers zusammengefasst sind, sowie einen Dokumentenstrukturplan (Kap. 2.1).

Die Eignung des Standortes muss durch erdwissenschaftliche Untersuchungen bestätigt sein. Für die Rahmenbewilligung muss ein hinreichender Kenntnisstand über die sicherheitsrelevanten Elemente, Eigenschaften, Ereignisse und Prozesse vorhanden sein. Die Sicherheitsanalyse für den Standortvergleich (Kap. 4.4), die qualitative Bewertung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (Kap. 4.5), die vergleichende Gesamtbewertung und Standortwahl (Kap. 4.6) sowie der Sicherheitsnachweis für die Nachverschlussphase (Kap. 5.2) müssen auf standortspezifischen, verifizierten Daten der geologischen Gegebenheiten beruhen. Sie können sich auf vorläufige Annahmen zur Auslegung der untertägigen Räume und technischen Barrieren stützen (Kap. 4.3). Sicherheitsrelevante Fragen müssen geklärt sein oder durch konservative Annahmen bzw. umhüllende Szenarien berücksichtigt werden. Die Aussagen im Standortvergleich und im Sicherheitsnachweis müssen auch unter Berücksichtigung der bestehenden Variabilität und Ungewissheiten gültig sein.

Tabelle 1: Dokumente und Rechtsgrundlagen zum Rahmenbewilligungsgesuch

Bericht und Rechtsgrundlage	Inhalt und Beschreibung	Kapitel
Bericht zur Standortwahl Art. 62 KEV Enthält einen Vergleich der zur Auswahl stehenden Optionen hinsichtlich der Sicherheit des geplanten Tiefenlagers und eine Bewertung der für die Auswahl des Standorts ausschlaggebenden Eigenschaften.	Abfallzuteilung	4.1
	Abgrenzung einschlusswirksamer Gebirgsbereiche	4.2
	Konzept, Auslegung und Projektierung des geologischen Tiefenlagers	4.3
	Sicherheitsanalysen für den Standortvergleich	4.4
	Bewertung einschlusswirksamer Gebirgsbereiche anhand der 13 Kriterien zu Sicherheit und technischer Machbarkeit	4.5
	Vergleichende Gesamtbewertung und Standortwahl	4.6
Sicherheitsbericht Art. 23 KEV Beschreibt die Standorteigenschaften, den Zweck und die Grundzüge des Projektes, die voraussichtliche Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage, die wichtigen personellen und organisatorischen Angaben, und bei geologischen Tiefenlagern zudem die Langzeitsicherheit.	Sicherheitsnachweis für die Betriebsphase	5.1
	Sicherheitsnachweis für die Nachverschlussphase	5.2
	Eignungskriterien (Art. 14 KEG, Art. 63 KEV) sind auf der Grundlage des Sicherheitsnachweises für die Nachverschlussphase vorzuschlagen	5.3
	Der vorläufige Schutzbereich gemäss Art. 70 KEV ist auf der Grundlage des zur Bewilligung des Projekts vorgelegten Sicherheitsnachweises für die Nachverschlussphase vorzuschlagen	5.4
Sicherungsbericht Art. 23 KEV Beschreibt den Schutz der Kernanlagen und Kernmaterialien vor Sabotage, gewaltsamen Einwirkungen oder Entwendungen.	Klassifizierter Bericht	2.4
Nachweis der Entsorgung der anfallenden radioaktiven Abfälle Art. 23 KEV	Stilllegungsabfälle der Oberflächenanlagen, Prozessabfälle während des Betriebs. Kann als Teil des Sicherheitsberichts geführt werden	2.5
Konzept für die Überwachung & Beobachtungsphase ENSI-G03, Art. 23 KEV	Integrales Überwachungskonzept, das sich über alle Phasen der Realisierung geologischer Tiefenlager erstreckt (z. B. Nullmessungen, Umweltüberwachung, Beobachtungen im geologischen Tiefenlager)	2.6
Konzept für den Verschluss des Tiefenlagers Art. 23 KEV	Konzept für das Verfüllen und Versiegeln sämtlicher nach der Beobachtungsphase noch offenen Teile des geologischen Tiefenlagers	2.7
Argumentenbericht und Dokumentenstruktur Vorgabe ENSI	Fasst die wesentlichen Gründe und Schlussfolgerungen der Berichte für die Standortwahl und für die Sicherheit des Tiefenlagers zusammen. Er enthält auch den Dokumentenstrukturplan	2.1
Referenzberichte Vorgabe ENSI	Die Dokumentation zum Rahmenbewilligungsgesuch hat sich auf diese vorgängig eingereichten Referenzberichte zu stützen.	2.8
Umweltverträglichkeitsbericht Art. 23 KEV	Wird vom ENSI nicht geprüft	
Bericht über die Abstimmung mit der Raumplanung Art. 23 KEV	Wird vom ENSI nicht geprüft	

Nach Einreichen des Rahmenbewilligungsgesuchs soll die weitere Forschung und Entwicklung vor allem zur untertägigen Charakterisierung des Standorts durch erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag und für die Weiterentwicklung des Tiefenlagerprojekts (z. B. die Auslegung der Lagerelemente und der technischen Barrieren) genutzt werden, um den erforderlichen Kenntnisstand bis zum Baubewilligungsgesuch zu erreichen.

Für den Standortvergleich (Kap. 4) und für den Sicherheitsnachweis am gewählten Standort (Kap. 5.2) müssen die Entsorgungspflichtigen die Modelle und Parameter bei der Bewertung aller sicherheitstechnischen Aspekte konsistent und widerspruchsfrei verwenden.

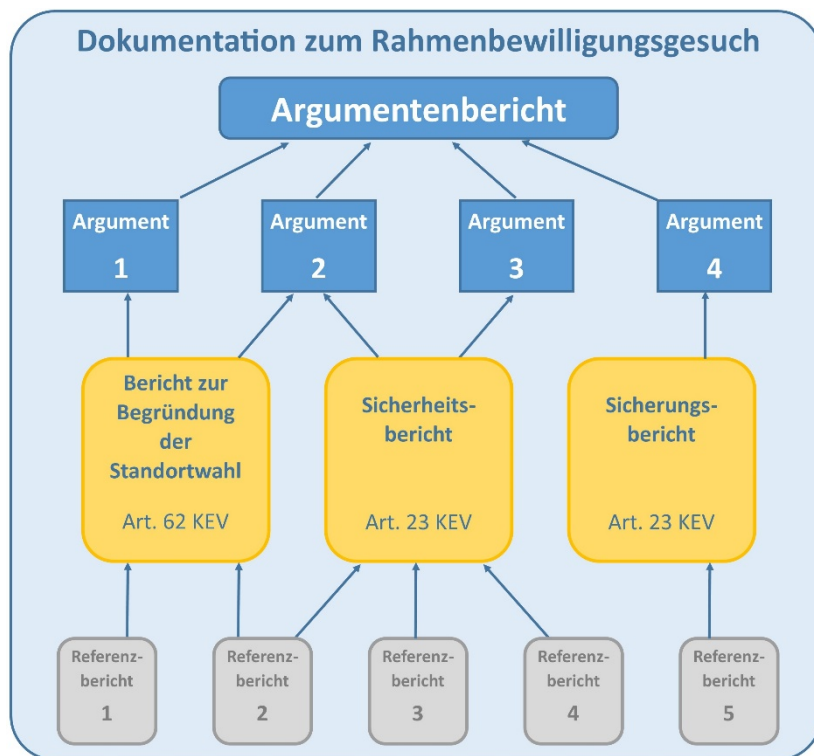
Für die Bewertung sicherheitstechnischer Aspekte sind konsistente, standortspezifische Lagerprojekte zu verwenden. Die Wirksamkeit notwendiger technischer Massnahmen (z. B. «Engineered Gas Transport System») und ihre Konsequenzen für die Langzeitsicherheit sind detailliert aufzuzeigen. Falls alternative Varianten einer Komponente der Lagerauslegung in Betracht gezogen werden (z. B. Zementverfüllung als Alternative zur Bentonitverfüllung in den HAA-Lagerstollen oder kupferbeschichtete Stahlbehälter anstatt Stahlbehältern für HAA), so sind alle davon betroffenen Aspekte der Sicherheit und technischen Machbarkeit zu diskutieren und mögliche sicherheitstechnische Konsequenzen für das Gesamtsystem aufzuzeigen. Die Ausführungen können im Bericht zur Begründung der Standortwahl und im Sicherheitsbericht für den gewählten Standort unterschiedlich detailliert sein. Es ist auf eine widerspruchsfreie Darstellung zu achten.

Die Prüfung der eingereichten Unterlagen des Gesuchstellers zum Rahmenbewilligungsgesuch durch das ENSI beruht auf den im Anhang I des Sachplans definierten 13 sicherheitstechnischen Kriterien, der Richtlinie ENSI-G03 und den in diesem Dokument weiter spezifizierten Vorgaben. Ein geologisches Tiefenlager muss die Auslegungsgrundsätze gemäss Art. 11 Abs. 2 KEV, die Vorgaben in Art. 64 bis 69 KEV sowie die Schutzkriterien für die Nachverschlussphase gemäss Richtlinie ENSI-G03 erfüllen. Das ENSI prüft zusätzlich die Unterlagen zum Rahmenbewilligungsgesuch anhand der folgenden Fragen:

1. Ist die Zuteilung der Abfälle auf die beiden Lagertypen SMA und HAA nachvollziehbar?
2. Ist das Vorgehen des Gesuchstellers bei der Erarbeitung des Standortvorschlags transparent und nachvollziehbar?
3. Hat der Gesuchsteller alle notwendigen geologischen Informationen für die Standortwahl und den gewählten Standort erhoben?
4. Sind die Resultate der Sicherheitsanalysen für den Standortvergleich nachvollziehbar?
5. Sind die Bewertungen der 13 sicherheitstechnischen Kriterien des Sachplans und die daraus abgeleitete gesamtheitliche Bewertung nachvollziehbar?
6. Kann das ENSI dem Standortvorschlag aus Sicht von Sicherheit und technischer Machbarkeit zustimmen?
7. Kann mit dem vorgeschlagenen geologischen Tiefenlager der dauernde Schutz von Mensch und Umwelt sichergestellt werden?
8. Sind die vom Gesuchsteller für den gewählten Standort hergeleiteten Eignungskriterien zweckmässig?
9. Ist der vom Gesuchsteller vorgeschlagene Schutzbereich im Hinblick auf die Gewährleistung der Langzeitsicherheit des geologischen Tiefenlagers zweckmässig?

2.1 Argumentenbericht und Dokumentenstruktur

Um die Argumente und Schlussfolgerungen des Gesuchstellers besser nachvollziehen zu können, sollen sie in Referenzberichten hergeleitet und in hierarchisch höheren Berichten zusammengefasst und referenziert (Referenzbericht inkl. Seitenzahl) werden.



Figur 2: Beispielhafte Darstellung für den Zusammenhang ausgewählter Berichte des Rahmenbewilligungsgesuchs

Neben den gemäss Art. 23 und Art. 62 KEV vorzulegenden Dokumenten ist auch ein zusammenfassender Argumentenbericht einzureichen, in dem die wesentlichen Argumente und Schlussfolgerungen nachvollziehbar zusammengefasst sind. Alle Referenzberichte werden im Dokumentenstrukturplan (Teil des Argumentenberichts) ausgewiesen und ihre Verbindungen zu den einzureichenden Berichten aufgezeigt.

In Etappe 2 wurde von verschiedenen Stellungnehmenden (z. B. KNS, EGT, AG SiKa/KES und ESchT) empfohlen, die Dokumentenstruktur respektive die Art des Referenzierens in den Berichten für Etappe 3 zu verbessern. Deshalb ist vom Gesuchsteller mit dem Rahmenbewilligungsgesuch ein Argumentenbericht einzureichen. Dieser fasst die wesentlichen Gründe und Schlussfolgerungen der Berichte für die Standortwahl (Art. 62 KEV) und für die Sicherheit des Tiefenlagers (Art. 23 KEV) zusammen (Figur 2).

Der Argumentenbericht enthält auch einen Dokumentenstrukturplan. Dieser zeigt auf, welche Themen in welchen Berichten dokumentiert sind und wie die Berichte hierarchisch einander zugeordnet sind. Im Dokumentenstrukturplan sind alle relevanten Referenzberichte aufzuführen.

2.2 Bericht zur Begründung der Standortwahl

Gemäss Sachplan wird ein Bericht zur Begründung der Standortwahl verlangt (BFE 2011, S. 50). Die Entsorgungspflichtigen haben in diesem Bericht das Ergebnis des sicherheitstechnischen Vergleichs und die Standortwahl eines Tiefenlagers zu begründen. Sie haben gemäss Art. 62 Bst. a und b KEV einen Vergleich der zur Auswahl stehenden Optionen hinsichtlich der Sicherheit des geplanten Tiefenlagers durchzuführen und eine Bewertung der für die Auswahl des Standortes ausschlaggebenden Eigenschaften vorzunehmen. Die Vorgaben für den Standortvergleich werden in Kap. 4 dargelegt.

2.3 Sicherheitsbericht

Der Gesuchsteller hat für den gewählten Standort gemäss Art. 23 KEV einen Sicherheitsbericht einzureichen, aus dem die Standorteigenschaften, der Zweck und die Grundzüge des Projektes, die

voraussichtliche Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage, die wichtigen personellen und organisatorischen Angaben sowie die Langzeitsicherheit hervorgeht. Vorgaben für den Sicherheitsbericht und den Sicherheitsnachweis für die Betriebsphase und die Nachverschlussphase werden in Kap. 5.1 und 5.2 dargelegt.

Es bestehen Verbindungen zum Bericht zur Begründung der Standortwahl (Kap. 2.2). Die Ausführungen können in beiden Berichten unterschiedlich detailliert sein. Es ist auf eine widerspruchsfreie Darstellung zu achten.

2.4 Sicherungsbericht

Der Gesuchsteller hat für den gewählten Standort nach Art. 23 KEV einen Sicherungsbericht einzureichen. Gemäss Art. 9 KEV muss der Schutz von Kernanlagen und Kernmaterialien vor Sabotage, gewaltsamen Einwirkungen oder Entwendung auf einer in die Tiefe gestaffelten Abwehr beruhen, welche bauliche, technische, organisatorische, personelle und administrative Massnahmen beinhaltet. Die Grundsätze für die Sicherungszonen und -schranken sowie für den Schutz der Kernanlagen, Kernmaterialien und radioaktiven Abfälle sind in Anhang 2 KEV festgelegt.

Durch die Sicherung soll gewährleistet werden, dass die zur Rückhaltung von radioaktiven Stoffen vorgesehenen Barrieren bei unbefugten Einwirkungen soweit geschützt bleiben, dass eine unzulässige Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Umgebung mit ausreichender Sicherheit ausgeschlossen werden kann. Durch Sicherungsmassnahmen ist Kernmaterial vor Entwendung soweit zu schützen, dass die von der Schweiz eingegangenen internationalen Verpflichtungen hinsichtlich des kontrollierten Umgangs mit spaltbarem Material erfüllt werden können.

Für den Nachweis der Sicherung sowie bezüglich Vorkehrungen zur Kontrolle von spaltbaren Materialien gelten die Verordnung des UVEK (2008) über die Gefährdungsannahmen und Sicherungsmassnahmen für Kernanlagen und Kernmaterialien, die Safeguardsverordnung sowie die Vorgaben der Richtlinie ENSI-A10. Der Sicherungsnachweis ist in einem zu klassifizierenden Sicherungsbericht gemäss den Vorgaben der Aufsichtsbehörden (BFE und ENSI) zu dokumentieren. Der Inhalt des Sicherungsberichtes für die Rahmenbewilligung kann stufengerecht aus der Richtlinie ENSI-G09, Kap. 6.2 entnommen werden. Hierzu können auch die Gutachten des ENSI zu den Rahmenbewilligungsgesuchen für EKKM, EKKB und KKN (ENSI 16/10; ENSI 13/10; ENSI 18/12) herangezogen werden.

