



Technischer Bericht 21-01

**Entsorgungsprogramm 2021
der Entsorgungspflichtigen**

Dezember 2021

**Nationale Genossenschaft
für die Lagerung
radioaktiver Abfälle**

Hardstrasse 73
5430 Wettingen
Schweiz
Tel. +41 56 437 11 11
www.nagra.ch

Technischer Bericht 21-01

**Entsorgungsprogramm 2021
der Entsorgungspflichtigen**

Dezember 2021

**Nationale Genossenschaft
für die Lagerung
radioaktiver Abfälle**

Hardstrasse 73
5430 Wettingen
Schweiz
Tel. +41 56 437 11 11

www.nagra.ch

Dieser Bericht wurde im Juli 2022 revidiert. Dabei wurden die folgenden Korrekturen vorgenommen: in der Einleitung die Referenz auf Seite IV, 1. Abs. 3. Zeile zu "Art. 51a" und in den Anhängen die Tabelle Tab. A.2-2 auf Seite A-13, 3. + 4. Zeile, und die Referenz in A.8.6 auf Seite A-65, 2. Abs. zu "EP21 (Nagra 2021a)".

Das Entsorgungsprogramm wurde mit den Entsorgungspflichtigen ausführlich diskutiert und von ihnen an der Sitzung der Verwaltung der Nagra vom 03. Dezember 2021 freigegeben.

ISSN 1015-2636

"Copyright © 2021 by Nagra, Wettingen (Schweiz) / Alle Rechte vorbehalten.

Das Werk einschliesslich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ausserhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung der Nagra unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Übersetzungen, Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen und Programmen, für Mikroverfilmungen, Vervielfältigungen usw."

Das Wesentliche in Kürze (*Executive Summary*)

Der vorliegende Bericht dokumentiert das Entsorgungsprogramm der Entsorgungspflichtigen, wie es gesetzlich verlangt wird. Gegenstand und Ziel des Entsorgungsprogramms ist es, eine gesamtheitliche übergeordnete Darstellung der für die Entsorgung aller radioaktiven Abfälle der Schweiz notwendigen Arbeiten zu geben (strategisches Arbeitsprogramm) und die konzeptuellen Vorgaben, Annahmen und deren Umsetzung für die Auslegung der Anlagen und deren schrittweise Realisierung aufzuzeigen.

Das Entsorgungsprogramm 2021 (EP21) wurde von der Nagra im Auftrag der Entsorgungspflichtigen erstellt; es richtet sich primär an die Behörden und zeigt auch auf, wie die Entsorgungspflichtigen auf spezifische Auflagen des Bundesrats sowie weitere Empfehlungen der Behörden zum Entsorgungsprogramm 2016 (EP16) eingetreten sind.

Das EP21 ist so abgefasst, dass es auch der breiteren Öffentlichkeit zur Information dienen kann. Als wichtiger Bestandteil hält es den Fortschritt im Verfahren des Sachplans geologische Tiefenlager (SGT) seit seiner Vorgängerversion (EP16) fest. Speziell hervorzuheben sind:

- Der Bundesrat hat im November 2018 als Abschluss von SGT Etappe 2 der Fokussierung auf Opalinuston (OPA) als Wirtgestein für alle Lagertypen zugestimmt; somit kann aufgrund der sicherheitstechnischen Eignung dieses Wirtgesteins für die weitere Projektierung davon ausgegangen werden, dass die alphanuklearen Abfälle (ATA) zusammen mit den schwach- und mittelaktiven Abfällen (SMA) im gleichen Lager eingelagert werden.
- Gleichzeitig hat der Bundesrat entschieden, dass die geologischen Standortgebiete Jura Ost (JO), Nördlich Lägern (NL) und Zürich Nordost (ZNO) in SGT Etappe 3 weiter zu untersuchen sind. Des Weiteren wurden vom Bundesrat, gestützt auf eine intensive Zusammenarbeit mit den Standortregionen und -kantonen, Standortareale für die Oberflächenanlagen festgelegt und diese in Objektblättern zu Etappe 2 festgehalten.
- Im Rahmen der laufenden Etappe 3 des Sachplans wurden vertiefte Feldarbeiten durchgeführt (2D-/3D-Seismik, Quartärbohrungen, Tiefbohrungen). Die bisherigen Ergebnisse der Feldarbeiten bestätigen die grundsätzliche Eignung aller drei Standortgebiete.
- In vielen Ländern (u.a. Frankreich, Spanien, Grossbritannien, USA) werden SMA in oberflächennahen und vergleichsweise kostengünstigen Endlagern entsorgt. Die Schweiz hat sich für die aufwendigere Tiefenlagerung auch dieser Abfallkategorie entschieden. Mit der Fokussierung auf den Opalinuston für alle Abfallarten besteht die grundsätzliche Möglichkeit, alle Abfälle in einem sogenannten Kombilager bestehend aus einem HAA- und einem SMA-Lagerteil zu entsorgen. Die Ergebnisse der weit fortgeschrittenen Feldarbeiten bestätigen, dass in allen drei Standortgebieten genügend Platz für die Anordnung eines Kombilagers vorhanden ist. Ein solches erfüllt die gleichen sicherheitstechnischen Anforderungen bezüglich Betriebs- und Langzeitsicherheit wie zwei Einzellager, hat aber klare Vorteile im Hinblick auf Gefahren beim Bau, den Ressourcenverbrauch und die Emission von Treibhausgasen, da eine geringere Anzahl von Anlagen sowohl an der Oberfläche als auch untertag gebaut und betrieben werden muss. Die Realisierung eines Kombilagers ist somit im Vergleich zu zwei Einzellagern mit betrieblichen, sicherheitstechnischen, ökologischen und ökonomischen Vorteilen verbunden. Deshalb wird, falls es die abschliessende sicherheitstechnische Gesamtbewertung erlaubt, mit dem Rahmenbewilligungsgesuch ein Kombilager beantragt.

- Die Nagra hat in SGT Etappe 3 aufgezeigt, dass für die Platzierung der «Brennelement-verpackungsanlage» (BEVA) der Raum beim Zwiilag sowie auch die Areale für die Oberflächenanlage beim geologischen Tiefenlager geeignet sind und die einzigen sinnvollen Standortvarianten darstellen; diese Erkenntnis wird auch von einer überregionalen Arbeitsgruppe getragen.
- Der Zeitplan ist seit Beginn von SGT Etappe 3 unverändert. Das Bewilligungsverfahren für die Tiefbohrungen hat zu keinen rechtlich bedingten Verzögerungen mit Auswirkungen auf den Realisierungsplan geführt. Die erdwissenschaftlichen Untersuchungen konnten deshalb wie geplant durchgeführt werden. Die Ankündigung der Nagra, für welchen Standort oder welche Standorte sie ein Rahmenbewilligungsgesuch (RBG) für ein Kombilager respektive zwei RBG für die Einzellager ausarbeiten wird (Auswahl der Standorte für die Vorbereitung der Rahmenbewilligungsgesuche gemäss Konzept SGT) steht deshalb bevor (voraussichtlich 2022). Zudem sollen gleichzeitig die Areale zur Platzierung der Oberflächeninfrastruktur (inkl. Standort der Verpackungsanlagen) bezeichnet werden.
- Die Kosten wurden wie schon in der Vergangenheit in Zusammenarbeit mit externen Fachleuten und spezialisierten Firmen erarbeitet, die grosse Erfahrung in der Realisierung von Nuklearanlagen und Tunnelbauten haben. Die Kostenberechnung 2021 (KS21) wurde mit der gleichen Methodik wie bei der Kostenstudie 2016 (KS16) durchgeführt. Die aktuelle Kostenermittlung für das geologische Tiefenlager liegt gemäss den Resultaten der KS21 leicht tiefer als bei KS16.

Ausführliche Zusammenfassung

Viele wichtige Schritte zur Entsorgung der radioaktiven Abfälle in der Schweiz sind heute realisiert und für die damit verbundenen Aktivitäten besteht mittlerweile eine grosse Erfahrung. Diese betreffen die Behandlung und Verpackung der radioaktiven Abfälle, ihre Charakterisierung und Inventarisierung sowie die Zwischenlagerung und die dazugehörigen Transporte.

Für die Realisierung der geologischen Tiefenlager sind die gesetzlichen Regelungen (KEG 2003, KEV 2004) und Richtlinien vorhanden. Ebenso ist die revidierte ENSI-Richtlinie ENSI-G03 (ENSI 2020b) für das Vorhaben von Bedeutung. Das vom Bundesrat 2008 genehmigte Konzept Sachplan geologische Tiefenlager (SGT) (BFE 2008) regelt zudem das laufende Standortwahlverfahren; dieses erfolgt in drei Etappen. Mit den Präzisierungen der sicherheitstechnischen Vorgaben für SGT Etappe 3 (ENSI 2018c) liegen auch für die derzeit laufende letzte Etappe konkrete Vorgaben vor.

Der vorliegende Bericht dokumentiert das Entsorgungsprogramm der Entsorgungspflichtigen, wie es gesetzlich verlangt wird (Art. 32 KEG, Art. 52 KEV). Die geforderten Angaben für das Entsorgungsprogramm sind in Art. 52 Abs. 1 KEV vorgegeben. Nachfolgend sind die wichtigsten Angaben aus Kap. 2 bis 8 des EP21 gemäss den Aspekten in Art. 52 Abs. 1 KEV zusammengefasst:

- **Herkunft, Art und Menge der radioaktiven Abfälle** (Kap. 2): Die Herkunft, Art und Menge der in der Schweiz zu entsorgenden radioaktiven Abfälle sind bekannt und die Abfälle werden gemäss Art. 51 KEV in die Kategorien hochaktive Abfälle (HAA), alphanukleare Abfälle (ANA) und schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA) eingeteilt. Dem aktuellen Entsorgungsprogramm wird ein Szenario «60 Jahre Betrieb KKW» zugrunde gelegt. Dieses geht von einer Betriebszeit von 47 Jahren für das KKM (Einstellung des Leistungsbetriebs von KKM erfolgte im Jahr 2019) und 60 Jahren für KKB, KKG und KKL aus und stellt bzgl. der Abfallmengen eine konservativere Annahme dar, als dies beim Szenario «50 Jahre Betrieb KKW» der Fall ist. Bei den radioaktiven Abfällen und Materialien aus Medizin, Industrie und Forschung (MIF) wird von einer Sammelperiode bis Ende 2064, dem Ende des Einlagerungsbetriebs für SMA-Abfälle, ausgegangen. Zudem stellt die Einlagerung von zusätzlichen MIF-SMA-Abfällen ins geologische Tiefenlager vor Verschluss eine denkbare Option dar (Agneb 2019), die im Rahmenbewilligungsgesuch zu berücksichtigen wäre. Die Abfallmengen im EP21 wurden allesamt auf Basis der nuklidspezifischen Freigrenzen gemäss Revision der Strahlenschutzverordnung 2017 (StSV 2017) ermittelt. Während das Volumen der angelieferten bzw. konditionierten Abfälle im Vergleich zum EP16 praktisch unverändert ist (total ca. 45'000 m³), ist das verpackte Volumen (total ca. 82'500 m³) im Vergleich zum EP16 ca. 10 % kleiner (s. Kap. 2.1). Um eine konsistente Darstellung der Informationen zur Entsorgung im EP21 und in der KS21 zu gewährleisten und die Vergleichbarkeit der Angaben zur Kostenstudie im EP21 und in der KS21 mit denen in früheren Entsorgungsprogrammen und Kostenstudien sicherzustellen, beinhaltet das EP21 auch ein Szenario, welches von einem 50-jährigen Betrieb der KKW (KKB, KKG, KKL) sowie 47 Jahre Betrieb für KKM ausgeht (sog. Szenario «50 Jahre Betrieb KKW»). Die entstehenden Abfälle werden laufend konditioniert, charakterisiert und inventarisiert. Vor Beginn der Konditionierung eines Abfallstroms wird das vorgeschlagene Konditionierverfahren durch die Nagra bezüglich der Endlagerfähigkeit der fertigen Abfallgebinde beurteilt. Dies ist Voraussetzung für die behördliche Genehmigung der routinemässigen Konditionierung. Neben den Informationen über die vorhandenen Abfälle besteht auch für die erst in Zukunft anfallenden Abfälle ein modellhaftes Inventar. Damit ist eine zuverlässige Basis für die Planung und Realisierung der geologischen Tiefenlager und für die Bewirtschaftung der bestehenden Zwischenlager vorhanden.

- **Die geologischen Tiefenlager** (Kap. 3): In der Schweiz ist die geologische Tiefenlagerung als **Entsorgungskonzept** (Kap. 3.1.1) für alle radioaktiven Abfälle im Kernenergiegesetz vorgegeben, mit Ausnahme der in Art. 51a KEV erwähnten Abfälle. Das schweizerische Entsorgungskonzept geht von zwei Lagertypen aus: einem für SMA und einem für HAA (Informationen zur Abfallzuteilung zu den Lagertypen SMA und HAA finden sich in Kap. 4.1). Beide Lager können als ein sogenanntes Kombilager im gleichen Standortgebiet platziert werden. Die Realisierung eines Kombilagere ist mit betrieblichen, sicherheitstechnischen, ökologischen und ökonomischen Vorteilen verbunden (Kap. 3.1.1). Das Kombilager stellt eine Gesamtanlage dar und es können viele Elemente der Oberflächeninfrastruktur und ein Teil der Bauten untertag (Zugangsbauwerke und zentraler Bereich) gemeinsam genutzt werden. Daraus ergeben sich beim Kombilager im Vergleich zu zwei Einzellagern wesentliche Vereinfachungen beim Bau und Betrieb. Ebenso ergeben sich bewilligungstechnische Vorteile und auch Vorteile beim Aufwand der Begleitung des Projekts und der Zusammenarbeit vor Ort. Die bisherigen Ergebnisse der Feldarbeiten bestätigen, dass in den drei Standortgebieten grundsätzlich genügend Platz für die Anordnung eines Kombilagere vorhanden ist. Deshalb wird, falls es die abschliessende sicherheitstechnische Gesamtbewertung erlaubt, gestützt auf die oben dargelegten Vorteile mit dem Rahmenbewilligungsgesuch ein Kombilager beantragt.

In der Schweiz beruht das **Sicherheitskonzept** (Kap. 3.1.2) auf einem bezüglich Langzeitsicherheit optimierten Mehrfachbarrierensystem bestehend aus gestaffelten, passiv wirkenden technischen und natürlichen Barrieren. Dies sind Abfallmatrix, Endlagerbehälter, Verfüllung und Versiegelung als technische Barrieren sowie der einschliesswirksame Gebirgsbereich als natürliche Barriere.

Auch wenn sich die **Technologie für den Bau, Betrieb und Verschluss** (Kap. 3.1.3) bis Baubeginn weiterentwickeln wird, konnte bereits im Rahmen des Entsorgungsnachweises für SMA und HAA (s. Kap. 1.3) die technische Machbarkeit der geologischen Tiefenlagerung aufgezeigt werden. Die **Überwachung und Rückholbarkeit** sind im schweizerischen Programm als integrale Bestandteile der Tiefenlagerkonzepte vorgesehen (Kap. 3.1.4). Es bestehen hierzu technische Konzepte, die periodisch an die neuesten Erkenntnisse angepasst werden.

Der **Geologie** (Kap. 3.1.5) als natürliche Barriere kommt eine wichtige Bedeutung zu; neben der Isolation der Abfälle vom menschlichen Lebensraum bzw. der Biosphäre und der Gewährleistung der langfristigen Stabilität leistet sie einen wichtigen Beitrag zur Barrierenwirkung. Mit dem Bundesratsentscheid von 2011 wurden sechs Vorschläge für Standortgebiete für ein SMA-Lager und drei Vorschläge für ein HAA-Lager für die weitere Untersuchung in SGT Etappe 2 festgehalten. Basierend auf ergänzenden geologischen Untersuchungen und einer systematischen und sicherheitsgerichteten Einengung hat der Bundesrat 2018 der Fokussierung auf Opalinuston (OPA) als Wirtgestein zugestimmt und entschieden, dass die geologischen Standortgebiete Jura Ost, Nördlich Lägern sowie Zürich Nordost in SGT Etappe 3 weiter zu untersuchen sind.

In der laufenden Etappe 3 wurden für die drei verbliebenen Gebiete umfangreiche erdwissenschaftliche Untersuchungen durchgeführt. Bis Oktober 2021 wurden 8 Tiefbohrungen abgeschlossen, eine voraussichtlich abschliessende Tiefbohrung befindet sich in Ausführung¹. Weitere Feldarbeiten umfassen u.a. 3D-Seismik, hochauflösende 2D-Seismik sowie 11 Quartärbohrungen (s. Fig. 3.1-2 und 3.1-3). Die laufende Auswertung und Integration der Felduntersuchungen bilden zusammen mit weiteren Studien zu geologischen und hydrogeologischen Eigenschaften der Standortgebiete eine wichtige Basis für den sicherheitstechnischen Vergleich der Standortgebiete und für die Begründung der Standortwahl.

¹ Das EP21 wurde auf Grundlage des Informationsstands per 31. Oktober 2021 erstellt.

Die nächsten Sicherheitsnachweise (Kap. 3.1.6) für das geologische Tiefenlager werden für das Rahmenbewilligungsgesuch gefordert; diesbezügliche Vorgaben finden sich in ENSI (2018c). Sicherheitsnachweise für die Betriebsphase sowie für die Nachverschlussphase des Tiefenlagers (Langzeitsicherheitsnachweis) sind aber auch für alle anschliessenden Bewilligungsschritte bis zum definitiven Verschluss des geologischen Tiefenlagers erforderlich (ENSI 2020b).

Im Rahmen der schweizerischen Gesetzgebung sind Aspekte zur **Raumnutzung und Umweltverträglichkeit** (Kap. 3.1.7) klar geregelt; diese Vorgaben gelten auch für das Vorhaben geologische Tiefenlager. Die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) der 1. Stufe erfolgt im Zuge des Rahmenbewilligungsverfahrens. Einen weiteren Bestandteil des Rahmenbewilligungsgesuchs stellt der Bericht über die Abstimmung mit der Raumplanung dar.

Die **Auslegung der geologischen Tiefenlager** (Kap. 3.2) basiert auf dem Sicherheitskonzept für HAA und SMA und ist eine für alle Standortgebiete in SGT Etappe 3 anwendbare Konkretisierung des Lagerkonzepts. Sie berücksichtigt stufengerecht Anforderungen an die Sicherheit, technische Machbarkeit und den Umgang mit vorhandenen Ressourcen sowie das Gebot der Optimierung. Die derzeitige Lagerauslegung umfasst stufengerecht Anlagenkonzepte sowie Konzepte zum Bau, Betrieb und Verschluss. Um die erforderliche Flexibilität zur Berücksichtigung möglicher zukünftiger Entwicklungen zu erhalten, werden dabei für Elemente der Lagerauslegung verschiedene Varianten betrachtet.

- Nach dem Entscheid des Bundesrats zu SGT Etappe 2 verbleiben in Etappe 3 ausschliesslich geologische Standortgebiete (JO, NL und ZNO), welche grundsätzlich für Einzellager und für ein Kombilager geeignet sind. Im EP21 wird die Lagerauslegung am Beispiel des Kombilagers modellhaft erläutert. Auf die Auslegung der Einzellager wird insofern eingetreten, als dass aufgezeigt wird, welche spezifischen Lagerteile aus dem Kombilager für das jeweilige Einzellager hinfällig werden (Kap. 3.3 und 3.4).

Die Anlagenelemente und Bauten, welche für den Betrieb eines Lagers benötigt werden, lassen sich vereinfacht in drei Kategorien einteilen:

- *Oberflächeninfrastruktur (OFI)* (s. Fig. 3.2-3 und 3.2-4): Die Oberflächenanlage (OFA) stellt das Kernstück der OFI dar. Die radioaktiven Abfälle müssen für die Einlagerung vorbereitet, d.h. endlagergerecht verpackt werden. Die Verpackung erfolgt in den Verpackungsanlagen (VA). Diese werden zweckmässigerweise entweder bei der OFA am Ort des geologischen Tiefenlagers oder beim Zwischenlager in Würenlingen (Zwilag) realisiert. In beiden Fällen werden ausgehend von der OFA die verpackten Endlagerbehälter über den Hauptzugang nach untertag transportiert. Über die Nebenzugangsanlagen erfolgen schwerpunktmässig der Bau des Tiefenlagers (Betriebszugang) sowie die Frischluftversorgung der Anlagenelemente und Bauten auf Lagerebene (Lüftungszugang).
- *Zugänge nach untertag* (s. Fig. 3.2-1 und 3.2-2): Diese Zugangsbauwerke stellen in Form von Schächten und Tunnels die Verbindung zwischen der Oberfläche und den Bauten auf Lagerebene sicher.
- *Anlagenelemente und Bauten auf Lagerebene* (s. Fig. 3.2-1 und 3.2-2): Die Endpunkte aller Zugangsbauwerke sowie die Zugänge zu den HAA- und SMA-Haupt- und Pilotlagern schliessen an den sogenannten Haupteinlassbereich (HEB) an; dieser umfasst im Wesentlichen die Anlagenelemente des sogenannten zentralen Bereichs und die Testbereiche. Das Kombilager enthält auf Lagerebene sowohl für den HAA- als auch den SMA-Lagerteil je ein Hauptlager und ein Pilotlager mit Kontrollstollen.

- **Zuteilung der Abfälle zu den geologischen Tiefenlagern** (Kap. 4): Die Art der Abfälle hat sich gegenüber dem EP16 nicht geändert. Da der Bundesrat indes als Abschluss von SGT Etappe 2 der Fokussierung auf Opalinuston (OPA) als Wirtgestein für alle Lagertypen zugestimmt hat, kann aufgrund der sicherheitstechnischen Eignung dieses Wirtgesteins für die weitere Projektierung davon ausgegangen werden, dass die alphanuklearen Abfälle (ANA) im SMA-Lager respektive SMA-Lagerteil des Kombilagers eingelagert werden. Die definitive Abfallzuteilung auf die verschiedenen geologischen Tiefenlager erfolgt schrittweise im Rahmen der verschiedenen nuklearen Bewilligungsverfahren. Dieses Vorgehen ermöglicht auf Basis der effektiv vorgefundenen Verhältnisse, die Abfallzuteilung bzw. die Anforderungen an die einzulagernden Abfälle entsprechend dem Optimierungsgebot zu regeln.
- **Realisierungsplan für die Erstellung der geologischen Tiefenlager** (Kap. 5): Der Zeitplan seit Beginn von SGT Etappe 3 ist unverändert und sieht wie folgt aus. In der laufenden dritten Etappe des Sachplanverfahrens sind namentlich die Ankündigung des Standorts oder der Standorte zur Ausarbeitung des Rahmenbewilligungsgesuchs (ca. 2022), die Einreichung des Gesuchs (ca. 2024) sowie Stellungnahmen und Gutachten rund um die Entscheidungssequenz bis zur Erteilung der Rahmenbewilligung wichtige kommunikative Meilensteine. Obwohl die Ankündigung der Standorte zur Ausarbeitung der Rahmenbewilligungsgesuche kein Bewilligungsschritt in der Realisierung des geologischen Tiefenlagers darstellt, dürfte sie aufgrund ihrer medialen Wirkung von der Öffentlichkeit als "Standortwahl" wahrgenommen werden. Zeitgleich erfolgt unter Berücksichtigung der definitiven regionalen Stellungnahmen zur Oberflächeninfrastruktur und der überregionalen Stellungnahme zum Standort der BEVA die Bezeichnung der Areale zur Platzierung der Oberflächeninfrastruktur (inkl. Standort der Verpackungsanlagen) durch die Nagra. Mit dem Vorliegen einer rechtskräftigen Rahmenbewilligung wird 2031 gerechnet. Die Realisierungspläne für das EP21 beinhalten danach neu eine Phase "Vorbereitung EUU". In dieser Phase erfolgt nach Rechtskraft der Rahmenbewilligung die Bauvorbereitung für die erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag (EUU). Mit Erteilung der Bewilligung EUU folgt der Bau der Zugangsbauwerke EUU bis auf die Lagerebene und die Erstellung von Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag. Die EUU dienen der Überprüfung der Lagerzone, der Bestätigung sicherheitsrelevanter Eigenschaften und der Erprobung sicherheitsrelevanter Techniken respektive dem Nachweis deren Funktionstüchtigkeit. Im Anschluss an die EUU und die Erteilung der Baubewilligung erfolgt der Bau, und das Betriebsbewilligungsgesuch wird eingereicht. Das aktuelle Entsorgungsprogramm sieht die Inbetriebnahme des Kombilagers und SMA-Lagers 2050 resp. des HAA-Lagers 2060 vor. Mit Ende des Einlagerungsbetriebs SMA (Ende 2064) und HAA (Ende 2074) beginnt die Beobachtungsphase. Für Planungszwecke wird von einer Beobachtungsphase von 50 Jahren ausgegangen. Nach dem Gesamtverschluss beginnt die Langzeitüberwachung.
- **Dauer und benötigte Kapazität der zentralen und der dezentralen Zwischenlagerung** (Kap. 6): Die Angaben zur Herkunft, Art und Menge der in der Schweiz zu entsorgenden radioaktiven Abfälle stellen eine zuverlässige Basis für die Planung und Realisierung der geologischen Tiefenlager und für die Bewirtschaftung der vorhandenen Zwischenlager dar. Auch im konservativeren Szenario, welches zu höheren Abfallvolumina führt (Szenario «60 Jahre Betrieb KKW»), ist mit den bestehenden Zwischenlagern Zwiilag und Zwischenlager des Kernkraftwerks Beznau (ZWIBEZ) eine ausreichende Zwischenlagerkapazität für sämtliche Abfälle aus dem Betrieb und der Stilllegung der Kernkraftwerke vorhanden. Für die bis Ende 2064 erwarteten MIF-Abfälle kann u.a. aufgrund der Erweiterung des Bundeszwischenlagers am Paul Scherrer Institut (PSI) genügend Zwischenlagerkapazität zur Verfügung gestellt werden, um die anfallenden Abfälle bis zu ihrer Einlagerung in die

geologischen Tiefenlager sicher zwischenzulagern. Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, die Zwischenlager auch länger zu betreiben. Die für den Transport der Abfälle erforderliche Technologie ist vorhanden und für die zukünftig notwendige Infrastruktur liegen Konzepte vor.

- **Finanzplan für die Entsorgungsarbeiten bis zur Ausserbetriebnahme der Kernanlagen** (Kap. 7): Zur Festlegung der Beiträge für den Stilllegungs- und Entsorgungsfonds und der durch die Eigentümer der Kernanlagen zu tätigen Rückstellungen sind die Kosten der Entsorgung und der Stilllegung im Rahmen der Kostenstudie periodisch zu ermitteln. Im Hinblick auf eine aufeinander abgestimmte und konsistente Darstellung der Informationen werden die KS21 und das EP21 wie ihre Vorgängerversionen zeitlich koordiniert eingereicht. Die KS21 stellt somit die Basis für die im EP21 aufgeführten Kosten dar. Die Finanzierung der zukünftigen Kosten erfolgt einerseits direkt durch die Eigentümer (Kosten vor Ausserbetriebnahme der Kernkraftwerke) und andererseits über die Stilllegungs- und Entsorgungsfonds für die Kosten der Stilllegungs- und Entsorgungsaufgaben nach Ausserbetriebnahme der Kernkraftwerke. Die Eigentümer sind verpflichtet, dafür jährliche Beiträge an die Fonds zu leisten. Die Fonds entbinden die Eigentümer jedoch nicht von der im Kernenergiegesetz verankerten Kostentragungspflicht (Art. 31 KEG). Sie dienen vielmehr der Sicherstellung der Geldmittel für die Stilllegungs- und Entsorgungskosten nach Ausserbetriebnahme der Kernanlagen. Die beiden Fonds stehen unter der Aufsicht des Bundesrats. Er hat für die Prüfung der zugrundeliegenden Kostenstudien den Stilllegungsfonds für Kernanlagen und Entsorgungsfonds für Kernkraftwerke (STENFO) eingesetzt, der jeweils die voraussichtliche Höhe der Stilllegungs- und Entsorgungskosten festlegt. Zusätzlich zur Einzahlungspflicht in die Fonds und Bildung von internen Rückstellungen sieht das Kernenergiegesetz weitere Sicherungsmassnahmen und eine Nachschusspflicht der Eigentümer vor. Die Kosten wurden wie schon in der Vergangenheit in Zusammenarbeit mit externen Fachleuten und spezialisierten Firmen erarbeitet, die grosse Erfahrung in der Realisierung/Rückbau von Nuklearanlagen und Tunnelbauten haben. Die aktuelle Kostenermittlung für das geologische Tiefenlager liegt gemäss den Resultaten der KS21 aufgrund von Projektoptimierungen leicht tiefer als bei der KS16. Per Ende 2020 liegt das Vermögen des Stilllegungs- bzw. des Entsorgungsfonds 7.55 % bzw. 12.49 % über dem Soll-Betrag (swissnuclear 2021c).
- **Informationskonzept** (Kap. 8): Im Hinblick auf die Realisierung der benötigten Tiefenlager sind ein aktiver Dialog mit den Interessierten und eine umfassende Information der Öffentlichkeit zu allen Fragen der nuklearen Entsorgung wichtig. Die Bevölkerung soll die unterschiedlichen Rollen der beteiligten Akteure wahrnehmen und verstehen. Im Rahmen des SGT liegt die Federführung und damit die Verfahrensinformation beim Bundesamt für Energie (BFE), welches dafür zuständig ist, der Bevölkerung in geeigneter Weise die Mitwirkung an den Verfahren zu ermöglichen. Es kann dazu die Aufsichtsbehörden und fallweise die Nagra mit ihrem Fachwissen beiziehen. Die Nagra kommuniziert aktiv und zeitgerecht mit allen Anspruchsgruppen über die Gremien des Sachplans und direkt, sie unterstützt die Behörden in ihrem gesetzlichen Auftrag zur Information und Kommunikation und richtet sich in ihrer Kommunikation auch direkt und indirekt an die Politik, die Standortregionen und eine breitere Öffentlichkeit. Die Öffentlichkeitsarbeit der Nagra soll dazu beitragen, dass die Arbeiten, Resultate und Vorschläge der Nagra im Sachplanverfahren und darüber hinaus anspruchsgruppengerecht nachvollzogen werden können. Zudem sollen die Anliegen und Fragen der Akteure – insbesondere auch der betroffenen Regionen – aufgenommen, diskutiert und soweit möglich einbezogen werden. Damit möchte die Nagra zu einer sachlichen Auseinandersetzung von Politik und Regionen im engeren sowie der Öffentlichkeit im weiteren Sinn beitragen. Dies soll die gemeinsame Übernahme der Verantwortung für eine sichere Entsorgung der radioaktiven Abfälle in der Schweiz stärken.

Executive summary

This report documents the Waste Management Programme prepared by the waste producers in line with legal requirements. From the perspective of the waste producers, the objective of the Waste Management Programme is to provide a comprehensive presentation of the work required for disposing of all radioactive waste in Switzerland (strategic work programme) and to identify the conceptual requirements and assumptions as well as their implementation in the design of the facilities and their stepwise realisation.

The Waste Management Programme 2021 (WMP21) was prepared by Nagra on behalf of the waste producers; it is directed mainly to the authorities but also outlines how the waste producers have responded to conditions specified by the Federal Council and to further recommendations made by the authorities in relation to the Waste Management Programme 2016 (WMP16).

The WMP21 is formulated in such a way as to be informative for the wider public. An important component is documenting the progress made in the Sectoral Plan for Deep Geological Repositories (*SGT*) since the previous version (WMP16) was published. Particular attention is drawn to the following:

- In concluding Stage 2 of the Sectoral Plan in November 2018, the Federal Council approved the decision to focus on the Opalinus Clay (OPA) as the host rock for all repository types. Therefore, based on the suitability of this host rock from a safety perspective, it can be assumed for future project planning that the alpha-toxic waste (ATW) will be emplaced in the same repository as the low- and intermediate-level waste (L/ILW).
- At the same time, the Federal Council decided that the Jura Ost (JO), Nördlich Lägern (NL) and Zürich Nordost (ZNO) siting regions were to be investigated in more detail. Based on very close collaboration with the siting regions and cantons, the Federal Council also determined siting areas for the surface facilities and documented these in object sheets for Stage 2.
- Extensive field investigations (2D and 3D seismics, Quaternary boreholes, deep boreholes) have been conducted within the framework of the ongoing Stage 3 of the Sectoral Plan, and preliminary results from these investigations confirm the fundamental suitability of all three siting regions.
- In many countries (such as France, Spain, the UK and the USA), L/ILW is disposed of in near-surface and comparatively cost-efficient repositories. In contrast, Switzerland has decided to pursue the more costly and complex option of deep geological disposal also for this waste category. With the focus on the Opalinus Clay for all waste types, there is the possibility to dispose of all waste in a so-called combined repository, which consists of both an HLW and an L/ILW repository section. Results of the advanced field investigations confirm that all three siting regions provide enough space for a combined repository layout. This fulfils the same safety requirements regarding operational and long-term safety as two individual repositories, but also has clear advantages regarding construction-related risks, resource consumption and the emission of greenhouse gases as fewer facilities have to be constructed and operated at the surface and below ground. Compared to two individual repositories, realising a combined repository is thus associated with substantial operational, safety-related, ecological and economic advantages. For this reason, and if the conclusive overall safety-based assessment allows, the general licence application will be submitted for a combined repository.

- Nagra demonstrated in Stage 3 of the *SGT* that the areas at the Zwiilag interim storage facility and the surface facility at the deep geological repository location are the only suitable and reasonable siting options for a spent fuel (SF) encapsulation plant; this position is also supported by a transregional working group.
- The time schedule has not changed since the beginning of Stage 3 of the *SGT*. The permitting procedure for the deep boreholes did not result in any legal delays that could have impacted the realisation plan and the underground investigations could therefore be carried out as planned. Nagra's announcement of the site(s) for which it will prepare a general licence application (*RBG*) for a combined repository or two *RBG* for separate repositories (in line with the Sectoral Plan) is therefore imminent and is expected for 2022. At the same time, Nagra has to specify where it plans to locate the surface infrastructure (including the site of the encapsulation plants).
- As in the past, the cost estimates were developed in collaboration with external specialists and companies with extensive experience in the realisation of nuclear facilities and tunnels. The methodology used for the Cost Study 2021 (CS21) was based on the same methodology as that used for the Cost Study 2016 (CS16). Based on the results of the CS21, the current cost estimate for the deep geological repository is slightly lower than in CS16.

Detailed summary

Many important steps in the management of radioactive waste have already been implemented in Switzerland and there is now wide experience in carrying out the associated activities. This applies in particular to the treatment and packaging of radioactive waste, its characterisation and inventorying as well as interim storage and associated transports.

Legal regulations (Nuclear Energy Act, KEG 2003 and Nuclear Energy Ordinance, KEV 2004) and guidelines are in place for the realisation of a deep geological repository. ENSI's revised G03 Guideline (ENSI 2020b) provides additional, important guidance. The Sectoral Plan for Deep Geological Repositories (*SGT*) approved by the Federal Council in 2008 regulates the current siting procedure, which is conducted in three stages (BFE 2008). Clarifications on the safety-related specifications for Stage 3 of the Sectoral Plan (ENSI 2018c) also provide concrete requirements for the ongoing, final stage of the site selection process.

This report documents the Waste Management Programme prepared by the waste producers in line with legal requirements (Art. 32 KEG, Art. 52 KEV). The requirements for the Waste Management Programme (WMP) are anchored in Art. 52 Abs. 1 KEV. The following summarises the most important information contained in Chapters 2 through 8 of the WMP21 in line with Art. 52 Abs. 1 KEV:

- Origin, types and volumes of radioactive waste** (Chapter 2): The origin, types and volumes of radioactive waste to be disposed of in Switzerland are known and, in line with Art. 51 KEV, this waste is categorised into high-level waste (HLW), alpha-toxic waste (ATW) and low- and intermediate-level waste (L/ILW). The current Waste Management Programme is based on the scenario considering a 60-year operating lifetime for the NPPs. This assumes an operating lifetime of 47 years for the Mühleberg NPP (shut down in 2019) and 60 years for the Beznau, Gösgen and Leibstadt NPPs and represents a more conservative assumption regarding the waste inventory than for a 50-year operating lifetime for the NPPs. For the radioactive waste and materials from medicine, industry and research (MIR), a collection period up to the end of 2064, i.e. the end of L/ILW waste emplacement operations, is assumed. There is still the option to emplace additionally produced L/ILW MIR waste in the repository prior to its final closure (Agneb 2019), which would have to be considered in the general licence application. The entire waste inventory in the WMP21 was determined based on the nuclide-specific exemption levels specified in the revised Radiological Protection Ordinance 2017 (StSV 2017). While the volumes of the delivered and conditioned waste remained practically unchanged compared to WMP16 (total approx. 45,000 m³), the packaged volume (total approx. 82,500 m³) decreased by around 10 % compared to the WMP16 (see Section 2.1). To ensure a consistent presentation of the details on waste management in the WMP21 and CS21, as well as the comparability of the information in these two reports with that in the previous reports, the WMP21 also includes a scenario assuming a 50-year operating lifetime for the Beznau, Gösgen and Leibstadt NPPs (50-year NPP operating lifetime scenario) and 47 years for the Mühleberg NPP. The waste is continuously conditioned, characterised and inventoried. Before the start of conditioning of a waste stream, the proposed conditioning process has to be evaluated by Nagra in terms of the suitability for disposal of the final waste packages. This is a prerequisite for the regulatory approval of routine conditioning. Besides information on existing waste, there is also a model inventory of waste that will arise in the future. This provides a reliable basis for planning and realising the geological repositories and managing the available interim storage capacity.

- **Deep geological repositories** (Chapter 3): In Switzerland, deep geological disposal is stipulated as the **waste management concept** (Section 3.1.1) in the Nuclear Energy Act for all radioactive waste, with the exception of the waste mentioned in Art. 51a KEV. The Swiss waste management concept is based on two repository types: one for L/ILW and one for HLW (information on the allocation of these wastes to the L/ILW and HLW repository types can be found in Section 4.1). Both repositories can be located in a so-called combined repository in the same siting area. Realising a combined repository is associated with operational, safety-related, ecological and economic advantages (Section 3.1.1). The combined repository is an overall facility, and many elements of the surface infrastructure and some of the underground structures (access structures and central area) can be jointly used. Compared to two individual repositories, realising a combined repository thus leads to important simplifications for construction and operation. Additional advantages arise with regard to the licensing procedure and the support and collaboration effort for the project required on site. Results of the field investigations to date confirm that, in principle, all three siting regions provide sufficient space for a combined repository layout. Based on the advantages outlined above, and if the conclusive overall safety-based assessment allows, the general licence application will be submitted for a combined repository.

In Switzerland, the **safety concept** (Section 3.1.2) is based on a multi-barrier system consisting of staged, passively functioning engineered and natural barriers that are optimised in terms of ensuring long-term safety. These barriers consist of the waste matrix, disposal containers, backfilling and sealing as engineered barriers and the containment-providing rock zone as the geological barrier.

Even if the **technology for construction, operation and closure** (Section 3.1.3) will continue to develop until construction begins, the technical feasibility has already been demonstrated for L/ILW and HLW as part of the so-called *Entsorgungsnachweis* projects (see Section 1.3). The Swiss disposal programme foresees **monitoring and retrievability** as integral components of the repository concepts (Section 3.1.4). Corresponding technical concepts are available and are periodically adapted to reflect the state of the art.

Geology (Section 3.1.5) as a natural barrier plays a key role: besides isolating the waste from the human environment, i.e. the biosphere, and ensuring long-term stability, it also makes a significant contribution to the barrier function. Following the decision of the Federal Council in 2011, six proposals for potential siting regions for an L/ILW repository and three for an HLW repository were confirmed for further investigation in Stage 2 of the *SGT*. Based on complementary geological investigations and a systematic and safety-oriented narrowing-down process, the Federal Council agreed in 2018 to focus on the Opalinus Clay (OPA) as the host rock and decided that the Jura Ost (JO), Nördlich Lägern (NL) and Zürich Nordost (ZNO) siting regions were to be further investigated in Stage 3 of the *SGT* process.

In the ongoing Stage 3, extensive geoscientific investigations were conducted in the three remaining siting regions. By October 2021, eight deep boreholes had been completed, and one deep borehole was still ongoing but drilling is expected to be concluded shortly². Further field investigations include 3D seismics, high-resolution 2D seismics and 11 Quaternary boreholes (see Figs. 3.1-2 and 3.1-3). Together with the further studies on geological and hydrogeological properties of the siting regions, the ongoing evaluation and integration of the field investigations form an important basis for the safety-based comparison of the siting regions and for the justification of the site selection.

² The WMP21 was compiled based on the information available as of 31st October 2021.

The next safety demonstrations (Section 3.1.6) for the deep geological repository will be required along with the general licence application; the corresponding stipulations can be found in ENSI (2018c). However, safety demonstrations for the operational phase as well as for the post-closure phase of the repository (safety case) are also required for all subsequent licensing steps until the final closure of the deep geological repository (ENSI 2020b).

Within the framework of Swiss legislation, aspects pertaining to **land use and environmental compatibility** (Section 3.1.7) are clearly regulated; these regulations also apply to the repository project. Stage 1 of an environmental impact assessment (EIA) will be carried out in the course of the general licensing procedure. A further component of the general licence application is a report on compliance with spatial planning.

The **repository conceptual design** (Section 3.2) is based on the safety concept for HLW and L/ILW and is a concretisation of the repository concept to be applied to all siting regions included in Stage 3 of the *SGT*. It considers stage-appropriate requirements on safety, technical feasibility and the handling of available resources as well as the priority to optimise. The present conceptual design includes all stage-appropriate repository concepts as well as concepts for construction, operation and closure. To maintain the required flexibility to consider potential future developments, various variants are considered for elements of the repository conceptual design.

- Following the decision of the Federal Council on Stage 2 of the *SGT*, only geological siting regions (JO, NL and ZNO) remain in Stage 3 that are fundamentally suited for hosting both individual repositories and a combined repository. In WMP21, the repository conceptual design is based on the model of a combined repository. The design for the individual repositories will be mentioned in order to specify which repository components of a combined repository will not be required for the corresponding individual repository (Sections 3.3 and 3.4).

The facility elements and structures required to operate the repository can be broadly split into three categories:

- *Surface infrastructure (OFI)* (see Figs. 3.2-3 and 3.2-4): The surface facility (*OFA*) constitutes the core of the *OFI*. The radioactive waste has to be prepared for emplacement, i.e. packaged for disposal. The packaging is done in the encapsulation plants (*VA*). For practical reasons, these will either be realised at the repository site or at the interim storage facility in Würenlingen (Zwilag). In both cases, the packaged disposal containers will be transported below ground through the main access from the *OFA*. Auxiliary access facilities mainly provide access for repository construction (through the auxiliary access for operations) and a supply of fresh air for the facility elements and the structures at disposal level (through the auxiliary access facility for ventilation).
- *Underground accesses* (see Figs. 3.2-1 and 3.2-2): These access structures ensure the connection between surface and structures at the disposal level in form of shafts and tunnels.
- *Facility components and structures at disposal level* (see Figs. 3.2-1 and 3.2-2): The end-points of all access structures as well as the accesses to the HLW and L/ILW main and pilot repositories connect to the so-called main underground connection area (*HEB*); this mainly includes the facility elements of the so-called central area and the test areas. At the disposal level, the combined repository includes a main repository and a pilot repository with observation drifts for both the HLW and L/ILW repository sections, respectively.

- **Allocation of the waste to the deep geological repositories** (Chapter 4): The waste types have not changed since the WMP16. As the Federal Council approved focusing on the Opalinus Clay (OPA) as host rock for all repository types in conclusion of Stage 2 of the Sectoral Plan, it can be assumed that, based on the safety-related suitability of the host rock for future project planning, the alpha-toxic waste (ATW) will be emplaced in an L/ILW repository or in the L/ILW repository section of a combined repository. The definitive allocation of the waste to the different repositories will be carried out in a stepwise manner as part of the various nuclear licensing procedures. This allows optimisation of the waste allocation or the requirements on the waste to be emplaced based on conditions actually encountered.
- **Realisation plan for construction of the deep geological repository** (Chapter 5): The time schedule has remained unchanged since the beginning of Stage 3 of the *SGT* and is as follows. In the ongoing Stage 3 of the Sectoral Plan process, the announcement of the site(s) for the preparation of the general licence application (around 2022), the submission of the application (around 2024) as well as expert opinions and reports surrounding the decision process until the granting of the general licence are important communicative milestones. Although the announcement of the site for which the general licence application will be prepared does not represent a licensing step in the realisation of a deep geological repository, the public could perceive it as "the site selection" due to its media impact. At the same time and considering the final regional position statements on the surface infrastructure and the transregional position on the site for an encapsulation plant for spent fuel assemblies, Nagra will announce where the surface infrastructure (including the site of the encapsulation plants) will be placed. A legally valid general licence is expected for 2031. The realisation plans in the WMP21 include the new phase "preparation for underground geological investigations (*EUU*)". During this phase, and once the general licence enters into legal force, construction work will be conducted to prepare for the *EUU*. Once the licence for the *EUU* has been granted, the *EUU* access structures to the disposal level and the facilities for the *EUU* will be constructed. The purpose of the *EUU* is to verify the disposal zone, confirm safety-relevant properties and test safety-relevant techniques as well as to demonstrate their functionality. Following the *EUU* and the granting of the construction licence, construction will begin, and the operating licence application will be submitted. The current Waste Management Programme foresees the start of operation of the combined repository and L/ILW repository in 2050 and of the HLW repository in 2060. With the end of emplacement operations for L/ILW (end of 2064) and HLW (end of 2074), the monitoring phase will begin. For planning purposes, the monitoring phase is expected to last 50 years. Long-term monitoring begins after final closure.
- **Duration and required capacity of centralised and decentralised interim storage facilities** (Chapter 6): The information on the origin, types and volumes of the waste to be disposed of in Switzerland provides a reliable basis for planning and implementing the deep geological repository and for managing the available interim storage capacities. Even for the conservative scenario with higher waste volumes (scenario 60-year NPP operating lifetime), sufficient capacity will be available in the Zwiilag interim storage facility in Würenlingen and at the Beznau NPP (ZWIBEZ) for all the waste arising from the operation and decommissioning of the nuclear power plants. Until emplacement in a deep geological repository, sufficient interim storage capacity for MIR waste expected to arise up to the end of 2064 can be assured, for example, with an expansion of the Swiss Federal Interim Storage Facility at the Paul Scherrer Institute (PSI). Extending operations at the interim storage facilities is basically possible. Proven technology for transporting the waste is already in place and concepts have been formulated for the infrastructure that will be required in the future.

- **Financing plan for waste management activities up to the shutdown of the nuclear installations** (Chapter 7): Within the framework of the Cost Study, the costs of decommissioning and disposal have to be calculated periodically to fix the contributions to be made to the Decommissioning and Waste Disposal Funds as well as the reserves to be put aside by the owners of the nuclear installations. With a view to a coordinated and consistent presentation of this information, the CS21 and WMP21 are submitted together, as previous versions have been. The CS21 thus forms the basis for the costs specified in the WMP21. The financing of future costs is carried out on the one hand by the owners (costs before shutdown of the nuclear power plants) and on the other via the Decommissioning and Waste Disposal Funds for the decommissioning and disposal tasks after shutdown of the nuclear power plants. The owners of the installations are obliged to make annual contributions to the Funds. However, the Funds do not free the owners of the obligation to bear costs, which is anchored in the Nuclear Energy Act (Art. 31 KEG). The Funds are more in the nature of securing the financial means for decommissioning and waste disposal after shutdown of the nuclear installations. The two Funds are supervised by the Federal Council. To review the underlying cost studies, it has established STENFO, the Decommissioning Fund that specifies the costs of decommissioning the nuclear installations, and the Waste Disposal Fund that specifies the costs of disposal arising after the shutdown of the nuclear power plants. In addition to the obligation of the owners to make payments into the Funds and to set aside internal reserves, the Nuclear Energy Act foresees further security measures and an obligation to make additional payments. As in the past, the cost estimates were developed in collaboration with external specialists and companies with extensive experience in the realisation and dismantling of nuclear facilities and tunnels. Based on the results of the CS21, the current cost estimate for the deep geological repository is slightly lower than in CS16, which is due to optimisation measures. By the end of 2020, the assets of the Decommissioning and the Waste Disposal Funds were 7.55% and 12.49%, respectively, above the target amount (swissnuclear 2021c).
- **Information concept** (Chapter 8): Decisive factors for the implementation of geological disposal projects are active dialogue with interested parties and providing comprehensive information to the public on all questions relating to waste disposal. The public should be in a position to understand the different roles assumed by the participants in the process. For the Sectoral Plan process, the lead, and hence the responsibility for providing information, lies with the Swiss Federal Office of Energy (SFOE), which has to ensure the effective participation of the public in the site selection process. The SFOE can call for the regulatory authorities and, if necessary, Nagra to bring their technical know-how into the process. Nagra communicates actively and in a timely manner with all stakeholders, both through *SGT* bodies and directly. It also supports the authorities in carrying out their legal mandate to inform and to communicate, and addresses its communication directly and indirectly at politicians, the siting regions and the broader public. The aim of Nagra's public outreach is to ensure that its activities, results and proposals in the Sectoral Plan process and beyond can be understood by the respective stakeholders. In addition, it seeks to acknowledge and discuss the concerns and questions of the actors, especially from the affected regions, and to include these actors in the process whenever possible. With this approach, Nagra aims to contribute to an objective discussion with politicians and the regions in the narrower sense and the public in the broader sense. The aim is to strengthen a joint sense of responsibility for the safe disposal of radioactive waste in Switzerland.

L'essentiel en bref (*Résumé*)

Le présent rapport documente le programme de gestion élaboré par les producteurs de déchets, comme l'exige la législation en vigueur. Le programme de gestion a pour objet et but de décrire, du point de vue des producteurs de déchets, l'ensemble des travaux nécessaires à la gestion de tous les déchets radioactifs en Suisse (programme de travail stratégique) et de présenter les exigences conceptuelles, les hypothèses et leur mise en œuvre pour la conception des installations de stockage et leur réalisation par étapes.

Le programme de gestion des déchets 2021 (EP21) a été élaboré par la Nagra sur mandat des producteurs de déchets ; il est en premier lieu destiné aux autorités. Il montre en particulier comment les producteurs de déchets ont répondu aux exigences spécifiques émises par le Conseil fédéral et aux autres recommandations formulées par les autorités à l'issue de l'examen du programme de gestion des déchets 2016 (EP16).

L'EP21 est rédigé de telle manière qu'il puisse également être un support d'information pour le grand public. Une partie importante du document est consacrée aux progrès effectués dans le cadre de la procédure du plan sectoriel « Dépôt en couches géologiques profondes » depuis la précédente édition du programme de gestion des déchets (EP16). Les événements les plus marquants sont énumérés ci-dessous :

- En novembre 2018, à l'issue de l'étape 2 du plan sectoriel, le Conseil fédéral a approuvé le choix de l'Argile à Opalinus comme roche d'accueil pour tous les types de déchets ; du fait des caractéristiques de cette roche au regard de la sûreté, on pourra dorénavant, pour les besoins de la planification, postuler que les déchets alpha-toxiques (DAT) seront stockés dans le même dépôt que les déchets de faible et de moyenne activité (DFMA).
- Dans le même temps, le Conseil fédéral a décidé que les domaines d'implantation géologiques Jura Est (JO), Nord des Lägern (NL) et Zurich Nord-Est (ZNO) devraient faire l'objet d'un examen plus approfondi à l'étape 3 du plan sectoriel. Par ailleurs, grâce à une collaboration intensive avec les régions et les cantons d'implantation, le Conseil fédéral a défini des aires d'implantation pour les installations de surface et les a inscrites dans des fiches d'objet pour l'étape 2.
- Au cours de l'étape 3 du plan sectoriel, actuellement en cours, des investigations de terrain approfondies ont été réalisées (sismique 2D et 3D, forages quaternaires, forages profonds). A ce jour, les résultats de ces travaux confirment que les trois domaines d'implantation sont adaptés à la construction d'un dépôt géologique.
- Dans de nombreux pays (dont la France, l'Espagne, le Royaume-Uni et les États-Unis), les DFMA sont stockés dans des dépôts proches de la surface, relativement peu coûteux. Pour cette catégorie de déchets, la Suisse a opté, comme pour les déchets de haute activité (DHA) en faveur du stockage en profondeur, plus onéreux. Du fait du choix de l'Argile à Opalinus comme roche d'accueil pour tous les types de déchets, il est en principe possible de construire un dépôt dit combiné, où les DHA et les DFMA seront stockés dans des secteurs séparés. Les résultats des investigations de terrain obtenus à ce jour confirment qu'il y a suffisamment d'espace dans chacun des trois domaines d'implantation pour accueillir un dépôt combiné. Un dépôt combiné répond aux mêmes exigences en termes de sûreté en exploitation et de sûreté à long terme que deux dépôts individuels, mais présente de nets avantages si l'on considère les difficultés liées à la construction, la consommation des ressources et les émissions de gaz à effet de serre : en effet, un tel dépôt nécessite la construction et l'exploitation de moins d'installations, aussi bien en surface que sous terre. Par rapport à deux dépôts individuels, cette solution présente par conséquent des atouts sur les plans de l'exploitation et de la sûreté

ainsi que des avantages écologiques et économiques. De ce fait, si les résultats finals de l'évaluation de sûreté globale le permettent, la demande d'autorisation générale portera sur un dépôt combiné.

- A l'étape 3 du plan sectoriel, la Nagra a démontré que l'« installation de conditionnement des éléments combustibles » (« BEVA ») pouvait être implantée soit à proximité du dépôt intermédiaire centralisé Zwiilag, soit sur l'aire d'implantation de l'installation de surface du dépôt en couches géologiques profondes. Il s'agit là des seules variantes raisonnablement envisageables – un avis du reste partagé par un groupe de travail suprarégional.
- Le calendrier de réalisation est resté inchangé depuis le début de l'étape 3 du plan sectoriel. La procédure d'autorisation des forages profonds n'a pas donné lieu à des recours juridiques qui auraient entraîné des retards. Les investigations géologiques ont donc pu être réalisées comme prévu. L'annonce par la Nagra du ou des sites pour lesquels elle préparera une demande d'autorisation générale pour un dépôt combiné, ou deux autorisations générales pour des dépôts séparés (« sélection des sites pour la préparation des demandes d'autorisation générale selon le concept du plan sectoriel »), est donc imminente (probablement en 2022). Par ailleurs, il reste à déterminer les aires d'implantation pour l'infrastructure de surface (y compris l'emplacement de l'installation de conditionnement).
- Comme par le passé, les coûts de la gestion des déchets ont été calculés en collaboration avec des experts externes et des entreprises spécialisées ayant une grande expérience dans la construction d'installations nucléaires et de tunnels. L'étude des coûts 2021 (KS21) a été réalisée selon la même méthodologie que l'étude des coûts 2016 (KS16). Selon les résultats de la KS21, l'estimation actuelle des coûts du dépôt en couches géologiques profondes est légèrement inférieure à celle de la KS16.

Résumé détaillé

De nombreuses étapes importantes ont été franchies en matière de gestion à long terme des déchets radioactifs en Suisse et l'on dispose aujourd'hui d'une expérience considérable relative aux activités nécessaires, à savoir le traitement et le conditionnement des déchets radioactifs, leur caractérisation et leur inventaire, ainsi que leur entreposage (ou « stockage intermédiaire ») et leur transport.

La réalisation de dépôts en couches géologiques profondes est désormais bien encadrée au niveau légal, avec la loi sur l'énergie nucléaire (KEG 2003) et l'ordonnance sur l'énergie nucléaire (KEV 2004) de même que plusieurs directives, dont notamment la directive révisée de l'IFSN ENSI-G03. Le concept du plan sectoriel « Dépôt en couches géologiques profondes », approuvé par le Conseil fédéral en 2008, régit par ailleurs la procédure de sélection des sites d'implantation, qui se déroule en trois étapes. Pour la troisième et dernière étape, actuellement en cours, des exigences concrètes concernant la sûreté ont également été spécifiées (ENSI 2018c).

Ce rapport documente le programme de gestion 2021 (EP21) élaboré par les producteurs de déchets, comme l'exige la loi (Art. 32 KEG, Art. 52 KEV). Art. 52 Abs. 1 KEV précise les aspects qui doivent être abordés par le programme de gestion des déchets. Le contenu des chapitres 2 à 8 de l'EP21 est résumé ci-dessous, en suivant les indications de Art. 52 Abs. 1 KEV:

- **Origine, typologie et volumes de déchets radioactifs** (chap. 2) : La provenance, la typologie et le volume des déchets radioactifs produits en Suisse sont connus. Conformément à Art. 51 KEV, les déchets sont divisés en trois catégories : déchets de haute activité (DHA), déchets alpha-toxiques (DAT) et déchets de faible et de moyenne activité (DMFA). Le programme de gestion actuel est basé sur le scénario « 60 ans d'exploitation des centrales nucléaires », qui postule une durée d'exploitation de 47 ans pour la centrale de Mühleberg (mise hors service fin 2019) et de 60 ans pour les centrales de Beznau, Gösgen et Leibstadt. Concernant les volumes de déchets, il s'agit là d'une hypothèse plus prudente que ce que prévoit le scénario « 50 ans d'exploitation des centrales nucléaires ». Pour les déchets et matériaux radioactifs issus du secteur médical, de l'industrie et de la recherche (MIR), les calculs intègrent une période de collecte s'étendant jusqu'à fin 2064, ce qui correspond à la fin du stockage des déchets DFMA. Passé cette date et jusqu'à la fermeture du dépôt, le stockage de quantités supplémentaires de déchets MIR / DFMA demeure possible (Agneb 2019) ; cette variante devrait le cas échéant être prise en compte dans la demande d'autorisation générale. Les volumes de déchets mentionnés dans l'EP21 ont tous été déterminés sur la base des limites d'exemption spécifiques aux différents radionucléides, conformément à la révision 2017 de l'ordonnance sur la radioprotection (StSV 2017). Alors que le volume de déchets proprement dit, le cas échéant après traitement, est resté pratiquement inchangé par rapport à l'édition 2016 du programme de gestion (environ 45 000 m³ au total), le volume de déchets conditionnés dans leur emballage de stockage (environ 82 500 m³ au total) est inférieur d'environ 10 % aux chiffres de 2016 (*cf.* chap. 2.1). Afin d'harmoniser les données figurant dans le programme de gestion des déchets (EP21) et l'étude des coûts (KS21), mais aussi pour permettre une comparaison des informations sur les études de coûts présentées dans l'EP21 et la KS21 avec celles des éditions précédentes, l'EP21 comprend également un scénario qui postule une durée d'exploitation de 50 ans pour les centrales de Beznau, Gösgen et Leibstadt et de 47 ans pour Mühleberg (scénario intitulé « 50 ans d'exploitation des centrales nucléaires »). Les déchets produits sont conditionnés, caractérisés et inventoriés au fur et à mesure. Avant le début du conditionnement d'un flux de déchets, la Nagra détermine si les colis produits à l'aide de ce procédé sont adaptés au stockage final. Il s'agit d'une condition préalable à l'approbation réglementaire du procédé, avant qu'il ne soit plus largement mis en œuvre.

Outre les informations sur les déchets existants, un inventaire-type est également disponible pour les déchets qui ne seront produits que dans le futur. Ceci fournit une base fiable pour la planification et la réalisation de dépôts en couches géologiques profondes et pour la gestion des dépôts intermédiaires existants.

- **Les dépôts en couches géologiques profondes** (chap. 3) : En Suisse, selon le **modèle de gestion** ancré dans la loi sur l'énergie nucléaire, l'ensemble des déchets radioactifs devra être stocké dans un dépôt en couches géologiques profondes (chap. 3.1.1), à l'exception des déchets mentionnés à Art. 51a KEV. Le modèle suisse de gestion des déchets prévoit deux types de dépôts : l'un pour les DFMA, l'autre pour les DHA (pour des précisions concernant la répartition des déchets entre les dépôts DFMA et DHA, se reporter au chap. 4.1). Il est possible de construire les deux dépôts dans le même domaine d'implantation. La réalisation d'un tel dépôt, dit «combiné» présente des atouts sur les plans de l'exploitation et de la sûreté ainsi que des avantages écologiques et économiques (chap. 3.1.1). Il s'agit en effet d'une installation globale dont certains composants peuvent être utilisés conjointement par les deux dépôts, notamment en surface et pour une moindre part sous terre (ouvrages d'accès et zone centrale). Ceci permet de simplifier de manière non négligeable la construction et l'exploitation d'un dépôt combiné ; par rapport à deux dépôts séparés, une telle solution est en outre plus judicieuse lorsqu'il s'agit de préparer les demandes d'autorisation ou de collaborer avec les régions concernées. Les résultats des investigations de terrain obtenus à ce jour confirment qu'il y a suffisamment d'espace dans chacun des trois domaines d'implantation pour accueillir un dépôt combiné. En conséquence, si les résultats finals de l'évaluation de sûreté globale le permettent, la demande d'autorisation générale, s'appuyant sur les avantages énumérés ci-dessus, portera sur un dépôt combiné. En Suisse, le **concept de sûreté** (chap. 3.1.2) est basé sur un système de barrières multiples optimisé pour la sûreté à long terme et composé de barrières techniques et naturelles échelonnées et à action passive. Il s'agit en l'occurrence de la matrice de déchets, du conteneur de stockage, du remblayage et du scellement, qui constituent les barrières techniques, et de la zone de confinement géologique, qui constitue la barrière naturelle.

Même si la **technologie** mise en œuvre pour la **construction, l'exploitation et la fermeture** du dépôt (chap. 3.1.3) va continuer d'évoluer jusqu'au début de la construction, la faisabilité technique du stockage en couches géologiques profondes a déjà été démontrée dans le cadre de la démonstration de la faisabilité du stockage pour les DFMA et les DHA (chap. 1.3). Le programme suisse prévoit que les notions de **surveillance** et de **recupérabilité** fassent partie intégrante des concepts de dépôt en couches géologiques profondes (chap. 3.1.4). Les concepts techniques correspondants ont été élaborés et font l'objet d'une mise à jour périodique en fonction de l'évolution des connaissances.

La **géologie** (chap. 3.1.5) a une grande importance en tant que barrière naturelle ; en plus d'isoler les déchets de l'environnement humain et de la biosphère et d'assurer la stabilité à long terme du système de dépôt, elle joue également un rôle dans le système de confinement. Suivant la décision du Conseil fédéral fin 2011, six propositions de domaines d'implantation pour un dépôt de DFMA et trois propositions pour un dépôt de DHA ont été retenues pour la suite des investigations au cours de l'étape 2 du plan sectoriel. Après des investigations géologiques supplémentaires et à l'issue d'un processus systématique fonctionnant par éliminations successives sur la base de critères de sûreté, le Conseil fédéral a approuvé en 2018 le choix de l'Argile à Opalinus en tant que roche d'accueil. Il a en outre décidé que les domaines d'implantation géologiques de Jura Ost, Nördlich Lägern et Zürich Nordost devaient faire l'objet d'investigations supplémentaires dans le cadre de l'étape 3 du plan sectoriel.

- Au cours de l'étape 3 actuellement en cours, des études géologiques approfondies ont été réalisées dans les trois domaines restants. En octobre 2021, huit forages profonds avaient été réalisés et un forage profond, qui devrait être le dernier, est encore en cours³. D'autres investigations de terrain ont été effectuées afin de mieux appréhender l'évolution géologique à long terme. Il s'agit notamment de sismique-3D, de sismique-2D à haute résolution et de 11 forages quaternaires (voir Fig. 3.1-2 et 3.1-3). L'analyse des résultats et la mise en relation des études de terrain, ainsi que les analyses du système géologique et les autres études sur les propriétés géologiques et hydrogéologiques des domaines d'implantation, constituent l'une des bases sur lesquelles reposeront la comparaison des domaines d'implantation sous l'angle de la sûreté et la justification du choix du site.

Les prochaines démonstrations de sûreté (chap. 3.1.6) pour le dépôt en couches géologiques profondes seront effectuées dans le cadre des demandes d'autorisation générale ; les exigences de l'IFSN sont compilées dans ENSI (2018c). La démonstration de la sûreté en exploitation et de la sûreté post-fermeture (démonstration de la sûreté à long terme) est également requise à chacune des étapes d'autorisation ultérieures, jusqu'à la fermeture définitive du dépôt.

Dans la législation suisse, l'**aménagement du territoire** et l'**impact sur l'environnement** (chap. 3.1.7) font l'objet de dispositions précises ; celle-ci sont également applicables au projet de dépôt profond. La première étape de l'étude d'impact sur l'environnement (EIE) est prévue dans le cadre de la procédure d'autorisation générale ; la demande d'autorisation générale comprendra également le rapport sur la coordination avec l'aménagement du territoire.

La **conception des dépôts en couches géologiques profondes** (chap. 3.2) est basée sur le concept de sûreté pour les DHA et les DFMA. Il s'agit d'une concrétisation du concept de stockage, valable pour tous les domaines d'implantation retenus à l'étape 3 du plan sectoriel. Elle tient compte des exigences en matière de sûreté, de faisabilité technique et d'utilisation des ressources existantes, ainsi que des possibilités d'optimisation. La conception actuelle du dépôt comprend les concepts pour les installations ainsi que des concepts de construction, d'exploitation et de fermeture, à un niveau de détail suffisant pour la phase en cours. Afin de conserver la flexibilité nécessaire pour intégrer d'éventuels développements futurs, différentes variantes sont envisagées.

- Suite à la décision du Conseil fédéral concernant l'étape 2 du plan sectoriel, tous les domaines d'implantation géologiques retenus (Jura Ost, Nördlich Lägern et Zürich Nordost) conviennent en principe aussi bien pour des dépôts individuels que pour un dépôt combiné. Dans l'EP21, la conception du dépôt est illustrée à l'aide d'un modèle de dépôt combiné. La conception des dépôts individuels est évoquée dans la mesure où l'on indique quelles zones spécifiques du dépôt combiné n'ont pas d'utilité pour le dépôt individuel respectif (chap. 3.3 et 3.4).

Les installations spécifiques et les bâtiments nécessaires au fonctionnement du dépôt peuvent être globalement répartis en trois catégories :

- *Infrastructure de surface* (cf. Fig. 3.2-3 et 3.2-4) : L'installation de surface est le cœur de l'infrastructure de surface. A leur réception, les déchets radioactifs sont contrôlés, puis préparés pour le stockage géologique, c'est-à-dire placés dans un conteneur adéquat. Cette opération se déroule dans une installation de conditionnement, qui sera construite – pour des raisons logistiques – soit sur le site du dépôt profond, soit à proximité du dépôt intermédiaire centralisé de Würenlingen (Zwilag). Depuis l'installation de surface du dépôt, les conteneurs de dépôt géologique sont ensuite acheminés, par l'accès principal,

³ Le programme de gestion des déchets 2021 reflète l'état des activités et des connaissances au 31 octobre 2021.

vers les structures souterraines. Les installations d'accès secondaires servent principalement à la construction du dépôt (accès pour l'exploitation) et à l'alimentation en air frais des parties de l'installation situées au niveau de la zone de stockage (accès pour la ventilation).

- *Accès souterrains* (cf. Fig. 3.2-1 et 3.2-2) : ces ouvrages d'accès (puits et tunnels) assurent la liaison entre la surface et le « fond », c'est-à-dire les ouvrages situés au niveau de la zone de stockage.
- *Installations et ouvrages au niveau de la zone de stockage* (voir Fig. 3.2-1 et 3.2-2) : L'extrémité inférieure de tous les ouvrages d'accès et les accès aux dépôts principaux et aux dépôts pilotes respectifs des DHA et des DFMA débouchent sur ce qu'on appelle la zone principale de connexion souterraine ; celle-ci comprend essentiellement les installations de la zone dite centrale et les zones expérimentales. Dans un dépôt combiné, le niveau dit « de stockage » comprend, pour chacun des secteurs dédiés aux DHA et aux DFMA, un dépôt principal et un dépôt pilote ainsi que des galeries d'observation.
- **Répartition des déchets entre les dépôts en couches géologiques profondes** (chap. 4) : la typologie des déchets est restée inchangée depuis la précédente édition du programme de gestion (EP16). A l'issue de l'étape 2 du plan sectoriel, le Conseil fédéral a approuvé le choix de l'Argile à Opalinus en tant que roche d'accueil pour tous les types de déchets. Pour la suite de la planification du projet, en raison des caractéristiques de cette roche d'accueil, on part donc du principe que les déchets alpha-toxiques (ATA) et les DFMA seront stockés ensemble, soit dans le dépôt pour DFMA, soit dans le secteur pour DFMA du dépôt combiné. L'affectation définitive des déchets aux différents dépôts profonds sera affinée au fur et à mesure, à l'occasion des différentes procédures d'autorisation nucléaire. Cette façon de faire permettra de tenir compte des conditions réelles rencontrées afin d'optimiser la répartition des déchets et les exigences à respecter quant à leurs caractéristiques.
- **Plan de mise en œuvre pour la construction des dépôts en couches géologiques profondes** (chap. 5) : Le calendrier de l'étape 3 du plan sectoriel, inchangé depuis le début de cette étape, est structuré autour de plusieurs jalons importants en termes de communication: annonce du ou des sites pour l'élaboration de la demande d'autorisation générale (env. 2022), dépôt de la demande d'autorisation (env. 2024), puis prises de position et expertises en rapport avec la série de décisions qui précéderont l'octroi de l'autorisation générale. Bien que l'annonce des sites pour l'élaboration de la demande d'autorisation générale ne constitue pas une étape d'autorisation officielle dans la réalisation du dépôt en couches géologiques profondes, elle est susceptible d'être perçue par le public comme une "sélection de sites" en raison de son impact médiatique. Dans le même temps, la Nagra désignera les aires d'implantation de l'infrastructure de surface (y compris l'emplacement de l'installation de conditionnement), en tenant compte des prises de position définitives des régions sur l'infrastructure de surface ainsi que de l'avis du groupe de travail suprarégional sur l'emplacement de l'installation de conditionnement. Selon le calendrier actuel, l'entrée en vigueur de l'autorisation générale devrait intervenir en 2031. Pour la suite du programme de gestion, une nouvelle phase de planification, la "préparation des investigations géologiques souterraines" a été ajoutée. Cette phase comprend, après l'entrée en vigueur de l'autorisation générale, les préparatifs en vue des investigations géologiques souterraines. Une fois que celles-ci auront reçu l'autorisation nécessaire, on procédera à la construction des ouvrages d'accès correspondants jusqu'au niveau du dépôt, puis des installations d'investigation proprement dites. Les investigations géologiques souterraines visent à examiner la zone prévue pour le stockage, confirmer les propriétés du site pertinentes pour la sûreté et enfin tester différentes technologies, importantes pour la sûreté du dépôt, afin de démontrer leur capacité fonctionnelle. A l'issue des investigations géologiques souterraines interviendront l'autorisation de construire, la construction du dépôt, puis

l'autorisation d'exploitation. Le programme actuel de gestion des déchets prévoit la mise en service du dépôt combiné et du dépôt pour DFMA en 2050 et du dépôt pour DHA en 2060. La phase de surveillance commencera à la fin des opérations de mise en place, respectivement fin 2064 pour les DFMA et fin 2074 pour les DHA. À des fins de planification, on postule une phase de surveillance de 50 ans. Après la fermeture générale du dépôt commencera la surveillance à long terme.

- **Durée et capacité nécessaire du stockage intermédiaire centralisé et décentralisé** (chap. 6) : Les informations disponibles sur l'origine, la typologie et les volumes de déchets radioactifs qui doivent être stockés en Suisse constituent une base fiable pour la planification et la réalisation de dépôts en couches géologiques profondes et pour la gestion des dépôts intermédiaires existants. Même dans le scénario le plus prudent, qui conclut à des volumes de déchets plus élevés (scénario « 60 ans d'exploitation des centrales nucléaires »), les dépôts intermédiaires Zwiilag et ZWIBEZ (dépôt intermédiaire de la centrale nucléaire de Beznau) disposent d'une capacité de stockage provisoire suffisante pour tous les déchets provenant de l'exploitation et du démantèlement des centrales nucléaires. Pour les déchets MIR attendus d'ici à fin 2064, l'extension du dépôt intermédiaire fédéral à l'Institut Paul Scherrer (IPS) permettra notamment de disposer d'une capacité d'entreposage suffisante pour accueillir les déchets en toute sécurité jusqu'à leur mise en place dans les dépôts profonds. Si la mise en service des dépôts profonds était retardée, les installations existantes disposeraient aussi de capacités suffisantes pour entreposer l'ensemble des déchets. En principe, il serait également possible de prolonger la durée d'exploitation des dépôts intermédiaires. La technologie nécessaire au transport des déchets est disponible et des concepts existent pour la réalisation des infrastructures qui seront nécessaires à l'avenir.
- **Plan financier pour la gestion des déchets jusqu'à la mise hors service des installations nucléaires** (chap. 7) : Afin de fixer les contributions au fonds de désaffectation pour les installations nucléaires et au fonds de gestion des déchets radioactifs ainsi que le montant des provisions à constituer par les exploitants des installations nucléaires, les coûts de la gestion des déchets et du démantèlement des centrales doivent être déterminés à intervalles réguliers dans le cadre de l'estimation des coûts. Pour assurer une présentation coordonnée et cohérente des informations, l'étude des coûts et le programme de gestion 2021 seront transmis aux autorités de façon simultanée, comme ce fut le cas des versions précédentes. Les coûts présentés dans le programme de gestion EP21 reposent par conséquent sur l'étude des coûts KS21. Les coûts futurs seront financés, soit directement par les exploitants des installations nucléaires (coûts survenant avant la mise hors service des centrales nucléaires), soit par les fonds de désaffectation et de gestion des déchets (coûts des opérations de désaffectation et de gestion des déchets après la mise hors service des centrales nucléaires). A cet effet, les exploitants des installations nucléaires sont tenus de verser des contributions annuelles dans les fonds. Toutefois, l'existence de ces derniers ne libère pas les exploitants de leur obligation légale de prendre en charge les coûts (Art. 31 KEG). Ils servent plutôt à garantir les ressources financières pour les activités de démantèlement et de gestion des déchets après la mise hors service des installations nucléaires. Les deux fonds sont placés sous la surveillance du Conseil fédéral. C'est la STENFO (« Fonds de désaffectation pour les installations nucléaires et fonds de gestion des déchets radioactifs ») qui examine les études de coût sur mandat du Conseil fédéral et fixe le montant anticipé des coûts de démantèlement et de gestion des déchets. Outre l'obligation d'alimenter les fonds et de constituer des provisions internes, la loi sur l'énergie nucléaire prévoit d'autres mesures visant à assurer le financement, ainsi que l'obligation pour les exploitants de verser le cas échéant des contributions complémentaires. Comme par le passé, l'estimation des coûts a été élaborée en collaboration avec des experts externes et des entreprises spécialisées ayant une grande expérience dans la réalisation et le

démantèlement d'installations nucléaires et de tunnels. Selon les résultats de la KS21, l'estimation actuelle du coût du dépôt en couches géologiques profondes est légèrement inférieure à celle de la KS16 en raison d'une série de mesures d'optimisation. Fin 2020, les avoirs du fonds de désaffectation et du fonds de gestion des déchets étaient supérieurs respectivement de 7,55 % et 12,49 % au montant cible (swissnuclear 2021c).

- **Concept d'information** (chap. 8) : Dans le cadre de la réalisation des dépôts en couches géologiques profondes, il est important d'entretenir un dialogue actif avec les parties intéressées et d'informer le public de manière détaillée sur toutes les questions ayant trait à la gestion des déchets nucléaires. La population doit connaître les différents acteurs impliqués et comprendre leurs rôles respectifs. La responsabilité générale pour le plan sectoriel « Dépôts en couches géologiques profondes » incombe à l'Office fédéral de l'énergie (OFEN), qui est par conséquent aussi chargé d'informer la population et de lui garantir une participation adéquate. L'OFEN peut consulter les autorités de surveillance, ou dans certains cas la Nagra, pour des questions spécifiques. La Nagra communique activement et sans retard avec toutes les parties prenantes, soit par le biais des commissions établies dans le cadre du plan sectoriel, soit directement ; elle soutient les autorités dans leur mandat légal d'information et de communication, et s'adresse également directement et indirectement à la classe politique, aux régions d'implantation et au grand public. Le travail de relations publiques de la Nagra vise à assurer que les travaux, les résultats et les propositions qu'elle effectue dans le cadre de la procédure du plan sectoriel et au-delà puissent être compris par tous, quel que soit son niveau d'implication de chacun. En outre, les préoccupations et les interrogations des parties prenantes, en particulier celles des régions concernées, doivent être collectées, discutées et, dans la mesure du possible, prises en compte dans la suite des travaux. La Nagra entend ainsi contribuer à un débat objectif entre la classe politique et les régions d'une part, et le grand public d'autre part, afin de favoriser une prise de responsabilité commune dans la gestion sûre des déchets radioactifs en Suisse.