2.5 Nachweis für die Entsorgung der anfallenden radioaktiven Abfälle

Der Entsorgungsnachweis der einzulagernden Abfälle wurde für SMA am 3. Juni 1988 und für HAA am 28. Juni 2006 durch den Bundesrat bestätigt. Gemäss Art. 13 KEG und Art. 23 KEV hat der Gesuchsteller für den gewählten Standort aufzuzeigen, dass auch für diejenigen radioaktiven Abfälle, die neu innerhalb des mit der Rahmenbewilligung beantragten Projekts anfallen (z. B. Prozessabfälle während des Betriebs, Stilllegungsabfälle der Oberflächenanlagen), in einem geologischen Tiefenlager entsorgt werden können. Der Nachweis für die Entsorgung der anfallenden radioaktiven Abfälle kann als Teil des Sicherheitsberichts geführt werden.

2.6 Konzept für die Überwachung und die Beobachtungsphase

Der Gesuchsteller hat mit dem Rahmenbewilligungsgesuch für den gewählten Standort ein integrales Konzept für die Überwachung einzureichen. Dieses erstreckt sich über alle Phasen der Realisierung eines geologischen Tiefenlagers (inkl. Beobachtungsphase) und umfasst die relevanten Aspekte der Überwachung. Das integrale Überwachungskonzept hat die Vorgaben in der Richtlinie ENSI-G03 zu berücksichtigen. Für die Überwachung in den verschiedenen Phasen ist begründet darzulegen, welche

Prozesse und Parameter wichtig sind und wie diese zu erfassen sind. Im Konzept ist die geplante Archivierung der genommenen Proben und gesammelten Daten darzustellen.

Die Nullmessung für ein geologisches Tiefenlager muss rechtzeitig vor Inangriffnahme der Untertagebauwerke aufgenommen werden, damit für die Beweissicherung genügend aussagekräftige Daten zur Verfügung stehen. Daher ist für jeden Parameter die geeignete Messmethodik, die notwendige räumliche und zeitliche Dichte an Daten, der benötigte Zeitbedarf bis zum Erreichen einer geeigneten Zeitreihe sowie der daraus abgeleitete Beginn der Messungen zu diskutieren. Darüber hinaus hat der Gesuchsteller darzulegen, ob und wie bisherige Untersuchungen zur detaillierten Standortcharakterisierung in der Phase nach der Einreichung des Rahmenbewilligungsgesuchs z. B. für Langzeit- oder Nullmessungen genutzt werden.

2.7 Konzept für die Stilllegung der Oberflächeninfrastruktur und für den Verschluss des Tiefenlagers

Das Konzept für die Stilllegung der Oberflächeninfrastruktur und das Konzept für den Verschluss eines geologischen Tiefenlagers sind gestützt auf Art. 23 KEV mit dem Rahmenbewilligungsgesuch für den gewählten Standort einzureichen.

Mit dem Verschluss ist das geologische Tiefenlager in einen Zustand zu überführen, in welchem keine weiteren Massnahmen zur Gewährleistung der Langzeitsicherheit erforderlich sind. Der Verschluss umfasst das Verfüllen sämtlicher nach der Beobachtungsphase noch offener Teile des geologischen Tiefenlagers, das Überführen des Pilotlagers in einen langfristig sicheren Zustand und das Versiegeln der für die Langzeitsicherheit und die Sicherung massgebenden Teile (Art. 69 KEV).

Die Entsorgungspflichtigen haben die Vor- und Nachteile sowie den Aufwand verschiedener Varianten für den Verschluss des Tiefenlagers im Rahmen des Entsorgungsprogramms 2021 aus Sicht der Langzeitsicherheit, Betriebssicherheit und Möglichkeit einer Rückholung ohne grossen Aufwand zu diskutieren und zu bewerten (ENSI 33/592, A.3). In diesem mit dem Rahmenbewilligungsgesuch einzureichenden Konzept zum Verschluss des geologischen Tiefenlagers ist die bevorzugte Verschlussvariante zu begründen.

2.8 Referenzberichte

Viele Untersuchungen (3D-Seismik, Sondierbohrungen, Laboruntersuchungen, etc.) werden abgeschlossen sein, lange bevor das Rahmenbewilligungsgesuch eingereicht wird. Die Entsorgungspflichtigen haben dem ENSI per Ende 2019 ein Konzept einzureichen aus dem hervorgeht, zu welchem Zeitpunkt Referenzberichte zu abgeschlossenen Untersuchungen (Geochemie, Geologie, Geotechnik, etc.) beim ENSI vorgängig eingereicht werden. Die Dokumentation zum Rahmenbewilligungsgesuch hat sich auf diese vorgängig eingereichten Referenzberichte zu stützen.

Für die bautechnische Projektierung der Untertagebauwerke existiert eine bewährte Praxis mit zahlreichen Normen: Mit dem per Ende 2019 einzureichenden Konzept zu den Referenzberichten haben die Entsorgungspflichtigen dem ENSI zusätzlich einen Entwurf der Dokumentstruktur des bautechnischen Dossiers in Anlehnung an SIA 197 einzureichen. Diese umfasst Unterlagen wie u.a. Nutzungsvereinbarung, Projektbasis, geologische und hydrogeologische Berichte, geotechnische Berichte, technischer Bericht, statische Berechnungen und Pläne. Standortunabhängige Aspekte sind übergeordnet zu betrachten und vorzugsweise separat zu dokumentieren. Auf die standortspezifischen Aspekte der geologischen Standortgebiete ist gesondert einzugehen. In der Dokumentation für das bautechnische Dossier sind die standortspezifischen geologischen und hydrogeologischen Grundlagen gemäss SIA 199 zu erfassen und die Beschreibung und die Beurteilung des Gebirges klar zu trennen. Vorgaben der standortspezifischen Projektierung sind in Kap. 4.3 des vorliegenden Dokuments aufgeführt.

3 Vorgaben für die erdwissenschaftlichen Untersuchungen

Bevor ein Standort für die Einreichung eines Rahmenbewilligungsgesuchs gewählt wird, müssen die geologischen Kenntnisse von den Entsorgungspflichtigen auf einen Stand gebracht werden, der einen Vergleich der in Etappe 3 verbliebenen Standortgebiete aus sicherheitstechnischer Sicht aufgrund verifizierter standortbezogener Daten ermöglicht (BFE 2011, S. 50). Dazu sind die Kenntnisse der Standorte mit erdwissenschaftlichen Untersuchungen für den Standortvergleich zu ergänzen. Die Bewilligungspflicht für erdwissenschaftliche Untersuchungen ist in Art. 35 KEG, respektive Art. 61 KEV geregelt.

Im Rahmen der Etappe 2 wurden von den Entsorgungspflichtigen Konzepte der Standortuntersuchungen für die geologischen Standortgebiete Jura Ost, Nördlich Lägern und Zürich Nordost erstellt (NAB 14-83; NAB 16-28). Darin wurden die standortspezifischen Untersuchungsziele bis zum Rahmenbewilligungsgesuch sowie die dazu notwendigen Untersuchungsmethoden und -mittel dargelegt. Zu den Untersuchungsmethoden zählen u. a. Sondierbohrungen, seismische Messungen, sowie weitere Untersuchungen von der Geländeoberfläche aus (Gravimetrie, Geoelektrik, Kartierungen etc.). Die vorgelegten Konzepte wurden vom ENSI in seinem Gutachten zur Etappe 2 (ENSI 33/540, S. 260) als zielführend beurteilt.

Bezüglich des Umfangs der erdwissenschaftlichen Untersuchungen ist zu gewährleisten, dass der zu erreichende Kenntnisstand die Durchführung der Sicherheitsanalysen für den Standortvergleich (Kap. 4.4), die Bewertung der 13 sicherheitstechnischen Kriterien (Kap. 4.5, Kap. 4.6) und die Erbringung des Sicherheitsnachweises (Kap. 5.1 und 5.2) mit belastbaren Argumenten erlaubt. Die nach den erdwissenschaftlichen Untersuchungen nicht weiter reduzierbaren Ungewissheiten sind systematisch auszuweisen und ihr sicherheitstechnischer Einfluss ist zu bewerten.

Neben den im vorliegenden Dokument genannten Vorgaben verweist das ENSI auf zusätzliche, spezifische Hinweise zu einzelnen erdwissenschaftlichen Untersuchungen in seinen Gutachten zu den Sondiergesuchen in den drei Standortgebieten (ENSI 33/568 bis 33/583 und ENSI 33/622 bis 33/627), seinem Gutachten zu Etappe 2 (ENSI 33/540) und seiner Stellungnahme zum Entsorgungsprogramm 2016 (ENSI 33/593; ENSI 33/592).

3.1 Seismische Untersuchungen

Seismische Untersuchungen sind nach Art. 61 Abs. 1 Bst. a KEV von der Bewilligungspflicht ausgenommen. Von den Entsorgungspflichtigen wurden von 2015 bis 2017 3D-seismische Messungen in den Standortgebieten ausgeführt. Im Standortgebiet Zürich Nordost wurden dabei nicht flächendeckend, sondern lediglich ergänzend zur bestehenden 3D-Seismik von 1997 Daten aufgenommen. Im Hinblick auf die Auswertung der seismischen Untersuchungen haben die Entsorgungspflichtigen aufzuzeigen, dass die zwei unterschiedlichen 3D-seismischen Datensätze im Standortgebiet Zürich Nordost hinsichtlich ihrer Aussagekraft für den Standortvergleich kompatibel und belastbar sind. Ausserdem haben die Entsorgungspflichtigen die 3D-seismischen Datensätze in jedem Standortgebiet mit Tiefbohrungen zu kalibrieren. Zusammen mit den Befunden aus den Tiefbohrungen ist in allen Standortgebieten auf der Basis der Ergebnisse der 3D-seismischen Messungen eine standortgebietspezifische Abklärung der tektonischen Zergliederung vorzunehmen.

3.2 Sondierbohrungen

Sondierbohrungen sind bewilligungspflichtige erdwissenschaftliche Untersuchungen gemäss Art. 35 KEG. In Etappe 3 wird unterschieden zwischen Quartärbohrungen (QBO) und Tiefbohrungen (TBO). QBO dienen hauptsächlich der Untersuchung der quartären Lockergesteinsbedeckung und erreichen

den einschlusswirksamen Gebirgsbereich (EG) nicht. Sie können auch ausserhalb der geologischen Standortgebiete platziert sein. TBO tangieren die geologischen Einheiten des EG innerhalb der Standortgebiete.

Da die kernenergierechtlichen Bewilligungsverfahren zu den TBO unabhängig voneinander geführt werden und nicht sämtliche erteilten Bewilligungen in Anspruch genommen werden müssen, haben die Entsorgungspflichtigen vor Durchführung der ersten TBO dem ENSI einen Bericht zur schrittweisen Umsetzung der in den Konzepten der Standortuntersuchungen (NAB 14-83; NAB 16-28) dargelegten Untersuchungsziele einzureichen. Der Bericht hat die standortspezifischen Konzepte soweit zu konkretisieren, dass der beabsichtigte Ablauf der Standortuntersuchungen mittels TBO bis zum Erreichen des Kenntnisstands für das Rahmenbewilligungsgesuch nachvollziehbar dargelegt ist. Die Entsorgungspflichtigen haben bei der Konkretisierung des Tiefbohrprogramms die Ergebnisse der 3D-Seismik zu berücksichtigen. Um auf den sich entwickelnden Kenntnisstand sowie auf Unvorhergesehenes angemessen reagieren zu können, ist der Bericht zu aktualisieren. Abweichungen vom dargelegten Ablauf der Standortuntersuchungen sind dem ENSI darzulegen.

Die Entsorgungspflichtigen haben zur Ergänzung des Kenntnisstands eine genügende Anzahl an Tiefbohrungen, inkl. geowissenschaftlichem Untersuchungsprogramm auszuführen, um Daten zu gewinnen, die belastbare Aussagen standort- und lagertypspezifisch ermöglichen. Die notwendige Anzahl an TBO hat sich dabei an der natürlichen Heterogenität und der Grösse des zu charakterisierenden Raums im Untergrund zu orientieren. Die erforderliche Datenqualität hat sich an der Relevanz des jeweiligen Datensatzes für die Sicherheit des geologischen Tiefenlagers zu orientieren. Sicherheitsrelevante Daten müssen mehrfach erhoben werden. Nach Möglichkeit sollten diese durch diversitäre Methoden gleicher oder gleichwertiger Parameter gewonnen werden.

Tiefbohrungen mit Kerngewinnung (Kernbohrungen) sind in einem Umfang durchzuführen, dass mindestens die Barrierenwirkung potenzieller Wirt- und Rahmengesteine beurteilt und daraus der EG abgegrenzt werden kann (Kap. 4.2) und dass für mögliche Lagerebenen belastbare geomechanische Datensätze im Hinblick auf die bautechnischen Risikoanalysen sowie auf die Entwicklung der Lagerprojekte für die Untertagebauwerke (Kap. 4.3) erhoben werden können. Proben entlang der Bohrpfade sind in allen potenziell sicherheitsrelevanten geologischen Einheiten ausreichend dicht zu gewinnen.

Zur Erfassung der bautechnisch relevanten Gebirgseigenschaften und geomechanischen Parameter sind auch für die Gesteine oberhalb des EG standortgebietsspezifisch belastbare geomechanische Datensätze für die bautechnischen Risikoanalysen (Bewertung des Kriteriums 4.2, vgl. Kap. 4.3) zu erheben.

3.3 Untersuchungen zu Hebung und Erosion

Das sicherheitstechnische Kriterium 2.2 legt fest, wie der Einfluss der Erosion zu beurteilen ist. Gemäss diesem Kriterium sind die massgeblichen Faktoren und Prozesse zu betrachten (Tiefenlage des Lagers, Hebungsrates, Erosionsrate und glaziale Tiefenerosion), die zu einer Beeinträchtigung der Barrierenwirkung des Wirtgesteins bzw. des EG (Verringerung der Gesteinsüberdeckung, Auflockerung des Wirtgesteins und Erhöhung der hydraulischen Durchlässigkeit) oder zu einer Freilegung des Lagers innerhalb des Betrachtungszeitraums führen könnten. Hinsichtlich der Relevanz für die Sicherheit ist eine Situation als günstig einzustufen (geringe Erosion und/oder grosse Tiefenlage), bei der die Barrierenwirkung des Wirtgesteins nicht oder möglichst spät im Betrachtungszeitraum beeinträchtigt wird.

Die laterale und vertikale Lagerplatzierung innerhalb des EG hat sich an den im Betrachtungszeitraum in den Standortgebieten zu erwartenden Hebungs- und Erosionsprozessen sowie an deren Raten zu orientieren. Darüber hinaus ist die regionale Landschaftsentwicklung zu berücksichtigen. Die Entsorgungspflichtigen haben dazu den Kenntnisstand bezüglich der Aspekte Hebung, Erosion und Neotektonik zu vertiefen. Insbesondere sind die Kenntnisse zur Entwicklung der lokalen Erosionsbasis sowie

zu Tiefgang, Genese und Alter der glazial übertieften Rinnen in den Standortgebieten sowie deren Umgebung zu ergänzen.

3.4 Erdwissenschaftliche Untersuchungen für den gewählten Standort

Die Ergebnisse der erdwissenschaftlichen Untersuchungen müssen zeigen, dass die Voraussetzungen für die Erteilung der Rahmenbewilligung für den gewählten Standort gemäss Art. 13 KEG erfüllt sind, d. h. die Untersuchungen müssen die Eignung des Standorts bestätigen. Ein wesentlicher Aspekt ist dabei der Nachweis der Langzeitsicherheit nach dem Verschluss des geplanten Tiefenlagers (BFE 2011, Anhang IV). Zusätzlich müssen für den gewählten Standort die zu erhebenden Daten eine Projektierung der Zugangsbauwerke zulassen, um mögliche Varianten der Zugangstrassen aufzuzeigen.

4 Sicherheitstechnische Vorgaben für den Standortvergleich

Kapitel 4 enthält die Vorgaben für den sicherheitstechnischen Vergleich der in Etappe 3 weiter zu untersuchenden Standortgebiete. Für die Beurteilung der Langzeitsicherheit sind insbesondere die Wirksamkeit und die Langzeitstabilität der geologischen Barriere sowie die Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen massgebend. Beschrieben werden die Vorgaben zur Abfallzuteilung (Kap. 4.1), zur Abgrenzung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (EG, Kap. 4.2), zu Konzept, Auslegung und Projektierung des geologischen Tiefenlagers (Kap. 4.3), zu Sicherheitsanalysen für den Standortvergleich (Kap. 4.4), zur Bewertung des EG anhand der 13 Kriterien zu Sicherheit und technischer Machbarkeit (Kap. 4.5) sowie zur vergleichenden Gesamtbewertung und Standortwahl (Kap. 4.6).