Inhaltsverzeichnis

Das Wesentliche in Kürze (Executive Summary)	I
Ausführliche Zusammenfassung.....	III
Executive summary.....	IX
Detailed summary	XI
L'essentiel en bref (Résumé).....	XVII
Résumé détaillé.....	XIX
Inhaltsverzeichnis	XXV
Tabellenverzeichnis.....	XXIX
Figurenverzeichnis.....	XXXI
1 Einleitung und Zielsetzung	1
1.1 Hintergrund und Vorgaben zum Entsorgungsprogramm 2021	1
1.2 Übersicht über die übergeordneten Elemente der Entsorgung	3
1.3 Stand der Arbeiten.....	4
1.4 Ziel, Inhalt und Aufbau des Entsorgungsprogramms	6
2 Herkunft, Art und Menge der radioaktiven Abfälle	9
2.1 Beschreibung der radioaktiven Abfälle	9
2.2 Konditionierung, Charakterisierung und Inventarisierung der radioaktiven Abfälle	15
3 Die geologischen Tiefenlager	19
3.1 Einleitung und Übersicht	19
3.1.1 Entsorgungskonzepte: Eine Übersicht.....	19
3.1.2 Lagerkonzepte und zugehörige Sicherheitskonzepte	25
3.1.3 Technologie für den Bau, Betrieb und Verschluss der Lager	27
3.1.4 Überwachung und Rückholbarkeit als integraler Bestandteil der Tiefen- lagerkonzepte	28
3.1.5 Geologie	29
3.1.6 Sicherheitsnachweise	32
3.1.7 Raumnutzung und Umweltverträglichkeit	34
3.2 Auslegung der geologischen Tiefenlager	35
3.2.1 Anforderungen und Annahmen für die Lagerauslegung der geologischen Tiefenlager.....	35

3.2.2	Modellhafte Umsetzung der konzeptuellen Vorgaben und Annahmen am Beispiel der Auslegung eines Kombilagers	36
3.2.3	Varianten für die Auslegung eines Kombilagers	48
3.3	Auslegungsunterschiede HAA-Lager (Einzellager) zu Kombilager	51
3.4	Auslegungsunterschiede SMA-Lager (Einzellager) zu Kombilager	51
4	Zuteilung der Abfälle zu den geologischen Tiefenlagern	53
4.1	Abfallkategorien-orientierte Zuteilung der Abfälle auf die geologischen Tiefenlager	53
5	Realisierungsplan für die geologischen Tiefenlager	55
5.1	Gesetzliche Grundlagen und behördliche Vorgaben für den Realisierungsplan	56
5.2	Weitere Vorgaben und Annahmen für die Festlegung des Realisierungsplans	60
5.3	Realisierungsplan für die geologischen Tiefenlager	61
5.4	Vorgehen bei der Realisierung am Beispiel eines Kombilagers	64
5.4.1	Laufendes Verfahren zur Standortwahl gemäss Sachplan geologische Tiefenlager: Aktueller Stand und verbleibende Aufgaben bis zur Rahmenbewilligung	65
5.4.2	Beschreibung der Arbeiten in den Realisierungsphasen nach der Rahmenbewilligung	66
5.5	Vorgehen bei der Realisierung von Einzellagern	69
5.5.1	Standortwahl gemäss Sachplan geologische Tiefenlager und Rahmenbewilligung	69
5.5.2	Arbeiten nach der Rahmenbewilligung	69
5.6	Forschungs- und Entwicklungsarbeiten	70
5.7	Angaben zur Abwicklung der Arbeiten und zum Qualitätsmanagement	71
5.8	Überlieferung von Informationen an künftige Generationen	72
6	Zwischenlagerung	73
6.1	Ausgestaltung, Dauer und Kapazität der Zwischenlagerung	73
6.2	Ausblick Zwischenlagerung	77
7	Kosten und Finanzierung der Entsorgung	79
7.1	Gesetzliche Vorgaben	80
7.2	Ermittelte Kosten	81
7.3	Finanzierung	88
7.3.1	Staatlich kontrollierte Fonds	88
7.3.2	Eigene Vorsorge der Eigentümer	90
7.3.3	Rückstellungen für Kosten vor Ausserbetriebnahme	90

8	Zusammenarbeit und Informationskonzept	91
8.1	Ausgangslage und Auftrag	91
8.2	Ziele und Inhalt der Öffentlichkeitsarbeit der Nagra	92
8.3	Umsetzung der Öffentlichkeitsarbeit: Massnahmen und Instrumente	93
9	Schlussfolgerungen	95
10	Literaturverzeichnis	97

Anhang A		A-1
A.1	Zusammenstellung der wichtigsten Vorgaben in Gesetzen und bündlichen Richtlinien für die Ausgestaltung und Realisierung der geologischen Tiefenlager in der Schweiz	A-1
A.2	Phasen, Zeitperioden sowie zu bearbeitende Themen und Aktivitäten	A-10
A.2.1	Überblick über Phasen, Zeitperioden und wichtigste Aktivitäten für die Vorhaben Kombilager, HAA-Lager und SMA-Lager gemäss Realisierungsplan	A-10
A.2.2	Zu bearbeitende Themen und Aktivitäten für die Realisierung der geologischen Tiefenlager	A-21
A.3	Grundsatzentscheide bei der Realisierung der geologischen Tiefenlager: Ausgangslage, Handlungsspielraum und Flexibilität für die Berücksichtigung zukünftiger Entwicklungen	A-26
A.4	Umsetzung des Vorhabens geologische Tiefenlager im Rahmen eines ganzheitlich ausgerichteten Optimierungsverfahren	A-36
A.4.1	Vorgehensweise bei der Abwicklung der Arbeiten im Rahmen des Bewilligungsverfahrens gemäss KEG	A-36
A.4.2	Optimierung der geologischen Tiefenlager in Zusammenhang mit sicherheitsgerichteten Entscheiden: Ziele, Prinzipien und Prozess	A-40
A.5	Ergänzende Informationen zur Herkunft, Art und Menge der radioaktiven Abfälle für das Szenario «50 Jahre Betrieb KKW»	A-44
A.6	Zwischenlagerkapazitäten für radioaktive Abfälle	A-48
A.7	Übersicht über die Bundesratsverfügung und -auflagen für das Entsorgungsprogramm 2021 und ihre Anwendung im vorliegenden Bericht	A-54
A.8	Ergänzende Informationen zu spezifischen Bundesratsauflagen und zum Umgang mit weiteren Empfehlungen für das Entsorgungsprogramm 2021	A-59
A.8.1	Auflage 5.1 zur Reduktion potenzieller Gasbildung	A-59
A.8.2	Auflage 5.2 zum Pilotlager	A-60
A.8.3	Auflage 5.3 Konsequenzen Kombilager	A-61
A.8.4	Auflage 5.4 Verschlussvarianten	A-63

A.8.5	Auflage 5.5 Nullmessungen	A-64
A.8.6	Auflage 5.6 Nutzungsphasen der Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag.....	A-65
A.8.7	Auflage 6.1 zur Langzeitstabilität von abgebrannten Brennelementen	A-66
A.8.8	Umgang mit MIF-Abfällen nach dem Ende der Einlagerung (Empfehlung der KNS zum EP21).....	A-67
A.8.9	Befund und Erwägung des Bundesrats hinsichtlich der Verantwortung der Betreibergesellschaften der Kernkraftwerke sowie deren Aktionärinnen und Aktionäre bei der Standortsuche und der Abfallentsorgung.....	A-68
A.8.10	Zwischenlagerung der Rückbauabfälle des CERN und des Protonenbeschleunigers HIPA (PSI).....	A-71
A.9	Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen	A-72

Tabellenverzeichnis

Tab. 1.1-1: Vorgaben zum Entsorgungsprogramm: Zitate aus KEG (2003) und KEV (2004)	2
Tab. 2.1-1: Abfallvolumina in Kubikmeter (m ³) für 60 Jahre Betrieb (KKB, KKG, KKL) sowie 47 Jahre für KKM (Szenario «60 Jahre Betrieb KKW»)	13
Tab. 2.2-1: Zusammenstellung der verwendeten und vorgesehenen Methoden zur Konditionierung	16
Tab. 3.1-1: Informationen zu ausgewählten Endlagerstandorten und zum Stand der Projektierung respektive Umsetzung im Ausland	20
Tab. 6.1-1: Belegung der Zwischenlager für das Szenario «60 Jahre Betrieb KKW»	75
Tab. 7.2-1: Gesamtkosten der Entsorgung und Stilllegung gegliedert nach Themen ohne Berücksichtigung der Chance Kombilager.....	83
Tab. 7.2-2: Übersicht der zeitlichen Aufteilung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten	84
Tab. 7.2-3: Gesamtkostenermittlung für die Stilllegung und die Entsorgung mit Darstellung der Kostengliederung gemäss Vorgaben der Kommission	85
Tab. 7.2-4: Detaillierte Aufstellung der Gesamtkosten für das HAA- und SMA-Lager und die Variante Kombilager sowie Gesamtkosten mit Berücksichtigung der Variante Kombilager als Chance	87
Tab. 7.3-1: Stand Soll-Ist-Fondsvermögen per 31.12.2020 (in Mio. CHF).....	89
Tab. 7.3-2: Historisch erzielte annualisierte Anlagerendite seit Gründung der Fonds im Vergleich mit der Anlagerendite gemäss STENFO (2021a), Kapitel 2.2, 3.2 und 3.3	89
Tab. A.1-1: Vorgaben aus KEG, KEV und ENSI-G03	A-1
Tab. A.2-1: Überblick über Phasen, Zeitperioden und wichtigste Aktivitäten für das Kombilager in den verschiedenen Phasen gemäss dem in Fig. 5.3-1 dargelegten Realisierungsplan.....	A-10
Tab. A.2-2: Überblick über Phasen, Zeitperioden und wichtigste Aktivitäten für das HAA-Lager in den verschiedenen Phasen gemäss dem in Fig. A.2-1 dargelegten Realisierungsplan.....	A-13
Tab. A.2-3: Überblick über Phasen, Zeitperioden und wichtigste Aktivitäten für das SMA-Lager in den verschiedenen Phasen gemäss dem in Fig. A.2-2 dargelegten Realisierungsplan.....	A-16
Tab. A.2-4: Darlegung eines möglichen Programms für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag für das Kombilager (für Details s. Nagra 2021a, 2021e)	A-18
Tab. A.2-5: Betriebs- und Stilllegungszeiten der KKW und Zwischenlager gemäss Szenario «60 Jahre Betrieb KKW»	A-20
Tab. A.2-6: Für die Umsetzung des Realisierungsplans aus heutiger Sicht zu bearbeitende Themen und Aktivitäten	A-21

Tab. A.3-1: Ausgangslage, Handlungsspielraum und Entscheidungspunkte	A-26
Tab. A.5-1: Abfallvolumina in Kubikmeter (m ³) für 50 Jahre Betrieb (KKB, KKG, KKL) sowie 47 Jahre für KKM (Szenario «50 Jahre Betrieb KKW»)	A-47
Tab. A.6-1: Gebindespezifische Einlagerungsvorschriften für die Zwischenlagerung von SMA/ ATA (Details siehe Text)	A-50
Tab. A.6-2: Belegung (Zahl der Abfallgebinde) von ZWIBEZ-SAA, Zwilag-MAA und Zwilag-SMA für die Zwischenlagerung von schwach- und mittelaktiven KKW-Abfällen für das Szenario «60 Jahre Betrieb KKW»)	A-51
Tab. A.6-3: Aktuell vorhandene und erforderliche Zwischenlagerkapazität (Anzahl Gitterboxplätze) sowie Belegungsgrad von Zwilag-MAA, Zwilag-SMA und ZWIBEZ-SAA für das Szenario «60 Jahre Betrieb KKW»)	A-52

Figurenverzeichnis

Fig. 1.2-1:	Übergeordnete Elemente der Entsorgung in der Schweiz.....	4
Fig. 1.3-1:	Die drei Standortgebiete als Ergebnis von Etappe 2 des Sachplan- verfahrens inklusive der in Objektblättern zu Etappe 2 festgehaltenen Standortareale für die Oberflächenanlage	6
Fig. 2.1-1:	Zeitlicher Anfall der radioaktiven Abfälle in der Schweiz in Kubikmeter (m ³) für die bestehenden Kernkraftwerke für 60 Jahre Betrieb (KKB, KKG, KKL) sowie 47 Jahre für KKM und aus dem MIF-Bereich (inkl. Abfälle aus dem CERN) für eine Sammelperiode bis Ende 2064 (Szenario «60 Jahre Betrieb KKW»)	14
Fig. 3.1-1:	Umsetzung des Sicherheitskonzepts für die Nachverschlussphase gemäss den aktuell verfolgten Lagerkonzepten für HAA und SMA.....	27
Fig. 3.1-2:	Tektonische Übersichtskarte mit den 3 in SGT Etappe 3 zu unter- suchenden Standortregionen, der Ausdehnung der Datensätze der 3D-Seismik sowie der Lage der Tiefbohrungen	30
Fig. 3.1-3:	Lage der hochauflösenden 2D-Seismik und Bohrungen zur Untersuchung der fluvialen und glazialen Erosionsgeschichte im Quartär	31
Fig. 3.2-1:	Systemskizze für die untertägigen Anlagenelemente und Bauten eines Kombilagers	36
Fig. 3.2-2:	Mögliche Anordnung der verschiedenen Anlagenelemente und Bauten für ein Kombilager.....	37
Fig. 3.2-3:	Schematische Anordnung der verschiedenen Anlagenelemente der Oberflächeninfrastruktur	38
Fig. 3.2-4:	Schematische Anordnung und Ausgestaltung der Anlagenelemente und Bauten der Oberflächenanlage für ein Kombilager.....	39
Fig. 3.2-5:	Modellhafte Gestaltung der Oberflächenanlage eines Kombilagers in fiktiver Umgebung	40
Fig. 3.2-6:	Schematische Anordnung und Ausgestaltung der funktional erforderlichen Bauten der Nebenzugangsanlagen im Falle eines Lüftungs- und Betriebs- zugangs (NZA-BL) mit zwei Schächten	41
Fig. 5.3-1:	Realisierungsplan für das Kombilager gemäss heutiger Planung	62
Fig. A.2-1:	Realisierungsplan für das HAA-Lager gemäss heutiger Planung.....	A-12
Fig. A.2-2:	Realisierungsplan für das SMA-Lager gemäss heutiger Planung	A-15
Fig. A.4-1:	Vorgehensweise bei der Abwicklung der Arbeiten zur stufenweisen Konkretisierung und Realisierung der geologischen Tiefenlager gemäss KEG (2003)	A-37
Fig. A.4-2:	Schematische Darstellung für die Vorgehensweise bei der Optimierung in Zusammenhang mit sicherheitstechnischen Entscheiden auf Basis stufen- gerechter Systemanalysen und Grundlagen (vgl. Fig. A.4-1)	A-42
Fig. A.6-1:	Abfallgebinde der KKW für die Konditionierung und Zwischenlagerung der schwach- und mittelaktiven Abfälle	A-49

1 Einleitung und Zielsetzung

1.1 Hintergrund und Vorgaben zum Entsorgungsprogramm 2021

Gemäss Kernenergiegesetz (KEG 2003) und Kernenergieverordnung (KEV 2004) übernimmt der Bund eine Führungsrolle bei der nuklearen Entsorgung. Dazu stehen ihm neben den Regelungen der Kernenergiegesetzgebung weitere Instrumente zur Verfügung. Dies sind der Sachplan geologische Tiefenlager (SGT) zur Wahl der Standorte für die geologischen Tiefenlager (Bundesamt für Energie, BFE 2008) und das Entsorgungsprogramm (EP) als gesamtheitliche und übergeordnete Darstellung der für die Entsorgung aller radioaktiven Abfälle der Schweiz notwendigen Arbeiten (strategisches Arbeitsprogramm). Im Rahmen der Kostenstudie werden zudem zur Festlegung der Beiträge für die Stilllegungs- und Entsorgungsfonds und der zu tätigenden Rückstellungen der Eigentümer der Kernanlagen die Kosten der Entsorgung und der Stilllegung alle fünf Jahre ermittelt. Mit den Regelungen der Kernenergiegesetzgebung und den weiteren Instrumenten sind somit alle notwendigen Rahmenbedingungen und Voraussetzungen für eine erfolgreiche Realisierung der Entsorgung geschaffen.

Kernenergiegesetz und -verordnung verpflichten die Entsorgungspflichtigen, den zuständigen Behörden ein Entsorgungsprogramm vorzulegen und dieses alle fünf Jahre anzupassen (Art. 52 KEV). Die Entsorgungspflichtigen sind die Betreiber der Kernkraftwerke sowie die Schweizerische Eidgenossenschaft, die für die Entsorgung der aus der Medizin, Industrie und Forschung stammenden radioaktiven Abfälle (MIF, s. Kap. 2) verantwortlich ist.

Das Kernenergiegesetz (Art. 32 KEG) und die Kernenergieverordnung (Art. 52 KEV) enthalten Angaben zum erforderlichen Inhalt und Aufbau des Entsorgungsprogramms; die entsprechenden Vorgaben sind in Tab. 1.1-1 wiedergegeben. Das Entsorgungsprogramm 2021 (EP21) wurde von der Nagra im Auftrag der Entsorgungspflichtigen erstellt; es richtet sich an die Behörden, ist aber so abgefasst, dass es auch der breiteren Öffentlichkeit zur Information dient.

Der Bundesrat hat 2013 verfügt, dass das Entsorgungsprogramm zeitgleich mit den Kostenstudien und zusammen mit einem Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsplan (RD&D-Plan) einzureichen ist. Das Entsorgungsprogramm 2016 (EP16) (Nagra 2016b) wurde im Dezember 2016 beim Eidgenössischen Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) eingereicht. Anschliessend erfolgte die behördliche Überprüfung durch das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI (ENSI 2018e), die Kommission für nukleare Sicherheit KNS (KNS 2018) und das BFE (BFE 2018a).

In seiner Verfügung vom 21. November 2018 hat der Bundesrat bestätigt (Bundesrat 2018), dass mit dem EP16 die Nagra den gesetzlichen Auftrag der Entsorgungspflichtigen gemäss Art. 32 KEG sowie Art. 52 KEV (Agneb 2014, KEV 2004, BFE 2008) erfüllt hat⁴.

⁴ Da das Entsorgungsprogramm (EP) kein Bundesvorhaben ist, sind die Voraussetzungen für die Durchführung einer obligatorischen Vernehmlassung zum Entsorgungsprogramm nach Art. 3a Abs. 1 des Bundesgesetzes über das Vernehmlassungsverfahren (VIG 2005; SR 172.061) nicht gegeben. Weil aufgrund der technischen Natur des Entsorgungsprogramms ferner keine Gründe ersichtlich sind, eine fakultative Vernehmlassung nach Art. 3 Abs. 2 VIG durchzuführen, verzichtete das UVEK auf eine Vernehmlassung des EP16 (Bundesrat 2018).

Tab. 1.1-1: Vorgaben zum Entsorgungsprogramm: Zitate aus KEG (2003) und KEV (2004)

- Die Entsorgungspflichtigen erstellen ein Entsorgungsprogramm. Dieses enthält auch einen Finanzplan bis zur Ausserbetriebnahme der Kernanlagen. Der Bundesrat legt die Frist fest, innert der das Programm zu erstellen ist (Art. 32 Abs. 1 KEG).
- Die vom Bundesrat bezeichnete Behörde überprüft das Programm. Das Departement unterbreitet es dem Bundesrat zur Genehmigung (Art. 32 Abs. 2 KEG).
- Die Entsorgungspflichtigen haben im Entsorgungsprogramm Angaben zu machen über (Art. 52 Abs. 1 KEV):
 - a Herkunft, Art und Menge der radioaktiven Abfälle
 - b die benötigten geologischen Tiefenlager einschliesslich ihres Auslegungskonzepts
 - c die Zuteilung der Abfälle zu den geologischen Tiefenlagern
 - d den Realisierungsplan für die Erstellung der geologischen Tiefenlager
 - e die Dauer und die benötigte Kapazität der zentralen und der dezentralen Zwischenlagerung
 - f den Finanzplan für die Entsorgungsarbeiten bis zur Ausserbetriebnahme der Kernanlagen, mit Angaben über:
 1. die zu tätigenen Arbeiten
 2. die Höhe der Kosten
 3. die Art der Finanzierung
 - g das Informationskonzept
- Die Entsorgungspflichtigen müssen das Programm periodisch an veränderte Verhältnisse anpassen (Art. 32 Abs. 4 KEG).
- Die Entsorgungspflichtigen haben das Programm alle fünf Jahre anzupassen (Art. 52 Abs. 2 KEV).
- Zuständig für die Überprüfung und für die Überwachung der Einhaltung des Programms sind das ENSI und das Bundesamt (Art. 52 Abs. 3 KEV).
- Der Bundesrat erstattet der Bundesversammlung regelmässig Bericht über das Programm (Art. 32 Abs. 5 KEG).

Des Weiteren hat der Bundesrat auf Grundlage der behördlichen Begutachtung des EP16 für das Entsorgungsprogramm 2021 (EP21) und folgende Entsorgungsprogramme spezifische Auflagen verfügt (Bundesrat 2018). Im vorliegenden Bericht wird auf alle Auflagen eingetreten. Eine Übersicht über die Bundesratsverfügungen und -auflagen findet sich in Anhang A.7. Der Anhang zeigt zudem auf, in welchen Kapiteln des EP21 die Auflagen behandelt werden und in welchen weiteren Berichten sich zusätzliche Informationen in Zusammenhang mit den Auflagen finden lassen. Diese als sogenannte Hintergrundberichte zum EP21 bezeichneten Berichte stellen keine von den Behörden geforderten Dokumente dar. Sie dienen vielmehr dazu, dass die Erfüllung spezifischer Bundesratsauflagen auf Basis fundierter Grundlagen erfolgen kann. Die Hintergrundberichte zum EP21 adressieren ausschliesslich Aspekte, die generischer Natur sind und unabhängig von der laufenden Standortwahl in SGT Etappe 3 thematisiert werden können. Eine Rückmeldung im Rahmen der Begutachtung des EP21 wird es der Nagra ermöglichen, die Anliegen der Behörden zu diesen generischen Aspekten bei der Erstellung des RBG aufzunehmen.

In Anhang A.8 wird ergänzend auf spezifische Auflagen des Bundesrats sowie weitere Empfehlungen der Behörden zum EP16 eingegangen und zusammenfassend dargelegt, wie die Entsorgungspflichtigen auf diese eingetreten sind. Falls ein entsprechender Hintergrundbericht vorhanden ist, wird dieser referenziert. Auf die vom ENSI in der revidierten Richtlinie ENSI-G03 (ENSI 2020b) geforderte Sicherheitsoptimierung wird in Anhang A.4 eingetreten. Gemäss der Richtlinie ist das Verfahren zur Optimierung in Zusammenhang mit sicherheitsrelevanten Entscheidungen bei der Planung und Realisierung neu im Entsorgungsprogramm zu dokumentieren und bei Bedarf zu aktualisieren.

Ein Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsplan (RD&D-Plan) wurde als Referenzbericht (Nagra 2016d) zum EP16 eingereicht. Darin sind Zweck, Umfang, Art und zeitliche Abfolge der zukünftigen Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsaktivitäten dokumentiert.

Das ENSI hat in Zusammenhang mit seiner Beurteilung dieses Referenzberichts zum EP16 eine separate Aktennotiz (ENSI 2018b) erstellt. Gemäss ENSI sind darin Aspekte enthalten, deren sicherheitstechnische Relevanz von geringerer Bedeutung ist. Nagra hat diese Aspekte im Rahmen der Aktualisierung des RD&D-Plans aufgegriffen (Nagra 2021e). Empfehlungen und Hinweise mit Bezug zu SGT Etappe 3 sind in die Präzisierungen der sicherheitstechnischen Vorgaben für Etappe 3 des Sachplans geologische Tiefenlager (ENSI 2018c) eingeflossen und werden im Rahmen des Standortwahlverfahrens oder der laufenden Aufsichtstätigkeit behandelt.

1.2 Übersicht über die übergeordneten Elemente der Entsorgung

Gemäss Art. 3b KEG besteht die Entsorgung aus Konditionierung (s. Kap. 2.2), Zwischenlagerung und Lagerung der radioaktiven Abfälle in einem geologischen Tiefenlager.

Die Ausgangslage bezüglich der Entsorgung lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- In der Schweiz wird die Kernenergie zur Stromerzeugung und zur Erzeugung von Prozess- und Fernwärme seit Ende der 1960er Jahre genutzt (Inbetriebnahme Kernkraftwerk Beznau-I: 1969, Beznau-II: 1971, Mühleberg: 1972, Gösgen: 1979, Leibstadt: 1984). Das Kernkraftwerk Mühleberg stellte seinen Leistungsbetrieb Ende 2019 endgültig ein. Ausserhalb der Kernenergienutzung fallen in Medizin, Industrie und Forschung bereits seit Jahrzehnten ebenfalls radioaktive Abfälle an.
- Die radioaktiven Abfälle werden laufend in eine für die weitere Entsorgung geeignete Form gebracht (Konditionierung) und sind in Zwischenlagern sicher eingelagert, bis sie in die entsprechenden geologischen Tiefenlager verbracht werden können. Die dazu notwendigen zentralen bzw. dezentralen Zwischenlager sind vorhanden (s. Kap. 6).
- In Übereinstimmung mit der internationalen Praxis geht das schweizerische Entsorgungskonzept von zwei Lagertypen aus: einem für schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA) und alphanukleare Abfälle (ANA) sowie einem für abgebrannte Brennelemente (BE) und verglaste hochaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (HAA(WA)). Falls der sicherheitstechnische Vergleich gemäss ENSI (2018c) es in SGT Etappe 3 zulässt, werden die beiden Lagertypen im Rahmen eines sogenannten Kombilagers realisiert; d.h. die geologische Tiefenlagerung der Abfälle erfolgt in zwei getrennten Lagerteilen (SMA-Lagerteil, HAA-Lagerteil; s. Kap. 3.2) am selben Standort.

In Fig. 1.2-1 sind die übergeordneten Elemente der Entsorgung schematisch dargestellt.

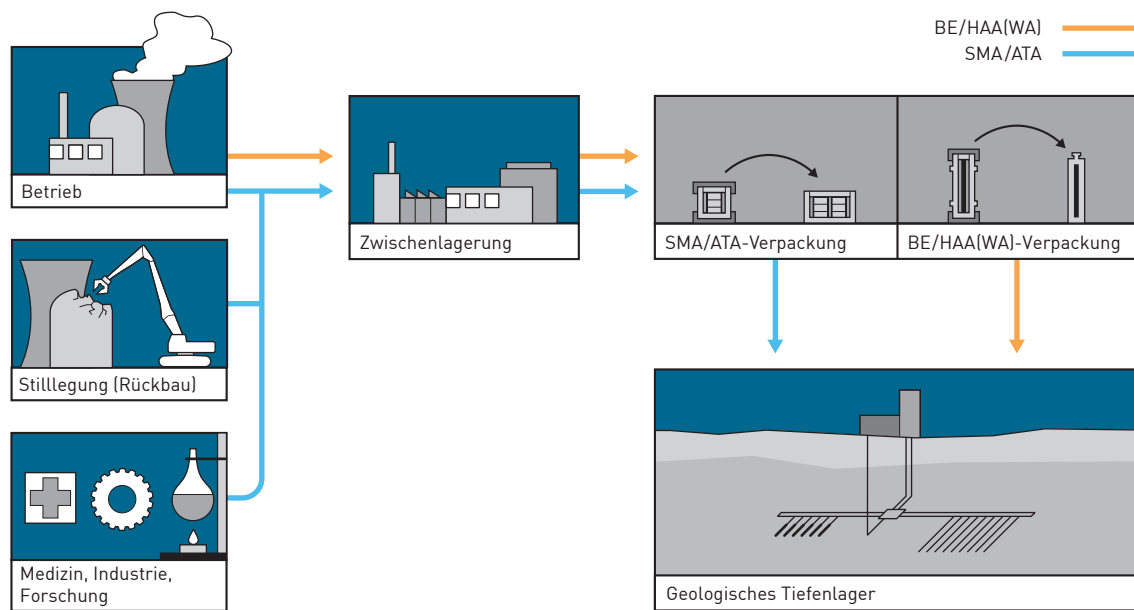


Fig. 1.2-1: Übergeordnete Elemente der Entsorgung in der Schweiz

Modellhafte Darstellung der im Entsorgungsprogramm zu behandelnden Elemente für den Fall eines Kombilagers. Die Figur zeigt auf, dass die in der Schweiz anfallenden radioaktiven Abfälle aus dem Betrieb der Kernkraftwerke, aus der Stilllegung der Kernkraftwerke und aus dem Bereich Medizin, Industrie und Forschung (MIF) zwischengelagert werden, bevor sie verpackt und ins geologische Tiefenlager verbracht und dort eingelagert werden. Abgebrannte Brennelemente (BE) und die hochaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (HAA(WA)) werden dem HAA-Lagerteil zugeordnet, schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA) sowie alphanotoxische Abfälle (ATA) werden dem SMA-Lagerteil zugeordnet.

1.3 Stand der Arbeiten

Die seit ca. 50 Jahren in der Schweiz durchgeführten Arbeiten zur geologischen Tiefenlagerung haben zu einem soliden technisch-wissenschaftlichen Kenntnisstand geführt. Dazu gehört der Entsorgungsnachweis für die schwach- und mittelaktiven Abfälle (erbracht 1985 und vom Bundesrat 1988 bestätigt) und für die hochaktiven Abfälle (erbracht 2002 und vom Bundesrat 2006 bestätigt). Für das SMA-Lager wurde mit dem Projekt Wellenberg Rahmenbewilligungsreife erreicht (GNW 1994, Nagra 1994, HSK 1996). Nach zwei ablehnenden kantonalen Abstimmungen wurde das Projekt zurückgezogen.

Das vom Bundesrat verabschiedete Konzept Sachplan geologische Tiefenlager SGT (BFE 2008) legt das Vorgehen für die Wahl von Standorten für die geologischen Tiefenlager (Kombilager oder SMA- und HAA-Lager) fest. Das Verfahren umfasst drei Etappen, wobei Etappe 1 und 2 abgeschlossen sind:

Die Nagra hat im Rahmen des Sachplanverfahrens in **Etappe 1** geologische Standortgebiete (Jura Ost, Jura-Südfuss, Nördlich Lägern, Südranden, Wellenberg und Zürich Nordost) vorgeschlagen (Nagra 2008b), welche den sicherheitstechnischen Anforderungen genügen. In einem mehrstufigen systematischen Verfahren ausgehend vom ganzen Gebiet der Schweiz (sogenannte "weisse Karte Schweiz") kamen bei der Erarbeitung dieser Vorschläge Anforderungen an die Geologie (Nagra 2008a) zum Tragen, welche sich auf die im Konzeptteil des SGT festgelegten Kriterien (BFE 2008) abstützten. Die Aufsichtsbehörden bestätigten nach umfassender Prüfung den Vorschlag und der Bundesrat setzte diese sechs Standortgebiete mit Entscheid vom November 2011 im Sachplan fest.

In **SGT Etappe 2** erfolgte einerseits die Einengung der Standortgebiete auf mindestens zwei pro Lagertyp (SMA-Lager bzw. HAA-Lager), andererseits die Festlegung von Standortarealen für die Oberflächenanlage. Dazu wurden die sechs Standortgebiete aus Etappe 1 sicherheitstechnisch vertieft untersucht und miteinander verglichen (Nagra 2014o, 2014n, 2014m). Basierend auf ihren Untersuchungen und den Ergebnissen des sicherheitstechnischen Vergleichs schlug die Nagra für die weitere Untersuchung in SGT Etappe 3 die Standortgebiete Jura Ost und Zürich Nordost mit Opalinuston als Wirtgestein vor (Nagra 2014o), jeweils für beide Lagertypen separat oder für ein Kombilager am gleichen Standort. Gestützt auf die Behördengutachten hat der Bundesrat Ende 2018 den Fokus auf den Opalinuston als verbleibendes Wirtgestein sowie das Zurückstellen der Standortgebiete Jura-Südfuss, Südranden und Wellenberg gutgeheissen. Zudem hat der Bundesrat entschieden, dass neben den Standortgebieten Jura Ost und Zürich Nordost in Etappe 3 auch das Standortgebiet Nördlich Lägern weiter zu untersuchen ist (s. Fig. 1.3-1).

Im Weiteren wurden gestützt auf die Zusammenarbeit mit den Standortregionen für diese Standortgebiete Standortareale für eine Oberflächenanlage festgelegt und diese in Objektblättern zu Etappe 2 festgehalten und ebenfalls vom Bundesrat verabschiedet (s. Fig. 1.3-1). In den entsprechenden Planungsstudien (Nagra 2013f, 2013d, 2013c, 2013a, 2013b, 2013e, 2014l, 2014j, 2014k, 2014f, 2014d, 2014e, 2014i, 2014g, 2014h) sind Aspekte zur Raumnutzung und Umweltverträglichkeit ausführlich erläutert und die bestehende Flexibilität in der Ausgestaltung der Oberflächeninfrastruktur ist dargelegt.

Derzeit läuft **SGT Etappe 3** und die **Vorbereitung auf die Rahmenbewilligung**. Im Hinblick auf das Rahmenbewilligungsgesuch hat die Nagra als wesentliche Felduntersuchungen 3D-Seismikmessungen, Tiefbohrungen und Quartäruntersuchungen in den drei verbleibenden Gebieten durchgeführt. Die Tiefbohrungen dienen insbesondere der Eichung der 3D-Seismik (v.a. Tiefenlage und Mächtigkeit der Wirt- und Rahmengesteine) sowie der Erfassung der relevanten Gesteinseigenschaften und Zustandsparameter. Untersuchungen quartärer Lockergesteine liefern Beiträge zur Langzeitentwicklung der geologischen Standortgebiete. Die laufende Auswertung und Integration der Felduntersuchungen bildet zusammen mit erdwissenschaftlichen Systemanalysen und weiteren Studien zum Prozessverständnis die Basis für den sicherheitstechnischen Vergleich der Standortgebiete und die Begründung der Standortwahl. Die heute vorliegenden Ergebnisse bestätigen die Eignung aller Standortgebiete für den Bau eines Tiefenlagers mit einem ausreichenden Platzangebot für ein Kombilager oder zwei Einzellager.

Aufgrund der Ergebnisse der Felduntersuchungen sowie weiterer Erkenntnisse erfolgt voraussichtlich 2022 die Ankündigung der Nagra, für welchen Standort oder welche Standorte sie ein Rahmenbewilligungsgesuch (RBG) für ein Kombilager respektive zwei RBG für die Einzellager ausarbeiten wird (Auswahl der Standorte für die Vorbereitung der Rahmenbewilligungsgesuche gemäss Konzept Sachplan geologische Tiefenlager; BFE 2008). Ebenso wird die Nagra basierend auf den definitiven Stellungnahmen zur Oberflächeninfrastruktur der Regionen⁵ (RK Jura Ost 2021, RK Nördlich Lägern 2021), der Kantone (Kanton SH 2021, Kanton AG 2021a, 2021b, Regierungsrat TG 2021, Kanton ZH 2021) und der drei Landkreise Waldshut, Schwarzwald-Baar und Konstanz (Hinterseh et al. 2021) sowie der überregionalen Stellungnahme zum Standort der BEVA (AG VA-extern 2020) die Areale zur Platzierung der Oberflächeninfrastruktur (inkl. Standort der Verpackungsanlagen) bezeichnen.

⁵ Das Entsorgungsprogramm 2021 wurde auf Grundlage des Informationsstands per 31. Oktober 2021 erstellt. Die Regionalkonferenz Zürich Nordost hat bis zu diesem Datum noch keine definitive Stellungnahme zur Oberflächeninfrastruktur verabschiedet.

Die Dokumentation der Standortwahl erfolgt gemäss Vorgaben der Kernenergiegesetzgebung (Art. 62 KEV) und ENSI (2018c) als Bestandteil der Unterlagen zum Rahmenbewilligungsgesuch (RBG) im sicherheitstechnischen Vergleich der zur Auswahl stehenden Optionen hinsichtlich der Sicherheit des geplanten Tiefenlagers inklusive einer Bewertung der für die Auswahl des Standorts ausschlaggebenden Eigenschaften und Angaben zu den Kosten.

Weitergehende Informationen zu den verbleibenden Aufgaben bis zur Rahmenbewilligung sind in Kap. 5.4.1 zu finden.

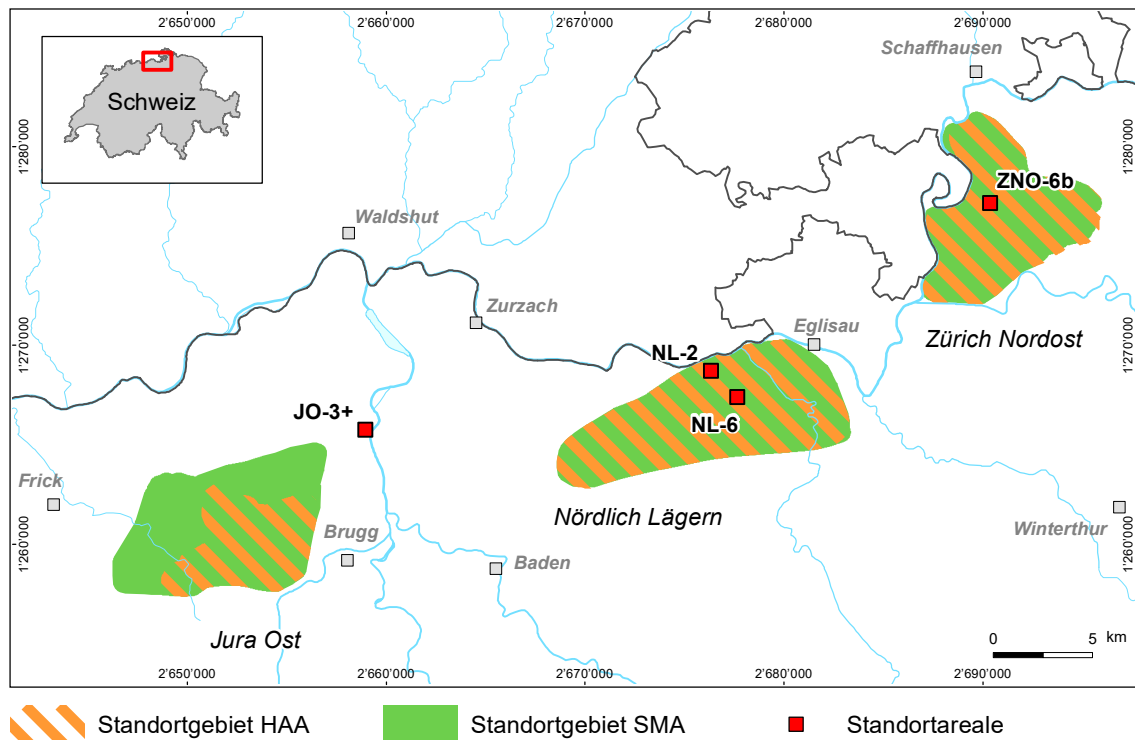


Fig. 1.3-1: Die drei Standortgebiete als Ergebnis von Etappe 2 des Sachplanverfahrens inklusive der in Objektblättern zu Etappe 2 festgehaltenen Standortareale für die Oberflächenanlage

1.4 Ziel, Inhalt und Aufbau des Entsorgungsprogramms

EP21 bildet den gegenwärtigen Stand der Planung zur geologischen Tiefenlagerung ab, berücksichtigt aber Handlungsoptionen für die Realisierung der geologischen Tiefenlager in ergebnis-offener Form, ohne Vorentscheide zu Standorten oder zur detaillierten Anordnung und technischen Auslegung der geologischen Tiefenlager zu treffen. Demgegenüber geht die Kostenstudie von einem modellhaften, aber konkreten Basisvorhaben aus, das die Vorgaben der Kommission der Fonds bezüglich Modellstandorten umsetzt und einen Detaillierungsgrad aufweist, der die Nachvollziehbarkeit der Kostenermittlung unter Berücksichtigung von Chancen und Gefahren ermöglicht. Die Kostenstudie trifft zu diesem Zweck modellhafte Annahmen, die mit dem Entsorgungsprogramm vereinbar sind, aber keine vorzeitigen Festlegungen zu späteren Entscheidungen auf dem Weg zur geologischen Tiefenlagerung bedeuten.

Das im Entsorgungsprogramm dokumentierte Arbeitsprogramm und der zugrundeliegende Realisierungsplan (Kap. 5) stellen auch eine Basis für die periodische Aktualisierung der Kostenstudie dar. Im EP werden die wichtigsten Aussagen der Kostenstudie zusammenfassend aufgeführt (s. Kap. 7). Zudem ist die Information in der Kostenstudie und im Entsorgungsprogramm aufeinander abgestimmt und konsistent. Das EP ist aufgrund unterschiedlicher Vorgaben und einer anders gelagerten Zielsetzung hingegen bewusst breiter angelegt als die Kostenstudie.

Im Entsorgungsprogramm wird aufgezeigt:

- wie sich die Ausgangslage für die verschiedenen Elemente der Entsorgung präsentiert, welcher Handlungsspielraum für die optimale Gestaltung der Entsorgung vorhanden ist und welche Flexibilität zur Berücksichtigung zukünftiger Entwicklungen notwendig⁶ ist
- was in welchem Zeitraum im Rahmen welcher gesetzlicher bzw. behördlicher Verfahren entschieden werden soll (der sogenannte Realisierungsplan), wie bei der Realisierung der noch ausstehenden Teile der Entsorgung (insbesondere der geologischen Tiefenlager) vorgegangen werden soll (zugehöriges Arbeitsprogramm) und wie der vorhandene Handlungsspielraum zur Optimierung der Anlagen genutzt und wie die erforderliche Flexibilität zur Berücksichtigung möglicher zukünftiger Entwicklungen erhalten werden kann⁷
- welche Unterlagen für die verschiedenen Verfahren erforderlich sind
- und welche übergeordneten Aktivitäten für die Realisierung der geologischen Tiefenlager und zur Erstellung der dazu benötigten Unterlagen notwendig sind und welche Ressourcen (Zeit, Kosten) dazu benötigt werden

Zur Darstellung des technisch-wissenschaftlichen Kenntnisstands bei der Entsorgung verweist das Entsorgungsprogramm auf die umfangreiche Dokumentation der Arbeiten der Nagra im Rahmen des Entsorgungsnachweises und des laufenden Sachplanverfahrens. Im Entsorgungsprogramm werden jedoch keine Festlegungen oder Entscheide vorweggenommen, die in einem anderen Zusammenhang zu fällen sind.

Dies betrifft insbesondere:

- die Evaluation möglicher geologischer Standortgebiete und Standorte im Rahmen des Sachplanverfahrens gemäss BFE (2008)
- die Festlegung der Auslegung der geologischen Tiefenlager für SMA und HAA bzw. des Kombilagers in ihren Grundzügen (Standort, Anlagenkonzept, zugeteilte Kategorien des Lagerguts, maximale Lagerkapazität) durch die Rahmenbewilligung gemäss KEG (2003)
- die detaillierte Festlegung der Auslegung der geologischen Tiefenlager für SMA und HAA bzw. des Kombilagers durch die verschiedenen nuklearen Bewilligungen gemäss KEG (2003)
- die Definition der in den verschiedenen Phasen notwendigen Feldarbeiten durch die Gesuche bzw. Bewilligungen für erdwissenschaftliche Untersuchungen gemäss KEG (2003)

⁶ Im Entsorgungsprogramm werden für die unterschiedlichen Aspekte der Entsorgung verschiedene Varianten diskutiert, um aufzuzeigen, welcher Handlungsspielraum für die Optimierung erforderlich ist (Berücksichtigung projektbezogener technisch-wissenschaftlicher Erkenntnisse und Fortschritte) und welche Flexibilität zur Berücksichtigung geänderter externer Vorgaben (z.B. bezüglich einzulagernder Abfälle) notwendig ist.

⁷ Die diesbezüglichen im EP21 dokumentierten Überlegungen sind zur besseren Übersicht auch tabellarisch im Anhang zusammenfassend dargestellt (Anhang A.4.2).

Der vorliegende Bericht ist wie folgt aufgebaut: Kap. 1 enthält wie eben dargelegt eine Einleitung zum Entsorgungsprogramm und beschreibt dessen Zielsetzungen und Aufbau. Kap. 2 beschreibt die Herkunft, Art und Menge der radioaktiven Abfälle sowie ihre Konditionierung, Charakterisierung und Inventarisierung. Kap. 3 behandelt wichtige Grundlagen der geologischen Tiefenlager; das Auslegungskonzept wird anhand des Kombilagers erläutert. Kap. 4 diskutiert die Zuteilung der Abfälle zu den geologischen Tiefenlagern und Kap. 5 umfasst den Realisierungsplan für die Erstellung der geologischen Tiefenlager. Kap. 6 beschreibt die Dauer und die benötigte Kapazität der zentralen und dezentralen Zwischenlagerung. Kap. 7 enthält eine Darlegung der Kosten und der Finanzierung der Entsorgung. Kap. 8 dokumentiert das Informationskonzept.

Zwischen dem vorliegenden Entsorgungsprogramm 2021 und dem Entsorgungsprogramm 2016 besteht eine grosse strukturelle und inhaltliche Übereinstimmung. Gründe hierzu sind:

- Die geforderten Angaben für das Entsorgungsprogramm sind in Art. 52 Abs. 1 KEV (vgl. Tab. 1.1-1) vorgegeben.
- Das Entsorgungsprogramm wird als langfristiges Arbeitsprogramm verstanden, welches eine gesamtheitliche übergeordnete Darstellung der für die Entsorgung aller radioaktiven Abfälle der Schweiz notwendigen Arbeiten wiedergibt.
- Die konzeptuellen Vorgaben und grundsätzlichen Annahmen für die Auslegung der Anlagen und deren schrittweise Realisierung sind seit dem letzten Entsorgungsprogramm weitgehend unverändert.

Für alle zentralen Themen wird jeweils am Anfang von Kap. 2 bis 8 kurz dargelegt, inwieweit sich die dem EP21 zugrundeliegenden Annahmen und Grundsätze gegenüber dem EP16 geändert haben. Somit sind – redaktionelle Anpassungen und die Aufdatierung von Referenzangaben ausgenommen – wichtige themenspezifische Unterschiede des EP21 gegenüber seiner Vorgängerversion für die Leserin und den Leser rasch erkennbar.

Die wesentlichen Unterschiede zwischen dem EP21 und dem EP16 sind:

- Die Bundesratsauflagen zum EP16 werden im EP21 berücksichtigt.
- Die Realisierungspläne wurden punktuell angepasst.
- Infolge der nun erfolgten Revision der Strahlenschutzverordnung (StSV; StSV 2017) mit der Festlegung der neuen Freigrenzen konnte im Vergleich zum EP16 die Anzahl von Szenarien beim Abfallmengengerüst reduziert werden.
- Das EP21 enthält eine Darstellung des Fortschritts im Sachplanverfahren geologische Tiefenlager seit 2016.

Da mit dem Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsplan (RD&D-Plan 2021; Nagra 2021e) ein Referenzbericht zum EP21 vorliegt, beschränken sich die Aussagen im EP21 zu RD&D-Arbeiten auf eine kurze Darstellung von Themen und auf Verweise auf den RD&D-Plan.

2 Herkunft, Art und Menge der radioaktiven Abfälle

Wesentliche Unterschiede zwischen dem EP16 und dem EP21

Im Folgenden werden die grössten Gemeinsamkeiten bzw. Unterschiede zwischen dem EP16 und dem EP21 dargestellt. Für detaillierte Angaben zu den Gründen für Abweichungen bei den anfallenden Abfallmengen wird auf Kap. 2.1 verwiesen.

Die Grundlagen für die Berechnung der Abfallmengen bzw. Volumina für das EP21 sind weitgehend identisch wie für das EP16. Als konservatives Abfallmengengerüst (AMG) wird auch im EP21 von einem 60-jährigen Betrieb der KKW (KKB, KKG, KKL) ausgegangen. In diesem als «60 Jahre Betrieb KKW» bezeichneten Szenario (im EP16 als 2b bezeichnet) wird für das KKM wie schon im EP16 ein 47-jähriger Betrieb berücksichtigt (Einstellung des Leistungsbetriebs von KKM Ende 2019). Entsprechend den Vorgaben der Verwaltungskommission der Stilllegungs- und Entsorgungsfonds geht die Kostenstudie KS21 im Basisvorhaben von einem 50-jährigen Betrieb der KKW (KKB, KKG, KKL) sowie 47 Jahre Betrieb für KKM aus. Um eine konsistente Darstellung der Informationen zur Entsorgung im EP21 und in der KS21 zu gewährleisten und die Vergleichbarkeit der Angaben zur Kostenermittlung im EP21 und in der KS21 mit denen in früheren Entsorgungsprogrammen und Kostenstudien sicherzustellen, beinhaltet das EP21 in Anhang A.5 deshalb als Ergänzung auch ein sog. Szenario «50 Jahre Betrieb KKW». Im EP16 wurde dieses als Szenario 1b bezeichnet.

Wie im EP16 gehen die Angaben im EP21 zu den anfallenden Abfallmengen bzw. Volumina von einer Abklinglagerung von sehr schwachaktiven Materialien aus. Infolge der 2017 erfolgten Revision der Strahlenschutzverordnung (StSV 2017) kann hingegen im Vergleich zum EP16 auf Szenarien, bei welchen das Abfallmengengerüst (AMG) ohne zusätzliche Abfallmengen / Volumina aufgrund der geänderten Freigrenzen und ohne Abklinglagerung aufgeführt ist, verzichtet werden (EP16 Szenario 1a und 2a). Die Abfallmengen bzw. Volumina im EP21 wurden allesamt auf Basis der neuen nuklidspezifischen Freigrenzen gemäss Revision der Strahlenschutzverordnung 2017 (StSV 2017) ermittelt.

Die Angaben zur Konditionierung, Charakterisierung und Inventarisierung der radioaktiven Abfälle sind gegenüber dem EP16 in ihren Grundsätzen weitgehend unverändert. Die Angaben betreffend die Methoden zur Konditionierung wurden aktualisiert und vervollständigt (s. Tab. 2.2-1). Ansonsten beschränken sich die Änderungen auf die Aufdatierung von Referenzangaben.

2.1 Beschreibung der radioaktiven Abfälle

In der Schweiz werden für die Beschreibung der radioaktiven Abfälle die Kategorien gemäss Art. 51 KEV verwendet: Diese an die internationale Praxis anlehrende Kategorisierung basiert auf den physikalischen Eigenschaften der in der Schweiz vorkommenden radioaktiven Abfälle:

- Hochaktive Abfälle (HAA) umfassen abgebrannte Brennelemente (BE), die nicht weiter verwendet werden, sowie verglaste Spaltproduktlösungen aus der Wiederaufarbeitung (WA) von abgebrannten Brennelementen.
- Alphatoxische Abfälle (ATA) sind Abfälle, deren Gehalt an Alphastrahlern den Wert von 20'000 Bq/g konditionierter Abfall übersteigt.
- Schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA) sind alle anderen radioaktiven Abfälle.

In der Schweiz fallen radioaktive Abfälle und Materialien bei der Nutzung der Kernenergie und bei der Verwendung radioaktiver Materialien in Medizin, Industrie und Forschung (MIF) an.

Die Angaben zur Menge⁸, d.h. dem Volumen, und zum zeitlichen Anfall von Abfällen im EP21 basieren auf einem Szenario «60 Jahre Betrieb KKW», das zu einem höheren Abfallvolumina führt als das Szenario «50 Jahre Betrieb KKW» und somit konservativer ist. Randbedingungen für dieses Szenario sind:

- 60 Jahre Betrieb KKB, KKG, KKL, 47 Jahre Betrieb KKM.
- Die bei der Revision der Strahlenschutzverordnung 2017 (StSV 2017) angepassten Freigrenzen wurden berücksichtigt.
- Berücksichtigung der Abklinglagerung für aktivierte radioaktive Stoffe, die innerhalb von 30 Jahren nach dem Ende der Verwendung des ursprünglichen Materials soweit abgeklungen sind, dass sie freigemessen oder verwertet werden könnten (Art. 117 StSV).

Für eine konsistente Darlegung der Informationen zur Entsorgung im EP21 und in der KS21 sowie für eine einfache Vergleichbarkeit der Angaben in der Kostenstudie (Kap. 7) mit denen in früheren Entsorgungsprogrammen umfasst das EP21 auch Angaben zur Menge der Abfälle für ein Szenario «50 Jahre Betrieb KKW» (s. Anhang A.5).

Die Menge / das Volumen und der zeitliche Anfall radioaktiver Abfälle aus dem MIF-Bereich basieren auf den folgenden Annahmen:

- Für Betriebsabfälle aus dem MIF-Bereich wird von einer Sammelperiode bis Ende 2064 ausgegangen. Dieser Zeitpunkt entspricht gemäss dem Realisierungsplan dem Ende des Einlagebetriebs für SMA (vgl. Anhang A.2.1 sowie Tab. A.2-1 und A.2-3).
- Die Angaben zu den Betriebsabfällen aus dem Hotlabor des Paul Scherrer Instituts (PSI) basieren auf der Annahme, dass der Anfall Brennstoff-haltiger radioaktiver Abfälle aus dem Hotlabor an das Ende des kommerziellen Betriebs von KKL gekoppelt ist (s. Tab. A.2-5). Wird das KKL für 60 Jahre betrieben, führt dies zu einem Anfall aus dem Hotlabor bis 2044.

In der Vergangenheit wurden ca. 1'139 t Brennstoff⁹ der Wiederaufarbeitung zugeführt. Alle damit in Zusammenhang stehenden Abfälle wurden in die Schweiz zurückgeführt und werden im Zwiilag zwischengelagert. Im EP21 wird keine weitere Wiederaufarbeitung berücksichtigt, da das Kernenergiegesetz (Art. 9 KEG) die Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente seit 2018 untersagt.

Die auf Basis des Szenarios «60 Jahre Betrieb KKW» ermittelten Abfallmengen bzw. Volumina sind in Tab. 2.1-1 aufgeführt. Die Tabelle zeigt zunächst das Volumen für die angelieferten bzw. konditionierten Abfälle. Da die Abfälle vor ihrer Einlagerung in die Lagerkammern der geologischen Tiefenlager in Endlagerbehälter verpackt werden (s. Kap. 3.2), ist in Klammern auch das Volumen der in Endlagerbehältern verpackten Abfälle ausgewiesen¹⁰. Der zeitliche Anfall der Abfälle (konditioniert bzw. zusätzlich in Endlagerbehälter verpackt) ist in Fig. 2.1-1 (oben bzw. unten) gegliedert nach der Herkunft der Abfälle als Summenkurve dargestellt.

⁸ Für Angaben zu den detaillierten Eigenschaften der Abfälle sei auf Nagra (2014c) verwiesen. Die Datenbank des Modellhaften Inventars für radioaktive Materialien (MIRAM) wird für das RBG aktualisiert.

⁹ [tU], Tonnen Uran/Schwermetall (bezogen auf frische, nicht abgebrannte BE).

¹⁰ Während das Volumen der angelieferten bzw. konditionierten Abfälle dem Volumen der Abfälle entspricht, welches für ihre Lagerung in den Zwischenlagern benötigt wird, ist das in Endlagerbehälter "verpackte" Volumen von der Verpackung abhängig. Je nachdem, wo sich die Anlagen befinden, können die Angaben zu diesem Volumen variieren. Befindet sich z.B. die SMA-Verpackungsanlage nicht am Standort des geologischen Tiefenlagers, gehen die derzeitigen Planungsannahmen davon aus, dass spezifische Abfalltypen endlagerfähig in kleinere Endlagerbehälter verpackt werden müssen, damit der Transport zum Tiefenlager gewährleistet ist; dies führt zu einem leicht erhöhten verpackten Endlagervolumen. Der definitive Entscheid, wie Abfälle verpackt und transportiert werden, erfolgt stufengerecht im Hinblick auf die nuklearen Bau- und Betriebsbewilligungen.

Eine gegenüber dem EP16 verbesserte Abschätzung hinsichtlich der anfallenden Abfallmengen bzw. Volumina sowie modifizierte Annahmen betreffend die Verpackung führen zu Unterschieden in den Angaben zu den Abfallmengen bzw. -volumina.

Im Folgenden werden Unterschiede für die verschiedenen Abfallkategorien systematisch dargestellt und die Gründe hierzu näher erläutert. Dies erfolgt anhand der Angaben zum «verpackten Volumen», da diese Angabe für die geologische Tiefenlagerung relevant ist. Basis für den Vergleich sind das sogenannte Szenario «60 Jahre Betrieb KKW» (EP21) und das Szenario 2b des EP16 (Nagra 2016b). Es sei angemerkt, dass sich die Gebindezahlen, die dem EP21 zugrunde liegen, gegenüber dem EP16 leicht geändert haben.

- **BE:** Geringe Reduktion des verpackten Volumens um 103 m³ auf neu 8'892 m³: Die wesentliche Randbedingung der Begrenzung der maximalen Wärmeleistung der Behälter¹¹ hat sich gegenüber dem EP16 nicht geändert. Hingegen wurden die Prognosen zur Anzahl der BE aktualisiert, wodurch sich das unverpackte Volumen geringfügig um 10 m³ auf neu 1'367 m³ erhöht hat. Die bedeutendere Änderung begründet sich im Design der Endlagerbehälter. Dieses wurde aktualisiert und die Behälter weisen nunmehr ein etwas kleineres Volumen auf, so dass insgesamt eine Reduktion des verpackten Volumens resultiert.
- **WA-HAA:** Geringe Reduktion des verpackten Volumens um 21 m³ auf neu 377 m³: Die hochaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung wurden in spezielle Stahlbehälter (180-l-Kokillen) konditioniert. Wie bereits im EP16 wird davon ausgegangen, dass jeweils drei 180-l-Kokillen in einen Endlagerbehälter mit effizienter Volumenausnutzung verpackt werden. Die Reduktion begründet sich darin, dass das Design der Endlagerbehälter aktualisiert wurde und die Behälter ein etwas geringeres Volumen ausweisen; dies führt zu einer geringen Reduktion des verpackten Volumens.
- **WA-ATA:** Geringe Erhöhung des verpackten Volumens um 18 m³ auf neu 432 m³: Die Auslegung des für WA-ATA-Abfälle vorgesehenen Endlagerbehälters wurde konkretisiert; für das EP16 lag hierzu erst ein Konzeptdesign vor. Die Konkretisierung führt zu einer geringen Volumenzunahme (0.4 m³ pro Endlagerbehälter).
- **BA (KKW) und RA:** Reduktion des verpackten Volumens um 1'955 m³ auf neu 31'127 m³: Im EP16 wurde für die Verpackung der 200-l-Gebinde von einem 10.3 m³ Endlagerbehälter ausgegangen, in diesen können 12 200-l-Gebinde verpackt werden. Für das EP21 wurde für die endlagergerechte Verpackung von 200-l-Gebinden auf das deutlich "dichtere" Verpackungskonzept aus dem EP08 zurückgegriffen, bei welchem ein Endlagerbehälter mit einem Volumen von 26 m³ verwendet wird. In diesen Endlagerbehälter können 36 200-l-Gebinde verpackt werden. Dadurch kann ein insgesamt deutlich kleineres verpacktes Volumen gegenüber dem EP16 erreicht werden. Erstmals mit dem EP21 werden die Betriebsabfälle aus der Entsorgung der Transport- und Lagerbehälter der HAA(WA) und BE (BA (TLB)) vollständig erfasst und den BA (KKW) zugeordnet. Das verpackte Volumen dieser Betriebsabfälle aus der Entsorgung der TLB (BA (TLB)) erhöht sich gegenüber dem EP16 um 2'327 m³ auf 2'938 m³: Dem EP16 wurde eine Dekontamination und konventionelle Entsorgung der TLB-Tragkörbe unterstellt. Da eine solche Dekontamination wahrscheinlich nicht mit vertretbarem Aufwand erfolgreich durchgeführt werden kann, wird im EP21 die Entsorgung der TLB-Tragkörbe zusätzlich berücksichtigt.

¹¹ Bei der Berechnung der notwendigen Anzahl Endlagerbehälter geht die derzeitige Planung von einer konservativen Annahme aus. Diese besagt, dass ein BE/HAA(WA)-Endlagerbehälter zum Zeitpunkt der Einlagerung eine maximale Wärmeleistung von 1'500 Watt pro Behälter nicht überschreiten darf. Diese konservative Annahme führt dazu, dass ein kleiner Teil der BE/HAA(WA)-Endlagerbehälter nicht vollständig beladen werden kann.

- **SA (KKW/Zwilag):** Reduktion des verpackten Volumens um 2'414 m³ auf neu 24'976 m³: Es erfolgte eine grundlegende Neuberechnung der aktivierten Stilllegungsabfallmengen. Zudem wurde ein optimiertes Verpackungskonzept ausgearbeitet und für einzelne Anlagen eine Neubewertung des anfallenden Inventars aus der kontrollierten Zone durchgeführt. Das Konzept zur Verwendung von schwachaktivem kontaminiertem Beton aus der Stilllegung zur Teilverfüllung von Containern mit metallischen Abfällen wird im EP21 analog zum EP16 berücksichtigt.
- **MIF¹²:** Reduktion des verpackten Volumens um 3'504 m³ auf neu 16'148 m³: Im EP16 sind die CERN-Abfälle mit 4'883 m³ erfasst. Gemäss den Angaben des CERN und Abschätzungen der Nagra werden neu auf Basis einer Abstimmung zwischen Nagra und Bund von 2018 2'399 m³ Abfälle erwartet. Die verbleibende Reduktion von ca. 1'000 m³ gegenüber dem EP16 resultiert zum einen aus einer generellen Reduktion der in Zusammenarbeit mit dem PSI überarbeiteten Prognosen für die künftig anfallenden Betriebsabfälle und zum anderen aus dem optimierten Verpackungskonzept (siehe Abschnitt 'BA (KKW) und RA').
- **OFA:** Reduktion des verpackten Volumens um 1'720 m³ auf neu 582 m³: Im EP16 wurden neben den Abfällen aus dem Betrieb der Oberflächenanlagen (und insbesondere der Verpackungsanlagen) auch die Abfälle aus der Dekontamination der TLB unter diesem Stichwort aufgeführt; diese werden nunmehr unter BA (KKW) und RA aufgeführt. Im Unterschied dazu werden im EP21 unter dem Stichwort 'OFA' unabhängig vom Standort nur noch Abfälle aus dem Betrieb und der Stilllegung der Verpackungsanlagen (primär der BEVA) aufgeführt; diese Abfälle wurden im EP16 als BE/HAA(WA)-Verpackungsanlage, kurz BEVA bezeichnet.

Die Basisannahmen zu den Abfallmengen bzw. Volumina im EP21 basieren auf einem Szenario «60 Jahre Betrieb KKW», welche der Lagerauslegung und dem Sicherheitsnachweis zugrundegelegt werden. Erst mit der Rahmenbewilligung wird die maximale Lagerkapazität festgelegt (Art. 14 Abs. 2 KEG). In Anbetracht des Zeithorizonts der Realisierung und des Betriebs der Tiefenlager sind dabei für die maximale Lagerkapazität Planungsreserven auszuweisen. Diese Reserven schaffen Flexibilität für zukünftige Entwicklungen. Heute sind beispielsweise die Laufzeiten der KKW nicht festgelegt, da diese gemäss gesetzlichen Vorgaben so lange betrieben werden können, wie ihre Sicherheit gewährleistet ist. Im SMA-Lager ermöglichen die Reserven beispielsweise die Einlagerung von MIF-Abfällen über das geplante Ende der Einlagerungsphase hinaus¹² (Anhang A.8.8).

¹² Als Planungsannahme wird davon ausgegangen, dass die Sammelperiode für MIF bis Ende 2064 (Ende des Einlagerungsbetriebs ins SMA-Lager; s. Kap. 5.3 und Anhang A.2.1) dauert. Anhang A.8.8 enthält auf Empfehlung der KNS zudem Angaben hinsichtlich des Umgangs mit MIF-Abfällen ab 2065. Die Verantwortung für deren Entsorgung liegt beim Bund. So muss über einen Zeitraum von 90 Jahren mit einem endlagergerecht verpackten Abfallvolumen von ca. 4'000 m³ gerechnet werden, was ca. 5 % der Menge aller bis Ende 2064 erwarteten SMA entspricht. Da der definitive Entscheid, wie mit diesen MIF-Abfällen umgegangen wird, erst in ca. 50 – 100 Jahren gefällt werden muss, wird dieses Volumen in keinem im EP aufgeführten Abfallmengengerüst wiedergegeben.

Tab. 2.1-1: Abfallvolumina in Kubikmeter (m³) für 60 Jahre Betrieb (KKB, KKG, KKL) sowie 47 Jahre für KKM (Szenario «60 Jahre Betrieb KKW»)

Erläuterung: Volumen der angelieferten bzw. konditionierten Abfälle und das in Endlagerbehälter "verpackte" Volumen in Klammern. Die Angaben sind gegliedert nach Kategorien der Kernenergieverordnung (KEV 2004) mit HAA = Hochaktive Abfälle, ATA = Alpha-toxische Abfälle, SMA = Schwach- und mittelaktive Abfälle. Zusätzliche Gliederung nach Herkunft; mit BE: Abgebrannte Brennelemente; WA: Abfälle aus der Wiederaufarbeitung; BA (KKW): Betriebsabfälle der KKW (inklusive der am Zwiilag produzierten Abfälle) und Betriebsabfälle aus der Entsorgung der TLB; RA: Reaktorabfälle der KKW bestehend aus austauschbaren Komponenten aus dem Reaktordruckbehälter, die während des Betriebs anfallen (ohne BE); SA: Stilllegungsabfälle der KKW und Zwiilag inklusive Lucens-Abfälle; MIF: Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung inklusive CERN-Abfälle; OFA: Abfälle aus dem Betrieb und der Stilllegung der Oberflächenanlagen.

Abgebrannte Brennelemente (BE) werden vor Einlagerung in die Lagerstollen des HAA-Lagers ohne weitere Behandlung in Endlagerbehälter verpackt. Die erste Volumenangabe bezieht sich auf die unverpackten BE. Die Angabe in Klammern ist das verpackte Volumen, wobei wegen der Begrenzung der maximal zulässigen Wärmeleistung der Behälter z.T. Leerstellen zu berücksichtigen sind.

Die hier angegebenen Totale der exakten Abfallvolumina können vernachlässigbare Abweichungen zur Summe der gerundeten, einzelnen Abfallvolumina aufweisen.

		Herkunft						Total
		BE (KKW)	WA (KKW)	BA (KKW)	RA (KKW)	SA (KKW)	MIF	OFA
Kategorie nach KEV	HAA	1'367 ¹⁾ (8'892)	114 ²⁾ (377)				9 ⁵⁾ (11)	
	ATA		99 ²⁾ (432)			25 (25)	165 (524)	
	SMA			11'100 ⁴⁾ (29'691)	407 (1'436)	19'239 (24'951)	11'762 (15'614) ⁶⁾	220 (582)
	Total	1'367 (8'892) ³⁾	213 (809)	11'100 (29'691)	407 (1'436)	19'264 (24'976)	11'936 (16'148) ⁶⁾	220 (582)
								44'506 (82'534) ⁶⁾

¹⁾ Entspricht 2'929 tU.

²⁾ Diese Abfälle resultieren aus der Wiederaufarbeitung von 1'139 tU.

³⁾ Bei einer vollständigen Beladung der Endlagerbehälter (ohne Berücksichtigung von Leerstellen) würde ein Volumen von 7'506 m³ resultieren.

⁴⁾ Hier sind 2'736 m³ konditionierter Abfall aus der TLB-Entsorgung enthalten, was einem verpackten Volumen von 2'938 m³ entspricht.

⁵⁾ Brennelemente des DIORIT-Reaktors und Pressbüchsen aus dem PSI Hotlabor.

⁶⁾ Diese Angaben umfassen auch 2'399 m³ Abfälle aus dem CERN.

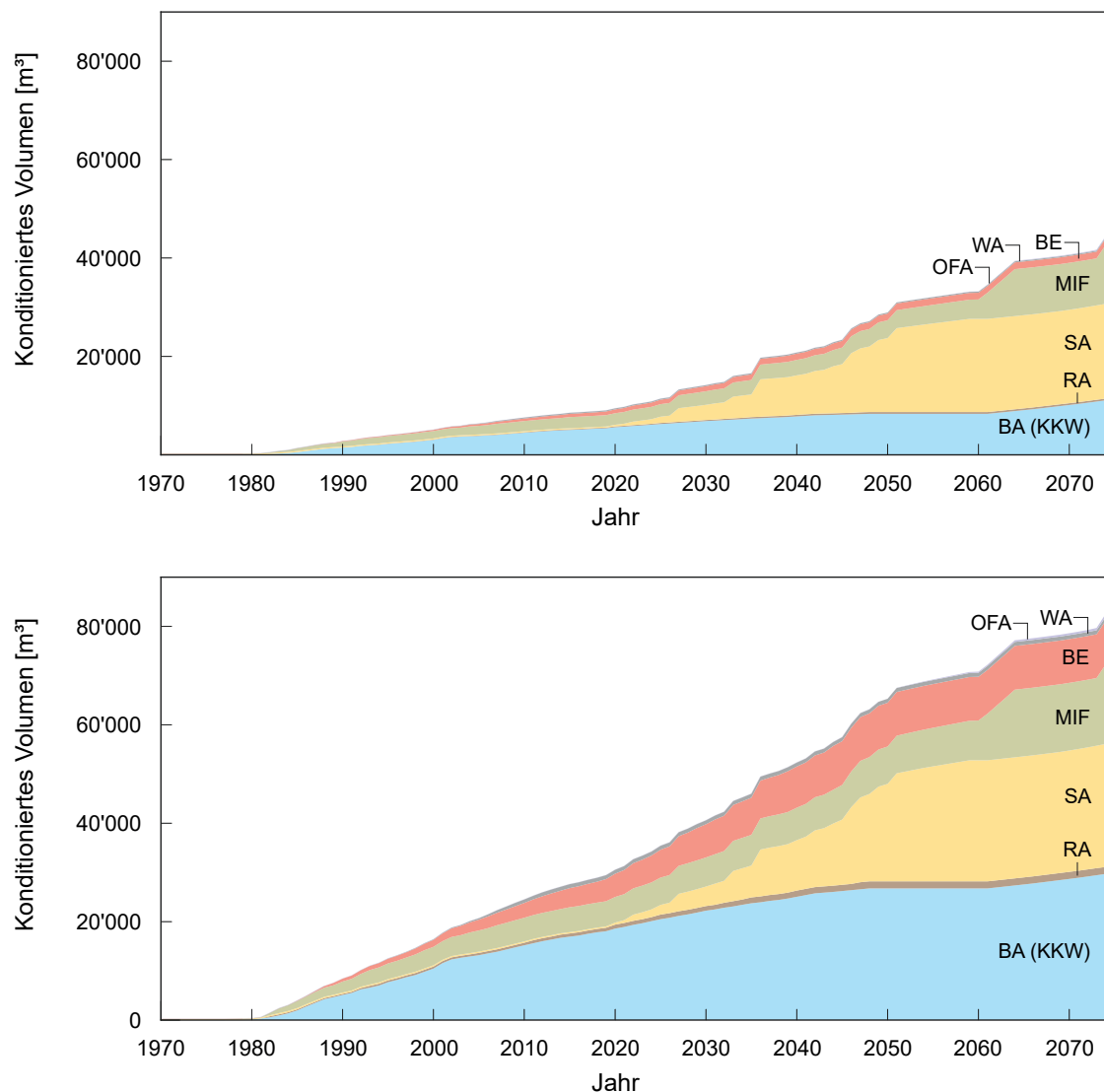


Fig. 2.1-1: Zeitlicher Anfall der radioaktiven Abfälle in der Schweiz in Kubikmeter (m³) für die bestehenden Kernkraftwerke für 60 Jahre Betrieb (KKB, KKG, KKL) sowie 47 Jahre für KKM und aus dem MIF-Bereich (inkl. Abfälle aus dem CERN) für eine Sammelperiode bis Ende 2064 (Szenario «60 Jahre Betrieb KKW»)

Zeitskala von der Betriebsaufnahme KKB (1970 als ungefährender Mittelwert von KKB I und KKB II) bis zum Abschluss der Einlagerung in das geologische Tiefenlager für HAA (hier Ende 2074).

Abfälle gegliedert nach ihrer Herkunft (Abkürzungen: vgl. Tab. 2.1-1). Die BA (KKW) enthalten zusätzlich die Abfälle aus der Entsorgung der TLB.

Oben: Volumen der konditionierten Abfälle, welches für ihre Lagerung in den Zwischenlagern benötigt wird (Summenkurve nach Herkunft; s. Tab. 2.1-1).

Unten: Volumen für die in Endlagerbehälter verpackten Abfälle¹³ (Summenkurve nach Herkunft; s. Tab. 2.1-1, Angaben in Klammern).

¹³ De facto werden die meisten der anfallenden Abfälle nicht unmittelbar verpackt, sondern die Verpackung in Endlagerbehälter erfolgt nach Inbetriebnahme des geologischen Tiefenlagers in den entsprechenden Verpackungsanlagen (s. Kap. 3.2 und 5).

2.2 Konditionierung, Charakterisierung und Inventarisierung der radioaktiven Abfälle

Die heute anfallenden radioaktiven Abfälle werden laufend konditioniert¹⁴, charakterisiert und inventarisiert:

- In der Schweiz werden ausschliesslich die abgebrannten Brennelemente ohne Vorbehandlung in Transport- und Lagerbehälter (TLB) beladen und in den Anlagen des Zwiilag bzw. im Zwischenlager ZWIBEZ zwischengelagert, nachdem sie in den Brennelementbecken der Kernkraftwerke bzw. im Nasslager des KKG genügend abgekühlt sind.
- Die Abfälle aus der Wiederaufarbeitung in England (Sellafield) und Frankreich (La Hague) wurden in eine Form gebracht, welche die schweizerischen Anforderungen bezüglich Transport, Zwischenlagerung und geologischer Tiefenlagerung erfüllte. Die Abfälle aus der Wiederaufarbeitung wurden in die Schweiz zurückgeführt und werden im Zwiilag zwischengelagert. Als Folge eines geänderten Verarbeitungsverfahrens in Frankreich wurde ein Teil der ATA-Abfälle (s. Kap. 4.1) nicht wie ursprünglich geplant in Form von bituminierten Abfällen, sondern als sogenannte CSD-B-Glaskokillen in die Schweiz zurückgeführt. Für die Abfälle aus den Wiederaufarbeitungsanlagen in England erfolgte eine Substitution der schwach- und mittelaktiven Abfälle durch eine radiotoxisch äquivalente Menge an verglasten hochaktiven Abfällen. Dadurch wurde die Anzahl der Transporte wesentlich verringert und die Menge einzulagernder organischer Stoffe erheblich reduziert.
- Bei den KKW-Betriebsabfällen (inkl. austauschbarer Reaktorkomponenten) sind für alle dargestellten Abfallströme Konditionierverfahren vorhanden. Die Konditionierung der Abfälle erfolgt routinemässig, grösstenteils direkt vor Ort, teilweise aber auch zentralisiert im Zwiilag. Letzteres betrifft vor allem Abfälle, die in der Plasma-Anlage verbrannt und eingeschmolzen werden.
- Für die Abfälle aus der Stilllegung der KKW wurden – unter Berücksichtigung der weltweiten Erfahrung – im Rahmen der Stilllegungsstudien Konzepte für deren Behandlung erarbeitet. Die Abfälle wurden im Rahmen der Stilllegungsstudien modellhaft durch die Nagra charakterisiert. Die Stilllegungsstudien werden periodisch überprüft (vgl. Kap. 7). Dabei werden die Angaben zu den Abfällen bei Vorliegen neuer Erkenntnisse angepasst. Für die Abfälle aus der Stilllegung des KKM bildet die konkrete aktuelle Rückbauplanung des KKM die Basis der Stilllegungsstudie.
- Die Abfälle der Kleinproduzenten aus dem MIF-Bereich werden im Auftrag des Bundesamts für Gesundheit (BAG) eingesammelt; für ihre Konditionierung und Zwischenlagerung ist das PSI verantwortlich (Art. 120 StSV). Die Abfälle aus den grossen Forschungsanlagen (PSI, CERN) und die Abfälle aus der Stilllegung der verschiedenen Forschungseinrichtungen (Hochschulen, Universitäten) werden konditioniert oder – bei kurzlebigem Nuklidinventar – in einem Abklinglager bis zur konventionellen Entsorgung gelagert (s. Kap. 6.1), oder es liegen Konzepte für ihre Entsorgung bzw. Minimierung vor.

Tab. 2.2-1 enthält eine Zusammenstellung der verwendeten bzw. vorgesehenen Konditionierverfahren. Die Angaben wurden aktualisiert und vervollständigt; sie entsprechen im Wesentlichen denjenigen des EP16.

¹⁴ Gemäss Art. 3 Bst. g KEG wird Konditionierung definiert als die Gesamtheit der Operationen, mit welchen radioaktive Abfälle für die Zwischenlagerung oder für die Lagerung in einem geologischen Tiefenlager vorbereitet werden, insbesondere die mechanische Verkleinerung, Dekontamination, Verpressung, Verbrennung, Einbettung in Abfallmatrizen und Verpackung.