4.1 Abfallzuteilung

Der Sachplan sieht zwei geologische Tiefenlager vor: ein Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA) und ein Lager für hochaktive Abfälle (HAA). Da die Anforderungen an einen Lagerstandort auch vom vorgesehenen Lagerinhalt abhängen, mussten die Entsorgungspflichtigen die Abfälle den beiden Lagertypen SMA und HAA bereits als ersten Schritt in Etappe 1 zuteilen (BFE 2011, S. 13). Gemäss Art. 14 KEG werden in der Rahmenbewilligung u.a. die Kategorien des Lagergutes und die maximale Lagerkapazität festgelegt.

Das modellhafte Inventar für radioaktive Materialien (MIRAM) ist für das Rahmenbewilligungsgesuch durch die Entsorgungspflichtigen zu aktualisieren und zu dokumentieren. Dieses aktualisierte MIRAM ist sowohl für den Standortvergleich (Kap. 4) als auch für den Sicherheitsnachweis für den gewählten Standort (Kap. 5) und für alle Berechnungen in den Sicherheitsanalysen (z. B. Radionuklidtransport; Gastransport) und der qualitativen Bewertung konsistent zu verwenden. Anpassungen und Unterschiede im aktualisierten MIRAM im Vergleich zum vom ENSI zuletzt geprüften MIRAM wie z. B. unterschiedliche Abfallsorten sind zu erläutern.

Die Abfallzuteilung muss sowohl für den Standortvergleich als auch für den Sicherheitsnachweis für den gewählten Standort konsistent verwendet werden. Die Entsorgungspflichtigen müssen zeigen, dass die gewählte Abfallzuteilung, beispielsweise mit der Methodik wie in Etappe 1 (NTB 08-05), sicherheitsgerichtet ist. Die Auswirkungen alternativer Abfallzuteilungen auf die Standortwahl sind aufzuzeigen. Dazu haben sie beispielsweise die sicherheitsrelevanten Konsequenzen der Abfallzuteilung unter Berücksichtigung eines standortspezifischen und auf diese Abfallzuteilung angepassten Lagerkonzepts (z. B. grösserer Platzbedarf) aufzuzeigen. Die Entsorgungspflichtigen haben ausserdem zu prüfen, ob die in Etappe 1 hergeleiteten Betrachtungszeiträume für das SMA- und das HAA-Lager (ENSI 33/070, S. 53) angepasst werden müssen.

4.2 Einschlusswirksamer Gebirgsbereich

Gemäss BFE 2011, S. 89, ist der einschlusswirksame Gebirgsbereich (EG) der Teil der geologischen Barrieren, der bei erwarteter Entwicklung des geologischen Tiefenlagers für den Betrachtungszeitraum im Zusammenwirken mit technischen Barrieren den Einschluss und die Rückhaltung der im Abfall enthaltenden radioaktiven Stoffe sicherstellt. Der EG umschliesst untertägige Teile des Lagers (Lagerkammern, Teile der Zugangsbauwerke, etc.) und ist lateral und vertikal in geeigneter Tiefenlage abzugrenzen.

Der EG kann sich z. B. durch folgende Merkmale auszeichnen:

- Innerhalb des EG ist die Diffusion der massgebende Transportprozess gegenüber der Advektion.
- Unabhängige Evidenzen zeigen die Langzeitisolation z. B. anhand durchgängiger Diffusions- und Druckprofile, des Zustands organischer Substanz oder chemischer Signaturen in Kluffüllungen und Porenräumen (z. B. fossiles Meerwasser).
- Die Selbstabdichtung und das Rückhaltevermögen sind wirksam (Tonmineralgehalt und mineralogische Zusammensetzung).
- Der EG befindet sich in einer geeigneten Tiefe hinsichtlich minimaler (Dekompaktion, Erosion etc.) und maximaler Tiefenlage (Geomechanik, Konsolidation, Gesteinsfestigkeit etc.).

Eine Bewertung des Wirtgesteins ohne Rahmengesteine war in den Etappen 1 und 2 sinnvoll, um z. B. anhand von Sammelprofilen geeignete Gesteine und Gebiete in der gesamten Schweiz für geologisch-tektonische Grossräume herausfiltern zu können, ausgehend von den in Literatur und geologischen Karten gebräuchlichen Bezeichnungen (z. B. Opalinuston). Mit zunehmend konkreter werdenden Standortoptionen und der Bevorzugung des Opalinustons als Wirtgestein ist im Hinblick auf die Standortwahl in Etappe 3 die standortspezifische Barrierenfunktion des EG mit seiner räumlichen Ausdehnung zu bewerten. In Etappe 3 sind die Sicherheitsanalysen für den Standortvergleich (Kap. 4.4) und die Bewertungen der 13 Kriterien zu Sicherheit und bautechnischer Machbarkeit (siehe Kap. 4.5) auf den EG zu beziehen. Ausnahmen sind zu begründen: Für einzelne Kriterien (z. B. «Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen», «Lagerbedingte Einflüsse») mit ausschliesslicher Wirkung im Nahfeld (technische Barrieren und vom Lager mechanisch-chemisch beeinflusster Wirtgesteinsbereich) kann der Bezug auf das Wirtgestein weiterhin sinnvoll sein. Des Weiteren beziehen sich einzelne Kriterien und Indikatoren (z. B. Nutzungskonflikte, Seismizität) auf den umgebenden geologisch-tektonischen Grossraum.

4.2.1 Räumliche Abgrenzung des EG

Die Entsorgungspflichtigen haben basierend auf dem erweiterten Kenntnisstand je Standortgebiet und je Lagertyp mindestens einen EG für den Standortvergleich vorzuschlagen und zu begründen, wie raumwirksame Elemente in dessen Abgrenzung eingeflossen sind. Sie haben dazu für jeden EG den mindestens erforderlichen Platzbedarf für die Anordnung der untertägigen Teile des Lagers im EG zu ermitteln. Im mindestens erforderlichen Platzbedarf sind die bestehenden Ungewissheiten (z. B. bezüglich des verpackten Abfallvolumens, der geologischen und der geomechanischen Eigenschaften des Wirtgesteins) standortspezifisch enthalten. Der mindestens erforderliche Platzbedarf muss genügend Platz für die Flexibilität bei der Lagerauslegung sicherstellen, sodass lokale, geologische oder geotechnische Schwierigkeiten (z. B. Störungszonen) das Lagerprojekt nicht gefährden. Die EG in den Standortgebieten sind gross genug zu wählen, sodass der mindestens erforderliche Platzbedarf vorhanden ist (vgl. Figur 3).

Aus Sicht der Langzeitsicherheit ist es vorteilhaft, wenn die sicherheitstechnischen Eigenschaften des EG eine möglichst geringe Variabilität aufweisen. Für eine sicherheitstechnische Optimierung des Tiefenlagers sind weitere Platzreserven, die über den mindestens erforderlichen Platzbedarf hinausgehen, von Vorteil (vgl. Figur 3).

Mindestanforderungen, verschärfte Anforderungen in Etappe 1 und zusätzliche Optimierungsanforderungen in Etappe 2 waren Instrumente, um aus einer grossen Anzahl die weniger geeigneten Optionen zurückstellen zu können. Sie müssen in dieser Form nicht mehr verwendet werden, da in Etappe 3 aus nur drei Standortgebieten je Lagertyp ein Standort zu wählen ist. Ein Verzicht auf diese Anforderungen in Etappe 3 führt zu keiner Minderung der Sicherheit, da sowohl Sicherheitsanalysen für den Standortvergleich (Kap. 4.4) als auch der Sicherheitsnachweis für den gewählten Standort (Kap. 5) zu führen sind.

Platzangebot



Figur 3: Schematische Darstellung des mindestens erforderlichen Platzbedarfs, Platzreserven und Platzangebot

Bei der Abgrenzung der EG für ein SMA-Lager ist zu beachten, dass der verfügbare untertägige Raum durch die Platzierung des für das HAA-Lager gewählten EG inklusive seiner für den Standortvergleich verwendeten Platzreserven eingeschränkt wird (Kap. 4.6).

4.2.2 Vertikale Abgrenzung des EG

Zur vertikalen Abgrenzung einschliesswirksamer geologischer Schichten ist der Kenntnisstand für die oberen und unteren Rahmengesteine zu vertiefen, um den EG belastbar abzugrenzen und dessen aktuelle und langzeitliche Barrierenwirkung bewerten zu können. Dazu sind die in den Gutachten und Stellungnahmen des ENSI dokumentierten Beurteilungen hinsichtlich hydraulischer und hydrochemischer Datensätze für die mineralogische Zusammensetzung und Fazies (ENSI 33/540, S. 87, 109, 212), der hydraulischen Wirkung (ENSI 33/540, S. 91), der Porosität (ENSI 33/540, S. 99), der Porenwasserzusammensetzung (ENSI 33/540, S. 99, ENSI 33/593, E.20) und der Diffusionskoeffizienten (ENSI 33/540, S. 116) zu beachten. Dies gilt insbesondere für die in Etappe 2 als «harte Bänke» bezeichneten, potenziell wasserführenden Einheiten (s. u.). Beobachtete Ablagerungen auf Störungsflächen sind unter Berücksichtigung der lithologischen Variabilitäten mineralogisch zu charakterisieren und ggf. zu datieren.

In Etappe 2 wurden von der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) vor allem die sog. «harten Bänke» als potenzielle Schichtgrenzen des EG identifiziert. Das ENSI konnte dieses Konzept nachvollziehen, verlangte jedoch eine detaillierte Abklärung der unter dem konzeptuellen Sammelbegriff der «harten Bänke» subsumierten, hinsichtlich ihrer Genese, Mächtigkeit und lateralen Ausdehnung / Verzahnung unterschiedlichen geologischen Einheiten (ENSI 33/540, S. 91), welche dementsprechend unterschiedlich hydraulisch wirksam sein können. Dazu ist insbesondere das Auftreten dieser geologischen Einheiten zu dokumentieren, lithologisch zu charakterisieren und aufgrund der Charakterisierung ein genetisches Modell für ihre Entstehung abzuleiten, um daraus Aussagen zu ihrer lateralen Ausdehnung vorzunehmen.

4.3 Konzept, Auslegung und Projektierung des geologischen Tiefenlagers

4.3.1 Konzept und Auslegung des geologischen Tiefenlagers

Ein geologisches Tiefenlager ist so auszulegen, dass der dauernde Schutz von Mensch und Umwelt gewährleistet ist (Art. 3 KEG; Schutzziel gemäss ENSI-G03) und dass die Grundsätze für die Auslegung von Kernkraftwerken in Art. 10 Abs. 1 KEV sinngemäss erfüllt werden. Zudem ist gemäss Art. 11 KEV die Langzeitsicherheit durch gestaffelte passive Sicherheitsbarrieren zu gewährleisten. Vorkehrungen zur Erleichterung von Überwachung und Reparaturen des Lagers oder zur Rückholung der Abfälle dürfen die passiven Sicherheitsbarrieren nach dem Verschluss des Lagers nicht beeinträchtigen. Gemäss Sachplan erarbeiten die Entsorgungspflichtigen, abgestimmt auf die bautechnische Machbarkeit, Vorschläge zur Anordnung und Ausgestaltung der notwendigen Oberflächeninfrastruktur und ordnen die untertägigen Teile des Lagers an.

Grundlage für die Auslegung eines Tiefenlagers ist das Vorliegen eines sicherheitstechnisch geeigneten Lagerkonzepts. Dieses umfasst das Einlagerungskonzept, das bezüglich Langzeitsicherheit optimierte Barrierenkonzept mit dem Mehrfachbarrierensystem aus natürlichen und technischen Barrieren, ein Konzept für die Untertagebauwerke, sowie weitere Vorgaben (z. B. vollständiger Einschluss der radioaktiven Stoffe während 1000 Jahre in Lagerbehältern für hochaktive Abfälle). Für den Standortvergleich ist das Lagerkonzept basierend auf dem aktuellen, gegenüber Etappe 2 erweiterten Kenntnisstand zu überprüfen und gegebenenfalls zu aktualisieren. Bei der lateralen und vertikalen Lagerplatzierung innerhalb des EG sind fazielle Variationen und das Rückhaltevermögen der enthaltenen Gesteinsbereiche zu berücksichtigen.

Für die im Standortvergleich verwendeten EG sind aus dem Lagerkonzept standortspezifische Lagerauslegungen zu entwickeln, in denen die Aspekte von Bau, Betrieb, Rückholung ohne grossen Aufwand, Verschluss und Langzeitsicherheit angemessen berücksichtigt werden. Basis dafür bildet das aktualisierte Gesamtbild der Eigenschaften und Prozesse in den jeweiligen EG. Falls für den Standortvergleich Varianten einer Komponente der Lagerauslegung berücksichtigt werden (z. B. Zementverfüllung als Alternative zur Bentonitverfüllung in den HAA-Lagerstollen oder kupferbeschichtete Stahlbehälter als Tiefenlagerbehälter anstatt von Stahlbehältern für HAA, verschiedene Zwischensiegeltypen in den HAA-Lagerstollen), so sind alle davon betroffenen Aspekte der Sicherheit und technischen Machbarkeit zu diskutieren und die sicherheitstechnischen Konsequenzen für das Gesamtsystem aufzuzeigen. Für die Langzeitsicherheit relevante Komponenten der Lagerauslegung sind zu optimieren und deren Wahl zu begründen.

4.3.2 Projektierung der untertägigen Bauwerke

Das Lagerkonzept und die Lagerauslegung stellen die Basis für die Lagerprojektierung dar. Zur Begründung der Standortwahl sind standortspezifische Projekte je nach Lagertyp für die zum Vergleich herangezogene EG (Kap. 4.2) auf Stufe Vorprojekt in Anlehnung an die Normen SIA 112 und SIA 197 vorzulegen. Die in dieser Projektstufe verfolgten Teilziele und anfallenden Leistungen gemäss SIA-Normen (vgl. SIA 197, Anhang B) sind für ein Tiefenlager von den Entsorgungspflichtigen aufgrund ihrer projektspezifischen Vorgaben zu bestimmen.

Die Regeln, Bestimmungen und Grundsätze der einschlägigen SIA-Normen für das Erfassen des Gebirges sowie für die Projektierung, Ausführung und die Erhaltung von Untertagebauwerken und Tragwerken sind zu beachten. Die Norm SIA 197 ist für die untertägigen Bauwerke des Tiefenlagers sinngemäss anwendbar.

Als Grundlage der Projektierung von Untertagebauwerken ist eine Nutzungsvereinbarung zu erstellen. Die Entsorgungspflichtigen müssen die tiefenlagerspezifischen Nutzungsanforderungen aus Bau, Betrieb, Bauwerkserhaltung, Rückholbarkeit der Abfälle, Lagerverschluss und Langzeitsicherheit für die

Projektierung der Untertagebauwerke lagertypspezifisch festlegen und begründen. Gegenseitige Abhängigkeiten und sich widersprechende Anforderungen zwischen diesen Nutzungsanforderungen sind zu berücksichtigen.

Die Lagerprojekte für die Untertagebauwerke müssen auf standortspezifischen Grundlagen basieren. Sie sind unter Berücksichtigung standortspezifischer hydrogeologischer und geotechnischer Daten und den daraus gezogenen Interpretationen und Beurteilungen der zu erwartenden hydrogeologischen und geotechnischen Verhältnisse zu erarbeiten. Relevante Unterschiede zwischen den Standortgebieten sind in der Projektierung zu berücksichtigen. Standortspezifische und tiefenabhängige Gebirgseigenschaften, geotechnische Parameter und ihre Variationen und Ungewissheiten sind abzudecken und ihre Auswirkungen auf die Projektierung aufzuzeigen. Für den Opalinuston sind auf der Basis standortspezifischer Daten belastbare Stoffgesetze zu entwickeln und zu validieren, die eine angemessene Beurteilung des hydro-mechanischen Gebirgsverhaltens und des Systemverhaltens (Interaktion Gebirge – Ausbau) erlauben. Die Beurteilungen und Empfehlungen des ENSI (ENSI 33/540, Kapitel 2.9) und seiner Experten (ENSI 33/460; ENSI 33/461; ENSI 33/530 ENSI 33/531) sind zu berücksichtigen.

Für die Projektierung sind standortspezifische Baugrundmodelle mit Längsprofilen und Datenbändern anhand des aktuellen Kenntnisstands zu erstellen. Mögliche Gefährdungen aus dem Baugrund und dem Gebirge (u. a. Niederbrüche und Wassereinbrüche) während Bau und Betrieb sind gemäss den einschlägigen SIA-Normen zu analysieren und zu bewerten. Diese Gefährdungen sind durch geeignete Massnahmen zu beherrschen oder auf ein akzeptierbar kleines Mass zu beschränken. Darauf aufbauend sind standortspezifisch für jedes Lagerprojekt die von der Nagra in Etappe 2 durchgeführten bautechnischen Risikoanalysen zu vertiefen und zu erweitern. Die Ergebnisse dieser Risikoanalyse fliessen in die Bewertung des bautechnischen Kriteriums 4.2 des Sachplans ein. Das gesamte untertägige Lagerbauwerk (Zugangsbauwerke, einschl. Portalbereiche, und Bauwerke auf Lagerebene) ist bei der Analyse zu berücksichtigen. Varianten, z. B. für Zugangskonfigurationen, sind in die Analyse einzubeziehen. Hierbei sind die Beurteilungen und Empfehlungen des ENSI (ENSI 33/540, Kap. 2.11) und seiner Experten (ENSI 33/457) zu beachten.

Der Detaillierungsgrad der Lagerprojektierung ist in Etappe 3 derart zu vertiefen, dass anhand der zu erstellenden Lagerprojekte die bautechnischen Kriterien 4.1. und 4.2 des Sachplans bewertet werden können. Die vorgesehenen Untertagebauwerke (u. a. Zugangsbauwerke, Haupterschliessungsbereiche Multifunktionsstellen und andere relevante Übergänge zwischen Zugangsbauwerken und Lagerebene, Abzweige zu Lagerstollen/-kavernen, Versiegelungselemente, Lagerstollen, Lagerkavernen) sind im erforderlichen Detaillierungsgrad zu projektieren. Unter anderem muss die Beurteilung von geotechnischen Gefährdungsbildern im Rahmen der bautechnischen Risikoanalyse, die Durchführung von felsmechanischen und geotechnischen Analysen und statischen Berechnungen unter Berücksichtigung der getroffenen Annahmen sowie die Beurteilung der Anforderungen an die Sicherheit bei Nutzung und Betrieb möglich sein. Falls einzelne Bauwerke im Vorprojekt nicht betrachtet werden, ist dies zu begründen.

Gemäss Kriterium 2.3 «Lagerbedingte Einflüsse» werden unter Berücksichtigung des einzulagernden Abfallinventars und des standortspezifischen Lagerprojekts die Auswirkungen des Lagers auf das Wirtgestein in der Tiefenlage des EG bewertet. Die Auswirkungen des Lagers sind mittels dieses Kriteriums qualitativ zu bewerten. Falls die Entsorgungspflichtigen aus der Langzeitsicherheit abgeleitete quantitative Nutzungsanforderungen zur Begrenzung von Ausbaumitteln der Lagerstollen (z. B. die maximale Menge an Zement oder Stahl je Tunnelmeter) verwenden, ist aufzuzeigen, dass diese sicherheitstechnisch relevant und datengestützt sind.

4.4 Sicherheitsanalysen für den Standortvergleich

Die Sicherheitsanalyse ist eine systematische quantitative Untersuchung mit dem Ziel, die Einhaltung der Schutzkriterien und die Erfüllung der vorgegebenen Sicherheitsanforderungen aufzuzeigen. In diesem Kapitel werden die Vorgaben für die Sicherheitsanalysen des sicherheitstechnischen Vergleichs für die Standortwahl im Hinblick auf die Langzeitsicherheit definiert.

Die in den Sicherheitsanalysen verwendeten Modelle (einschliesslich Rand- und Anfangsbedingungen sowie Parameter mit ihren Quellen) und die erhaltenen Resultate sind nachvollziehbar zu dokumentieren. Die Entsorgungspflichtigen haben u.a. zu zeigen, wie die Werte aus Bohrungen, Laborexperimenten, Plausibilitätsüberlegungen oder Analogieschlüssen abgeleitet und auf das betrachtete System übertragen wurden. Abschätzungen von Zustandsparametern (beispielsweise Drücke oder Gradienten) sind zu erläutern. Für alle Arten von numerischen Modellen und Berechnungen (z. B. Radionuklidausbreitung, Gasausbreitung, gekoppelte thermo-hydraulisch-mechanische Prozesse) ist ein konsistenter Datensatz zu verwenden. Die Modellberechnungen sind auf standortspezifische Parameter und Konzepte zu stützen und mit experimentellen Daten zu belegen. Falls technische Massnahmen zur Begrenzung der Gasdruckwerte im SMA- oder HAA-Lager notwendig sind, sind deren Wirksamkeit und Langzeitbeständigkeit sowie alle betroffenen Aspekte der Sicherheit aufzuzeigen.

Die Entsorgungspflichtigen haben Berechnungen zum Systemverhalten basierend auf dem Referenzszenarium sowie auf alternativen Szenarien durchzuführen und die Sensitivität für abweichende Systemverhalten (technische Barrieren, Geosphäre) zu analysieren. Die Entsorgungspflichtigen haben die radiologischen Auswirkungen von Ungewissheiten und Variabilitäten zu analysieren und die Robustheit des Tiefenlagers und seines geologischen Umfelds aufzuzeigen. Die Konsequenzen für die Langzeitsicherheit sind darzulegen.

Gemäss den Vorgaben der Richtlinie ENSI-G03 und den im Folgenden beschriebenen Präzisierungen und Ergänzungen haben die Sicherheitsanalysen für den Standortvergleich mindestens die folgenden Aspekte zu umfassen:

- a. Beschreibung des geologischen Tiefenlagersystems (Abfallinventar, -zuteilung, Barrierensystem, geologische Situation, etc.).
- b. Beschreibung der Wirkung und Robustheit der technischen und natürlichen Barrieren. Das Rückhaltevermögen des Barrierensystems ist durch Berechnungen aufzuzeigen. Dabei sind auch die standortvergleichsrelevanten Auswirkungen gekoppelter Prozesse (THMC) und der Gasbildung und -ausbreitung auf die technischen und natürlichen Barrieren sowie auf den Radionuklidtransport zu berücksichtigen.
- c. Beschreibung der zu erwartenden geologischen Langzeitentwicklung.
- d. Beschreibung der zu erwartenden Entwicklung der im geologischen Tiefenlager befindlichen Materialien, einschliesslich der radioaktiven Abfälle und der technischen und natürlichen Barrieren. Die Beschreibung muss die möglichen gegenseitigen Beeinflussungen der unterschiedlichen Materialien berücksichtigen.
- e. Durchführen einer systematischen Szenarienanalyse und Festlegung der Rechenfälle, mit denen die zu betrachtenden Entwicklungen des Tiefenlagers untersucht werden. Der Fokus ist auf für den Standortvergleich relevante standortspezifische Szenarien zu legen. Standortspezifische sicherheitsrelevante FEPs (*features, events and processes*) sollen durch Rechenfälle abgedeckt werden. Ausgehend vom Referenzfall sind auch Berechnungen durchzuführen, welche für eine Kombination mehrerer sicherheitsrelevanter Parameter zugleich den jeweils ungünstigen Eckwert zugrunde legen. Gegenseitige physikalische Abhängigkeiten von Parametern sind entsprechend zu berücksichtigen. Die Auswahl der betrachteten Fälle ist zu begründen. Der Variationsbereich der möglichen Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Biosphäre und des Dosismaximums aller Szenarien ist zu ermitteln.

- f. Aufzeigen der radiologischen Konsequenzen von Freilegungsszenarien innerhalb des Betrachtungszeitraums (z. B. durch flächenhafte Erosion oder glaziale Tiefenerosion) und ihre Bedeutung für den Standortvergleich. Günstig ist eine Situation (geringe Erosion und/oder grosse Tiefenlage), bei der die Barrierenwirkung des Wirtgesteins nicht oder möglichst spät im Betrachtungszeitraum beeinträchtigt wird (Kriterium 2.2 des Sachplans).
- g. Begründung, warum die verwendeten Konzeptualisierungen und Rechenmodelle auf die vorliegende Situation anwendbar sind. Die Bedeutung von Vereinfachungen in den Konzeptualisierungen und Rechenmodellen gegenüber den natürlichen Gegebenheiten ist zu erläutern.
- h. Durchführen einer systematischen Sensitivitätsanalyse, um aufzuzeigen, inwiefern Änderungen in den Parameterwerten die Berechnungsergebnisse beeinflussen.
- i. Systematische Analyse der vorhandenen Ungewissheiten in den Daten, Prozessen und Modellen und Berechnung des daraus folgenden Variationsbereichs der Radionuklidfreisetzung resp. Dosen.
- j. Verwendung eines einheitlichen Biosphärenmodells für die Nordschweiz. Die sicherheitstechnische Bedeutung von alternativen Biosphärenszenarien ist zu berücksichtigen. Dazu sind umhüllende Szenarien von möglichen Entwicklungen insbesondere der Gebietsmorphologie und des Klimas zu betrachten.

Die Ergebnisse der Sicherheitsanalysen sind Teil der vergleichenden Gesamtbewertung (Kap. 4.6) und können auch in die qualitative Bewertung (Kap. 4.5) einfließen (z. B. Bedeutung der Länge von Freisetzungspfaden, Zeitpunkt des Auftretens des Dosismaximums).

4.5 Qualitative Bewertung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs

Die Bewertungen des EG basieren beim Standortvergleich in Etappe 3 auf den 13 Kriterien zu Sicherheit und technischer Machbarkeit des Sachplans (Anhang I).

Die qualitative Bewertung der EG hat sich auf das von den Entsorgungspflichtigen vorgeschlagene standortspezifische Referenzszenarium zu beziehen, welches die erwartete Entwicklung des Tiefenlagersystems repräsentiert. Die Referenzszenarien und Bandbreiten sind für den gesamten Prozess des Standortvergleichs (Sicherheitsanalysen Kap. 4.4, vergleichende Gesamtbewertung Kap. 4.6 und Sicherheitsnachweis Kap. 5.2) einheitlich zu verwenden. Die Variabilität wird einerseits in der Abgrenzung der EG und andererseits bei deren qualitativer Bewertung berücksichtigt. Die Grösse der Bandbreiten soll mit der Kriteriengruppe 3 (Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen) bewertet werden. Die sicherheitstechnischen Eigenschaften des EG sollen möglichst eine geringe Variabilität aufweisen.

Für die qualitative Bewertung sind die Ungewissheiten systematisch auszuweisen und ihr Einfluss zu bewerten. Die inhärenten, nicht durch weitere Untersuchungen vor der Standortwahl reduzierbaren Bandbreiten von Parametern und Entwicklungsszenarien sind als Bestandteil des Referenzszenariums zu betrachten und entsprechend beim Vergleich zu berücksichtigen. Innerhalb der inhärenten Bandbreiten sind dabei die ungünstigen Eckwerte (pessimistische Annahmen) zu verwenden. Konzeptuelle Ungewissheiten sind zu identifizieren und als Standortmerkmale gesondert in die Bewertung einzubeziehen. Gesondert bedeutet, dass diese Ungewissheiten nicht zu einer Anpassung des Referenzszenariums führen, sondern als zusätzliche Argumente in die Bewertung eingebracht werden.

«What if»-Fälle umfassen hingegen hypothetische Parameterwerte und Entwicklungen, die nicht zu erwarten sind. In die quantitative und qualitative Bewertung der EG für den Standortvergleich fließen sie nicht ein (Kap. 4.4 – 4.6), da sie oft sehr konservative Annahmen beinhalten, welche zu Resultaten führen, die nicht zwischen den Standortgebieten differenzieren. Hingegen können «What if»-Fälle im Sicherheitsnachweis des ausgewählten Standorts (Kap. 5.2) zur Illustration der Robustheit des Tiefenlagersystems herangezogen werden.

Grundlage für die qualitative Bewertung der EG anhand der 13 Kriterien des Sachplans sollen nach wie vor die in den Etappen 1 und 2 verwendeten Indikatoren sein. Im bisherigen Verlauf des Sachplans wurden die Standortoptionen stark eingeengt (Grossraum Nordschweiz, Opalinuston als Wirtgestein, Vermeidung tektonischer stark gestörter Gebiete etc.). Die Entsorgungspflichtigen haben den umfangreichen Katalog an Indikatoren (BFE 2011, Anhang I, Tabelle A1-14) und Aspekten (BFE 2011, Anhang I, Tabellen A1-1 bis A1-13) aus Etappe 2 zu überprüfen, um Verzerrungen hinsichtlich der Sicherheit zu vermeiden. Hierzu sollen

- Doppelbewertungen vermieden werden
- die gegenseitigen Abhängigkeiten der Indikatoren untereinander aufgezeigt und entsprechend berücksichtigt werden
- nicht mehr relevante Indikatoren entfernt und bei Bedarf neue Indikatoren eingeführt werden
- Bewertungsgrundlagen für die Indikatoren überprüft und bei Bedarf angepasst werden.

Bei der aggregierenden Bewertung der Kriterien werden die Indikatoren argumentativ gewichtet.

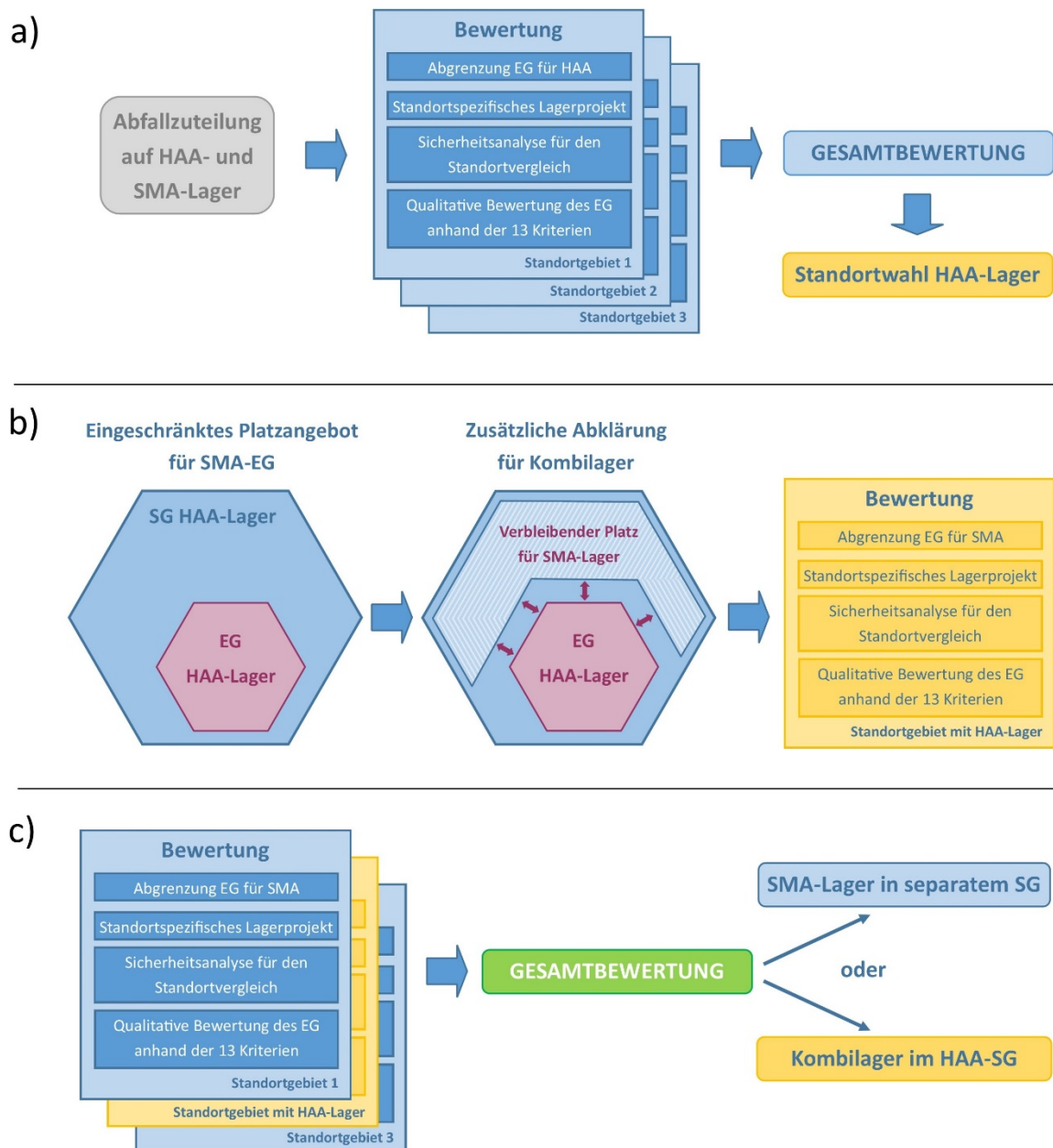
4.6 Vergleichende Gesamtbewertung und Standortwahl

Gemäss Sachplan wählen die Entsorgungspflichtigen aus den in Etappe 3 weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebieten den Standort, an welchem das Tiefenlager realisiert werden soll. Die Ergebnisse des sicherheitstechnischen Vergleichs zusammen mit der Betrachtung gegebenenfalls weiterer Aspekte gemäss Sachplan führen durch eine Abwägung und gesamtheitliche Betrachtung zur Standortwahl durch die Entsorgungspflichtigen (BFE 2011, S. 65). Falls der sicherheitstechnische Vergleich zu keiner Differenzierung führt, ist es den Entsorgungspflichtigen überlassen, bei ihrer Abwägung und gesamtheitlichen Betrachtung weitere Aspekte beizuziehen und die Standortwahl zu begründen. Im Bericht zur Begründung der Standortwahl (Kap. 2.2) wird die Bewertung der für die Auswahl des Standortes ausschlaggebenden Eigenschaften dokumentiert (Art. 62 KEV).