Tab. 2.2-1: Zusammenstellung der verwendeten und vorgesehenen Methoden zur Konditionierung

Für vergleichbare MIF-Abfälle (z.B. Schlämme, Konzentrate, Mischabfälle) werden identische Methoden zur Konditionierung verwendet.

Produzent	Rohabfall	Vorbehandlung	Verfestigungsmaterial	Konditionierungsanlage
KKB	Ionentauscherharze	Abtropfen / Absaugen	Polystyrol	Trocknung und Verfestigung
	Schlämme	Fällung / Zentrifuge / Nanofiltration	Zement	Infass-Mischer
	Filterkerzen	Fass-Vorbereitung	Zement	Zementiervorrichtung
	Konzentrate	Verdampfung	Zement	Infass-Mischer
KKG	Ionentauscherharze	Heissluft-Trocknung	Bitumen	Extruder
	Konzentrate	Aufkonzentration durch Destillation	Bitumen	Extruder
	Filterkerzen	Verpressung	Zement	Zementiervorrichtung
KKL	Ionentauscherharze und Konzentrate	Zentrifuge und Verdampfen	Zement	Infass-Mischer
	Konzentrate	Verdampfen	Zement	Infass-Mischer
	Brennelementkästen	Zerschneiden mit Unterwasserschere	Zement	Zementiervorrichtung
KKM	Ionentauscherharze	Trocknen und Thermolyse	Zement	Infass-Mischer
	Schlämme	Eindicken Entwässern / Trocknen / Verbrennen	Zement Glas als Schlackebildner	Infass-Mischer Plasma-Anlage Zwilag
	Brennelementkästen	Zerschneiden mit Unterwasserschere	Zement	Zementiervorrichtung
Alle KKW	Pressbare Mischabfälle bis 2004	Hochdruckpresse	Zement	Zementiervorrichtung
	Brennbare Mischabfälle bis 2004	Verbrennen	Zement	Pilotverbrennungsanlage PSI
	Mischabfälle ab 2005	Verbrennen / Schmelzen	Glas als Schlackebildner	Plasma-Anlage Zwilag
	Nicht pressbare / brennbare Abfälle	Mischen / Vergiessen	Zement	Zementiervorrichtung
	Schwach aktivierte Reaktorabfälle	Schneiden	Zement	Zementiervorrichtung
	Stark aktivierte Reaktorabfälle	Schneiden	–	Verpackung in Gussbehälter
	Kontaminierte metallische Stoffe	Dekontamination	Zement/Glas ¹	Konditionierungs- und Plasma-Anlage
Ehemals AREVA NC (heute Orano Group)	Spaltproduktlösung	Kalzination	Glas	Verglasungsanlage
	Hülsen und Endstücke	Trocknung und Hochdruckverpressung	–	Verpackung in Kokille
	Schlämme	Kalzination	Glas	Verglasungsanlage
Sellafield ²	Spaltproduktlösung	Kalzination	Glas	Verglasungsanlage

¹⁾ Ziel der Dekontamination ist die Freimessung (Befreiung) der gereinigten Materialien und die Reduktion der Abfallmengen gemäss Art. 30 Abs. 1 KEG. Die Sekundärabfälle werden konditioniert.

²⁾ Weitere Abfälle aus der Wiederaufarbeitung bei Sellafield Ltd wurden durch zusätzliche HAA substituiert (vgl. Text).

Die Konditionierung radioaktiver Abfälle erfordert eine Typengenehmigung gemäss der ENSI-Richtlinie ENSI-B05 (ENSI 2007).

Durch behördlich geregelte Verfahren wird sichergestellt (vgl. ENSI-Richtlinie ENSI-B05; ENSI 2007), dass die konditionierten Abfälle für die weitere Entsorgung geeignete Eigenschaften aufweisen und dass alle in Zukunft benötigten Informationen vorhanden und in geeigneter Form dokumentiert sind. Dazu kommt das Verfahren für die Endlagerfähigkeitsbescheinigung von Abfallgebindetypen zur Anwendung. In späteren Verfahrensschritten werden Vorabnahme- und Übernahmeverfahren für einzelne Abfallgebilde durchgeführt, in denen die Konformität der Gebinde mit den zugehörigen Spezifikationen geprüft wird. Vor Freigabe eines Konditionierverfahrens durch die zuständige Behörde (ENSI) werden das vom jeweiligen Abfallverursacher vorgeschlagene Konditionierverfahren und insbesondere die damit herzustellenden Abfallgebilde von der Nagra bezüglich ihrer Endlagerfähigkeit beurteilt. Bei Bedarf wird das vorgeschlagene Konditionierverfahren in Absprache mit der Nagra durch den verantwortlichen Abfallverursacher optimiert. Mittels verfahrenstechnischer Abstimmung mit den Verursachern werden die Voraussetzungen und Massnahmen festgelegt und in Spezifikationen festgehalten, die sicherstellen, dass die Abfälle bei ihrer Behandlung in eine transport- und endlagerfähige Form gebracht und so zwischengelagert werden, dass sie ohne weitere Eingriffe ins geologische Tiefenlager verbracht werden können. In Ausnahmefällen können Abfälle Eigenschaften aufweisen (z.B. erhöhte Gasbildung, erhöhte Wärmeleistung, übermässiges Quellen), welche im geologischen Tiefenlager spezielle Massnahmen erfordern. Diese kommen bei der Verpackung der Abfälle in die Endlagerbehälter oder bei ihrer Einlagerung in die Lagerkammern zur Anwendung. Bei der Einlagerung der Abfälle werden auch ihre unterschiedlichen chemischen Eigenschaften berücksichtigt; falls erforderlich, werden die Abfälle je nach ihrer chemischen Zusammensetzung in unterschiedliche Lagerkammern eingebracht (s. Kap. 4).

Während der Konditionierung werden die Produktionsbedingungen überwacht und ausgewählte Gebindeeigenschaften gemessen; diese Daten werden auf Kompatibilität mit den Spezifikationen geprüft und ebenso wie die Spezifikationen sowohl bei den Abfallverursachern als auch zentral bei der Nagra abgelegt. Das ENSI überwacht und überprüft im Rahmen ihrer Aufsicht die Vorbereitung und Durchführung der Konditionierung aller radioaktiven Abfälle und erteilt die entsprechende Genehmigung.

Die für die Planung der Entsorgung notwendigen Kenntnisse zu den Abfällen werden im Rahmen von Charakterisierungsprogrammen erhoben und zentral erfasst. Für die Dokumentation der Informationen zu vorhandenen Abfällen wird das Informationssystem für Radioaktive Materialien (ISRAM) verwendet. Das periodisch aktualisierte modellhafte Inventar der radioaktiven Abfälle und Materialien (MIRAM) enthält eine Gesamtübersicht sowohl über die vorhandenen als auch über die zukünftig zu erwartenden Abfälle. Mit den Informationen in den beiden Datenbanken steht eine zuverlässige und umfassende Beschreibung der Eigenschaften aller einzulagernden Abfälle für die Abwicklung respektive Planung und Realisierung der weiteren Entsorgungsschritte (Zwischenlager, Transporte, geologische Tiefenlager) zur Verfügung.

Der Gesamtprozess zur Festlegung von Konditionierverfahren, der Charakterisierung der Abfälle und deren Inventarisierung wurde von der Nagra zusammen mit den Abfallverursachern definiert. Jedes Konditionierverfahren wird von den Abfallproduzenten spezifiziert, von der Nagra hinsichtlich der Endlagerfähigkeit beurteilt und im positiven Fall vom ENSI genehmigt. Die notwendigen technischen Arbeiten berücksichtigen die Behördenrichtlinien (ENSI-Richtlinie ENSI-B05; ENSI 2007) und sind in Vereinbarungen geregelt; die benötigten Instrumente (vorläufige Annahmebedingungen, Instrument zur sicherheitstechnischen Beurteilung der Abfälle, Datenbanken für alle anfallenden Informationen und ihre Auswertung etc.) sind vorhanden.

Die Abfalleigenschaften werden von der Nagra zusätzlich zur Endlagerfähigkeitsbeurteilung auch im Rahmen der für die verschiedenen Entscheidungspunkte erstellten Sicherheitsanalysen evaluiert. Neben dem Radionuklidinventar (Radiotoxizität, radiogene Wärme, Radiolyse) werden auch die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Rohabfälle und ihre Behandlung respektive Verfestigung sowie ihre Verpackung beurteilt. Ebenso beurteilt werden die Auswirkungen von Gasbildung durch Korrosion von Metallen unter Ausschluss von Sauerstoff (Diomidis 2014) und durch Degradation organischer Materialien (Warthmann et al. 2013a, 2013b).

Periodisch wird der Stand der Technik bezüglich Abfallbehandlung neu beurteilt und gegebenenfalls weiterentwickelt. Unter Berücksichtigung der Annahmebedingungen, wird die Reduktion des Gehalts an organischen Materialien für einen Teil der Abfälle mit der Plasma-Anlage im Zwiilag erreicht. Für eine weitergehende Beurteilung der Relevanz hinsichtlich der Reduktion potenzieller Gasbildung sei auf Anhang A.8.1 verwiesen. Zusätzlich zur radiologischen Sicherheit ist bei der Entsorgung der Abfälle auch ihre Chemotoxizität zu berücksichtigen. Diese wird formell im Rahmen der Umweltverträglichkeitsprüfung beurteilt (USG 1983; vgl. Kap. 3.1.7). Dementsprechend wird das Abfallinventar auch bezüglich seiner Chemotoxizität charakterisiert (Häner et al. 2014). Selbst unter Berücksichtigung konservativer Freisetzungsmodelle ist auch hinsichtlich der Chemotoxizität der radioaktiven Abfälle von keiner Gefährdung der Umwelt auszugehen.

Im EP16 haben die Entsorgungspflichtigen dargelegt, dass sie die Behandlung bereits konditionierter Abfälle als nicht notwendig und nicht verhältnismässig erachten. Die Behörden konnten dieser Argumentation folgen und haben darauf hingewiesen, dass die metallischen Abfälle nicht bereits anderweitig irreversibel konditioniert sein sollten. Eine weitergehende Diskussion zur Relevanz von metallischen Abfällen auf die potenzielle Gasbildung ist in Anhang A.8.1 zu finden.

3 Die geologischen Tiefenlager

Wesentliche Unterschiede zwischen dem EP16 und dem EP21

Der Schwerpunkt von Kap. 3 liegt auf der Darlegung verschiedener Aspekte von Entsorgungs- und Lagerkonzepten. Die Übersicht hinsichtlich der Entsorgungskonzepte für HAA wie auch SMA wurde aufgrund des Fortschritts in verschiedenen Ländern für das EP21 aktualisiert.

Der Bundesratsentscheid zu SGT Etappe 2 stellt eine wichtige Grundlage für die Angaben im EP21 dar. So hat der Bundesrat im November 2018 der Fokussierung auf Opalinuston (OPA) als Wirtgestein für alle Lagertypen zugestimmt und entschieden, dass die geologischen Standortgebiete Jura Ost (JO), Nördlich Lägern (NL) und Zürich Nordost (ZNO) in Etappe 3 weiter zu verfolgen sind. Des Weiteren wurden vom Bundesrat gestützt auf eine intensive Zusammenarbeit mit den Standortregionen und -kantonen die Standortareale für die Oberflächenanlagen festgelegt und diese in Objektblättern zu Etappe 2 festgehalten und ebenfalls vom Bundesrat verabschiedet.

In Kap. 3 wird im EP21 auf den gegenüber dem EP16 erhöhten Kenntnisstand eingegangen. Dieser zeigt sich u.a. in der Darlegung des Fortschritts im SGT seit 2016 und der im Rahmen von Etappe 3 durchgeführten Felduntersuchungen (u.a. 3D-Seismik, Tiefbohrungen, Quartäruntersuchungen). So konnten gestützt auf die Auswertung der 3D-Seismik und die Festlegung des sogenannten Haupterschliessungsbereichs (HEB) standortspezifische Vorschläge für die Platzierung der Oberflächeninfrastruktur eingebracht werden.

Während die im EP16 dargelegten Grundsätze für die Auslegung des HAA-, SMA-Lagers und Kombilagers weiterhin gültig sind, schreitet die Konkretisierung bei der Projektierung der Anlagenelemente voran. Nach dem Entscheid des Bundesrats zu SGT Etappe 2 verbleiben in Etappe 3 ausschliesslich geologische Standortgebiete (JO, NL und ZNO), welche aufgrund des aktuellen Kenntnisstands für Kombi- und Einzellager geeignet sind. Die Ergebnisse der weit fortgeschrittenen Feldarbeiten bestätigen nunmehr, dass in allen drei Standortgebieten genügend Platz für die Anordnung eines Kombilagers vorhanden ist. Da die Realisierung eines Kombilagers im Vergleich zu zwei Einzellagern mit betrieblichen, sicherheitstechnischen, ökologischen und ökonomischen Vorteilen verbunden ist (s. Kap. 3.1.1) und zudem alle für den Bau und Betrieb eines geologischen Tiefenlagers erforderlichen Funktionen umfasst und somit auch für ein SMA-Lager und ein HAA-Lager als abdeckend erachtet werden kann (Nagra 2020a), wird im EP21 die Auslegung anhand des Kombilagers erläutert. Auf die Auslegung der Einzellager wird insofern eingetreten, als dass aufgezeigt wird, welche spezifischen Lagerteile aus dem Kombilager für das jeweilige Einzellager hinfällig werden.

3.1 Einleitung und Übersicht

3.1.1 Entsorgungskonzepte: Eine Übersicht

Der Grundsatz des Schutzes von Mensch und Umwelt vor ionisierender Strahlung ist gut verankert (vgl. z.B. IAEA 2006 und ICRP 2007) und es besteht international ein Konsens, dass insbesondere hochaktive Abfälle im tiefen geologischen Untergrund eingelagert werden sollen; nur so kann gewährleistet werden, dass die Abfälle ohne Absicht der Rückholung langfristig sicher eingeschlossen sind. Während für die schwach- und mittelaktiven Abfälle neben geologischen Tiefenlagern auch oberirdische oder oberflächennahe Lager existieren respektive sich in Planung befinden, sind für die hochaktiven Abfälle (inkl. abgebrannter Brennelemente) in praktisch allen Ländern geologische Tiefenlager vorgesehen.

In Tab. 3.1-1 finden sich Informationen zu ausgewählten Endlagerstandorten für SMA respektive HAA im Ausland sowie zum Stand der jeweiligen Projektierung respektive Umsetzung.

Tab. 3.1-1: Informationen zu ausgewählten Endlagerstandorten und zum Stand der Projektierung respektive Umsetzung im Ausland

a) Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle (ohne Angabe: unterirdisch)

Land	Endlagerstandort	Stand der Projektierung resp. Umsetzung
Belgien	Dessel (oberirdisch)	Betrieb ab ca. 2024
Deutschland	Asse (ehemaliges Kali- und Salzbergwerk)	Von 1965 bis 1995 genutzt, um die Lagerung von radioaktiven Abfällen zu erproben, die Abfälle sollen nach aktueller Planung zurückgeholt werden
	Konrad (ehemaliges Eisenerzbergwerk)	Fertigstellung ab 2027
	Morsleben (ehemaliges Salzbergwerk)	Betrieb abgeschlossen, wird stillgelegt resp. saniert
Finnland	Olkiluoto	Seit 1992 in Betrieb
	Loviisa	Seit 1998 in Betrieb
Frankreich	Centre de la Manche (oberirdisch)	Stillgelegt (bis 1994 in Betrieb)
	Centre de l'Aube (oberirdisch)	Seit 1992 in Betrieb
Grossbritannien	Dounreay (oberirdisch)	Seit 1957 in Betrieb
	Drigg (oberirdisch)	Seit 1959 in Betrieb
Japan	Rokkasho (oberirdisch)	Seit 1992 in Betrieb
Kanada	Kincardine	Baubewilligungsverfahren 2020 abgebrochen (negative Abstimmung)
	Port Hope – "Historic Waste" (oberirdisch)	Betrieb ab ca. 2024
Schweden	SFR1	Seit 1988 in Betrieb, Start Betrieb Erweiterung auf 2023 geplant
Spanien	El Cabril (oberirdisch)	Seit 1992 in Betrieb
Südkorea	Gyeong-Ju, Wolsong	Seit 2015 in Betrieb
Tschechische Republik	Richard (oberflächennah)	Seit 1964 in Betrieb
	Dukovany (oberflächennah)	Seit 1995 in Betrieb
Ungarn	Püspökszilágy (oberirdisch)	Seit 1976 in Betrieb
	Bátaapáti	Seit 2012 in Betrieb, weitere Stollen werden sukzessive gebaut
USA	Zahlreiche oberirdische Lager in Betrieb, (Hanford Site, Idaho National Laboratory, Los Alamos National Laboratory, Nevada National Security Site, Savannah River Site, Barnwell, Clive, Andrews County) bzw. geschlossen (Beatty, Maxey Flats, Sheffield, West Valley)	Erste Lager seit 1963 in Betrieb

Tab. 3.1-1: (Fortsetzung)

b) Lager für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive Abfälle und langlebige mittelaktive Abfälle mit Angabe des Wirtgesteins (in Klammern)

Land	Endlagerstandort	Stand der Projektierung resp. Umsetzung
Belgien	Standort noch unbestimmt	In Planung, Grundsatzentscheid der Regierung erwartet, generische UVP 2020 eingereicht
Deutschland	Standort noch unbestimmt (Tongestein / Granit / Salz)	Neues Verfahren seit 2017, potenzielle geologische Standortgebiete ("Teilgebiete") 2020 identifiziert, Standortwahl auf 2031 geplant, Erkundungsarbeiten in Gorleben (1979 begonnen) beendet
Finnland	Olkiluoto (Granit)	Standort festgelegt, Felslabor ONKALO, Baubewilligung 2015 erteilt, Bauarbeiten 2016 begonnen, Betrieb ab ca. 2024 (BE)
Frankreich	Region Bure (Tongestein)	Felslabor in Standortregion in Betrieb, Baubewilligungsgesuch 2022, Betrieb ab ca. 2038
Kanada	Standort noch unbestimmt	Standortwahlverfahren im Gange, aktuell noch zwei Regionen beteiligt, Standortentscheid ca. 2023
Schweden	Forsmark (Östhammar) (Granit)	Baubewilligungsgesuch 2011 eingereicht, Betrieb ab ca. 2031 (BE)
USA	Standort noch unbestimmt	Bewilligungsverfahren abgebrochen und Optionen untersucht, geologische Tiefenlagerung von der "Blue Ribbon Commission" empfohlen. Aktuell: kein Fortschritt
	WIPP, für langlebige mittelaktive Abfälle (Salz)	1999 in Betrieb genommen

Als wichtige Informationsquelle zu den Entsorgungskonzepten weltweit dient die regelmässige Berichterstattung, welche durch verschiedene internationale Mechanismen erfolgt. Im Rahmen des "Gemeinsamen Übereinkommens über die Sicherheit der Behandlung abgebrannter Brennelemente und über die Sicherheit der Behandlung radioaktiver Abfälle" (IAEA 1997) der Internationalen Atomenergieagentur (IAEA) werden periodisch Staatenberichte verfasst, welche die Massnahmen behandeln, die zur Erfüllung aller Verpflichtungen dieses Übereinkommens getroffen worden sind. Die Berichte enthalten auch Angaben zu den entsprechenden Anlagen und den darin gelagerten radioaktiven Materialien.

Im Rahmen der Europäischen Atomgemeinschaft wurde 2011 die Richtlinie 2011/70/Euratom (Euratom 2011) verabschiedet. Sie verpflichtet die Mitgliedstaaten seit 2015 u.a. dazu, regelmässig ein aktualisiertes nationales Entsorgungsprogramm zu erstellen, welches jeweils die Strategie für die Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle darlegt. Die Mitgliedstaaten haben in der Zwischenzeit ihre ersten «Nationalen Programme» eingereicht. Für einzelne Länder liegt bereits die zweite Auflage vor.

Detaillierte Informationen zu den einzelnen nationalen Programmen erhält die Nagra zudem durch die Teilnahme in zahlreichen internationalen Gremien (insbesondere im Rahmen der International Association for Environmentally Safe Disposal of Radioactive Materials, EDRAM), Arbeitsgruppen und Projekten (insbesondere im Rahmen der Nuklearen Energieagentur der OECD, NEA) sowie im Rahmen von bilateralen Zusammenarbeitsabkommen mit anderen Entsorgungsorganisationen.

Situation in der Schweiz

In der Schweiz ist die geologische Tiefenlagerung als Entsorgungskonzept für alle radioaktiven Abfälle im Kernenergiegesetz vorgegeben (Art. 3 & 31 KEG). Als Grundlage für diese gesetzliche Vorgabe legte im Jahr 2000 die vom UVEK eingesetzte Arbeitsgruppe (Expertengruppe Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle, EKRA) ihren Schlussbericht vor (EKRA & Wildi 2000). Die Arbeitsgruppe hatte die Aufgabe, alle möglichen Entsorgungskonzepte zu evaluieren. Sie kam zum Schluss, dass nur die geologische Endlagerung die nötige Langzeitsicherheit gewährleisten kann. Gleichzeitig hat die EKRA ein Konzept präsentiert, welches die gesellschaftlichen Anliegen an Kontrolle und Rückholbarkeit der Abfälle aufnimmt. Dieses Konzept stiess auf eine breite Zustimmung und basierend darauf wurde für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle in der Schweiz die geologische Tiefenlagerung gesetzlich vorgeschrieben (KEG 2003). Ein geologisches Tiefenlager¹⁵ wird bestimmt u.a. durch folgende Aspekte:

- Art und Menge der einzulagernden Abfälle (Abfallinventar)
- das Sicherheitskonzept für die Nachverschlussphase (Kap. 3.1.2), welches auf die Art der Abfälle und die Geologie abgestimmt ist
- die Überwachung des Lagers und Möglichkeiten für Korrekturen hin bis zur allfälligen Rückholung der Abfälle
- den gewählten Standort:
 - dieser muss eine geeignete geologische Situation aufweisen mit:
 - genügender Langzeitstabilität (geeigneter geologischer Grossraum und günstige lokale Situation)
 - einem einschlusswirksamen Gebirgsbereich mit geeigneten Barriereneigenschaften und einer geeigneten hydrologischen Situation
 - einer genügenden Ausdehnung des Wirtgesteins in bevorzugter Tiefe, welche die Anordnung der untertägigen Bauten zulässt

¹⁵ Art. 3 Bst. c KEG definiert ein geologisches Tiefenlager als eine Anlage im geologischen Untergrund, die verschlossen werden kann, sofern der dauernde Schutz von Mensch und Umwelt durch passive Barrieren sichergestellt wird. Gemäss Art. 64 KEV besteht ein geologisches Tiefenlager aus dem Hauptlager zur Aufnahme der radioaktiven Abfälle, aus einem Pilotlager und aus Testbereichen.

- dieser muss örtliche Gegebenheiten an der Erdoberfläche aufweisen, welche die Eingliederung der Oberflächeninfrastruktur des geologischen Tiefenlagers (Oberflächenanlage, Nebenzugangsanlagen, Erschliessung etc.) so erlaubt, dass mögliche Raumnutzungs- und Umweltkonflikte bei der Exploration, dem Bau, dem Betrieb und der Beobachtung so weit wie möglich vermieden werden.

Anhang A.1 gibt eine Übersicht über den gesetzlichen Rahmen und umfasst eine entsprechende Rechtssammlung des Bundes mit Relevanz für die Realisierung des Vorhabens geologische Tiefenlagerung in der Schweiz.

In Übereinstimmung mit der internationalen Praxis geht das schweizerische Entsorgungskonzept von zwei Lagertypen aus: eines für SMA und eines für HAA (Informationen zur Abfallzuteilung zu den Lagertypen SMA und HAA vgl. Kap. 4). In vielen Ländern werden SMA in speziellen, oberflächennahen und vergleichsweise kostengünstigen Endlagern entsorgt. Die Schweiz hat sich für die aufwendigere Tiefenlagerung auch dieser Abfallkategorie entschieden. Mit der Fokussierung auf den Opalinuston für alle Abfallarten besteht die grundsätzliche Möglichkeit, alle Abfälle in einem sogenannten Kombilager zu entsorgen. Ein Kombilager ist, wie im Folgenden erläutert, mit gewichtigen Vorteilen gegenüber zwei Einzellagern verbunden.

Das Kombilager stellt eine Gesamtanlage dar. Es können viele Elemente der Oberflächeninfrastruktur und ein Teil der Bauten untertag (Zugangsbauwerke und zentraler Bereich) gemeinsam genutzt werden. Daraus ergeben sich beim Kombilager im Vergleich zu zwei Einzellagern die folgenden Vorteile:

- Die Anzahl Anlagen an der Oberfläche und Zugänge zum Tiefenlager, welche gebaut und betrieben werden müssen, ist geringer. Dies bedeutet einen verminderten Flächenbedarf und geringere Bauvolumina sowie weniger Ausbruchmaterial. Dadurch ergeben sich ein geringerer Energie- und Ressourcenverbrauch und eine reduzierte Umweltbelastung. So führt die Realisierung des Kombilagerns u.a. zu geringeren Emissionen von Treibhausgasen, als dies bei zwei Einzellagern der Fall ist.
- Da weniger Anlagen gebaut und betrieben werden müssen, ergeben sich insgesamt auch sicherheitstechnische Vorteile:
 - Die Risiken des Baus (Häufigkeit von Ereignissen) werden reduziert. Zudem kann beim Bau des HAA-Lagerteils von den Erfahrungen des zuvor erfolgten Baus des SMA-Lagerteils am gleichen Standort profitiert werden.
 - Es müssen weniger Anlagen gesichert werden.
 - Das Kombilager wird als Gesamtanlage während 25 Jahren betrieben; die zwei Einzellager nur je 15 Jahre. Die längere Betriebsdauer erleichtert die Rekrutierung von qualifiziertem Personal und trägt zur Kontinuität sowie zum Erhalt von Know-how bei.
 - Beim Kombilager verlängert sich auch die Zeit für die Erkundung des geologischen Untergrunds des entsprechenden Standortgebiets im Rahmen der EUU (s. Kap. 5.2); dies führt zu einer erweiterten Datenbasis, welche den erforderlichen Sicherheitsnachweisen zu Grunde gelegt werden kann.

In Nagra (2020a) werden die Bautätigkeiten, Betriebsabläufe sowie Auswirkungen auf die Umwelt von einem Kombilager mit denen von zwei Einzellagern verglichen und spezifische Aspekte der oben aufgezählten Vorteile vertieft dargestellt. Eine ergänzende Erläuterung findet sich in Anhang A.8.3.

Schliesslich ist die Realisierung eines Kombilagers sowohl bewilligungstechnisch als auch aus sozio-ökologischer und -ökonomischer Perspektive mit Vorteilen verknüpft:

- Im Falle von zwei getrennten Lagern sind sämtliche Verfahrensschritte für jeden Lagertyp individuell durchzuführen, während beim Kombilager davon ausgegangen wird, dass einzelne Verfahrensschritte für den SMA- und HAA-Lagerteil verknüpft werden (z.B. Gesuch EUU) oder zu einer übergeordneten Bewilligung führen (z.B. Baubewilligung), welche Teilbewilligungen umfasst, die im Rahmen von Freigabeverfahren konkretisiert werden.
- Mit einem Kombilager ergeben sich Vorteile beim Aufwand der Begleitung und Zusammenarbeit des Projekts vor Ort. Unter anderem der behördliche Aufwand sowie die Anzahl beteiligter Parteien werden bei einer Realisierung des Kombilagers geringer ausfallen, als wenn zwei Einzellager an unterschiedlichen Standorten begleitet werden müssen.
- Wie in Kap. 7 erläutert, führt die Realisierung eines Kombilagers im Vergleich zu zwei Einzellagern zu ca. 15 % tieferen zukünftigen Kosten (1.6 Milliarden CHF); diese Differenz ist nicht nur für die Entsorgungspflichtigen, sondern auch aus volkswirtschaftlicher Perspektive von Bedeutung.

Ein Kombilager wird dann realisiert, falls der neben dem HAA-Lagerteil verbleibende Platz für den SMA-Lagerteil sicherheitstechnisch gleichwertig ist im Vergleich mit einem SMA-Lager in den anderen Standortgebieten, und falls sich die HAA- und SMA-Lagerteile des Kombilagers langfristig nicht negativ beeinflussen. Die bisherigen Ergebnisse der Feldarbeiten bestätigen, dass in den drei Standortgebieten grundsätzlich genügend Platz für die Anordnung eines Kombilagers vorhanden ist. Deshalb wird, falls es die abschliessende sicherheitstechnische Gesamtbewertung erlaubt, gestützt auf die oben dargelegten Vorteile, mit dem Rahmenbewilligungsgesuch ein Kombilager beantragt.

Gemäss Gesetz soll die Entsorgung der schweizerischen radioaktiven Abfälle grundsätzlich in der Schweiz erfolgen (vgl. Art. 30 Abs. 2 KEG). Unter gewissen Voraussetzungen wäre auch eine Entsorgung im Ausland möglich (vgl. Art. 34 Abs. 4 KEG). Die Entsorgungspflichtigen in der Schweiz schliessen eine Einlagerung von ausländischen Abfällen in einem geologischen Tiefenlager in der Schweiz aus.

In der Schweiz ist zwar noch kein geologisches Tiefenlager in Betrieb, aber es besteht eine gute technisch-wissenschaftliche Basis für die Realisierung. Zudem sind breite Erfahrungen für die Erarbeitung der Lagerprojekte und der zugehörigen Grundlagen vorhanden. Es wurden Lagerkonzepte entwickelt, welche die notwendige Sicherheit gewährleisten. Dazu gehört insbesondere der Entsorgungsnachweis für SMA (Nagra 1985) und für HAA (Nagra 2002b, 2002c). Im Rahmen des Sachplanverfahrens wurden die bestehenden Kenntnisse vertieft, die Sicherheit beurteilt und die Ergebnisse in einer Reihe von Berichten zusammengefasst (SGT Etappe 1 (Nagra 2008b, 2008c, 2008a); SGT Etappe 2 (Nagra 2014o, 2014n, 2014m, 2010)).

Im Rahmen des Agneb-Forschungsprojekts "Lagerauslegung" wurden Fragen zur Lagerauslegung beider Lagertypen breit diskutiert und die Ergebnisse in einem Synthesebericht zusammengefasst (ENSI 2016). Die von der Nagra vorgeschlagenen Lagerkonzepte werden darin als sinnvoll und sicherheitsgerichtet angesehen. Weiter wird auch die breite Erfahrung im Ausland genutzt; dies betrifft insbesondere Frankreich mit einem Wirtgestein für sein geplantes HAA-Lager, das dem Wirtgestein Opalinuston sehr ähnlich ist (z.B. Andra 2012, Bericht publiziert anlässlich Bewilligungsgesuch). Bezüglich der Realisierung von geologischen Tiefenlagern sind die Erfahrungen in Schweden und Finnland relevant (z.B. SKB 2011, Posiva 2012b), da die Implementierung dieser Programme schon weit fortgeschritten ist. Schliesslich werden auch die breiten Erfahrungen aus dem konventionellen Untertagebau genutzt.

3.1.2 Lagerkonzepte und zugehörige Sicherheitskonzepte

Lagerkonzepte für geologische Tiefenlager geben Aufschluss darüber, wie die Lager in ihren Grundzügen gestaltet werden und definieren sich durch die ihnen zugrundeliegenden Sicherheitskonzepte.

Die Elemente der schweizerischen Lagerkonzepte werden nachfolgend kurz beschrieben.

Das **Sicherheitskonzept für die Nachverschlussphase** eines geologischen Tiefenlagers gewährleistet den dauernden Schutz von Mensch und Umwelt durch gestaffelte, passive Barrieren (Art. 3 Bst. c KEG). In der Schweiz beruht das Sicherheitskonzept für HAA und SMA auf einem bezüglich Langzeitsicherheit optimierten Mehrfachbarrierensystem. Dieses besteht aus den technischen Barrieren Abfallmatrix, Endlagerbehälter, Verfüllung und Versiegelung sowie dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich als natürliche Barriere.

Das Mehrfachbarrierensystem stellt sicher, dass das Tiefenlagersystem unter Berücksichtigung seiner zeitlichen Entwicklung die notwendigen Sicherheitsfunktionen erfüllt. Sicherheitsfunktionen sind gemäss ENSI-G01, Anhang 1 (ENSI 2011) übergeordnete funktionelle Anforderungen an das Mehrfachbarrierensystem, die zusammen die Langzeitsicherheit gewährleisten. Die notwendigen Sicherheitsfunktionen sind:

- **Isolation** der radioaktiven Abfälle von der Erdoberfläche
- **Vollständiger Einschluss** der Radionuklide für eine gewisse Zeit
- **Immobilisierung, Rückhaltung und langsame Freisetzung** der Radionuklide
- **Kompatibilität** der Elemente des Mehrfachbarrierensystems und der radioaktiven Abfälle untereinander und mit anderen Materialien
- **Langzeitstabilität** des Mehrfachbarrierensystems bezüglich geologischer und klimatischer Langzeitentwicklungen

Die Lagerkonzepte für HAA und SMA sind so ausgestaltet, dass sie neben Anforderungen an die Implementierung auch Anforderungen erfüllen, welche sich zur Gewährleistung der Langzeitsicherheit aus den notwendigen Sicherheitsfunktionen ableiten lassen. Die aktuell verfolgten Lagerkonzepte für das Kombilager sowie die beiden Einzellager sehen HAA-Lagerfelder und SMA-Lagerfelder vor, deren Lagerstollen resp. Lagerkavernen ca. mittig im Opalinuston verlaufen. Die entsprechenden Sicherheitskonzepte für BE und HAA(WA) sowie SMA- und ATA-Abfälle sind in Fig. 3.1-1 dargestellt und charakterisieren sich folgendermassen:

- Die Geologie (Kap. 3.1.5) isoliert als natürliche Barriere die radioaktiven Abfälle von Mensch und Umwelt: Einerseits gewährleistet der einschlusswirksame Gebirgsbereich zusammen mit den technischen Barrieren den Einschluss und die Rückhaltung der Radionuklide. Andererseits sorgt eine günstige geologische Situation für langfristige Stabilität und schützt das Lager vor unerwünschtem Zugriff oder vor unbeabsichtigtem Eindringen durch Menschen. Mit dem Opalinuston wurde mit dem Bundesratsentscheid zu SGT Etappe 2 für alle Standortgebiete und für alle Abfalltypen ein Wirtgestein festgelegt, das einen sehr bedeutenden Beitrag an die Radionuklidrückhaltung erbringt und den sicherheitstechnischen Anforderungen an ein geologisches Tiefenlager vollkommen gerecht wird.
- Die technischen Barrieren werden so konzipiert, dass sie mit den natürlichen Barrieren sowie untereinander kompatibel und auf die jeweiligen Abfallsorten optimiert sind.

- Bei den HAA-Abfällen (Fig. 3.1-1) sind die Radionuklide in einer stabilen und sehr schwer löslichen Abfallmatrix fixiert, aus der sie sich auch in Kontakt mit Wasser nur langsam lösen. Die hochaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (HAA(WA)) sind in einer Glasmatrix eingeschmolzen, und in den Brennelementen (BE) sind die Radionuklide in der UO_2/MOX -Matrix vom Brennstoff eingeschlossen. Die Hüllrohre der Brennelemente und die Edelstahl-Kokillen der Abfälle aus der Wiederaufarbeitung bilden grundsätzlich eine weitere technische Barriere der HAA-Abfälle, deren Wirksamkeit aber in Sicherheitsnachweisen nicht berücksichtigt wird.
- Ein stabiler und korrosionsresistenter HAA-Endlagerbehälter, in dem die Brennelemente und hochaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung verpackt sind, schliesst die Radionuklide für mehrere tausend Jahre ein. Der HAA-Endlagerbehälter wird in den HAA-Lagerstollen des geologischen Tiefenlagers eingelagert und trägt durch seine mechanische, thermische und chemische Stabilität direkt und massgeblich zur Kompatibilität der Elemente des Barriersystems bei, indem er Wechselwirkungen zwischen der Abfallmatrix und der Lagerstollen-Verfüllung (und dem Wirtgestein) für mehrere tausend Jahre unterbindet und später (nach dem Verlust der Behälterintegrität) die Freisetzung der Radionuklide aus dem Endlagerbehälter weiter verzögert. Als Material für die HAA-Endlagerbehälter ist Stahl vorgesehen; es existieren hierzu verschiedene Varianten (s. Kap. 3.2.3).
- Die Verfüllung und Versiegelung der HAA-Lagerstollen, in denen die HAA-Endlagerbehälter eingelagert werden, schützen den Endlagerbehälter vor Korrosion und vor Schädigung durch die überliegenden Gesteinsschichten, indem sie eine geeignete chemische Umgebung schaffen und die überliegende Last durch den Gebirgsdruck gleichmässig über die Endlagerbehälter verteilen. Für die Stollenverfüllung und die Dichtelemente des Versiegelungssystems des HAA-Lagers ist aufbereiteter Opalinuston und/oder Bentonit vorgesehen. Das Lagerkonzept ist so ausgestaltet, dass die Versiegelung der HAA-Lagerstollen durch die Versiegelung der Lagerfeldzugänge ergänzt wird. Sowohl für die Verfüllung als auch die Versiegelungen existieren verschiedene Varianten (s. Kap. 3.2.3).
- SMA und ATA (Fig. 3.1-1) werden in Abfallgebinden konditioniert und in SMA-Endlagerbehälter verpackt und verfüllt. Die Endlagerbehälter bleiben für eine gewisse Zeit intakt, was zu verzögerter Aufsättigung führt und so zum Einschluss von löslichen Radionukliden beiträgt. Die SMA-Lagerkavernen werden mit einer zementbasierten Hinterfüllung verfüllt. Die daraus entstehenden Nahfeldbedingungen wirken sich günstig auf die Langzeitsicherheit aus. Durch die Verwendung einer zementbasierten Hinterfüllung werden alkaline Bedingungen geschaffen ($\text{pH} > 10.5$), welche zu tiefen Metallkorrosionsraten führt, welche wiederum die mikrobielle Aktivität reduzieren und sich günstig auf die Radionuklidrückhaltung auswirken. Damit trägt das hoch-pH-Milieu dazu bei, den Gasdruckaufbau und allfällige negative Auswirkungen auf das Wirtgestein zu begrenzen. Der Verschluss der SMA-Lagerkavernen ist durch die Versiegelung der Lagerfeldzugänge sichergestellt. Hinsichtlich der Materialisierung der Verfüllungen und Versiegelungen existieren verschiedene Varianten (s. Kap. 3.2.3).

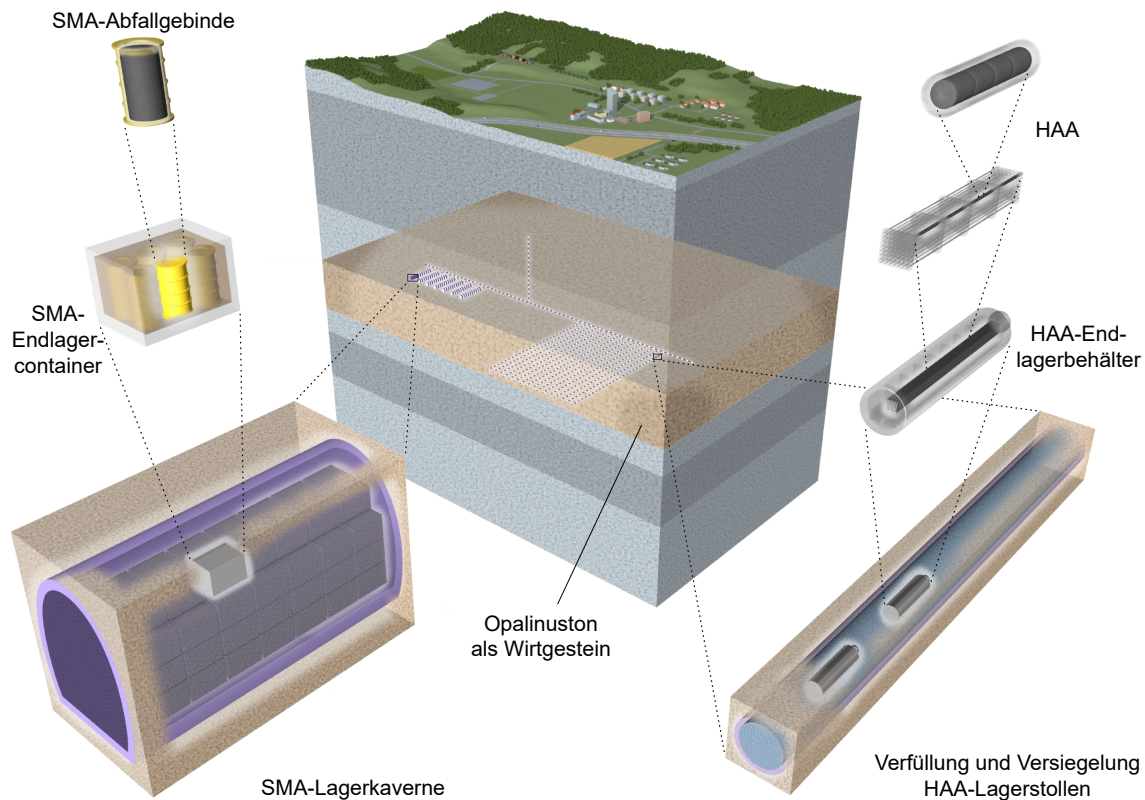


Fig. 3.1-1: Umsetzung des Sicherheitskonzepts für die Nachverschlussphase gemäss den aktuell verfolgten Lagerkonzepten für HAA und SMA

Dargestellt für HAA (rechts) am Beispiel von abgebrannten Brennelementen (BE) mit Brennstäben (UO_2 -Pellets mit Hüllrohren), welche in HAA-Endlagerbehälter aus Stahl verpackt werden. Die HAA-Endlagerbehälter werden in einen HAA-Lagerstollen eingelagert und dieser anschliessend verfüllt (beispielhaft mit Bentonit) und versiegelt.

Dargestellt für SMA (links) am Beispiel eines typischen SMA-Abfallgebindetyps (200-l-Fass), welcher in SMA-Endlagercontainer verpackt und in eine beispielhaft mit zement-basiertem Referenzmörtel hinterfüllte SMA-Lagerkaverne eingelagert wird.

Sowohl für HAA als auch SMA stellt Opalinuston als Wirtgestein die natürliche Barriere dar.

3.1.3 Technologie für den Bau, Betrieb und Verschluss der Lager

Die heutigen Konzepte für den Bau, Betrieb und Verschluss der geologischen Tiefenlager (z.B. zur Handhabung der Abfälle und zum Einbau der technischen Barrieren sowie für den Verschluss der Anlage) basieren auf der heute vorhandenen Technologie. Auf dem Gebiet der Technologie allgemein (Robotik, Steuerungen etc.) werden voraussichtlich bis Baubeginn noch erhebliche Entwicklungen stattfinden, welche in die definitive Auslegung der Lagertechnologie einfließen werden. Für detailliertere Informationen zu Entwicklungsprogrammen und zur Überprüfung heutiger Konzepte für den Bau, Betrieb und Verschluss in Zusammenhang mit der Machbarkeit und der Umsetzbarkeit wird auf folgende Dokumente verwiesen: Nagra (2021e) und Nagra (2021f). Weiter sind die in ausländischen Programmen gemachten Erfahrungen zu berücksichtigen. Deshalb ist auch für die definitiv zu verwendende Technologie bis zum nuklearen Bau-bewilligungsgesuch und – je nach Thematik – auch für spätere Verfahrensschritte ein ausreichender Handlungsspielraum zur Berücksichtigung der Entwicklungen beizubehalten (s. Anhang A.4).

Im Hinblick auf das EP21 hat der Bundesrat eine Auflage formuliert, mit welcher er als Vorarbeit zur Erstellung eines Konzepts für das Rahmenbewilligungsgesuch Aussagen zum Verschluss fordert (Bundesrat 2018). In Anhang A.8.4 legt die Nagra nun dar, wie der Betrieb des Tiefenlagers und die Realisierungsdauer der Verschlussphase durch unterschiedliche Verschlussvarianten beeinflusst werden. Für detailliertere Angaben sei auf den entsprechenden Hintergrundbericht zum EP21 (Nagra (2021f) verwiesen.

3.1.4 Überwachung und Rückholbarkeit als integraler Bestandteil der Tiefenlagerkonzepte

Im schweizerischen Programm, aber auch in verschiedenen ausländischen Programmen, sind die Überwachung und die Rückholbarkeit als integraler Bestandteil der Tiefenlagerkonzepte vorgesehen. Sowohl für die Rückholung wie auch für die Überwachung bestehen technische Konzepte, die periodisch an die neuesten Erkenntnisse angepasst werden.

Mit dem Rahmenbewilligungsgesuch wird ein integrales Überwachungskonzept eingereicht. Das Konzept wird Angaben zur Überwachungsstrategie, Auswahl von Messparametern und Entwicklung von Methoden beinhalten, welche sich auf Resultate und Erfahrungen aus Experimenten in Felslabors und aus EU-Forschungsprojekten, wie z.B. "Modern2020" (Development & Demonstration of Monitoring Strategies and Technologies for Geological Disposal; Galson Sciences Limited 2019) abstützen werden. In einem neuen EU-Forschungsprojekt "MODATS" (Monitoring Equipment and Data Treatment for Safe Repository Operation and Staged Closure) werden Messmethoden und Überwachungssysteme weiterentwickelt sowie Methoden zu Datenakquisition und -management ausgearbeitet.

Für die Themen Umweltmonitoring und Nullmessungen wurde ein erstes standortunabhängiges Konzept (Fanger et al. 2021) erstellt; in diesem werden die Vorarbeiten zu Nullmessungen aufgezeigt. Die wichtigsten Erkenntnisse dieses Hintergrundberichts zum EP21 zur Beantwortung von Bundesratsaufgabe 5.5 sind in Anhang A.8.5 zusammenfassend wiedergegeben.

Für die untertägige Überwachung während des Betriebs der erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag (EUU) respektive der Testbereiche als auch für die Überwachung des Pilotlagers bestehen erste standortunabhängige Konzepte, die in Nagra (2021a, 2021c) dargestellt sind. Das Konzept der Pilotlagerüberwachung ist in einem Hintergrundbericht (Nagra 2021c) zum EP21 beschrieben und dient u.a. der Beantwortung von Bundesratsaufgabe 5.2, indem er den Umfang und Inhalt der Messungen zur Überwachung eines Pilotlagers aufzeigt. Die wichtigsten Erkenntnisse sind in Anhang A.8.2 zusammengefasst.

Die detaillierte Ausgestaltung des Überwachungsprogramms für die Pilotlager erfolgt unter Berücksichtigung des Stands der Technik erst nach Abschluss der untertägigen Standorterkundungen und erst wenn Resultate aus den EUU vorliegen, die für die Überwachung der Pilotlager relevant sind.

Die Möglichkeit, Abfälle aus dem Tiefenlager zurückzuholen, wurde im Rahmen des Projekts "Reversibility and Retrievability" (R&R) der OECD/NEA gründlich erörtert (OECD/NEA 2011). Im Hinblick auf eine allfällige Rückholung wurden Konzepte auf Grundlage bestehender Technik entwickelt. In diesem Zusammenhang wird die Nagra auf Basis dieser Konzepte im Hinblick auf das RBG Dokumente zur Rückholung erarbeiten, in welchen sowohl generische als auch standortspezifische Aspekte der Rückholung erörtert werden. Die Nagra wird hierbei die präzisierten Vorgaben zur Rückholung der im Dezember 2020 veröffentlichten Neufassung der ENSI-G03 (ENSI 2020b) berücksichtigen und umsetzen. In dieser Neufassung ist auch die "Rückholung bis zu einem allfälligen Verschluss ohne grossen Aufwand" gemäss Art. 37 KEG weiter präzisiert.

In Zusammenhang mit der Thematik 'Rückholung ohne grossen Aufwand' wird bis zum nuklearen Baubewilligungsgesuch noch eine erhebliche Entwicklung der Technologie (z.B. in der Robotik und im Untertagbau) erwartet. Zudem ist davon auszugehen, dass diesbezüglich auch von Entwicklungen und Erfahrungen profitiert werden kann, die in ausländischen Programmen gemacht werden, welche weiter fortgeschritten sind. Der technologische Fortschritt wird gemäss Stand der Technik bei der Auslegung des geologischen Tiefenlagers im Rahmen der nuklearen Bau- bzw. Betriebsbewilligung adäquat berücksichtigt werden (Anhang A.4.2).

3.1.5 Geologie

In der Schweiz und im Ausland liegen vertiefte Erkenntnisse aus Arbeiten mehrerer Jahrzehnte bezüglich Tiefenlager-relevanter Aspekte der Geologie vor (Schweiz: vgl. Meilensteinberichte Nagra 2002b, 2002c, Nagra 2008c, Nagra 2014a mit darin zitierten Referenzen, Untersuchungsprogramme in den Felslabors Grimsel: z.B. Vomvoris & Blechschmidt 2019 und Mont Terri: z.B. Bossart et al. 2017, Blechschmidt & Vomvoris 2015; Ausland: z.B. Andra 2012, SKB 2008, Posiva 2012a). Sie resultieren aus der allgemeinen geologischen Forschung, der Kohlenwasserstoff-Exploration, aus Tunnelbauten und den seit über 40 Jahren durchgeführten fokussierten Untersuchungen der Nagra (vgl. Fig. 3.1-2). Diese Kenntnisse sind geeignet, um die Anforderungen an die Geologie für die Standortwahl in Abhängigkeit vom zugeteilten Abfallinventar und gewählten Sicherheitskonzept festzulegen.

Ausgehend vom ganzen Gebiet der Schweiz (sogenannte "weisse Karte Schweiz") wurden in SGT Etappe 1 aus sicherheitstechnisch-geologischer Sicht mögliche Wirtgesteine und Gebiete identifiziert. Die Nagra hat 2008 sechs Vorschläge für Standortgebiete für ein SMA-Lager und drei Vorschläge für ein HAA-Lager (Nagra 2008b, 2008c) unterbreitet. Bei der Erarbeitung der Vorschläge kamen in einem mehrstufigen systematischen Verfahren die im Konzeptteil des SGT festgelegten Kriterien für die Standortwahl zur Anwendung (Nagra 2008b). Mit dem Bundesratsentscheid von 2011 wurden die Vorschläge als potenzielle SMA- und HAA-Standortgebiete für die weitere Untersuchung in SGT Etappe 2 in Objektblättern festgehalten.

Für SGT Etappe 2 erfolgte eine weitere Einengung. Diese umfasste eine schrittweise Evaluation im Hinblick auf den Vorschlag von mindestens zwei Standortgebieten pro Lagertyp.

Dazu wurden optimierte geologische Konfigurationen für das HAA- resp. SMA-Lager in den einzelnen Standortgebieten ausgewählt und die sicherheitstechnische Eignung geprüft sowie eine vergleichende Gesamtbewertung anhand von festgelegten entscheiderelevanten Merkmalen und eindeutiger Nachteile der Standortgebiete durchgeführt. Darauf basierend schlug die Nagra für die weitere Untersuchung in SGT Etappe 3 die Standortgebiete Jura Ost und Zürich Nordost mit Opalinuston als Wirtgestein vor (Nagra 2014o), jeweils für beide Lagertypen separat oder für ein 'Kombilager' am gleichen Standort (s. Kap. 3.1.1). Gestützt auf die Behördengutachten hat der Bundesrat Ende 2018 den Fokus auf den Opalinuston als verbleibendes Wirtgestein sowie das Zurückstellen der Standortgebiete Jura-Südfuss, Südranden und Wellenberg gutgeheissen. Zudem hat der Bundesrat entschieden, dass neben den Standortgebieten Jura Ost und Zürich Nordost in Etappe 3 auch das Standortgebiet Nördlich Lägern weiter zu untersuchen ist.

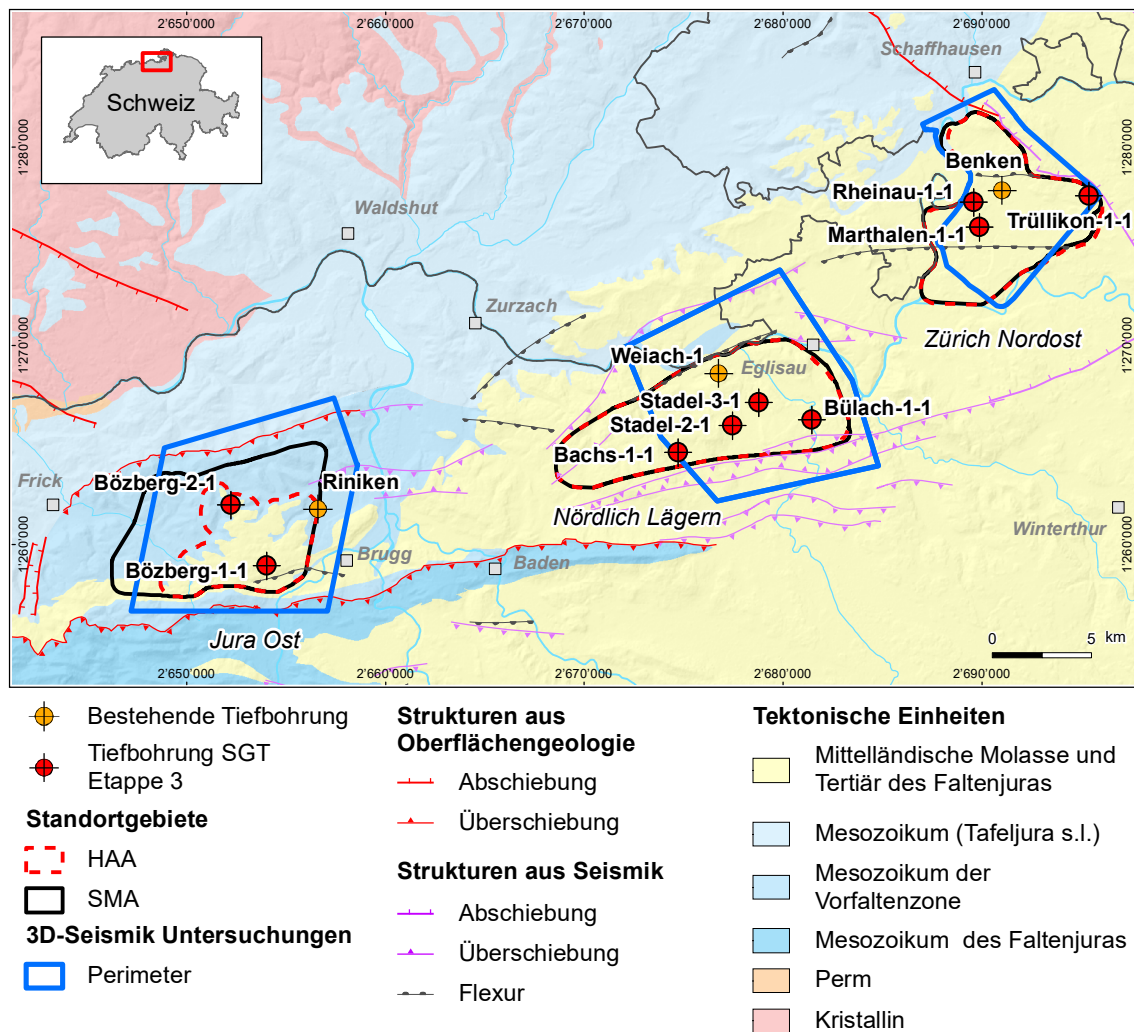


Fig. 3.1-2: Tektonische Übersichtskarte mit den 3 in SGT Etappe 3 zu untersuchenden Standortregionen, der Ausdehnung der Datensätze der 3D-Seismik sowie der Lage der Tiefbohrungen

In der laufenden Etappe 3 des SGT wurden für die drei verbleibenden Gebiete ausgehend von den mit der Berichterstattung zu SGT Etappe 2 eingereichten Explorationskonzepten (Nagra 2014b) umfangreiche erdwissenschaftliche Untersuchungen durchgeführt. Zwischen Herbst 2015 und Frühjahr 2017 wurden für die Gebiete Jura Ost und Nördlich Lägern zwei neue 3D-Seismik-Datensätze erhoben und für das Gebiet Zürich Nordost die existierende 3D-Seismik aus dem Jahr 1997 ergänzt (Fig. 3.1-2). Unter anderem basierend auf der Erstauswertung der 3D-Seismik (Nagra 2019c, 2019d, 2019e) wurden die Explorationsstrategie für die Tiefbohrkampagne konkretisiert und Arbeitsprogramme für die Tiefbohrungen erarbeitet. Bis Ende Oktober 2021 wurden 8 Tiefbohrungen abgeschlossen. Dies sind die Bohrungen Trüllikon-1, Marthalen-1 und Rheinau-1 im Gebiet Zürich Nordost, die Bohrung Bülach-1, Stadel-2 und Stadel-3 im Gebiet Nördlich Lägern und die Bohrungen Bözberg-1 und Bözberg-2 im Gebiet Jura Ost. Eine voraussichtlich abschliessende Tiefbohrung (Bachs-1 im Gebiet Nördlich Lägern) befindet sich in Ausführung¹⁶.

¹⁶ Das Entsorgungsprogramm 2021 wurde auf der Grundlage des Informationsstands per 31. Oktober 2021 erstellt.

Weitere Feldarbeiten wurden im Hinblick auf die Beurteilung der geologischen Langzeitentwicklung durchgeführt. Diese umfassten für Fragen zur Erosion u.a. hochauflösende 2D-Seismik-Daten sowie 11 Quartärbohrungen (vgl. Fig. 3.1-3). Die laufende Auswertung und Integration der Felduntersuchungen bildet zusammen mit erdwissenschaftlichen Systemanalysen und weiteren Studien zum Prozessverständnis die Basis für den sicherheitstechnischen Vergleich der Standortgebiete und die Begründung der Standortwahl. Die neuesten Ergebnisse aus den Tiefbohrungen und den anderen Felduntersuchungen bestätigen die Eignung aller drei Standortgebiete für den Bau eines sicheren Tiefenlagers mit einem ausreichenden Platzangebot für Einzel- und Kombilager. Für den oder die ausgewählten Standorte werden die geologischen Erkenntnisse im RBG in einer Geosynthese zusammengefasst. Dabei werden auch neue Erkenntnisse aus Experimenten in Felslabors, aus Untersuchungen von Schwesterorganisationen im Ausland und aus weiteren relevanten Arbeitsgebieten (u.a. Kohlenwasserstoffindustrie, Geothermie) berücksichtigt.

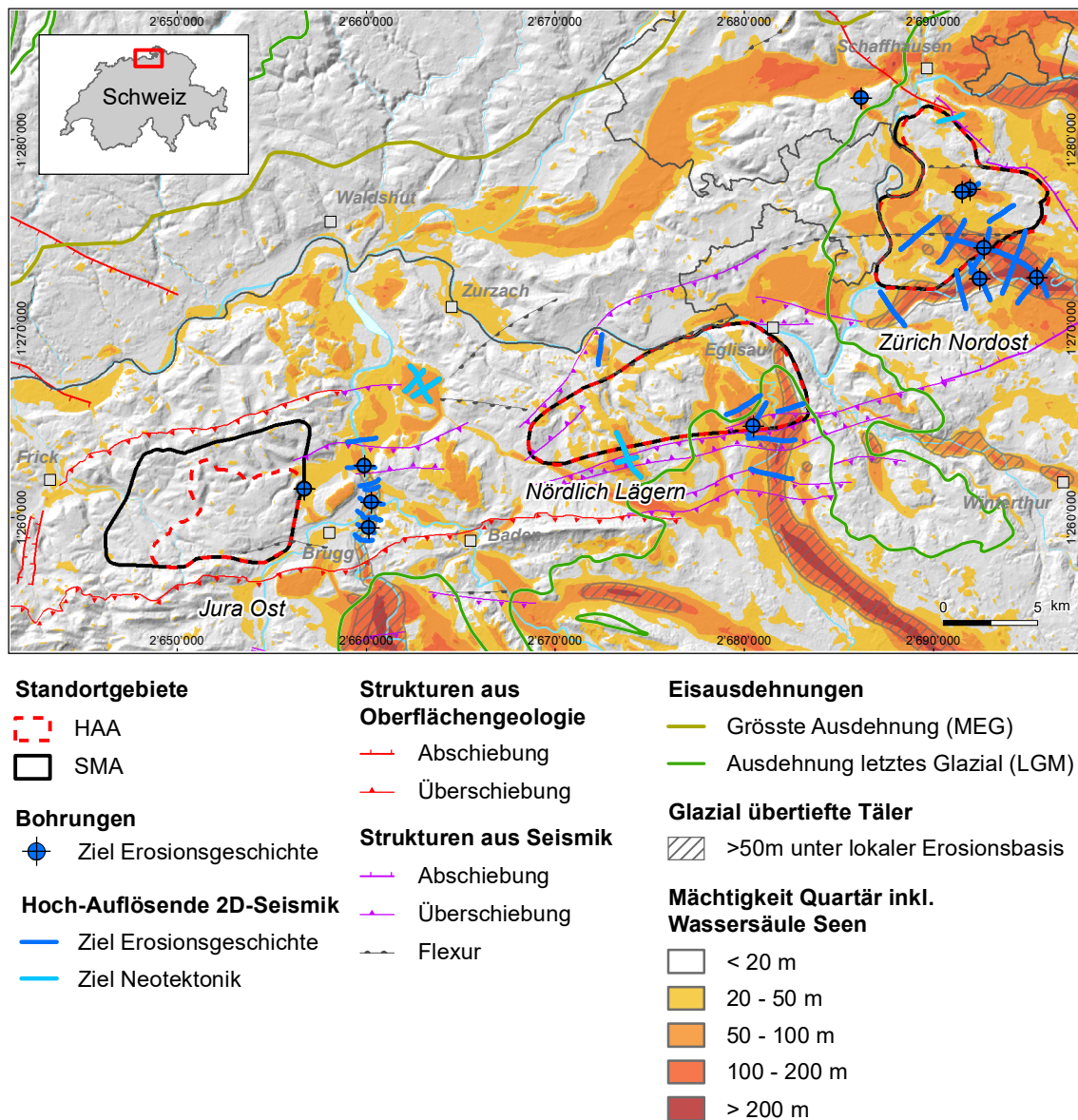


Fig. 3.1-3: Lage der hochauflösenden 2D-Seismik und Bohrungen zur Untersuchung der fluvialen und glazialen Erosionsgeschichte im Quartär

3.1.6 Sicherheitsnachweise

Die Kernenergieverordnung (KEV 2004) sowie die Richtlinie ENSI-G03 (ENSI 2020b) fordern für alle Bewilligungsschritte im Zuge der Realisierung eines geologischen Tiefenlagers Sicherheitsnachweise für die Betriebsphase (Betriebssicherheit) sowie für die Nachverschlussphase (Langzeitsicherheit). Für den definitiven Verschluss eines Tiefenlagers ist ein abschliessender Nachweis der Langzeitsicherheit erforderlich. Die Richtlinie ENSI-G03 enthält detaillierte Anforderungen zur Erstellung der Sicherheitsnachweise. Insbesondere müssen die Nachweise gemäss dem Stand von Wissenschaft und Technik geführt werden, einen stufengerechten Detaillierungsgrad aufweisen sowie in Sicherheitsberichten dokumentiert werden.

Die Ergebnisse der Sicherheitsnachweise und die Resultate der Behördenprüfung fliessen in die Erarbeitung der Sicherheitsnachweise für den jeweils nachfolgenden Meilenstein ein. Die nächsten Sicherheitsnachweise sind für die Rahmenbewilligung erforderlich. Die Behörden haben hierzu sowohl für die Betriebsphase als auch die Nachverschlussphase die Vorgaben von KEG (2003), KEV (2004) und der Richtlinie ENSI-G03 (ENSI 2020b) für Etappe 3 präzisiert (ENSI 2018c). Hinweise zu den in den nächsten Jahren geplanten Arbeiten bezüglich Sicherheit finden sich in Kap. 5 und Tab. A.2-2.

Langzeitsicherheit

Das oberste Ziel der Langzeitsicherheit der geologischen Tiefenlager lässt sich in Anlehnung an das allgemeine Schutzziel im Kernenergiegesetz (Art. 1 KEG) und gemäss der Richtlinie ENSI-G03 (ENSI 2020b) folgendermassen formulieren: Dauerhafter Schutz von Mensch und Umwelt vor der ionisierenden Strahlung der eingelagerten Abfälle nach dem ordnungsgemässen Verschluss der Tiefenlager, ohne dass dabei künftigen Generationen unzumutbare Lasten und Verpflichtungen auferlegt werden.

Die Langzeitsicherheit ist gemäss SGT auch das oberste Kriterium zur Standortwahl. So wird für das RBG ein Bericht zur Begründung der Standortwahl verlangt (ENSI 2018c, KEV 2004). Der Gesuchsteller hat in diesem Bericht das Ergebnis des sicherheitstechnischen Vergleichs und die Standortwahl eines Tiefenlagers zu begründen. Er hat 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 Standorts ausschlaggebenden Eigenschaften vorzunehmen.

Ferner ist für den oder die gewählten Standorte für das Rahmenbewilligungsgesuch ein formaler Langzeitsicherheitsnachweis zu führen. Mit diesem wird anhand einer umfassenden und systematischen Analyse dargelegt, wie sich das Tiefenlager entwickeln wird, welche radiologischen Konsequenzen sich daraus ergeben und dass das übergeordnete Schutzziel und die zugehörigen Leitsätze und Schutzkriterien gemäss der Richtlinie ENSI-G03 (ENSI 2020b) eingehalten werden. Dazu gehören auch ein Beschrieb und eine Bewertung der verwendeten Methodik und Daten, der Einbezug von weiteren unterstützenden Argumenten sowie eine systematische und umfassende Analyse der vorhandenen Ungewissheiten und ihrer Relevanz für die Langzeitsicherheit.

In Bezug auf die Methodik kann die Nagra neben den behördlichen Anforderungen auf frühere Sicherheitsnachweise, insbesondere auf den Entsorgungsnachweis für das HAA-Lager (Nagra 2002a) sowie auf die im Rahmen von SGT Etappe 2 durchgeführten sogenannten provisorischen Sicherheitsanalysen (Nagra 2014o, 2014m) zurückgreifen. Zusätzlich existieren internationale Empfehlungen zur Erstellung eines Sicherheitsnachweises, an deren Erarbeitung die Nagra teilweise aktiv beteiligt war. Schliesslich verfolgt die Nagra auch die internationale Entwicklung, z.B. durch den Einsitz in wichtigen Gremien (z.B. Integration Group for the Safety Case der OECD/NEA). Das "Sourcebook of International Activities Related to the Development of Safety

Cases for Deep Geological Repositories" (OECD/NEA 2017) bietet einen umfassenden und aktuellen Überblick über diese Informationsquellen und Arbeiten. Auch beteiligt sich die Nagra an internationalen Projekten mit Bezug zum Safety Case. Zum Beispiel ist die Nagra aktiv im EU-Forschungsprogramm EURAD involviert; in diesem werden im Arbeitspaket "Uncertainty Management Network" Aspekte zum Umgang mit Ungewissheiten in Langzeitsicherheitsbetrachtungen erörtert werden.

Eine besondere Bedeutung kommt dem Aufzeigen der Robustheit des Systems und der Darlegung der Konsequenzen verbleibender Ungewissheiten für die Langzeitsicherheit zu. Systematische Analysen zur Prüfung der Barrierenwirksamkeit unter dem Einfluss von verbleibenden Ungewissheiten sowie aller sicherheitsrelevanten Merkmale, Ereignisse und Prozesse erlauben die Herleitung einer Anzahl von Szenarien, welche grundsätzliche Entwicklungspfade des Tiefenlagersystems aufzeigen.

Betriebssicherheit

Während der Bauphase sind wie beim Bau einer konventionellen untertägigen Anlage die Aspekte der Arbeitssicherheit und des Gesundheitsschutzes sowie Flucht und Rettung zu beachten. Dazu wird u.a. auf entsprechende Richtlinien (Arbeitsschutz, Unfallverhütung, SUVA-Richtlinien, EKAS-Richtlinien, Brandschutzrichtlinien etc.) zurückgegriffen.

Im Hinblick auf den Einlagerungsbetrieb kommen insbesondere Vorgaben der nuklearen Betriebssicherheit, des Strahlenschutzes sowie der Sicherung und Safeguards zum Tragen. Dies sind z.B. Strahlenschutz (StSG 1991, StSV 2017); Verordnung UVEK zu Gefährdungsmassnahmen und des Schutzes gegen Störfälle (UVEK 2009); Verordnung UVEK über die Gefährdungsannahmen und Sicherungsmassnahmen für Kernanlagen und Kernmaterialien (UVEK 2008, SaV 2021), Güterkontrollverordnung (GKV 2016) sowie diverse ENSI Richtlinien (s. Anhang A.1).

Der Sicherheitsnachweis für die Betriebsphase umfasst gemäss den Vorgaben in ENSI (2020b) eine systematische und umfassende Sicherheitsanalyse sowohl für den Normalbetrieb als auch für Störfälle. Im Rahmen von SGT Etappe 2 wurde die Sicherheit für die Betriebsphase beurteilt (Nagra 2013g, 2014a) und von den Behörden als plausibel erachtet. Das RBG erfordert für den gewählten Standort einen Sicherheitsbericht (Art. 23 KEV), aus welchem auch der Sicherheitsnachweis für die Betriebsphase hervorgeht. Hierzu werden – basierend auf der konzeptuellen Beschreibung der Anlagen und Systeme – Sicherheitsbetrachtungen durchgeführt, wobei der Fokus auf der Eignung des Standorts für den sicheren Betrieb des geologischen Tiefenlagers liegt. Diese Arbeiten umfassen eine konzeptionelle Darlegung der Vorkehrungen zum Strahlenschutz und die Durchführung einer generischen Sicherheitsbetrachtung für Störfälle mit Ursprung innerhalb und ausserhalb der Anlage gemäss Art. 8 KEV und der Verordnung des UVEK (UVEK 2009). Insbesondere ist eine quantitative, standortspezifische Gefährdungsanalyse zur Bestimmung der Gefährdungshäufigkeit durch extern ausgelöste Ereignisse erforderlich.

Hinsichtlich des sicheren Betriebs und der Analyse von potenziellen Störfällen besteht eine sehr breite Kenntnis- und Erfahrungsbasis aus in- und ausländischen Kernanlagen. Die Nagra hat zudem in Nagra (2020a) aufgezeigt, dass sich im Falle der Realisierung eines Kombilagers Vorteile für den Bau und den Betrieb ableiten lassen (s. Kap. 3.1.1). Für die Sicherheitsnachweise zum Rahmenbewilligungsgesuch und zu den nachfolgenden Verfahrensschritten kann somit auf bewährte Methoden gemäss vorhandenem Stand der Technik abgestützt werden.

3.1.7 Raumnutzung und Umweltverträglichkeit

Der Bau und Betrieb eines geologischen Tiefenlagers inklusive der Oberflächeninfrastruktur (OFI) hat Auswirkungen auf die Umwelt und die Landschaft sowie auf die Raumnutzung der betroffenen Gemeinden und Kantone. In der sozioökonomisch-ökologischen Wirkungsstudie (SÖW; BFE 2014) werden diese Wirkungen ermittelt, analysiert und beschrieben.

Im Konzeptteil des SGT (BFE 2008) finden sich Hinweise zu Verfahrensfragen betreffend Raumplanung und Umweltverträglichkeit. Dementsprechend wurden in SGT Etappe 2 gestützt auf die Zusammenarbeit mit den Regionen und Kantonen (regionale Partizipation) in einem ersten Schritt Standortareale für die Oberflächenanlage (OFA) bezeichnet. Der Bundesrat hat in diesen Bereichen Räume zur Platzierung der Standortareale für die OFA als Zwischenergebnis im Sachplan festgelegt (BFE 2018b).

Generelle Vorgaben zur Raumnutzung und Umweltverträglichkeit sind in der Schweiz im Rahmen der Gesetzgebung klar geregelt und gelten auch für das Vorhaben geologische Tiefenlager¹⁷. So unterstehen geologische Tiefenlager für radioaktive Abfälle gemäss UVPV (Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung; UVPV 1988) der UVP-Pflicht (Anhang UVPV, Ziffer 40.1). Ziel der Umweltverträglichkeitsprüfung ist es, sicherzustellen, dass die geltenden Umweltvorschriften eingehalten werden. Umweltkonflikte sind nach Möglichkeit zu vermeiden bzw. zu reduzieren.

In SGT Etappe 2 wurden Voruntersuchungen zur Umweltverträglichkeit für die noch zur Diskussion stehenden Lagerstandorte und -typen durchgeführt und in entsprechenden Berichten dokumentiert; diese sind für die in Etappe 3 des SGT weiter zu untersuchenden Standortgebiete Jura Ost (JO), Nördlich Lägern (NL) und Zürich Nordost (ZNO) in SC+P & Roos+Partner (2014a, 2014b, 2014c, 2014d, 2014e, 2014f, 2016a, 2016b, 2016c, 2016d, 2016e, 2016f) enthalten. In SGT Etappe 3 werden die UVP-Voruntersuchungen (inkl. Pflichtenhefte für die Hauptuntersuchung UVP 1. Stufe) aktualisiert. Die UVP der 1. Stufe erfolgt im Zuge des Rahmenbewilligungsverfahrens (Art. 12 ff. KEG, Art. 23 KEV). Der Umweltverträglichkeitsbericht (UVB) der 1. Stufe (inkl. Pflichtenheft für die UVP der 2. Stufe) zum gewählten Standort beschreibt die Auswirkungen der Oberflächeninfrastruktur während dem Bau und dem Betrieb und ist Bestandteil des Rahmenbewilligungsgesuchs. Die UVP der 2. Stufe erfolgt schliesslich im Rahmen des Baubewilligungsverfahrens (Art. 15 ff. KEG, Art. 24 KEV). Für die Realisierung der EUU (s. Kap. 5) wird im Rahmen eines separaten Baubewilligungsverfahrens eine einstufige UVP über Bau und Betrieb durchgeführt.

Einen weiteren Bestandteil des Rahmenbewilligungsgesuchs stellt der Bericht über die Abstimmung mit der Raumplanung dar, d.h. ein Bericht zu raumplanerischen Aspekten bei der Beurteilung des Standorts / Anordnung der Oberflächeninfrastruktur. Bestandteil dieses Berichts sind auch Angaben zu raumplanerischen Festsetzungen gemäss SGT.

¹⁷ Siehe u.a. USG 1983 / UVPV 1988 (Umweltschutz), StFV 1991 (Störfälle), Verordnung des UVEK über Listen zum Verkehr mit Abfällen (UVEK 2005), RPG 1979 / RPV 2000 (Raumplanung), LRV 1985 (Luft), LSV 1986 (Lärm), GSchG 1991 / GSchV 1998 (Gewässerschutz), AltIV 1998 (Altlasten), VBBo 1998 (Bodenschutz), VVEA 2015 (Abfälle), NHG 1966 / NHV 1991 (Natur- und Heimatschutz), BAFU-Richtlinien und -Wegleitungen, ChemRRV 2005, kantonale Richtpläne, Nutzungspläne (Anhang A.1).

3.2 Auslegung der geologischen Tiefenlager

3.2.1 Anforderungen und Annahmen für die Lagerauslegung der geologischen Tiefenlager

Die Auslegungskonzepte für das HAA-Lager und das SMA-Lager basieren auf den in Fig. 3.1-1 dargestellten Sicherheitskonzepten (Mehrfachbarrierensystem) für HAA und SMA. Ein Kombilager besteht aus räumlich getrennten Lagerteilen für HAA und SMA am gleichen Standort. Die gesetzlichen und behördlichen Vorgaben sind für alle Lagertypen (vgl. Anhang A.1) prinzipiell gleich. Somit ist die Langzeitsicherheit für das Kombilager grundsätzlich gewährleistet, wenn für den Lagerteil HAA das Sicherheitskonzept HAA und für den Lagerteil SMA das Sicherheitskonzept SMA zum Tragen kommen und keine anderweitigen nachteiligen Wechselwirkungen zwischen den Lagerteilen vorliegen (s. Anhang A.8.3).

Alle Lagertypen umfassen auf Lagerebene ein Hauptlager, ein Pilotlager und Testbereiche. Weitere Elemente der geologischen Tiefenlager sind die Oberflächeninfrastruktur und die Zugänge nach untertag.

Die Lagerauslegung der geologischen Tiefenlager wird im Rahmen des Bewilligungsverfahrens nach KEG (2003) stufengerecht verfeinert und an die lokalen Bedingungen angepasst. Werden standortspezifische Gegebenheiten für die Lagerauslegung berücksichtigt, spricht man von einem Lagerprojekt. In ein Lagerprojekt fliessen neben gesetzlichen und behördlichen Vorgaben (vgl. Anhang A.1) auch Anforderungen hinsichtlich Raumnutzung und Umwelt ein.