Die vergleichende sicherheitstechnische Gesamtbewertung und die Standortwahl basieren auf der geologischen Situation in den Standortgebieten, den abgegrenzten EG der Standortgebiete (Kap. 4.2), den standortspezifisch abgeleiteten Lagerprojekten (Kap. 4.3), den Sicherheitsanalysen für den Standortvergleich (Kap. 4.4) und der qualitativen Bewertung der EG bezüglich der 13 Kriterien (Kap. 4.5 und Figur 4). Die Standortwahl erfolgt als Positivwahl. Dies wird durch eine gesamtheitliche Abwägung der sicherheitstechnischen Eigenschaften abgeleitet. Für die Standortwahl je Lagertyp sind die Vor- und Nachteile der EG bezüglich der sicherheitstechnischen Kriterien, in denen sie sich unterscheiden, darzulegen und die Konsequenzen für die Bau-, Betriebs- und Langzeitsicherheit zu erläutern. Die Aussagen zu den sicherheitstechnischen Unterschieden zwischen den betrachteten EG müssen belastbar sein, der Einfluss der bestehenden Variabilitäten und Ungewissheiten ist auszuweisen. Der Wirkung der natürlichen Barrieren hinsichtlich der Langzeitsicherheit kommt bei der Standortwahl ein besonderes Gewicht zu, da diese standortspezifisch sind und durch technische Massnahmen nur begrenzt beeinflusst werden können.

Im Vergleich der EG sind auch die enthaltenen sicherheitstechnischen Reserven bezüglich bestehender Ungewissheiten, identifizierter Risiken und Platzangebot zur Minimierung der lagerbedingten Einflüsse zu berücksichtigen. In begründeten Fällen können weitere sicherheitsrelevante Aspekte bei der Standortwahl berücksichtigt werden.

Aufgrund der strengeren Anforderungen an die geologischen Barrieren und des längeren Betrachtungszeitraums für ein HAA-Lager ist in einem ersten Schritt der Standort für das HAA-Lager zu wählen (Figur 4a). Im zweiten Schritt wird der Standort für das SMA-Lager gewählt. Der gewählte EG des HAA-Lagers inklusive seiner für den Standortvergleich verwendeten Platzreserven steht nicht mehr für die Abgrenzung des EG für das SMA-Lager zur Verfügung (Figur 4b).



Figur 4: Schematische Darstellung der Methodik für den Standortvergleich in Etappe 3

- In einem ersten Schritt ist der Standort für das HAA-Lager zu wählen. Die Gesamtbewertung und die Standortwahl basieren auf der geologischen Situation in den Standortgebieten, den abgegrenzten einschlusswirksamen Gebirgsbereichen (EG) der Standortgebiete, den standortspezifisch abgeleiteten Lagerprojekten, den Sicherheitsanalysen für den Standortvergleich und der qualitativen Bewertung der EG bezüglich der 13 Kriterien.
- Im zweiten Schritt wird der Standort für das SMA-Lager gewählt. Der gewählte EG des HAA-Lagers inklusive seiner für den Standortvergleich verwendeten Platzreserven steht nicht mehr für die Abgrenzung des EG für das SMA-Lager zur Verfügung. Die Konsequenzen eines Kombilagers sind beim Vergleich mit den weiteren SMA-EGs zu berücksichtigen. Es ist sicherzustellen, dass die möglichen Wechselwirkungen zwischen dem SMA- und dem HAA-Lager eines Kombilagers keine sicherheitsrelevante Beeinträchtigung darstellen.
- Anschliessend wird auf die gleiche Weise der sicherheitstechnisch bevorzugte EG für ein SMA-Lager ermittelt.

Bei der Abgrenzung des EG für das SMA-Lager im HAA-Standortgebiet ist zu erläutern, welche Konsequenzen sich aus der Realisierung eines Kombilagers für Bau-, Betriebs- und Langzeitsicherheit ergeben. Diese sind beim Vergleich mit den weiteren SMA-EGs zu berücksichtigen. Es ist sicherzustellen, dass die möglichen Wechselwirkungen zwischen dem SMA- und dem HAA-Lager eines Kombilagers keine sicherheitsrelevante Beeinträchtigung darstellen. Es ist aufzuzeigen, welche Mindestabstände zwischen den getrennten Lagerteilen für HAA und SMA einzuhalten sind. Der Einfluss auf die Bestimmung der Platzreserven und die Auswirkungen der lagerbedingten Einflüsse auf das SMA- als auch HAA-Lager sind aufzuzeigen. Anschliessend wird auf die gleiche Weise der sicherheitstechnisch bevorzugte EG für ein SMA-Lager ermittelt (Figur 4c). Falls die gewählten EG des HAA- und des SMA-Lagers in einem Standortgebiet liegen, ist im Sicherheitsnachweis (Kap. 5.1 und 5.2) ein Kombilager zu betrachten.

5 Vorgaben für den gewählten Standort

Die wichtigste von den überprüfenden Stellen zu beantwortende Frage ist, ob der dauernde Schutz von Mensch und Umwelt sichergestellt werden kann (Art. 13 Abs. 1 Bst. a KEG). Die erdwissenschaftlichen Eigenschaften am gewählten Standort spielen in dieser Hinsicht eine zentrale Rolle; die geforderte Sicherheit muss aber vom gesamten System, bestehend aus den zur Einlagerung vorgesehenen Abfällen, aus den geplanten technischen Barrieren und aus den umliegenden natürlichen Barrieren erbracht werden (BFE 2011, S. 66). Der Standort für ein geologisches Tiefenlager muss zur Gewährleistung der Langzeitsicherheit eine ausreichende Ausdehnung von geeignetem Wirtgestein, günstige hydrogeologische Verhältnisse und geologische Langzeitstabilität aufweisen (Art. 11 Abs. 1 KEV).

Der Sicherheitsnachweis ist eine Gesamtbewertung der Sicherheit eines geologischen Tiefenlagers, die sich auf eine Zusammenführung von Argumenten und Nachweisen stützt, welche die Sicherheit eines geologischen Tiefenlagers beschreiben, quantifizieren und belegen. Er beinhaltet Sicherheitsanalysen sowie ergänzende qualitative Sicherheitsbewertungen und gibt Aufschluss über die Zuverlässigkeit der getroffenen Aussagen.

Das Rahmenbewilligungsgesuch wird zusammen mit dem Antrag auf Festsetzung des Standorts im Sachplan von den zuständigen Fachstellen des Bundes geprüft. Es wird insbesondere festgestellt, ob die Auslegungsgrundsätze gemäss Art. 11 KEV sowie die Vorgaben in Art. 64 bis 69 KEV eingehalten werden (BFE 2011, S. 51). Die Kriterien, anhand welcher die Langzeitsicherheit eines geologischen Tiefenlagers bewertet wird, sind in der Richtlinie ENSI-G03 «Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis» festgehalten. Es bestehen Verbindungen zum Bericht zur Begründung der Standortwahl (Kap. 2.2 und Kap. 4). Die Ausführungen können in beiden Berichten unterschiedlich detailliert sein. Es ist auf eine widerspruchsfreie Darstellung zu achten.

Im Folgenden werden die Vorgaben für den Sicherheitsnachweis für die Betriebsphase (Kap. 5.1) und die Nachverschlussphase (Kap. 5.2) gemäss Richtlinie ENSI-G03 sowie für die Eignungskriterien (Kap. 5.3) und für den Schutzbereich (Kap. 5.4) präzisiert.

5.1 Sicherheitsnachweis für die Betriebsphase

Für die Betriebsphase ist der Sicherheitsnachweis gemäss den Vorgaben von KEG, KEV und den Vorgaben der Richtlinie ENSI-G03 für das geologische Tiefenlager inklusive Oberflächenanlage und Nebenzugangsanlagen am gewählten Standort stufengerecht zu erbringen und im Sicherheitsbericht zu dokumentieren. Die Betriebsphase beginnt mit der Betriebsbewilligung und endet mit dem ordnungsgemässen Verschluss des geologischen Tiefenlagers (ENSI-G03).

Laut Art. 23 KEV sind für die Rahmenbewilligung der Zweck und die Grundzüge des Projektes darzulegen. Erst im Zuge der Bau- beziehungsweise Betriebsbewilligung werden gemäss Anhang 4 KEV die Auslegung der Anlage sowie die betrieblichen Abläufe festgelegt. Da für die Durchführung der probabilistischen und deterministischen Störfallanalyse die Anlagenauslegung und Arbeitsabläufe bekannt sein müssen, werden auch die Störfallanalysen erst für das Baubewilligungsgesuch verlangt. Für das Rahmenbewilligungsgesuch werden daher konzeptuelle Beschreibungen von Anlagen und Systemen sowie generische Sicherheitsbetrachtungen im Sicherheitsnachweis für die Betriebsphase als stufengerecht erachtet, wobei der Fokus auf der Standorteignung für den sicheren Betrieb des geologischen Tiefenlagers liegt.

Ausgehend von der Richtlinie ENSI-G03 werden im Folgenden die Vorgaben für den Sicherheitsnachweis für die Betriebsphase auf Stufe Rahmenbewilligung konkretisiert:

- a. Es ist eine konzeptuelle Beschreibung der ober- und untertägigen Anlagen zu erstellen, aus der die räumlichen Verhältnisse und die typischen Arbeitsabläufe im Normalbetrieb hervorgehen. Diese Beschreibung muss alle für die Sicherheit im Normalbetrieb und für die Störfallbeherrschung relevanten Bauten, Anlagen und Einrichtungen umfassen. Insbesondere sind die Konzepte für die Zugangsbauwerke, für die Lüftung der Untertageanlagen, sowie für die Trennung des Einlagerungs- und des Auffahrbetriebes darzulegen.
- b. Die Standorteigenschaften wie Baugrund- und Gebirgsverhältnisse, hydrogeologische Verhältnisse, geographische Gegebenheiten, Besiedelung, Infrastruktur, Klima, usw. sind detailliert anzuführen, soweit sie für den Sicherheitsnachweis für die Betriebsphase des geologischen Tiefenlagers inklusive der Oberflächenanlage und Nebenzugangsanlagen relevant sind.
- c. Im Rahmen einer generischen Sicherheitsbetrachtung für den Normalbetrieb sind die Vorkehrungen zum Strahlenschutz konzeptuell darzulegen. Die erwarteten Strahlenexpositionen des Personals und der Bevölkerung sind anzugeben und ein Vorschlag für den quellenbezogenen Dosisrichtwert (Art. 7 der Strahlenschutzverordnung vom 26. April 2017, StSV; SR 814.501) ist zu begründen.
- d. Die für die Sicherheit und den Strahlenschutz massgeblichen personellen und organisatorischen Angaben wie Grundsätze zu Personal und Organisation und Organisationsentwicklung sind darzulegen (Art. 123 StSV, Art. 23 KEV).
- e. Für Störfälle mit Ursprung ausserhalb der Anlage ist eine quantitative, standortspezifische Gefährdungsanalyse zur Bestimmung der Gefährdungshäufigkeit durch extern ausgelöste Ereignisse durchzuführen. Dazu sind mindestens die in der Richtlinie ENSI-A05, Kap. 4.6.1 sowie die in SIA 199 (Anhang E) angeführten Ereignisse, Gefahren und Gefährdungsbilder aus dem Gebirge, soweit sie auf die Anlage zutreffen, zu betrachten.
- f. Die standortspezifische Erdbebengefährdung für das geologische Tiefenlager, die Oberflächenanlage und die Nebenzugangsanlage ist unter Berücksichtigung der Ergebnisse der erdwissenschaftlichen Untersuchungen und eines aktuellen Erdbebenkataloges zu bestimmen. Dazu ist eine Erdbebengefährdungsanalyse für den gewählten Standort zu erstellen, die auf den Modellen basiert, die den Erdbebengefährdungsannahmen gemäss ENSI (2016) zugrunde liegen. Die Übertragbarkeit von Modellen und Daten auf den gewählten Standort ist zu begründen. Die Auswirkungen von Erdbeben auf die Langzeitsicherheit sind im Zuge der Szenarienanalyse für die Nachverschlussphase (Kap. 5.2) aufzuzeigen.
- g. Es ist eine generische Sicherheitsbetrachtung sowohl für Störfälle mit Ursprung ausserhalb als auch mit Ursprung innerhalb der Anlage durchzuführen. Dabei ist mindestens auf die in Art. 8 Abs. 2 und 3 KEV genannten Störfalltypen sowie weitere anlagen- und standortspezifische Störfälle (z. B. Art. 4 und 5, Abs. 1 der Verordnung des UVEK (2009)) einzugehen, soweit sie auf das geologische Tiefenlager zutreffen. Auch sind die Gefahren und Gefährdungsbilder aus dem Gebirge gemäss SIA 199 (Anhang E) zu berücksichtigen. Es sind Annahmen zu den Störfallabläufen zu treffen und Massnahmen zur Beherrschung der Störfälle unter Berücksichtigung der Dosisgrenzwerte gemäss Art. 123 StSV konzeptuell zu beschreiben. Ferner sind die Auswirkungen der Störfälle auf die Langzeitsicherheit eines verschlossenen geologischen Tiefenlagers darzulegen.
- h. Im Hinblick auf die Standorteignung ist die Machbarkeit von Notfallschutzmassnahmen aufzuzeigen (Schweizerischer Bundesrat 2001).

5.2 Sicherheitsnachweis für die Nachverschlussphase

Für die Nachverschlussphase führt der Sicherheitsnachweis alle Berechnungen und unterstützenden Argumente zur Gesamtbewertung der Sicherheit eines geologischen Tiefenlagers zusammen (ENSI-G03). Er ist auf die Ergebnisse einer umfassenden Sicherheitsanalyse abzustützen, in der das Lang-

zeitverhalten eines geologischen Tiefenlagers und die daraus resultierenden radiologischen Auswirkungen untersucht werden. Der Sicherheitsnachweis hat eine Bewertung der Methoden der Sicherheitsanalyse und der verwendeten Daten zu enthalten. Gegebenenfalls sind unterstützende Argumente für die Grundlagen und Ergebnisse der Sicherheitsanalyse anzuführen. Nach Möglichkeit sind die Aussagen der Sicherheitsanalysen durch Beobachtungen in der Natur (Naturanaloge) zu stützen. Der Sicherheitsnachweis ist in einem Sicherheitsbericht zu dokumentieren.

Ziel der Sicherheitsanalysen im Rahmen der Etappe 3 ist die Erbringung des Sicherheitsnachweises für den gewählten Standort auf Stufe Rahmenbewilligung (BFE 2011, S. 74). Es ist insbesondere zu zeigen, ob die Auslegungsgrundsätze gemäss Art. 11 Abs. 2 KEV sowie die Bestimmungen in Art. 64 bis 69 KEV eingehalten werden (BFE 2011, S. 51). Die Kriterien, anhand welcher die Langzeitsicherheit eines geologischen Tiefenlagers bewertet wird, sind in der Richtlinie ENSI-G03 festgehalten.

Die Sicherheitsanalyse des Standortvergleichs (siehe Kap. 4.4) für den gewählten Standort wird entsprechend vertieft und mit umfassenden Szenarien- und Risikoanalysen gemäss Richtlinie ENSI-G03 ergänzt. Insbesondere wird für die in Kap. 4.4 aufgeführten Punkte b) «Wirkung und Robustheit der technischen und natürlichen Barrieren», e) «Szenarienanalyse mit einer umfassenden FEP Analyse» und h) «Sensitivitätsanalyse» ein höherer Detaillierungsgrad erwartet. Die möglichen radiologischen Auswirkungen zukünftiger Entwicklungen sind durch umhüllende Varianten aufzuzeigen. Die radiologischen Konsequenzen von Freilegungsszenarien (bspw. durch flächenhafte Erosion oder glaziale Tiefenerosion) sind gemäss Richtlinie ENSI-G03 darzulegen. Zusätzlich soll in der Sicherheitsanalyse für den gewählten Standort der zeitliche Verlauf der radiologischen Toxizität der eingelagerten Abfälle aufgezeigt werden.

Wo Ungewissheiten bestehen, sind in der Sicherheitsanalyse die maximalen radiologischen Konsequenzen durch die Berechnung umhüllender Varianten oder durch konservative Annahmen abzuschätzen. Der Einfluss von Ungewissheiten auf die berechneten Ergebnisse ist systematisch aufzuzeigen, und die daraus gezogenen Schlüsse für die Langzeitsicherheit sind darzulegen.

Um die Robustheit eines Systems zu illustrieren, können auch sogenannte «What if»-Fälle verwendet werden. Dabei werden Phänomene unterstellt bzw. Parameter angenommen, die ausserhalb des Bereichs liegen, der aufgrund wissenschaftlicher Ergebnisse als möglich erachtet wird. Bei «What if»-Fällen geht es also nicht darum, realistische Fälle zu analysieren, sondern einen vertieften Einblick in das Verhalten des Lagersystems unter extremen Bedingungen zu erhalten.

Um die Flexibilität bei der Entwicklung des Lagerprojekts aufzuzeigen, können im Sicherheitsbericht (Kap. 2) auch zusätzliche Varianten der Tiefenlagerrealisierung und deren sicherheitstechnische Bedeutung aufgezeigt werden.

5.3 Eignungskriterien

Der Gesuchsteller hat für den gewählten Standort im Rahmenbewilligungsgesuch Kriterien vorzuschlagen, bei deren Nichterfüllung ein vorgesehener Lagerbereich wegen fehlender Eignung ausgeschlossen wird (Art. 14 KEG, BFE 2011, S. 66). Diese Kriterien müssen sich gemäss Art. 63 KEV mindestens auf die Ausdehnung geeigneter Wirtgesteinsbereiche, die hydrogeologischen Verhältnisse am Standort und die Verweilzeit des Tiefengrundwassers beziehen. Der Gesuchsteller hat aufzuzeigen, mit welchen Methoden die Eignungskriterien vor Ort geprüft werden können.

5.4 Schutzbereich

Nach Art. 40 KEG ist der Schutzbereich der Raum im Untergrund, in dem Eingriffe die Sicherheit des Lagers beeinträchtigen könnten. Wer Tiefbohrungen, Stollenbauten, Sprengungen und andere Vorhaben, durch die ein Schutzbereich berührt wird, durchführen will, braucht eine Bewilligung des UVEK. Der Bundesrat sorgt dafür, dass die Informationen über das Lager, die eingelagerten Abfälle und den Schutzbereich aufbewahrt werden und die Kenntnisse darüber erhalten bleiben. Er kann entsprechende Daten anderen Staaten oder internationalen Organisationen mitteilen.

Mit der Rahmenbewilligung wird gemäss Art. 14 KEG ein vorläufiger Schutzbereich festgelegt. Der Schutzbereich eines geologischen Tiefenlagers ist gemäss Art. 70 KEV auf der Grundlage des zur Bewilligung des Projekts vorgelegten Berichts zur Langzeitsicherheit festzulegen. Er umfasst alle Teile des Tiefenlagers, inklusive der Zugänge, die Gesteinsbereiche, die den hydraulischen Einschluss des Tiefenlagers bewirken sowie die Gesteinsbereiche, die einen wesentlichen Beitrag zur Rückhaltung der Radionuklide liefern, die im Laufe der Zeit aus dem Lager freigesetzt werden könnten. Das UVEK erteilt Bewilligungen für die Durchführung von Vorhaben, die den Schutzbereich berühren. Voraussetzung für die Erteilung einer solchen Bewilligung ist, dass die langfristige Sicherheit des geologischen Tiefenlagers nicht beeinträchtigt wird.

Der Gesuchsteller hat in den Unterlagen zum Rahmenbewilligungsgesuch für den gewählten Standort einen vorläufigen Schutzbereich vorzuschlagen. Es sind einwirkungsabhängige Kriterien vom Gesuchsteller zu definieren, welche sicherstellen, dass durch Eingriffe (z. B. Exploration und Nutzung) die Sicherheit eines geologischen Tiefenlagers nicht gefährdet werden kann. Die Erschliessung von Ressourcen (z. B. Kohlenwasserstoffe und hydrothermale bzw. petrothermale Geothermie) im Umfeld eines Tiefenlagers kann Einfluss auf die Integrität der Barrieren-Eigenschaften haben. Dies erfordert die quantitative Abschätzung der Reichweiten der entsprechenden Auswirkungen für absehbare zukünftige Nutzungen von Rohstoffen und die Dimensionierung eines vorläufigen Schutzbereiches. Je nach Nutzung und damit verbundener Tätigkeiten können sich die jeweiligen Einwirkungsbereiche unterscheiden. Der vorläufige Schutzbereich ist einwirkungsabhängig auszuscheiden. Das ENSI prüft, ob die Vorgaben gemäss Art. 70 KEV erfüllt werden.

6 Abkürzungsverzeichnis und Glossar

AG SiKa/KES	Arbeitsgruppe Sicherheit Kantone (AG SiKa) / Kantonale Experten- gruppe Sicherheit (KES)
Belastbar	Belastbare Aussagen sind auch unter Berücksichtigung der bestehen- den Variabilitäten und Ungewissheiten in Daten und Prozessen gültig.
Beobachtungsphase	Längerer Zeitraum, während dessen ein geologisches Tiefenlager vor dem Verschluss überwacht wird und die radioaktiven Abfälle ohne gros- sen Aufwand zurückgeholt werden können (Art. 3 Bst. a KEG).
Betrachtungszeitraum	Der Zeitraum, für den in der Sicherheitsanalyse die Einhaltung der Schutzkriterien quantitativ aufzuzeigen ist, richtet sich nach dem radio- logischen Gefährdungspotenzial der Abfälle. Falls gezeigt werden kann, dass durch das geologische Tiefenlager aufgrund des radiologischen Gefährdungspotenzials der Abfälle bereits nach weniger als einer Mil- lion Jahre nur noch vernachlässigbar kleine radiologische Auswirkun- gen für Mensch und Umwelt zu erwarten sind, kann der Nachweis für einen kürzeren Betrachtungszeitraum geführt werden.
BFE	Bundesamt für Energie
Biosphärenmodell	Transport- und Expositionsmodell zur Umrechnung von Radionuklidfrei- setzungen aus der Geosphäre in die Biosphäre in eine Strahlenexposi- tion für die zu betrachtende Bevölkerungsgruppe (hier Individualdosis). Grundlage bildet ein Transport- und Akkumulationsmodell für die Be- rechnung der Radionuklidausbreitung im menschlichen Lebensraum (Wasser, Luft, Boden) und ein Modell für die Berechnung der Strahlen- dosis unter Berücksichtigung der Radionuklidaufnahme über das Trink- wasser, die Nahrung und die Atemluft sowie unter Berücksichtigung der direkten Bestrahlung (ENSI-G03).
Dosis	Für die Beurteilung des gesundheitlichen Risikos durch ionisierende Strahlung wird die «effektive Dosis» verwendet (ENSI-B09). In diesem Dokument wird mit dem Begriff Dosis die effektive Dosis bezeichnet: Summe der mit den Wichtungsfaktoren w_T gewichteten Äquivalentdo- sen in allen Organen und Geweben. Die Einheit der Dosis ist das Sievert (Sv).
EGT	Expertengruppe geologischen Tiefenlagerung
Eignungskriterien	Die in der Rahmenbewilligung festzulegenden Kriterien, bei deren Nicht- erfüllung ein vorgesehener Lagerbereich wegen fehlender Eignung aus- geschlossen wird, beziehen sich nach Art. 14 Abs. 1 Bst. f Ziff. 1 KEG auf die Ausdehnung geeigneter Wirtgesteinsbereiche, die hydrogeolo- gischen Verhältnisse am Standort und die Verweilzeit des Tiefengrund- wassers (Art. 63 KEV).

Einschlusswirksamer Gebirgsbereich (EG)	Räumlicher Körper im geologischen Untergrund, der bei zu erwartender Entwicklung des geologischen Tiefenlagers für den Betrachtungszeitraum, im Zusammenwirken mit technischen Barrieren, den Einschluss und die Rückhaltung der im Abfall enthaltenen radioaktiven Stoffe sicherstellt. Zum EG gehören das Wirtgestein sowie obere und untere barrierenwirksame Rahmengesteine.
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
Entsorgung	Konditionierung, Zwischenlagerung und Lagerung der radioaktiven Abfälle in einem geologischen Tiefenlager (Art. 3 Bst. b KEG).
Entsorgungspflichtige	Wer eine Kernanlage betreibt oder stilllegt, ist verpflichtet, die aus der Anlage stammenden radioaktiven Abfälle auf eigene Kosten sicher zu entsorgen (Art. 31 KEG). Der Bund entsorgt die radioaktiven Abfälle, die nach Art. 27 Abs. 1 StSG abgeliefert worden sind (Art. 33 KEG). Im Hinblick auf die dauernde und sichere Entsorgung von radioaktiven Abfällen haben die Betreiber der fünf schweizerischen Kernkraftwerke und die Schweizerische Eidgenossenschaft 1972 die Nagra gegründet (BFE 2011).
ESchT	Expertengruppe-Schweizer-Tiefenlager
FEP	International gebräuchliche Bezeichnung für «Features, Events and Processes» (Eigenschaften, Ereignisse und Vorgänge). Die Entwicklungsvarianten eines geologischen Tiefenlagers werden durch die Eigenschaften seiner Komponenten sowie die Abfolge von Ereignissen und Prozessen (FEPs) bestimmt, welche die Freisetzung von Radionukliden aus dem Lager und deren Transport in die Biosphäre beeinflussen. Die FEPs ergeben sich zunächst aus dem Verständnis des Systems heraus, werden aber üblicherweise durch den Vergleich mit internationalen FEP-Datenbanken bisheriger Endlagerprojekte überprüft. Basierend auf den massgeblichen FEPs werden die Szenarien definiert, innerhalb derer sich die Entwicklung des Lagersystems voraussichtlich bewegen wird (vgl. Erläuterungsbericht ENSI-G03).
Gekoppelte Prozesse	Das Nahfeld wird durch thermische, hydraulische, mechanische und chemische Wechselwirkungen, sogenannte THMC-Prozesse beeinflusst. Dazu gehören beispielsweise die Temperaturentwicklung um das HAA-Lager, die Wiederaufsättigung, Zweiphasenfluss und die mechanische Deformation des Wirtgesteins sowie die pH-Fahne im Wirtgestein.
Geologisches Standortgebiet	Das geologische Standortgebiet wird durch die für die Lagerung der radioaktiven Abfälle geeigneten geologischen Gesteinskörper im Untergrund definiert (BFE 2011).
Geologisches Tiefenlager	Anlage im geologischen Untergrund, die verschlossen werden kann, sofern der dauernde Schutz von Mensch und Umwelt durch passive Barrieren sichergestellt wird (Art. 3 Bst. c KEG).

Grundzüge des Projekts	Als Grundzüge des Projektes gelten die ungefähre Grösse und Lage der wichtigsten Bauten sowie insbesondere bei Lagern für Kernmaterialien oder radioaktive Abfälle: die Kategorien des Lagergutes und die maximale Lagerkapazität (Art. 14 Abs. 2 KEG).
Kombilager	Ein Lager bestehend aus räumlich getrennten Lagerteilen für hochaktive, alphatoxische und schwach und mittelaktive Abfälle gemäss Art. 51 KEV im gleichen Standortgebiet.
KNS	Eidgenössische Kommission für nukleare Sicherheit
Konservative Annahme	Annahmen werden als konservativ bezeichnet, wenn sie dazu führen, dass die radiologischen Auswirkungen für Mensch und Umwelt mit hoher Wahrscheinlichkeit überschätzt werden. Konservative Annahmen stellen oft Vereinfachungen eines Sachverhalts dar, die zum Zweck der Überbrückung von Daten- oder Verständnislücken eingesetzt werden können (ENSI-G03).
Lagerauslegung	Die Auslegung beschreibt die relevanten Anforderungen und Vorgaben an das geologische Tiefenlager basierend auf dem Lagerkonzept. Sie umfasst die Spezifikation der einzelnen Lagerkomponenten, damit sie ihren definierten Zweck erfüllen können. Dazu gehören auch administrative und technische Massnahmen, Vorkehrungen, Dimensionierungen, sicherheitstechnische Klassierungen, Materialwahl (vgl. ENSI-G03 Kap. 5.1).
Lagerkonzept	Das Lagerkonzept gibt Aufschluss darüber, wie das geologische Tiefenlager in seinen Grundzügen gestaltet wird. Dazu gehört beispielsweise das Mehrfachbarrierenkonzept oder das Konzept einer horizontalen Einlagerung in Endlagerbehältern.
Langzeitsicherheit	Sicherheit eines geologischen Tiefenlagers für Mensch und Umwelt nach dessen Verschluss (ENSI-G03).
Mehrfachbarrierensystem	Ein System von gestaffelten, passiv wirkenden, verschiedenartigen technischen und natürlichen Barrieren zum Einschluss und zur Rückhaltung der im Abfall enthaltenen Radionuklide. Die Wirksamkeit des Mehrfachbarrierensystems darf nicht hauptsächlich von der Wirksamkeit einer einzelnen Barriere abhängig sein (ENSI-G03).
Nagra	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle
Nahfeld	Das Nahfeld in einem geologischen Tiefenlager umfasst die Abfallgebinde, die technischen Barrieren, insbesondere Behälter und Verfüllungen, sowie die Auflockerungszone des Wirtgesteins. Das Nahfeld wird für die Berechnungen der Radionuklid Ausbreitung definiert, um die jeweiligen Modellannahmen für die verschiedenen Bereiche festzulegen.
Natürliche Barriere	Geologisches Umfeld eines Tiefenlagers, das gemäss Sicherheitskonzept passiv wirkend zur Rückhaltung der Radionuklide beiträgt.