Mit der Rahmenbewilligung werden der Standort und die Grundzüge des Projekts festgelegt (s. Kap. 5.1). Die in Kap. 3.2 – 3.4 dargestellten modellhaften Lager (Kombilager, HAA- und SMA-Lager) sowie auch die hierzu bestehenden Varianten für die Auslegung illustrieren dementsprechend die derzeitige Lagerauslegung auf Stufe Konzept.

Mit fortschreitender Konkretisierung des Lagerprojekts wird die Eignung verschiedener Varianten zu verschiedenen Elementen des geologischen Tiefenlagers geprüft, analysiert und im Hinblick auf Entscheidungen bewertet; dies entspricht dem Optimierungsgebot gemäss ENSI-Vorgabe (ENSI 2020b; s. Anhang A.4).

Eine abschliessende Festlegung des Lagerprojekts (u.a. Anordnung der untertägigen Lagerkammern, detaillierte Ausgestaltung der technischen Barrieren) erfolgt im Rahmen des nuklearen Baubewilligungsgesuchs bzw. im nachfolgenden Freigabeverfahren und basiert auf den Befunden der erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag (s. Kap. 5.4.2 sowie Tab. A.2-4). Dabei sind auch die in Zukunft anfallenden Resultate aus dem RD&D-Programm (s. Kap. 5.6) und die Erfahrungen in ausländischen Programmen zu berücksichtigen. Für eine Optimierung des Lagerprojekts ist deshalb bis zum nuklearen Baubewilligungsgesuch ein genügend grosser Handlungsspielraum zur Berücksichtigung neuer Informationen und Erkenntnisse aufrecht zu erhalten (s. Anhang A.4).

Ein Kombilager umfasst alle für den Bau und Betrieb der Lagerteile HAA und SMA erforderlichen Anlagenelemente und Bauten. Es ist bezüglich Funktionen für ein SMA-Lager und ein HAA-Lager abdeckend und auch die Vorgaben (vgl. Anhang A.1) sind grundsätzlich gleich. Deshalb lässt sich die Auslegung des HAA-Lagers und des SMA-Lagers durch Weglassen der entsprechenden spezifischen Lagerteile für SMA und HAA aus dem Kombilager herleiten.

In Kap. 3.2 wird ein modellhaftes Kombilager auf Stufe Konzept beschrieben; dieses basiert auf einem standortunabhängigen Projekt gemäss aktuellem Stand. In Kap. 3.3 und 3.4 werden nachfolgend die Unterschiede der Einzellager HAA und SMA zum Kombilager aufgeführt.

Ein standortunabhängiger Vergleich eines Kombilagers mit zwei Einzellagern hinsichtlich der Bau- und Betriebsabläufe sowie Umweltaspekten ist in Nagra (2020a) detailliert dargestellt.

3.2.2 Modellhafte Umsetzung der konzeptuellen Vorgaben und Annahmen am Beispiel der Auslegung eines Kombilagers

Anlagenelemente und Bauten

Eine mögliche Anordnung der verschiedenen untertägigen Anlagenelemente und Bauten für ein Kombilager zeigen Fig. 3.2-1 und 3.2-2. Die Darstellung bezieht sich auf keinen spezifischen Standort.

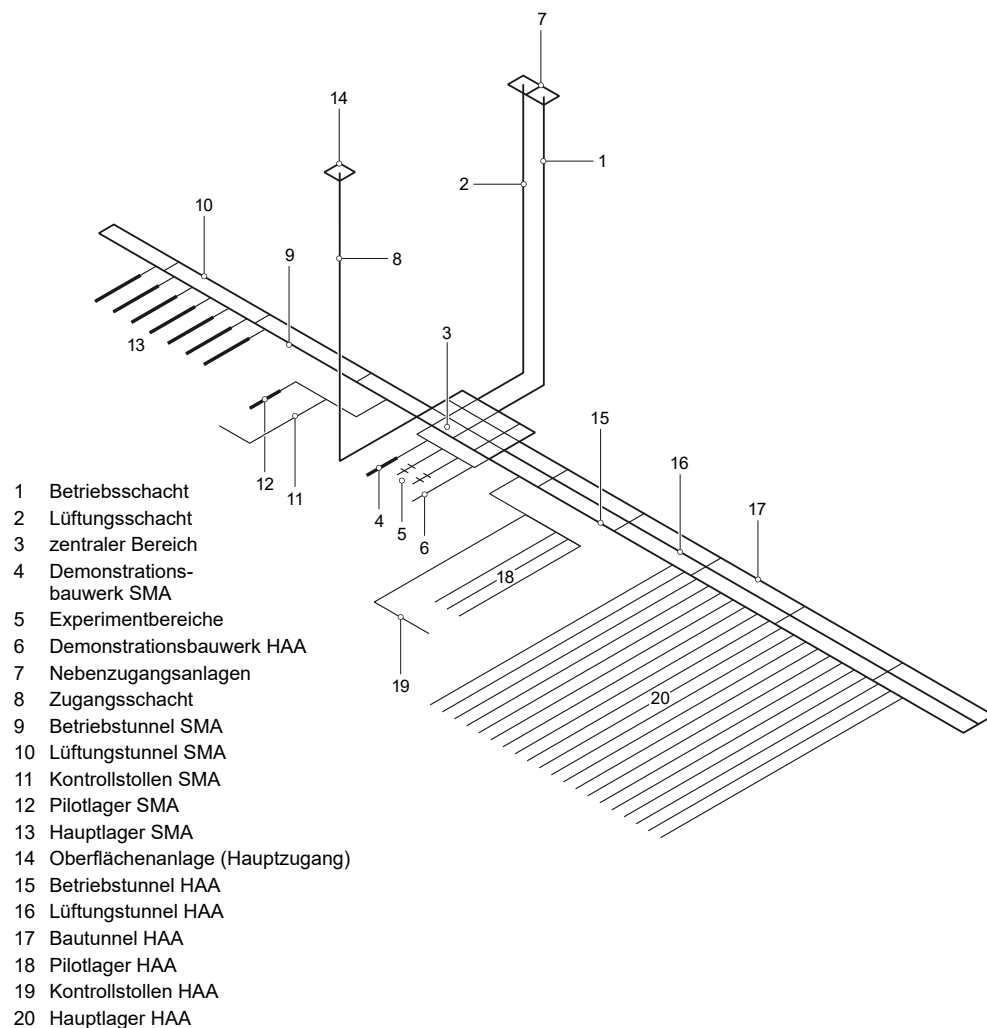


Fig. 3.2-1: Systemskizze für die untertägigen Anlagenelemente und Bauten eines Kombilagers

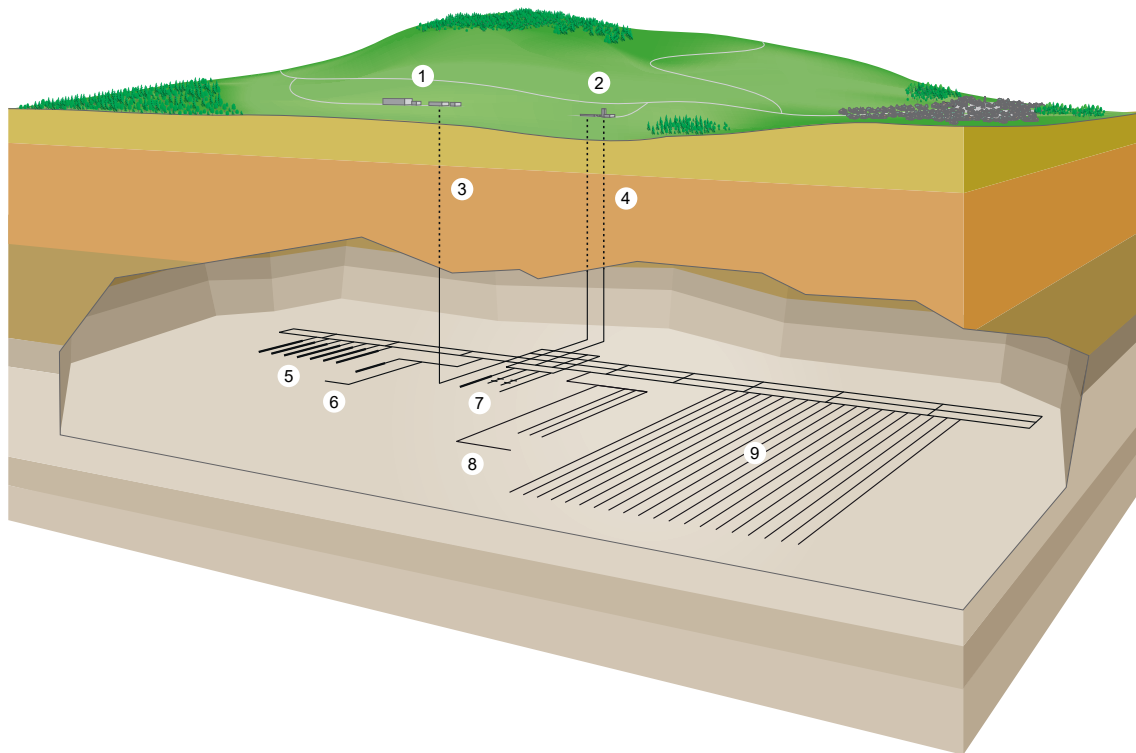


Fig. 3.2-2: Mögliche Anordnung der verschiedenen Anlagenelemente und Bauten für ein Kombilager

Legende: 1) Oberflächenanlage (OFA); 2) Nebenzugangsanlage (NZA); 3) Zugangsschacht (Hauptzugang); 4) Betriebs- und Lüftungsschacht (Nebenzugänge); 5) Hauptlager SMA; 6) Pilotlager SMA; 7) Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag / Testbereiche; 8) Pilotlager HAA; 9) Hauptlager HAA.

Die Anlagenelemente und Bauten, welche für den Betrieb eines Kombilagers benötigt werden, lassen sich vereinfacht in drei Kategorien einteilen:

- Oberflächeninfrastruktur (OFI)
- Zugänge nach untertag¹⁸
- Anlagenelemente und Bauten auf Lagerebene

Die Auslegung der Anlagenelemente und Bauten dieser drei Kategorien wird im Folgenden von oben nach unten entsprechend dem Weg der einzulagernden Abfälle ausgehend von der oberirdischen Anlieferung bis zur unterirdischen Einlagerung beschrieben.

¹⁸ Die Zugänge nach untertag können als Tunnel oder Schacht ausgeführt werden (s. Text unter "Zugänge nach untertag").

Oberflächeninfrastruktur (OFI)

Das geologische Tiefenlager umfasst gemäss Art. 49 KEG auch die mit dem Bau, Betrieb und Rückbau zusammenhängende OFI, soweit sie in einem engen räumlichen und funktionalen Zusammenhang mit dem Projekt steht.

Fig. 3.2-3 zeigt eine schematische Darstellung der OFI eines Kombilagers (Nagra 2019f). Die wichtigsten Anlagenelemente sind die Oberflächenanlagen und die Nebenzugangsanlagen. Weitere Elemente sind u.a. Erschliessungsbauwerke, Baustelleninstallationen und Standorte für die Verwertung und Ablagerung von anfallendem Ausbruch- und Aushubmaterialien (Art. 49 KEG).

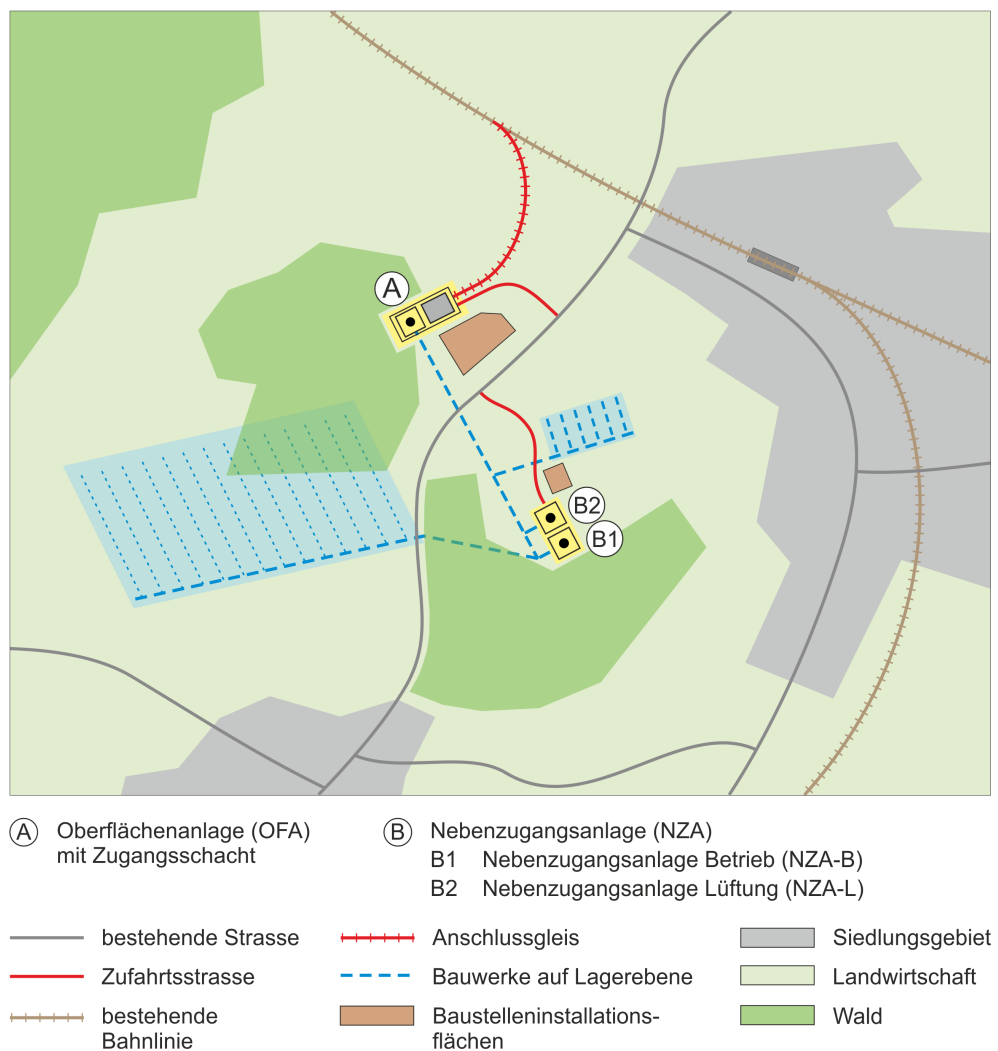


Fig. 3.2-3: Schematische Anordnung der verschiedenen Anlagenelemente der Oberflächeninfrastruktur

Oberflächenanlage (OFA)

Die Oberflächenanlage (OFA) stellt das Kernstück der OFI dar. Nach der Anlieferung und Eingangskontrolle werden die radioaktiven Abfälle für die Einlagerung vorbereitet, d.h. endlagergerecht in den Verpackungsanlagen (VA) verpackt (falls sie bei der Anlieferung nicht bereits in Endlagerbehältern verpackt sind). Anschliessend werden die Endlagerbehälter über den Hauptzugang (Zugangsschacht oder Zugangstunnel) nach untertag transportiert.

Fig. 3.2-4 und 3.2-5 zeigen eine mögliche Anordnung und Ausgestaltung der erforderlichen Anlagenelemente und Bauten der OFA für ein Kombilager.

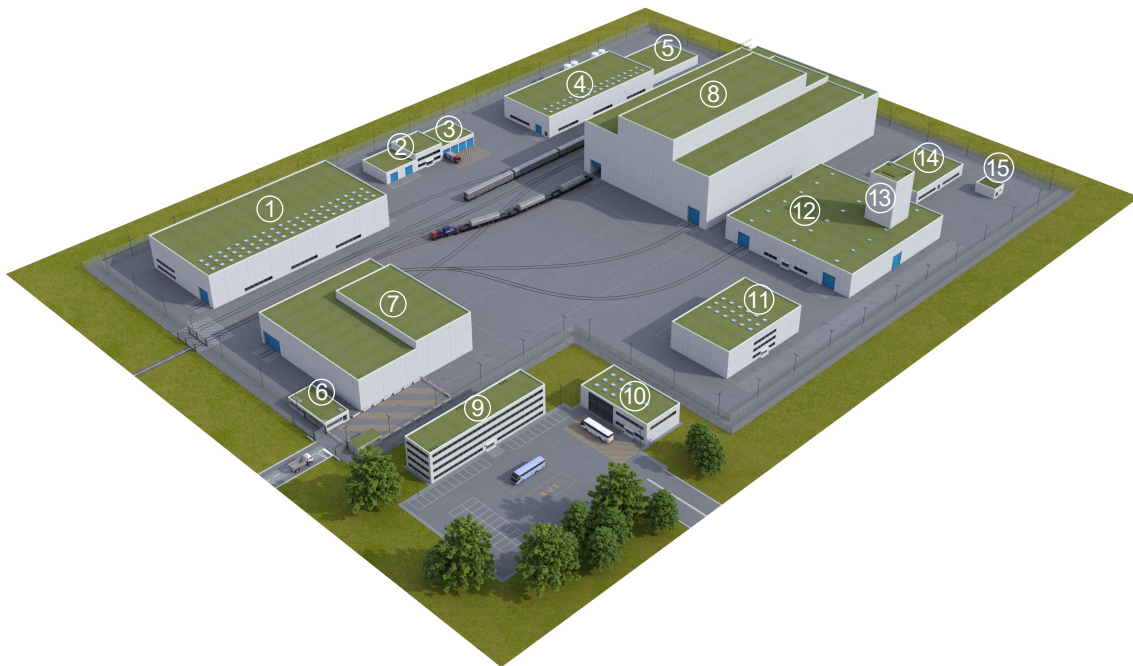


Fig. 3.2-4: Schematische Anordnung und Ausgestaltung der Anlagenelemente und Bauten der Oberflächenanlage für ein Kombilager

Legende: 1) TLB-Behandlungsanlage; 2) Feuerwehrgebäude; 3) Garagen; 4) Aufbereitungsanlage Verfüll-/Versieglungsmaterial; 5) Betriebsabfallbehandlungsanlage; 6) Pforte / Zutrittskontrolle; 7) SMA-Verpackungsanlage; 8) HAA-Verpackungsanlage (BEVA); 9) Administrationsgebäude; 10) Besucherzentrum; 11) Werkstätten; 12) Schachthalle; 13) Schachtförderturm; 14) Lüftungsgebäude; 15) Energieversorgungsgebäude.

Die OFA umfasst gemäss heutiger Planung¹⁹ als wichtigste Elemente die folgenden Bauten:

- Verpackungsanlage für BE/HAA(WA) (BEVA). Die Verpackung der BE und HAA(WA) kann grundsätzlich auch in einer Anlage erfolgen, welche sich ausserhalb der Oberflächenanlage befindet. So wird in Nagra (2020b) aufgezeigt, dass sich die Verpackungsanlage für hochaktive Abfälle (BEVA) nur am Ort des geologischen Tiefenlagers oder beim Zwischenlager in Würenlingen (Zwilag) sinnvoll realisieren lässt und dass anderweitige Standortoptionen für die BEVA mit deutlichen Nachteilen verbunden sind.

¹⁹ Als Basis wird von den Angaben in den entsprechenden Planungsstudien für das Kombilager ausgegangen. Je nach standortspezifischer Situation und Realisierungskonzept können Bauten auch anders angeordnet oder in Gebäude zusammengefasst werden.

- Verpackungsanlage für SMA/ATA (SMA-VA). Die Verpackung der SMA/ATA kann auch in einer Anlage erfolgen, welche sich ausserhalb der Oberflächenanlage befindet (z.B. beim Zwiilag)
- TLB-Behandlungsanlage sowie allenfalls weitere Konditionierungsanlagen zur Behandlung und allfälligen Konditionierung von radioaktiven Betriebsabfällen. Auch diese Anlagen können am Standort der OFA oder alternativ extern, z.B. beim Zwiilag, angeordnet werden
- Produktionsanlage für Verfüll-/Versiegelungsmaterialien für den Verschluss des Tiefenlagers nach der Einlagerung der radioaktiven Abfälle
- Energieversorgungsgebäude und Lüftungsgebäude für den kontrollierten Abzug der Abluft aus dem Einlagerungsbereich)
- Schachthalle und Schachtförderturm für den Transport nach untertag (für den in Fig. 3.2-1, 3.2-2, 3.2-4 und 3.2-5 dargestellten Fall, dass der Zugang von der OFA nach untertag in Form eines Schachts ausgeführt wird)
- Anlieferungsstrukturen für Strassen- und gegebenenfalls Bahntransporte
- Administrationsgebäude und Servicegebäude (Werkstätten, Garagen und Feuerwehrgebäude)
- Sicherungsstrukturen inklusive Perimeter, Zutrittskontrolle und Sicherungszentrale
- Besucherzentrum



Fig. 3.2-5: Modellhafte Gestaltung der Oberflächenanlage eines Kombilagers in fiktiver Umgebung

Nebenzugangsanlagen (NZA)

Die Nebenzugangsanlagen stellen ebenso wie der Hauptzugang Schnittstellen zu den untertägigen Anlagen dar:

- Über die Nebenzugangsanlage für den Betriebszugang (NZA-B) erfolgt schwerpunktmässig der Bau des Tiefenlagers. In der Einlagerungsphase dient die NZA-B primär als Zugang für den Bau der Lagerstollen mit entsprechenden Material- und Baupersonaltransporten. Weitere Funktionen der NZA-B sind die Lüftung (Abluft) der konventionellen Bereiche des Tiefenlagers, die Energie- und Wasserversorgung, die Bergwasserentsorgung sowie der Zugang für Besucher.
- Über die Nebenzugangsanlage für den Lüftungszugang (NZA-L) erfolgt primär die Frischluftversorgung der Bauten auf Lagerebene. Sie dient zudem als Flucht- und Interventionsweg.
- Die Betriebs- und Lüftungszugänge können auch auf einem gemeinsamen Areal platziert werden (NZA-BL). Fig. 3.2-6 zeigt eine mögliche Anordnung und Ausgestaltung der NZA-Bauwerke für ein Kombilager und den Fall eines gemeinsamen Lüftungs- und Betriebszugangs (NZA-BL) mit zwei Schächten.



Fig. 3.2-6: Schematische Anordnung und Ausgestaltung der funktional erforderlichen Bauten der Nebenzugangsanlagen im Falle eines Lüftungs- und Betriebszugangs (NZA-BL) mit zwei Schächten

Legende: 1) Zufahrtsstrasse; 2) Umzäunung mit Zugangstor; 3) Pforte / Zutrittskontrolle; 4) Schachthalle über Lüftungsschacht; 5) Frischluftbauwerk(e); 6) Personalgebäude mit Administrationstrakt; 7) Abwassergebäude; 8) Elektrogebäude; 9) Werkstatt; 10) Schachthalle beim Betriebsschacht; 11) Förderturm über Betriebsschacht mit Abluftbauwerk; 12) Bau-logistikfläche; 13) Baupersonalgebäude.

Weitere Elemente der Oberflächeninfrastruktur

Neben der OFA und den NZA gibt es weitere Elemente der OFI, welche temporär oder permanent für den Bau, Betrieb oder Verschluss eines geologischen Tiefenlagers notwendig sind. Dazu zählen die Erschliessung, die Baustelleninstallationsflächen sowie Standorte für die Verwertung und Ablagerung von Aushub- und Ausbruchmaterial (Art. 49 KEG). Je nach lokalen Verhältnissen können auch bestehende Infrastrukturen dafür genutzt oder angepasst werden (Deponien, Strassen).

Erschliessung:

- *Erschliessung der Oberflächenanlage:* Die Anlieferung der radioaktiven Abfälle erfolgt entweder per Strasse oder per Bahn. Der letztere Fall setzt einen Anschluss an das Schienennetz voraus. Zusätzlich sind ein Strassenanschluss sowie Werkleitungen zum Anschluss an die Kanalisation, die Wasserversorgung, das Stromnetz, das Kommunikationsnetz sowie zur Versickerungsanlage oder zur Vorflut (zu einem Gewässer) für die Entwässerung von sauberem Berg-, Sicker- oder Meteorwasser erforderlich.
- *Erschliessung der Nebenzugangsanlagen:* Die NZA sind jeweils mit einer Strasse sowie der gleichen Ver- und Entsorgungsinfrastruktur wie bei der OFA an das bestehende Netz anzuschliessen.
- *Erschliessung der Baustellen:* Die Baustellen und Baustelleninstallationsflächen sind mit temporären Bauzufahrten sowie Ver- und Entsorgungsinfrastruktur zu erschliessen. Je nach Materialbewirtschaftungskonzept für die lokalen Gegebenheiten und der Standorte für die Verwertung oder Ablagerung von Aushub- und Ausbruchmaterial (s. unten) können die Baumaterialien und die anfallenden Aushub- und Ausbruchmaterialien per Bahn, LKW oder Förderband ab- respektive antransportiert werden.

Baustelleninstallationsflächen:

- Während dem Bau sowie dem Rückbau und Verschluss (Realisierungsphasen, vgl. Kap. 5.3) sind neben den Baustellen auf den OFA- und NZA-Arealen zusätzliche temporäre Installationsflächen möglichst in der Nähe der Areale erforderlich.

Standorte für die Verwertung und Ablagerung von Aushub- und Ausbruchmaterial:

- Die anfallenden Ausbruchmaterialien (z.B. Opalinuston) werden, falls zweckmässig beim Bau und eventuell bei der späteren Verfüllung des Tiefenlagers, als Verfüllmaterial verwertet. Teile des Materials könnten auch für Ausgleichsmassnahmen oder zur Landschaftsgestaltung verwendet werden. Andernfalls muss das Material extern verwertet oder in einer Deponie dauerhaft gelagert werden. Die entsprechenden Lagernachweise sind mit der Baueingabe zu führen.

Zugänge nach untertag

Die Zugangsbauwerke (Schächte, Tunnel) stellen die Verbindung zwischen der Oberfläche und den Bauten auf Lagerebene sicher. Fig. 3.2-1 und 3.2-2 zeigen eine mögliche Anordnung in Form von drei Schächten. Aus Sicherheitsgründen (Flucht, Intervention, redundante Ver- und Entsorgung) stehen immer mindestens zwei räumlich und lüftungstechnisch getrennte Zugänge nach untertag zur Verfügung. Aus baulichen, betrieblichen und betriebssicherheitstechnischen Gründen sind folgende, funktional getrennte Zugänge geplant:

- Zugangsschacht oder Zugangstunnel²⁰ (Hauptzugang von der OFA auf die Lagerebene)
- Betriebsschacht oder Betriebszugangstunnel (Nebenzugang von der NZA-B auf die Lagerebene)
- Lüftungsschacht (Nebenzugang von der NZA-L auf die Lagerebene)

Anlagenelemente und Bauten auf Lagerebene

Gemäss Art. 64 KEV besteht ein geologisches Tiefenlager aus dem Hauptlager zur Aufnahme der radioaktiven Abfälle, aus einem Pilotlager und aus Testbereichen. Dies entspricht dem Konzept des kontrollierten geologischen Langzeitlagers gemäss EKRA & Wildi (2000), welches in das KEG (2003) und die KEV (2004) eingeflossen ist. Sowohl das HAA- als auch das SMA-Pilotlager werden in einen Bereich des Wirtgesteins eingebettet, der den Sicherheitsanforderungen an das Hauptlager entspricht und den langfristigen Einschluss der Abfälle gewährleisten kann ("natürliche Barriere"). Die Testbereiche werden so angeordnet und ausgelegt, dass sie die Charakterisierung der geologischen Situation untertag und damit die Beurteilung der Sicherheit des geologischen Tiefenlagers ermöglichen, ohne die Barrierenwirkung des Lagers und die Eignung des Standorts für ein geologisches Tiefenlager zu beeinträchtigen (Art. 35 KEG).

Fig. 3.2-1 und 3.2-2 zeigen eine mögliche Anordnung der Pilotlager mit zugehörigen Kontrollstollen. Der Zugang zu den Pilotlagern inklusive Kontrollstollen erfolgt gemäss der derzeitigen Planung in Form eines kurzen Abzweigers aus dem Betriebstunnel. Abstand und Zugang können je nach Konfiguration auch anders realisiert werden.

Weiter zeigen Fig. 3.2-1 und 3.2-2 eine mögliche Anordnung der Testbereiche. Die Anordnung nahe am zentralen Bereich erlaubt es, mit den Experimenten auf Lagerebene so früh wie möglich zu beginnen; d.h. noch während dem Bau des zentralen Bereichs beginnt die Charakterisierung der geologischen Situation untertag auf Lagerebene (s. Tab. A.2-4). Aktuell wird davon ausgegangen, dass die geologischen Unterschiede zwischen dem zentralen Bereich und dem Lagerfeldbereich nicht signifikant sind. Je nach geologischer Situation sind auch anderweitige Anordnungen der Testbereiche vorstellbar.

Die Bauten auf Lagerebene eines Kombilagers lassen sich in folgende Kategorien einteilen (vgl. Fig. 3.2-2):

- HAA-Lagerteil (Hauptlager HAA und Pilotlager HAA)
- SMA-Lagerteil (Hauptlager SMA und Pilotlager SMA)
- Testbereiche
- zentraler Bereich

²⁰ Zugangstunnel wurden in der Vergangenheit auch als "Rampe" bezeichnet.

HAA-Lagerteil (Hauptlager HAA und Pilotlager HAA)

Der HAA-Lagerteil umfasst:

- Das HAA-Hauptlager mit den entsprechenden Lagerstollen zur Einlagerung der HAA-Endlagerbehälter sowie die zugehörigen Lagerfeldzugänge. Das Hauptlager HAA enthält ein oder mehrere Lagerfelder, in denen die Lagerstollen angeordnet sind. Für die HAA-Lagerstollen geht die derzeitige Planung von einem Ausbau mit Tübbing aus.
- Das HAA-Pilotlager inklusive Kontrollstollen dient der Überwachung des Verhaltens des Barrierensystems anhand einer kleinen repräsentativen Abfallmenge. Eine mögliche schematische Anordnung ist in Fig. 3.2-1 illustriert. Das HAA-Pilotlager entspricht in seiner Auslegung dem HAA-Hauptlager.

SMA-Lagerteil (Hauptlager SMA und Pilotlager SMA)

Der SMA-Lagerteil umfasst:

- Das SMA-Hauptlager mit den entsprechenden Lagerkavernen zur Einlagerung der SMA-Endlagerbehälter sowie die zugehörigen Lagerfeldzugänge. Das SMA-Hauptlager ist in einem oder mehreren Lagerfeldern angeordnet. Für die SMA-Lagerkavernen ist ein Ausbau mit einer Ort betoninnenschale vorgesehen.
- Das SMA-Pilotlager inklusive Kontrollstollen dient der Überwachung des Verhaltens des Barrierensystems anhand einer kleinen repräsentativen Abfallmenge. Eine mögliche schematische Anordnung ist in Fig. 3.2-1 illustriert. Das SMA-Pilotlager entspricht in seiner Auslegung dem SMA-Hauptlager.

Testbereiche

- Die Testbereiche (HAA- und SMA-Testbereiche) sind ein integraler Bestandteil der geologischen Tiefenlager (Art. 64 KEV). In den Testbereichen sind die sicherheitsrelevanten Eigenschaften des Wirtgesteins zur Erhärtung des Sicherheitsnachweises standortspezifisch vertieft abzuklären und die sicherheitsrelevanten Techniken (Einbringen und Entfernen des Verfüllmaterials, Rückholung) zu erproben und deren Funktionstüchtigkeit nachzuweisen (Art. 65 KEV).
- Die Testbereiche bestehen aus einem Demonstrationsbauwerk HAA, einem Demonstrationsbauwerk SMA und Experimentbereichen HAA und SMA. Eine mögliche schematische Anordnung ist in Fig. 3.2-1 illustriert.
- Die Testbereiche resultieren aus einer Umnutzung bestehender Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag (BEUU) im Rahmen der nuklearen Baubewilligung (s. Kap. 5.1).

Zentraler Bereich

- Als zentraler Bereich werden die Gesamtheit aller zentral angeordneten untertägigen Bauten bezeichnet, welche die Betriebsinfrastrukturanlagen für die Bauten auf Lagerebene enthalten (Ver- und Entsorgung, Transportlogistik, Betriebseinrichtungen).
- Die Endpunkte aller Zugangsbauwerke, die Zugänge zu den HAA- und SMA-Lagerteilen und die Testbereiche schliessen an den zentralen Bereich an.

Bau und Betrieb

Die Implementierung der Anlagenelemente erfolgt stufengerecht gemäss dem in Kap. 5.3 dargestellten Realisierungsplan.

Bau der für die EUU benötigten Anlagenelemente

- Im Rahmen der erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag werden zuerst zwei getrennte Zugänge nach untertag ab dem NZA-Areal respektive den NZA-Arealen erstellt. Damit wird für die Untersuchungen auf Lagerebene die erforderliche Verbindung zur Oberfläche sichergestellt. Mit Vorliegen der nuklearen Baubewilligung (s. Kap. 5.1) erfolgt anschliessend der Bau des Hauptzugangs und die Umnutzung der Zugangsbauwerke EUU.
- Für die EUU werden weitere untertägige Bauten benötigt. Diese werden so angeordnet und ausgelegt, dass sie die Charakterisierung der geologischen Situation untertag und damit die Beurteilung der Sicherheit des geologischen Tiefenlagers ermöglichen, ohne die Eignung des Standorts für ein geologisches Tiefenlager zu beeinträchtigen (Art. 35 KEG).
- Für die EUU sind auch diverse Infrastrukturanlagen an der Oberfläche nötig (z.B. Erschliessungsbauwerke, Anlagen und Bauten für die Ver- und Entsorgung der untertägigen Bauten, Administrationsgebäude, Bauinstallationen inklusive Installationsplätze sowie Standorte für die Verwertung und Ablagerung von Ausbruch- und Aushubmaterial). Zum Zeitpunkt der Realisierung der Zugangsbauwerke EUU sowie der für die EUU benötigten Bauten untertag und Infrastrukturanlagen an der Oberfläche liegt noch keine kerntechnische Anlage vor (s. Kap. 5.1). Die Bauten und Anlagen werden deshalb so geplant, dass sie bei Vorliegen der nuklearen Baubewilligung umgenutzt und in das geologische Tiefenlager integriert werden können^{21, 22}.

Bau der Haupt- und Pilotlager

- Nach dem Bau aller SMA-Lagerkavernen beginnt die Einlagerung der SMA.
- Der Bau des HAA-Lagerteils und des dazugehörenden HAA-Pilotlagers erfolgt teilweise gleichzeitig mit der Einlagerung der SMA-Endlagerbehälter. Das Kombilager wird daher so ausgelegt, dass der Bau des HAA-Lagerteils und des HAA-Pilotlagers räumlich getrennt zur Einlagerung im SMA-Lagerteil erfolgen kann. Dafür ist der Betriebszugang (z.B. Betriebschacht) und auf Lagerebene der Bau- und Betriebstunnel des HAA-Lagerteils als Bauzugang vorgesehen.
- Parallel zur Einlagerung der HAA-Endlagerbehälter, welche über den Hauptzugang erfolgt, werden die jeweils benötigten weiteren HAA-Lagerstollen aufgeföhren. Der Bau dieser Stollen erfolgt in der Einlagerungsbetriebsphase über den Betriebszugang. Damit ist sichergestellt, dass auch die sich im Bau befindenden Anlagenteile des HAA-Hauptlagers von denjenigen im Einlagerungsbetrieb räumlich getrennt sind.

²¹ Diese Vorgehensweise entspricht insofern einer sicherheitsgerichteten Auslegung, als dass das Platzangebot innerhalb des Lagerperimeters im Wirtgestein möglichst gut genutzt, die Schädigung des Wirtgesteins beschränkt und die untertägigen Hohlräume im Wirtgestein in ihrer Anzahl und Ausdehnung begrenzt werden.

²² Beim Bau sind im Hinblick auf eine spätere Umnutzung u.a. bauliche, technische, organisatorische und administrative Anforderungen an die Anlagensicherung zu beachten. Die hierzu gültigen Vorgaben sind z.B. in der Verordnung UVEK über die Gefährdungsannahmen und Sicherungsmassnahmen für Kernanlagen und Kernmaterialien (UVEK 2008; SaV 2021; PSPVK 2006; VAPK 2006; VBWK 2006) sowie diversen ENSI-Richtlinien dokumentiert (s. Anhang A.1).

Verpackung und Transport

- Der Antransport der Abfälle zur Oberflächenanlage erfolgt – wo nötig – in speziellen Transportbehältern gemäss den dann gültigen Transportvorschriften über das öffentliche Verkehrsnetz per Bahn oder auf der Strasse (für die schwachaktiven Abfälle ist nicht in jedem Fall ein Transportbehälter notwendig). Bei der Annahme der Abfälle werden diese auf Konformität mit den Annahmebedingungen überprüft.
- Die Verpackung der BE und HAA(WA) in Endlagerbehälter erfolgt in einer Umladezelle innerhalb der HAA-Verpackungsanlage (BEVA). Diese befindet sich entweder am Ort des geologischen Tiefenlagers oder beim Zwiilag (s. Kap. 3.2.1). Die HAA-Endlagerbehälter bestehen gemäss dem heutigen Behälterkonzept aus dickwandigen und gasdicht verschweissten Stahlbehältern. Diese sind so ausgelegt, dass sie bei auftretenden Auslegungsfällen intakt und gasdicht bleiben. Damit wird der vollständige Einschluss der darin verpackten radioaktiven Abfälle sichergestellt und eine Freisetzung von Radionukliden kann für Auslegungsfälle ausgeschlossen werden. Zur Einhaltung der vorgegebenen maximalen Wärmeleistung der HAA-Endlagerbehälter ist für eine geeignete Zuteilung der angelieferten BE und HAA(WA) auf die Endlagerbehälter zu sorgen. Dies wird durch eine entsprechende Auslegung der HAA-Verpackungsanlage und die Verwendung einer geeigneten Verpackungsstrategie sichergestellt. Für eine optimale Beladung der Endlagerbehälter müssen diese mit Brennelementen unterschiedlicher Wärmeleistung beladen werden können (s. Kap. 2.1). Dies bedingt, dass gleichzeitig der Zugriff auf mehrere Transport- und Lagerbehälter (TLB) möglich ist. Deshalb sind gemäss heutiger Planung in der HAA-Verpackungsanlage mehrere Andockstationen für TLB und für Endlagerbehälter vorgesehen.
- Die SMA werden in Endlagerbehältern aus Beton eingelagert²³. Dazu werden die konditionierten Abfälle (Abfallgebinde) vor ihrer Einlagerung entweder in der SMA-Verpackungsanlage innerhalb der OFA in Endlagerbehälter verpackt oder es werden fertig verpackte Endlagerbehälter aus einer externen Verpackungsanlage (z.B. am Zwiilag) angeliefert. Die SMA-Endlagerbehälter sind in Bezug auf mechanische und thermische Belastungen und solche durch Flüssigkeiten grundsätzlich so ausgelegt, dass für Auslegungsfälle keine oder nur eine begrenzte Freisetzung von Radionukliden auftritt.
- Die HAA- und SMA-Endlagerbehälter werden in internen Transportbehältern nach untertag transportiert²⁴. Diese bieten einen zusätzlichen Schutz vor äusseren Einwirkungen auf die Endlagerbehälter und gewährleisten eine zusätzliche Abschirmung. Im Falle einer Betriebsstörung ist eine Intervention ohne erhebliche Zusatzmassnahmen möglich. Die HAA- und SMA-Endlagerbehälter werden im Umladebereich am Eingang zum Lagerstollen respektive zur Lagerkaverne aus dem internen Transportbehälter entnommen und zur Einlagerungsposition transportiert.

²³ Die Behälter vom Typ MOSAIK-II sind aus Gusseisen und können auch direkt eingelagert werden ohne zusätzliche Betonummantelung. Die geforderte mechanische Beständigkeit für eine allfällige Rückholung bis zum Verschluss des Lagers (ENSI 2020b) ist aufgrund der Wandstärke (16 cm) bei den MOSAIK-II-Behältern gewährleistet.

²⁴ Für gewisse SMA-Abfallgebinde wird für den Transport nach untertag kein interner Transportbehälter benötigt.

Verfüllung

- Die HAA-Lagerstollen werden während der Einlagerung der HAA-Endlagerbehälter laufend verfüllt. Wenn ein HAA-Lagerstollen vollständig mit Endlagerbehältern gefüllt ist, wird dieser mit einem Versiegelungsbauwerk verschlossen.
- Die SMA-Lagerkavernen werden während der Einlagerung der SMA-Endlagerbehälter abschnittsweise verfüllt. Nach vollständiger Befüllung und Verfüllung der Hohlräume einer SMA-Lagerkaverne wird diese mit einem Versiegelungsbauwerk verschlossen.

Beobachtungsphase und Verschluss

Nach Abschluss der Einlagerung beginnt die Beobachtungsphase (s. Kap. 5.3 sowie Tab. A.2-1); dazu bleibt die Lagerebene weiterhin über mindestens zwei Zugänge erschlossen. Die Beobachtung umfasst neben der Überwachung des Pilotlagers die kontinuierliche oder wiederholte Messung von radiologischen und nicht-radiologischen Zustandsparametern obertägig in der Umgebung des Tiefenlagers sowie in den noch offenen untertägigen Bauten (s. Kap. 3.1.4).

Der Verschluss des Lagers erfolgt in mehreren Etappen mit der Verfüllung und der Versiegelung der verbliebenen Hohlräume²⁵. Zuerst werden die einzelnen Lagerkammern (HAA-Lagerstollen und SMA-Lagerkavernen) im Zuge der Einlagerung verfüllt und versiegelt. Auf Zwischensiegel innerhalb der HAA-Lagerstollen kann verzichtet werden, weil durch die Bentonitverfüllung eine hydraulische Trennung bzw. Kompartimentalisierung zwischen den Endlagerbehältern bereits gegeben ist.

Im Rahmen der Beobachtungsphase erfolgt nach einer beschränkten Dauer (Annahme 10 Jahre; s. Tab. A.2-1) in einem zweiten Schritt die Verfüllung und Versiegelung der Zugänge zu den Lagerfeldern des HAA-Hauptlagers und SMA-Hauptlagers auf Lagerebene und der nicht mehr benötigten Zugänge von der Oberfläche nach untertag. Dies kann beispielsweise zutreffen, wenn drei Zugänge zum Tiefenlager bestehen. In diesem Fall kann einer davon im Zuge dieser zweiten Verschlussstufe versiegelt und verfüllt werden (i.d.R. der Hauptzugang). Die Anlagen und Bauten an der Oberfläche, welche nur für die Verpackung und Einlagerung der Abfälle gebraucht wurden, werden nach der Einlagerung stillgelegt und rückgebaut.

Die dritte und letzte Verschlussstufe bildet der Verschluss des Gesamtlagers (s. Kap. 5.3); dieser erfolgt nach Abschluss der Beobachtungsphase (Annahme 50 Jahre nach Einlagerung in Anlehnung an Art. 3 SEFV; s. Tab. A.2-1) auf Anordnung des Bundesrats nach Vorlage eines Projekts für den Verschluss des Tiefenlagers durch den Eigentümer (Art. 39 KEG). Diese letzte Verschlussstufe umfasst die Verfüllung der bis dahin noch verwendeten Kontrollstollen, Testbereiche und aller anderen offenen Untertagbauten inklusive der noch offenen Zugänge. Zum Verschluss des Gesamtlagers gehören auch die Markierung des Tiefenlagers, die Sicherstellung einer langfristig wirksamen Trennung grundwasserführender Gesteinsschichten entlang der Zugangsbauwerke oberhalb der Lagerebene mit geeigneten Abdichtungen, der Rückbau der verbliebenen Oberflächeninfrastruktur sowie die Renaturierung der Terrainoberfläche, falls keine anderweitige Nutzung vorgesehen ist.

²⁵ Neben der Abfallmatrix, den Abfallbehältern und den Endlagerbehältern stellen Verfüllungen und Versiegelungen Elemente des technischen Barrierensystems dar (vgl. Kap. 3.1.2).

3.2.3 Varianten für die Auslegung eines Kombilagers

Um die erforderliche Flexibilität zur Berücksichtigung möglicher zukünftiger Entwicklungen im Rahmen des Realisierungsplans für die Optimierung der Anlagen und Betriebsabläufe zu erhalten, werden verschiedene Varianten betrachtet; diese sind konsistent mit dem in Anhang A.3 dargelegten Handlungsspielraum. In der derzeitigen Planung stehen folgende Auslegungsvarianten im Vordergrund (die Auflistung ist nicht abschliessend):

Oberflächenanlage (OFA)

- Die Verpackung der BE und HAA(WA) kann grundsätzlich auch in einer Anlage erfolgen, welche sich ausserhalb der Oberflächenanlage befindet (z.B. Zwiilag; s. Kap. 3.2.1). Dies bedingt, dass die fertig verpackten HAA-Endlagerbehälter in Transportbehältern (Shuttle Overpack Behälter) zur Oberflächenanlage transportiert und dann im geologischen Tiefenlager eingelagert werden. In diesem Fall kann auf die Verpackungsanlage am Standort der Oberflächenanlage verzichtet werden.
- Es besteht grundsätzlich auch die Möglichkeit, SMA-Abfälle (oder Teile davon) bei den Absendern mit einer mobilen / temporären Anlage in SMA-Endlagerbehälter zu verpacken und diese zum Tiefenlager zu transportieren und dort ohne weitere Umverpackung einzulagern. Ebenso besteht die Möglichkeit, Synergien mit der Zwiilag zu nutzen, um SMA-Abfälle zu verpacken, diese zum Tiefenlager zu transportieren und einzulagern. Dazu sind entweder die Endlagerbehälter für den Transport zu qualifizieren oder die Endlagerbehälter sind für den Transport in geeignete Transportbehälter zu verpacken. In beiden Fällen könnte allenfalls auf die Verpackungsanlage am Standort der Oberflächenanlage verzichtet werden.
- Ebenso besteht für die Grösse der Pufferlager (HAA-TLB, HAA-ELB, SMA-Transportbehälter (Abfallgebinde) und SMA-ELB) Handlungsspielraum.
- Die Behandlungsanlage für die gebrauchten Transport- und Lagerbehälter (TLB) kann auf dem Gelände der OFA gebaut oder extern (z.B. beim Zwiilag zusammen mit der externen BEVA) realisiert werden.
- Die Behandlungsanlage für die Betriebsabfälle des geologischen Tiefenlagers kann in der OFA sein oder die Betriebsabfälle können in einer bestehenden, externen Anlage (z.B. Zwiilag) behandelt werden.

Nebenzugangsanlagen (NZA)

- Für die Anordnung der NZA-Areale gibt es grundsätzlich verschiedene Möglichkeiten. So können Nebenzugänge örtlich getrennt oder gemeinsam auf dem gleichen Areal platziert werden (Nagra 2016c).

Erschliessung OFA und NZA

- Die Erschliessung der Areale und Baustellen ab den bestehenden Verkehrswegen kann mittels Bahn und/oder Strasse erfolgen. Ebenso kann die Anlieferung der radioaktiven Abfälle per Bahn oder per LKW auf der Strasse erfolgen.

Zugänge nach untertag

- Grundsätzlich gibt es mehrere Möglichkeiten für Zugangskonfigurationen, je nach Standort-situation sind diese als Zugang nach untertag unterschiedlich gut geeignet. Die Anzahl und funktionale Zuordnung der Nebenzugänge kann unterschiedlich ausgeführt werden.
- Die Zugänge nach untertag können als Tunnel, Schacht (obertägiger Schachtkopf) oder Blind-schacht (untertägiger Schachtkopf mit Erschliessungstunnel) ausgeführt werden.

Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag (BEUU)

- Hinsichtlich der Lage der BEUU respektive der Testbereiche nach der Umnutzung der BEUU im Rahmen der nuklearen Baubewilligung (s. Kap. 5.1) bestehen verschiedene Möglichkeiten, je nach Beschaffenheit des Wirtgesteins diese im Bereich des zentralen Bereichs oder im Bereich der Hauptlager / Pilotlager anzuordnen.

HAA- und SMA-Lagerteil

- Länge, Querschnittsgrösse, Querschnittsgeometrie, Vortriebstechnik und Anordnung der Lagerkammern (HAA-Lagerstollen und SMA-Lagerkavernen), der Lagerfelder sowie Orientierung der Lagerkammerachsen und Abstände zwischen den Lagerkammern können so angepasst werden, dass das Platzangebot in der Lagerzone optimal genutzt wird.
- Für die Ausbruchsicherung der HAA-Lagerstollen sind je nach standortspezifischer Situation alternative Methoden zur derzeitigen Planungsannahme (Ausbau mit Tübbing) denkbar; dies sind z.B. der Ausbau mit Spritzbeton, Stahlbögen und Netzen oder Kombinationen daraus.
- Beim Verfüllmaterial für die HAA-Lagerstollen werden neben reinem Bentonit auch Bentonit-zuschlagstoff-Mischungen (z.B. Bentonit/Sand-Gemische) oder andere Tonmaterialien in Betracht gezogen; ferner könnte das im Entsorgungsnachweis (Nagra 2002b) vorgeschlagene Granulat auch durch Bentonitblöcke ersetzt werden. Zudem stellt auch eine zementbasierte Verfüllung eine Variante dar (Nagra 2016a).
- Beim Verfüllmaterial der SMA-Lagerkavernen werden neben zementbasiertem Referenzmörtel auch alternative Zemente (z.B. Ordinary Portland Cement, OPC) und alternative Aggregate (z.B. Mischabbruch aus dem Rückbau) in Betracht gezogen.
- Für die Anordnung der Lagerfeldzugänge (Trassierung von Bau- und Betriebstunneln, Ausführung mit oder ohne Lüftungstunnel im HAA-Lagerteil, Umfahrung der Lagerzone zur Vorerkundung etc.) sind verschiedene Varianten denkbar. Auch hinsichtlich der Grösse, Anordnung, Zugänge und Lage der Pilotlager HAA und SMA gibt es verschiedene Möglichkeiten.

Bau- und Betrieb

- Für den Transport der HAA- und SMA-Endlagerbehälter im geologischen Tiefenlager besteht eine breite Palette von Möglichkeiten. Der Transport nach untertag kann über eine Schachtförderanlage oder im Falle eines Tunnels mittels Standseilbahn, gleisloser Fahrzeuge oder einer Zahnradbahn erfolgen.
- Zur Berücksichtigung allfälliger neuer Vorschriften, von Erfahrungen aus Tiefenlagerprojekten im Ausland sowie des technischen Fortschritts bis zur nuklearen Baubewilligung werden in Zusammenhang mit dem HAA-Endlagerbehälter für Planungszwecke verschiedene Möglichkeiten für die Realisierung in Betracht gezogen. Dies betrifft Fragestellungen zum Transport (Infrastruktur, Transportbehälter, Fahrzeuge), zu den Behältermaterialien und zum Wärmeleistungsgrenzwert. Als Material für die HAA-Endlagerbehälter stellen neben Karbonstahl oder Gusseisen auch alternative Behältermaterialien (verschiedene Keramiktypen) sowie spezifische Legierungen und Beschichtungen mit Kupfer, Titan oder Nickel Varianten dar (Diomidis et al. 2016).
- Bezüglich der Grösse und Beladung der SMA-Endlagerbehälter werden ebenfalls verschiedene Möglichkeiten in Betracht gezogen.
- Ebenso besteht bei der zeitlichen Umsetzung im Rahmen des Realisierungsplans Handlungsspielraum (s. Kap. 5).
- Zur Errichtung und Verfüllung der untertägigen Bauten existiert Handlungsspielraum, um standortspezifischen Gegebenheiten, einer allfälligen Etappierung einzelner Bauwerke oder Anforderungen aufgrund unterschiedlicher Baulose Rechnung zu tragen.

Beobachtungsphase und Verschluss

- Bei der Versiegelung und beim Verschluss gibt es verschiedene Möglichkeiten für die konstruktive Gestaltung und das Material der Siegel sowie das Material der Verfüllung (s. Kap. 3.1.2). Zusätzlich besteht grundsätzlich die Möglichkeit, bei Bedarf innerhalb der HAA-Lagerstollen sogenannte Zwischensiegel einzubauen. Angaben zur Versiegelung und zum Verschluss finden sich in Nagra (2021f). In diesem Hintergrundbericht zum EP21 werden das von der Nagra bevorzugte Konzept für die Versiegelung dargelegt und mögliche Varianten aufgezeigt.
- Weiter wird das Lager so ausgelegt, dass die Betriebszeiten bzw. die Beobachtungsphase verlängert werden können. Dafür sind Bauteile und Komponenten durch entsprechende Revisionen und Ersatz bzw. Erneuerungen bei Bedarf zu ertüchtigen. Die Möglichkeiten dafür sind in den entsprechenden Konzepten einzuplanen.

3.3 Auslegungsunterschiede HAA-Lager (Einzellager) zu Kombilager

Das HAA-Lager umfasst im Wesentlichen alle für den Bau und Betrieb des Kombilagers erforderlichen Anlagenelemente und Bauten mit Ausnahme derjenigen Anlagen und Bauten, die ausschliesslich für den SMA-Lagerteil benötigt werden.

Die wesentlichen Unterschiede des Auslegungskonzepts für das HAA-Lager im Vergleich zum Kombilager (Kap. 3.2.2) sind:

- Beim HAA-Lager entfällt der SMA-Lagerteil (SMA-Hauptlager, SMA-Pilotlager und SMA-Testbereiche).
- Bei der Oberflächenanlage entfällt die SMA-Verpackungsanlage und die Anlagen für das Verfüllmaterial der SMA-Lagerkavernen und der SMA-Endlagerbehälter.
- Die Versorgungsanlagen (Lüftung, Energieversorgung, Wasserversorgung, Wasserhaltung und Abwasserentsorgung) fallen kleiner aus, weil weniger untertägige Bauten versorgt werden müssen.
- Aufgrund der insgesamt kleineren Menge an radioaktiven Abfällen ist die Einlagerungsbetriebsphase beim HAA-Lager kürzer als beim Kombilager (s. Anhang A.2.1).

3.4 Auslegungsunterschiede SMA-Lager (Einzellager) zu Kombilager

Das SMA-Lager umfasst im Wesentlichen alle für den Bau und Betrieb des Kombilagers erforderlichen Anlagenelemente und Bauten mit Ausnahme derjenigen Anlagen und Bauten, die ausschliesslich für den HAA-Lagerteil benötigt werden.

Die wesentlichen Unterschiede des Auslegungskonzepts für das SMA-Lager im Vergleich zum Kombilager (Kap. 3.2.2) sind:

- Beim SMA-Lager fällt der HAA-Lagerteil weg (HAA-Hauptlager, HAA-Pilotlager und HAA-Testbereiche).
- Bei der Oberflächenanlage fallen die BE/HAA(WA)-Verpackungsanlage, die TLB-Behandlungsanlage und die Anlagen für das Verfüllmaterial der HAA-Lagerstollen weg.
- Die SMA-Lagerkavernen inklusive derjenigen des SMA-Pilotlagers werden vor Beginn der Einlagerung gebaut. Durch diese zeitliche Staffelung werden Bau- und Betriebsaktivitäten getrennt, d.h. während der Einlagerung sind keine untertägigen Bauaktivitäten für den Bau neuer Lagerkammern erforderlich.
- Weil kein paralleler Bau von Lagerkavernen während der Einlagerung erfolgt, werden nur zwei Zugänge nach untertag benötigt (der Hauptzugang und ein Nebenzugang). Über den Hauptzugang erfolgt der Transport der Abfälle und der Verfüllmaterialien von der Oberflächenanlage in den Lagerbereich. Über den Nebenzugang wird die Frischluftversorgung, der Besucherbetrieb und die Ver- und Entsorgung des Tiefenlagers sichergestellt (z.B. Energieversorgung, Wasserversorgung, Abwasserentsorgung und Wasserhaltung; Nagra 2016c).
- Die Versorgungsanlagen (Lüftung, Energieversorgung, Wasserversorgung, Wasserhaltung und Abwasserentsorgung) fallen kleiner aus, weil weniger untertägige Bauten versorgt werden müssen.
- Die Einlagerungsbetriebsphase ist beim SMA-Lager kürzer als beim Kombilager (s. Anhang A.2.1). Dies begründet sich in der gegenüber dem Kombilager kleineren Menge an radioaktiven Abfällen, die einzulagern sind.

4 Zuteilung der Abfälle zu den geologischen Tiefenlagern

Wesentliche Unterschiede zwischen dem EP16 und dem EP21

Die Art der Abfälle hat sich gegenüber dem Entsorgungsprogramm 2016 nicht geändert. Hingegen erfolgte mit Abschluss von SGT Etappe 2 eine Einengung auf ausschliesslich Standorte mit Opalinuston (OPA) als Wirtgestein und mit sehr ähnlichen sicherheitstechnischen Profilen. Entsprechend ist aus sicherheitstechnischen Gründen eine Abgrenzung von langlebigen mittelaktiven Abfällen²⁶ (LMA) und deren Einlagerung ins HAA-Lager nicht mehr notwendig. Es wird somit für die weitere Projektierung davon ausgegangen, dass die alphatoxischen Abfälle (ATA) zusammen mit den SMA im gleichen Lager eingelagert werden.

4.1 Abfallkategorien-orientierte Zuteilung der Abfälle auf die geologischen Tiefenlager

Eine Analyse der weltweit verfolgten bzw. implementierten Entsorgungskonzepte zeigt, dass es verschiedene Möglichkeiten der Zuteilung von radioaktiven Abfällen auf die verschiedenen Lager gibt, je nach Abfallinventar, gewähltem Sicherheitskonzept, Lagerauslegung und gewähltem Standort (unterschiedliche Beiträge der Geologie zur Rückhaltung und Langzeitsicherheit und der technischen Barrieren zur Sicherheit). Für SMA ergibt dies je nach Abfallzuteilung Oberflächenlager (z.B. Centre de l'Aube in Frankreich), Lager einige 10 m unter der Oberfläche (z.B. SFR in Schweden und VLJ in Finnland) bis zu Lager einige 100 m unter der Oberfläche (z.B. Bataapáti in Ungarn) (s. Kap. 3.1.1). Diese Lager unterscheiden sich stark in der Art des zugewiesenen Abfallinventars.

In Übereinstimmung mit der internationalen Praxis geht das schweizerische Entsorgungskonzept von zwei Lagertypen aus: einem für SMA und einem für HAA. Im Falle eines Kombilagers besteht das geologische Tiefenlager aus einem HAA-Lagerteil und einem SMA-Lagerteil (s. Kap. 3.1.1). Die grundsätzliche Zuteilung der radioaktiven Abfälle auf die geologischen Tiefenlager HAA und SMA erfolgt mit der Rahmenbewilligung und orientiert sich an den in Art. 51 KEV definierten Kategorien SMA, ATA, HAA. Abgebrannte Brennelemente sowie verglaste hochaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung werden dem HAA-Lager, schwach- und mittelaktive Abfälle sowie die alphatoxischen Abfälle (ATA; s. Kap. 2.1) dem SMA-Lager zugeordnet. Im Fall eines Kombilagers erfolgt grundsätzlich mit der Rahmenbewilligung eine analoge Abfallzuteilung; d.h. HAA werden dem HAA-Lagerteil und ATA und SMA dem SMA-Lagerteil zugeordnet. Da aber davon ausgegangen werden kann, dass beim Kombilager das Wirtgestein in sich sehr homogen ist und sicherheitstechnisch eine vergleichbare Barrierenwirkung aufweist, ist die Flexibilität für eine zweckorientierte Abfallzuteilung beim Kombilager grösser. In Anbetracht des Zeithorizonts bis zum Ende der Einlagerungsphase respektive allenfalls bis zum Verschluss des geologischen Tiefenlagers muss im Sinne der Optimierung (s. Anhang A.4) eine ausreichende Flexibilität erhalten bleiben, so dass geringe Verschiebungen in der Abfallzuteilung möglich sind und später im Verfahren in begründeten Fällen von der mit der Rahmenbewilligung in den Grund-

²⁶ Die Bezeichnung LMA für langlebige schwach- und mittelaktive Abfälle entstand im Zeitraum vor Inkrafttreten der aktuellen Kernenergiegesetzgebung. Sie bezeichnet schwach- und mittelaktive Abfälle, die aufgrund besonderer sicherheitstechnischer Anforderungen an die geologischen Barrieren eines SMA-Lagers (insbesondere bezüglich des langfristigen Schutzes vor Erosion) abgegrenzt und dem HAA-Lager zugewiesen wurden. Dies betraf z.B. das damals im Fokus der Betrachtung für ein SMA-Lager gestandene geologische Standortgebiet Wellenberg, ist aber für die in SGT Etappe 3 weiterzuverfolgenden Standortgebiete nicht mehr relevant.

zügen festgelegten Abfallzuteilung abgewichen werden kann. Mögliche Gründe für Abweichungen sind der zukünftige Umgang mit MIF-Abfällen (s. Anhang A.8.8) sowie mit SMA aus der Stilllegung von Oberflächenanlagen. Die notwendigen administrativen und technischen Massnahmen zum Umgang mit solchen Abweichungen sind definiert. Die Abfallmengen für die jeweiligen Kategorien sind in Tab. 2.1-1 ersichtlich.

Im RBG wird aufgezeigt, dass "mögliche Wechselwirkungen" zwischen verschiedenartigen Abfällen zu keiner sicherheitsrelevanten Beeinträchtigung führen (ENSI 2020b). Die Arten der den verschiedenen Lagern bzw. Lagerteilen und Lagerkammern zugeordneten Abfälle und deren Eigenschaften (Radionuklidinventar, Materialeigenschaften, Wärmeentwicklung, Gasbildung, Komplexbildner) sind in sich weitgehend homogen. Eine auf die spezifischen Abfalleigenschaften orientierte Auslegung des Lagers (z.B. Berücksichtigung der Wärmeleistung, chemische Eigenschaften, Gasbildung etc.) ist deshalb grundsätzlich möglich. Entsprechende Massnahmen sind im Rahmen der nuklearen Bau- und Betriebsbewilligungen darzulegen. Eine detaillierte Beschreibung der Abfälle und ihrer Eigenschaften findet sich in Nagra (2014c).

Die detaillierten Bedingungen für die Einlagerung der Abfälle werden erst in der Bau- bzw. Betriebsbewilligung festgelegt, wenn alle dazu notwendigen Informationen (Resultate der detaillierten Standortabklärungen und der detaillierten Auslegung der technischen Barrieren, effektiv vorliegende und absehbare Abfälle, insbesondere Abfälle aus Stilllegung und Rückbau der OFA sowie allenfalls weiterhin anfallende MIF-Abfälle²⁷) verfügbar sind.

In Anbetracht des Zeithorizonts sind entsprechend der in Anhang A.4 beschriebenen Umsetzung des Vorhabens geologische Tiefenlager im Rahmen eines ganzheitlich ausgerichteten Optimierungsverfahrens (s. Anhang A.4) aber auch später geringe Verschiebungen in der Abfallzuteilung grundsätzlich möglich; die hierzu notwendigen administrativen und technischen Massnahmen sind definiert.

²⁷ Der Realisierungsplan geht von einer Sammelperiode für MIF bis Ende 2064 aus (Ende des Einlagerungsbetriebs im SMA-Lager; s. Anhang A.2.1). Anhang A.8.8 enthält auf Empfehlung der KNS zudem Angaben hinsichtlich des Umgangs mit MIF-Abfällen nach dem Ende der Einlagerung (ab 2065). Die Verantwortung für deren Entsorgung liegt beim Bund. So muss gemäss Angaben der Agneb (Agneb 2019) über einen Zeitraum von 90 Jahren (2065 – 2155) mit einem endlagergerecht verpackten Abfallvolumen von ca. 4'000 m³ gerechnet werden; dies entspricht ca. 5 % der Menge aller bis 2065 erwarteten SMA. Da der definitive Entscheid, wie mit diesen MIF-Abfällen umgegangen wird, erst in ca. 50 bis 100 Jahren gefällt werden muss, wird dieses Volumen in keinem im Entsorgungsprogramm aufgeführten Abfallmengengerüst wiedergegeben.

5 Realisierungsplan für die geologischen Tiefenlager

Wesentliche Unterschiede zwischen dem EP16 und dem EP21

In Kap. 5 bzw. Anhang A.2.1 wird der Realisierungsplan für die geologischen Tiefenlager inklusive der zugrundeliegenden Vorgaben und Planungsannahmen dargestellt. Der Realisierungsplan ist die Basis sowohl für das im EP21 dargelegte strategische Arbeitsprogramm als auch für die Kostenermittlung im Rahmen der KS21. Der Stand der Arbeiten und die verbleibenden Aufgaben bis zur Rahmenbewilligung werden in Kap. 5.4.1 beschrieben; eine Beschreibung der Arbeiten nach der Rahmenbewilligung erfolgt in Kap. 5.4.2.

Die wesentlichen Unterschiede zwischen den Angaben im EP16 und im EP21 lassen sich folgendermassen zusammenfassen:

- Das EP21 enthält auch einen Realisierungsplan für das Kombilager; die Inbetriebnahme des Kombilagers ist 2050 vorgesehen.
- Die wichtigsten Anpassungen im Realisierungsplan beschränken sich auf die Vorbereitung und Abwicklung der erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag (EUU):
 - Im EP16 wurde davon ausgegangen, dass die Ausarbeitung des Gesuchs EUU seitens der Nagra unmittelbar nach Einreichung des Rahmenbewilligungsgesuchs (RBG; ab 2024) erfolgt; d.h. ohne Berücksichtigung der Erkenntnisse aus der fachtechnischen Begutachtung des RBG (2027) und vor dem Bundesratsentscheid (2029). Bei diesem Vorgehen hätten die Behörden im Vorfeld (bis 2024) Vorgaben zu den EUU erarbeiten müssen, dies ohne den Kenntnisstand des RBG berücksichtigen zu können. Im EP21 wird diesen Nachteilen Rechnung getragen. Die Ausarbeitung des Gesuchs EUU erfolgt erst nach dem Bundesratsentscheid, wenn allfällige Auflagen und Randbedingungen abschliessend geklärt sind. Zudem wird das Gesuch erst eingereicht, wenn der Volksentscheid erfolgt und die Rahmenbewilligung rechtskräftig ist.
 - Im EP16 erfolgte die Bauvorbereitung für die EUU (ab 2028) vor dem Bundesratsentscheid (2029) und ohne rechtsgültige Rahmenbewilligung; damit besteht ein erhebliches unternehmerisches Risiko. Die Realisierungspläne für das EP21 beinhalten neu eine Phase "Vorbereitung EUU" (Phase (2) in Fig. 5.3-1). In dieser Phase erfolgt nach Rechtskraft der Rahmenbewilligung die Bauvorbereitung für die EUU. Die Bauvorbereitung von einer Dauer von 3 Jahren ist typisch für ähnliche Grossprojekte und erfolgt parallel zur Prüfung des Gesuchs. In der Schlussphase können so allfällige Auflagen des UVEK bei der Vergabe der Aufträge für den Bau der EUU berücksichtigt werden.
 - Das Bewilligungsverfahren erlaubt die Einhaltung von 2050 als Zeitpunkt für den Beginn der Einlagerung von SMA ins SMA-Lager bzw. ins Kombilager. So beruht die aktualisierte Planung der EUU u.a. auf einer verstärkten Parallelisierung von Prozessen:
 - Für die Phase "Bau und Beginn EUU" (Phase (3) in Fig. 5.3-1) wird neu im EP21 von 5 anstatt 4 Jahren ausgegangen. Diese Änderung hat jedoch keinen Einfluss auf den übergeordneten Realisierungsplan, da bereits nach 4 Jahren mit zeitkritischen Experimenten in den Bauten für erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag (BEUU) begonnen werden kann.
 - Die Einreichung des nuklearen Baubewilligungsgesuchs SMA erfolgt im EP21 bereits 1 Jahr früher als im EP16. Dies führt dazu, dass die Bewilligungsphasen für den Bau (Phase (5) in Fig. 5.3-1) und den Betrieb (Phase (8) in Fig. 5.3-1) des SMA-Lagers bzw. Kombilagers neu 5 anstatt 4 Jahre betragen; damit wird der im EP16 von den Behörden geäusserten Empfehlung Rechnung getragen.

- Die Vorgaben an die Unterlagen für die nuklearen Bau- und Betriebsbewilligungsgesuche (Anhang 4 KEV) sehen eine Hierarchisierung der Unterlagen vor (Hierarchiestufen H1 – H4). Dies ermöglicht, dass Prozesse parallelisiert werden und für die Erbringung von experimentellen Nachweisen aus den EUU für den Bau (H2) als auch für den Betrieb (H3) mehr Zeit zur Verfügung steht. Die Parallelisierung von Prozessen in Zusammenhang mit der Abwicklung der EUU und der Erarbeitung der nuklearen Bau- und Betriebsbewilligungsgesuche wird im EP21 erstmals ausgewiesen und resultiert aus einer Konkretisierung der Abläufe nach der Rahmenbewilligung.
- Nicht geändert haben sich die Planungsannahmen für SGT Etappe 3. Der aktuelle Realisierungsplan im EP21 geht weiterhin davon aus, dass basierend auf den Ergebnissen der Felduntersuchungen sowie weiteren Erkenntnissen die Nagra 2022 die Auswahl der Standorte für die Vorbereitung der Rahmenbewilligungsgesuche gemäss Konzept Sachplan geologische Tiefenlager (BFE 2008) ankündigen kann und die Einreichung des Rahmenbewilligungsgesuchs 2024 erfolgt.

5.1 Gesetzliche Grundlagen und behördliche Vorgaben für den Realisierungsplan

In Tab. A.1-1 (Anhang A.1) sind die verfahrensbezogenen Vorgaben in KEG (2003) und KEV (2004), im Konzept SGT (BFE 2008) und der Richtlinie ENSI-G03 (ENSI 2020b) zusammengestellt. Diese Vorgaben stellen zusammen mit den Vorgaben der weiteren Gesetzgebung wie z.B. Umweltschutzgesetz (USG 1983) und Raumplanungsgesetz (RPG 1979) die Grundlage für die Realisierung der geologischen Tiefenlager dar. Der aus diesen Vorgaben resultierende grundsätzliche Ablauf der Realisierung mit den dabei erfolgenden wichtigsten Festlegungen wird nachfolgend kurz beschrieben.

Die Schweiz wird ihre radioaktiven Abfälle in geologischen Tiefenlagern entsorgen. Der dazu beste Standort in der Schweiz wird im Rahmen des Standortwahlverfahrens (Sachplan geologische Tiefenlager, SGT) durch den Bund festgestellt. Der Sachplan ist ein im Raumplanungsgesetz vorgesehenes Planungsinstrument des Bundes für gesamtschweizerisch bedeutungsvolle Infrastrukturanlagen.

- Das vom Bundesrat verabschiedete Konzept Sachplan geologische Tiefenlager SGT (BFE 2008) legt das Vorgehen für die Wahl von geologischen Standortgebieten im Hinblick auf die Rahmenbewilligungsgesuche für die geologischen Tiefenlager für SMA bzw. HAA fest. Das Sachplanverfahren gewährleistet, dass Standorte für geologische Tiefenlager in einem fairen, transparenten und partizipativen Verfahren evaluiert und bezeichnet werden. Damit sollen die Voraussetzungen geschaffen werden, dass die radioaktiven Abfälle in angemessener Zeit in der Schweiz entsorgt werden können. Es soll insbesondere erreicht werden, dass:
- die Öffentlichkeit über die Ziele, Grundsätze und Vorgehensweise des Bundes im Bereich der nuklearen Entsorgung informiert ist
- mit den betroffenen Kantonen, Gemeinden und Nachbarstaaten eine Zusammenarbeit stattfindet
- für die Entsorgungspflichtigen bei der Suche nach Standorten und der Realisierung von geologischen Tiefenlagern Planungs- und Projektierungssicherheit geschaffen wird
- die Regeln für die Standortwahl sowie die Verantwortlichkeiten und Kompetenzen von Anfang an und für alle Beteiligten klar sind
- Kriterien für die Auswahl von Standorten für geologische Tiefenlager definiert sind

- die verschiedenen, sich teilweise widersprechenden Interessen diskutiert, Zielkonflikte und mögliche Lösungen aufgezeigt werden und dadurch die Standortwahl nachvollziehbar wird
- die Bevölkerung der Standortregionen in geeigneter Weise mitwirken kann und ihre Anliegen soweit möglich berücksichtigt werden
- für die in Zusammenhang mit den Lagerprojekten erwarteten Entwicklungen in den betroffenen Gemeinden – wo nötig – Kompensationsmassnahmen erarbeitet und umgesetzt sowie allfällige Abgeltungen transparent vereinbart werden
- eine Koordination mit anderen Nutzungen sowie der Verfahren und Anforderungen nach KEG, RPG und USG stattfindet
- das Rahmenbewilligungsverfahren nach KEG von vorgängig lösbaren Konflikten entlastet und damit vereinfacht wird

Das Sachplanverfahren geologische Tiefenlager findet seinen Abschluss am Ende von SGT Etappe 3 mit der Genehmigung des Objektblatts durch den Bundesrat. Zeitgleich entscheidet der Bundesrat über die Erteilung der Rahmenbewilligung.

Mit der Rahmenbewilligung werden grundsätzliche, politisch bedeutsame Fragen entschieden, die sich in Zusammenhang mit einer Kernanlage stellen (Botschaft zum Kernenergiegesetz, BBl 2001). Deshalb wird vom Gesetzgeber verlangt, dass im Gegensatz zu den weiteren Bewilligungsschritten nach KEG der Entscheid des Bundesrats zur Rahmenbewilligung der Bundesversammlung zur Genehmigung vorgelegt werden muss (2030) und der Beschluss der Bundesversammlung dem fakultativen nationalen Referendum untersteht (2031). Bei einem geologischen Tiefenlager steht als Grundsatzentscheid neben der grundsätzlichen Zustimmung zum Vorhaben die Standortfrage im Vordergrund. Mit der Rahmenbewilligung werden der Standort und die Grundzüge des Projekts festgelegt (Art. 14 Abs. 2 KEG). Zu diesen Grundzügen gehören die ungefähre Grösse und Lage der wichtigsten Bauten sowie die Kategorien des Lagerguts und die maximale Lagerkapazität (s. Kap. 2.1). In der Rahmenbewilligung werden auch die Eignungskriterien definiert, die bei der weiteren Lagerrealisierung einzuhalten sind. Des Weiteren wird auch der vorläufige Schutzbereich festgelegt.

Die KEV-Vorgaben an das Rahmenbewilligungsgesuch sowie die Präzisierungen der sicherheitstechnischen Vorgaben für SGT Etappe 3 (ENSI 2018c) bedingen folgende Untersuchungen und Arbeiten:

- Bereitstellung einer geologischen Synthese mit geologischen Datensätzen für die Langzeitsicherheit und die Anlagenprojektierung
- Die Standorteigenschaften, der Zweck und die Grundzüge des Projekts werden im Sicherheitsbericht beschrieben (Art. 23 KEV); dieser Bericht umfasst auch den Sicherheitsnachweis für die Betriebsphase und die Nachverschlussphase (ENSI 2018c).
- Sicherheitstechnischer Vergleich der in Etappe 3 vertieft untersuchten Standortgebiete inklusive der Bewertung der für den Standortentscheid und Entscheid zum Lagertyp ausschlaggebenden Eigenschaften sowie mit Angaben zur Höhe der Kosten. Die Entsorgungspflichtigen haben in diesem Bericht das Ergebnis des sicherheitstechnischen Vergleichs und die Standortwahl eines Tiefenlagers abgestützt auf die Untersuchungen und Arbeiten im Rahmen des SGT zu begründen.
- Die Dokumentation der raumplanerischen Abstimmung im Hinblick auf raumplanerische Festsetzungen gemäss Sachplan erfolgt im Bericht zur Abstimmung mit der Raumplanung.
- Zur Vertiefung der Projekte der Anlage (inkl. Betrieb und Verschluss) sind Konzepte zu über- und untertägigen Anlagenelementen zu erarbeiten.

- Abklärungen zur Umweltverträglichkeit (UVP, 1. Stufe)
- Erarbeitung eines Konzepts für die Überwachung und Beobachtungsphase sowie eines Konzepts für den Verschluss des Tiefenlagers
- Erstellung eines Sicherungsberichts (Konzept)
- Erstellung eines Argumentenberichts, welcher die wesentlichen Gründe und Schlussfolgerungen der Berichte für die Standortwahl und für die Sicherheit des Tiefenlagers zusammenfasst und einen Dokumentenstrukturplan umfasst.

Zum Zeitpunkt der Rahmenbewilligung werden im Hinblick auf eine spätere Optimierung im Rahmen des mehrstufigen Bewilligungsverfahrens für die Lagerauslegung noch verschiedene Varianten offengehalten (s. Anhang A.3). Damit soll es ermöglicht werden, neue Erkenntnisse aus den erst nach der Rahmenbewilligung durchzuführenden erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag und den Ergebnissen und Erfahrungen aus dem RD&D-Programm und aus ausländischen Programmen mit zu berücksichtigen; viele der abschliessenden Entscheide werden spätestens beim nuklearen Baubewilligungsgesuch gefällt. Aus heutiger Sicht betrifft dies insbesondere:

- Varianten hinsichtlich Materialien und Auslegungskonzepte für die Endlagerbehälter
- Varianten für die Auslegung der HAA-Lagerstollen und SMA-Lagerkavernen
- Varianten für die Auslegung und Einbringung der Verfüllmaterialien
- Varianten für die Auslegung und Erstellung von Versiegelungselementen für die Lagerkammern
- Varianten für die Auslegung der Tunnel inklusive Ausbruchssicherung, Verkleidung und Wahl des Abdichtungssystems

Parallel zum Rahmenbewilligungsverfahren gemäss Art. 42-48 KEG erfolgt im Rahmen der Espoo-Konvention (UN-ECE 1991) die Notifikation des Auslands über das Projektvorhaben durch die zuständigen Bundesbehörden.