Nebenzugangsanlagen	Anlage (Bauwerke, Installationen und Geräte) am oberen Ende eines Zugangsbauwerks (Schacht oder Tunnel) über welches keine Transporte radioaktiver Abfälle erfolgen. Eine Nebenzugangsanlage stellt die Aufgaben und Funktionen des Nebenzugangs sicher und liegt an der Erdoberfläche. Die Nebenzugangsanlage kann bei der Oberflächenanlage oder getrennt davon angeordnet sein.
Normalbetrieb	Anlagezustand innerhalb spezifizierter Betriebsgrenzen und gemäss geltender Vorschriften (Anhang 1 KEV).
Oberflächenanlage	Gesamtheit der Anlagen (Bauwerke, Installationen und Geräte) an der Erdoberfläche (oder in Oberflächennähe) zur Annahme und zur Vorbereitung der radioaktiven Abfälle und weiterer Materialien für die Einlagerung, sowie zur Sicherstellung aller erforderlichen Nebenprozesse (z. B. Ver- und Entsorgungseinrichtungen).
Oberflächeninfrastruktur	Gesamtheit aller Anlagen an der Erdoberfläche oder in Oberflächennähe, welche für die Realisierung und den Betrieb eines geologischen Tiefenlagers benötigt werden. Die Oberflächeninfrastruktur besteht z. B. aus Erschliessungsinfrastruktur, Oberflächenanlage, Nebenzugangsanlagen, Baustelleneinrichtungen und Zwischendepots.
Optimierung	Für ein geologisches Tiefenlager wird die Optimierung als ein schrittweiser Prozess verstanden, indem bei jeder sicherheitsrelevanten Entscheidung Alternativen und ihre Bedeutung für die Sicherheit im Betrieb und für die Langzeitsicherheit betrachtet werden und ein insgesamt für die Sicherheit günstiger Entscheid gefällt wird.
Rahmengestein	Ober- und/oder unterhalb des Wirtgesteins liegende Gesteinsschichten, deren Eigenschaften wie z. B. Tonmineralgehalt und hydraulische Durchlässigkeit zusätzlich zum Wirtgestein wesentlich zur Barrierenwirkung beitragen.
Referenzfall	Beschreibt im Rahmen des Referenzszenariums die Wirkung der technischen und natürlichen Barrieren. Das Rückhaltevermögen des Barriersystems wird unter Verwendung von Referenzwerten für die Berechnungen aufgezeigt.
Referenzszenarium	Erwartete Variante der Entwicklung des Tiefenlagersystems (Abfallinventar, Barriersystem, geologische Situation), der Biosphäre und der menschlichen Lebensweise.
Robustheit	Eigenschaft des betrachteten Systems, falls es sich unempfindlich gegenüber Ungewissheiten, Vorgängen und Ereignissen verhält (ENSI-G03).
Rückholung	Umfasst die Bergung und den Transport von eingelagerten radioaktiven Abfällen aus dem geologischen Tiefenlager zurück zur Erdoberfläche (ENSI-G03).

Sachplan geologische Tiefenlager	Im Dokument wird der Begriff Sachplan sowohl für den 2008 vom Bundesrat verabschiedeten Konzeptteil als auch für das Verfahren selbst verwendet.
Sensitivitätsanalyse	Untersucht die Änderung der Modellergebnisse auf veränderte Eingabewerte und dient dazu, die für die Sicherheit massgebenden Parameter zu identifizieren (ENSI-G03).
Sicherheitsanalyse	Systematische quantitative Untersuchung mit dem Ziel, die Erfüllung der vorgegebenen Sicherheitsanforderungen aufzuzeigen (ENSI-G03).
Sicherheitsnachweis	Gesamtbewertung der Sicherheit eines geologischen Tiefenlagers, die sich auf eine Zusammenführung von Argumenten und Nachweisen stützt, welche die Sicherheit eines geologischen Tiefenlagers beschreiben, quantifizieren und belegen. Er beinhaltet Sicherheitsanalysen sowie ergänzende qualitative Sicherheitsbewertungen und gibt Aufschluss über die Zuverlässigkeit der getroffenen Aussagen.
Standort	Areale der Oberflächeninfrastruktur und der Raum im geologischen Untergrund, der für die Realisierung eines geologischen Tiefenlagers betrachtet wird.
Standortvergleich	Prozess, mit welchem die in Etappe 3 zur weiteren Untersuchung verbliebenen Standortgebiete oder Teilgebiete davon (einschlusswirksame Gebirgsbereiche, EG) miteinander verglichen werden. Der Standortvergleich umfasst eine gesamtheitliche Abwägung. Die an diese Abwägung gestellten Vorgaben sind in Kap. 4 beschrieben.
Standortwahl	Vorschlag der Entsorgungspflichtigen in Etappe 3, für welche Standorte ein Rahmenbewilligungsgesuch eingereicht wird. Die Standortwahl ist das Ergebnis des Standortvergleichs.
Störfall	Jeder vom Normalbetrieb abweichende Anlagezustand, der ein Eingreifen eines Sicherheitssystems erfordert (Anhang 1 KEV).
Störfallanalyse	Untersuchung des Verhaltens der Kernanlage bei Störfällen mit Hilfe analytischer Methoden: Die Störfallanalyse umfasst eine deterministische und eine probabilistische Untersuchung von Störfallabläufen. Anhand der deterministischen Störfallanalyse ist nachzuweisen, dass ein abdeckendes Spektrum von Störfällen durch die getroffenen Schutzmassnahmen wirksam beherrscht wird und damit die grundlegenden Schutzziele eingehalten werden. Ergänzend hierzu ist anhand der probabilistischen Sicherheitsanalyse nachzuweisen, dass die gegen Störfälle getroffenen Schutzmassnahmen ausreichend zuverlässig und ausgewogen sind (UVEK 2009).
Szenarium	Mögliche Variante der Entwicklung der Abfälle, der technischen und natürlichen Barrieren in und um ein Tiefenlager, der Biosphäre und der menschlichen Lebensweisen unter Einwirkung von angenommenen Eigenschaften, Ereignissen und Vorgängen (ENSI-G03).

Technische Barriere	Technische Komponente in einem geologischen Tiefenlager, die über den Verschluss hinaus verbleibt und gemäss Sicherheitskonzept passiv wirkend zur Rückhaltung der Radionuklide beiträgt (ENSI-G03).
THMC	Siehe «gekoppelte Prozesse»
Überwachung	Eine über längere Zeit kontinuierliche oder periodisch wiederholte Beobachtung einer Eigenschaft oder Messung einer Kenngrösse oder die Summe aller solcher Beobachtungen und Messungen (ENSI-G03).
Umhüllende Varianten	Entwicklungsvarianten der Abfälle, der technischen und natürlichen Barrieren in und um ein Tiefenlager, der Biosphäre und der menschlichen Lebensweisen, deren radiologische Auswirkungen in den betrachteten Zeiträumen mit hoher Wahrscheinlichkeit grösser sind als jene des zukünftigen, tatsächlichen Entwicklungsverlaufs (ENSI-G03).
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation.
Verfüllung	Schliessung von Hohlräumen durch Einbringen von Feststoffen. Die Verfüllung kann zur mechanischen Stabilisierung, räumlichen Abtrennung oder Gewährleistung der Funktionstüchtigkeit der natürlichen und technischen Barrieren dienen (ENSI-G03).
Verschluss	Verfüllen und Versiegeln aller untertägigen Teile und des Zugangsstollens des geologischen Tiefenlagers nach Abschluss der Beobachtungsphase (Art. 3 Bst. I KEG).
Versiegelung	Technische hydraulische Barriere mit einer gebirgsstützenden Wirkung, die auch zum Schutz der Verfüllung dient (ENSI-G03).
Zugangsbauwerke	Bauwerke wie Rampen oder Schächte, welche ausgehend von den Anlagen an der Erdoberfläche die Anlagen im geologischen Untergrund erschliessen.

7 Referenzen

- AdK (2017): Sachplan geologische Tiefenlager – Stellungnahme zu Etappe 2, Ausschuss der Kantone, Zürich.
- BFE (2011): Sachplan geologische Tiefenlager – Konzeptteil, Bundesamt für Energie, Bern.
- EGT (2017): Sachplan Geologische Tiefenlager, Etappe 2 – Stellungnahme der EGT zum Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete, Expertenbericht zuhanden des ENSI, Expertengruppe Geologische Tiefenlagerung, Brugg.
- ENSI (2016): Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 für die Standorte der Schweizer Kernkraftwerke, Verfügung des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats, Brugg.
- ENSI 13/10: Gutachten des ENSI zum Rahmenbewilligungsgesuch der EKKM AG – Neubauprojekt Ersatzkernkraftwerk Mühleberg, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg, 2010.
- ENSI 16/10: Gutachten des ENSI zum Rahmenbewilligungsgesuch der EKKB AG – Neubauprojekt Ersatzkernkraftwerk Beznau, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg, 2010.
- ENSI 18/12: Gutachten des ENSI zum Rahmenbewilligungsgesuch der KKN AG – Neubauprojekt Kernkraftwerk Niederamt, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg, 2010.
- ENSI 33/070: Sicherheitstechnisches Gutachten zum Vorschlag geologischer Standortgebiete, Sachplan geologische Tiefenlager, Etappe 1, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg, 2010.
- ENSI 33/457: Prüfbericht zum Arbeitsbericht NAB 14-50 «Bautechnische Risikoanalyse», Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG, Expertenbericht zuhanden des ENSI, Zürich, 2015.
- ENSI 33/460: Assessment of Geomechanical Properties, Maximum Depth below Ground Surface and EDZ Impact on Long Term Safety, ETH Zürich, Ingenieurgeologie, Expertenbericht zuhanden des ENSI, Zürich, 2015.
- ENSI 33/461: Assessment of Geomechanical Properties of Intact Opalinus Clay, ETH Zürich, Ingenieurgeologie; Dr. von Moos AG Beratende Geologen und Ingenieure, Expertenbericht zuhanden des ENSI, Zürich, 2015.
- ENSI 33/530: Nachforderung des ENSI zum Indikator Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit, Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG, Expertenbericht zuhanden des ENSI, Zürich, 2016.
- ENSI 33/531: Beurteilung der nachgereichten geologischen und felsmechanischen Unterlagen zur maximalen Tiefenlage ETH Zürich, Ingenieurgeologie, Expertenbericht zuhanden des ENSI, Zürich, 2016.
- ENSI 33/540: Sicherheitstechnisches Gutachten zum Vorschlag der in Etappe 3 SGT weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete, Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Gutachten, Brugg, 2017.
- ENSI 33/568: Gutachten zum Sondiergesuch NSG 16-01 – Sondierbohrungen Zeihen, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Gutachten, Brugg, 2017.
- ENSI 33/569: Gutachten zum Sondiergesuch NSG 16-02 – Sondierbohrungen Effingen 1, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Gutachten, Brugg, 2017.
- ENSI 33/570: Gutachten zum Sondiergesuch NSG 16-03 – Sondierbohrungen Riniken 2, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Gutachten, Brugg, 2017.

- ENSI 33/571: Gutachten zum Sondiergesuch NSG 16-04 – Sondierbohrungen Remigen 1, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Gutachten, Brugg, 2017.
- ENSI 33/572: Gutachten zum Sondiergesuch NSG 16-05 – Sondierbohrungen Remigen 2, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Gutachten, Brugg, 2017.
- ENSI 33/573: Gutachten zum Sondiergesuch NSG 16-06 – Sondierbohrungen Bözberg 1, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Gutachten, Brugg, 2017.
- ENSI 33/574: Gutachten zum Sondiergesuch NSG 16-07 – Sondierbohrungen Bözberg 2, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Gutachten, Brugg, 2017.
- ENSI 33/575: Gutachten zum Sondiergesuch NSG 16-08 – Sondierbohrungen Effingen 2, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Gutachten, Brugg, 2017.
- ENSI 33/576: Gutachten zum Sondiergesuch NSG 16-09 – Sondierbohrungen Uhwiesen, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Gutachten, Brugg, 2017.
- ENSI 33/577: Gutachten zum Sondiergesuch NSG 16-10 – Sondierbohrungen Laufen, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Gutachten, Brugg, 2017.
- ENSI 33/578: Gutachten zum Sondiergesuch NSG 16-11 – Sondierbohrungen Trüllikon 1, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Gutachten, Brugg, 2017.
- ENSI 33/579: Gutachten zum Sondiergesuch NSG 16-12 – Sondierbohrungen Trüllikon 2, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Gutachten, Brugg, 2017.
- ENSI 33/580: Gutachten zum Sondiergesuch NSG 16-13 – Sondierbohrungen Rheinau, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Gutachten, Brugg, 2017.
- ENSI 33/581: Gutachten zum Sondiergesuch NSG 16-14 – Sondierbohrungen Dachsen, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Gutachten, Brugg, 2017.
- ENSI 33/582: Gutachten zum Sondiergesuch NSG 16-15 – Sondierbohrung Marthalen, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Gutachten, Brugg, 2017.
- ENSI 33/583: Gutachten zum Sondiergesuch NSG 16-16 – Sondierbohrung Trüllikon 3, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Gutachten, Brugg, 2017.
- ENSI 33/592: Stellungnahme zum Entsorgungsprogramm 2016 der Entsorgungspflichtigen, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg, 2018.
- ENSI 33/593: Empfehlungen und Hinweise aus der Beurteilung des Entsorgungsprogramms und des RD&D-Plans 2016, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Aktennotiz, Brugg, 2018.
- ENSI 33/622: Gutachten zum Sondiergesuch NSG 17-01 – Sondierbohrungen Weiach 3, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Gutachten, Brugg, 2018.
- ENSI 33/623: Gutachten zum Sondiergesuch NSG 17-02 – Sondierbohrungen Bülach, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Gutachten, Brugg, 2018.
- ENSI 33/624: Gutachten zum Sondiergesuch NSG 17-03 – Sondierbohrungen Stadel 1, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Gutachten, Brugg, 2018.
- ENSI 33/625: Gutachten zum Sondiergesuch NSG 17-04 – Sondierbohrungen Eglisau, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Gutachten, Brugg, 2018.
- ENSI 33/626: Gutachten zum Sondiergesuch NSG 17-05 – Sondierbohrungen Stadel 2, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Gutachten, Brugg, 2018.

- ENSI 33/627: Gutachten zum Sondiergesuch NSG 17-06 – Sondierbohrungen Glattfelden, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Gutachten, Brugg, 2018.
- ENSI-A05: Probalistische Sicherheitsanalyse (PSA): Qualität und Umfang, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Richtlinie, Brugg, 2009.
- ENSI-A10: Sicherungsschranken, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Richtlinie, Brugg, 2018.
- ENSI-B09: Ermittlung und Aufzeichnung der Dosis strahlenexponierter Personen, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Richtlinie, Brugg, 2011.
- ENSI-G03: Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Richtlinie, Würenlingen, 2009.
- ENSI-G09: Betriebsdokumentation, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Richtlinie, Brugg, 2014.
- ESchT (2018): Empfehlungen der ESchT für Etappe 3 des Schweizer Sachplanverfahrens geologische Tiefenlager, Stellungnahme Expertengruppe-Schweizer-Tiefenlager.
- KEG: Kernenergiegesetz vom 21. März 2003, SR 732.1.
- KEV: Kernenergieverordnung vom 10. Dezember 2004, SR 732.11.
- KNS (2017): Stellungnahme zum sicherheitstechnischen Gutachten des ENSI zum Vorschlag der in Etappe 3 weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete, KNS-02820 KNS.
- NAB 14-83: Konzepte der Standortuntersuchungen für SGT Etappe 3, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2014.
- NAB 16-28: Konzepte der Standortuntersuchungen für SGT Etappe 3 – Nördlich Lägern, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2016.
- NTB 08-05: Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager: Begründung der Abfallzuteilung, der Barrierensysteme und der Anforderungen an die Geologie; Bericht zur Sicherheit und technischen Machbarkeit, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2008.
- Schweizerischer Bundesrat (2001): Botschaft zu den Volksinitiativen «MoratoriumPlus – Für die Verlängerung des Atomkraftwerk-Baustopps und die Begrenzung des Atomrisikos (MoratoriumPlus)» und «Strom ohne Atom – Für eine Energiewende und die schrittweise Stilllegung der Atomkraftwerke (Strom ohne Atom)» sowie zu einem Kernenergiegesetz. Bundesblatt BBI 2665-2824.
- SIA 112: Modell Bauplanung – Verständigungsnorm, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Norm, Zürich, 2014.
- SIA 197: Projektierung Tunnel – Grundlagen, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Norm, Zürich, 2004.
- SIA 199: Erfassen des Gebirges im Untertagebau, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Norm, Schweiz, 2015.
- StSV: Strahlenschutzverordnung vom 1. Januar 2018, SR 814.501.
- UVEK: Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen vom 17. Juni 2009, SR 732.112.2.
- UVEK: Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und Sicherungsmassnahmen für Kernanlagen und Kernmaterialien vom 16. April 2008, SR 732.112.1.