Nach Genehmigung des Standorts durch die Rahmenbewilligung und dessen gleichzeitiger Festsetzung in den Objektblättern des Sachplans werden gestützt auf die Kernenergiegesetzgebung schrittweise weitere Bewilligungen des Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) resp. des Bundesrats benötigt: die Bewilligung für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag, die nukleare Baubewilligung, die nukleare Betriebsbewilligung und – nach Abschluss der Betriebs- und Beobachtungsphase – die Anordnung des Verschlusses durch den Bundesrat. All diese Bewilligungsschritte berücksichtigen auch die Aspekte aus anderen Bereichen, insbesondere die Raumplanung und die Prüfung der Umweltverträglichkeit:

- *Bewilligung für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag (EUU):* Der gesetzliche Rahmen für das Gesuch EUU ist im KEG (2003) unter dem Thema erdwissenschaftliche Untersuchungen festgelegt (Art. 35: Bewilligungspflicht und -voraussetzung; Art. 36: Inhalt der Bewilligung). Das primäre Ziel der EUU ist die Charakterisierung der geologischen Situation untertag. Mit entsprechenden Experimenten werden wichtige Erkenntnisse im Hinblick auf den Bau des Lagers gewonnen resp. bestätigt (Tab. A.2-1 – A.2-3). Die Aktivitäten umfassen die Erstellung von Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag (BEUU), in denen (u.a.) Langzeitexperimente durchgeführt und sicherheitsrelevante Techniken erprobt und deren Funktionstüchtigkeit nachgewiesen werden. Mit dem Gesuch EUU wird die Infrastruktur für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag (Infrastruktur für EUU) beantragt. Diese umfasst alle Bauten, über- und untertägig, die bereits für die Phase EUU benötigt werden. Dazu gehören neben den BEUU und weiteren für die EUU benötigten Bauten auf Lagerebene (u.a. zentraler Bereich), auch die Zugangsbauwerke EUU, die benötigten Neben-

zugangsanlagen (NZA) und weitere Infrastrukturanlagen wie Zufahrtsstrassen etc. Obgleich zu diesem Zeitpunkt noch keine kerntechnische Anlage vorliegt, wird die Infrastruktur für erdwissenschaftliche Untersuchungen so geplant, dass sie bei Vorliegen der nuklearen Baubewilligung umgenutzt und integraler Bestandteil des geologischen Tiefenlagers werden kann²⁸. Die Bewilligung für EUU ist wie bei allen erdwissenschaftlichen Untersuchungen befristet (Art. 36 Abs. 2 KEG) und verleiht keinen Anspruch auf eine spätere Umnutzung in eine Kernanlage (Art. 3 Bst. d KEG).

- *Nukleare Baubewilligung* (Art. 15-18 KEG): Die nukleare Baubewilligung legt die geplante Kapazität der Anlage fest und enthält weiter ein Projekt für die Beobachtungsphase und einen Plan für den Verschluss. Zudem werden mit der Baubewilligung die wesentlichen Elemente der technischen Umsetzung festgelegt. Hierzu gehören auch die Testbereiche; sie sind zusammen mit dem Hauptlager und dem Pilotlager integraler Bestandteil der geologischen Tiefenlager (Art. 64 KEV). In den Testbereichen werden Langzeitexperimente, die im Rahmen von EUU initiiert wurden, während dem Bau weitergeführt²⁹. Dies ist notwendig, um im Hinblick auf die Betriebsbewilligung sicherheitsrelevante Eigenschaften des Wirtgesteins zur Erhärtung des Sicherheitsnachweises standortspezifisch zu bestätigen (Art. 37 Abs. 1 Bst. a KEG; Art. 65 Abs. 1 KEV). Zudem sind gemäss Art. 65 KEV in den Testbereichen vor Inbetriebnahme des Tiefenlagers sicherheitsrelevante Techniken zu erproben und deren Funktionstüchtigkeit nachzuweisen. Dies betrifft insbesondere die Technik zur Rückholung von Abfallgebinden bis zu einem allfälligen Verschluss ohne grossen Aufwand (Art. 37 Abs. 1 Bst. b KEG) und erfordert u.a. einen Nachweis hinsichtlich dem Einbringen und Entfernen von Verfüllmaterial (Art. 65 Abs. 2 KEV).
- *Nukleare Betriebsbewilligung* (vgl. Art. 19-25 KEG): Die nukleare Betriebsbewilligung legt den definitiven Schutzbereich des geologischen Tiefenlagers sowie die zulässige Kapazität der Anlage fest. Ebenfalls festgelegt werden Massnahmen zur Überwachung der Umgebung und die Stufen der Inbetriebnahme, deren Beginn eine vorgängige Freigabe durch die Aufsichtsbehörden erfordert (Art. 21 Abs. 1 KEG). Weiter legt die Betriebsbewilligung die Anforderungen, insbesondere Grenzwerte für die Aktivität der einzulagernden Abfälle fest (Art. 37 Abs. 3 KEG). Für die Einlagerung von Abfallgebinden in ein geologisches Tiefenlager bedarf es der Freigabe durch das ENSI (ENSI 2020b). Für nicht bereits früher erprobte Versiegelungselemente erfolgen die Erprobung der Versiegelungstechnik und der Nachweis deren Funktionstüchtigkeit während dem Betrieb des geologischen Tiefenlagers in den Testbereichen (Art. 65 Abs. 3 KEV).
- *Verschluss*³⁰ *des geologischen Tiefenlagers* (vgl. Art. 39 KEG): Der Bundesrat ordnet nach Ablauf der Beobachtungsphase die Verschlussarbeiten an, wenn der dauernde Schutz von Mensch und Umwelt gewährleistet ist (Art. 39 Abs. 2 KEG). Nach ordnungsgemäsem

²⁸ Mit dieser Vorgehensweise werden die folgenden sicherheitstechnischen Anforderungen umgesetzt: i) das Platzangebot innerhalb des Lagerperimeters im Wirtgestein ist möglichst gut zu nutzen, ii) die Schädigung des Wirtgesteins ist zu beschränken und iii) die untertägigen Hohlräume im Wirtgestein sind in ihrer Ausdehnung und Anzahl zu begrenzen.

²⁹ Der formelle Übergang von Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag in Testbereiche kann nach Vorliegen der Baubewilligung im Rahmen weiterer Verfahrensschritte erfolgen. Die Kernenergiegesetzgebung sieht entsprechende Möglichkeiten vor (z.B. Art. 17 Abs. 1 Bst. f KEG sowie Anhang 4 KEV).

³⁰ Für den Fall einer ungünstigen Entwicklung der Rahmenbedingungen während der Betriebsphase sind gemäss Richtlinie ENSI-G03 (ENSI 2020b) ausserdem technische und betriebliche Vorkehrungen für einen nur temporären Verschluss zu treffen, um die Einlagerungsbereiche des geologischen Tiefenlagers jederzeit kurzfristig für einige Jahrzehnte bis Jahrhunderte in einen passiv sicheren Zustand überführen zu können. Dies ist bei der Lagerauslegung zu berücksichtigen. Im Baubewilligungsgesuch ist ein Konzept für den temporären Verschluss vorzulegen.

Verschluss kann der Bundesrat eine weitere befristete Überwachung anordnen (Art. 39 Abs. 3 KEG). Nach ordnungsgemäsem Verschluss oder nach Ablauf der Überwachungsfrist stellt der Bundesrat fest, dass das Lager nicht mehr der Kernenergiegesetzgebung untersteht (Art. 39 Abs. 4 KEG).

5.2 Weitere Vorgaben und Annahmen für die Festlegung des Realisierungsplans

Zur Festlegung des Realisierungsplans für die geologischen Tiefenlager werden neben den in Kap. 5.1 diskutierten gesetzlichen und behördlichen Vorgaben und dem resultierenden grundsätzlichen Ablauf noch folgende Vorgaben und Annahmen berücksichtigt:

- Die Entsorgung erfolgt grundsätzlich in der Schweiz (Art. 30 Abs. 2 KEG); für die aus heutiger Sicht unwahrscheinliche Lagerung im Ausland kann ausnahmsweise unter strengen Auflagen eine Bewilligung erteilt werden (Art. 34 Abs. 4 KEG). Der abschliessende Entscheid, ob die Entsorgung eines Teils der Abfälle im Ausland erfolgen soll, wird spätestens vor Baubeginn des jeweiligen geologischen Tiefenlagers getroffen (Anhang A.3).
- Das schweizerische Entsorgungskonzept geht entweder von einem Kombilager bestehend aus einem HAA-Lagerteil und einem SMA-Lagerteil aus, in welchem das SMA- und HAA-Lager am gleichen Standort angeordnet werden, oder es werden zwei getrennte geologische Tiefenlager für HAA und SMA realisiert (s. Kap. 3.1.1).
- Die Zuteilung der radioaktiven Abfälle auf die geologischen Tiefenlager orientiert sich an den in Art. 51 KEV definierten Kategorien SMA, ATA, HAA (s. Kap. 4).
- Im Zeitplan wird der zeitliche Anfall der einzulagernden Abfälle berücksichtigt mit der Absicht, die Einlagerungsphase kurz zu halten.
- Zur Beurteilung der benötigten Zwischenlagerkapazität wird davon ausgegangen, dass sämtliche Abfälle für alle im EP21 aufgeführten Szenarien (Szenario «60 Jahre Betrieb KKW», s. Tab. 2.1-1; Szenario «50 Jahre Betrieb KKW», s. Anhang A.5) in den verfügbaren Zwischenlagern gelagert und von dort in die geologischen Tiefenlager transportiert werden müssen. Beim HAA-Teil des Kombilagers und HAA-Lager ist die notwendige Abklingzeit wegen der anfänglich hohen Wärmeleistung der BE/HAA(WA) zu berücksichtigen (s. Kap. 2.1).
- Die Konkretisierung der Konzepte bzw. Projekte (die Auslegung der Lager, die für den Bau, Betrieb und Verschluss zu verwendenden Technologien, die Beurteilung der Sicherheit) erfolgt stufengerecht in einem Detaillierungsgrad und mit einer Belastbarkeit, die den anstehenden Entscheiden angemessen ist. Der Überprüfung der Sicherheit und der grundsätzlichen technischen Machbarkeit wird bei jedem Schritt ein hoher Stellenwert zugeordnet; in frühen Schritten ist jedoch ein geringerer Detaillierungsgrad notwendig.
- Die Entscheide bei der Umsetzung des Realisierungsplans sollen nicht nur technisch, sondern auch gesellschaftlich breit abgestützt werden. Dazu ist der entsprechende Einbezug der Interessensgruppen sicherzustellen. In der Phase Standortwahl (s. Tab. A.2-1 bis A.2-3) ist dies durch das Sachplanverfahren sichergestellt (BFE 2008). Auch in den nachfolgenden nuklearen Bewilligungsverfahren ist der Einbezug der verschiedenen Interessensgruppen gesetzlich vorgesehen und geregelt. Dabei kommt auch der Information der Öffentlichkeit eine hohe Bedeutung zu (vgl. dazu Kap. 8).

5.3 Realisierungsplan für die geologischen Tiefenlager

Ausgehend von den in Kap. 5.1 und 5.2 beschriebenen Vorgaben und Annahmen sowie unter Berücksichtigung der notwendigen Zeiten für die Abwicklung der technischen Arbeiten und für die Durchführung der behördlichen Verfahren ergibt sich der in Fig. 5.3-1, A.2-1 und A.2-2 für die Vorhaben Kombilager bzw. HAA- und SMA-Lager als Balkendiagramm dargestellte Realisierungsplan. Diese Planung ist v.a. für spätere Phasen mit Ungewissheiten von mehreren Jahren verbunden. Der Realisierungsplan basiert zudem auf der Annahme, dass die Rechtsmittel in den Bewilligungsverfahren nicht ausgeschöpft werden. Der dem EP21 zugrundegelegte Zeitplan geht von einer Betriebsaufnahme des Kombilagers bzw. des SMA-Lagers im Jahr 2050 aus; für das HAA-Lager erfolgt die Betriebsaufnahme im Jahr 2060. Dieser Zeitplan ist die Basis für die Angaben in Kap. 6 (Betriebszeiten der Zwischenlager) und Kap. 7 (Kosten und Finanzierung). Die Balkendiagramme in Fig. 5.3-1, A.2-1 und A.2-2 widerspiegeln die Angaben aus Tab. A.2-1 bis A.2-3 (Anhang A.2.1) hinsichtlich der verschiedenen Phasen.

Der Realisierungsplan berücksichtigt insbesondere:

- die gesetzlich und behördlich vorgegebenen Genehmigungen und Bewilligungen und die damit zusammenhängenden Entscheidungspunkte (vgl. Anhang A.1)
- die für diese Genehmigungen und Bewilligungen notwendigen Unterlagen und den Zeitbedarf für die Abwicklung der hierzu erforderlichen technisch-wissenschaftlichen Arbeiten
- den Zeitbedarf für die behördlichen (Bewilligungs-)Verfahren
- den Zeitbedarf für den Einbezug der verschiedenen Interessensgruppen in die Entscheidungsfindung
- andere technisch bedingte zeitliche Rahmenbedingungen (z.B. die für BE nach der Entnahme aus dem Reaktorkern notwendige Abklingzeit bis zur Einlagerung)
- Der vorgeschlagene Realisierungsplan (Fig. 5.3-1, A.2-1 und A.2-2) und die zugehörigen Entscheidungspunkte bieten genügend Handlungsspielraum zur Optimierung der Gestaltung der Entsorgung (insbesondere die Auslegung der geologischen Tiefenlager und bei Bedarf die Optimierung der Konditionierverfahren) und schaffen die erforderliche Flexibilität für die Berücksichtigung zukünftiger Entwicklungen bezüglich einzulagernder Abfälle (z.B. Laufzeiten der KKW, Änderung rechtlicher Rahmenbedingungen). Der vorhandene Handlungsspielraum zur Anpassung an neue Erkenntnisse (Resultate aus dem schweizerischen Programm, Erfahrungen in ausländischen Programmen, Fortschritt von Wissenschaft und Technik generell) und die Flexibilität zur Berücksichtigung neuer Entwicklungen bezüglich einzulagernder Abfälle wird so lange erhalten bleiben, wie es das schrittweise Bewilligungsverfahren gemäss KEG (2003) zulässt. Das Vorgehen zur Optimierung ist in Anhang A.2 – A.4 dargestellt.

Der erforderliche Kenntnisstand und der Stand der Projektentwicklung lassen sich folgendermassen zusammenfassen:

- Für die Standortwahl und Erarbeitung des RBG gelten Vorgaben für SGT Etappe 3 (ENSI 2018c). Es müssen genügend Kenntnisse aus vertieften Felduntersuchungen (z.B. Seismik, Tiefbohrungen, Quartäruntersuchungen; s. Kap. 3.1.5) für robuste Aussagen zur Sicherheit und zur bautechnischen Machbarkeit vorliegen; dies betrifft u.a. die Wirtgesteinsseigenschaften (teilweise aus standortunabhängigen Untersuchungen; vgl. Kap. 5.7), die Platzverhältnisse und die Langzeitstabilität inklusive Aussagen zur Erosion. Mit der Rahmenbewilligung werden zudem die Grundzüge des Projekts festgelegt; hierzu sind Aussagen zur ungefähren Grösse und Lage der wichtigsten Bauten notwendig. Auf Stufe Rahmenbewilligung können

Konzepte zu ausgewählten Elementen der Lagerauslegung noch verschiedene Varianten beinhalten (z.B. Zugang nach untertag, Auslegung der technischen Barrieren und der Technologie für den Bau, Betrieb und Verschluss der Anlage; s. Kap. 3.2.3).

- Im Rahmen des nuklearen Baubewilligungsgesuchs wird die detaillierte Anordnung und Auslegung der untertägigen Lagerbauten und der technischen Barrieren sowie der Infrastruktur und Technologie für den Bau, Betrieb und Verschluss des Lagers festgelegt (Art. 24 Abs. 2 sowie Anhang 4 KEV). Im Gesuch werden die für den Bau des Lagers notwendigen Erkenntnisse aus erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag berücksichtigt. Mit diesem Realisierungsplan lassen sich auch die sonstigen Erfahrungen, die in den für die Schweiz relevanten ausländischen Programmen (insbesondere Finnland, Frankreich, Schweden) gemacht werden, bis zur Betriebsbewilligung mitberücksichtigen (vgl. dazu die Terminangaben in Tab. 3.1-1).

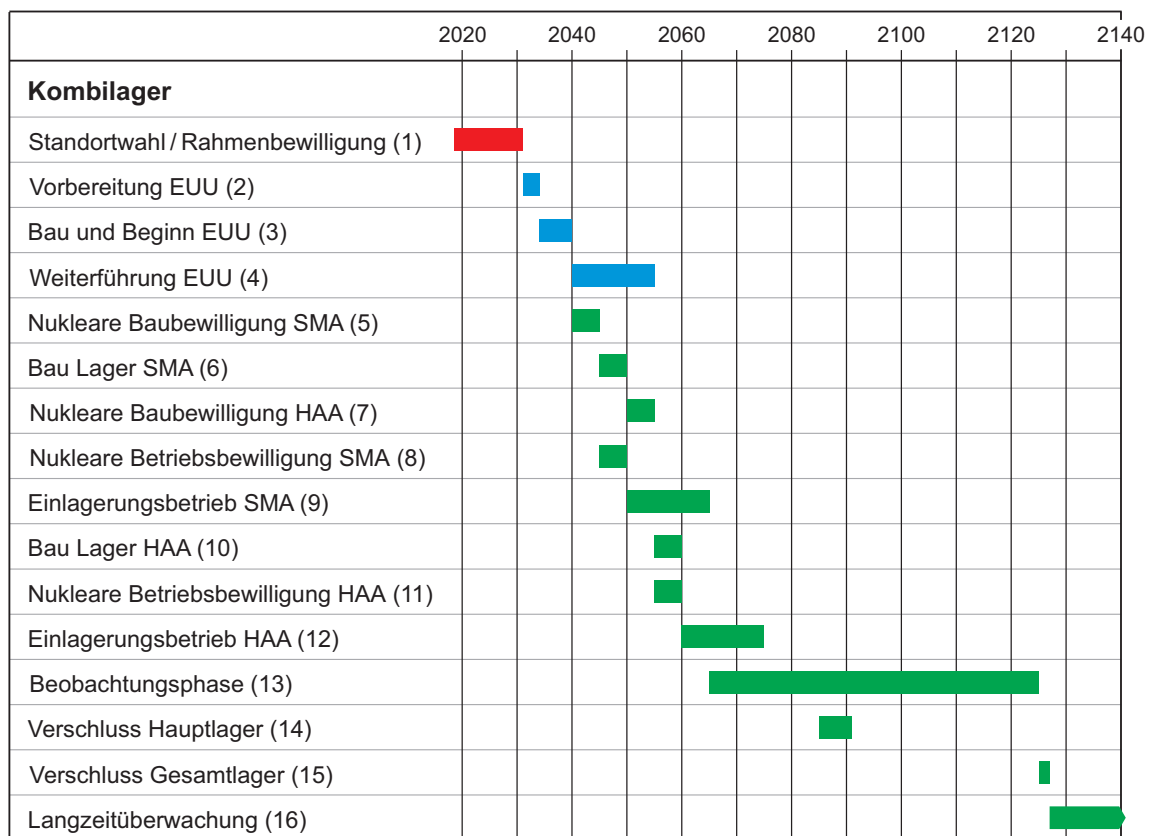


Fig. 5.3-1: Realisierungsplan für das Kombilager gemäss heutiger Planung

Als Lesehilfe sind die Phasen fortlaufend nummeriert.

Die wichtigsten Merkmale des Realisierungsplans sind:

- Die Wahl der Standorte für das Kombilager bzw. das SMA- und das HAA-Lager erfolgt im Sachplanverfahren; auch im Falle von Einzellagern wird das Verfahren bis zur Erteilung der jeweiligen Rahmenbewilligung parallel geführt.
- Mit der Rahmenbewilligung werden die Grundzüge des Projekts festgelegt; die detaillierte Auslegung der Anlagen erfolgt erst für die nukleare Baubewilligung. Die nukleare Baubewilligung berücksichtigt u.a. Erkenntnisse, die im Rahmen von EUU gewonnen werden.
- Der Bau der Anlagen erfolgt so weit, wie dies für die Aufnahme des Betriebs notwendig ist. Der Bau zusätzlicher BE/HAA(WA)-Lagerstollen innerhalb der erschlossenen Lagerzone ist für das HAA-Lager bzw. das Kombilager während der Betriebsphase vorgesehen.
- Nach Abschluss der Einlagerung in jeder Lagerkammer erfolgt ihr Verschluss; nach Einlagerung aller Abfälle erfolgen die Stilllegung und der Rückbau der Verpackungsanlagen und die Einlagerung allfälliger Stilllegungsabfälle der Verpackungsanlagen (s. auch Kap. 5.4.2 und Anhang A.2.1). Gleichzeitig beginnt die Beobachtungsphase (Annahme 50 Jahre; s. Tab. A.2-1 bis A.2-3); in dieser erfolgt nach einer beschränkten Dauer (Annahme 10 Jahre) die Verfüllung und Versiegelung der Zugänge zu den Lagerfeldern des Hauptlagers auf Lagerebene und der nicht mehr benötigten Zugänge von der Oberflächenanlage nach untertag.
- Nach Abschluss der Beobachtungsphase erfolgen der Gesamtverschluss und der Rückbau der Gesamtanlage (Zugangsbauwerke, restliche Teile der Oberflächeninfrastruktur), anschliessend kann die Überwachung von der Oberfläche aus weitergeführt werden.
- Damit die in den Realisierungsplänen (Fig. 5.3-1, A.2-1 und A.2-2) dargestellten Phasen sich ohne bedeutende Verzögerungen umsetzen lassen, müssen die nachfolgend aufgeführten Voraussetzungen termingerecht erfüllt werden.
- Damit die Rahmenbewilligungen 2031 rechtskräftig vorliegen, müssen sich die Feldarbeiten in SGT Etappe 3 ohne grössere rechtlich bedingte Verzögerungen und relevante Überraschungen abwickeln lassen³¹. Zudem muss für das RBG ein gesellschaftlich tragfähiges Projekt vorliegen, für welches auch fundierte technisch-wissenschaftliche Unterlagen vorhanden sind. Die Begutachtung der Gesuchsunterlagen durch die Behörden erfolgt ebenso wie der Bundesratsentscheid und dessen Bestätigung planmässig. Ein allfälliges nationales Referendum lässt sich ohne Verzögerungen abwickeln und die Volksabstimmung führt zu einem positiven Ausgang.
- Damit innerhalb der aufgeführten Zeiten rechtskräftige nukleare Bau- und Betriebsbewilligungen vorliegen bzw. von einer Betriebsaufnahme von 2050 für das SMA- und Kombilager und 2060 für das HAA-Lager ausgegangen werden kann, ist es notwendig, dass:
 - das Gesuch für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag (EUU) unmittelbar nach rechtskräftiger Rahmenbewilligung eingereicht wird
 - die Bauvorbereitungen für EUU abgeschlossen sind, wenn das UVEK die Bewilligung für EUU erteilt
 - sich der Bau der für die EUU benötigten Anlagen und die Durchführung der EUU ohne relevante Überraschungen abwickeln lassen; für das SMA-Lager respektive den SMA-Lagerteil des Kombilagers mit geringeren Anforderungen an die Langzeitsicherheit

³¹ Bis dato Ende Oktober 2021 hat das Bewilligungsverfahren und die Abwicklung der Tiefenbohrungen zu keinen Verzögerungen mit Auswirkungen auf den Realisierungsplan geführt.

werden einige wenige Jahre benötigt, um die geologische Situation auf Lagerebene zu charakterisieren und die für das nukleare Bau- respektive Betriebsbewilligungsgesuch notwendigen Daten zu erheben (s. Tab. A.2-1 und A.2-3); für das HAA-Lager respektive den HAA-Lagerteil des Kombilagers wird hierzu mehr Zeit eingeplant (s. Tab. A.2-1 und A.2-2)

- die Gesuchsunterlagen zu den nuklearen Bau- und Betriebsbewilligungsgesuchen technisch-wissenschaftlich fundiert sind, die Prüfung durch die Behörden gemäss den Vorgaben in Anhang 4 KEV erfolgt und danach die entsprechenden Bewilligungen und Freigaben planmässig erteilt werden; weiter sind keine Rekurse mit längeren Verzögerungen eingerechnet
- bei Vorliegen der nuklearen Baubewilligung der Bau der Anlagen umgehend in Angriff genommen wird
- sich die Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag inklusive der erforderlichen Zugänge so wie vorgesehen und ohne grössere Aufwände für die Umnutzung ins geologische Tiefenlager integrieren lassen

Die oben diskutierten Punkte sind aus heutiger Sicht potenziell zeitkritische Realisierungsschritte.

Für die planmässige Umsetzung des Realisierungsplans ist ein breites Spektrum von Themen zu bearbeiten (vgl. Anhang A.2.2 sowie Nagra 2021e). Dazu gehören Fragen zur Geologie, zur Sicherheit, zum Inventar der radioaktiven Abfälle sowie zur Auslegung, dem späteren Bau, Betrieb und Verschluss der geologischen Tiefenlager. Bei der Rahmenbewilligung stehen insbesondere Standortfragen im Vordergrund. Zudem muss eine solide Basis erarbeitet werden, damit die stufengerechte Berichterstattung für das Rahmenbewilligungsgesuch gemäss den Vorgaben der KEV (2004) sichergestellt werden kann.

Die Arbeiten nach Erteilung der Rahmenbewilligung fokussieren auf die Vorbereitung und Durchführung erdwissenschaftlicher Untersuchungen untertag (EUU) sowie die Tätigkeiten im Hinblick auf die nuklearen Bau- und Betriebsbewilligungsgesuche. Entsprechende Vorgaben sind in der Kernenergiegesetzgebung und in den Richtlinien der Aufsichtsbehörde geregelt.

Das Vorgehen bei der Realisierung inklusive Angaben zu den jeweiligen Arbeitsschwerpunkten werden im Folgenden beispielhaft für das Kombilager abgehandelt, gelten aber sinngemäss auch für Einzellager.

5.4 Vorgehen bei der Realisierung am Beispiel eines Kombilagers

Die Basis für diesen Abschnitt bildet der in Fig. 5.3-1 illustrierte Realisierungsplan für ein Kombilager. Da für ein Kombilager grundsätzlich die gleichen Aktivitäten und Meilensteine wie für Einzellager vorgesehen sind, stellt der Realisierungsplan für ein Kombilager in erster Näherung eine Zusammenführung der Realisierungspläne für die SMA- und HAA-Lager dar (Fig. A.2-1 und A.2-2). Für Hinweise auf Aktivitäten, die sich bei den Einzellagern unterscheiden, sei auf Kap. 5.5 verwiesen.

Nachfolgend werden die wichtigsten Planungs-, Bau- und Betriebsaktivitäten der einzelnen Phasen bis hin zum Verschluss des geologischen Tiefenlagers beschrieben. Als Lesehilfe sind die Phasen in Fig. 5.3-1 fortlaufend nummeriert. Der Realisierungsplan unterscheidet sich grundsätzlich nicht, wenn die Verpackungsanlagen extern (z.B. am Zwiilag) und nicht beim geologischen Tiefenlager angeordnet werden. Die detaillierte Ausgestaltung des Realisierungsplans für das Kombilager indes hängt vom Standort ab.

5.4.1 Laufendes Verfahren zur Standortwahl gemäss Sachplan geologische Tiefenlager: Aktueller Stand und verbleibende Aufgaben bis zur Rahmenbewilligung

Die grundsätzliche Vorgehensweise für die Phase Standortwahl / Rahmenbewilligung (1) ist im Konzeptteil des SGT beschrieben (vgl. BFE 2008) und gilt gleichermassen, ob Kombilager oder Einzellager realisiert werden.

Ende 2021 steht das Verfahren in der dritten und letzten Etappe des Sachplans. Die folgenden Angaben beschränken sich auf die noch anstehenden Aufgaben bis zur Erteilung der Rahmenbewilligung. Zur Rekapitulation der Ergebnisse aus SGT Etappe 1 und Etappe 2 sowie für Angaben zu den bisherigen Arbeiten und Ergebnissen in SGT Etappe 3 sei auf Kap. 1.3 und 3.1.5 (Geologie) verwiesen.

Aufgrund der Ergebnisse der Felduntersuchungen sowie weiterer Erkenntnisse erfolgt 2022 die Ankündigung der Nagra, für welchen Standort oder Standorte sie Rahmenbewilligungsgesuche ausarbeiten wird (Auswahl der Standorte für die Vorbereitung der Rahmenbewilligungsgesuche gemäss Konzept Sachplan geologische Tiefenlager; BFE 2008). Der Vergleich der Standortgebiete muss gemäss den im Sachplan festgelegten sicherheitstechnischen Kriterien und den durch das ENSI präzisierten Anforderungen (ENSI 33/649; ENSI 2018c) vorgenommen werden. Die bisherigen Ergebnisse der Feldarbeiten bestätigen, dass in den drei Standortgebieten grundsätzlich genügend Platz für die Anordnung eines Kombilagers vorhanden ist. Da die Realisierung eines Kombilagers mit betrieblichen, sicherheitstechnischen, ökologischen und ökonomischen Vorteilen verbunden ist (Kap. 3.1.1), wird, falls es die abschliessende sicherheitstechnische Gesamtbewertung erlaubt, mit dem Rahmenbewilligungsgesuch ein Kombilager beantragt. Die Dokumentation der Standortwahl erfolgt gemäss Vorgaben der Kernenergiegesetzgebung (Art. 62 KEV) und ENSI (2018c) als Bestandteil der Unterlagen zum RBG im sicherheitstechnischen Vergleich der zur Auswahl stehenden Optionen hinsichtlich der Sicherheit des geplanten Tiefenlagers sowie einer Bewertung der für die Auswahl des Standorts ausschlaggebenden Eigenschaften.

Als Startpunkt für die weitere Zusammenarbeit mit den Standortregionen und -kantonen hat die Nagra zu Beginn von Etappe 3 Vorschläge für die Konkretisierung der Oberflächeninfrastruktur (OFI) gemacht (Nagra 2019g) und geeignete Räume zur Anordnung der Nebenzugangsanlagen (NZA) vorgeschlagen. Grundlage für diese Vorschläge bildeten untertägige Perimeter für die Haupterschliessungsbereiche (HEB) der untertägigen Anlagen, welche standortspezifisch auf Basis geologischer Erkenntnisse festgelegt wurden (Nagra 2019b). Die Vorschläge zur Anordnung und Erschliessung der OFI wurden im Rahmen der Zusammenarbeit diskutiert und führten zu Stellungnahmen seitens der Standortregionen und -kantone hinsichtlich der Platzierung und Konkretisierung der OFI (s. Kap. 1.3) sowie zu einem weiteren Vorschlag seitens Nagra (Nagra 2021g).

Als eine Grundlage für die überregionale Zusammenarbeit hat die Nagra aufgezeigt, dass die Verpackungsanlage für hochaktive Abfälle (BEVA) am sinnvollsten entweder am Ort des geologischen Tiefenlagers oder beim Zwischenlager in Würenlingen (Zwilag) realisiert wird (Nagra 2020b). Analysiert wurden die Standortvarianten OFA beim Tiefenlager, Zwilag, ZWIBEZ, übrige KKW und «grüne Wiese». Die für diese Fragestellung eingesetzte Arbeitsgruppe mit Vertretern der Regionalkonferenzen und der beteiligten Kantone hat keine weiteren Vorschläge eingebracht und empfohlen, dass die Nagra die Wahl des Standorts der BEVA unter Berücksichtigung der verschiedenen diesbezüglichen Stellungnahmen vornehmen soll (AG VA-extern 2020).

Basierend auf den Ergebnissen der Zusammenarbeit wird die Nagra beim Meilenstein 'Auswahl der Standorte für die Vorbereitung der Rahmenbewilligungsgesuche (ASR)' für gewählte Standorte vorläufige Planungsstudien für die Oberflächeninfrastruktur veröffentlichen. Sie bildet die Grundlage für die anschliessende Zusammenarbeit mit den Standortregionen und -kantonen, um Fragen zur Oberflächeninfrastruktur (u.a. ungefähre Grösse und Lage der wichtigsten Bauten, Baulegistik) zu klären, so dass die Nagra die erforderlichen Unterlagen für das RBG ausarbeiten kann (Anlage in ihren Grundzügen, Umweltverträglichkeitsbericht, Bericht über die Abstimmung mit der Raumplanung).

Die involvierten Standortregionen erarbeiten in dieser Phase gemäss SGT zudem Projekte zur regionalen Entwicklung und Grundlagen für allfällige Kompensationsmassnahmen. Die Entsorgungspflichtigen regeln in SGT Etappe 3 mit dem/den Standortkanton(en) und der Standortregion die Frage allfälliger Kompensationsmassnahmen und Abgeltungen.

Nach der Begutachtung der Rahmenbewilligungsgesuche durch die Behörden erfolgt im Rahmen der Vernehmlassung eine Anhörung und die öffentliche Auflage des RBG. Anschliessend wird der Bundesrat über die Erteilung der Rahmenbewilligung befinden (2029) sowie zeitgleich die Festsetzungen gemäss Sachplan bzw. Raumplanungsgesetz genehmigen und diese in Objektblättern festhalten. Die in SGT Etappe 3 zurückgestellten Standorte sind gemäss SGT Reserveoptionen und bleiben bis zur Erteilung der Betriebsbewilligung des entsprechenden Lagers raumplanerisch gesichert. Beim Standortwahlprozess (alle drei Etappen des SGT) wird gemäss SGT (BFE 2008) der Sicherheit erste Priorität eingeräumt; raumplanerische und sozioökonomische Aspekte werden berücksichtigt, sind aber nachrangig. Mit der Rahmenbewilligung werden grundsätzliche, politisch bedeutsame Fragen entschieden, die sich in Zusammenhang mit einer Kernanlage stellen; insbesondere legt die Rahmenbewilligung den Standort fest. Dass es sich bei der Rahmenbewilligung um einen Grundsatzentscheid handelt, spiegelt sich darin, dass im Gegensatz zu den weiteren Bewilligungsschritten nach KEG (Kap. 5.4.2 und 5.5.2) der Entscheid des Bundesrats zur Rahmenbewilligung der Bundesversammlung zur Genehmigung vorgelegt wird und der Beschluss der Bundesversammlung dem fakultativen nationalen Referendum untersteht.

5.4.2 Beschreibung der Arbeiten in den Realisierungsphasen nach der Rahmenbewilligung

Vorbereitung der erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag (EUU) (2)

Nach Erteilung der Rahmenbewilligung wird das Projekt und das Gesuch im Hinblick auf die erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag (EUU) vorbereitet und eingereicht. Das Gesuch umfasst auch die hierzu notwendige Infrastruktur für EUU.

Bau und Beginn der erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag (EUU) (3)

Im Anschluss an die Erteilung der Bewilligung für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag nach Kernenergiegesetz (KEG 2003) folgt der Bau der Zugangsbauwerke EUU bis auf Lager-ebene, von wo aus die Erkundung der Lagerzone erfolgt. Beim Auffahren der Untertagbauten erfolgt eine vortriebsbegleitende Charakterisierung (Bau und Beginn EUU; Fig. 5.3-1). Zudem kann in den Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag (BEUU) mit zeitkritischen Experimenten begonnen werden (Tab. A.2-4). Die entsprechenden Befunde fliessen in die nuklearen Baubewilligungsgesuche für die beiden Lagerteile des Kombilagers ein. An der Oberfläche wird die notwendige Infrastruktur für den Bau des Zugangs und den Betrieb der Bauten für EUU sowie deren Erschliessungen gebaut. Während dem Bau sind temporäre Baustelleninstallationsflächen erforderlich.

Weiterführung EUU (4)

Der Fokus in dieser Phase liegt auf der Durchführung der erdwissenschaftlichen Untersuchungen zur Überprüfung der Lagerzone und Bestätigung sicherheitsrelevanter Eigenschaften sowie zur Optimierung der Auslegung der Bauten auf Lagerebene. Die Experimente mit Langzeitcharakter werden weitergeführt, so dass die Erkenntnisse in das Baubewilligungsgesuch gemäss KEG (2003) für den Lagerteil HAA einfließen können. Tab. A.2-4 stellt einen Überblick über die während der Phase "Weiterführung EUU" aus heutiger Sicht geplanten Aktivitäten und zugehörigen Ziele für ein Kombilager dar. Sie zeigt zudem auf, wie die Aktivitäten mit dem Realisierungsplan des Kombilagers (Fig. 5.3-1) vernetzt sind und zu Meilensteinen und Entscheidungen beitragen. Für eine detaillierte Darlegung des Zwecks, des Umfangs sowie der Art der wichtigsten RD&D-Aktivitäten wird auf den RD&D-Plan (Nagra 2021e) verwiesen.

Nukleare Baubewilligung SMA (5)

Sobald die erforderlichen Resultate vorliegen, kann das Gesuch für die Nukleare Baubewilligung SMA gemäss KEG (2003) für den Lagerteil SMA gestellt werden (2040). Als Grundlage für die Auslegung der Anlagen und die Beurteilung der Sicherheit basiert das Baubewilligungsgesuch auf den aktualisierten Unterlagen zur Geologie (inkl. Resultate aus den erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag), auf Resultaten aus dem RD&D-Programm sowie auf Erkenntnissen aus anderen Programmen). Im Rahmen der Anlagenprojektierung werden vorgängig alle Unterlagen bezüglich Anlagenauslegung für das nukleare Baubewilligungsgesuch vorbereitet (Tab. A.2-1). Des Weiteren werden die benötigten Berichte zur Langzeitsicherheit, zur Betriebssicherheit und zu den technischen Barrieren erstellt. Die behördliche Beurteilung der Unterlagen führt 2044 zur nuklearen Baubewilligung SMA (5) durch das zuständige Departement (UVEK).

Bau Lager SMA (6)

Im Anschluss an die Baubewilligung werden die für die Aufnahme des Einlagerungsbetriebs SMA (9) notwendigen Anlagen für den SMA-Lagerteil erstellt. Dazu werden die bisher bestehende Infrastruktur erweitert (z.B. durch den Bau der SMA-Verpackungsanlage bei der OFA oder beim Zwiilag), der Hauptzugang ausgebrochen sowie die SMA-Lagerkavernen aufgefahren. Tab. A.2-1 stellt einen Überblick über die während dem Bau aus heutiger Sicht geplanten Aktivitäten und zugehörigen Ziele dar. Parallel zum Bau erfolgt die Prüfung des Gesuchs für die nukleare Betriebsbewilligung SMA (8) für den SMA-Lagerteil. Ebenfalls in der Phase "Bau Lager SMA" erfolgt im Rahmen behördlicher Verfahrensschritte die Umnutzung von Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag in Testbereiche als Bestandteil des geologischen Tiefenlagers (s. Kap. 5.1). Im Testbereich werden Langzeitexperimente, die im Rahmen von EUU initiiert wurden, weitergeführt sowie vor Inbetriebnahme des Tiefenlagers sicherheitsrelevante Techniken erprobt und deren Funktionstüchtigkeit nachgewiesen (Tab. A.2-4).

Einlagerungsbetrieb SMA (9) / Bau Lager HAA (10)

Mit der Nuklearen Betriebsbewilligung SMA (8) für den SMA-Lagerteil beginnt 2050 der Einlagerungsbetrieb für SMA (9). Dabei wird zuerst das Pilotlager SMA mit einer repräsentativen Auswahl von Abfallbinden beschickt und die Langzeitüberwachung im Pilotlager SMA aufgenommen.

Während dem Bau des SMA-Lagerteils wird das Gesuch für die Nukleare Baubewilligung HAA (7) gemäss KEG (2003) für den HAA-Lagerteil ausgearbeitet. Nach der Betriebsaufnahme SMA erfolgt der Bau des HAA-Lagerteils (Bau Lager HAA (10)). Dazu wird die bestehende Infrastruktur um insbesondere die BE/HAA(WA)-Verpackungsanlage entweder bei der OFA oder beim Zwiilag erweitert, und die Lagerfeldzugänge zu den HAA-Lagerstollen sind über den bereits gebauten Betriebsschacht aufzufahren. Ebenso wird in dieser Phase das Gesuch für die Nukleare Betriebsbewilligung HAA (11) für den HAA-Lagerteil erarbeitet.

Einlagerungsbetrieb HAA (12)

Nach der Erteilung der Nuklearen Betriebsbewilligung HAA (11) für den HAA-Lagerteil beginnt die Einlagerung von BE/HAA(WA)-Endlagerbehältern in die Lagerstollen. Dabei wird zuerst das Pilotlager HAA mit einer repräsentativen Auswahl von Abfallgebinden beschickt und die Langzeitüberwachung im Pilotlager aufgenommen. Parallel zur Einlagerung werden weitere BE/HAA (WA)-Lagerstollen erstellt.

Beobachtungsphase (13)

Nach Abschluss der Einlagerung beginnt die Beobachtungsphase (Tab. A.2-1). Das Konzept der geologischen Tiefenlagerung vereint das Konzept der Endlagerung in geologischen Formationen mit der Möglichkeit der Rückholung. Dies bedeutet, dass vor dem Verschluss eines geologischen Tiefenlagers dessen Entwicklung u.a. anhand von Messungen im Pilotlager (Kontrollstollen), in den Testbereichen sowie Überwachungsaktivitäten in der Umgebung des Tiefenlagers für längere Zeit beobachtet wird. Während dieser Zeit sollen die Abfälle ohne grösseren Aufwand zurückgeholt werden können. Für Planungszwecke wird gemäss Art. 3 SEFV von einer Beobachtungsphase von 50 Jahren ausgegangen; deren Dauer kann aber bei Bedarf angepasst werden.

Verschluss Hauptlager (14)

Während der Beobachtungsphase werden im Hinblick auf den Verschluss des Gesamtlagers als erster Schritt die Zugänge zu den Lagerfeldern sowie zu den Haupt- und Pilotlagern SMA³² und HAA auf Lagerebene verfüllt und verschlossen. Zudem werden die nicht mehr benötigten Anlagenelemente der OFA (z.B. Verpackungsanlagen) zurückgebaut und der Hauptzugang verschlossen.

Fortsetzung der Beobachtungsphase (13)

Auch nach dem Verschluss der Haupt- und Pilotlager bleibt der Zugang zu den Testbereichen sowie den Kontrollstollen HAA und SMA der Pilotlager über die verbleibenden Zugänge (i.d.R. Betriebs- und Lüftungsschacht) offen. Die Überwachung wird weitergeführt.

³² Die derzeitigen Planungsannahmen gehen davon aus, dass der Verschluss des Hauptlagers SMA zweistufig erfolgt; damit kann auch die Einlagerung der Stilllegungsabfälle des Zwiilag und der BEVA sichergestellt werden.

Verschluss Gesamtlager (15)

Der Bundesrat ordnet nach Ablauf der Beobachtungsphase die Verschlussarbeiten an, wenn der dauernde Schutz von Mensch und Umwelt gewährleistet ist (Art. 39 Abs. 2 KEG). Dies umfasst den Verschluss der bis dahin noch verwendeten Testbereiche und der Kontrollstollen der Pilotlager und aller anderen offenen Untertagbauten inklusive der noch offenen Zugänge sowie der Rückbau der restlichen Teile der Oberflächeninfrastruktur. Nach ordnungsgemäsem Verschluss befindet sich das geologische Tiefenlager in der Nachverschlussphase. Auch in dieser Phase kann die Überwachung bei Bedarf von der Oberfläche aus weitergeführt werden (Umweltüberwachung). Der Bundesrat verfügt nach Ablauf dieser allfälligen weiteren, befristeten Überwachung von der Oberfläche (Art. 39 Abs. 3 KEG) die Entlassung des verschlossenen Tiefenlagers aus der Kernenergiegesetzgebung (Art. 39 Abs. 4 KEG). Die Verantwortung für die verschlossenen geologischen Tiefenlager geht auf den Bund über. Dieser kann im Rahmen der Langzeitüberwachung (16) weitergehende Massnahmen nach diesem Zeitpunkt, insbesondere eine Umweltüberwachung, durchführen (Art. 39 Abs. 4 KEG).

5.5 Vorgehen bei der Realisierung von Einzellagern

Die Basis für dieses Unterkapitel bilden die in Fig. A.2-1 und A.2-2 dargelegten Realisierungspläne für das HAA- und das SMA-Lager.

5.5.1 Standortwahl gemäss Sachplan geologische Tiefenlager und Rahmenbewilligung

Das Vorgehen für das HAA- und SMA-Lager entspricht in dieser Phase demjenigen für das Kombilager und die Aussagen in Kap. 5.4.1 gelten sinngemäss auch für das HAA- und das SMA-Lager.

Gestützt auf vertiefte erdwissenschaftliche Untersuchungen in den verbleibenden geologischen Standortgebieten und auf weitere Erkenntnisse wird die Nagra 2022 die Auswahl der Standorte für die Vorbereitung der Rahmenbewilligungsgesuche gemäss Konzept Sachplan geologische Tiefenlager (BFE 2008) bekannt geben (s. Kap. 5.4). Bei der Wahl von Einzellagern würde anschliessend anstatt eines Rahmenbewilligungsgesuchs für ein Kombilager je ein Rahmenbewilligungsgesuch für das HAA- und das SMA-Lager ausgearbeitet und den Behörden zur Überprüfung unterbreitet.

5.5.2 Arbeiten nach der Rahmenbewilligung

Das grundsätzliche Vorgehen und die generellen konzeptuellen Vorgaben und Annahmen für die Einzellager sind gleich wie beim Kombilager. Während das Kombilager hingegen spezifische konzeptuelle Vorgaben und Annahmen umfasst, die für beide Lagertypen gelten, kommen bei den Einzellagern nur solche zum Tragen, welche für den jeweiligen Lagertyp spezifisch sind.

Dies sind für das SMA-Lager:

- In den BEUU werden nur Experimente durchgeführt, die für die Realisierung des Vorhabens SMA von Relevanz sind (s. Tab. A.2-4).
- Parallel zum Einlagerungsbetrieb findet keine Lagererweiterung statt.

Für das HAA-Lager:

- In den BEUU werden nur Experimente durchgeführt, die für die Realisierung des Vorhabens HAA von Relevanz sind (s. Tab. A.2-4).

Diverse Synergieeffekte, welche beim Kombilager zum Tragen kommen (s. Kap. 3.1.1), fallen bei den Einzellagern weg (Nagra 2020a). Dies betrifft die Vorbereitung und Durchführung der erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag (z.B. Synergieeffekte hinsichtlich der Charakterisierung der geologischen Situation sowie des experimentellen Programms), den Bau (z.B. Elemente der Oberflächeninfrastruktur und des Zugangs nach untertag), den Betrieb der HAA- und SMA-Lagerteile (z.B. Nutzung von Zugangsbauwerken nach untertag) sowie die gemeinsame Beobachtungsphase und den Verschluss.

5.6 Forschungs- und Entwicklungsarbeiten

Die Realisierung von geologischen Tiefenlagern erfolgt in einem mehrere Jahrzehnte andauernden stufenweisen Prozess und erfordert eine umfassende Planungsgrundlage für die wissenschaftlichen und technischen Arbeitsschwerpunkte. Im RD&D-Plan (Nagra 2021e) sind der Zweck, der Umfang, die Art und die Zeitdauer der verschiedenen zukünftigen Aktivitäten zu Forschung, Entwicklung und Demonstration, die sich aus dem Realisierungsplan sowie den im EP21 dargestellten konzeptuellen Vorgaben und Annahmen ergeben, umfassend dargestellt.

Das EP21 stellt die für die Umsetzung des Realisierungsplans aus heutiger Sicht zu bearbeitenden Themen und Aktivitäten dar (Anhang A.2.2). Für eine ausführliche Erläuterung der Forschungsaktivitäten wird auf Nagra (2021e) verwiesen. Die Arbeiten zum RD&D-Programm decken ein breites Spektrum von Themen ab; dazu gehören Fragen zur Geologie, zur Sicherheit und zu sicherheitsrelevanten Phänomenen und Prozessen, zu den radioaktiven Abfällen, zum Lagerkonzept, zu den technischen Barrieren sowie zum Verschluss der geologischen Tiefenlager.

In den verschiedenen weltweit durchgeführten Entsorgungsprojekten sind seit vielen Jahren Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprogramme im Gange, welche teilweise im Rahmen der internationalen Zusammenarbeit durchgeführt werden. Dabei spielen für einige der RD&D-Themen Felslabors eine zentrale Rolle. Aus Sicht der Nagra sind die Erkenntnisse aus den Felslabors Mont Terri (CH), Bure (F), Grimsel Testsite (CH), Aspö (S) und Mol (BE) von besonderem Interesse. Daneben umfassen die Aktivitäten zur Forschung, Entwicklung und Demonstration u.a. Laborprogramme, Modellentwicklungen und themenspezifische Studien. So existiert in der Schweiz seit ca. 45 Jahren ein RD&D-Programm, in dessen Rahmen die Kompetenzzentren eingebunden werden (s. Kap. 5.7) und das dazu führt, dass die im Ausland durchgeführten Arbeiten ergänzt und bedarfsgemäss vertieft werden können. Die internationale Zusammenarbeit im Rahmen des europäischen Forschungsprogramms EURATOM ist für die Nagra weiterhin sehr wichtig. Kostenintensive Experimente und komplexe Fragestellungen sind in einem europäischen Netzwerk einfacher zu realisieren bzw. zu beantworten. Forschungsthemen und -aktivitäten werden am stufengerechten Informations- und Entscheidungsbedarf der einzelnen Meilensteine bei der Realisierung der geologischen Tiefenlager ausgerichtet. Die Beurteilung der Dringlichkeit und des für die verschiedenen Meilensteine erforderlichen Tiefgangs der Bearbeitung dieser Themen berücksichtigt den Stand der Kenntnisse sowie die Beurteilungen durch die Behörden und ihre Experten. Sie orientiert sich auch an den Vorgaben und Festlegungen in Anhang A.1 und A.3.

Im Hinblick auf die nuklearen Bau- und Betriebsbewilligungsgesuche sind spezifische RD&D-Themen vertieft zu untersuchen. Gewisse Nachweise sind während des Betriebs des Tiefenlagers zu erbringen. Beispiele spezifischer RD&D-Aktivitäten sind die Entwicklung der Behälter für BE/HAA(WA), die Überprüfung und Demonstration der Einlagerung und Rückholung der Abfallgebinde, der Verfüllung und Versiegelung sowie die Überwachung. Eine entsprechende kurze Darlegung der Themen findet sich in Anhang A.2.2; detailliertere Angaben können dem RD&D-Plan (Nagra 2021e) entnommen werden.

5.7 Angaben zur Abwicklung der Arbeiten und zum Qualitätsmanagement

Gemäss den gesetzlichen Vorgaben liegt die Verantwortung für die Entsorgung bei den Entsorgungspflichtigen (Art. 31 KEG). Die Entsorgungspflichtigen (Betreiber der KKW und der Bund) haben 1972 die Nagra gegründet für die Wahrnehmung aller Aufgaben im Hinblick auf die Realisierung der geologischen Tiefenlager.

Um ihre Aufgaben fachgerecht ausführen zu können, ist die Organisation der Nagra flexibel aufgebaut und wird auf die jeweiligen Bedürfnisse ausgerichtet. Die Nagra ist derzeit als Projektleitungsorganisation aufgebaut. Aufgaben werden als Aufträge an qualifizierte Auftragnehmer vergeben, wenn die Aufgabe genügend klar umschrieben werden kann und die Schnittstellen zu anderen Aufgaben gut beherrschbar sind. Dazu wird in Arbeitsgebieten, welche spezielles Wissen verlangen (insbesondere RD&D-Arbeiten), auf die im Rahmen einer langjährigen Zusammenarbeit etablierten Kompetenzzentren (z.B. PSI oder Universität Bern)³³, auf Institute im In- und Ausland oder auf langjährige erfahrene Auftragnehmer zurückgegriffen, welche für das entsprechende Thema über das Wissen und die notwendige Infrastruktur verfügen. Ausgewählte Themen werden im Rahmen gemeinsamer Projekte mit Partnerorganisationen abgewickelt, teilweise in Zusammenhang mit den Forschungsrahmenprogrammen der Europäischen Kommission, teilweise im Rahmen anderer vertraglicher Vereinbarungen. Dazu gehören insbesondere die Forschungsprogramme in den internationalen Felslabors.

Für obige Arbeiten stützt sich die Nagra, neben den auf dem Markt erhältlichen qualifizierten Auftragnehmern, auch auf über mehrjährige Verträge abgesicherte Kompetenzzentren, auf Institute im In- und Ausland und auf Partnerprojekte ab. Die Nagra selbst verfügt über qualifizierte Mitarbeitende mit dem für ihre Aufgaben erforderlichen Sicherheitsbewusstsein und übernimmt die Planung der Arbeiten, erstellt die Syntheseberichte und vertritt die Resultate und Schlussfolgerungen nach aussen (bei Bedarf unter Beizug von Schlüsselauftragnehmern). Die Beauftragung und Abwicklung der Arbeiten erfolgt innerhalb eines klar definierten Management-Systems, welches seit 2005 als Qualitätsmanagement-System gemäss ISO 9001 zertifiziert ist. Innerhalb dieses Systems spielen Reviews eine zentrale Rolle. Ebenso führt das System dazu, dass das Qualitätsbewusstsein für interne Arbeitsabläufe sowie für die externe Berichterstattung bereits in der Planungsphase entscheidend gefördert wird; in Anbetracht der Langfristigkeit des Vorhabens geologische Tiefenlager kommt diesem Aspekt eine grosse Bedeutung zu.

³³ Mit Langfristverträgen wird über Kompetenzzentren sichergestellt, dass ein erfahrener Pool an Mitarbeitenden sowie eine spezielle Infrastruktur für ausgewählte Arbeitsgebiete zur Verfügung stehen. Entsprechend ihrer Ausrichtung führen diese Kompetenzzentren die Forschungsarbeiten selbständig, ohne Einflussnahme der Nagra auf die detaillierte Ausgestaltung der Forschung aus. Damit wird sichergestellt, dass die Resultate als wissenschaftlich unabhängig anerkannt sind.

5.8 Überlieferung von Informationen an künftige Generationen

In der Kernenergiegesetzgebung ist eine Reihe von Massnahmen zur Überlieferung von Informationen über ein geologisches Tiefenlager an künftige Generationen vorgesehen. Der Eigentümer eines geologischen Tiefenlagers muss eine Dokumentation erstellen, die für eine langfristige Sicherstellung der Kenntnisse über das Lager geeignet ist (Art. 71 KEV). Gemäss Art. 40 KEG muss der Bundesrat dafür sorgen, dass diese Informationen aufbewahrt werden und die Kenntnisse über das Lager langfristig erhalten bleiben (Langzeitarchivierung). Zudem schreibt das Gesetz die Markierung des geologischen Tiefenlagers vor. Ein Konzept für die Markierung muss vom Eigentümer im Rahmen des Baubewilligungsgesuchs vorgelegt werden (ENSI 2020b).

Der Stand der Arbeiten auf dem Gebiet der Überlieferung von Informationen an künftige Generationen ist international unterschiedlich weit fortgeschritten. 2011 lancierte die Nuclear Energy Agency (NEA) der OECD das Projekt "Preservation of Records, Knowledge and Memory (RK&M) Across Generations". Der Schlussbericht wurde 2019 u.a. mit folgender Empfehlung veröffentlicht (OECD/NEA 2019): Fragen der Langzeitarchivierung und der Markierung sollen nicht einzeln, sondern vielmehr – zusammen mit einem breiten Spektrum von Massnahmen zum Informations- und Wissenserhalt – im Rahmen eines globalen Systems betrachtet werden.

Das Nachfolgeprojekt "Information, Data and Knowledge Management (IDKM)" wurde 2020 gestartet. Dadurch sollen die fachlichen Überlegungen international weiterhin vernetzt, mögliche Lösungen analysiert und Entscheidungen gegenseitig kommuniziert werden.

6 Zwischenlagerung

Wesentliche Unterschiede zwischen dem EP16 und dem EP21

Die grundsätzlichen Annahmen zur Ausgestaltung der Zwischenlagerung haben sich für die SMA/ATA-Abfälle seit 2016 nicht verändert. Aufgrund der punktuellen Anpassung des Realisierungsplans und unter Berücksichtigung der betrachteten Szenarien wurden die Angaben zur Ausgestaltung, Dauer und Kapazität der Zwischenlagerung überprüft und wo notwendig angepasst (u.a. die Anzahl verfügbarer bzw. zu berücksichtigender Stellplätze). Dazu wird im EP21, analog zum EP16, die Zwischenlagerlogistik (Einbringung von Gebinden in Lagercontainer, Randbedingungen für die Stapelhöhen, maximale Bodenbelastungen) berücksichtigt.

Für die Zwischenlagerkapazitäten für abgebrannte Brennelemente und für verglaste hochaktive Abfälle wurde in Erfüllung der Bundesratsaufgabe 5.8 ein Konzept zur Erhöhung der Anzahl der Stellplätze für Transport- und Lagerbehälter für BE und HAA(WA) erstellt (Kasemeyer 2021). Die Bewertung der Zwischenlagerkapazitäten im EP21 basiert auf der möglichen Anzahl der Stellplätze, welche sich unter den im Konzept beschriebenen optimierten Bedingungen begründen lässt.

6.1 Ausgestaltung, Dauer und Kapazität der Zwischenlagerung

Die heute anfallenden Abfälle aus den KKW und die für die geologische Tiefenlagerung vorgesehenen Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung (MIF) werden zwischengelagert. Die Zwischenlagerung der Betriebs-, Reaktor- und Stilllegungsabfälle der KKW erfolgt im ZwiLAG oder ZWIBEZ. Die Lagerung von Abfällen aus dem MIF-Bereich erfolgt im Bundeszwischenlager (BZL-1 resp. das sich im Bau befindliche BZL-2) auf dem Gelände des PSI und unterliegt der Verantwortung des Bundes.

Langfristig stehen folgende Anlagen bzw. Nutzungseinheiten für die Zwischenlagerung zur Verfügung bzw. sind geplant (mit Nomenklatur für die Verwendung in Tab. 6.1-1):

- BZL-1: bestehendes Bundeszwischenlager am PSI für die Lagerung von MIF-Abfällen
- BZL-2: Geplantes Bundeszwischenlager am PSI für die Lagerung von MIF-Abfällen³⁴
- ZWIBEZ-SAA: Zwischenlager des KKB für schwachaktive Abfälle
- ZWIBEZ-HAA: Zwischenlager des KKB für verglaste hochaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente
- ZwiLAG-SMA: Lager für schwachaktive und gewisse mittelaktive Abfälle³⁵
- ZwiLAG-MAA: Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle und/oder endkonditionierte brennbare Abfälle³⁶
- ZwiLAG-BE/HAA(WA): Behälterlager für verglaste hochaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente

³⁴ Das Bundeszwischenlager beim Paul Scherrer Institut muss erweitert werden. Hierzu reichte das PSI 2014 beim Bundesamt für Energie (BFE) ein Bau- und Betriebsbewilligungsgesuch ein. Das BZL-2 befindet sich zurzeit im Bau.

³⁵ Das ZwiLAG-SMA umfasst Lagerbereiche über zwei Gebäude, das Lagergebäude S sowie Lagerplätze über den Lagerbuchten im Lagergebäude M.

³⁶ Das ZwiLAG-MAA umfasst ausschliesslich die Lagerbuchten im Lagergebäude M.

Die abgebrannten BE werden ohne Vorbehandlung in Transport- und Lagerbehälter (TLB) verpackt und im Zwilag-BE/HAA(WA) bzw. im ZWIBEZ-HAA zwischengelagert, nachdem sie in den Brennelementlagerbecken der KKW bzw. im KKG-Nasslager genügend abgekühlt sind. Auch die Abfälle aus der Wiederaufarbeitung werden zwischengelagert: die verglasten HAA(WA) in TLB im Zwilag-BE/HAA(WA), die anderen Abfälle aus der Wiederaufarbeitung in Lagercontainern im Zwilag-MAA.

Aufgrund der vorgesehenen Inbetriebnahme des geologischen Tiefenlagers für SMA bzw. des SMA-Lagerteils des Kombilagers im Jahr 2050 müssten bei einem 50-jährigen Betrieb (sog. Szenario «50 Jahre Betrieb KKW»; s. Anhang A.5) alle Abfälle der KKW im Zwilag/ZWIBEZ zwischengelagert und von dort zu den geologischen Tiefenlagern transportiert werden. Bei einem 60-jährigen Betrieb der KKW (Szenario «60 Jahre Betrieb KKW»; s. Kap. 2.1) wäre es prinzipiell möglich, insbesondere Stilllegungsabfälle vom KKL direkt zum SMA-Lager zu transportieren (s. Tab. A.2-5). Für eine konservative Abschätzung der maximal benötigten Zwischenlagerkapazität wird jedoch angenommen, dass auch beim Szenario «60 Jahre Betrieb KKW» alle Abfälle im Zwilag und ZWIBEZ zwischengelagert werden, bevor sie zu den geologischen Tiefenlagern transportiert werden. Damit wird im EP21 einem konservativen Abfallvolumen sowie einer allfälligen Verzögerung der Inbetriebnahme des SMA-Lagers bzw. des Kombilagers Rechnung getragen.

Für die Beurteilung der Zwischenlagerkapazität ist die Phase nach dem Rückbau der KKW inklusive des Rückbaus der dortigen Zwischenlager massgebend. Im EP21 werden die Kapazitäten der dezentralen SMA-Zwischenlager bei den KKW – analog zum EP16 – nicht betrachtet. Die Zwischenlagerkapazität während des Betriebs der KKW ist in jedem Fall gegeben, da bei Zwilag/ZWIBEZ zu jeder Zeit eine ausreichende Kapazität zur Verfügung steht (für Angaben zu Betriebszeiten der KKW inklusive dezentrale SMA-Zwischenlager vgl. Tab. A.2-5).

Im EP21 erfolgt analog dem EP16 eine detailliertere Betrachtung der Zwischenlagerkapazität (s. Anhang A.6); diese berücksichtigt die tatsächliche Zwischenlagerlogistik vor Ort. Die Zwischenlager ZWIBEZ-SAA und Zwilag-SMA/-MAA sind auf die Lagerung von Lagercontainern bzw. Gitterboxen ausgelegt, in die (kleinere) Abfallgebinde eingestellt werden. Auf jedem Stellplatz ist eine mehrfache Stapelung der Gitterboxen möglich. Daneben fallen aus der Stilllegung der KKW Betoncontainer an, die direkt ohne Einstellung in Lagercontainer bzw. Gitterboxen gelagert werden; die Stapelhöhe bei Betoncontainern wird durch die maximale Bodenbelastung begrenzt. Bei den Zwischenlagern ZWIBEZ-HAA und Zwilag-BE/HAA(WA) für HAA werden die TLB direkt eingestellt, die maximale Kapazität ist somit durch die Zahl der Stellplätze limitiert.

Es zeigt sich, dass für die Abfälle der KKW auch für das Szenario «60 Jahre Betrieb KKW» bei der Zwischenlagerung aller Abfälle genügend Zwischenlagerkapazität vorhanden ist (Tab. 6.1-1). Der Bundesrat hat im Hinblick auf das Entsorgungsprogramm 2021 eine spezifische Empfehlung zur Anzahl der Stellplätze für die Zwischenlagerung von BE und HAA(WA) (Bundesratsaufgabe 5.8, vgl. Anhang A.6) formuliert und die Betreiber/innen der Kernkraftwerke aufgefordert, im EP21 neue Konzepte zur Erhöhung der Anzahl Stellplätze für die Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente und verglasten hochaktiver Abfälle zu erstellen. In Kasemeyer (2021) wird ausgewiesen, dass auch unter Berücksichtigung der gestellten Anforderungen verschiedene Varianten zur Erhöhung und Optimierung der Anzahl Stellplätze bestehen. In Anhang A.6 finden sich entsprechende Ergebnisse der durchgeführten konzeptuellen Abklärungen.

Falls sich die Inbetriebnahme der geologischen Tiefenlager verzögern sollte, können die Zwischenlager mit administrativen und technischen Massnahmen (Verträge, Unterhalt, evtl. Nachrüstungen, Ersatz oder Erneuerung von ausgewählten Komponenten) auch länger betrieben werden^{37, 38}.

Tab. 6.1-1: Belegung der Zwischenlager für das Szenario «60 Jahre Betrieb KKW»

Für Details zum Szenario «60 Jahre Betrieb KKW» s. Kap. 2.1.

Zwischenlager ¹⁾	Belegungsgrad [%] ⁴⁾
BZL-1 und BZL-2 ²⁾	98.5
ZWIBEZ-SAA	64
Zwilag-MAA	93 ⁵⁾
Zwilag-SMA	78
Zwilag-BE/HAA(WA) + ZWIBEZ-H ³⁾	91 (105) ⁶⁾

¹⁾ Für Angaben zu den Betriebszeiten der Zwischenlager s. Tab. A.2-5.

²⁾ Der Rückbau der Anlagen des PSI-West ist nach 2050 geplant. Da das SMA-Lager bzw. das Kombilager dann zur Verfügung steht, müssen diese Abfälle nicht zwischengelagert werden, andernfalls muss der Platz vor Ort genutzt werden.

³⁾ Zwilag-BE/HAA(WA) und ZWIBEZ-HAA können bezüglich Kapazität als Einheit betrachtet werden.

⁴⁾ Die detaillierte Herleitung des Belegungsgrads ist in Anhang A.6 zu finden.

⁵⁾ Bei zusätzlichem Bedarf an Lagerkapazität im Zwilag-MAA kann die Konditionierung bzw. Umverpackung von Lagergut jederzeit für eine Lagerung im Zwilag-SMA erfolgen.

⁶⁾ Ohne Optimierungsmassnahmen ist bei der Belegung von Zwilag-BE/HAA(WA) und ZWIBEZ-HAA von einem Belegungsgrad von 105 % auszugehen. Wird hingegen die Anzahl der Stellplätze optimiert, führt dies zu einem Belegungsgrad der Anlagen für die Zwischenlagerung für abgebrannte Brennelemente und verglaste hochaktive Abfälle von 91 % (s. Anhang A.6).

Für ihre Einlagerung in die geologischen Tiefenlager werden die Abfälle aus den Zwischenlagern ausgelagert und – sofern notwendig – in speziellen Transportbehältern zu den Verpackungsanlagen (beim Zwilag oder am Standort der geologischen Tiefenlager) transportiert.

Der Transport von abgebrannten BE und HAA(WA) muss in geeigneten und zugelassenen Transportbehältern erfolgen. Es ist vorgesehen, hierzu die bestehenden TLB zu verwenden³⁹. Dies setzt eine transportrechtliche Zulassung zum Transportzeitpunkt voraus. Im Fall einer externen BEVA

³⁷ Bei einem allfällig verlängerten Betrieb von Zwischenlagern ist dem Alterungsmanagement Rechnung zu tragen.

³⁸ Falls sich eine allfällige Verzögerung der Inbetriebnahme des SMA-Lagers bzw. des Kombilagers (Kap. 5.3) abzeichnen würde, wären zeitgerecht neue Kapazitätsreserven für die Zwischenlagerung von MIF-Abfällen (Produktion ab 2050) und für die Stilllegung der Anlagen des PSI-West einzuplanen.

³⁹ Die Eigentümer der Behälter implementieren ein Alterungsüberwachungskonzept gemäss der Richtlinie ENSI-B17 (ENSI 2020a).

am Standort des Zwiilag werden die beladenen Endlagerbehälter in einem speziellen Transportbehälter, der die Anforderungen des Transportrechts erfüllt, transportiert. Entsprechende Konzepte liegen vor.

Ein Konzept für die Alterungsüberwachung zeigt auf, dass eine vereinfachte Wiederzulassung von TLB für den Transport möglich sein wird. Das Konzept basiert auf dem Leitfaden von ENSI für die trockene Zwischenlagerung (ENSI 2018a); dieser Leitfaden regelt u.a. auch das Alterungsmanagement von Transport- und Lagerbehältern für abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle.

Die TLB werden nach ihrer Verwendung soweit möglich verwertet; radioaktiver Abfall unter anderem aus der Dekontamination und Zerlegung der TLB wird sachgerecht entsorgt. Der grösste Teil der TLB kann aber – z.T. nach entsprechender Abklinglagerung – konventionell entsorgt oder wiederverwertet werden. Die für den Transport notwendige Infrastruktur (Be- und Entladung der Transportbehälter) ist entweder vorhanden oder als Konzept vorliegend, dies gilt auch für die für den Transport notwendigen Waggons und Strassenfahrzeuge. Der Handlungsspielraum zur Berücksichtigung von neuen Erfahrungen, technischen Neuerungen und neuen Vorschriften ist gewährleistet (Tab. A.3-1).

Durch die Revision der Strahlenschutzverordnung (StSV 2017) mit revidierten nuklidspezifischen Freigrenzen (vollständig berücksichtigt in den EP21-Szenarien; s. Kap. 2.1 und Anhang A.5) fällt im Vergleich zu EP16 zusätzliches Material an (rund 3'500 m³), das jedoch befreit und – z.T. nach einer Abklinglagerung – dem konventionellen Wertstoffkreislauf zugeführt werden kann. Durch die Abklinglagerung wird die Befreiung von radioaktiven Materialien zu einem späteren Zeitpunkt erreicht. Sie definiert sich durch die Lagerung dieser Materialien zur Ausnutzung des radioaktiven Zerfalls mit dem Ziel der Unterschreitung der Freigrenzen gemäss der Strahlenschutzverordnung (StSV 2017) und der anschliessenden radiologischen Befreiung. Dazu sind Abklinglager nötig, wo das Material bis zu seiner endgültigen Befreiung und konventionellen Entsorgung so aufbewahrt wird. Die Lager sind so auszustatten, dass ein unkontrollierter Austritt radioaktiver Stoffe verhindert wird.

Bei den Materialien, die für eine Abklinglagerung berücksichtigt werden, handelt es sich um sehr schwach radioaktives Material, welches aufgrund seiner niedrigen Radioaktivität nach 30 Jahren⁴⁰ unter den Freigrenzen der Strahlenschutzverordnung liegt. Den Hauptanteil dieses Materials bilden Metalle und Bauschutt aus der Stilllegung. Bereits heute wird die Abklinglagerung als bewährte Methode zur Rezyklierung und zur Befreiung von Materialien und Minimierung von radioaktiven Abfällen angewandt.

Der Bundesrat hat im Hinblick auf das Entsorgungsprogramm 2021 eine spezifische Empfehlung zur Langzeitstabilität von abgebrannten Brennelementen formuliert (Bundesratsaufgabe 6.1; s. Anhang A.7) und die Nagra aufgefordert, Forschungsaktivitäten hinsichtlich Brennelement-Alterung und Trockenlagerung in zukünftigen Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsplänen zu berücksichtigen. Zudem sind die Ergebnisse der Forschungsprojekte und Experimente, die in der vorherigen Version des Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsplan aufgeführt wurden, aufzuzeigen. In Anhang A.8.7 finden sich daher entsprechende spezifische Hinweise zu eigenen Untersuchungen sowie zu anderweitigen Arbeiten in Zusammenhang mit der Langzeitstabilität, Brennelement-Alterung und Trockenlagerung von abgebrannten Brennelementen.

⁴⁰ Für die Abklinglagerung werden 30 Jahre nach dem Ende der Verwendung des ursprünglichen Materials zugrundegelegt (Art. 117 StSV).

6.2 Ausblick Zwischenlagerung

Bei einer allfälligen, verzögerten Inbetriebnahme des geologischen Tiefenlagers steht beim Zwiilag/ZWIBEZ für alle Szenarien und Abfallkategorien genügend Lagerkapazität zur Verfügung. Wird von einem Einlagerungsbetrieb von 15 Jahren ausgegangen, ist gemäss dem aktuellen Realisierungsplan (Kap. 5.3) die Einlagerung für die SMA-Abfälle Ende 2064 abgeschlossen; für die HAA-Abfälle ist dies Ende 2074 der Fall.

Grundsätzlich besteht auch die Möglichkeit, die Zwischenlager länger zu betreiben. Die für den Transport der Abfälle erforderliche Technologie ist vorhanden und für die zukünftig notwendige Infrastruktur liegen Konzepte vor.

7 Kosten und Finanzierung der Entsorgung

Wesentliche Unterschiede zwischen dem EP16 und dem EP21

Die letzte Kostenstudie (KS16) wurde 2016 eingereicht. Die zugrunde gelegten Vorhaben und Berechnungen in der KS16 wurden durch das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI), durch unabhängige Kostenprüfer sowie durch die Eidgenössische Finanzkontrolle geprüft. Auf Basis von Art. 4 der Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung (SEFV 2007) stellte die Verwaltungskommission der Stilllegungs- und Entsorgungsfonds (im Folgenden als Kommission bezeichnet) anschliessend dem Eidgenössischen Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) für jede Kernanlage jeweils einen Antrag auf Festlegung der voraussichtlichen Höhe der Stilllegungs- und Entsorgungskosten. Am 12. April 2018 verfügte das UVEK die Kosten der KS16 mit Änderungen gegenüber dem Antrag der Kommission, worauf die Werksbetreibergesellschaften beim Bundesverwaltungsgericht (BVG) Beschwerde erhoben. Das BVG entschied am 20. März 2019, dass das UVEK für die Festlegung der Kosten der KS16 zuständig ist, worauf die Werksbetreibergesellschaften Beschwerde ans Bundesgericht (BG) einreichten. Schliesslich hiess das BG am 06. Februar 2020 die Beschwerde gut und wies die Festlegung der Kosten der KS16 der Kommission zu. Mit der Verfügung vom 10. März 2021 wurden von der Kommission die Stilllegungs- und Entsorgungskosten mit 23.856 Mrd. CHF festgelegt⁴¹.

Entsprechend der Verfügung des Bundesrats für das Entsorgungsprogramm 2016 ist das EP21, so wie dies bereits beim EP16 der Fall war, möglichst zeitgleich mit der KS21 einzureichen (s. Anhang A.7).

Die Kostenermittlung 2021 für die geologischen Tiefenlager beruht gemäss Vorgaben der Verwaltungskommission der Stilllegungs- und Entsorgungsfonds (STENFO 2021b) auf den gleichen Modellstandorten wie die Kostenstudie 2016. Des Weiteren sind die Kosten für das geologische Tiefenlager gemäss Vorgaben auf Grundlage von zwei Einzellagern zu ermitteln, weitere Standortvarianten sind separat abzubilden. Mit diesem Vorgehen wird sichergestellt, dass sämtliche Varianten (inkl. der Variante 'Kombilager') offengehalten werden. Neben weiteren Vorgaben wurde festgelegt, dass drei Stilllegungsziele separat abzubilden sind:

- Stilllegungsziel 1: Entlassung aus der Kernenergiegesetzgebung.
- Stilllegungsziel 2: Vollständiger Rückbau inkl. Entfernung sämtlicher Fundamente bis –2 m ab Oberkante Terrain.
- Stilllegungsziel 3: Vollständiger Rückbau inkl. Entfernung sämtlicher Fundamente.

Im Weiteren hat die Kommission für die KS21, wie bereits für die KS16, wiederum detaillierte Vorgaben bezüglich Kostenstruktur und bezüglich Erfassung und Darstellung von Zuschlägen für Prognoseungenauigkeiten, von Zuschlägen für Gefahren und von Abzügen für Chancen sowie bezüglich eines allfälligen zusätzlichen generellen Sicherheitszuschlags gemacht.

⁴¹ Die BKW Energie AG hat gegen diese Verfügung Beschwerde ans Bundesverwaltungsgericht erhoben, darüber wurde noch nicht entschieden (Stand 31. Oktober 2021).

7.1 Gesetzliche Vorgaben

Gemäss den gesetzlichen Regelungen sind die Verursacher verantwortlich für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle und müssen auch deren Kosten vollumfänglich tragen (Verursacherprinzip). Zur Sicherstellung der Finanzierung der Kosten der Stilllegung der Kernanlagen sowie der Entsorgung der dabei entstehenden Abfälle bzw. der Entsorgung der radioaktiven Betriebsabfälle und der abgebrannten Brennelemente nach Ausserbetriebnahme der Kernanlagen müssen die Eigentümer die notwendigen Beiträge an den Stilllegungs- und den Entsorgungsfonds leisten (Art. 77 KEG). Der Stilllegungsfonds stellt die Finanzierung der Kosten für die Stilllegung und die Entsorgung der dabei entstehenden Abfälle der Kernanlagen sicher. Der Entsorgungsfonds stellt die Finanzierung der nach Ausserbetriebnahme des jeweiligen Kernkraftwerks anfallenden Kosten für die Entsorgung der radioaktiven Betriebsabfälle, für die Zwischenlagerung, die Transporte, die Transport- und Lagerbehälter, für die Entsorgung der abgebrannten Brennelemente und für die Vorbereitung, den Bau, den Betrieb, die Stilllegung sowie die Überwachung der notwendigen geologischen Tiefenlager sicher. Die vor der Ausserbetriebnahme der Kernanlagen anfallenden Entsorgungskosten sind durch die Eigentümer direkt zu tragen und zurückzustellen (Art. 82 KEG).