Anhang I: Beschreibung der Kriterien zu Sicherheit und technischer Machbarkeit (BFE 2011, Anhang I)

Kriteriengruppe	1 Eigenschaften des Wirtgesteins bzw. des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches
Kriterium	1.1 Räumliche Ausdehnung
Zu beurteilende Aspekte	Beurteilt wird das räumliche Eignungspotential (Mächtigkeit, laterale Ausdehnung, Verbreitung) und die Tiefenlage des Wirtgesteinskörpers bzw. des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches unter Berücksichtigung der regionalen geologisch-tektonischen Verhältnisse (z. B. regionale Störungszonen, glazial übertiefte Talrinnen, Fremdgesteinseinschlüsse). In die Beurteilung einzubeziehen sind auch der erforderliche Platzbedarf des Tiefenlagers (inkl. Reserve), das Platzangebot sowie die Flexibilität bei der Anordnung der untertägigen Lagerkavernen und -stollen.
Relevanz für die Sicherheit	Günstig sind Verhältnisse, bei welchen das Wirtgestein bzw. der einschlusswirksame Gebirgsbereich derart beschaffen und ausgedehnt ist, dass die Radionuklide grösstenteils im Wirtgestein bzw. im einschlusswirksamen Gebirgsbereich zurückgehalten werden.
Kriteriengruppe	1 Eigenschaften des Wirtgesteins bzw. des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches
Kriterium	1.2 Hydraulische Barrierenwirkung
Zu beurteilende Aspekte	Beurteilt werden die Eigenschaften des Wirtgesteins bzw. des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches hinsichtlich der Wasserführung und des Stofftransportes sowie die regionale hydrogeologische Situation. Zur Sicherstellung der langfristigen Isolation und des Einschlusses der radioaktiven Abfälle werden Gesteine mit geringer Grundwasserbewegung gesucht. Diese hängt von den Eigenschaften des Gesteins, u. a. der hydraulischen Durchlässigkeit unter Berücksichtigung des hydraulischen Gradienten ab, und gibt Hinweis auf die vorherrschenden Transportprozesse (Advektion, Diffusion) und die Wirkung als hydraulische Barriere. In die Beurteilung der hydrogeologischen Verhältnisse werden ferner auch indirekte Indikatoren einbezogen wie z. B. die generelle hydrochemische Gliederung und Abgrenzung der verschiedenen Grundwasserstockwerke, erwartete Isotopensignaturen und Verweilzeiten der Tiefenwässer.
Relevanz für die Sicherheit	Eine geringe hydraulische Durchlässigkeit führt zu einer geringen Wasserführung. Eine solche ist zunächst für das Verhalten und den Schutz der technischen Barrieren im Tiefenlager günstig. In einer späteren Phase stellt sie auch sicher, dass der Radionuklidtransport im Wirtgestein bzw. im einschlusswirksamen Gebirgsbereich nur sehr langsam erfolgen kann (Barrierenwirkung).

Kriteriengruppe	1 Eigenschaften des Wirtgesteins bzw. des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches
Kriterium	1.3 Geochemische Bedingungen
Zu beurteilende Aspekte	Beurteilt werden die geochemischen Verhältnisse im Wirtgestein bzw. im einschlusswirksamen Gebirgsbereich (u. a. Mineralogie, Chemismus des Wassers, pH-Wert, Redox-Bedingungen, Salinität, Wasser-Gesteins-Wechselwirkungen, mikrobielle Prozesse) bezüglich Rückhaltung und Verzögerung der Radionuklide (begrenzte Löslichkeit, Sorptionsvermögen) und Langzeitverhalten der technischen Barrieren.
Relevanz für die Sicherheit	Günstig ist, wenn die geochemischen Bedingungen und die Gesteinsbeschaffenheit zu einem guten Radionuklid-Rückhaltevermögen im Wirtgestein bzw. im einschlusswirksamen Gebirgsbereich führen. Günstig sind auch geochemische Bedingungen, welche die Radionuklid-Rückhaltung in den technischen Barrieren begünstigen und zur langfristigen Beständigkeit der Eigenschaften der technischen Barrieren im Tiefenlager beitragen.
Kriteriengruppe	1 Eigenschaften des Wirtgesteins bzw. des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches
Kriterium	1.4 Freisetzungspfade
Zu beurteilende Aspekte	Beurteilt werden die präferenziellen Radionuklid-Freisetzungspfade im Wirtgestein bzw. im einschlusswirksamen Gebirgsbereich. Zur Ausbreitung der Nuklide tragen verschiedene Eigenschaften des Transportpfades bei, wie die Art und Verteilung der Transportpfade im Gestein (poröses oder geklüftetes Medium), die Ausbildung seines Porenraums («Channeling» = Fließkanäle) sowie seine Länge und Transmissivität. Bei der Ausbreitung entlang von Rissen und Klüften im Gestein ist das Selbstabdichtungsvermögen zu berücksichtigen, welches wesentlich vom Tongehalt des Gesteins abhängt.
Relevanz für die Sicherheit	Günstig sind Transportpfade, die zu einer erheblichen Verzögerung der Radionuklidfreisetzung aus dem Wirtgestein bzw. dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich führen. Günstig ist dabei eine homogene Verteilung der Fließwege im Gestein, im Gegensatz zu einer Konzentration des Flusses auf wenige Klüfte, Adern oder andere Inhomogenitäten. Je länger der Nuklidtransport im Gestein dauert, desto grösser ist der Anteil der Radionuklide, die im Gestein zerfallen und somit die Biosphäre nicht erreichen.

Kriteriengruppe	2 Langzeitstabilität
Kriterium	2.1 Beständigkeit der Standort- und Gesteinseigenschaften
Zu beurteilende Aspekte	Beurteilt wird die geologische Langzeitstabilität des Standortes und der Gesteinseigenschaften, insbesondere die Möglichkeit einer Beeinträchtigung und Veränderung des Isolationsvermögens des Wirtgesteins bzw. des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches durch geologische Prozesse wie Störung des Gesteinsverbandes durch differenzielle Bewegungen (Zerscherung, Reaktivierung von Brüchen und Störungszonen, Bildung neuer Wasser- und Gaswegsamkeiten) verursacht durch neotektonische Aktivität (u. a. Seismizität), geochemische Vorgänge (Lösungsprozesse, Karstbildung, Wasser-Gesteins-Wechselwirkungen) oder seltene geologische Ereignisse wie die Bruchbildung im Zusammenhang mit starken Erdbeben oder Vulkanismus.
Relevanz für die Sicherheit	Günstig sind Gebiete und Gesteine, die über den für die Sicherheitsbewertung zu betrachtenden Zeitraum die erforderliche Barrierenwirkung gewährleisten können. Günstig sind Gesteine mit einer geringen Neigung zur Bildung neuer Wasserwegsamkeiten und die bei Deformation eine Selbstabdichtung von Rissen/Klüften/Störungen aufweisen. Günstig sind geologische Situationen, bei denen differenzielle Bewegungen innerhalb des Lagerbereiches unwahrscheinlich sind.
Kriteriengruppe	2 Langzeitstabilität
Kriterium	2.2 Erosion
Zu beurteilende Aspekte	Beurteilt wird der Einfluss der Erosion, d. h. die massgeblichen Faktoren und Prozesse (Tiefenlage des Lagers, Hebungsrates, Erosionsrate und glaziale Tiefenerosion), die zu einer Beeinträchtigung der Barrierenwirkung des Wirtgesteins bzw. des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches (Verringerung der Gesteinsüberdeckung, Auflockerung des Wirtgesteins und Erhöhung der hydraulischen Durchlässigkeit) oder zu einer Freilegung des Lagers innerhalb des Betrachtungszeitraumes führen könnten.
Relevanz für die Sicherheit	Günstig ist eine Situation (geringe Erosion und/oder grosse Tiefenlage), bei der die Barrierenwirkung des Wirtgesteins nicht oder möglichst spät beeinträchtigt wird.
Kriteriengruppe	2 Langzeitstabilität
Kriterium	2.3 Lagerbedingte Einflüsse
Zu beurteilende Aspekte	Beurteilt werden die Auswirkungen des Lagers auf das Wirtgestein (Gasentwicklung der Abfälle und Gastransport, Wärmeeintrag und Wärmeempfindlichkeit, thermisch-hydraulisch-mechanisch gekoppelte Prozesse, chemische Wechselwirkungen, Ausbildung der Auflockerungszone im Nahbereich der Untertagebauten, Reversibilität der Veränderungen, Selbstabdichtungsvermögen). Dabei sind das einzulagernde Abfallinventar und das dafür vorgesehene Lagerkonzept (z. B. Auslegung des Lagers, Materialwahl für die technischen Barrieren) zu berücksichtigen.
Relevanz für die Sicherheit	Günstig sind Wirtgesteine, bei welchen lagerinduzierte Prozesse zu keiner wesentlichen Beeinträchtigung ihrer Barrierenwirkung führen. Günstig sind Gesteine, die ein Selbstabdichtungsvermögen von Rissen und Klüften aufweisen und die im Bereich der zu erwartenden Temperaturen wenig wärmeempfindlich bezüglich ihrer hydraulischen, stofflichen und felsmechanischen Eigenschaften sind.

Kriteriengruppe	2 Langzeitstabilität
Kriterium	2.4 Nutzungskonflikte
Zu beurteilende Aspekte	Beurteilt werden die nutzungswürdigen Rohstoffe und die sich daraus allfällig ergebenden Nutzungskonflikte. Insbesondere wird beurteilt, ob im oder unterhalb des Wirtgesteins bzw. des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches aus heutiger Sicht wirtschaftlich nutzungswürdige Rohstoffe (z. B. Salz, Kohlenwasserstoffe, Geothermie, Mineralquellen und Thermen) im besonderen Masse vorkommen. Beurteilt wird ferner, ob die Erschliessung und Nutzung der Rohstoffe die Barrierenwirkung des Wirtgesteins beeinträchtigen (Schichtverletzung) oder das Lager direkt treffen könnte.
Relevanz für die Sicherheit	Günstig ist, wenn keine Rohstoffe, deren Nutzung die Barrierenwirkung des Wirtgesteins signifikant beeinträchtigen würde, in besonderem Masse innerhalb des Standortgebietes vorkommen.
Kriteriengruppe	3 Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen
Kriterium	3.1 Charakterisierbarkeit der Gesteine
Zu beurteilende Aspekte	Beurteilt werden die Möglichkeiten der Charakterisierung der Beschaffenheit des Wirtgesteins bzw. des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches und der Erfassung der sicherheitsrelevanten Gesteinseigenschaften (Homogenität/Heterogenität der Gesteinsbeschaffenheit, Existenz und Art der Architekturelemente, Variabilität der sicherheitsrelevanten Eigenschaften). Es wird geprüft, ob die benötigten Daten mit genügender Zuverlässigkeit gewonnen werden können.
Relevanz für die Sicherheit	Günstig ist, wenn die Wirtgesteinseigenschaften möglichst homogen sind und ohne übermässig destruktive Untersuchungen ermittelt werden können (keine wesentliche Beeinträchtigung der Barrierenwirkung des Wirtgesteins durch Schichtverletzende Untersuchungen). Für die Beurteilung ist es vorteilhaft, wenn relevante Erfahrungen und Kenntnisse über das Wirtgestein oder über vergleichbare Gesteine national und international bereits vorhanden sind.
Kriteriengruppe	3 Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen
Kriterium	3.2 Explorierbarkeit der räumlichen Verhältnisse
Zu beurteilende Aspekte	Beurteilt werden die geologisch-tektonische Komplexität und die Explorierbarkeit der räumlichen geologischen Verhältnisse (Lagerungsverhältnisse, Ausdehnung und Kontinuität der Schichten, räumliche Konstanz der lithologischen Beschaffenheit, Wirtgesteinsgrenzen, Lage von regionalen Störungszonen, kleinräumige Störungen, etc.). Massgebend ist auch die Zugänglichkeit für Untersuchungen von der Erdoberfläche aus (Quartärbedeckung, topographische Verhältnisse, dichte Besiedlung, Bewaldung etc.).
Relevanz für die Sicherheit	Günstig ist, wenn die Lagerungsverhältnisse und die Geometrie des Wirtgesteins bzw. des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs einfach und von der Erdoberfläche aus gut explorierbar sind (z. B. mit Reflexionsseismik). Günstig ist, wenn die Beobachtungen bzw. Untersuchungen der sicherheitsrelevanten Eigenschaften räumlich inter- und extrapolierbar sind. Günstig ist auch, wenn keine erschweren-

	den Verhältnisse an der Erdoberfläche vorliegen (z. B. mächtige Quartärablagerungen, schwierige Topographie, ausgedehnte dichte Siedlungsräume, dichte Bewaldung).
Kriteriengruppe	3 Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen
Kriterium	3.3 Prognostizierbarkeit der Langzeitveränderungen
Zu beurteilende Aspekte	Beurteilt wird die Prognostizierbarkeit der möglichen Langzeitveränderungen (z. B. durch Modellvorstellungen zur Klimaentwicklung und Geodynamik, Hinweise auf rezente Bewegungen, Seismizität), die im Betrachtungszeitraum einen Einfluss auf das Einschlussvermögen des Wirtgesteins bzw. des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches haben können. Beurteilt werden ferner unabhängige Evidenzen des Langzeiteinschlusses (z. B. alte Porenwässer, natürliche Tracerstoffe und ihre Verteilung).
Relevanz für die Sicherheit	Günstig ist, wenn die sicherheitsrelevanten Eigenschaften und die Geometrie des Wirtgesteins bzw. des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches über die erforderlichen Zeiträume genügend zuverlässig prognostizierbar sind. Günstig sind Wirtgesteine mit unabhängigen Evidenzen der Langzeitisolation (z. B. der Einschluss alter Porenwässer) oder die Anwesenheit/Verteilung natürlicher Tracerstoffe, die auf eine langfristig geringe Wasserzirkulation schliessen lassen.

Kriteriengruppe	4 Bautechnische Eignung
Kriterium	4.1 Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen
Zu beurteilende Aspekte	Beurteilt werden die felsmechanischen Eigenschaften und Bedingungen für Bau, Betrieb, Überwachung und Verschluss des geologischen Tiefenlagers (u. a. Gesteins- und Gebirgsfestigkeiten, Verformungseigenschaften der Gesteine, Tiefenlage und Gebirgsspannungen, Stabilität der Hohlräume, natürliche Gasführung).
Relevanz für die Machbarkeit	Günstig sind bautechnisch einfach beherrschbare Verhältnisse, bei denen sich durch die Tiefenlage keine extremen Anforderungen bei der Erstellung, beim Betrieb, bei der Überwachung (inkl. einer eventuellen Rückholung) oder beim Verschluss des Lagers ergeben. Günstig ist, wenn der Verschluss der Lagerteile ohne technische Probleme mit der erforderlichen Abdichtung realisiert werden kann.
Kriteriengruppe	4 Bautechnische Eignung
Kriterium	4.2 Untertägige Erschliessung und Wasserhaltung
Zu beurteilende Aspekte	Beurteilt werden die Bedingungen für die Erschliessung der Lagerkavernen und -stollen, insbesondere die bautechnischen und hydrogeologischen Verhältnisse für Erstellung, Betrieb und Unterhalt der Zugangsbauwerke zu den Lagerkavernen und -stollen, inkl. natürlicher Gasführung.
Relevanz für die Machbarkeit	Günstig ist, wenn keine wesentlichen hydrogeologischen und geotechnischen Probleme oberhalb der Lagerebene zu erwarten sind.

ENSI 33/649

ENSI, CH-5200, Industriestrasse 19, Telefon +41 (0)56 460 84 00, info@ensi.ch, www.ensi.ch