In Kap. 7.3.1 wird ausführlicher auf die Stilllegungs- und Entsorgungsfonds und deren historische Performance eingegangen. Die Fonds stellen die im Kernenergiegesetz (Art. 77 KEG) verankerte und in der Stilllegungs- und Entsorgungsverordnung (SEFV 2007) präzisierte Finanzierungsform der Stilllegungskosten der Kernanlagen bzw. Entsorgungskosten nach Ausserbetriebnahme der Kernkraftwerke dar. Die einbezahlten Gelder werden dem direkten Zugriff der Eigentümer entzogen und von den staatlich kontrollierten Fonds verwaltet, welche die zweckgebundene Verwendung sicherstellen sollen. Zu keiner Zeit werden dadurch die Eigentümer von ihrer Kostentragungspflicht (Art. 31 KEG) entbunden, weder während noch nach Ende der Beitragspflicht.

Zur Bestimmung der jährlichen Beiträge an den Stilllegungs- und den Entsorgungsfonds sowie für die Festlegung der Höhe der Rückstellungen der Eigentümer werden alle fünf Jahre die voraussichtlichen Stilllegungs- und Entsorgungskosten im Rahmen von Kostenstudien von den Eigentümern der Kernanlagen (Art. 4 SEFV) ermittelt. Die Kostenstudien stützen sich auf die Stilllegungsplanungen für die Kernanlagen, auf das Entsorgungsprogramm für die radioaktiven Abfälle, aktuelle technisch-wissenschaftliche Erkenntnisse sowie auf die zum Zeitpunkt der Berechnung gültigen Preise (Art. 4 SEFV). Diese Kostenstudien werden in Bezug auf die für die Sicherheit und technische Machbarkeit relevanten Aspekte vom Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) sowie in Bezug auf die Kostenberechnung von unabhängigen Fachexperten überprüft (Art. 4 SEFV). Obwohl die KS21 mehrere Kostenermittlungen umfasst (swissnuclear 2021c, 2021d, 2021b, 2021a), wird im Folgenden einfachheitshalber, so wie dies bereits beim EP16 der Fall war, von der *Kostenstudie* gesprochen.

Der Kostenstudie und dem Entsorgungsprogramm liegen unterschiedliche Ziele zugrunde. Das EP21 bildet den gegenwärtigen Stand der Planung zur geologischen Tiefenlagerung ab und berücksichtigt die vorhandenen Handlungsoptionen für die Realisierung der geologischen Tiefenlager in ergebnisoffener Form, ohne Vorentscheide zu Standorten oder zur detaillierten technischen Auslegung zu treffen.

Die Zielsetzung der Kostenstudie 2021 (KS21) ist eine hinreichend genaue, realistische und nachvollziehbare Kostenermittlung basierend auf den Vorgaben der Verwaltungskommission für die Bestimmung der Beiträge an den Stilllegungs- und den Entsorgungsfonds und für die Festlegung der Höhe der Rückstellungen für Stilllegungs- und Entsorgungskosten. Für die Ermittlung der Kosten für die geologische Tiefenlagerung müssen modellhafte Annahmen bezüglich der Realisierung der Tiefenlager getroffen werden, ohne jedoch dabei Entscheide vorwegzunehmen oder Aussagen über Präferenzen zu treffen. Diese modellhaften Annahmen sind mit dem Entsorgungs-

programm vereinbar, stellen aber ebenso wie im EP21 keine vorzeitigen Festlegungen zu späteren Entscheidungen auf dem Weg zur Realisierung der geologischen Tiefenlager dar. Dementsprechend werden neben den Kosten für das Basisvorhaben auch die Kosten für Varianten ermittelt und diese als Chancen bzw. als Gefahren berücksichtigt. In diesem Zusammenhang insbesondere zu erwähnen, ist die Tatsache, dass es sich bei den in SGT Etappe 3 verbleibenden Standorten ausschliesslich um Standorte handelt, welche auch für ein Kombilager geeignet sind. Entsprechend den Vorgaben des STENFO zur KS21 (STENFO 2021b) müssen für die Ermittlung der Basiskosten zwei Einzellager berücksichtigt werden (HAA-Lager am Standort ZNO sowie SMA-Lager am Standort JO). Die weiteren Varianten wie z.B. das sich abzeichnende Kombilager werden wie beschrieben als Chancen oder Gefahren innerhalb der KS21 berücksichtigt.

7.2 Ermittelte Kosten

KS21 ist die Basis für die nachfolgend aufgeführten Kosten.

Die jetzt eingereichte Kostenstudie berücksichtigt:

- die Angaben bezüglich der zu entsorgenden Abfälle in Anhang A.5, Tab. A.5-1 für 50 Jahre Betrieb (KKB, KKG, KKL) bzw. 47 Jahre (KKM). Die Mengen für 60 bzw. 47 Jahre Betrieb sind in Kap. 2.1, Tab. 2.1-1 festgehalten
- die Beschreibung der Entsorgungsanlagen und Infrastruktur
 - Ermittlung der Entsorgungskosten – Geologische Tiefenlagerung; s. Kapitel 1.7 sowie Kapitel 4 in swissnuclear (2021d)
- den Realisierungsplan, insbesondere:
 - die Betriebszeiten der KKW und der Entsorgungsanlagen
 - die Entscheidungspunkte (Bewilligungen) für die noch zu realisierenden Entsorgungsanlagen (für geologische Tiefenlager: s. Tabellen in Anhang A.2)
 - die wichtigsten Aktivitäten (für geologische Tiefenlager: s. Anhang A.2)

Die Kosten für die Stilllegung und Entsorgung umfassen alle vergangenen und zukünftigen Kosten für die Stilllegung der Kernanlagen, die Planung, den Bau und den Betrieb von Entsorgungsanlagen, die Zwischenlagerung, die Anschaffungskosten für Transport- und Lagerbehälter sowie die Kosten für die Inanspruchnahme von Dienstleistungen Dritter (z.B. für den Transport oder die Wiederaufarbeitung). Diese Kostenelemente wurden durch die Nagra, die Zwiilag und die Kernkraftwerke ermittelt und sind thematisch folgendermassen gegliedert:

- Wiederaufarbeitung
- Zwischenlagerung (Zwiilag sowie ZWIBEZ/Nasslager KKG)
- Beschaffung der Transport- und Lagerbehälter für die BE/WA-HAA; s. Kap. 2.1)
- Transporte
- Vorbereitung, Bau, Betrieb, Überwachung und Verschluss des SMA-Lagers
- Vorbereitung, Bau, Betrieb, Überwachung und Verschluss des HAA-Lagers
- Vorbereitung, Bau, Betrieb, Überwachung und Verschluss des Kombilagers
- Stilllegung der Kernanlagen

Die Gesamtkosten der Entsorgung und Stilllegung gegliedert nach Themen sind in Tab. 7.2-1 aufgeführt. Sie belaufen sich auf 19'417 Mio. CHF für die Entsorgungskosten ohne Berücksichtigung der Chance Kombilager und auf 18'191 Mio. CHF mit Berücksichtigung der Chance Kombilager. Mit den Vorgaben der Verwaltungskommission für die KS21 (STENFO 2021b) werden neu die folgenden drei Stilllegungsziele definiert, welche kostenmässig abzubilden sind:

- Stilllegungsziel 1 (Z1): Entlassung aus der Kernenergiegesetzgebung
- Stilllegungsziel 2 (Z2): Vollständiger Rückbau inkl. Entfernung sämtlicher Fundamente bis –2 m ab Oberkante Terrain
- Stilllegungsziel 3 (Z3): Vollständiger Rückbau inkl. Entfernung sämtlicher Fundamente

Je nach Stilllegungsziel betragen die Stilllegungskosten 3'364 Mio. CHF (Z1), 3'589 Mio. CHF (Z2) bzw. 3'666 Mio. CHF (Z3). Die angegebenen Kosten umfassen die bereits getätigten Ausgaben (aufgelaufene Kosten per Ende 2020) zudem die zukünftigen durch die Eigentümer direkt sowie über die Stilllegungs- bzw. Entsorgungsfonds zu finanzierenden Ausgaben (zukünftige Kosten ab 2021).

Tab. 7.2-2 zeigt die zeitliche Aufteilung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten. Auf die Finanzierung der jeweiligen Kosten wird in Kap. 7.3 eingegangen.

In Tab. 7.2-3 sind die Kosten für die Entsorgung und Stilllegung entsprechend der von der Kommission vorgegebenen Kostengliederung dargestellt. Die Tabelle enthält für die Entsorgungs- und Stilllegungskosten neben den Gesamtkosten auch Angaben zu den Basiskosten, den Zuschlägen für Prognoseungenauigkeiten und Gefahren sowie zu den Abzügen für Chancen und zu einem generellen Sicherheitszuschlag. Gemäss Kostengliederung ergeben sich die Gesamtkosten aus der Summe von verschiedenen Kostenblöcken, die nachfolgend aufgeführt werden. Die Basis-kosten setzen sich zusammen aus den Ausgangskosten sowie den Kosten zur Risikominderung. Zu den Basiskosten werden Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten addiert. Dann werden Zuschläge für Gefahren und Abzüge für Chancen eingerechnet. Gemäss Vorgabe wird ein zusätzlicher Sicherheitszuschlag berücksichtigt. Die Summe über alle Kostenblöcke ergibt die Gesamtkosten.

Tab. 7.2-1: Gesamtkosten der Entsorgung und Stilllegung gegliedert nach Themen ohne Berücksichtigung der Chance Kombilager

Mit den Vorgaben der Verwaltungskommission für die KS21 werden neu drei Stilllegungsziele (Z1, Z2, Z3) definiert (s. Kap. 7.2), welche kostenmässig abzubilden sind.

Angaben (in Mio. CHF) gemäss swissnuclear (2021c, 2021a, 2021d, 2021b). Angaben ohne Klammern beinhalten die Kosten inklusive derer des Bundes; Angaben in Klammern entsprechen den Kosten ohne diejenigen des Bundes. Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt. PB21 bedeutet Preisbasis 2021.

Themen	Kosten KS21/PB21	
Wiederaufarbeitung	2'737	(2'737)
Zwischenlagerung (Zwilag) inklusive zentrale Abfallbehandlung	2'703	(2'641)
ZWIBEZ und KKG-Nasslager	310	(310)
Beschaffung Transport- und Lagerbehälter für BE/WA-HAA	1'028	(1'025)
Transporte	280	(277)
Vorbereitung, Bau, Betrieb, Überwachung und Verschluss des SMA-Lagers ^{1), 2)}	4'692	(3'674)
Vorbereitung, Bau, Betrieb, Überwachung und Verschluss des HAA-Lagers (inklusive Verpackungsanlage für BE/WA-HAA) ²⁾	7'659	(7'620)
Total Entsorgung	19'417	(18'293)
Stilllegung der Kernkraftwerke und Zwischenlager ³⁾		
	Z1	3'364
	Z2	3'589
	Z3	3'666
Gesamttotal		
	Z1	22'781 (21'657)
	Z2	23'006 (21'882)
	Z3	23'083 (21'959)

¹⁾ Ohne Kosten für die Stilllegungsabfälle (Gesamtkosten in der Höhe von 119 Mio. CHF).

²⁾ Bei der Realisierung von zwei Einzellagern. Der Wert ohne Bund ist beim SMA-Lager als 76.74 % der Kosten der zukünftigen fixen Kosten des SMA-Lagers berechnet. Der Wert ohne Bund ist beim HAA-Lager als 99.82 % der fixen Kosten des HAA-Lagers berechnet. Dies entspricht der Methodik der im Juni 2020 abgeschlossenen Finanzierungsvereinbarung zwischen dem Bund und den Betreibergesellschaften, aktualisiert um die aktuellen Abfallmengengerüste.

³⁾ Inklusive Gesamtkosten für die Entsorgung der Stilllegungsabfälle.

Tab. 7.2-2: Übersicht der zeitlichen Aufteilung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten

Mit den Vorgaben der Verwaltungskommission für die KS21 werden neu drei Stilllegungsziele (Z1, Z2, Z3) definiert (s. Kap. 7.2), welche kostenmässig abzubilden sind.

Angaben in Mio. CHF. Angaben ohne Klammern basieren bei den Entsorgungskosten auf der Realisierung von zwei Einzellagern. Angaben in Klammern berücksichtigen bei den Entsorgungskosten die Chance Kombilager mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 75 %. Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt. Preisbasis 2021.

	Nur gTL	Entsorgung	Stilllegung	Total
Aufgelaufene Kosten bis Ende 2020	1'700 ¹⁾	6'326 (6'326)	135	6'461 (6'461)
Ab 2021 bis Ausserbetriebnahme der Kernkraftwerke	496 (483)	1'033 (1'020)	Z1: 237 Z2: 238 Z3: 238	Z1: 1'270 (1'257) Z2: 1'271 (1'258) Z3: 1'271 (1'258)
Nach Ausserbetriebnahme der Kernkraftwerke	9'243 (8'134)	11'120 (10'011)	Z1: 2'992 Z2: 3'216 Z3: 3'293	Z1: 14'112 (13'003) Z2: 14'336 (13'227) Z3: 14'413 (13'304)
Zukünftiger Kostenanteil Bund ab 2021	911 (807)	938 (834)	- (-)	938 (834)
Total	12'350 (11'124)	19'417 (18'191)	Z1: 3'364 Z2: 3'589 Z3: 3'666	Z1: 22'781 (21'555) Z2: 23'006 (21'780) Z3: 23'083 (21'857)

¹⁾ Inkl. Beiträge an die damalige GNW: 65 Mio. CHF sind über die Nagra geflossen, weitere 25 Mio. CHF wurden direkt von den Werken an die GNW bezahlt. Enthalten sind die gesamten Leistungen von 90 Mio. CHF.

Tab. 7.2-3: Gesamtkostenermittlung für die Stilllegung und die Entsorgung mit Darstellung der Kostengliederung gemäss Vorgaben der Kommission

Mit den Vorgaben der Verwaltungskommission für die KS21 werden neu drei Stilllegungsziele (Z1, Z2, Z3) definiert (s. Kap. 7.2), welche kostenmässig abzubilden sind.

Angaben in Mio. CHF gemäss swissnuclear (2021c) sind inklusive der Kosten des Bundes für die Entsorgung der MIF-Abfälle¹⁾. Die Angaben basieren gemäss Vorgaben auf einem 50-jährigen Betrieb der KKW (KKM 47 Jahre). Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt. PB21 bedeutet Preisbasis 2021.

Gesamtkosten KS21/PB21	Entsorgung	Stilllegung			Total		
Aufgelaufene Kosten bis 2020	6'326	135			6'461		
Zukünftige Kosten ab 2021		Z1	Z2	Z3			
Ausgangskosten	8'865	2'313	2'476	2'536	11'178	11'341	11'402
Kosten zur Risikominderung	289	58	58	58	347	347	347
Basiskosten	9'154	2'371	2'534	2'595	11'525	11'688	11'749
Prognoseungenauigkeiten	1'514	290	320	323	1'804	1'834	1'837
Gefahren	1'618	459	484	494	2'077	2'102	2'111
Chancen	-71	-9	-10	-10	-80	-81	-81
Genereller Sicherheitszuschlag	876	119	127	130	994	1'002	1'005
<i>Zuschlag auf zukünftige Basiskosten</i>	3'936	858	921	937	4'795	4'857	4'873
Gesamtkosten KS21/PB21	19'417	3'364	3'589	3'666	22'781	23'006	23'083
Berücksichtigung Kombilager als Chance	-1'226	0	0	0	-1'226	-1'226	-1'226
Gesamtkosten bei Berücksichtigung des Kombilagers als Chance (75 % gewichtet)	18'191	3'364	3'589	3'666	21'555	21'780	21'857
Gesamtkosten KS16 PB21 ²⁾	19'525	3'630	nn	3'874	23'155	nn	23'399
Differenz KS21/KS16	-1'334	-266	nn	-208	-1'600	nn	-1'542
Differenz KS21 /KS16 [in %]	-6.8	-7.3	nn	-5.4	-6.9	nn	-6.6

¹⁾ Der Bund ist verantwortlich für die Entsorgung der MIF-Abfälle. Für die diesbezüglichen Kosten werden keine Beiträge an den Stilllegungs- und den Entsorgungsfonds geleistet. Zwischen den Eigentümern der Kernanlagen und dem Bund bzw. anderen Organisationen aus dem MIF-Bereich wurde eine Vereinbarung über deren Beteiligung an den Erstellungskosten der geologischen Tiefenlager erarbeitet (BAG 2018), die vom Bundesrat am 27. September 2019 genehmigt wurde und zu einer neuen Kostenverteilung ab 01.01.2020 führte. Gemäss Art. 38 KEG haben die Inhaber der geologischen Tiefenlager Anrecht auf eine kostendeckende Entschädigung für einzulagernde Abfälle Dritter.

²⁾ Die Vergleichsbasis der KS16 entspricht den durch den STENFO geprüften KS16-Zahlen inkl. dem generellen Sicherheitszuschlag mit Preisbasis 2021. Die Kombilager-Variante wird mit gleicher Eintrittswahrscheinlichkeit verglichen (Chance Kombilager 75 %).

Die Kosten für die geologischen Tiefenlager sind in Tab. 7.2-2 bis 7.2-4 entsprechend der von der Kommission vorgegebenen Kostengliederung für das HAA-Lager, das SMA-Lager dargestellt; dabei wird von einer 47-jährigen Betriebszeit für KKM und einer 50-jährigen Betriebszeit für die anderen Kernkraftwerke ausgegangen. Weiter sind in Tab. 7.2-4 als Variante auch Gesamtkosten für den Fall aufgeführt, bei dem die Realisierung eines sich abzeichnenden Kombilagers anstelle von zwei Einzellagern als Chance mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 75 % berücksichtigt wird; eine solche Gewichtung wird seitens der Entsorgungspflichtigen immer noch als konservativ eingestuft. Das Kombilager ist eine vorteilhafte, wahrscheinliche Variante. Die Ergebnisse der weit fortgeschrittenen Feldarbeiten bestätigen, dass in allen drei Standortgebieten genügend Platz für die Anordnung eines Kombilagers vorhanden ist. Ein solches erfüllt die gleichen sicherheitstechnischen Anforderungen bezüglich Betriebs- und Langzeitsicherheit wie zwei Einzellager, hat aber klare Vorteile im Hinblick auf Risiken beim Bau, den Ressourcenverbrauch und die Emission von Treibhausgasen, da eine geringere Anzahl von Anlagen sowohl an der Oberfläche als auch untertag gebaut und betrieben werden müssen. Die Realisierung eines Kombilagers ist somit im Vergleich zu zwei Einzellagern mit betrieblichen, sicherheitstechnischen und ökologischen Vorteilen verbunden (s. Kap. 3.1.1). Zudem wird ein Kombilager auch im Bewusstsein der Öffentlichkeit als wahrscheinliche Lagervariante wahrgenommen.

Tab. 7.2-4 zeigt, dass die zukünftigen Ausgangskosten etwa 54 % der Gesamtkosten betragen und dass etwa 2 % der Gesamtkosten für zukünftige Massnahmen zur Risikominderung aufgewendet werden. Die zukünftigen Basiskosten betragen 57 % der Gesamtkosten, die aufgelaufenen Kosten rund 14 % der Gesamtkosten. Die insgesamt getätigten Zuschläge und Abzüge für Ungenauigkeiten, Gefahren und Chancen betragen rund 52 % der zukünftigen Basiskosten.

Tab. 7.2-4: Detaillierte Aufstellung der Gesamtkosten für das HAA- und SMA-Lager und die Variante Kombilager sowie Gesamtkosten mit Berücksichtigung der Variante Kombilager als Chance

Angaben in Mio. CHF gemäss swissnuclear (2021d); Kostengliederung gemäss Vorgaben der Kommission.

Die Realisierung des Kombilaggers anstelle der zwei Einzellager wird als Chance mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 75 % berücksichtigt.

Der generelle Sicherheitszuschlag wurde analog KS16 festgelegt, da die Methodik für die Kostenermittlung, d.h. die Kostenstrukturen und die Kostengliederung, gegenüber der KS16 nicht verändert wurde und der allgemeine Projektdetaillierungsgrad sich im Vergleich zur KS16 nicht markant verändert hat; damit ist auch eine Vergleichbarkeit der Zuschlagsniveaus zur KS16 (Nagra 2021c, 2021a, 2021d) gewährleistet.

Kostengliederung gemäss Vorgaben der Kommission. In den Zahlen sind die Gesamtkosten für die Einlagerung der Stilllegungsabfälle in der Höhe von 119 Mio. CHF (Gesamtkosten, Einzellager) bzw. 147 Mio. CHF (Gesamtkosten, Kombilager) nicht berücksichtigt. Die Angaben basieren auf einem 50-jährigen Betrieb der KKW (KKM 47 Jahre). Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

	HAA-Lager [MCHF]		SMA-Lager [MCHF]		Total Einzellager [MCHF]		Kombilager [MCHF]	
Aufgelaufene Kosten ³⁾	954		747		1'700		1'700	
Zukünftige Kosten ab 2021	6'705		3'945		10'650		9'015	
Zukünftige Ausgangskosten	4'291		2'426		6'717		5'693	
Zukünftige Kosten zur Risikominderung	172		117		289		264	
Zukünftige Basiskosten	4'463		2'543		7'006		5'957	
Zuschläge für Prognose- ungenauigkeiten ¹⁾	20 %	885	20 %	501	20 %	1'386	19 %	1'150
Zuschläge für Gefahren ¹⁾	19 %	857	23 %	596	21 %	1'452	21 %	1'234
Abzüge für Chance ¹⁾	-1 %	-58	-1 %	-13	-1 %	-71	-1 %	-71
Genereller Sicherheits- zuschlag ¹⁾	12.5 %	558	12.5 %	318	12.5 %	876	12.5 %	745
Total Zuschläge auf zukünftige Basiskosten ¹⁾	50 %	2'242	55 %	1'402	52 %	3'644	51 %	3'058
Gesamtkosten	7'659		4'692		12'350		10'715	
Berücksichtigung Kombilager als Chance ²⁾	-10 %	-736	-10 %	-490	-10 %	-1'226		
Gesamtkosten bei Berück- sichtigung des Kombilaggers als Chance (75 % gewichtet)	6'923		4'202		11'124			

¹⁾ In Prozent der zukünftigen Basiskosten.

²⁾ In Prozent der Gesamtkosten.

³⁾ Beiträge an die damalige GNW: 65 Mio. CHF sind über die Nagra geflossen, weitere 25 Mio. CHF wurden direkt von den Werken an die GNW bezahlt. Enthalten sind die gesamten Leistungen von 90 Mio. CHF.

7.3 Finanzierung

Wie bereits in Kap. 7.1 ausgeführt, ist die Finanzierung der Stilllegung von Kernanlagen und der Entsorgung der radioaktiven Abfälle gesetzlich geregelt – einerseits durch staatlich kontrollierte Fonds, andererseits durch die Verpflichtung der Eigentümer bzw. Betreiber zu eigener Vorsorge.

7.3.1 Staatlich kontrollierte Fonds

Das Kernenergiegesetz (Art. 77 KEG) verpflichtet die Eigentümer der Kernanlagen, zur Sicherstellung der Finanzierung der Stilllegung und der Entsorgung Beiträge an die entsprechenden Fonds zu leisten.

Der Stilllegungsfonds soll die Finanzierung der Kosten für die Stilllegung der Kernanlagen sowie für die Entsorgung der dabei entstehenden Abfälle sicherstellen. Der Fonds besteht seit 1984.

Der Entsorgungsfonds soll die Finanzierung der Kosten für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle und der abgebrannten Brennelemente nach der Ausserbetriebnahme eines Kernkraftwerks sicherstellen. Der Entsorgungsfonds wurde im Jahr 2000 gegründet. Im Kernenergiegesetz (Art. 77 Abs. 2 KEG) wird unterschieden zwischen Entsorgungskosten, die während des Betriebs und solchen, die nach Ausserbetriebnahme eines Kernkraftwerks anfallen. Die während des Betriebs anfallenden Entsorgungskosten werden gemäss Kernenergiegesetz (Art. 82 KEG) von den Eigentümern direkt aus eigenen Mitteln oder aus Rückstellungen bezahlt.

Die beiden Fonds stellen sicher, dass genügend finanzielle Mittel vorhanden sind, um sämtliche Stilllegungskosten und alle nach endgültiger Ausserbetriebnahme⁴² der Kernkraftwerke anfallenden Entsorgungskosten zu decken.

Die beiden Fonds stehen unter der Aufsicht des Bundesrats (Art. 20 Abs. 2 und Art. 29a Abs. 1 SEFV).

Zusätzlich zur Einzahlungspflicht in die Fonds und Bildung von internen Rückstellungen sieht das Kernenergiegesetz weitere Sicherungsmassnahmen und eine Nachschusspflicht der Eigentümer vor (Art. 79-80 KEG).

Fondsvermögen und Entwicklung der Anlagerenditen

Tab. 7.3-1 zeigt das Stilllegungs- und Entsorgungsfondsvermögen und das Soll-Vermögen der Fonds per 31.12.2020 gemäss den jeweiligen Jahresberichten der Fonds (siehe STENFO 2021a).

⁴² Unter endgültiger Ausserbetriebnahme eines Kernkraftwerks ist die endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs zu verstehen. Für die Kostenstudie 2021 wird daher die endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs als Startzeitpunkt für die Inanspruchnahme der Mittel aus dem Entsorgungsfonds angenommen. Der Stilllegungsfonds stellt zudem die Stilllegungskosten vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs sicher.

Tab. 7.3-1: Stand Soll-Ist-Fondsvermögen per 31.12.2020 (in Mio. CHF)

	Stilllegungsfonds	Entsorgungsfonds
Soll-Betrag per 31.12.2020 bei einer Anlagerendite von 3.5 %	2'623	5'361
Ist-Betrag per 31.12.2020 nach effektiver Rendite	2'822	6'030
Überschuss/(Unterdeckung)	198	669
Überschuss/(Unterdeckung)	7.55 %	12.49 %

Tab. 7.3-2 zeigt die erzielte annualisierte Anlagerendite der Stilllegungs- und Entsorgungsfonds seit der erstmaligen Einlage in die Fonds bis 31.12.2020 im Vergleich zur Soll-Anlagerendite gemäss STENFO (2021a).

Tab. 7.3-2: Historisch erzielte annualisierte Anlagerendite seit Gründung der Fonds im Vergleich mit der Anlagerendite gemäss STENFO (2021a), Kapitel 2.2, 3.2 und 3.3

STENFO hat ab Geschäftsjahr 2020 eine Änderung in der Vergleichsbasis vorgenommen (STENFO 2021a). Die historischen Renditen werden nicht mehr mit den aktuellen Vorgaben «Budgetierte Werte» verglichen, sondern mit einem zeitgewichteten Durchschnitt der vergangenen Vorgaben ("Soll-Werte"). Diese "Soll-Werte" errechnen sich als zeitgewichteter Durchschnitt von Anlagerendite und Teuerung gemäss den Vorgaben von Art. 8a Abs. 2 und Anhang 1 SEFV (2002 – 2014: Anlagerendite 5 %, Teuerung 3 %; ab 2015: Anlagerendite 3.5 %, Teuerung 1.5 %, Realrendite unverändert 2 %; ab 2020: Anlagerendite 2.1 %, Teuerung 0.5 %, Realrendite 1.6 %).

Stilllegungsfonds			
	Effektive Werte 1.1.1985 – 31.12.2020	Soll-Werte	Differenz
Anlagerendite des Portefeuilles	4.88 % (p.a.)	4.71 % (p.a.)	0.17 % (p.a.)
Abzüglich Teuerung	0.70 % (p.a.)	2.72 % (p.a.)	-2.02 % (p.a.)
Realrendite des Portefeuilles	4.18 % (p.a.)	1.99 % (p.a.)	2.19 % (p.a.)
Entsorgungsfonds			
	Effektive Werte Q1 2002 – 31.12.2020	Soll-Werte	Differenz
Anlagerendite des Portefeuilles	3.95 % (p.a.)	4.45 % (p.a.)	-0.50 % (p.a.)
Abzüglich Teuerung	0.27 % (p.a.)	2.47 % (p.a.)	-2.20 % (p.a.)
Realrendite des Portefeuilles	3.68 % (p.a.)	1.98 % (p.a.)	1.70 % (p.a.)

7.3.2 Eigene Vorsorge der Eigentümer

Vor der Ausserbetriebnahme anfallende Entsorgungskosten werden durch die Eigentümer direkt oder aus Rückstellungen bezahlt.

Die mit dem Nachbetrieb verbundenen Aufwendungen werden als Teil der Betriebskosten betrachtet. Auch sie sind, entsprechend dem im Kernenergiegesetz (Art. 31 Abs. 1 KEG) verankerten Verursacherprinzip, durch die Eigentümer zu tragen. Der Nachbetrieb wird von den Eigentümern direkt finanziert.

7.3.3 Rückstellungen für Kosten vor Ausserbetriebnahme

Die Eigentümer bilden auf Basis der jeweiligen Kostenstudien Rückstellungen für Kosten vor Ausserbetriebnahme. Deren externe Revisionsstellen prüfen, ob die Eigentümer Rückstellungen vor der Ausserbetriebnahme mindestens in Höhe des von der Kommission genehmigten Rückstellungsplans gebildet und zweckgebunden verwendet haben (Art. 82 Abs. 2 Bst. c KEG). Die Eigentümer legen der Kommission diesen Prüfbericht vor (Art. 19 Abs. 2 SEFV).

8 Zusammenarbeit und Informationskonzept

Wesentliche Unterschiede zwischen dem EP16 und dem EP21

Das vorliegende Informationskonzept des EP21 unterscheidet sich nur unwesentlich von demjenigen im EP16. Die Nagra kommuniziert aktiv und zeitgerecht mit allen Anspruchsgruppen über die Gremien des Sachplans und direkt. Sie unterstützt zudem die Behörden in ihrem gesetzlichen Auftrag zur Information und Kommunikation und richtet sich in ihrer Kommunikation auch direkt und indirekt an die Politik, die Standortregionen und eine breitere Öffentlichkeit. Das Kapitel zur Zusammenarbeit und zum Informationskonzept wurde für das EP21 neu strukturiert und der Darlegung von Massnahmen und Instrumenten zur Umsetzung mehr Bedeutung geschenkt. Diese wurden zudem den aktuellen Bedürfnissen der Regionen sowie der öffentlich-medialen Anspruchsgruppen soweit nötig angepasst oder weiterentwickelt (z.B. digitale Kanäle, stärkerer Einbezug visueller Kommunikation).

8.1 Ausgangslage und Auftrag

Die Schweiz wird ihre radioaktiven Abfälle in geologischen Tiefenlagern entsorgen. Dieser Grundsatz wurde im Kernenergiegesetz verankert. Der dazu geeignetste Standort in der Schweiz wird im Rahmen des Standortwahlverfahrens (Sachplan geologische Tiefenlager, SGT) durch den Bund festgestellt. Federführende Behörde des Verfahrens ist das Bundesamt für Energie (BFE). Hauptaufgaben der Nagra im Sachplanverfahren sind die Erarbeitung des Standortvorschlags gemäss den behördlichen Vorgaben sowie die Vorbereitung der Unterlagen für das Einreichen des Rahmenbewilligungsgesuchs (RBG) für geologische Tiefenlager. Für das Gelingen einer langfristig sicheren und gesellschaftlich tragbaren Entsorgung der radioaktiven Abfälle sind eine zielführende Zusammenarbeit der Akteure sowie eine transparente und nachvollziehbare Information im Standortwahlverfahren und darüber hinaus unerlässlich.

Im Konzeptteil des SGT werden die Rollen der beitragenden Akteure im Sachplan sowie deren **Zusammenarbeit** klar geregelt. Die Nagra arbeitet entsprechend diesen Vorgaben mit den Bewilligungs- und Aufsichtsbehörden zusammen und erstattet regelmässig Bericht über den Fortschritt ihrer Arbeiten. Darüber hinaus ist im Sachplanverfahren eine partizipative Zusammenarbeit verankert, welche die betroffenen Standortregionen grenzübergreifend zu raumrelevanten Fragestellungen nicht nur informiert, sondern über die Regionalkonferenzen konkret miteinbezieht. Auch in diese Zusammenarbeit ist die Nagra eingebunden, insbesondere in Zusammenhang mit der Diskussion rund um den partizipativen Prozess zur Festlegung von Arealen für die benötigte Oberflächeninfrastruktur.

Bereits bei der Erarbeitung der Kernenergieverordnung wurde seitens des Gesetzgebers der **Kommunikation und Information** der Öffentlichkeit eine wichtige Funktion zugewiesen. Im erläuternden Bericht vom 6. April 2004 zur KEV (KEV 2004) wird unterstrichen: *"Nicht zuletzt spielen Öffentlichkeitsarbeit und Transparenz in einem politisch sensiblen Bereich wie die nukleare Entsorgung eine entscheidende Rolle. Deshalb müssen die Entsorgungspflichtigen im Entsorgungsprogramm auch Angaben zu ihrem Informationskonzept liefern."* Die Information und Kommunikation als wichtige Aufgabe wurde sodann in Art. 74 KEG insbesondere den Behörden verpflichtend zugeschrieben. Dementsprechend wurde auch im Konzeptteil des SGT (BFE 2008, Kapitel 2.3.1) der Kommunikation und Information entsprechendes Gewicht beigemessen. Dies wird konkret wie folgt umschrieben: *"Im Sachplanverfahren wird ein Schwergewicht auf Information und Kommunikation gelegt, denn eine offene und transparente Information ist wesentlich für die erfolgreiche Durchführung des Auswahlverfahrens. Die in den drei Etappen durchgeführten Arbeiten und getroffenen Entscheide sowie deren Begründungen müssen nachvollziehbar und transparent sein."*

Die Zusammenarbeit und Kommunikation erfolgt dabei auch grenzübergreifend entsprechend der Aarhus-Konvention, welche durch die Schweiz ratifiziert und in Kraft gesetzt wurde. Darin werden für umweltrelevante Tätigkeiten eine sach- und zeitgerechte Information sowie die frühzeitige Öffentlichkeitsbeteiligung vorgegeben. Zudem stellen auch die Vorgaben des SGT sicher, dass das grenznahe Ausland in den Prozess einbezogen und informiert wird.

Entsprechend ihrer Aufgabe mit relevanten fachtechnischen Beiträgen zum Sachplanverfahren und der sicheren Entsorgung sieht sich die Nagra vor diesem Hintergrund in der Pflicht, sich als umsichtigen Partner in die Zusammenarbeit einzubringen und die Behörden bei ihrem Kommunikations- und Informationsauftrag im Rahmen ihrer Rolle als Projektant zu unterstützen. Darüber hinaus verpflichtet sich die Nagra, den besonderen Informationsbedarf aus den Standortregionen sowie aus der medialen und politischen Öffentlichkeit zu decken – im In- und Ausland. Dabei wird ein grosses Gewicht auf eine transparente und für die jeweiligen Anspruchsgruppen geeignete Kommunikation gelegt, die für sie nachvollziehbar ist. Die Nagra hat diese Grundsätze auch in ihrem Leitbild und ihrem Verhaltenskodex verankert. Bei der Umsetzung ihrer Kommunikation orientiert sie sich an den dafür zweckmässigen und wirkungsvollen Massnahmen und Instrumenten (vgl. Kap. 8.3).

8.2 Ziele und Inhalt der Öffentlichkeitsarbeit der Nagra

Die Öffentlichkeitsarbeit der Nagra soll dazu beitragen, dass die Arbeiten, Resultate und Vorschläge der Nagra im Sachplanverfahren und darüber hinaus anspruchsgruppengerecht, sowohl technisch-wissenschaftlich als auch gesellschaftlich nachvollzogen werden können. Zudem sollen die Anliegen und Fragen der Akteure – insbesondere auch der betroffenen Regionen – aufgenommen, diskutiert und soweit möglich einbezogen werden. Damit möchte die Nagra zu einer sachlichen Auseinandersetzung in Politik und Regionen im engeren sowie der Öffentlichkeit im weiteren Sinn beitragen. Dies soll die gemeinsame Übernahme der Verantwortung für eine sichere Entsorgung der radioaktiven Abfälle in der Schweiz unterstützen.

Die Nagra steht dabei in direkter Zusammenarbeit mit den Akteuren des Sachplans und kommuniziert aktiv und zeitgerecht mit diesen direkt und über die Gremien des Sachplans. Sie unterstützt die Behörden in ihrem gesetzlichen Auftrag zur Information und Kommunikation. Daneben richtet sich die Nagra auch direkt und indirekt an die Politik, die Standortregionen und eine breitere Öffentlichkeit.

Inhaltlich orientiert sich die Öffentlichkeitsarbeit der Nagra am Fortschritt im Sachplanverfahren und der Forschung, aber auch am allgemeineren Informationsbedürfnis rund um die zu entsorgenden Abfälle, das Konzept der geologischen Tiefenlagerung, die künftige Realisierung sowie die damit zusammenhängenden gesellschaftlichen Fragestellungen. In der laufenden dritten Etappe des Sachplanverfahrens sind namentlich die Auswahl der Standorte für die Vorbereitung der Rahmenbewilligungsgesuche (ca. 2022), die Einreichung des Gesuchs (ca. 2024) sowie Stellungnahmen und Gutachten rund um die Entscheidungssequenz bis zur Erteilung der Rahmenbewilligung wichtige kommunikative Meilensteine. Die Ankündigung der Standorte zur Ausarbeitung des Rahmenbewilligungsgesuchs dürfte von der Öffentlichkeit als "Standortwahl" wahrgenommen werden. Mit den beteiligten Akteuren wurden unter Leitung des BFE ein entsprechender Kommunikationsablauf und -mittel festgelegt, um die Ankündigung nachvollziehbar kommunizieren zu können. Dabei wurde berücksichtigt, dass die Dokumentation für die Rahmenbewilligung noch nicht vorliegt und auch nach Einreichung des RBG eine längere Phase folgt, in welcher die Behörden und die Kantone ihre Gutachten und Stellungnahmen verfassen, bevor der Bundesrat voraussichtlich 2029 Stellung zur Standortwahl nimmt bzw. die Rahmenbewilligung erteilt.

8.3 Umsetzung der Öffentlichkeitsarbeit: Massnahmen und Instrumente

Um die in Kap. 8.2 erwähnten Ziele zu erreichen und die genannten Inhalte kommunizieren und diskutieren zu können, wird in der aktuellen Phase der nachfolgend beschriebene Massnahmen- und Instrumentenmix von der Nagra eingesetzt:

- Die Nagra arbeitet mit den Akteuren des Sachplanverfahrens entsprechend den Vorgaben zusammen. Sie informiert die Behörden, Gremien und Regionalkonferenzen regelmässig und transparent über den Fortschritt der Arbeiten und alle relevanten Erkenntnisse rund um die Standortwahl und die Entsorgung radioaktiver Abfälle. Die Nagra bringt sich als umsichtigen und verlässlichen Diskussionspartner in das Sachplanverfahren ein.
- Sämtliche Nagra Technischen Berichte (NTB) und – soweit relevant – auch Nagra Arbeitsberichte (NAB) werden laufend öffentlich verfügbar gemacht. So werden in SGT Etappe 3 entsprechend dem Konzept zur frühzeitigen Einreichung von RBG-Referenzberichten an das ENSI (Nagra 2019a) auch die Berichte über Feldarbeiten (Tiefbohrungen) veröffentlicht, wenn sie vorliegen. Im Fachaustausch mit den Behörden und Gremien sowie der Forschungsgemeinschaft werden darüber hinaus sämtliche relevanten Informationen und Resultate zugänglich gemacht.
- Die Behörden werden in ihrem gesetzlichen Informationsauftrag im Rahmen des Sachplanverfahrens im engeren Sinn unterstützt, z.B. bei Informationsveranstaltungen, Medienanlässen oder Ausbildungsmodulen des BFE. Die Nagra bringt sich über die Arbeitsgruppe 'Information und Kommunikation' (AG I&K) des BFE ein und arbeitet beim Technischen Forum 'Sicherheit' (TFS) des ENSI mit.
- Darüber hinaus wird die interessierte und breitere Öffentlichkeit über die Arbeit der Nagra und die Themen rund um die Entsorgung radioaktiver Abfälle über eine zeitgemässe Medienarbeit, die gängigsten digitalen Kanäle (Website, Blog, Facebook, Twitter) und gedruckte Broschüren informiert. Interessierte haben zudem die Möglichkeit, den e-Newsletter der Nagra zu abonnieren.
- Für das besondere Informations- und Diskussionsbedürfnis aus der Politik und den Standortregionen setzt die Nagra folgende zusätzliche Instrumente ein:
 - Der Politik auf nationaler, kantonaler und kommunaler Ebene wird eine aktuelle Information zu den Arbeiten der Nagra und der Entsorgung radioaktiver Abfälle regelmässig angeboten. Das Angebot reicht von der Kurzinformation bis zur Besichtigung von nuklearen Anlagen im In- und Ausland ("Informationsreise"). Die kommunalen Behörden sind zudem über die Regionalkonferenzen ins Verfahren eingebunden und informiert.
 - Besuchsmöglichkeiten bei Feldarbeiten der Nagra in den Standortregionen (z.B. Tiefbohrungen). Dies stellt eine wertvolle Plattform zur Information über den Stand der Arbeiten und den Erkenntnisgewinn aber auch zur Diskussion mit der interessierten Bevölkerung in den Regionen dar. Selbstverständlich können sich dafür auch Interessierte von ausserhalb der Regionen anmelden.
 - Teilnahme an Veranstaltungen und (Gewerbe-)Ausstellungen in oder nahe der Standortregionen. Die Nagra bietet damit eine weitere Plattform zum persönlichen Austausch an. Die Besucherinnen und Besucher können sich über den aktuellen Stand der Arbeiten informieren, über eine 3D-Visualisierung ein Bild über ein künftiges Tiefenlager machen und mit den Mitarbeitenden der Nagra ihre Fragen diskutieren.
 - Die Nagra bietet den Standortgemeinden aktuelle Informationen zu regionalen Themen rund um die Arbeit der Nagra für die Publikation über deren Informationsorgane oder Websites an.

- Mitarbeitende der Nagra nehmen regelmässig an öffentlichen Anlässen oder auf Einladung an Veranstaltungen interessierter Gruppen und Organisationen teil (z.B. an Diskussionsveranstaltungen oder Jahresversammlungen). Sie informieren und diskutieren entsprechend dem Veranstaltungsrahmen mit den Teilnehmenden.
- Interessierte Personen und Gruppen können sich jederzeit bei der Nagra melden (info@nagra.ch) und ihr "beim Arbeiten über die Schulter schauen" oder sich informieren lassen. Namentlich sind dies:
 - Anmeldung zur Besichtigung der Felslabore Grimsel (Nagra) oder Mont Terri (swisstopo) unter www.nagra.ch/de/events: Interessierte können sich vor Ort ein Bild über die laufenden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten machen und mit den Mitarbeitenden ihre Fragen diskutieren. Die Nagra organisiert jährlich für die interessierte Bevölkerung mehrere Besuchstage in den beiden Felslabors.
 - Anfragen für Vorträge oder Teilnahme an Anlässen unter www.nagra.ch/de/kontakt: Auf Anfrage orientieren Mitarbeitende der Nagra in Vorträgen interessierte Bevölkerungskreise und Organisationen, Parteien, Verbände, Vereine oder die breite Öffentlichkeit über die nukleare Entsorgung sowie über ihre laufenden Arbeiten und Projekte. Die Nagra beteiligt sich auch an Podiums- und Diskussionsveranstaltungen.
 - Telefonische oder schriftliche Auskünfte durch Fachpersonen der Nagra
- Austausch, Fachkongresse und Tagungen: Die Mitarbeitenden der Nagra stellen ihre Arbeiten regelmässig der Fachwelt an Kongressen und Tagungen vor. Wichtige Resultate werden in anerkannten Fachzeitschriften publiziert.
- Die Nagra verfolgt zudem die internationale Entwicklung im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit und Kommunikation mit verschiedenen Anspruchsgruppen. Dazu pflegt sie den Austausch mit Organisationen anderer Staaten, die ähnliche Aufgaben haben. Seit längerer Zeit ist sie im "Forum on Stakeholder Confidence" der "Nuclear Energy Agency" (NEA) der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) vertreten.

Im Rahmen der Beurteilung des EP16 hat der Bundesrat befunden und erwogen, dass die Betreibergesellschaften der Kernkraftwerke und deren Aktionärinnen und Aktionäre in der öffentlichen Wahrnehmung kaum als Abfallverursachende wahrgenommen werden. Er hat deshalb auf die Verantwortung der Kernkraftwerkbetreiber und Kantone bei der Standortsuche und der Abfallentsorgung hingewiesen und gefordert, dass sie ihre Rolle pragmatisch und verhältnismässig wahrnehmen. Anhang A.8.9 zeigt auf, wie die Betreiber der Kernkraftwerke zur Erfüllung des Befunds und der Erwägung des Bundesrats eingetreten sind.

9 Schlussfolgerungen

Die Schweiz hat bereits wichtige Schritte zur Entsorgung der radioaktiven Abfälle realisiert und verfügt für die damit verbundenen Aktivitäten über eine grosse Erfahrung. Dies betrifft die Behandlung und Verpackung der radioaktiven Abfälle, ihre Charakterisierung und Inventarisierung sowie die Zwischenlagerung und die dazugehörigen Transporte. Auch bei der Vorbereitung der geologischen Tiefenlager ist der Nachweis der Entsorgung aller in der Schweiz anfallenden radioaktiven Abfälle erbracht und vom Bundesrat bestätigt. Die Lagerkonzepte, die nötigen Arbeiten, der Zeitplan und die Finanzierung sind ebenfalls bekannt. Sie werden die langfristige und sichere Lagerung der radioaktiven Abfälle der Schweiz in geologischen Tiefenlagern ermöglichen.

Das vorgelegte Entsorgungsprogramm dokumentiert die Rahmenbedingungen und das grundsätzliche Vorgehen für die zeitgerechte Realisierung der benötigten langfristig sicheren Tiefenlager, beleuchtet den Fortschritt der letzten Jahre und gibt Auskunft zu den in der Kernenergieverordnung (KEV 2004) aufgeführten Themenkreisen. Das Entsorgungsprogramm enthält auch einen Vorschlag, wie die Lager auf konzeptueller Ebene auszulegen sind, wie bei der Realisierung die einzelnen Schritte ausgestaltet werden sollen, wie der Realisierungsplan dazu aussieht und welche finanziellen Mittel dafür notwendig sind.

Die gesetzlichen Regelungen sind vorhanden und die organisatorischen Vorkehrungen getroffen, um die für die Entsorgung in den nächsten Jahren anstehenden Aktivitäten umzusetzen. Dazu gehört insbesondere das vom Bundesrat 2008 genehmigte Konzept Sachplan geologische Tiefenlager (SGT), welches das laufende Standortwahlverfahren im Detail regelt (BFE 2008). Zudem wurden die Richtlinie ENSI-G03 revidiert (ENSI 2020b) und die Vorgaben für Etappe 3 präzisiert (ENSI 2018c).

Im Rahmen von SGT Etappe 1 hat die Nagra sechs potenzielle Standortgebiete vorgeschlagen, welche mit Entscheid des Bundesrats 2011 im Sachplan festgehalten wurden. Als Abschluss von Etappe 2 hat der Bundesrat 2018 der Fokussierung auf Opalinuston als Wirtgestein zugestimmt und entschieden, dass die geologischen Standortgebiete Jura Ost (JO), Nördlich Lägern (NL) und Zürich Nordost (ZNO) in Etappe 3 weiter zu untersuchen sind. Zudem wurden vom Bundesrat gestützt auf eine intensive Zusammenarbeit mit den Standortregionen und -kantonen die Standortareale für die Oberflächenanlagen bezeichnet. Im Rahmen der laufenden Etappe 3 des Sachplans wurden vertiefte Feldarbeiten durchgeführt (3D-Seismik, Quartärbohrungen, Tiefbohrungen). Die bisherigen Ergebnisse der Feldarbeiten bestätigen die Eignung aller drei Standortgebiete, die auch genügend Platz für die Anordnung eines Kombilagers bieten.

Das Arbeitsprogramm für die nächsten Jahre ist klar definiert. Gestützt auf Ergebnisse der Feldarbeiten und weitere Erkenntnisse wird die Nagra voraussichtlich 2022 die Auswahl der Standorte für die Vorbereitung der Rahmenbewilligungsgesuche (ASR) gemäss Konzept SGT (BFE 2008) bekannt geben. Dies beinhaltet auch die Bekanntgabe, ob ein Kombilager oder zwei Einzellager realisiert werden sollen. Die Realisierung eines Kombilagers ist mit betrieblichen, sicherheitstechnischen, ökologischen und ökonomischen Vorteilen verbunden. Das Kombilager stellt eine Gesamtanlage dar und es können viele Elemente der Oberflächeninfrastruktur und ein Teil der Bauten untertag (Zugangsbauwerke und zentraler Bereich) gemeinsam genutzt werden. Daraus ergeben sich beim Kombilager im Vergleich zu zwei Einzellagern wesentliche Vereinfachungen beim Bau und Betrieb; es ist zudem bewilligungstechnisch als auch aus der Perspektive der Zusammenarbeit als zweckmässiger zu betrachten. Deshalb wird, falls es die abschliessende sicherheitstechnische Gesamtbewertung erlaubt, gestützt auf die oben dargelegten Vorteile mit dem Rahmenbewilligungsgesuch ein Kombilager beantragt.

Die Dokumentation der Standortwahl erfolgt als Bestandteil der Unterlagen zum RBG voraussichtlich 2024 im sicherheitstechnischen Vergleich. Diese umfasst Angaben bezüglich der zur Auswahl stehenden Optionen hinsichtlich der Sicherheit des geplanten Tiefenlagers, eine Bewertung der für die Auswahl des Standorts ausschlaggebenden Eigenschaften sowie Angaben zur Höhe der Kosten.

Die Nagra hat in SGT Etappe 3 aufgezeigt, dass für die Platzierung der «Brennelementverpackungsanlage» (BEVA) der Raum beim Zwiilag und auch die Areale für die Oberflächenanlage beim geologischen Tiefenlager geeignet sind und die einzigen sinnvollen Standortvarianten darstellen; diese Erkenntnis wird auch von einer überregionalen Arbeitsgruppe getragen. Basierend auf den Ergebnissen der Zusammenarbeit wird die Nagra beim Meilenstein ASR für gewählte Standorte vorläufige Planungsstudien für die Oberflächeninfrastruktur veröffentlichen. Sie bilden die Grundlage für die anschliessende Zusammenarbeit mit den Standortregionen und -kantonen, um Fragen zur Oberflächeninfrastruktur zu klären, so dass die Nagra die erforderlichen Unterlagen für das RBG ausarbeiten kann (Umweltverträglichkeitsbericht, Bericht über die Abstimmung mit der Raumplanung). Damit verknüpft sind Festlegungen zum Zweck und zu den Grundzügen der Anlagen (ungefähre Grösse und Lage der wichtigsten Bauten an der Oberfläche).

Der aktuelle Realisierungsplan geht davon aus, dass das Rahmenbewilligungsgesuch 2024 eingereicht wird. Somit kann davon ausgegangen werden, dass es im Rahmen des Entsorgungsprogramms 2026 erstmals möglich sein wird, die konkreten Angaben zur Realisierung eines standortspezifischen Lagerprojekts darzustellen.

10 Literaturverzeichnis

- AG VA-extern (2020): Gemeinsame Erklärung der Arbeitsgruppe VA-extern zu den Ergebnissen der überregionalen Zusammenarbeit für Standortoptionen der Verpackungsanlagen. Bundesamt für Energie BFE, Bern, online erhältlich unter <https://www.news.admin.ch/news/message/attachments/65007.pdf>, Stand am 24. März 2021.
- Agneb (2014): Jahresbericht 2013 Arbeitsgruppe des Bundes für die nukleare Entsorgung (Agneb) = Rapport annuel 2013 groupe de travail de la confédération pour la gestion des déchets nucléaires (Agneb). Bundesamt für Energie BFE, Bern.
- Agneb (2019): Entsorgung der MIF-Abfälle nach dem «Ende des Einlagerungsbetriebs» der geplanten geologischen Tiefenlager. Bericht der Untergruppe, BFE, Bern.
- AltIV (1998): Verordnung über die Sanierung von belasteten Standorten (Altlasten-Verordnung, AltIV) vom 26. August 1998, Stand am 1. Mai 2017. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.680, Schweiz.
- Andra (2012): Référentiel du site Meuse/Haute-Marne: Présentation générale. Andra, Châtenay-Malabry.
- Axpo (2015): Langzeitstabilität von abgebrannten Brennelementen während der Zwischenlagerung. Axpo Technischer Bericht BT-KN-T 0070.
- BAG (2018): Finanzierung der Entsorgung radioaktiver Abfälle im Verantwortungsbereich des Bundes. Bericht der Arbeitsgruppe, 2018. Bundesamt für Gesundheit BAG, Abteilung Strahlenschutz, Bern.
- BBl (2001): Botschaft des Bundesrats zu einem Kernenergiegesetz vom 28. Februar 2001. Bundesblatt (BBl), 2796 ff.
- BFE (2008): Sachplan Geologische Tiefenlager: Konzeptteil. BFE 2. April 2008 (Revision vom 30. November 2011). Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bern.
- BFE (2014): Sachplan geologische Tiefenlager: Sozioökonomisch-ökologische Wirkungsstudie SÖW in Etappe 2: Schlussbericht. Bundesamt für Energie BFE, Bern.
- BFE (2018a): Entsorgungsprogramm 2016 der Entsorgungspflichtigen: Stellungnahme des BFE. Bundesamt für Energie BFE, Bern.
- BFE (2018b): Sachplan geologische Tiefenlager: Ergebnisbericht zu Etappe 2: Festlegungen und Objektblätter. Bundesamt für Energie BFE, Bern.
- Blechs Schmidt, I. & Vomvoris, S. (2015): The fourth decade of underground research at the Grimsel Test Site – What we have learned and where we go from here. WM2015 Conference "Achieving Results through Technology and Innovation on a Global Scale", March 15 – 19, 2015, Phoenix, AZ.
- Bossart, P., Bernier, F., Birkholzer, J., Bruggeman, C., Connolli, P., Dewonck, S., Fukaya, M., Herfort, M., Jensen, J.-M., Matray, J.C., Mayor, A., Moeri, A., Oyama, T., Schuster, K., Shigeta, N., Vietor, T. & Wieczorek, K. (2017): Mont Terri rock laboratory, 20 years of research: introduction, site characteristics and overview of experiments. Swiss Journal of Geosciences, Special Issue: Mont Terri rock laboratory, 20 years of research 2017/110, 3-22.
- Bundesrat (2018): Verfügung zum Entsorgungsprogramm 2016 der Entsorgungspflichtigen vom 21. November 2018. Schweizerischer Bundesrat.

- ChemRRV (2005): Verordnung zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen (Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung, ChemRRV) vom 18. Mai 2005, Stand am 1. Januar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.81, Schweiz.
- Cloet, V., Schwyn, B. & Wieland, E. (2014): Geochemische Nahfeld-Daten zu den SMA und ATA für die provisorischen Sicherheitsanalysen in SGT Etappe 2. Nagra Arbeitsbericht NAB 14-52 Rev. 1.
- Diomidis, N. (2014): Scientific basis for the production of gas due to corrosion in a deep geological repository. Nagra Arbeitsbericht NAB 14-21.
- Diomidis, N., Cloet, V., Leupin, O.X., Marschall, P., Poller, A. & Stein, M. (2016): Production, consumption and transport of gases in deep geological repositories according to the Swiss disposal concept. Nagra Technischer Bericht NTB 16-03.
- EKRA & Wildi, W. (2000): Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle: Schlussbericht. Im Auftrag des Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK.
- ENSI (2007): Anforderungen an die Konditionierung radioaktiver Abfälle, ENSI-B05/d, Ausgabe Februar 2007 (Änderung 20. Dezember 2018). Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg.
- ENSI (2008): Transport- und Lagerbehälter für die Zwischenlagerung. Richtlinie für schweizerische Kernanlagen ENSI-G05/d, Ausgabe April 2008 (Änderung vom 20. Dezember 2018). Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg.
- ENSI (2009): Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung aufgrund von Emissionen radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen. Erläuterungsbericht zur Richtlinie ENSI-G14/d, Ausgabe Februar 2008, Revision 1, 21. Dezember 2009. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg.
- ENSI (2010): Quelltermanalyse: Umfang, Methodik und Randbedingungen. Erläuterungsbericht zur Richtlinie ENSI-A08/d. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg.
- ENSI (2011): Sicherheitstechnische Klassierung für bestehende Kernkraftwerke. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen ENSI-G01/d (ersetzt HSK-R-06, ev.04, 30, 35). Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg.
- ENSI (2016): Schlussbericht zum AGNEB-Forschungsprojekt "Lagerauslegung". ENSI 33/503 Rev. 1 (Mai 2016). Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg.
- ENSI (2018a): Alterungsleitfaden trockene Zwischenlagerung. Revision 0 vom 19. Dezember 2018. ENSI-AN-10412. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg.
- ENSI (2018b): Empfehlungen und Hinweise aus der Beurteilung des Entsorgungsprogramms und des RD&D-Plans 2016. ENSI 33/593. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg.
- ENSI (2018c): Präzisierungen der sicherheitstechnischen Vorgaben für Etappe 3 des Sachplans geologische Tiefenlager. Sachplan geologische Tiefenlager, Etappe 3. ENSI 33/649. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg.
- ENSI (2018d): Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Qualität und Umfang. Erläuterungsbericht zur Richtlinie ENSI-A05/d. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg.
- ENSI (2018e): Stellungnahme zum Entsorgungsprogramm 2016 der Entsorgungspflichtigen. ENSI 33/592. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg.

- ENSI (2018f): Technische Sicherheitsanalyse für bestehende Kernanlagen: Umfang, Methodik und Randbedingungen. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen ENSI-A01, Ausgabe September 2018 (Berichtigung vom 22. Januar 2020). Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg.
- ENSI (2020a): Betrieb von Zwischenlagern für radioaktive Abfälle. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen ENSI-B17/d. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg.
- ENSI (2020b): Geologische Tiefenlager. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen ENSI-G03/d. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg.
- EURAD (*in prep.*): Roadmap. European Commission, Brussels.
- Euratom (2011): Richtlinie 2011/70/EURATOM des Rates vom 19. Juli 2011 über einen Gemeinschaftsrahmen für die verantwortungsvolle und sichere Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle L 199/40757, 48-56.
- Fanger, L., Müller, H. & Vogt, T. (2021): Überwachung Umwelt und geologisches Umfeld. Nagra Arbeitsbericht NAB 20-28.
- Galson Sciences Limited (2019): Deliverable D6.5: Modern2020 Project Synthesis Repository Monitoring: Strategies, Technologies and Implementation. European Commission, Horizon2020.
- GKV (2016): Verordnung über die Kontrolle zivil und militärisch verwendbarer Güter sowie strategischer Güter (Güterkontrollverordnung, GKV) vom 3. Juni 2016, Stand am 1. Mai 2021. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 946.202.1, Schweiz.
- GNW (1994): Technischer Bericht zum Gesuch um die Rahmenbewilligung für ein Endlager schwach- und mittelaktiver Abfälle am Wellenberg, Gemeinde Wolfenschiessen, NW. Technischer Bericht 94-01. Genossenschaft für Nukleare Entsorgung Wellenberg GNW, Wettingen.
- GSchG (1991): Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG) vom 24. Januar 1991, Stand am 1. Januar 2020. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.20, Schweiz.
- GSchV (1998): Gewässerschutzverordnung (GSchV) vom 28. Oktober 1998, Stand am 1. Januar 2021. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.201, Schweiz.
- Häner, A., Mayer, G., Schwyn, B. & Schweingruber, M. (2014): Chemische Risikobewertung Beurteilung von Stoffen in einem geologischen Tiefenlager für radioaktive Abfälle aufgrund ihrer Chemotoxizität. Nagra Arbeitsbericht NAB 14-35.
- Hinterseh, S., Danner, Z. & Kistler, M. (2021): Sachplan geologische Tiefenlager (SGT): Konkretisierung der Standorte und der Anordnung der Oberflächeninfrastruktur (OFI-Struktur) in den einzelnen Standortgebieten in Etappe 3 des Sachplanverfahrens und zum weiteren Verfahren. Landkreis Waldshut, Schwarzwald-Baar-Kreis, Landkreis Konstanz, Deutschland.
- HSK (1996): Gutachten zum Gesuch um Rahmenbewilligung für ein SMA-Endlager am Wellenberg. HSK 30/9, KSA 30/11. Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen HSK, Villigen.
- IAEA (1997): Joint Convention on the safety of spent fuel management and on the safety of radioactive waste management. INFCIRC/546, p. 32.

- IAEA (2006): Fundamental safety principles. Safety fundamentals. IAEA safety standards series, SF-1. International Atomic Energy Agency IAEA, Vienna.
- IAEA (2011): Disposal of radioactive waste. Specific Safety Requirements. IAEA Safety Standards Series No. SSR-5. International Atomic Energy Agency IAEA, Vienna.
- IAEA (2012): Spent fuel performance assessment and research: Final report of a coordinated research project (SPAR-II). IAEA-TECDOC-1680. International Atomic Energy Agency IAEA, Vienna.
- IAEA (*in prep.*): Roadmap for Developing a Geological Disposal Programme. International Atomic Energy Agency IAEA, Vienna.
- ICRP (2007): The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Annals of the ICRP 37/2-4. International Commission on Radiological Protection ICRP.
- IGSC (*in prep.*): Working Party on Information, Data and Knowledge Management (WP-IDKM): Roadmap. OECD/NEA, Paris.
- Kanton AG (2021a): Bericht: Positionierung zu den Vorschlägen zur Konkretisierung der Oberflächeninfrastruktur der geologischen Tiefenlager. Kanton Aargau, Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung für Umwelt, Aarau.
- Kanton AG (2021b): Medienmitteilung, 9. April 2021: Oberflächeninfrastruktur für geologisches Tiefenlager: Regierungsrat stellt Forderungen zur Klärung von Nutzungskonflikten und übergeordneten Interessen. Kanton Aargau, Staatskanzlei, Aarau.
- Kanton SH (2021): Medienmitteilung, 9. April 2021: Regierungsrat bemängelt die kommenden Prozessschritte im Sachplan geologische Tiefenlager – Etappe 3. Kanton Schaffhausen, Staatskanzlei, Schaffhausen.
- Kanton ZH (2021): Auszug aus dem Protokoll des Regierungsrates des Kantons Zürich: Sitzung vom 24. März 2021: 307. Sachplan geologische Tiefenlager, Etappe 3: Konkretisierung der Oberflächeninfrastruktur. Regierungsrat des Kantons Zürich.
- Kasemeyer, U. (2021): Optimierung des Stellplatzkonzeptes Gebäude H – Phase 1: Erarbeitung Optimierungskonzept. Rev. 0, ZWI 3422/D00018.
- KEG (2003): Kernenergiegesetz (KEG) vom 21. März 2003, Stand am 1. Januar 2021. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.1, Schweiz.
- KEV (2004): Kernenergieverordnung (KEV) vom 10. Dezember 2004, Stand am 1. Februar 2019. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.11, Schweiz.
- KNS (2018): Stellungnahme des ENSI zum Entsorgungsprogramm 2016 der Entsorgungspflichtigen. Stellungnahme der KNS. KNS-02858. Eidgenössische Kommission für nukleare Sicherheit KNS, Brugg.
- LRV (1985): Luftreinhalte-Verordnung (LRV) vom 16. Dezember 1985, Stand am 1. Januar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.318.142.1, Schweiz.
- LSV (1986): Lärmschutz-Verordnung (LSV) vom 15. Dezember 1986, Stand am 1. Januar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.41, Schweiz.
- Nagra (1985): Projekt Gewähr 1985: Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle: Sicherheitsbericht. Nagra Gewähr Bericht NGB 85-08.

- Nagra (1994): Bericht zur Langzeitsicherheit des Endlagers SMA am Standort Wellenberg (Gemeinde Wolfenschiessen, NW): Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle (Endlager SMA). Nagra Technischer Bericht NTB 94-06.
- Nagra (2002a): Project Opalinus Clay: Safety Report: Demonstration of disposal feasibility for spent fuel, vitrified high-level waste and long-lived intermediate-level waste (Entsorgungsnachweis). Nagra Technischer Bericht NTB 02-05.
- Nagra (2002b): Projekt Opalinuston: Konzept für die Anlage und den Betrieb eines geologischen Tiefenlagers: Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle. Nagra Technischer Bericht NTB 02-02.
- Nagra (2002c): Projekt Opalinuston: Synthese der geowissenschaftlichen Untersuchungsergebnisse: Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle. Nagra Technischer Bericht NTB 02-03.
- Nagra (2008a): 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. Nagra Technischer Bericht NTB 08-05.
- Nagra (2008b): Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager. Darlegung der Anforderungen, des Vorgehens und der Ergebnisse. Nagra Technischer Bericht NTB 08-03.
- Nagra (2008c): Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager. Geologische Grundlagen. Textband und Beilagenband. Nagra Technischer Bericht NTB 08-04.
- Nagra (2010): Beurteilung der geologischen Unterlagen für die provisorischen Sicherheitsanalysen in SGT Etappe 2. Klärung der Notwendigkeit ergänzender geologischer Untersuchungen. Nagra Technischer Bericht NTB 10-01.
- Nagra (2013a): Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2: Standortareal JO-3+ HAA im Planungssperimeter Jura Ost für die Oberflächenanlage eines geologischen Tiefenlagers HAA: Planungsstudie. Nagra Arbeitsbericht NAB 13-67.
- Nagra (2013b): Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2: Standortareal JO-3+ Kombi im Planungssperimeter Jura Ost für die Oberflächenanlage eines geologischen Tiefenlagers Kombi: Planungsstudie. Nagra Arbeitsbericht NAB 13-68.
- Nagra (2013c): Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2: Standortareal JO-3+ SMA im Planungssperimeter Jura Ost für die Oberflächenanlage eines geologischen Tiefenlagers SMA: Planungsstudie. Nagra Arbeitsbericht NAB 13-66.
- Nagra (2013d): Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2: Standortareal JS-1-SMA im Planungssperimeter Jura-Südfuss für die Oberflächenanlage eines geologischen Tiefenlagers SMA: Planungsstudie. Nagra Arbeitsbericht NAB 13-64.
- Nagra (2013e): Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2: Standortareal SR-4-SMA im Planungssperimeter Südranden für die Oberflächenanlage eines geologischen Tiefenlagers SMA: Planungsstudie. Nagra Arbeitsbericht NAB 13-81.
- Nagra (2013f): Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2: Standortareal WLB-1-SMA im Planungssperimeter Wellenberg für die Oberflächenanlage eines geologischen Tiefenlagers SMA: Planungsstudie. Nagra Arbeitsbericht NAB 13-61.

- Nagra (2013g): Standortunabhängige Betrachtungen zur Sicherheit und zum Schutz des Grundwassers: Grundlagen zur Beurteilung der grundsätzlichen Bewilligungsfähigkeit einer Oberflächenanlage für ein geologisches Tiefenlager. Nagra Technischer Bericht NTB 13-01.
- Nagra (2014a): Ergänzende Sicherheitsbetrachtungen für die Untertageanlagen der geologischen Tiefenlager in der Betriebsphase: Vorgaben, Vorgehen und Dokumentation der Ergebnisse. Nagra Arbeitsbericht NAB 14-51.
- Nagra (2014b): Konzepte der Standortuntersuchungen für SGT Etappe 3. Nagra Arbeitsbericht NAB 14-83.
- Nagra (2014c): Modellhaftes Inventar für radioaktive Materialien MIRAM 14. Nagra Technischer Bericht NTB 14-04.
- Nagra (2014d): Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2: Standortareal NL-2-HAA im Planungssperimeter Nördlich Lägern für die Oberflächenanlage eines geologischen Tiefenlagers HAA: Planungsstudie. Nagra Arbeitsbericht NAB 14-04.
- Nagra (2014e): Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2: Standortareal NL-2-Kombi im Planungssperimeter Nördlich Lägern für die Oberflächenanlage eines geologischen Tiefenlagers Kombi: Planungsstudie. Nagra Arbeitsbericht NAB 14-05.
- Nagra (2014f): Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2: Standortareal NL-2-SMA im Planungssperimeter Nördlich Lägern für die Oberflächenanlage eines geologischen Tiefenlagers SMA: Planungsstudie. Nagra Arbeitsbericht NAB 14-03.
- Nagra (2014g): Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2: Standortareal NL-6-HAA im Planungssperimeter Nördlich Lägern für die Oberflächenanlage des geologischen Tiefenlagers HAA: Planungsstudie. Nagra Arbeitsbericht NAB 14-07.
- Nagra (2014h): Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2: Standortareal NL-6-Kombi im Planungssperimeter Nördlich Lägern für die Oberflächenanlage des geologischen Tiefenlagers Kombi: Planungsstudie. Nagra Arbeitsbericht NAB 14-08.
- Nagra (2014i): Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2: Standortareal NL-6-SMA im Planungssperimeter Nördlich Lägern für die Oberflächenanlage des geologischen Tiefenlagers SMA: Planungsstudie. Nagra Arbeitsbericht NAB 14-06.
- Nagra (2014j): Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2: Standortareal ZNO-6b-HAA im Planungssperimeter Zürich Nordost für die Oberflächenanlage des geologischen Tiefenlagers HAA: Planungsstudie. Nagra Arbeitsbericht NAB 14-28.
- Nagra (2014k): Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2: Standortareal ZNO-6b-Kombi im Planungssperimeter Zürich Nordost für die Oberflächenanlage des geologischen Tiefenlagers Kombi: Planungsstudie. Nagra Arbeitsbericht NAB 14-29.
- Nagra (2014l): Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2: Standortareal ZNO-6b-SMA im Planungssperimeter Zürich Nordost für die Oberflächenanlage des geologischen Tiefenlagers SMA: Planungsstudie. Nagra Arbeitsbericht NAB 14-27.
- Nagra (2014m): SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage: Charakteristische Dosisintervalle und Unterlagen zur Bewertung der Barrierensysteme. Nagra Technischer Bericht NTB 14-03.
- Nagra (2014n): SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage. Geologische Grundlagen (Dossiers I – VIII). Nagra Technischer Bericht NTB 14-02.

- Nagra (2014o): SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage: Sicherheitstechnischer Bericht zu SGT Etappe 2: Sicherheitstechnischer Vergleich und Vorschlag der in Etappe 3 weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete. Nagra Technischer Bericht NTB 14-01.
- Nagra (2016a): ENSI-Nachforderung zum Indikator "Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit" in SGT Etappe 2. Prüfung der Lager- und Barrierenkonzepte. Nagra Arbeitsbericht NAB 16-42.
- Nagra (2016b): Entsorgungsprogramm 2016 der Entsorgungspflichtigen. Nagra Technischer Bericht NTB 16-01.
- Nagra (2016c): Generische Beschreibung von Schachtkopfanlagen (Nebenzugangsanlagen) geologischer Tiefenlager. Nagra Technischer Bericht NTB 16-08.
- Nagra (2016d): The Nagra Research, Development and Demonstration (RD&D) Plan for the Disposal of Radioactive Waste in Switzerland. Nagra Technischer Bericht NTB 16-02.
- Nagra (2019a): Konzept zur frühzeitigen Einreichung von RBG-Referenzberichten an das ENSI. Nagra Arbeitsbericht NAB 19-48.
- Nagra (2019b): Platzierung der HAUPTerschliessungsbereiche (HEB) in den Standortgebieten Jura Ost, Nördlich Lägern und Zürich Nordost. Nagra Arbeitsbericht NAB 19-19.
- Nagra (2019c): Preliminary horizon and structure mapping of the Nagra 3D seismics JO-15 (Jura Ost) in time domain. Nagra Arbeitsbericht NAB 18-34.
- Nagra (2019d): Preliminary horizon and structure mapping of the Nagra 3D seismics NL-16 (Nördlich Lägern) in time domain. Nagra Arbeitsbericht NAB 18-35.
- Nagra (2019e): Preliminary horizon and structure mapping of the Nagra 3D seismics ZNO-97/16 (Zürich Nordost) in time domain. Nagra Arbeitsbericht NAB 18-36.
- Nagra (2019f): Vorschläge zur Konkretisierung der Oberflächeninfrastruktur der geologischen Tiefenlager. Teil 1: Einführung und Grundlagen. Nagra Arbeitsbericht NAB 19-08 Teil 1.
- Nagra (2019g): Vorschläge zur Konkretisierung der Oberflächeninfrastruktur der geologischen Tiefenlager. Teil 2: Standortspezifische Vorschläge. Nagra Arbeitsbericht NAB 19-08 Teil 2.
- Nagra (2020a): Standortunabhängiger Vergleich eines Kombilagers mit zwei Einzellagern hinsichtlich Bau- und Betriebsabläufe sowie Umwelt. Nagra Arbeitsbericht NAB 19-15.
- Nagra (2020b): Verpackungsanlage hochaktiver Abfälle: Vor- und Nachteile verschiedener Standortvarianten. Nagra Arbeitsbericht NAB 20-14.
- Nagra (2021a): Konzept erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag (EUU). Nagra Arbeitsbericht NAB 21-14.
- Nagra (2021b): Methodik zur Definition des Mindestabstands zwischen den HAA- und SMA-Lagerteilen im Kombilager. Nagra Arbeitsbericht NAB 20-31.
- Nagra (2021c): Pilot Repository Monitoring: First Concept Report. Nagra Arbeitsbericht NAB 21-11.
- Nagra (2021d): Realisierung des Vorhabens geologische Tiefenlager in der Schweiz: Grundlagen zum Verfahren und Umsetzung der Gesamtplanung. Nagra Arbeitsbericht NAB 21-10.
- Nagra (2021e): The Nagra Research, Development and Demonstration (RD&D) Plan for the Disposal of Radioactive Waste in Switzerland. Nagra Technischer Bericht NTB 21-02.

- Nagra (2021f): Verschlusskonzept für ein geologisches Tiefenlager. Nagra Arbeitsbericht NAB 21-12.
- Nagra (2021g): Zusätzliche Standortoption OFI-21 in der Region ZNO, gemäss Vorgabe Fachgruppe. Nagra Arbeitsbericht NAB 21-07.
- NHG (1966): Bundesgesetz über den Natur- und Heimatschutz (NHG) vom 1. Juli 1966, Stand am 12. Oktober 2014. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 451, Schweiz.
- NHV (1991): Verordnung über den Natur- und Heimatschutz (NHV) vom 16. Januar 1991, Stand am 1. März 2015. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 451.1, Schweiz.
- OECD/NEA (2011): Reversibility and Retrievability (R&R) for the deep disposal of high-level radioactive waste and spent fuel: Final Report of the NEA R&R Project (2007-2011). OECD/NEA Nuclear Energy Agency, Paris.
- OECD/NEA (2017): Sourcebook of International Activities Related to the Development of Safety Cases for Deep Geological Repositories. OECD/NEA Nuclear Energy Agency, Paris.
- OECD/NEA (2019): Preservation of Records, Knowledge and Memory (RK&M) Across Generations: Final Report of the RK&M Initiative. NEA No. 7421. OECD/NEA Nuclear Energy Agency, Paris.
- Posiva (2012a): Olkiluoto site description 2011. Posiva Report 2011-02. Posiva Oy, Olkiluoto.
- Posiva (2012b): Safety case for the disposal of spent nuclear fuel at Olkiluoto – Synthesis 2012. Posiva Report 2012-12. Posiva Oy, Olkiluoto.
- PSPVK (2006): Verordnung über die Personensicherheitsprüfungen im Bereich Kernanlagen (PSPVK) vom 9. Juni 2006, Stand am 1. April 2011. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.143.3, Schweiz.
- Regierungsrat TG (2021): Sachplan geologische Tiefenlager, Etappe 3: Stellungnahme des Kantons Thurgau zur Konkretisierung der Oberflächeninfrastruktur der geologischen Tiefenlager. Regierungsrat des Kantons Thurgau, Frauenfeld.
- RK Jura Ost (2021): Oberflächeninfrastrukturen (OFI) eines geologischen Tiefenlagers für radioaktive Abfälle: Bewertung der Standortvorschläge durch die Regionalkonferenz Jura Ost: Provisorische Stellungnahme. Regionalkonferenz Jura Ost, Fachgruppe Oberflächeninfrastrukturen, Laufenburg.
- RK Nördlich Lägern (2021): Oberflächeninfrastruktur eines geologischen Tiefenlagers für radioaktive Abfälle: Bewertung der Konkretisierungsvorschläge durch die Fachgruppe Oberflächeninfrastruktur: Definitive Stellungnahme (Entwurf, 10.02.2021). Regionalkonferenz Nördlich Lägern, Fachgruppe Oberflächeninfrastruktur, Eglisau.
- RPG (1979): Bundesgesetz über die Raumplanung (Raumplanungsgesetz RPG) vom 22. Juni 1979, Stand am 1. Januar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 700, Schweiz.
- RPV (2000): Raumplanungsverordnung (RPV) vom 28. Juni 2000, Stand am 1. Januar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 700.1, Schweiz.
- RWM (2016): Geological Disposal Science and Technology Plan. NDA/RWM/121 May 2016. Nuclear Decommissioning Authority NDA.
- SaV (2021): Safeguardsverordnung (SaV) vom 4. Juni 2021, Stand am 1. Juli 2021. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.12, Schweiz.

- SC+P & Roos+Partner (2014a): UVP-Voruntersuchung für ein geologisches Tiefenlager HAA: Standortareal JO-3+-HAA, Jura Ost. Bericht Sieber Cassina + Partner AG, Zürich und Roos + Partner AG, Luzern v. 05.12.2014 z. Hd. der Nagra.
- SC+P & Roos+Partner (2014b): UVP-Voruntersuchung für ein geologisches Tiefenlager HAA: Standortareal ZNO-6b-HAA, Zürich Nordost. Bericht Sieber Cassina + Partner AG, Zürich und Roos + Partner AG, Luzern v. 05.12.2014 z. Hd. der Nagra.
- SC+P & Roos+Partner (2014c): UVP-Voruntersuchung für ein geologisches Tiefenlager Kombi: Standortareal JO-3+-Kombi, Jura Ost. Bericht Sieber Cassina + Partner AG, Zürich und Roos + Partner AG, Luzern v. 05.12.2014 z. Hd. der Nagra.
- SC+P & Roos+Partner (2014d): UVP-Voruntersuchung für ein geologisches Tiefenlager Kombi: Standortareal ZNO-6b-Kombi, Zürich Nordost. Bericht Sieber Cassina + Partner AG, Zürich und Roos + Partner AG, Luzern v. 01.12.2014 z. Hd. der Nagra.
- SC+P & Roos+Partner (2014e): UVP-Voruntersuchung für ein geologisches Tiefenlager SMA: Standortareal JO-3+-SMA, Jura Ost. Bericht Sieber Cassina + Partner AG, Zürich und Roos + Partner AG, Luzern v. 05.12.2014 z. Hd. der Nagra.
- SC+P & Roos+Partner (2014f): UVP-Voruntersuchung für ein geologisches Tiefenlager SMA: Standortareal ZNO-6b-SMA, Zürich Nordost. Bericht Sieber Cassina + Partner AG, Zürich und Roos + Partner AG, Luzern v. 05.12.2014 z. Hd. der Nagra.
- SC+P & Roos+Partner (2016a): UVP-Voruntersuchung für ein geologisches Tiefenlager HAA: Standortareal NL-2-HAA, Nördlich Lägern. Bericht Sieber Cassina + Partner AG, Zürich und Roos + Partner AG, Luzern v. 31.03.2016 z. Hd. der Nagra.
- SC+P & Roos+Partner (2016b): UVP-Voruntersuchung für ein geologisches Tiefenlager HAA: Standortareal NL-6-HAA, Nördlich Lägern. Bericht Sieber Cassina + Partner AG, Zürich und Roos + Partner AG, Luzern v. 31.03.2016 z. Hd. der Nagra.
- SC+P & Roos+Partner (2016c): UVP-Voruntersuchung für ein geologisches Tiefenlager Kombi: Standortareal NL-2-Kombi, Nördlich Lägern. Bericht Sieber Cassina + Partner AG, Zürich und Roos + Partner AG, Luzern v. 31.03.2016 z. Hd. der Nagra.
- SC+P & Roos+Partner (2016d): UVP-Voruntersuchung für ein geologisches Tiefenlager Kombi: Standortareal NL-6-Kombi, Nördlich Lägern. Bericht Sieber Cassina + Partner AG, Zürich und Roos + Partner AG, Luzern v. 31.03.2016 z. Hd. der Nagra.
- SC+P & Roos+Partner (2016e): UVP-Voruntersuchung für ein geologisches Tiefenlager SMA: Standortareal NL-2-SMA, Nördlich Lägern. Bericht Sieber Cassina + Partner AG, Zürich und Roos + Partner AG, Luzern v. 31.03.2016 z. Hd. der Nagra.
- SC+P & Roos+Partner (2016f): UVP-Voruntersuchung für ein geologisches Tiefenlager SMA: Standortareal NL-6-SMA, Nördlich Lägern. Bericht Sieber Cassina + Partner AG, Zürich und Roos + Partner AG, Luzern v. 31.03.2016 z. Hd. der Nagra.
- SEFV (2007): Verordnung über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen (Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung, SEFV) vom 7. Dezember 2007, Stand am 1. Januar 2020. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.17, Schweiz.
- SKB (2008): Site description of Forsmark at completion of the site investigation phase. SDM-Site Formark. SKB Technical Report TR 08-05. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management SKB, Stockholm.

- SKB (2011): Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark. Main report of the SR-Site project, Vol. I – III. Technical Report TR 11-01. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management SKB, Stockholm.
- STENFO (2021a): Jahresbericht 2020. Berichterstattung der Verwaltungskommission des Stilllegungsfonds für Kernanlagen und Entsorgungsfonds für Kernkraftwerke STENFO, 20.9.2021.
- STENFO (2021b): Verfügung betreffend Festlegung der Vorgaben für die Erstellung der Kostenstudie 2021 (Art. 4 SEFV). Stilllegungsfonds für Kernanlagen und Entsorgungsfonds für Kernkraftwerke STENFO, 1.2.2021.
- StFV (1991): Verordnung über den Schutz vor Störfällen (Störfallverordnung, StFV) vom 27. Februar 1991, Stand am 1. August 2019. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.012, Schweiz.
- StSG (1991): Strahlenschutzgesetz (StSG) vom 22. März 1991, Stand am 1. Mai 2017. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.50, Schweiz.
- StSV (2017): Strahlenschutzverordnung (StSV) vom 26. April 2017, Stand am 1. Januar 2021. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.501, Schweiz.
- swissnuclear (2021a): Kostenstudie 2021 (KS21) – Ermittlung der Entsorgungskosten – Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung. SN-AN-21.195. swissnuclear, Olten, Schweiz.
- swissnuclear (2021b): Kostenstudie 2021 (KS21) – Ermittlung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen. SN-AN-21.197. swissnuclear, Olten, Schweiz.
- swissnuclear (2021c): Kostenstudie 2021 (KS21) – Mantelbericht. SN-AN-21.194. swissnuclear, Olten, Schweiz.
- swissnuclear (2021d): Kostenstudie 2021 (KS21) – Ermittlung der Entsorgungskosten – Geologische Tiefenlagerung. SN-AN-21.198. swissnuclear, Olten, Schweiz.
- UN-ECE (1991): Convention on Environmental Impact Assessment in a Transboundary Context ("Espoo Convention"). Entered into force on 10 September 1997. United Nations Economic Commission for Europe UN-ECE.
- USG (1983): Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz USG) vom 7. Oktober 1983, Stand am 1. Januar 2021. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.01, Schweiz.
- UVEK (2005): Verordnung des UVEK über Listen zum Verkehr mit Abfällen vom 18. Oktober 2005, Stand am 1. Januar 2010. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.610.1, Schweiz.
- UVEK (2008): Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und Sicherungsmassnahmen für Kernanlagen und Kernmaterialien vom 16. April 2008, Stand am 1. Mai 2008. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.112.1, Schweiz.
- UVEK (2009): Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen vom 17. Juni 2009, Stand am 1. Februar 2019. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.112.2, Schweiz.
- UVPV (1988): Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPV) vom 19. Oktober 1988, Stand am 01. Oktober 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.011, Schweiz.

- VAPK (2006): Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen (VAPK) vom 9. Juni 2006, Stand am 1. Januar 2009. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.143.1, Schweiz.
- VBBö (1998): Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBö) vom 1. Juli 1998, Stand am 1. Juni 2015. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.12, Schweiz.
- VBWK (2006): Verordnung über die Betriebswachen von Kernanlagen (VBWK) vom 9. Juni 2006, Stand am 1. Januar 2009. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.143.2, Schweiz.
- VIG (2005): Bundesgesetz über das Vernehmlassungsverfahren (Vernehmlassungsgesetz, VIG) vom 18. März 2005, Stand am 26. November 2018. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 172.061, Schweiz.
- Vomvoris, S. & Blechschmidt, I. (2019): Grimsel Test Site – Experimental Program 2019–2023: On-going and new experiments. IHLRWM Conference April 14-18, 2019, Knoxville USA.
- VVEA (2015): Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA) vom 4. Dezember 2015, Stand am 1. Januar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.600, Schweiz.
- Warthmann, R., Mosberger, L. & Baier, U. (2013a): Anaerober Abbau und Gasbildungskinetik für SMA in geologischen Tiefenlagern. Nagra Arbeitsbericht NAB 13-52.
- Warthmann, R., Mosberger, L. & Baier, U. (2013b): Langzeit-Degradation von organischen Polymeren unter SMA-Tiefenlagerbedingungen. Nagra Technischer Bericht NTB 13-04.

Anhang A

A.1 Zusammenstellung der wichtigsten Vorgaben in Gesetzen und bündlichen Richtlinien für die Ausgestaltung und Realisierung der geologischen Tiefenlager in der Schweiz

Tab. A.1-1: Vorgaben aus KEG, KEV und ENSI-G03

Das Entsorgungsprogramm 2021 wurde auf Grundlage der bestehenden Gesetzgebung mit Stand 31. Oktober 2021 erstellt. Die Vorgaben aus dem KEG (2003) und der KEV (2004) werden in der Richtlinie ENSI-G03 (ENSI 2020b) konkretisiert. Die folgende Auflistung ist nicht abschliessend. Neben KEG, KEV und ENSI-G03 sind noch viele weitere Gesetze und Richtlinien massgeben (beispielsweise aus den Bereichen Umweltschutz, Kernanlagen und Sachplanverfahren).

Vorgaben	Referenz
Geologische Tiefenlager: Allgemeines	
Wer eine Kernanlage betreibt oder stilllegt, ist verpflichtet, die aus der Anlage stammenden radioaktiven Abfälle in geologische Tiefenlager auf eigene Kosten sicher zu entsorgen.	KEG Art. 31
Radioaktive Abfälle müssen so entsorgt werden, dass der dauernde Schutz von Mensch und Umwelt gewährleistet ist. Mit der geologischen Tiefenlagerung sind radioaktive Abfälle so zu entsorgen, dass künftigen Generationen keine unzumutbare Lasten und Verpflichtungen auferlegt werden. Diese beiden Bestimmungen werden als "Schutzziel" definiert.	KEG Art. 1, 3, 13, 16, 20 & 30 Abs. 3 sowie ENSI-G03 Abs. 4.1
Geologische Tiefenlager: Standortwahl und Nachweis der Langzeitsicherheit	
Die in der Schweiz anfallenden Abfälle müssen grundsätzlich in der Schweiz entsorgt werden.	KEG Art. 30 Abs. 2
Ausnahmsweise kann für die Ausfuhr der Abfälle zur Lagerung eine Bewilligung erteilt werden, wenn spezifische Voraussetzungen erfüllt sind und zudem der Absender mit dem Empfänger der radioaktiven Abfälle mit Zustimmung der vom Bundesrat bezeichneten Behörde verbindlich vereinbart hat, dass der Absender sie nötigenfalls zurücknimmt.	KEG Art. 34 Abs. 4
Der Bund legt in einem Sachplan die Ziele und Vorgaben für die Lagerung der radioaktiven Abfälle in geologischen Tiefenlagern für die Behörden verbindlich fest.	KEV Art. 5
Die Vorgaben für die Auswahl von Tiefenlagerstandorten für alle Abfallkategorien sind im Konzeptteil Sachplan geologische Tiefenlager (BFE 2008) geregelt.	ENSI-G03 Abs. 3
Die Ergebnisse der erdwissenschaftlichen Untersuchungen müssen die Eignung des Standorts für ein geologisches Tiefenlager bestätigen.	KEG Art. 13 Ab. 1 Bst. g
Die Risiken, die in der Zukunft aus der geologischen Tiefenlagerung in der Schweiz entstehen, dürfen nicht grösser sein als sie heute in der Schweiz zulässig sind.	ENSI-G03 Abs. 4.2b-c

Tab. A.1-1: (Fortsetzung)

Vorgaben	Referenz
Geologische Tiefenlager: Standortwahl und Nachweis der Langzeitsicherheit (Fortsetzung)	
Der Standort für ein geologisches Tiefenlager muss zur Gewährleistung der Langzeitsicherheit folgende Eigenschaften aufweisen:	KEV Art. 11 Abs. 1 bzw. KEV Art. 63
1. ausreichende Ausdehnung von geeignetem Wirtgestein	
2. günstige hydrogeologische Verhältnisse	
3. geologische Langzeitstabilität.	
Das Erreichen des Schutzziels unter Beachtung der Auslegungsgrundsätze ist anhand quantitativer Schutzkriterien zu beurteilen (s. unten). Das Einhalten der Schutzkriterien ist im Rahmen des Sicherheitsnachweises aufzuzeigen.	ENSI-G03 Abs. 4.3 & 9
Der Sicherheitsnachweis für die Nachverschlussphase ist auf die Ergebnisse einer umfassenden Sicherheitsanalyse abzustützen, in der das Langzeitverhalten eines geologischen Tiefenlagers und die daraus resultierenden sicherheitsrelevanten Auswirkungen untersucht werden.	
Die quantitativen Schutzkriterien für die Nachverschlussphase sind in der ENSI-G03 aufgeführt.	ENSI-G03 Abs. 4.3.2
Der Sicherheitsnachweis hat Aufschluss über die Zuverlässigkeit der getroffenen Aussagen und über die sicherheitstechnische Relevanz von Unsicherheiten zu geben.	ENSI-G03 Abs. 9.3b
In der ENSI-G03 sind spezifische Bestimmungen zu den Sicherheitsanalysen aufgeführt, inklusive u.a. Nachweiszeitraum, Annahmen zur Klimaentwicklung und Lebensweise der Bevölkerung, nicht zu betrachtende Entwicklungen sowie Umgang mit Ungewissheiten.	ENSI-G03 Abs. 9.3
Der vollständige Einschluss der hochaktiven Abfälle in den Tiefenlagerbehältern während mindestens tausend Jahren ab deren Einlagerung ist aufzuzeigen.	ENSI-G03 Abs. 4.4e
Geologische Tiefenlager: Abfallzuteilung und Annahmebedingungen	
Radioaktive Abfälle sind im Hinblick auf die Entsorgung in Kategorien einzuteilen.	KEV Art. 51
Zu den Unterlagen für das Rahmenbewilligungsgesuch gehören [der Zweck und die Grundzüge des Projekts darunter] insbesondere die Kategorien des Lagergutes und die maximale Lagerkapazität.	KEV Art. 23 bzw. KEG Art. 14 Abs. 2
Zu den Unterlagen für das Baugesuch gehören Anlagenkonzepte und Auslegungsgrundlagen, inklusive Dispositionspläne und Konzepte für radiologische Zonen.	KEV Anhang 4
Die Betriebsbewilligung legt die Stufen der Inbetriebnahme fest, deren Beginn einer vorgängigen Freigabe durch die Aufsichtsbehörden bedarf.	KEG Art 21, KEV Art. 29 Abs. 1 sowie ENSI-G03 Abs. 7.2a-d
Annahmebedingungen sind zu erlassen. Eine Freigabepflicht besteht u.a. für die erste Einlagerung von Abfallgebinden eines Typs.	

Tab. A.1-1: (Fortsetzung)

Vorgaben	Referenz
Geologische Tiefenlager: Abfallzuteilung und Annahmebedingungen (Fortsetzung)	
Die Betriebsbewilligung legt Anforderungen, insbesondere Grenzwerte für die Aktivität der einzulagernden Abfälle fest.	KEG Art. 37 Abs. 3
Die Dokumentation zur langfristigen Sicherstellung der Kenntnisse über das geologische Tiefenlager enthält u.a. das Inventar der eingelagerten radioaktiven Abfälle, in Art und Menge aufgeteilt nach den Lagerräumen.	KEG Art. 38 Abs. 2 bzw. KEV Art. 71
Geologische Tiefenlager: Auslegung	
Zur Gewährleistung der Sicherheit sind alle Vorkehrungen zu treffen, die nach der Erfahrung und dem Stand der Wissenschaft und Technik notwendig sind bzw. zu einer weiteren Verminderung der Gefährdung beitragen, soweit sie angemessen sind (Schutzmassnahmen).	KEG Art. 4 & 5 sowie KEV Art. 7
Ein geologisches Tiefenlager ist so auszulegen, dass nach dessen Verschluss keine weiteren Massnahmen zur Gewährleistung der Langzeitsicherheit erforderlich sind.	ENSI-G03 Abs. 4.2a
Für geologische Tiefenlager wird die Betriebsbewilligung erteilt, wenn zusätzlich zu den Voraussetzungen nach Art. 20 Abs. 1 KEG:	KEG Art. 37 Abs. 1 sowie ENSI-G03 Abs. 7.4
a. die während des Baus gewonnenen Erkenntnisse die Eignung des Standortes bestätigen b. die Rückholung der radioaktiven Abfälle bis zu einem allfälligen Verschluss ohne grossen Aufwand möglich ist.	
Sicherheitsfunktionen müssen auch bei Eintreten eines beliebigen vom auslösenden Ereignis unabhängigen Einzelfehlers wirksam bleiben. Sie müssen redundant sein. Passive sind gegenüber aktiven Sicherheitsfunktionen zu bevorzugen. Bei der Auslegung sind ausreichende Sicherheitszuschläge zu berücksichtigen.	KEV Art. 10 Abs. 1
Ein geologisches Tiefenlager ist so auszulegen, dass:	KEV Art. 11 Abs. 2 sowie ENSI-G03 Abs. 5.1e, 5.2.2, 6.1 & 7.3
a. die Grundsätze von Art. 10 Abs. 1 KEV [Grundsätze für die Auslegung von Kernkraftwerken, s. oben] sinngemäss erfüllt werden b. die Langzeitsicherheit durch gestaffelte passive Sicherheitsbarrieren gewährleistet wird c. Vorkehrungen zur Erleichterung von Überwachung und Reparaturen des Lagers oder zur Rückholung der Abfälle die passiven Sicherheitsbarrieren nach dem Verschluss des Lagers nicht beeinträchtigen d. das Lager innert einiger Jahre verschlossen werden kann.	
In der Rahmenbewilligung werden Kriterien festgelegt, bei deren Nichterfüllung ein vorgesehener Lagerbereich wegen fehlender Eignung ausgeschlossen wird.	KEG Art. 14 Abs. 1 Bst. f

Tab. A.1-1: (Fortsetzung)

Vorgaben	Referenz
Geologische Tiefenlager: Auslegung (Fortsetzung)	
Ein geologisches Tiefenlager und dessen Oberflächenanlagen sind auf die Umsetzung der Leitsätze zur Erreichung des Schutzziels und die Einhaltung der Schutzkriterien auszulegen. Es gelten die in der Kernenergiegesetzgebung festgehaltenen Grundsätze der nuklearen Sicherheit und Sicherung. In der ENSI-G03 sind allgemeine Anforderungen sowie Anforderungen an die Auslegung der Oberflächenanlagen und Nebenzugangsanlagen inkl. Umladezelle bzw. der untertägigen Bauwerke aufgeführt.	ENSI-G03 Abs. 5.1 & 5.2
Ein geologisches Tiefenlager ist so auszulegen, dass die für die Langzeitsicherheit relevanten Eigenschaften der technischen und natürlichen Barrieren durch lagerbedingte Einflüsse (u.a. Wärmeentwicklung, sich aufbauender Gasdruck, chemische Wechselwirkungen) bzw. Gefährdungen aus dem Gebirge nicht beeinträchtigt werden.	ENSI-G03 Abs. 5.2.2 & 7.2f
Pflicht zur Optimierung: Sicherheitsrelevante Entscheidungen sind im Rahmen eines Optimierungsverfahrens zu treffen. Bei jedem Schritt zur Realisierung sind für jede sicherheitsrelevante Entscheidung verschiedene Alternativen und ihre Bedeutung für die Langzeitsicherheit in qualitativer Weise zu betrachten und ein insgesamt für die Sicherheit günstiger Entscheid zu fällen.	ENSI-G03 Abs. 4.4
Für die Bau-, Betriebs- und gegebenenfalls Nachverschlussphase eines geologischen Tiefenlagers ist stufengerecht ein integrales Überwachungsprogramm zu erstellen. Die Überwachung eines geologischen Tiefenlagers und dessen geologischen Umfeldes müssen rechtzeitig und spätestens mit der Rahmenbewilligung aufgenommen und solange fortgeführt werden, bis das geologische Tiefenlager nicht mehr der Kernenergiegesetzgebung untersteht.	ENSI-G03, Abs. 6.1
Mit dem Rahmenbewilligungsgesuch ist ein Konzept zur allfälligen Rückholung der radioaktiven Abfälle einzureichen, welches in den nachfolgenden Bewilligungsschritten zu konkretisieren und laufend zu aktualisieren ist. Die Dokumentation zum geologischen Tiefenlager muss Angaben über die Zwischenlagerung enthalten, sofern sie für eine allfällige Rückholung der Abfälle relevant sein können.	ENSI-G03 Abs. 7.4.2 & 11i
Ein geologisches Tiefenlager besteht aus dem Hauptlager zur Aufnahme der radioaktiven Abfälle, aus einem Pilotlager und aus Testbereichen.	KEV Art. 64
In den Testbereichen sind die sicherheitsrelevanten Eigenschaften des Wirtgesteins zur Erhärtung des Sicherheitsnachweises standortspezifisch vertieft abzuklären. In den Testbereichen ist ebenfalls die Demonstration der Rückholungstechnik zu erbringen sowie das Funktionieren der Vorkehrungen für einen temporären Verschluss vor Einlagerung der Abfälle nachzuweisen.	KEV Art. 65 Abs. 1 sowie ENSI-G03 Abs. 7.4.2, 7.5 & Anhang 1 «Testbereiche»
Während des Betriebs des Tiefenlagers ist in den Testbereichen die Versiegelung von Kavernen und Stollen zu erproben und deren Funktionstüchtigkeit nachzuweisen.	KEV Art. 65 Abs. 3

Tab. A.1-1: (Fortsetzung)

Vorgaben	Referenz
Geologische Tiefenlager: Auslegung (Fortsetzung)	
Im Pilotlager ist das Verhalten der Abfälle, der Verfüllung und des Wirtgesteins bis zum Ablauf der Beobachtungsphase zu überwachen. Bei der Überwachung sind im Hinblick auf den Verschluss Daten zur Erhärtung des Sicherheitsnachweises zu ermitteln.	KEV Art. 66 Abs. 1 sowie ENSI-G03 Abs. 6.2
Die Auslegung des Pilotlagers muss ein Überwachungsprogramm zur zeitlichen Entwicklung des Pilotlagers und seines geologischen Umfeldes berücksichtigen.	
Das Pilotlager ist vor Beginn der Einlagerung der entsprechenden Abfälle in das Hauptlager zu beschicken, zu verfüllen und zu versiegeln.	
Die Ergebnisse der Überwachung [im Pilotlager] müssen auf die Vorgänge im Hauptlager übertragbar sein. Sie bilden eine Grundlage für den Entscheid über den Verschluss des Tiefenlagers.	KEV Art. 66 Abs. 2
Bei der Auslegung des Pilotlagers sind folgende Grundsätze zu beachten:	KEV Art. 66 Abs. 3
a. Die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse müssen mit denjenigen des Hauptlagers vergleichbar sein	
b. Das Pilotlager muss vom Hauptlager räumlich und hydraulisch getrennt sein	
c. Die Bauweise des Pilotlagers und die Art der Einlagerung der Abfälle und der Verfüllung müssen dem Hauptlager entsprechen	
d. Das Pilotlager muss eine repräsentative kleine Menge von Abfällen enthalten.	
Störfälle im Pilotlager dürfen die Betriebs- und Langzeitsicherheit des Hauptlagers nicht beeinträchtigen und umgekehrt. Eine allfällige Umlagerung der Abfälle aus dem Pilotlager in das Hauptlager ist bei der Auslegung zu berücksichtigen.	ENSI-G03 Abs. 6.2b&d
Geologische Tiefenlager: Spezifische Vorgaben für Erdwissenschaftliche Untersuchungen	
Der Bewilligungsprozess wird in der KEV aufgeführt.	KEV Art. 58-61
Erdwissenschaftliche Untersuchungen sind so durchzuführen, dass belastbare Aussagen zur Betriebs- und Langzeitsicherheit eines geologischen Tiefenlagers getroffen werden können. Dabei dürfen sie die Langzeitsicherheit des Tiefenlagers nicht beeinträchtigen. Ein ausreichender Sicherheitsabstand zwischen sicherheitsrelevanten Teilen des Tiefenlagers und Bauwerken für die erdwissenschaftlichen Untersuchungen muss im Baugesuch nachgewiesen werden.	ENSI-G03 Abs. 7.1
Geologische Tiefenlager: Spezifische Vorgaben für die Projektierung und den Bau	
Die ENSI-G03 führt Bestimmungen zur Projektierung und zum Bau der untertägigen Bauwerken, der Oberflächenanlage und der Nebenzugangsanlagen auf.	ENSI-G03 Abs. 8

Tab. A.1-1: (Fortsetzung)

Vorgaben	Referenz
Geologische Tiefenlager: Spezifische Vorgaben für den Betrieb	
Die Betriebsbewilligung legt die Sicherheits-, Sicherungs- und Notfall-schutzmassnahmen fest, die der Bewilligungsinhaber während des Betriebs zu treffen hat.	KEG Art. 21
Die allgemeinen Pflichten des Betriebsbewilligungsinhabers (inkl. Betriebssicherheit) sind im KEG aufgeführt.	KEG Art. 22
Die ENSI-G03 listet Vorgaben für den Betrieb eines geologischen Tiefenlagers auf inklusive Bestimmungen zur Überwachung, zur Einlagerung, zur laufenden Verfüllung der HAA-Stollen und zur Versiegelung der Lagerkavernen und -stollen.	ENSI-G03 Abs. 6.1, 7.2 & 7.3
Die ENSI-G03 listet grundlegende Anforderungen, Vorgaben bzgl. Schutzkriterien sowie Sicherheitsnachweis für die Betriebsphase auf.	ENSI-G03 Abs. 4.3.1, 5.1 bzw. 9.2
Der Strahlenschutz in der Betriebsphase eines geologischen Tiefenlagers und seiner zugehörigen Oberflächenanlagen ist gemäss Art. 4 StSV zu optimieren. Dabei sind auch allfällige Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit zu berücksichtigen.	ENSI-G03 Abs. 4.4d
Bei Kernanlagen sind gegen Störfälle mit Ursprung innerhalb oder ausserhalb der Anlage Schutzmassnahmen zu treffen.	KEV Art. 8
Der Sicherheitsnachweis für die Betriebsphase hat sich auf umfassende Sicherheitsanalysen sowohl für den Normalbetrieb der Anlage als auch für Störfälle zu stützen. Die Sicherheitsanalysen sind entsprechend den geltenden Regelungen für Kernanlagen, insbesondere aus Art.8 KEV, aus der Verordnung des UVEK (UVEK 2009) sowie den Richtlinien ENSI-A01 (ENSI 2018f), ENSI-A05 (ENSI 2018d), ENSI-A08 (ENSI 2010) und ENSI-G14 (ENSI 2009) durchzuführen.	ENSI-G03 Abs. 5.1 & 9.2
Falls während der Betriebsphase der Sicherheitsnachweis nicht mehr erbracht werden kann und eine wirksame Instandsetzung der Sicherheitsbarrieren nicht möglich ist, ist eine (Teil)Rückholung der Abfälle vorzunehmen.	ENSI-G03 Abs. 7.4
Es sind technische und betriebliche Vorkehrungen für einen temporären Verschluss zu treffen, um die Einlagerungsbereiche eines geologischen Tiefenlagers während der Betriebsphase jederzeit in einen passiv sicheren Zustand überführen zu können. Der temporäre Verschluss ist in einem Konzept darzulegen, das zusammen mit dem Baubewilligungsgesuch einzureichen ist.	ENSI-G03 Abs. 7.5

Tab. A.1-1: (Fortsetzung)

Vorgaben	Referenz
Geologische Tiefenlager: Spezifische Vorgaben für die Beobachtungsphase und den Verschluss	
Der Eigentümer eines geologischen Tiefenlagers hat nach Einlagerung der Abfallgebinde die Lagerkavernen und -stollen zu verfüllen. Dabei muss die Langzeitsicherheit gewährleistet und die Rückholung der Abfälle ohne grossen Aufwand möglich sein.	KEV Art. 67 & Art. 69 Abs. 1
Beim Verschluss hat er sämtliche noch offenen Teile des Tiefenlagers zu verfüllen und die für die Langzeitsicherheit und die Sicherung massgebenden Teile zu versiegeln.	
Wenn die Einlagerung der radioaktiven Abfälle abgeschlossen ist, muss der Eigentümer das Projekt für die Beobachtungsphase und den Plan für den Verschluss aktualisieren.	KEG Art. 39 und KEV Art. 42 & 68 sowie ENSI-G03
Der Bundesrat ordnet nach Ablauf der Beobachtungsphase die Verschlussarbeiten an. Nach ordnungsgemäsem Verschluss kann er eine weitere, befristete Überwachung anordnen. Nach ordnungsgemäsem Verschluss oder nach Ablauf der Überwachungsfrist stellt der Bundesrat fest, dass das Lager nicht mehr der Kernenergiegesetzgebung untersteht. Der Bund kann weitergehende Massnahmen nach diesem Zeitpunkt, insbesondere eine Umweltüberwachung, durchführen.	Abs. 7.6a-b & Anhang 2
Eine Beobachtungsphase von 50 Jahren wird zum Zweck der Berechnung der Kosten in den Kostenstudien vorausgesetzt.	SEFV Art. 3 sowie KEV Art. 68
Die Dauer der Beobachtungsphase wird anlässlich des aktualisierten Projekts für die Beobachtungsphase vom Eigentümer des geologischen Tiefenlagers vorgeschlagen und vom Departement festgelegt.	
Das Gesuch zum Verschluss hat einen aktualisierten Sicherheitsnachweis zu enthalten, welcher die Erkenntnisse der Beobachtungsphase berücksichtigt. Mit dem Gesuch um Feststellung des ordnungsgemässen Verschlusses ist ein weiterer Nachweis für die Nachverschlussphase vorzulegen, in dem die effektive Ausführung des Verschlusses berücksichtigt wird.	ENSI-G03 Abs. 7.6d-e
Geologische Tiefenlager: Dokumentation, Markierung und Schutzbereich	
Der Eigentümer eines geologischen Tiefenlagers muss eine Dokumentation erstellen, die für eine langfristige Sicherstellung der Kenntnisse über das geologische Tiefenlager geeignet ist.	KEV Art. 71 Abs. 1 & 2 (s. auch KEG Art. 38 Abs. 2) sowie ENSI-G03
Die Dokumentation muss enthalten:	Abs. 11f
a. Lage und Ausdehnung der Untertagebauten	
b. Inventar der eingelagerten radioaktiven Abfälle, in Art und Menge aufgeteilt nach den Lagerräumen	
c. Auslegung der technischen Sicherheitsbarrieren einschliesslich der Versiegelung der Zugänge	
d. Grundlagen und Ergebnisse der endgültigen Analyse der Langzeitsicherheit.	
Das Dokumentationskonzept für alle Phasen ist mit dem Gesuch für Erdwissenschaftliche Untersuchungen Untertag einzureichen.	

Tab. A.1-1: (Fortsetzung)

Vorgaben	Referenz
Geologische Tiefenlager: Dokumentation, Markierung und Schutzbereich (Fortsetzung)	
Die Anforderungen an die Langzeit- und Betriebssicherheit müssen dokumentiert und die Nachvollziehbarkeit von wesentlichen Entscheidungen für die geologische Tiefenlagerung sowie deren Konsequenzen bezüglich der Langzeitsicherheit und der Betriebssicherheit sichergestellt werden.	ENSI-G03 Abs. 11d-e
Der Betriebsbewilligungsinhaber muss eine vollständige Dokumentation über die technischen Einrichtungen und den Betrieb führen, den Sicherheitsbericht und den Sicherungsbericht wenn nötig anpassen und das Projekt für die Beobachtungsphase und den Plan für den Verschluss der Anlage nachführen. Die Dokumentation des Baus ist gemäss Art. 27 KEV und der Richtlinie HSK-R-08, die Dokumentation des Betriebs gemäss Art. 41 KEV und der Richtlinie ENSI-G09 zu erstellen. Für die Untertagebauwerke ist die Dokumentation für Bau und Betrieb entsprechend der Norm SIA 197 zu ergänzen.	KEG Art. 22 Bst. i & k sowie ENSI-G03 Abs. 11g
Die Ergebnisse der Überwachung sind mit der periodischen Berichterstattung zu dokumentieren und dem ENSI einzureichen. U.a. sind Rückstellproben aufzubewahren und den Behörden bei Bedarf zur Verfügung zu stellen.	ENSI-G03 Abs. 6.1h-i
Der Bewilligungsinhaber hat die organisatorischen und technischen Dokumente während der gesamten Betriebsdauer bis zum Verschluss nachzuführen und dem aktuellen Stand der Kernanlage anzupassen. Er hat den Betrieb jederzeit nachvollziehbar zu dokumentieren. Die Dokumentation muss bis zum Verschluss oder bis nach Ablauf der Überwachungsfrist sicher aufbewahrt werden. Nach dem Verschluss oder nach Ablauf der Überwachungsfrist wird sie dem Departement übergeben.	KEV Art. 41 und Art. 71 Abs. 3
[Die] nach dem ordnungsgemässen Verschluss abzugebende Dokumentation ist in mindestens drei Exemplaren zu erstellen. Die Langzeitbeständigkeit der Dokumentation ist aufzuzeigen, und die dazu erforderlichen Wartungs- und Instandhaltungsmassnahmen sind zu erläutern. In der ENSI-G03 wird präzisiert, welche Angaben die Dokumentation im Minimum enthalten muss.	ENSI-G03 Abs. 11h-i
Der Bundesrat legt die Kriterien für den Schutzbereich fest. Ein vorläufiger Schutzbereich wird bei der Erteilung der Rahmenbewilligung definiert und dem Grundbuchamt gemeldet. Bei der Erteilung der Betriebsbewilligung wird er definitiv festgelegt. Der Bundesrat sorgt dafür, dass die Informationen über das Lager, die eingelagerten Abfälle und den Schutzbereich aufbewahrt werden und die Kenntnisse darüber erhalten bleiben.	KEG Art. 40 bzw. KEV Art. 70
Der Bundesrat schreibt die dauerhafte Markierung des Lagers vor.	KEG Art. 40 Abs. 7
Der Eigentümer hat im Rahmen des Baubewilligungsgesuchs ein Konzept für die Markierung des geologischen Tiefenlagers vorzulegen, welches in den nachfolgenden Bewilligungsschritten zu konkretisieren ist.	ENSI-G03 Abs. 6.3a
Die dauerhafte Markierung darf die Langzeitsicherheit nicht beeinträchtigen. Sie ist im Sicherheitsnachweis zu berücksichtigen.	ENSI-G03 Abs. 6.3b

Tab. A.1-1: (Fortsetzung)

Vorgaben	Referenz
Geologische Tiefenlager: Dokumentation, Markierung und Schutzbereich (Fortsetzung)	
Mit dem Verschluss hat der Eigentümer des geologischen Tiefenlagers insbesondere zu gewährleisten, dass die Markierung des geologischen Tiefenlagers dauerhaft ist.	KEV Art. 69 Abs. 3 Bst. c
Geologische Tiefenlager: Qualitätssicherung	
Für sämtliche sicherheitsrelevanten Arbeiten zu Projektierung, Bau, Betrieb, Beobachtung und Verschluss eines geologischen Tiefenlagers ist ein Qualitätsmanagementprogramm zu erstellen.	KEV Art. 25 & 31 sowie ENSI-G03 Abs. 11a-c
Geologische Tiefenlager: Sicherung und Safeguards	
Um zu verhindern, dass die nukleare Sicherheit von Kernanlagen und Kernmaterialien durch unbefugtes Einwirken beeinträchtigt oder Kernmaterialien entwendet werden, müssen Sicherungsmassnahmen getroffen werden.	KEG Art. 5 Abs. 3
Systematische Sicherheits- und Sicherungsbewertungen sind während der ganzen Lebensdauer der Anlage durchführen. Der Sicherheitsbericht und der Sicherungsbericht sollen wenn nötig angepasst werden.	KEG Art. 22 Abs. 2 Bst. d & i
Sicherheitstechnische Anforderungen an die Sicherung von Kernanlagen inklusive Einteilung der Kernmaterialien und radioaktiven Abfälle und Sicherungsmassnahmen sind in der relevanten Gesetzgebung aufgeführt.	KEV Art. 9 & Anhang 2, ENSI G-03 Abs. 10.1 sowie UVEK 2008 Abs. 2-3
Ein geologisches Tiefenlager sowie die dazugehörigen Oberflächenanlage und Nebenzugangsanlagen sind so auszulegen, dass Kontrollen spaltbarer Materialien möglich sind. Dabei dürfen die nötigen Vorkehrungen die Langzeitsicherheit eines geologischen Tiefenlagers nicht beeinträchtigen.	ENSI-G03 Abs. 10.2
Der Betriebsbewilligungsinhaber hat für diejenigen Bereiche, in denen sich Kernmaterialien befinden, Materialbilanzzonen festzulegen.	Safeguards- verordnung Art. 8 Abs. 1
Der Betriebsbewilligungsinhaber hat eine Materialbilanzzone derart zu begrenzen, bzw. so zu unterteilen, dass Bestand und Bewegungen von Kernmaterialien jederzeit festgestellt werden können.	Safeguards- verordnung Art. 8 Abs. 2 und 3
Der Betriebsbewilligungsinhaber hat über den Bestand von Kernmaterialien in jeder Materialbilanzzone laufend Buch zu führen und dem Bundesamt die relevanten Berichte einzureichen.	Safeguards- verordnung Art. 9 und 10

A.2 Phasen, Zeitperioden sowie zu bearbeitende Themen und Aktivitäten

A.2.1 Überblick über Phasen, Zeitperioden und wichtigste Aktivitäten für die Vorhaben Kombilager, HAA-Lager und SMA-Lager gemäss Realisierungsplan

Tab. A.2-1: Überblick über Phasen, Zeitperioden und wichtigste Aktivitäten für das Kombilager in den verschiedenen Phasen gemäss dem in Fig. 5.3-1 dargelegten Realisierungsplan

Konvention zur Zeitperiode: jeweils von Januar (Startjahr) bis Dezember (Schlussjahr).

Phase	Zeitperiode	Ziel	Wichtigste Aktivitäten
Standortwahl	2019 – 2024	SGT Etappe 3: Feldarbeiten, Auswahl Standorte für Vorbereitung RBG, Erstellung RBG	Durchführung und Auswertung der Feldarbeiten, sicherheitstechnischer Vergleich der Standortgebiete, Vorschläge für Standortareale für die Oberflächeninfrastruktur (OFI), Erarbeitung der Unterlagen für das Rahmenbewilligungsgesuch
Rahmenbewilligung	2025 – 2031	Rahmenbewilligung	Behördliche Prüfung der Unterlagen, Entscheid Bundesrat, Genehmigung durch Parlament, fakultatives nationales Referendum Bohrung am Schachtstandort
Vorbereitung EUU	2032 – 2034	Bewilligung erdwissenschaftlicher Untersuchungen untertag	Bauvorbereitung für die EUU Prüfung des Gesuchs EUU, Entscheid UVEK
Bau und Beginn EUU	2035 – 2039	Bau und Beginn der erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag	Bau und Beginn erdwissenschaftlicher Untersuchungen untertag (begleitende Charakterisierung bei der Erstellung der Zugangsbauwerke EUU, Beginn erster Experimente untertag in den Bauten für EUU; s. Tab. A.2-4), Vorbereitung Unterlagen nukleares Baubewilligungsverfahren SMA
Weiterführung EUU	2040 – 2054	Weiterführung erdwissenschaftlicher Untersuchungen untertag	Aufbau und Durchführung von Experimenten untertag und Beobachtung (s. Tab. A.2-4), Synthesen, Erstellen von Nachweisen aus EUU für die nuklearen Bau- und Betriebsbewilligungsverfahren SMA und HAA
Nukleare Baubewilligung SMA	2040 – 2044	Nukleare Baubewilligung Lagerteil SMA	Behördliche Prüfung nukleares Baubewilligungsgesuch SMA, Entscheid UVEK; Vorbereitung Unterlagen nukleares Betriebsbewilligungsverfahren SMA
Bau Lager SMA	2045 – 2049	Bau Lagerteil SMA	Bau Oberflächenanlage (inkl. Verpackungsanlage) / untertägige Bauten, inklusive Ausrüstung

Tab. A.2-1: (Fortsetzung)

Phase	Zeitperiode	Ziel	Wichtigste Aktivitäten
Nukleare Betriebsbewilligung SMA	2045 – 2049	Nukleare Betriebsbewilligung Lagerteil SMA	Behördliche Prüfung der Unterlagen, Entscheid UVEK Vorbereitung Unterlagen nukleares Baubewilligungsverfahren HAA
Einlagerungsbetrieb SMA	2050 – 2064	Betrieb Lagerteil SMA	Antransport der Abfallgebinde SMA, Verpackung / Einlagerung in Pilot- und Hauptlager SMA, Verfüllung und Verschluss der Lagerkavernen, periodische Sicherheitsanalysen / Berichterstattung
Nukleare Baubewilligung HAA	2050 – 2054	Nukleare Baubewilligung HAA	Behördliche Prüfung nukleares Baubewilligungsgesuch HAA, Entscheid UVEK, Vorbereitung Unterlagen nukleares Betriebsbewilligungsverfahren HAA
Bau Lager HAA	2055 – 2059	Bau Lagerteil HAA	Erweiterung Oberflächenanlage (inkl. Verpackungsanlage HAA) / untertägige Bauten für Lagerteil HAA, inklusive Ausrüstung
Nukleare Betriebsbewilligung HAA	2055 – 2059	Nukleare Betriebsbewilligung Lagerteil HAA	Behördliche Prüfung der Unterlagen, Entscheid UVEK
Einlagerungsbetrieb HAA	2060 – 2074	Betrieb Lagerteil HAA	Antransport der Abfallgebinde HAA, Verpackung / Einlagerung in Pilot- und Hauptlager HAA, Verfüllung und Verschluss der Lagerstollen, fortlaufende Erstellung neuer Lagerstollen HAA, periodische Sicherheitsanalysen / Berichterstattung
Beobachtungsphase	2065 – 2124	Beobachtungsphase	Messungen Pilotlager (SMA bis 2114; HAA bis 2124), weitere Überwachungsaktivitäten, periodische Berichterstattung
	2075 – 2080	Stilllegung / Rückbau der nuklearen Elemente der Oberflächenanlage	Stilllegung und Rückbau Verpackungsanlagen SMA und HAA
Verschluss Hauptlager	2085 – 2090	Verschluss Hauptlager / teilweise Rückbau der Oberflächenanlage	Verschluss Haupt- und Pilotlager inklusive nicht mehr benötigter Zugänge von der Oberfläche nach untertag, Weiterführung Rückbau Oberflächenanlage (konventionell) (s. auch Kap. 5.4.2)
Verschluss Gesamtlager	2125 – 2126	Ordnungsgemässer Verschluss Gesamtlager	Vorbereitungsarbeiten, Verfüllung und Versiegelung noch verwendeter Testbereiche und offener Zugänge der untertägigen Anlagen Markierung des Tiefenlagers, vollständiger Rückbau der Oberflächenanlagen, allfällige Renaturierung
Langzeitüberwachung	> 2126	Umweltüberwachung	Allfällige Durchführung von Massnahmen zur Umweltüberwachung bis Entlassung des verschlossenen Tiefenlagers aus der Kernenergiegesetzgebung

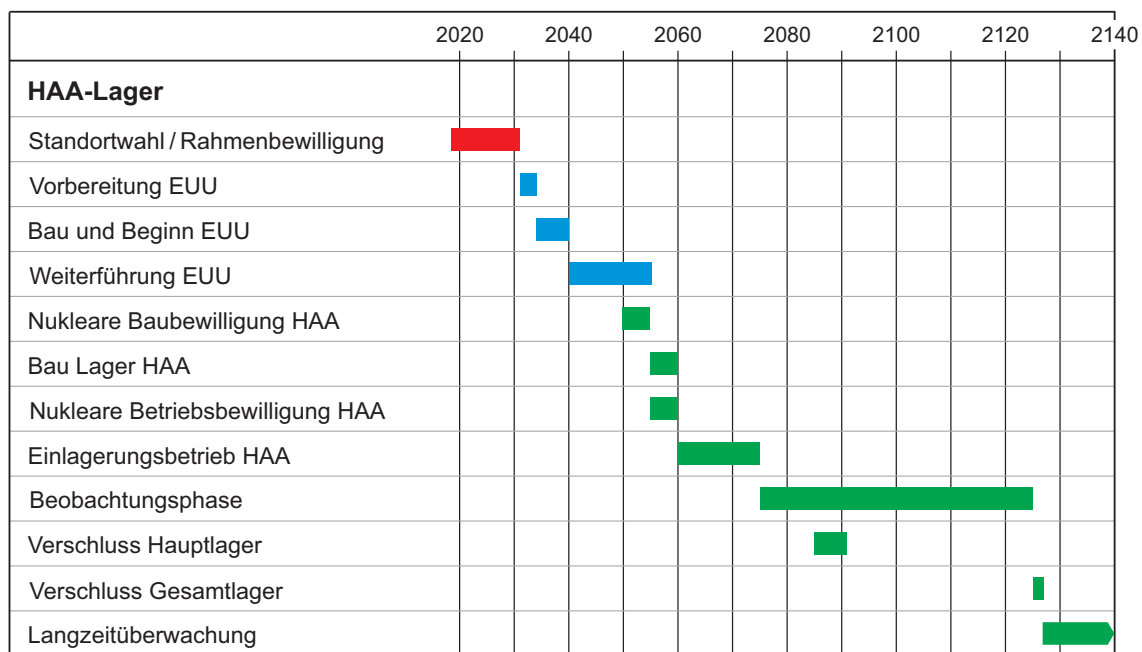


Fig. A.2-1: Realisierungsplan für das HAA-Lager gemäss heutiger Planung

Tab. A.2-2: Überblick über Phasen, Zeitperioden und wichtigste Aktivitäten für das HAA-Lager in den verschiedenen Phasen gemäss dem in Fig. A.2-1 dargelegten Realisierungsplan

Konvention zur Zeitperiode: jeweils von Januar (Startjahr) bis Dezember (Schlussjahr).

Phase	Zeitperiode	Ziel	Wichtigste Aktivitäten
Standortwahl	2019 – 2024	SGT Etappe 3: Feldarbeiten, Auswahl Standorte für Vorbereitung RBG, Erstellung RBG	Durchführung und Auswertung der Feldarbeiten, sicherheitstechnischer Vergleich der Standortgebiete, Vorschläge für Standortareale für die Oberflächen- infrastruktur (OFI), Erarbeitung der Unterlagen für das Rahmenbewilligungs- gesuch
Rahmen- bewilligung	2025 – 2031	Rahmenbewilligung	Behördliche Prüfung der Unterlagen, Entscheid Bundesrat, Genehmigung durch Parlament, fakultatives nationales Referendum Bohrung am Schachtstandort
Vorbereitung EUU	2032 – 2034	Bewilligung erdwissenschaftlicher Untersuchungen untertag	Bauvorbereitung für die EUU Prüfung des Gesuchs EUU, Entscheid UVEK
Bau und Beginn EUU	2035 – 2040	Bau und Beginn der erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag	Bau und Beginn erdwissenschaftlicher Untersuchungen untertag (begleitende Charakterisierung bei der Erstellung der Zugangsbauwerke EUU, Beginn erster Experimente untertag in den Bauten für EUU; s. Tab. A.2-4)
Weiterführung EUU	2041 – 2054	Weiterführung erdwissenschaftlicher Untersuchungen untertag	Aufbau und Durchführung von Experi- menten untertag und Beobachtung (s. Tab. A.2-4), Synthesen, Vorbereitung Unterlagen nukleares Baubewilligungs- verfahren
Nukleare Baubewilligung HAA	2050 – 2054	Nukleare Baubewilligung für das HAA-Lager	Behördliche Prüfung nukleares Bau- bewilligungsgesuch HAA, Entscheid UVEK, Vorbereitung Unterlagen nukleares Betriebsbewilligungsverfahren
Bau Lager HAA	2055 – 2059	Bau Lager	Bau Oberflächenanlage (inkl. Ver- packungsanlage HAA) / untertägige Bauten inklusive Ausrüstung
Nukleare Betriebsbewilli- gung HAA	2055 – 2059	Nukleare Betriebsbewilligung für das HAA-Lager	Behördliche Prüfung der Unterlagen, Entscheid UVEK

Tab. A.2-2: (Fortsetzung)

Phase	Zeitperiode	Ziel	Wichtigste Aktivitäten
Einlagerungs- betrieb HAA	2060 – 2074	Betrieb des HAA- Lagers	Antransport der Abfallgebinde, Verpackung / Einlagerung in Pilot- und Hauptlager, Verfüllung und Verschluss der Lager- kammern, fortlaufende Erstellung neuer Lagerstollen HAA, periodische Sicherheits- analysen / Berichterstattung
Beobachtungs- phase	2075 – 2124	Beobachtungsphase	Messungen Pilotlager, weitere Über- wachungsaktivitäten, periodische Berichterstattung
	2075 – 2080	Stilllegung / Rückbau der nuklearen Elemente der Oberflächenanlage	Stilllegung und Rückbau Verpackungs- anlage HAA
	2085 – 2090	Verschluss Hauptlager / teilweise Rückbau der Oberflächenanlage	Verschluss Haupt- und Pilotlager inklusive nicht mehr benötigter Zugänge von der Oberfläche nach untertag, Weiterführung Rückbau Oberflächenanlage (konventionell)
Verschluss Gesamtlager	2125 – 2126	Ordnungsgemässer Verschluss Gesamtlager	Vorbereitungsarbeiten, Verfüllung und Versiegelung noch verwendeter Test- bereiche und offener Zugänge, der untertägigen Anlagen Markierung des Tiefenlagers, vollständiger Rückbau der Oberflächenanlagen, allfällige Renaturierung
Langzeit- überwachung	> 2126	Umweltüberwachung	Allfällige Durchführung von Massnahmen zur Umweltüberwachung bis Entlassung des verschlossenen Tiefenlagers aus der Kernenergiegesetzgebung

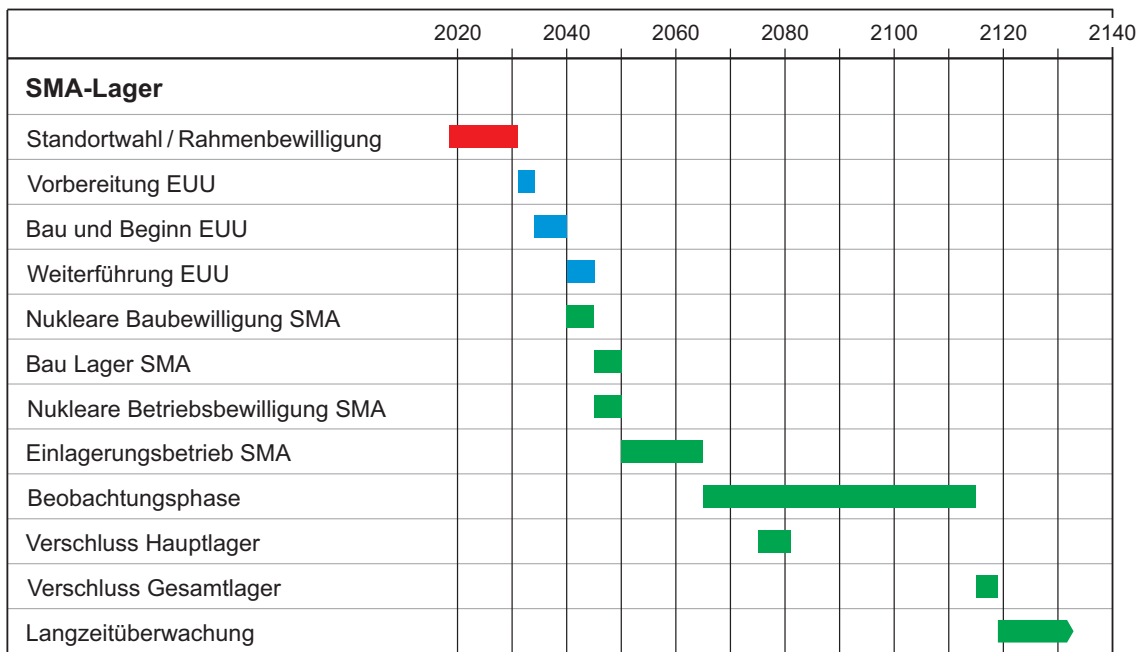


Fig. A.2-2: Realisierungsplan für das SMA-Lager gemäss heutiger Planung

Tab. A.2-3: Überblick über Phasen, Zeitperioden und wichtigste Aktivitäten für das SMA-Lager in den verschiedenen Phasen gemäss dem in Fig. A.2-2 dargelegten Realisierungsplan

Konvention zur Zeitperiode: jeweils von Januar (Startjahr) bis Dezember (Schlussjahr).

Phase	Zeitperiode	Ziel	Wichtigste Aktivitäten
Standortwahl	2019 – 2024	SGT Etappe 3: Feldarbeiten, Auswahl Standorte für Vorbereitung RBG, Erstellung RBG	Durchführung und Auswertung der Feldarbeiten, sicherheitstechnischer Vergleich der Standortgebiete, Vorschläge für Standortareale für die Oberflächeninfrastruktur (OFI), Erarbeitung der Unterlagen für das Rahmenbewilligungsgesuch
Rahmen- bewilligung	2025 – 2031	Rahmenbewilligung	Behördliche Prüfung der Unterlagen, Entscheid Bundesrat, Genehmigung durch Parlament, fakultatives nationales Referendum Bohrung am Schachtstandort
Vorbereitung EUU	2032 – 2034	Bewilligung erdwissenschaftlicher Untersuchungen untertag	Bauvorbereitung für die EUU Prüfung des Gesuchs EUU, Entscheid UVEK
Bau und Beginn EUU	2035 – 2039	Bau und Beginn der erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag	Bau und Beginn erdwissenschaftlicher Untersuchungen untertag (begleitende Charakterisierung bei der Erstellung der Zugangsbauwerke EUU, Beginn erster Experimente untertag in den Bauten für EUU; s. Tab. A.2-4), Vorbereitung Unterlagen nukleares Baubewilligungs- verfahren
Weiterführung EUU	2040 – 2044	Weiterführung erdwissenschaftlicher Untersuchungen untertag	Aufbau und Durchführung von Experi- menten untertag und Beobachtung (s. Tab. A.2-4), Synthesen, Erstellen von Nachweisen aus EUU für die nuklearen Bau- und Betriebsbewilligungsverfahren SMA
Nukleare Baubewilligung SMA	2040 – 2044	Nukleare Baubewilligung für das SMA-Lager	Behördliche Prüfung nukleares Bau- bewilligungsgesuch SMA, Entscheid UVEK, Vorbereitung Unterlagen nukleares Betriebsbewilligungsverfahren
Bau Lager SMA	2045 – 2049	Bau des SMA-Lagers	Bau Oberflächenanlage (inkl. Verpackungs- anlage SMA) / untertägige Bauten inklusive Ausrüstung
Nukleare Betriebsbewilli- gung SMA	2045 – 2049	Nukleare Betriebs- bewilligung für das SMA-Lager	Behördliche Prüfung der Unterlagen, Entscheid UVEK

Tab. A.2-3: (Fortsetzung)

Phase	Zeitperiode	Ziel	Wichtigste Aktivitäten
Einlagerungs- betrieb SMA	2050 – 2064	Betrieb des SMA- Lagers	Antransport der Abfallgebinde, Verpackung / Einlagerung in Pilot- und Hauptlager, Verfüllung und Verschluss der Lager- kammern, periodische Sicherheitsanalysen / Berichterstattung
Beobachtungs- phase	2065 – 2114	Beobachtungsphase	Messungen Pilotlager, weitere Über- wachungsaktivitäten, periodische Berichterstattung
	2065 – 2070	Stilllegung / Rückbau der nuklearen Elemente der Oberflächenanlage	Stilllegung und Rückbau Verpackungsanlage SMA
	2075 – 2080	Verschluss Hauptlager / teilweise Rückbau der Oberflächenanlage	Verschluss Haupt- und Pilotlager inklusive nicht mehr benötigter Zugänge von der Oberfläche nach untertag, Weiterführung Rückbau Oberflächenanlage (konventionell)
Verschluss Gesamtlager	2115 – 2118	Ordnungsgemässer Verschluss Gesamtlager	Verfüllung und Versiegelung noch verwendeter Testbereiche und offener Zugänge, Markierung des Tiefenlagers, vollständiger Rückbau der Oberflächen- anlagen, allfällige Renaturierung
Langzeit- überwachung	> 2118	Umweltüberwachung	Allfällige Durchführung von Massnahmen zur Umweltüberwachung bis Entlassung des verschlossenen Tiefenlagers aus der Kernenergiegesetzgebung

Tab. A.2-4: Darlegung eines möglichen Programms für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag für das Kombilager (für Details s. Nagra 2021a, 2021e)

Konvention zur Zeitperiode: jeweils von Januar (Startjahr) bis Dezember (Schlussjahr).

Dabei werden folgende Bedingungen angenommen: Die Erstellung der Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen erfolgt gestaffelt und ohne relevante geologische Überraschungen; damit kann bereits ab 2038 mit ersten Experimenten begonnen werden. Ab 2040 werden diese Experimente durch weitere spezifische Untersuchungen im Hinblick auf die nukleare Baubewilligung sowie Langzeitexperimente ergänzt. Ab 2043 erfolgt die Erprobung sicherheitsrelevanter Techniken und der Nachweis deren Funktionstüchtigkeit hinsichtlich der Inbetriebnahme des geologischen Tiefenlagers. Zudem werden die Langzeitexperimente im Rahmen von Testbereichen bei Bedarf weitergeführt. Es wird davon ausgegangen, dass die Untersuchungen in den Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen resp. den Testbereichen repräsentativ sind für das geologische Tiefenlager und die Experimente keine Überraschungen zeigen, welche die Eignung des Standorts in Frage stellen.

Phase	Zeitperiode	Tätigkeit	Wichtigste Aktivitäten mit zugehörigen Zielen (C, B, Ü, D) (C) Charakterisierung der geologischen Situation (B) Eignungsbestätigung hinsichtlich vorgängiger Annahmen und Parameter (Ü) Überwachung (D) Demonstration
Vorbereitung Gesuch EUU	2029 – 2031	Sondierbohrung am Schachtstandort	Charakterisierung der geologischen Situation für den Bau der Zugangsbauwerke EUU (C)
Vorbereitung EUU	2032 – 2034	Bauvorbereitung	Keine Aktivität untertag
Bau und Beginn EUU	2035 – 2039	Begleitende Charakterisierung bei der Erstellung Zugang untertag	- Charakterisierung während Bau Zugangsbauwerke EUU, zentraler Bereich und BEUU (Kartierung und Beprobung): Darin eingeschlossen sind geotechnische, hydrogeologische und hydrogeochemische Aspekte (C) - Überwachung unter In situ-Bedingungen (Ü)
Erste Experimente EUU	2038	Beginn erster Experimente im Rahmen erster Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag	- Charakterisierung der geologischen Situation untertag auf Lagerebene inklusive räumlicher Variabilität (C, B) - Beginn von Experimenten zur Bestätigung felsmechanischer Parameter und Eignung technischer Elemente (z.B. Stützmittel) im Hinblick auf den Bau des Lagers (C, B) - Beginn Experimente zur Gasfreisetzung über das Wirtgestein (Gastest) (B) - Beginn Experimente zur Migration (Diffusionsversuche) (B) - Überwachung unter In situ-Bedingungen (Ü)

Tab. A.2-4: (Fortsetzung)

Phase	Zeitperiode	Tätigkeit	Wichtigste Aktivitäten mit zugehörigen Zielen (C, B, Ü, D) (C) Charakterisierung der geologischen Situation (B) Eignungsbestätigung hinsichtlich vorgängiger Annahmen und Parameter (Ü) Überwachung (D) Demonstration
Weiterführung EUU SMA & HAA	2040 – 2044	Weiterführung von Experimenten in Bauten für erd-wissenschaftliche Untersuchungen untertag im Hinblick auf die nuklearen Baubewilligungen SMA & HAA	• Fortführung laufender Experimente (B) • Selbstabdichtung (Entwicklung, Geometrie und hydraulische Eigenschaften der Auflockerungszone) (B) • Auswirkungen Wärmeeintrag auf Wirtgestein (Heatertest) (B) • Überwachung unter In situ-Bedingungen (Ü) • Demonstration der Versiegelung (D) • Demonstrationsversuche zur Einlagerung (inkl. Einbringen des Verfüllmaterials) und Rückholung der Abfallgebinde SMA (D)
Weiterführung EUU HAA	2045 – 2054	Weiterführung von Experimenten in Bauten für erd-wissenschaftliche Untersuchungen untertag im Hinblick auf die nukleare Baubewilligung HAA	• Fortführung von Experimenten zur Eignungsbestätigung für HAA (B) • Überwachung unter In situ-Bedingungen (Ü) • Demonstrationsversuche zur Einlagerung (inkl. Einbringen des Verfüllmaterials) und Rückholung der Abfallgebinde HAA (D)
Bau Lager SMA	2045 – 2049	Bau Lagerteil SMA	• Vortriebsbegleitende Erkundung und Charakterisierung (C) • Überwachung unter In situ-Bedingungen (Ü)
Bau Lager HAA	2055 – 2059	Bau Lagerteil HAA	• Vortriebsbegleitende Erkundung und Charakterisierung (C) • Überwachung unter In situ-Bedingungen (Ü) • Evtl. Fortführung von Langzeitexperimenten

Tab. A.2-5: Betriebs- und Stilllegungszeiten der KKW und Zwischenlager gemäss Szenario «60 Jahre Betrieb KKW»

	KKB	KKM	KKG	KKL	Zwilag	ZWIBEZ ¹⁾	BZL-1/2
Kommerzieller Betrieb von/bis	24.12.1969 ²⁾ – 2030	06.11.1972 – 2019	01.11.1979 – 2039	15.12.1984 – 2044	2000 – mind. 2074	2008 – 2074	1992 – 2064
Nachbetrieb von/bis	2031 – 2034	2020 – 2024	2040 – 2042	2045 – 2048			
Rückbau von/bis ³⁾	2031 – 2044	2020 – 2034	2043 – 2053	2045 – 2059	2060 ⁴⁾ – 2081	2075	
Dezentrale SMA-Zwischenlager von/bis ⁵⁾	1970 – 2034	1972 – 2024	1979 – 2042	1984 – 2048			
Zwilag Halle S von/bis					2020 ⁶⁾ – 2064		
Zwilag Halle M von/bis					2000 – 2074		
Zwilag Halle H von/bis					2000 – 2074		
ZWIBEZ Halle S von/bis						2008 – 2064	
ZWIBEZ Halle H von/bis						2008 – 2074	
KKG Nasslager von/bis			2008 – 2045				

- ¹⁾ BZL, ZWIBEZ und Zwilag verfügen über eigenständige Bewilligungen gemäss der Kernenergiegesetzgebung; das ZWIBEZ wird auch nach erfolgter Stilllegung des KKB vor Ort autonom weiterbetrieben.
- ²⁾ Datum für KKB I: 24.12.1969, KKB II: 23.10.1971; bei den weiteren Zeitangaben wird für beide Blöcke jeweils ein "mittleres" Jahr verwendet.
- ³⁾ Dies beinhaltet den Rückbau bis Abschluss Stilllegung.
- ⁴⁾ Stilllegung Konditionieranlagen / Plasmaofen (spätestens) im Jahr nach dem letzten Anfallen von KKW-Stilllegungsabfällen (2059), Rückbau ab 2075.
- ⁵⁾ Das Ende der Betriebszeit des jeweiligen SMA-Zwischenlagers entspricht dem Ende des Nachbetriebs des betreffenden KKW.
- ⁶⁾ Die Einlagerung erster Stilllegungsabfälle wird ab 2021 erwartet.

A.2.2 Zu bearbeitende Themen und Aktivitäten für die Realisierung der geologischen Tiefenlager

Tab. A.2-6: Für die Umsetzung des Realisierungsplans aus heutiger Sicht zu bearbeitende Themen und Aktivitäten

Systemanalysen: Diese Aktivitäten dienen der Beurteilung von Sicherheit und technischer Machbarkeit im Rahmen von Systemanalysen und umfassen im Wesentlichen die:

- Durchführung von Sicherheitsanalysen inkl. der Bewertung sicherheitsrelevanter Phänomene und als Input für die Anlagenplanung (s. unten) und die sicherheitsgerichtete Optimierung der geologischen Tiefenlager

Als Grundlage für die Systemanalysen werden im Wesentlichen die folgenden Arbeiten durchgeführt:

- Verfeinerung von Sicherheits-, Barrieren- und Strahlenschutzkonzepten inkl. der Methodik für Sicherheits- und Systemanalysen
- Charakterisierung der Immobilisierungs-, Retardierungs- und Transportphänomene für Radionuklide (insbesondere bzgl. Geochemie) in den technischen und geologischen Barrieren nach Verschluss der Tiefenlager und deren Berücksichtigung in den Modellen der Sicherheitsanalyse
- Bestimmung sicherheitsbezogener Eigenschaften der technischen Barrieren und des Nahfelds, inklusive Interaktion mit der umgebenden Geologie sowie Vertiefung des Prozessverständnisses (lagerinduzierte Effekte) für die technischen Barrieren und das Nahfeld
- Modellierungen zur Berechnung von Personendosen aus Radionuklidfreisetzungsraten nach Verschluss der Tiefenlager
- Dosisberechnungen und Störfallanalysen für die Betriebsphase

Der Fokus der Aktivitäten im Hinblick auf das RBG liegt auf der:

- Durchführung von Sicherheitsanalysen für die vergleichende Gesamtbewertung hinsichtlich des Standortvergleichs als auch eine entsprechende Vertiefung und Ergänzung mit umfassenden Szenarien- und Risikoanalysen gemäss Richtlinie ENSI-G03 für den gewählten Standort. Sicherheitsanalysen liefern die geforderte systematische quantitative Untersuchung, welche die Einhaltung der Schutzkriterien und die Erfüllung der vorgegebenen Sicherheitsanforderungen aufzeigt und umfasst unterstützende Argumente für die qualitative Bewertung der 13 SGT-Kriterien z.B. für die Begründung oder Herleitung von Bewertungsskalen oder die relative Gewichtung von Indikatoren und Kriterien
- Erstellung stufengerechter Sicherheitsnachweise für die Betriebsphase sowie die Nachverschlussphase unter Berücksichtigung des aktuellen Kenntnisstands (Stand der Anlagenplanung, Geosynthesen, Erkenntnisse aus dem RD&D-Programm)

Der Fokus der Aktivitäten im Hinblick auf spätere Bewilligungsschritte liegt auf der:

- Durchführung von Sicherheitsanalysen für das Gesuch EUU und für die nuklearen Bau- und Betriebsbewilligungsgesuche. Auch nach Inbetriebnahme müssen die Sicherheitsanalysen periodisch aktualisiert werden
- Stufengerechte Vertiefung und Dokumentation der erforderlichen Sicherheitsnachweise für die Betriebsphase sowie der Nachverschlussphase unter Berücksichtigung des dannzumaligen Kenntnisstands (Stand der Anlagenplanung, Geosynthesen, Erkenntnisse aus den EUU und dem RD&D-Programm)

Tab. A.2-6: (Fortsetzung)

Geologische Untersuchungen: Diese Aktivitäten umfassen geologische Untersuchungen sowie die geologische Beschreibung der Standorte mit folgenden Schwerpunkten:

- Standortuntersuchungen (Geometrie und Eigenschaften relevanter Gesteinsschichten, Zustandsparameter, standortspezifische Langzeitentwicklung etc.)
- Regionale geologische Untersuchungen zur allgemeinen Geologie und Tektonik, zur Hydrogeologie und zur geologischen Langzeitentwicklung sowie Studien und Modellierungen zur Klima-Entwicklung, Erosion, Neotektonik
- Vertiefung des Prozessverständnisses (Transportmechanismen, Gasfreisetzung, Selbstabdichtung, gekoppelte Phänomene, Felsmechanik etc.)
- Synthesen und Berichterstattung, inklusive geologische Datensätze für den Bau der Lageranlagen und für die Beurteilung der Sicherheit

Der Fokus der Aktivitäten im Hinblick auf das RBG liegt auf der:

- Durchführung, Auswertung und Interpretation von 3D-Seismik-Messungen u.a. zur Bestimmung der Schichtgeometrie und der der tektonischen Zergliederung
- Durchführung, Auswertung und Interpretation von Tiefbohrungen zur Kalibrierung der 3D-Seismik und zur Bestimmung der Eigenschaften und der Zustandsparameter im Wirtgestein, in den tonmineralreichen Rahmengesteine sowie in den angrenzenden Tiefenaquiferen
- Integration der Felduntersuchungen und der Erstellung von geologischen Standortmodellen
- Durchführung von standortspezifischen numerischen Modellierungen und weiteren Studien zur Erhöhung des Prozessverständnisses
- Durchführung, Auswertung und Interpretation von Quartäruntersuchungen (v.a. 2D-Seismik und Bohrungen) als Basis für die Beurteilung der geologischen Langzeitentwicklung
- Erstellung von Szenarien zur geologischen Langzeitentwicklung und Analyse der Effekte auf die Transportprozesse
- Zusammenfassung der geologischen Erkenntnisse in einer Geosynthese als Bestandteil der Gesuchunterlagen

Nach der Rahmenbewilligung können die Aktivitäten entsprechend reduziert werden. Der Fokus der Aktivitäten liegt auf den benötigten Grundlagen für das Gesuch EUU sowie das nukleare Baubewilligungsgesuch:

- Sondierbohrung am Schachtstandort zur Charakterisierung der geologischen Situation für den Bau der Zugangsbauwerke EUU
- Geotechnische, hydrogeologische und hydrogeochemische Charakterisierung während dem Bau der Zugangsbauwerke EUU
- Aufbau und Durchführung von Experimenten untertag zur:
 - Charakterisierung der geologischen Situation untertag auf Lagerebene inklusive räumlicher Variabilität
 - Bestätigung felsmechanischer Parameter und der Eignung technischer Elemente im Hinblick auf den Bau des Lagers
 - Untersuchung der Transportprozesse über das Wirtgestein (inkl. Gasfreisetzung)
- Stufengerechte Vertiefung des Geodatensatzes und Dokumentation im Rahmen von Geosynthesen

Tab. A.2-6: (Fortsetzung)

Charakterisierung der radioaktiven Materialien: Diese Aktivitäten bezwecken die Charakterisierung der radioaktiven Materialien sowie ihrer Eigenschaften und umfassen im Wesentlichen:

- Fortlaufende Aktualisierung des Abfallinventars (Aktivitäten, Mengen, Eigenschaften) als Projektierungsgrundlage für die geologischen Tiefenlager und die Betriebsabläufe, u.a. dokumentiert im periodisch aktualisierten "Modellhaften Inventar für radioaktive Abfälle (MIRAM)":
 - dazu Verbesserungen der Charakterisierungs- und Inventarisierungsmethoden
 - stufengerechter Abbau von vermeidbaren Ungewissheiten und Konservativitäten des radioaktiven Abfallinventars
- Studien zur Handhabung, Beladung und Verpackung der radioaktiven Abfälle inkl. Bereitstellung der kompletten Abfalllogistik (Abfall- und Transportmengengerüste) für jedes relevante Tiefenlager-Szenario
- Beratung der Abfallverursacher, insbesondere hinsichtlich der Projekte wie z.B. Stilllegungsprojekte (Behälterentwicklung, Aktivierungsrechnungen, Abschirmberechnungen etc.)
- Produktkontrolle der bestehenden und Evaluation von neuen Konditionierungsverfahren sowie Durchführung von ELFB- und Vorabnahme-Verfahren (Endlagerfähigkeitsbescheinigung) zur Gewährleistung der Übereinstimmung der konditionierten radioaktiven Materialien mit den Annahmebedingungen
- Evaluation von Eigenschaften der Abfälle und Abklärungen zum Umgang (BE-Integrität, Verwertung resp. allfällige Entsorgung der Transportbehälter, Handhabung von Gebinden in der Oberflächenanlage)
- Ausschluss von Kritikalität sowohl für Handhabungsvorgänge während der Betriebsphase als auch für die Langzeitentwicklung nach dem Verschluss mittels fortgeschrittener Methoden ("Burn-up Credit")
- Forschungstätigkeiten u.a. zu Fragestellungen der Integrität der abgebrannten Brennelemente

Der Fokus der Aktivitäten im Hinblick auf das RBG liegt auf:

- Erstellung von Gesuchsunterlagen (Aktualisierung des Abfallinventars (Aktivitäten, Mengen, Eigenschaften) und Dokumentation des "Modellhaften Inventars für radioaktive Abfälle (MIRAM)", Unterkritikalitätsnachweis im Rahmen des RBG)
- Einführung des Vorabnahmeverfahrens sowie Durchführung und Dokumentation exemplarischer/modellhafter Vorabnahmeverfahren

Der Fokus der Aktivitäten im Hinblick auf spätere Bewilligungsschritte liegt auf:

- Unterstützung der Optimierung des Gesamtsystems und Erarbeitung notwendiger Daten Grundlagen
- Detailplanung und Optimierung der Abfalllogistik (inkl. notwendiger Entwicklungen z.B. von Transportbehältern)
- Bereitstellung abfallspezifischer Kenndaten für u.a. die Anlagenplanung
- Erstellung der entsprechenden Gesuchsunterlagen (Abfallinventar, Annahmen zur Abfallbehandlung (TLB etc.), Abfalleigenschaften relevant für die Handhabung, Festlegung von Annahmebedingungen)
- Forschungstätigkeiten gemäss RD&D-Plan 2021

Tab. A.2-6: (Fortsetzung)

Aktivitäten hinsichtlich der Projektierung und Implementierung

Diese Aktivitäten umfassen im Wesentlichen:

- Zeitgerechte und stufenweise Anlagenplanung, sowie Bau und Betrieb der obertägigen und untertägigen Anlagen zur dauerhaften Einlagerung aller radioaktiven Abfälle der Schweiz in einem geologischen Tiefenlager entsprechend dem übergeordneten Realisierungsplan unter Einhaltung aller zu berücksichtigenden gesetzlichen und behördlichen Vorgaben und Anforderungen
- Entwicklung der dazu notwendigen Technologien und technischen Barrieren
- Überwachung und Verschluss des geologischen Tiefenlagers sowie Stilllegung und Rückbau der obertägigen Anlagen

Der Fokus der Aktivitäten im Hinblick auf das RBG liegt auf der:

- Ausarbeitung der standortspezifischen untertägigen Lagerprojekte inkl. bautechnischer Risikoanalyse auf Stufe Vorprojekt als Grundlage für den sicherheitstechnischen Vergleich
- Erstellung von Konzepten zum Bau (Methoden, Ablauf) und zum Betrieb des gTL unter Berücksichtigung der Langzeitsicherheit, Betriebssicherheit und des Strahlenschutzes
- Erarbeitung von Planungsstudien zur Anordnung und Gestaltung der Oberflächeninfrastruktur inkl. Erschliessung des gTL
- Erarbeitung von Konzepten der technischen Barrieren
- Erstellung des Konzepts zur Stilllegung der Oberflächeninfrastruktur und zum Verschluss des gTL inkl. Angaben zur Verfüllung und Versiegelung sämtlicher nach dem Einlagerungsbetrieb bzw. der Beobachtungsphase noch offenen Teile des gTL
- Erstellung des Umweltverträglichkeitsberichts sowie des Berichts über die Abstimmung mit der Raumplanung

Der Fokus der Aktivitäten im Hinblick auf das nukleare Baubewilligungsgesuch resp. spätere Bewilligungsschritte liegt auf der:

- Erarbeitung des Bauprojekts gemäss den Anforderungen Anhang 4 KEV
- Prüfung der Umweltverträglichkeit für Gesuch EUU (UVB Stufe I) und nukleares Baubewilligungsgesuch (UVB Stufe II)
- Entwicklung und Erprobung der notwendigen Technologie zur Herstellung und Einbringung von technischen Barrieren (Endlagerbehälter, Verfüllmaterialien, Versiegelung) (Entwicklungsarbeiten und Demonstrationsexperimente)
- Stufengerechte Projektentwicklung in Zusammenhang mit der Überwachung des gTL, der allfälligen Rückholung der eingelagerten Endlagerbehälter sowie dem Verschluss des Lagers inkl. Markierung und Langzeitarchivierung (Entwicklungsarbeiten und Demonstrationsexperimente)

Tab. A.2-6: (Fortsetzung)

Überwachung: Die Aktivitäten beinhalten die Entwicklung von Überwachungskonzepten und die Durchführung von Messprogrammen und umfassen folgende Schwerpunkte:

- Radiologische und nicht-radiologische Überwachung der Umwelt
- Überwachung des geologischen Umfelds
- Baubegleitende Überwachung
- Überwachung des Pilotlagers
- Erstellung und periodische Aktualisierung eines integralen Monitoringkonzepts

Der Fokus der Aktivitäten im Hinblick auf das RBG liegt auf der:

- Ergänzung und Weiterführung der existierenden Messprogramme in den Standortregionen (GNSS-Permanentmessstationen, Seismometer, Langzeitbeobachtung in Tiefbohrungen) inkl. Aufzeichnung erster Nullmessungen
- Erarbeitung des integralen Monitoringkonzepts, welches sich über alle Phasen der Realisierung geologischer Tiefenlager erstreckt (z.B. Nullmessungen, Umweltüberwachung, Beobachtungen im geologischen Tiefenlager)

Der Fokus der Aktivitäten im Hinblick auf spätere Bewilligungsschritte liegt auf:

- Ergänzenden Nullmessungen für die Überwachung der Umwelt und des geologischen Umfelds für die Messprogramme zu Meteorologie, Oberflächengewässer, Quellen, untiefem Grundwasser und Nivellement inklusive allfälliger Verdichtung bereits laufender Messprogramme
- Baubegleitenden Überwachung
- Implementierung radiologischer Nullmessungskampagnen
- Beteiligung der Nagra an internationalen Forschungsprojekten
- Fortführung resp. Initiierung von Experimenten hinsichtlich technologischer und methodischer Fragestellungen zur Überwachung des Pilotlagers
- Der im Hinblick auf das nukleare Baubewilligungsgesuch erfolgenden Erarbeitung eines Projekts für die Beobachtungsphase (Art. 24 Abs. 2 Bst. f KEV)

Weitere Aspekte inklusive Organisation (Management und Planung)

Für die Abwicklung der Arbeiten wird ein geeignetes Management-System unterhalten (inkl. zertifiziertes QM-System), in welchem die Planung einen grossen Stellenwert hat (s. Kap. 5.7)

Information gemäss Informationskonzept

Die verschiedenen Elemente des Informationskonzepts sind in Kap. 8 beschrieben. Die effektiven Informationstätigkeiten werden an die Bedürfnisse der Interessensgruppen angepasst

A.3 Grundsatzentscheide bei der Realisierung der geologischen Tiefenlager: Ausgangslage, Handlungsspielraum und Flexibilität für die Berücksichtigung zukünftiger Entwicklungen

In Tab. A.3-1 wird jeweils zu ausgewählten Themen die **Ausgangslage** (1. Spalte), der **vorhandene Handlungsspielraum** zur Optimierung und Erhöhung der Robustheit der Anlagen sowie der Umgang mit der vorhandenen resp. der erforderlichen Flexibilität zur Berücksichtigung möglicher zukünftiger Entwicklungen (2. Spalte) sowie Angaben zu **Entscheidungspunkten** dargestellt, bei denen die Flexibilität bezüglich zukünftiger Entwicklungen bzw. der Handlungsspielraum zur Optimierung der Anlagen genutzt wird (3. Spalte). Den folgenden Angaben wird das Szenario «60 Jahre Betrieb KKW» zugrundegelegt (s. Kap. 2.1).

Tab. A.3-1: Ausgangslage, Handlungsspielraum und Entscheidungspunkte

Grundsatz der Entsorgung in der Schweiz		
Ausgangslage	Vorhandener Handlungsspielraum	Entscheidungspunkte
Die Entsorgung aller Abfälle erfolgt grundsätzlich in der Schweiz.	Handlungsspielraum bis Baubeginn vorhanden zur gemeinsamen Entsorgung (eines Teils) der Abfälle mit anderen Ländern im Ausland.	Für die aus heutiger Sicht unwahrscheinliche Lagerung im Ausland kann ausnahmsweise unter strengen Auflagen eine Bewilligung erteilt werden. Der abschliessende Entscheid über die Entsorgung (eines Teils) der Abfälle im Ausland muss spätestens vor Baubeginn des entsprechenden geologischen Tiefenlagers erfolgen.
Zwischenlagerung (Kapazität, Betriebszeiten)		
Ausgangslage	Vorhandener Handlungsspielraum	Entscheidungspunkte
Es ist genügend Zwischenlagerkapazität für alle Abfälle vorhanden.	Eine Erweiterung der vorhandenen Zwischenlagerkapazität ist grundsätzlich möglich. Bei Bedarf können auch bestehende Zwischenlager für Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung nochmals erweitert werden.	Bestehende Zwischenlager können bei Bedarf zu jedem Zeitpunkt erweitert werden. Die dazu notwendigen administrativen und technischen Massnahmen müssen frühzeitig eingeleitet werden.
Die Betriebszeiten der bestehenden Zwischenlager stehen in Einklang mit Realisierungsplänen für das Kombilager als auch für das HAA- und das SMA-Lager.	Die Betriebszeiten können grundsätzlich so angepasst werden, dass sie allfälligen Verzögerungen bei der Realisierung der geologischen Tiefenlager gerecht werden.	Eine Anpassung der Betriebszeiten der bestehenden Zwischenlager ist grundsätzlich zu jedem Zeitpunkt möglich. Die dazu notwendigen administrativen und technischen Massnahmen müssen frühzeitig eingeleitet werden.

Tab. A.3-1: (Fortsetzung)

Konditionierung, Charakterisierung und Inventarisierung der Abfälle		
Ausgangslage	Vorhandener Handlungsspielraum	Entscheidungspunkte
Die Konditionierung, Charakterisierung und Inventarisierung der heute anfallenden Abfälle gemäss heutigen Verfahren bzw. der zukünftig anfallenden Abfälle gemäss heute vorgesehenen Konzepten sind sichergestellt.	Es ist Handlungsspielraum vorhanden, um Konditionierverfahren zukünftig anfallender Abfälle an neue Erkenntnisse anzupassen (z.B. infolge Aktualisierung Stilllegungsstudien). Es ist Handlungsspielraum vorhanden, um bei Bedarf die Konditionierverfahren heute anfallender Abfälle zu verbessern bzw. falls notwendig bestehende Abfälle nachzubehandeln.	Zu jedem Zeitpunkt bis zur nuklearen Betriebsbewilligung der geologischen Tiefenlager können bei Bedarf die bestehenden bzw. geplanten Konditionierverfahren modifiziert resp. ergänzt werden. Falls erforderlich, können auch Umkonditionierungen erfolgen. Für beides sind die Bewilligungsverfahren definiert und die Methodik und Instrumente zur Beurteilung der Endlagerfähigkeit vorhanden.
Lagerkapazität und Art der Abfälle		
Ausgangslage	Vorhandener Handlungsspielraum	Entscheidungspunkte
Für das Szenario «60 Jahre Betrieb KKW» (vgl. Kap. 2.1) ist eine ausreichende Lagerkapazität für alle Arten von Abfällen gemäss heutigen Konzepten vorhanden.	Das Lager ist so ausgelegt, dass eine ausreichende Flexibilität zur Anpassung der Lagerkapazität und zur Berücksichtigung neuer Abfallarten besteht.	Die Rahmenbewilligung legt die maximale Lagerkapazität fest; es sind die dann absehbaren Abfälle einzuplanen sowie Planungsreserven vorzusehen. Die Planungsreserven sind zu begründen; d.h. die technisch und betrieblich bedingten Ungewissheiten sind darzulegen. Die Lager werden so konzipiert, dass auch nach der Rahmenbewilligung die Flexibilität zur Anpassung der Lagerkapazität und zur Berücksichtigung neuer Abfallarten besteht; je nach Art und Umfang der Erweiterung bzw. Änderung ist entweder eine Ergänzung der Rahmen-, Bau- oder Betriebsbewilligung oder eine Behördenfreigabe notwendig.

Tab. A.3-1: (Fortsetzung)

Abfallzuteilung		
Ausgangslage	Vorhandener Handlungsspielraum	Entscheidungspunkte
Die Abfallzuteilung erfolgt abgestimmt auf die standort-spezifischen geologischen Verhältnisse an den verschiedenen Tiefenlagerstandorten gemäss heutigen Konzepten.	Hinsichtlich der Abfallzuteilung auf die verschiedenen geologischen Tiefenlager ist im Ablauf Handlungsspielraum vorhanden, um auf Basis der effektiv vorgefundenen standortspezifischen Verhältnisse die Abfallzuteilung bzw. Anforderungen an die einzulagernden Abfälle entsprechend dem Optimierungsgebot auch nach Erteilung der Rahmenbewilligung zu regeln.	Die Abfallzuteilung erfolgt konzeptuell im Rahmen der Standortwahl. Die Kategorien des Lagerguts sowie die maximale Lagerkapazität werden in der Rahmenbewilligung festgelegt. Grundlage hierzu sind ein aktualisiertes modellhaftes Inventar für radioaktive Materialien (MIRAM) sowie eine sicherheitsgerichtete Abfallzuteilung und ein auf diese Abfallzuteilung angepasstes Lagerkonzept. Die detaillierten Anforderungen an einzulagernde Abfälle werden in der nuklearen Bau- bzw. Betriebsbewilligung festgelegt unter Berücksichtigung der detaillierten Gegebenheiten (Standort-eigenschaften nach vollständiger Exploration, detaillierte Auslegung des Tiefenlagers und der technischen Barrieren) und den dannzumal für die Einlagerung vorgesehenen Abfällen.
Abfallinventar (Menge, Art) – Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung (MIF)		
Ausgangslage	Vorhandener Handlungsspielraum	Entscheidungspunkte
Das Inventar der MIF-Abfälle umfasst die Sammelperiode bis 2064; dies umfasst auch MIF-Abfälle die in ähnlicher Art wie heute in Zukunft anfallen.	Im Rahmen des mehrstufigen Bewilligungsverfahrens wird dem Erhalt genügender Flexibilität zum Umgang mit zusätzlichen MIF-Abfällen wegen Verlängerung der Sammelperiode der MIF-Abfälle Rechnung getragen. Es besteht Flexibilität bei Anlagen und Konzepten bzgl. des Umgangs mit Abfällen aus anderen Quellen (neue Arten von MIF-Abfällen).	Der Bund entscheidet zu gegebener Zeit, ob, wann und in welchem Umfang MIF-Abfälle über die heute geplanten Sammelperiode und Mengen hinaus zu berücksichtigen sind (s. Anhang A.8.10). Für die Berücksichtigung neuer Abfallarten sind die Bewilligungsverfahren definiert und die Methodik und Instrumente zur Beurteilung ihrer Endlagerfähigkeit vorhanden. Grundsätzlich sind auch andersartige Abfälle lagerbar.

Tab. A.3-1: (Fortsetzung)

Transporte		
Ausgangslage	Vorhandener Handlungsspielraum	Entscheidungspunkte
Die in Zusammenhang mit der Behandlung der Abfälle bzw. der Zwischenlagerung notwendigen Transporte werden routinemässig durchgeführt; für die zukünftig notwendigen Transporte zu den geologischen Tiefenlagern und für die Infrastruktur zur Be- und Entladung der Transportbehälter sind Konzepte vorhanden.	Die Flexibilität zur Berücksichtigung von neuen Erfahrungen, technischen Neuerungen und neuen Vorschriften (Infrastruktur, Transportbehälter, Fahrzeuge) ist vorhanden.	Bei jedem Transport werden mit der Transportbewilligung die detaillierten Bedingungen festgelegt. Zum Zeitpunkt der Bau- bzw. Betriebsbewilligung der geologischen Tiefenlager ist die für das Be- und Entladen sowie für den Transport notwendige Infrastruktur definitiv festzulegen (inkl. Massnahmen beim Absender).
Sicherheits- und Lagerkonzept		
Ausgangslage	Vorhandener Handlungsspielraum	Entscheidungspunkte
Das schweizerische Sicherheitskonzept sieht ein Mehrfachbarrierensystem mit den Barrieren Abfallmatrix, Endlagerbehälter, Verfüllung / Versiegelung und einschlusswirksamer Gebirgsbereich vor.	Handlungsspielraum ist bei der Realisierung vorhanden, um das Sicherheits- und Lagerkonzept an neue Erkenntnisse (Fortschritt Standorterkundung, Erfahrungen in anderen Programmen) anzupassen.	Das Sicherheits- und Lagerkonzept wird in der Baubewilligung konkretisiert. Es besteht auch danach die Flexibilität zur Anpassung; je nach Art und Umfang der Änderung ist entweder eine Ergänzung der Rahmen- oder Bau- oder Betriebsbewilligung oder eine Behördenfreigabe notwendig.

Tab. A.3-1: (Fortsetzung)

Lagerauslegung (Auslegung von Lagerkomponenten wie z.B. technische Barrieren, Lagerkammern, Verfüllung, Endlagerbehälter, Versiegelung)		
Ausgangslage	Vorhandener Handlungsspielraum	Entscheidungspunkte
Die Lagerauslegung berücksichtigt stufengerecht Anforderungen an die Sicherheit, technische Machbarkeit und den Umgang mit vorhandenen Ressourcen sowie das Gebot der Optimierung. Die derzeitige Lagerauslegung ist weitgehend generisch und die Auslegungsgrundsätze sind für alle Standortgebiete in SGT Etappe 3 anwendbar. In Etappe 3 erfolgt eine weitergehende und standortspezifische Konkretisierung der Lagerauslegung zur Erarbeitung von standortspezifischen Lagerprojekten mit Angaben zur Auslegung von Lagerkomponenten (z.B. ungefähre Dimensionierungen, Materialwahl).	Handlungsspielraum ist im Ablauf vorhanden, um die Lagerauslegung an neue Erkenntnisse (Fortschritt Standorterkundung, Erfahrungen in anderen Programmen resp. Stand der Technik) anzupassen respektive um anderweitige Varianten zu berücksichtigen.	Das Rahmenbewilligungsgesuch umfasst zum Zweck der erforderlichen Nachweisführung eine modellhafte Umsetzung der Lagerauslegung im Rahmen von standortspezifischen Lagerprojekten auf Stufe Vorprojekt. Eine detaillierte Festlegung von technischen Spezifikationen der Lagerkomponenten erfolgt unter Berücksichtigung der standortspezifischen Gegebenheiten (z.T. basierend auf den erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag) und den effektiv erwarteten Abfällen im Rahmen des nuklearen Baubewilligungsverfahren gemäss Anhang 4 KEV.

Tab. A.3-1: (Fortsetzung)

Technologie für den Bau, Betrieb und Verschluss der Lager (über- und untertägige Anlagen)

Ausgangslage	Vorhandener Handlungsspielraum	Entscheidungspunkte
Konzepte zur Technologie für den Bau, Betrieb und Verschluss der Lager (über- und untertägige Anlagen) sind vorhanden.	Bei der Technologie für den Bau, Betrieb und Verschluss ist im Ablauf ein ausreichender Handlungsspielraum vorhanden, damit bei Bedarf die Auslegung der Anlagen an neue Erkenntnisse (z.B. auch aus ausländischen Programmen) angepasst werden kann und für ausgewählte Elemente alternative Konzepte zum Tragen kommen.	Beim Rahmenbewilligungsgesuch erfolgt zum Zweck der erforderlichen Nachweisführung eine modellhafte Darlegung der Technologie für den Bau, Betrieb und Verschluss. Die detaillierte Festlegung der Technologie erfolgt für das nukleare Baubewilligungsgesuch basierend auf dem dann aktuellen Kenntnisstand.

Rückholbarkeit und Überwachung

Ausgangslage	Vorhandener Handlungsspielraum	Entscheidungspunkte
Rückholbarkeit und Überwachung sind integrale Bestandteile des Lagerkonzepts; entsprechende stufengerechte Konzepte zur Technologie sind vorhanden.	Für die Auslegung der Geräte zur Rückholung der Abfälle, Ausgestaltung des Pilotlagers (inkl. Instrumentierung) und der weiteren Elemente der Überwachung ist im Ablauf Handlungsspielraum vorhanden, um den Erkenntniszuwachs zu berücksichtigen und für das nukleare Baubewilligungsgesuch die Technologie zur Rückholung gemäss dem Stand der Technik auszu-legen sowie für Gesuch EUU und das nukleare Baubewilligungsgesuch die Überwachung mit aktueller Technologie auf die dannzumal als relevant beurteilten Phänomene zu fokussieren.	Im Rahmenbewilligungsgesuch werden Konzepte dargestellt, die auch Varianten umfassen können; eine Konkretisierung erfolgt bedarfsgerecht für das Gesuch EUU und das nukleare Baubewilligungsgesuch.

Tab. A.3-1: (Fortsetzung)

Standort – Anordnung der untertägigen Lagerbauten		
Ausgangslage	Vorhandener Handlungsspielraum	Entscheidungspunkte
Die Anordnung und detaillierte Auslegung der untertägigen Lagerbauten berücksichtigt das effektiv einzulagernde Abfallinventar und die standortspezifischen Gegebenheiten gemäss den standort-spezifischen Feld-untersuchungen.	Für die detaillierte Anordnung der untertägigen Lagerbauten ist im Ablauf genügend Handlungsspielraum vorhanden, um die detaillierte Auslegung der Lagerbauten (inkl. Technologie) an neue Erkenntnisse (Fortschritt Standorterkundung, Erfahrungen in anderen Programmen) und an das effektiv einzulagernde Abfallinventar anzupassen.	Im Rahmenbewilligungsgesuch wird zum Zweck des sicherheitstechnischen Vergleichs im Rahmen von standort-spezifischen Lagerprojekten auf Stufe Vorprojekt die ungefähre Lage und Anordnung der untertägigen Lagerbauten modellhaft dargelegt. Die detaillierte Anordnung der untertägigen Lagerbauten erfolgt unter Berücksichtigung der standort-spezifischen Gegebenheiten (z.B. basierend auf den Erkenntnissen der erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag) für das nukleare Baubewilligungsgesuch.

Tab. A.3-1: (Fortsetzung)

Standort – Anordnung und Auslegung der Oberflächeninfrastruktur (inkl. Erschliessung)		
Ausgangslage	Vorhandener Handlungsspielraum	Entscheidungspunkte
Anordnung und räumliche Gestaltung der Oberflächeninfrastruktur: Der Platzbedarf für die Oberflächeninfrastruktur ist beschränkt; in der Regel existieren unter Einbezug von Aspekten der Raumnutzung und Umweltverträglichkeit verschiedene Möglichkeiten zur Anordnung und räumlichen Gestaltung der Oberflächeninfrastruktur. Die behördlichen Verfahren führen zu einer Abstimmung mit der Raumplanung und stellen stufengerecht die Umweltverträglichkeit des Vorhabens sicher. In SGT Etappe 2 wurden gestützt auf die Zusammenarbeit mit den Standortregionen und -kantonen Standortareale für die Oberflächenanlage (OFA) bezeichnet und als Zwischenergebnis festgelegt.	In SGT Etappe 3 können die Festlegungen aus SGT-Etappe 2 nochmals überprüft werden; dies umfasst auch den Standort der Verpackungsanlagen. Anschliessend erfolgt auf Basis der Zusammenarbeit mit den Standortregionen und -kantonen die definitive Festlegung von Arealen für die Oberflächeninfrastruktur (OFI). Dies umfasst neben den Standortarealen für die OFA auch Areale für die Nebenzugangsanlagen (NZA). Im Falle einer externen Verpackungsanlage für hochaktive Abfälle (BEVA) wird auch das hierzu benötigte Areale (z.B. beim Zwiilag) festgelegt.	Die Anlagen werden im Rahmenbewilligungsgesuch gemäss Vorgaben der Kernenergiegesetzgebung in ihren Grundzügen beschrieben und die ungefähre Lage der wichtigsten Bauten festgelegt. Zudem werden die für die OFI benötigten Areale, welche eine zweckmässige Realisierung des Vorhabens gewährleisten, in Objektblättern raumplanerisch gesichert. Die detaillierte Anordnung der OFI wird stufengerecht für das Gesuch EEU bzw. für das nukleare Baubewilligungsgesuch ausgearbeitet. Dies umfasst auch die mit dem Bau und dem Betrieb zusammenhängenden Erschliessungsanlagen und Installationsplätze. Zum geologischen Tiefenlager gehören zudem die Standorte für die Verwertung und Ablagerung von Ausbruch-, Aushub- oder Abbruchmaterial, die in einem engen räumlichen und funktionalen Zusammenhang mit dem Projekt stehen.
Auslegung der Oberflächeninfrastruktur gemäss heutigen Konzepten.	Für die Auslegung der Oberflächeninfrastruktur ist genügend Handlungsspielraum vorhanden, um deren stufengerechte Auslegung an neue Erkenntnisse (insbesondere Fortschritt in der Technologie und neue Erfahrungen in anderen Programmen) anzupassen.	Die Auslegung der Oberflächeninfrastruktur wird im Rahmenbewilligungsgesuch in ihren Grundzügen gemäss Vorgaben der Kernenergiegesetzgebung beschrieben. Eine detaillierte Auslegung der Oberflächeninfrastruktur erfolgt stufengerecht für das Gesuch EEU resp. für das nukleare Baubewilligungsgesuch.

Tab. A.3-1: (Fortsetzung)

Standort – Nachweis der Sicherheit		
Ausgangslage	Vorhandener Handlungsspielraum	Entscheidungspunkte
<i>Langzeitsicherheit:</i> In SGT Etappe 3 wird der Kenntnisstand aus SGT Etappe 1 und 2 weiter vertieft und unter Berücksichtigung der Resultate aus dem RD&D-Programm und den standortbezogenen Daten im Hinblick auf das RBG für den oder die gewählten Standorte ein Langzeitsicherheitsnachweis geführt. <i>Betriebssicherheit:</i> Der Sicherheitsnachweis für die Betriebsphase umfasst eine systematische Sicherheitsanalyse sowohl für den Normalbetrieb als auch für allfällige Störfälle. Diesbezüglich ist eine grosse Erfahrung vorhanden (Betrieb von Kernanlagen, Erfahrungen in anderen Programmen).	Bei jeder Bewilligung werden die Langzeit- und Betriebssicherheit unter Berücksichtigung der neu angefallenen Erkenntnisse im Rahmen von periodischen Sicherheitsberichten neu evaluiert. Es ist genügend Handlungsspielraum zu erhalten für allfällig notwendige Anpassungen der Anlage und Änderungen im RD&D-Plan aufgrund der Resultate der Sicherheitsanalyse.	Für die verschiedenen Entscheidungspunkte sind die Sicherheitsberichte zu aktualisieren und an die neuen Erkenntnisse und getroffenen Entscheide (Abfälle, Lagerauslegung) anzupassen. Das sicherheitsbezogene RD&D-Programm und die Lagerauslegung haben die Erkenntnisse aus den Sicherheitsberichten und ihrer Begutachtungen zu berücksichtigen im Hinblick auf eine optimale Auslegung der Anlagen.

Tab. A.3-1: (Fortsetzung)

Standort – Geologie		
Ausgangslage	Vorhandener Handlungsspielraum	Entscheidungspunkte
Der Bundesrat hat der Fokussierung auf Opalinuston (OPA) als Wirtgestein zugestimmt und entschieden, dass die geologischen Standortgebiete Jura Ost, Nördlich Lägern sowie Zürich Nordost weiter zu untersuchen sind.	Die Ergebnisse der weit fortgeschrittenen Feldarbeiten bestätigen, dass in allen drei Standortgebieten genügend Platz für die Anordnung eines Kombilagers vorhanden ist. Bei der Standortwahl ist genügend Handlungsspielraum im Platzangebot vorzusehen, um dem Erkenntnisgewinn hinsichtlich standortspezifischer Gegebenheiten (u.a. Tektonik, Zustandsparameter, Langzeitentwicklung) im Rahmen der weiteren Realisierung Rechnung zu tragen.	Die Festlegung des Standorts (inkl. Definition des Raums im Untergrund, in welchem Eingriffe die Sicherheit des Lagers beeinträchtigen könnten) erfolgt über die Rahmenbewilligung und führt zur raumplanerischen Sicherung eines vorläufigen Schutzbereichs. Die Betriebsbewilligung legt den definitiven Schutzbereich des geologischen Tiefenlagers fest.

A.4 Umsetzung des Vorhabens geologische Tiefenlager im Rahmen eines ganzheitlich ausgerichteten Optimierungsverfahren

Im Folgenden werden die Vorgehensweise und die Abwicklung der Arbeiten im Rahmen des mehrere Jahrzehnte andauernden, mehrstufigen Bewilligungsverfahren nach KEG (2003) dargestellt (Kap. A.4.1) und die Prinzipien, Ziele und das Vorgehen zur Optimierung der geologischen Tiefenlager erläutert (Kap. A.4.2). Dabei werden die Themen und Aktivitäten von Kap. A.4.1 aufgenommen und in einen zeitlichen Bezug gesetzt. Mit Anhang A.4 wird damit auch auf die ENSI-Forderung zur Dokumentation des Optimierungsverfahrens im Entsorgungsprogramm eingetreten.

A.4.1 Vorgehensweise bei der Abwicklung der Arbeiten im Rahmen des Bewilligungsverfahrens gemäss KEG

Im Hinblick auf eine erfolgreiche Realisierung des Vorhabens erfolgen Entscheidungen im Rahmen eines Optimierungsverfahrens, bei welchem alle für die jeweilige Entscheidung relevanten Optimierungsziele und -prinzipien (s. Kap. A.4.2) berücksichtigt werden. Bereits das Bewilligungsverfahren gemäss KEG (2003) entspricht indes einem Optimierungsverfahren, bei dessen Umsetzung Entscheidungen stufengerecht so getroffen werden, dass auch zukünftige Entwicklungen optimal zu Gunsten der sicheren Entsorgung der radioaktiven Abfälle berücksichtigt werden können. Die Optimierungsschritte in der Entwicklung der geologischen Tiefenlager richten sich entsprechend darauf aus, und für jeden Bewilligungsschritt wird der gemäss gesetzlichem Rahmen und behördlichen Vorgaben jeweils erforderliche fach- und projektentwicklungstechnische Kenntnisstand erarbeitet.

In Fig. A.4-1 sind die Bewilligungsschritte gemäss KEG (2003) sowie die Vorgehensweise bei der Abwicklung der Arbeiten zur stufenweisen Konkretisierung und Realisierung der geologischen Tiefenlager schematisch dargestellt.

Mit jedem Bewilligungsschritt werden nach Einreichung von Gesuchunterlagen durch den Projektanten und anschliessender fachtechnischer Überprüfung durch die zuständigen Behörden formelle und rechtlich verbindliche Festlegungen und Entscheide durch die zuständigen Gremien (Bundesrat oder UVEK) getroffen. Ist die entsprechende Bewilligung rechtsgültig, stellt diese unter Berücksichtigung von Auflagen die Ausgangslage für den nachfolgenden Bewilligungsschritt dar.

Im Folgenden wird konzeptionell die Abwicklung der auf die jeweiligen Bewilligungsschritte ausgerichteten Arbeiten zur Konkretisierung und Realisierung der geologischen Tiefenlager erläutert. Diese Vorgehensweise erlaubt die Einbettung des Optimierungsprozesses in Zusammenhang mit sicherheitstechnischen Entscheiden in der **Projektentwicklung** (blaugraue Box in Fig. A.4-1) – im Detail wird der Optimierungsprozess in Kap. A.4.2 erläutert.

Die wichtigste Grundlage bei der Projektentwicklung sind für die fachtechnische Beurteilung von Sicherheit und technischer Machbarkeit von Varianten und Optionen **Systemanalysen** (in Fig. A.4-1 als orange Box dargestellt; s auch Kap. A.2.2).

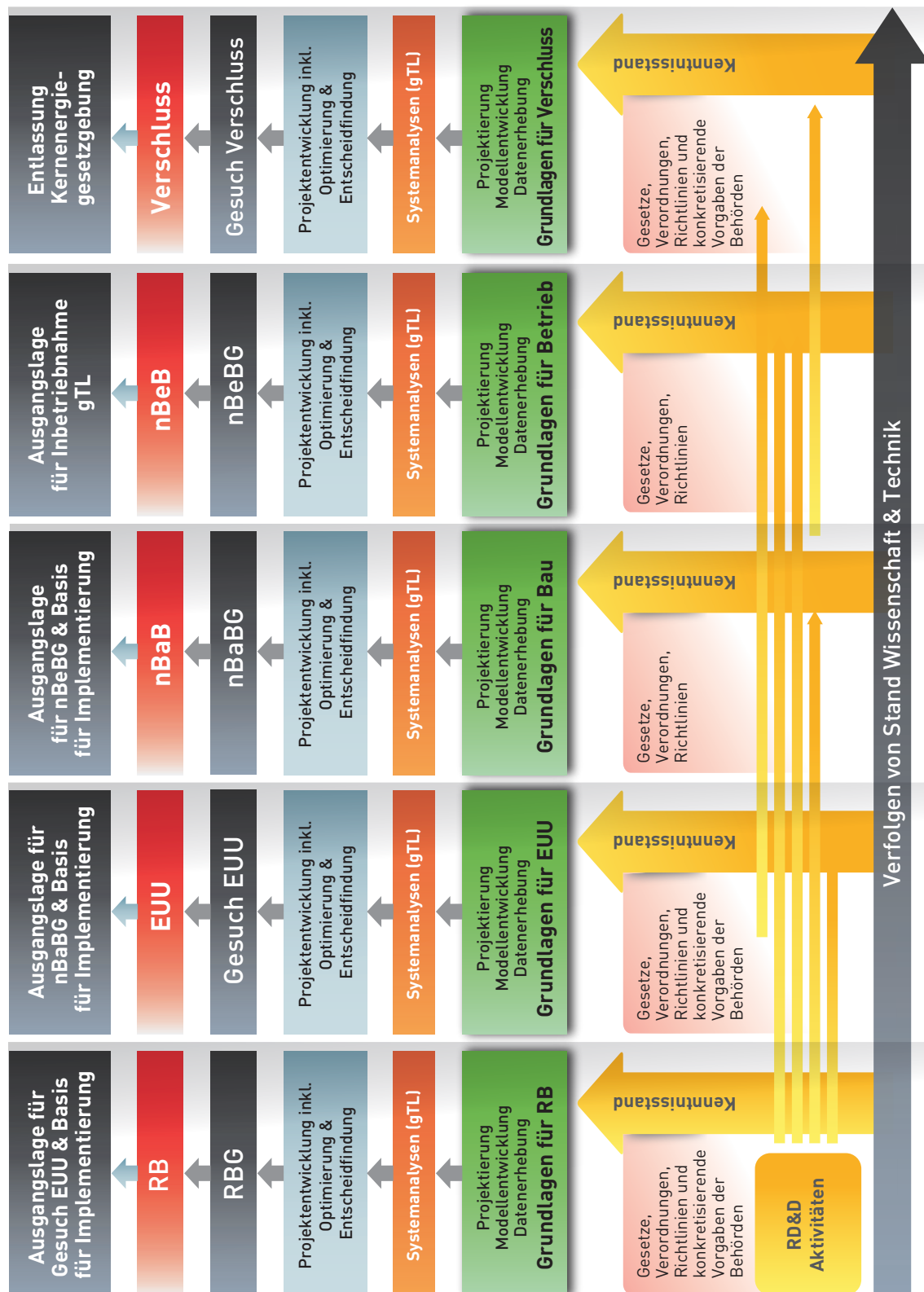


Fig. A.4-1: Vorgehensweise bei der Abwicklung der Arbeiten zur stufenweisen Konkretisierung und Realisierung der geologischen Tiefenlager gemäss KEG (2003)

Ausgangspunkt für die Abwicklung der Arbeiten ist das dem Bewilligungsverfahren nach KEG vorgelagerte Sachplanverfahren geologische Tiefenlager.

Damit Systemanalysen für den jeweiligen Bewilligungsschritt zeitgerecht vorliegen, müssen Grundlagen entwickelt und präzisiert werden. Diese **Grundlagen** (in Fig. A.4-1 als grüne Box dargestellt) lassen sich in die folgenden Themen und Aktivitäten einteilen:

- Die **Datenerhebung** umfasst die Erhebung und Beurteilung erdwissenschaftlicher Daten und weiterer Kenndaten zu Materialien und zu den einzulagernden Abfällen (s. auch Kap. A.2.2).
- Die Weiterentwicklung von Methoden und Modellen (**Modellentwicklung**) für Sicherheits- und Systemanalysen (s. auch Kap. A.2.2) dient u.a. dem stufengerechten Umgang mit Ungewissheiten und trägt zu einem adäquaten Prozessverständnis bei.
- Die stufengerechte **Projektierung** (s. auch Kap. A.2.2) geht mit einer stufengerechten Konkretisierung der Planung einher und stellt die Basis für die Implementierung gemäss den Regeln, Bestimmungen und Grundsätzen des Ingenieurwesens und Anlagenbaus für über- und untertägige Anlagenelemente und Bauten dar.

Die Erarbeitung dieser Grundlagen berücksichtigt die gültigen Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, konkretisierten Vorgaben der Behörden und Randbedingungen (z.B. das zu entsorgende Abfallinventar, s. Kap. 2). Sie basieren auf der entsprechenden Ausgangslage und berücksichtigen den jeweiligen Stand von Wissenschaft und Technik sowie den Kenntnisstand aus den jeweiligen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten für die fachtechnischen Arbeiten im Hinblick auf eine stufenweise Konkretisierung und stufengerechte Realisierung des Vorhabens.

Der zeitliche Rahmen des Vorhabens geologisches Tiefenlager ist ausserordentlich lang und das **Bewilligungsverfahren** erstreckt sich ausgehend von der Rahmenbewilligung bis zum Verschluss des Tiefenlagers über ca. hundert Jahre. Mit fortschreitender Realisierung nimmt die Anzahl der zu treffenden Entscheide von bedeutender Relevanz für die Langzeitsicherheit ab und Aspekte der Implementierung gewinnen in der Optimierung an Bedeutung. In Tab. A.3-1 wird für ausgewählte Themen der Handlungsspielraum dargestellt und anhand Entscheidungspunkten aufgezeigt, wie die Flexibilität bezüglich zukünftiger Entwicklungen in der Optimierung der Anlagen genutzt wird. In Anbetracht des langen Zeithorizonts für das Vorhaben geologische Tiefenlager umfassen formelle Festlegungen angemessene Reserven, um günstige Voraussetzungen zu schaffen, in späteren Implementierungsschritten auf Entwicklungen einzugehen. Konkret charakterisieren sich die **Bewilligungsschritte** wie folgt:

- Im Gegensatz zum Bewilligungsverfahren zu anderweitigen Kernanlagen ist beim geologischen Tiefenlager ein **Sachplan geologische Tiefenlager SGT** vorgelagert. Dies begründet sich damit, dass die Vergangenheit gezeigt hat, dass die Festlegung von Standorten für geologische Tiefenlager anspruchsvoll ist. Deshalb wurde mit dem Konzept SGT (BFE 2008) ein transparentes und faires Auswahlverfahren in drei Etappen festgelegt, welches bereits weit fortgeschritten ist (s. Kap. 1.3 und 5.4.1). Mit dem Abschluss von **SGT Etappe 1** erfolgte die Festlegung von sechs Standortgebieten. Im Rahmen von **SGT Etappe 2** wurde der Fokussierung auf Opalinuston als Wirtgestein zugestimmt und entschieden, dass die geologischen Standortgebiete Jura Ost (JO), Nördlich Lägern (NL) und Zürich Nordost (ZNO) in **SGT Etappe 3** weiter zu untersuchen sind. Zudem wurden gestützt auf eine intensive Zusammenarbeit mit den Standortregionen und -kantonen die Standortareale für die Oberflächenanlagen bezeichnet. Derzeit läuft SGT Etappe 3 und die Vorbereitung auf die Rahmenbewilligung. Als wichtiger Meilenstein in SGT Etappe 3 steht die Ankündigung der Nagra, für welche(n) Standort oder Standorte sie Rahmenbewilligungsgesuche ausarbeiten wird (Auswahl der Standorte für die Vorbereitung der Rahmenbewilligungsgesuche gemäss Konzept SGT) unmittelbar bevor (2022). Der Vergleich der Standortgebiete erfolgt im Rahmen einer sicherheitstechnischen Optimierung gemäss den im Sachplan festgelegten sicherheitstechnischen Kriterien und den durch das ENSI präzisierten Anforderungen (ENSI 33/649; ENSI 2018c). Die Dokumentation der Standortwahl erfolgt anschliessend gemäss Vorgaben der Kern-

energiegesetzgebung (Art. 62 KEV) und ENSI (2018c) als Bestandteil der Unterlagen zum Rahmenbewilligungsgesuch (RBG). Die **Rahmenbewilligung** stellt den ersten Schritt in der Realisierung einer Kernanlage im Bewilligungsverfahren nach KEG dar und legt den Standort und die Grundzüge des Projekts fest. Während der Grundsatz des Mehrfachbarrierenkonzepts (Sicherheitskonzept; s. Kap. 3.1.2) bereits in die Gesetzgebung eingeflossen ist, stehen als wichtigste Entscheide mit Relevanz für die Langzeitsicherheit neben der Standortwahl für den jeweiligen Lagertyp die einhergehende Abfallzuteilung im Vordergrund. Als Entscheide ohne oder mit nur untergeordneter Relevanz für die Langzeitsicherheit sind Festlegungen zur ungefähren Grösse und Lage der wichtigsten Bauten der Oberflächeninfrastruktur einzustufen.

- Das Bewilligungsverfahren für **erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag (EUU)** stellt im Bewilligungsverfahren für Kernanlagen einen Sonderfall dar und wird durch (Art. 35 und 36 KEG) geregelt. Ziel der EUU ist u.a. die erweiterte Charakterisierung bzw. Bestätigung der geologischen Situation untertag. Mit entsprechenden Untersuchungen, Experimenten und Demonstrationen werden wichtige Erkenntnisse im Hinblick auf den Bau des Lagers gewonnen; im Fokus steht neben den baubegleitenden geologischen Untersuchungen und der Prüfung von bautechnischen Verfahren u.a. die Prüfung von Eignungskriterien. Da die Anlagenelemente für die EUU mit Erlangen der nuklearen Baubewilligung als Teile des geologischen Tiefenlager umgenutzt werden sollen (Kap. 5), erfolgen mit der Bewilligung für EUU auch Entscheide, welche die genaue Anordnung und detaillierte Ausgestaltung der Nebenzugangsanlagen (NZA), der Zugangsbauwerke EUU, des zentralen Bereichs im Haupterschliessungsbereich (HEB) sowie der Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag (BEUU) betreffen (s. Kap. 3.2).
- Die **nukleare Baubewilligung (nBaB)** regelt die Umnutzung der Infrastruktur für EUU und legt für die verbleibenden Elemente die technische Umsetzung fest. Ausgangslage für die Erarbeitung des Gesuchs ist die Rahmenbewilligung sowie die aus den EUU gewonnenen standortspezifischen Erkenntnisse aus der Geologie und die in ausländischen Projekten gemachten Erfahrungen sowie Informationen hinsichtlich neuer Technologien. In Zusammenhang mit der Erarbeitung des nuklearen Baubewilligungsgesuchs (nBaBG) erfolgt eine stufengerechte Optimierung hinsichtlich der Wahl von technischen Barrieren (Endlagerbehälter, Verfüllung, Versiegelung) und der Ausgestaltung der untertägigen Lagerarchitektur sowie der technischen Umsetzung des Vorhabens. Beim nuklearen Baubewilligungsgesuch besteht auch die Möglichkeit, allfällige weitere Anliegen der Region hinsichtlich der Realisierung der Oberflächeninfrastruktur zu berücksichtigen.
- Im Hinblick auf das **nukleare Betriebsbewilligungsgesuch (nBeBG)** sind sicherheitsrelevante Techniken zu erproben und deren Funktionstüchtigkeit nachzuweisen. Dies betrifft insbesondere die Technik zur Rückholung von Abfallgebinden bis zu einem allfälligen Verschluss ohne grossen Aufwand und erfordert u.a. einen Nachweis hinsichtlich des Einbringens und Entfernens von Verfüllmaterial. Für nicht bereits früher erprobte Versiegelungselemente erfolgen die Erprobung der Versiegelungstechnik und der Nachweis deren Funktionstüchtigkeit während dem Betrieb des geologischen Tiefenlagers in den Testbereichen. Als wichtigste Entscheid mit Relevanz für die Langzeitsicherheit werden mit der nuklearen Betriebsbewilligung (nBeB) der definitive Schutzbereich des geologischen Tiefenlagers festgelegt.
- Mit Erteilung der **nuklearen Betriebsbewilligung** startet die Einlagerung der radioaktiven Abfälle im geologischen Tiefenlager. Zuerst wird eine repräsentative kleine Menge von radioaktiven Abfällen in das Pilotlager eingelagert. Danach beginnt die Einlagerung der endlagergerecht verpackten radioaktiven Abfälle in die Lagerkavernen (SMA) und -stollen (HAA). Beim Kombilager werden parallel zur SMA-Einlagerung weitere HAA-Lagerstollen erstellt (s. Kap. 3.2). Während dem Betrieb erfolgen periodische Sicherheitsüberprüfungen.

- Nach Abschluss der Einlagerung beginnt die **Beobachtungsphase**. In einem ersten Schritt wird hierzu ein Gesuch für die Stilllegung von Anlagen und Bauten an der Oberfläche erstellt.
- Mit dem **Antrag für den Verschluss** erfolgt der abschliessende Entscheid zur bevorzugten Verschlussvariante. Hierzu ist das Projekt für den Verschluss sowie ein aktualisiertes Projekt für die Beobachtungsphase einzureichen.

A.4.2 Optimierung der geologischen Tiefenlager in Zusammenhang mit sicherheitsgerichteten Entscheiden: Ziele, Prinzipien und Prozess

Die Nagra ist von den Entsorgungspflichtigen beauftragt, die sichere geologische Tiefenlagerung für alle Kategorien von radioaktiven Abfällen in der Schweiz zeitgerecht und zu vertretbaren Kosten zu realisieren. Um diese Aufgabe zu erfüllen, muss die Nagra die entsprechenden Voraussetzungen schaffen:

- Die Sicherheit der geologischen Tiefenlager muss im Rahmen des SGT und des Bewilligungsverfahrens nach KEG (2003) mit solider technischer Grundlage und nachvollziehbarer Dokumentation überzeugend der Fachwelt, den Behörden und der Öffentlichkeit darlegt werden.
- Im Weiteren muss die Nagra zusammen mit anderen Akteuren dazu beitragen, eine ausreichende regionale und nationale Akzeptanz für die Realisierung der geologischen Tiefenlager zu erlangen (s. Kap. 8, Zusammenarbeit und Informationskonzept).
- Schliesslich muss die Nagra auch sicherstellen, dass die Projekte für die geologische Tiefenlagerung in wirtschaftlicher Hinsicht im Einklang mit dem Grundsatz der Verhältnismässigkeit stehen.

Um den obigen Voraussetzungen Rechnung zu tragen, muss die Realisierung des Vorhabens geologische Tiefenlager im Rahmen einer ganzheitlich ausgerichteten Optimierung erfolgen, die sich ausgewogen an folgenden übergeordneten Optimierungszielen und -prinzipien für die Langzeitsicherheit und die Implementierung ausrichtet:

- Gewährleistung der **Langzeitsicherheit** zum Schutz von Mensch und Umwelt vor ionisierender Strahlung mit beschränkten Lasten für zukünftige Generationen.
- Gewährleistung der **Sicherheit und Machbarkeit** in Zusammenhang mit dem **Bau und Betrieb** der geologischen Tiefenlager. Das Themenfeld umfasst die Arbeitssicherheit und den Gesundheitsschutz (inkl. Optimierung des Strahlenschutzes gemäss Art. 4 StSV). Weitere Themen sind die Sicherung und die Sicherheit bei Störfällen bzgl. Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. Unter Machbarkeit wird u.a. die zuverlässige Durchführung aller notwendigen Arbeitsschritte mit vernünftigem Aufwand verstanden.
- Sicherstellung der Kompatibilität des Lagers mit **Umwelt, Raumplanung und Gesellschaft**; dies umfasst die Realisierung der Anlagen im Rahmen der bisherigen Planung und Zusammenarbeit mit den Standortregionen (u.a. dokumentiert in Planungsstudien). Eine erfolgreiche Realisierung setzt zudem auch zukünftig eine adäquate Berücksichtigung von Aspekten von Umwelt und Raumplanung voraus.
- Berücksichtigung von **Ressourcen und Wirtschaftlichkeit**; d.h. die Realisierung des Vorhabens zu verhältnismässigen Kosten und innerhalb eines angemessenen Zeitraums.

Während die letzteren drei übergeordneten Optimierungsziele und -prinzipien allen grösseren Infrastrukturprojekten zugrundeliegen, ist das Optimierungsziel und -prinzip Langzeitsicherheit spezifisch für die geologische Tiefenlagerung und streicht dessen besondere Bedeutung heraus.

Diese besondere Bedeutung wird sowohl in ENSI-G03 (ENSI 2020b) als auch in internationalen Standards für geologische Tiefenlager (z.B. IAEA Safety Standard SSR-5, IAEA 2011) Rechnung getragen.

Fig. A.4-2 illustriert den schematischen Ablauf der Optimierung in Zusammenhang mit sicherheitstechnischen Entscheiden in der Projektentwicklung und stellt einen vertieften Einblick in die in Fig. A.4-1 dargestellten Vorgehensweise bei der Abwicklung der Arbeiten im Vorhaben geologische Tiefenlager dar.

Für die Projektentwicklung werden diejenigen Varianten und Optionen in Betracht gezogen (sog. weiter zu betrachtende Varianten und Optionen), welche mittels Systemanalysen hinsichtlich ihrer Kompatibilität mit den Anforderungen an die Langzeitsicherheit und an die Auslegung, den Bau und Betrieb geprüft und als geeignet erachtet wurden. Varianten und Optionen aus den Grundlagenarbeiten, die dieses Kriterium nicht erfüllen, werden, ebenso wie schwer realisierbare Projektmöglichkeiten, begründet zurückgestellt.

Die abschliessende Gesamtoptimierung erfolgt hinsichtlich aller Optimierungsziele und -prinzipien. Bei der Bewertung von in Frage kommenden Varianten und Optionen wird auch deren Verhältnismässigkeit bzgl. Kosten und Zeit in Betracht gezogen und Chancen und Gefahren werden adäquat berücksichtigt; dies umfasst auch eine Beurteilung des verbleibenden Handlungsspielraums zur Erhöhung der Robustheit der Anlagen sowie der Umgang mit der vorhandenen resp. der erforderlichen Flexibilität zur Berücksichtigung möglicher zukünftiger Entwicklungen (s. Kap. A.3). Gegenseitige Abhängigkeiten werden identifiziert und sich widersprechende Anforderungen werden nach Massgabe der Verhältnismässigkeit gelöst. Fallweise muss hierzu vorgängig abgeklärt werden, was für die Sicherheit insgesamt vorteilhaft ist (ENSI 2020b).

Die sicherheitstechnischen Entscheide werden zur Nachvollziehbarkeit festgehalten (ENSI 2020b). Für die stufengerechte Erarbeitung der erforderlichen Sicherheitsnachweise und des Bewilligungsantrags (schwarze Box in Fig. A.4-2) erfolgt die Festlegung des Lagerprojekts (inkl. entsprechender Anforderungen). Dieses ist für jeden Bewilligungsschritt jeweils neu zu beurteilen und zu bestätigen, da es die Basis für die jeweilige stufengerechte Nachweisführung darstellt.

Um das Vorhaben des geologischen Tiefenlagers zielgerecht zu implementieren, muss die Nagra eine Vielzahl von externen und internen Anforderungen erfüllen:

- Gesetzliche Vorgaben (z.B. KEG, KEV, Umweltschutzgesetz)
- Richtlinien (z.B. ENSI-Richtlinien)
- Randbedingungen (z.B. Art und Menge der radioaktiven Abfälle)
- Anforderungen aus der Langzeitsicherheit
- Vorgaben aus der Abwicklung des Verfahrens (z.B. Sachplan geologische Tiefenlager)
- Anforderungen verschiedener Anspruchsgruppen (z.B. Behörden, Bevölkerung)
- Interne Anforderungen (z.B. das Zusammenpassen der Elemente, der Anlagenbetrieb und die wirtschaftliche Tragbarkeit des Projekts)

Um all diese Anforderungen adäquat zu adressieren, hat die Nagra ein "**Anforderungs- und Konfigurationsmanagement**" (engl. Requirements and Configuration Management; RCM) aufgebaut. Der strukturierte RCM-Prozess ist Teil des Qualitätsmanagements der Nagra. Das RCM umfasst die Erarbeitung, Dokumentation und das Management der Anforderungen und deren Umsetzung. Die Anforderungen und deren Umsetzung werden stufengerecht präzisiert. Das RCM ist mit dem RD&D-Programm über die laufenden RD&D-Projekte zur Optimierung des geologischen Tiefenlagers verbunden. Weiter dokumentiert das RCM auch die Wahl des Lagerprojekts, welches die Grundlage bildet für die Sicherheitsanalyse und Nachweisführung.

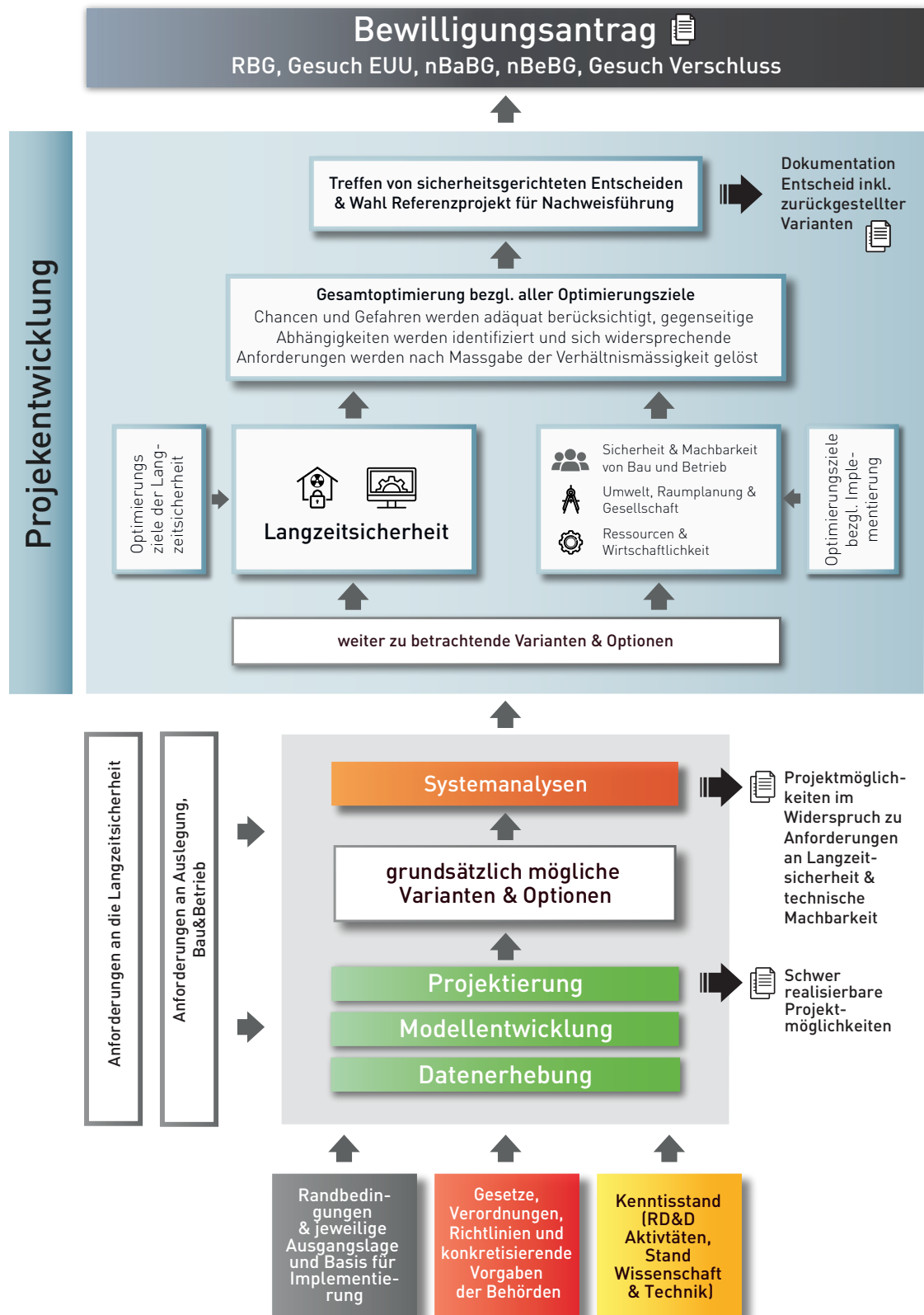


Fig. A.4-2: Schematische Darstellung für die Vorgehensweise bei der Optimierung in Zusammenhang mit sicherheitstechnischen Entscheiden auf Basis stufengerechter Systemanalysen und Grundlagen (vgl. Fig. A.4-1)

Um die Anforderungen hinsichtlich der Machbarkeit zu erfüllen, anzupassen und nachzuweisen, betreibt die Nagra seit vielen Jahren ein RD&D-Programm, das bis in die Betriebsphase des Tiefenlagers weitergeführt werden wird. In den früheren Phasen des RD&D-Programms bestätigten viele Ergebnisse die Struktur und die Elemente des Langzeitsicherheitsnachweises. Bisherige RD&D-Tätigkeiten haben nachgewiesen, dass die Sicherheitsanforderungen eingehalten werden können. Von zukünftigen RD&D-Tätigkeiten wird erwartet (wie im RD&D-Plan beschrieben, Nagra 2021e), dass sie vor allem die Optimierung des Tiefenlagersystems hinsichtlich Sicherheit als auch hinsichtlich Implementierung unterstützen. Damit tragen diese RD&D-Tätigkeiten dazu bei, dass Anforderungen an die Auslegung und die Spezifikation von Bauwerken, Systemen und Komponenten endgültig festgelegt werden können.

In Nagra (2021d) und Nagra (2021e) finden sich u.a. Grundlagen zum Verfahren und zur Umsetzung der Gesamtplanung. Die entsprechende Information in diesen Berichten ist grundsätzlich kohärent mit den Angaben im EP21, bezweckt indes die Erfüllung von Bundesratsaufgabe 4.2 (s. Anhang A.7). So wird aufgezeigt, wie fachtechnische Themen und Arbeitsschwerpunkte mit den Meilensteinen und Entscheidungen bei der Realisierung eines geologischen Tiefenlagers vernetzt sind. Im RD&D-Plan (Nagra 2021e) wird zudem aufgezeigt, welche Fragestellungen innerhalb welcher Frist sowie unter Berücksichtigung welcher internen und externen Anforderungen durch die Nagra bearbeitet werden, damit die Erkenntnisse aus RD&D zeitgerecht in die Bereitstellung einer stufengerechten Grundlage für den jeweiligen Bewilligungsschritt einfließen; dies trägt zur Erfüllung der Bundesratsaufgabe 4.1 (Anhang A.7) bei. In Nagra (2021e) wird als unterstützendes Instrument zur Illustration und Darlegung von Zusammenhängen und Verknüpfungen sog. Roadmaps eingesetzt. Die Verwendung von Roadmaps entspricht der internationalen Praxis und wird auch im Umfeld der Planung von geologischen Tiefenlagern angewandt (IAEA *in prep.*, RWM 2016, EURAD *in prep.*, IGSC *in prep.*).

A.5 Ergänzende Informationen zur Herkunft, Art und Menge der radioaktiven Abfälle für das Szenario «50 Jahre Betrieb KKW»

Für eine konsistente Darlegung der Informationen zur Entsorgung im EP21 und in der KS21 und zur Vergleichbarkeit der Angaben zur Kostenermittlung im EP21 und in der KS21 mit denen in früheren Entsorgungsprogrammen und Kostenstudien sind im Folgenden die Angaben zur Menge bzw. dem Volumen der Abfälle für das sogenannte Szenario «50 Jahre Betrieb KKW» dargestellt. Dabei wird von folgenden wesentlichen Randbedingungen ausgegangen, die sich gegenüber dem Szenario «60 Jahre Betrieb KKW» unterscheiden:

- 50 Jahre Betrieb KKB⁴³, KKG, KKL, 47 Jahre Betrieb KKM.
- Für Betriebsabfälle aus dem MIF-Bereich wird von einer Sammelperiode bis Ende 2063 ausgegangen.
- Die Angaben zu den Betriebsabfällen aus dem Hotlabor des PSI basieren auf der Annahme, dass der Anfall Brennstoff-haltiger radioaktiver Abfälle aus dem Hotlabor an das Ende des kommerziellen Betriebs von KKL gekoppelt ist. Wird das KKL für 50 Jahre betrieben, führt dies zu einem Anfall aus dem Hotlabor bis 2034.

Die Abfallmengen bzw. Volumina für das Szenario «50 Jahre Betrieb KKW» sind in Tab. A.5-1 aufgeführt. Die Tabelle zeigt zunächst das Volumen für die angelieferten bzw. konditionierten Abfälle. Da die Abfälle vor ihrer Einlagerung in die Lagerkammern der geologischen Tiefenlager in Endlagerbehälter verpackt werden (vgl. Kap. 3.2), ist in Klammern auch das Volumen der in Endlagerbehältern verpackten Abfälle ausgewiesen.

Eine gegenüber dem EP16 verbesserte Abschätzung hinsichtlich der anfallenden Abfallmengen bzw. Volumina sowie modifizierte Annahmen betreffend Verpackung führen zu Unterschieden in den Angaben zu Abfallmengen und -volumina.

⁴³ Die effektive Laufzeit von KKB I zum Zeitpunkt der Einreichung des EP21 und der KS21 beträgt 52 Jahre (s. Tab. A.2-5 in Anhang A.2.1) und ist damit erstmals grösser als sie dem sogenannten Szenario «50 Jahre Betrieb KKW» im EP21 und in der KS21 zugrundegelegt wird. Diese Abweichung ist folgendermassen begründet:

- Gemäss Art. 4 Abs. 3 SEFV (der Verordnung über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen) ist für die Berechnung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten von Kernkraftwerken eine Betriebsdauer von 50 Jahren anzunehmen. Mit der Darlegung des Abfallmengengerüsts (AMG) für das Szenario «50 Jahre Betrieb KKW» im EP21 wird dieser Vorgabe für die KS21 Rechnung getragen und eine konsistente Darlegung der Informationen im EP und in der KS sichergestellt.
- Mit dem AMG für das Szenario «50 Jahre Betrieb KKW» im EP21 wird zudem die Vergleichbarkeit hinsichtlich der Angaben zur Kostenermittlung im EP21 und in der KS21 mit denen in früheren Entsorgungsprogrammen und Kostenstudien gewährleistet.

Die im Folgenden benutzten Bezeichnungen sind identisch mit denjenigen in Kap. 2.1. Es werden Unterschiede für die verschiedenen Abfallkategorien systematisch dargelegt und die Gründe hierzu näher erläutert. Dies erfolgt anhand der Angaben zum «verpackten Volumen», da diese Angabe für die geologische Tiefenlagerung relevant ist. Basis für den Vergleich sind das sogenannte Szenario «50 Jahre Betrieb KKW» (EP21) und das Szenario 1b des EP16 (Nagra 2016b). Es sei angemerkt, dass sich die Gebindezahlen, die dem EP21 zugrunde liegen, gegenüber dem EP16 leicht geändert haben.

- **BE:** Geringe Reduktion des verpackten Volumens um 349 m³ auf neu 6'780 m³: Die wesentliche Randbedingung der Begrenzung der maximalen Wärmeleistung der Behälter hat sich gegenüber dem EP16 nicht geändert. Hingegen wurden die Prognosen zur Anzahl der BE aktualisiert, wodurch sich das unverpackte Volumen geringfügig um 2 m³ auf neu 1'124 m³ verringert hat. Die bedeutendere Änderung begründet sich im Design der Endlagerbehälter. Dieses wurde aktualisiert und die Behälter weisen nunmehr ein etwas kleineres Volumen auf, so dass insgesamt die genannte Reduktion des verpackten Volumens resultiert.
- **WA-HAA:** Geringe Reduktion des verpackten Volumens um 21 m³ auf neu 377 m³: Die hochaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung wurden in spezielle Stahlbehälter (180-l-Kokillen) konditioniert. Wie bereits im EP16 wird davon ausgegangen, dass jeweils drei 180-l-Kokillen in einen Endlagerbehälter mit effizienter Volumenausnutzung verpackt werden. Die Reduktion begründet sich darin, dass das Design der Endlagerbehälter aktualisiert wurde und die Behälter ein etwas geringeres Volumen ausweisen; dies führt zu einer geringen Reduktion des verpackten Volumens.
- **WA-ATA:** Geringe Erhöhung des verpackten Volumens um 18 m³ auf neu 432 m³: Die Auslegung des für WA-ATA-Abfälle vorgesehenen Endlagerbehälters wurde konkretisiert; für das EP16 lag hierzu erst ein Konzeptdesign vor. Die Konkretisierung führt zu einer geringen Volumenzunahme (0.4 m³ pro Endlagerbehälter).
- **BA (KKW) und RA:** Reduktion des verpackten Volumens um 2'705 m³ auf neu 27'150 m³: Im EP16 wurde für die Verpackung der 200-l-Gebinde von einem 10.3 m³ Endlagerbehälter ausgegangen, in diesen können 12 200-l-Gebinde verpackt werden. Für das EP21 wurde für die endlagerechte Verpackung von 200-l-Gebinden auf das deutlich "dichtere" Verpackungskonzept aus dem EP08 zurückgegriffen, bei welchem ein Endlagerbehälter mit einem Volumen von 26 m³ verwendet wird. In diesen Endlagerbehälter können 36 200-l-Gebinde verpackt werden. Dadurch kann ein insgesamt deutlich kleineres verpacktes Volumen gegenüber dem EP16 erreicht werden. Erstmals mit dem EP21 werden die Betriebsabfälle aus der Entsorgung der Transport- und Lagerbehälter der HAA(WA) und BE (BA (TLB)) vollständig erfasst und den BA (KKW) zugeordnet. Das verpackte Volumen dieser Betriebsabfälle aus der Entsorgung der TLB (BA (TLB)) erhöht sich gegenüber dem EP16 um 2'139 m³ auf 2'648 m³: Dem EP16 wurde eine Dekontamination und konventionelle Entsorgung der TLB-Tragkörbe unterstellt. Da eine solche Dekontamination wahrscheinlich nicht mit vertretbarem Aufwand erfolgreich durchgeführt werden kann, wird im EP21 die Entsorgung der TLB-Tragkörbe zusätzlich berücksichtigt.
- **SA (KKW/Zwilag):** Reduktion des verpackten Volumens um 2'414 m³ auf neu 24'976 m³: Es erfolgte eine grundlegende Neuberechnung der aktivierten Stilllegungsabfallmengen. Zudem wurde ein optimiertes Verpackungskonzept ausgearbeitet und für einzelne Anlagen eine Neubewertung des anfallenden Inventars aus der kontrollierten Zone durchgeführt. Das Konzept zur Verwendung von schwachaktivem kontaminiertem Beton aus der Stilllegung zur Teilverfüllung von Containern mit metallischen Abfällen wird im EP21 analog zum EP16 berücksichtigt.

- **MIF⁴⁴:** Reduktion des verpackten Volumens um 3'614 m³ auf neu 15'939 m³: Im EP16 sind die CERN-Abfälle mit 4'883 m³ erfasst. Gemäss den Angaben des CERN und Abschätzungen der Nagra werden neu auf Basis einer Abstimmung zwischen Nagra und Bund von 2018 2'399 m³ Abfälle erwartet. Die verbleibende Reduktion von ca. 1'000 m³ gegenüber dem EP16 resultiert zum einen aus einer generellen Reduktion der in Zusammenarbeit mit dem PSI überarbeiteten Prognosen für die künftig anfallenden Betriebsabfälle und zum anderen aus dem optimierten Verpackungskonzept (s. Abschnitt 'BA (KKW) und RA').
- **OFA:** Reduktion des verpackten Volumens um 1'397 m³ auf neu 571 m³: Im EP16 wurden neben den Abfällen aus dem Betrieb der Oberflächenanlagen (und insbesondere der Verpackungsanlagen) auch die Abfälle aus der Dekontamination der TLB unter diesem Stichwort aufgeführt; diese werden nunmehr unter BA (KKW) und RA aufgeführt. Im Unterschied dazu werden im EP21 unter dem Stichwort OFA unabhängig vom Standort nur noch Abfälle aus dem Betrieb und der Stilllegung der Verpackungsanlagen (primär der BEVA) aufgeführt, diese Abfälle wurden im EP16 als BE/HAA(WA)-Verpackungsanlage, kurz BEVA bezeichnet.

⁴⁴ Als Planungsannahme wird davon ausgegangen, dass die Sammelperiode für MIF bis zum Jahr 2064 (Ende des Einlagerungsbetriebs ins SMA-Lager; s. Kap. 5.3) dauert. Anhang A.8.8 enthält auf Empfehlung der KNS zudem Angaben hinsichtlich des Umgangs mit MIF-Abfällen nach dem Ende der Einlagerung (2065). Die Verantwortung für deren Entsorgung liegt beim Bund. So muss über einen Zeitraum von 90 Jahren mit einem endlagergerecht verpackten Abfallvolumen von ca. 4'000 m³ gerechnet werden, was ca. 5 % der Menge aller bis Ende 2064 erwarteten SMA entspricht. Da der definitive Entscheid, wie mit diesen MIF-Abfällen umgegangen wird, erst in ca. 50 – 100 Jahren gefällt werden muss, wird dieses Volumen in keinem im EP aufgeführten Abfallmengengerüst wiedergegeben.

Tab. A.5-1: Abfallvolumina in Kubikmeter (m³) für 50 Jahre Betrieb (KKB, KKG, KKL) sowie 47 Jahre für KKM (Szenario «50 Jahre Betrieb KKW»)

Erläuterung: Volumen der angelieferten bzw. konditionierten Abfälle und das in Endlagerbehälter "verpackte" Volumen in Klammern. Die Angaben sind gegliedert nach Kategorien der Kernenergieverordnung (KEV 2004) mit HAA = Hochaktive Abfälle, ATA = Alphatoxische Abfälle, SMA = Schwach- und mittelaktive Abfälle. Zusätzliche Gliederung nach Herkunft mit BE: Abgebrannte Brennelemente; WA: Abfälle aus der Wiederaufarbeitung; BA (KKW): Betriebsabfälle der KKW (inklusive der am Zwiilag produzierten Abfälle) und Betriebsabfälle aus der Entsorgung der TLB; RA: Reaktorabfälle der KKW bestehend aus austauschbaren Komponenten aus dem Reaktordruckbehälter, die während des Betriebs anfallen (ohne BE); SA: Stilllegungsabfälle der KKW und Zwiilag inklusive Lucens-Abfälle; MIF: Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung inklusive CERN-Abfälle; OFA: Abfälle aus dem Betrieb und der Stilllegung der Oberflächenanlagen.

Abgebrannte Brennelemente (BE) werden vor ihrer Einlagerung in die Lagerstollen des HAA-Lagers ohne weitere Behandlung in Endlagerbehälter verpackt. Die erste Volumenangabe bezieht sich auf die unverpackten BE. Die Angabe in Klammern ist das verpackte Volumen, wobei wegen der Begrenzung der maximal zulässigen Wärmeleistung der Behälter z.T. Leerstellen zu berücksichtigen sind.

Die hier angegebenen Totale der exakten Abfallvolumina können vernachlässigbare Abweichungen zur Summe der gerundeten, einzelnen Abfallvolumina aufweisen.

		Herkunft							Total
		BE (KKW)	WA (KKW)	BA (KKW)	RA (KKW)	SA (KKW)	MIF	OFA	
Kategorie nach KEV	HAA	1'124 ¹⁾ (6'780)	114 ²⁾ (377)				9 ⁵⁾ (11)		1'247 (7'168)
	ATA		99 ²⁾ (432)			25 (25)	149 (465)		274 (923)
	SMA			9'568 ⁴⁾ (25'872)	360 (1'278)	19'239 (24'951)	11'718 (15'463) ⁶⁾	216 (571)	41'101 (68'135) ⁶⁾
	Total	1'124 (6'780) ³⁾	213 (809)	9'568 (25'872)	360 (1'278)	19'264 (24'976)	11'876 (15'939) ⁶⁾	216 (571)	42'622 (76'226) ⁶⁾

¹⁾ Entspricht 2'407 tU.

²⁾ Diese Abfälle resultieren aus der Wiederaufarbeitung von 1'139 tU.

³⁾ Bei einer vollständigen Beladung der Endlagerbehälter (ohne Berücksichtigung von Leerstellen) würde ein Volumen von 6'128 m³ resultieren.

⁴⁾ Hier sind 2'467 m³ konditionierter Abfall aus der TLB-Entsorgung enthalten, was einem verpackten Volumen von 2'648 m³ entspricht.

⁵⁾ Brennelemente des DIORIT-Reaktors und Pressbüchsen aus dem PSI Hotlabor.

⁶⁾ Hier sind auch 2'399 m³ Abfälle aus dem CERN enthalten.

A.6 Zwischenlagerkapazitäten für radioaktive Abfälle

In diesem Anhang werden das Konzept für die Zwischenlagerung von Abfallgebinden dargelegt und die Angaben zur Ausnutzung der vorhandenen Kapazität hergeleitet. Der Anhang ist vergleichbar mit dem Anhang A.7 im EP16 und unterscheidet sich insbesondere dadurch, dass die Zwischenlagerkapazitäten mit den aktualisierten Abfallmengen des EP21 geprüft wurden. Der Anhang stellt somit wiederum eine wichtige Grundlage hinsichtlich der Angaben zur Zwischenlagerung in Kap. 6 dar. Mit den Angaben zur Zwischenlagerkapazität für hochaktive Abfälle wird zudem auf die Auflage 5.8. des Bundesrats für das EP21 eingetreten. Dementsprechend sind in Zusammenhang mit der Aktualisierung des EP16 neue Konzepte zur Erhöhung der Anzahl Stellplätze für die Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente und verglaste hochaktiver Abfälle zu erstellen.

Schwach- und mittelaktive Abfälle sowie alphanukleare Abfälle

Das Spektrum der von den KKW konditionierten und zwischenzulagernden Abfallgebinde mit schwach- und mittelaktiven Abfällen umfasst u.a. Fässer, kubische und zylindrische Betonbehälter sowie dickwandige zylindrische Stahlbehälter. Fig. A.6-1 zeigt das entsprechende Spektrum der von den KKW konditionierten und zwischenzulagernden Abfallgebinde.

Für die Zwischenlagerung werden mit Ausnahme der Container LC-84/86 die Abfallgebinde in Lagercontainer (sogenannte Gitterboxen) mit den Grundmassen von ca. 6.10 m × 2.44 m (20 ft × 8 ft) und Höhen von ca. 2.05 m (Gitterboxen-1) bzw. ca. 2.60 m (Gitterboxen-2) eingestellt. Die gebindespezifische Einlagerungsvorschrift ist in Tab. A.6-1 dargestellt.

Die Gitterboxen werden auf einem Stellplatz zwischengelagert. Hierzu existieren für die Zwischenlager ZWIBEZ-SAA und Zwiag-SMA und Zwiag-MAA sogenannte 20 ft × 8 ft "Stellplatz-Raster". Je nach Situation können unterschiedlich viele Gitterboxen aufeinander gestapelt werden. Aus dem jeweiligen Stellplatz-Raster und den Möglichkeiten zur Stapelung ergibt sich die zur Verfügung stehende Zwischenlagerkapazität.



Fig. A.6-1: Abfallgebinde der KKW für die Konditionierung und Zwischenlagerung der schwach- und mittelaktiven Abfälle

Abbildungen sind nicht massstäblich.

Tab. A.6-1: Gebindespezifische Einlagerungsvorschriften für die Zwischenlagerung von SMA/ATA (Details siehe Text)

Zu beachten ist die erhöhte Anzahl der Gebinde pro Gitterbox im Falle von KKB-Abfallgebinden (72 pro Gitterbox).

Abfallgebinde	Anzahl der Gebinde pro Gitterbox(platz)	Einstellung in Gitterbox (Typ)	Ungefähre Höhe der Gitterbox [m]
100-l-Fass (KKB-Gebinde)	72	Gitterbox-1	2.05
200-l-Fass KKB-Gebinde	72	Gitterbox-1	2.05
200-l-Fass (nicht KKB)	68	Gitterbox-1	2.05
180-l-Kokille (WA-ATA)	56	Gitterbox-1	2.05
1 m ³ -BC	11	Gitterbox-1	2.05
Mosaik-II	5	Gitterbox-1	2.05
KC-T12	3	Gitterbox-2	2.60
LC-84	3 bzw. 4.5	-	-
LC-86	3	-	-

Für die jeweiligen Zwischenlager (ZWIBEZ-SAA, Zwiilag-SMA und Zwiilag-MAA) ergeben sich hinsichtlich der **Zwischenlagerung von Gitterboxen** folgende Situationen:

- ZWIBEZ-SAA:
 - Anzahl verfügbarer 20 ft × 8 ft-Stellplätze für Gitterboxen: 55
 - Maximal zulässige Stapelung für Gitterboxen des Typs Gitterbox-1: 8-fach
 - Berücksichtigte Kapazität von Gitterboxen auf den Stellplätzen bei Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Platzes / Volumens: 440 Gitterboxen des Typs Gitterbox-1
- Zwiilag-SMA:
 - Anzahl im Lagergebäude S verfügbarer 20 ft × 8 ft-Stellplätze für Gitterboxen: 143
 - Maximal zulässige Stapelung für Gitterboxen des Typs Gitterbox-1: 8-fach (6-fach für Gitterboxen des Typs Gitterbox-2)
 - Anzahl der im Lagergebäude M verfügbaren Lagerplätze für Gitterboxen: 64
 - Berücksichtigte Kapazität von Gitterboxen (Stellplätze im Lagergebäude S sowie Lagerplätze im Lagergebäude M): 1150
- Zwiilag-MAA:
 - Anzahl verfügbarer 20 ft × 8 ft-Stellplätze für Gitterboxen: 40 (diese Stellplätze sind als Buchten ausgelegt, die mit Betonplatten abgedeckt sind)
 - Maximal zulässige Stapelung für Gitterboxen des Typs Gitterbox-1: 8-fach
 - Berücksichtigte Kapazität von Gitterboxen auf den Stellplätzen bei Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Platzes / Volumens: 320 Gitterboxen des Typs Gitterbox-1

Die **Zwischenlagerung von Containern LC-84/86** erfolgt direkt ohne Einstellung in Gitterboxen. Die Dimensionen sind so ausgelegt, dass ein Ensemble von 3 LC-Behältern je Stellplatz eingelagert werden kann. Bei der Stapelung sind jedoch die maximal zulässigen Gewichtsbelastungen der Bodenplatten, gerechnet für einen Stellplatz, zu beachten.

Für die jeweiligen Zwischenlager (ZWIBEZ-SAA, Zwilag-SMA) wird folgendes angesetzt:

- ZWIBEZ-SAA:
 - 3 LC-84/86 / Gitterboxplatz (Berücksichtigung 8-fach Stapelung)
- Zwilag-SMA (Lagergebäude S):
 - 4.5 LC-84 / Gitterboxplatz (Berücksichtigung bis 10-fach Stapelung)
 - 3 LC-86 / Gitterboxplatz (Berücksichtigung 8-fach Stapelung)

Tab. A.6-2 zeigt die Aufteilung der zwischenzulagernden Abfallgebinde auf ZWIBEZ-SAA, Zwilag-SMA und Zwilag-MAA unter der Annahme, dass bei Zwilag-MAA die vorhandene Lagerkapazität praktisch vollständig ausgenutzt wird. Als Randbedingung wird davon ausgegangen, dass alle Abfallgebinde von KKG, KKL, KKM bei Zwilag-MAA und Zwilag-SMA eingelagert werden. Von KKB müssen potenziell brennbare Abfälle sowie alle Gebinde mit einer Oberflächendosisleistung von mehr als 7.5 mSv/h in Zwilag-MAA eingelagert werden. Zudem verbleiben die von der Plasmaanlage produzierten Gebinde aller KKW bei Zwilag, ebenso die am Zwilag bereits produzierten KC-T12 und später für die KKW produzierten LC-84.

Tab. A.6-2: Belegung (Zahl der Abfallgebinde) von ZWIBEZ-SAA, Zwilag-MAA und Zwilag-SMA für die Zwischenlagerung von schwach- und mittelaktiven KKW-Abfällen für das Szenario «60 Jahre Betrieb KKW»

Für KKB sind nur die 100-l / 200-l-Gebinde separat ausgewiesen wegen der unterschiedlichen Belegung der Gitterboxen (s. Tab. A.6-1), unter "Rest" sind sämtliche anderen Gebinde von KKB, KKG, KKL, KKM und Zwilag zusammengefasst.

Abfallgebinde	ZWIBEZ-SAA	Zwilag-MAA	Zwilag-SMA
	KKB	KKB / Rest	KKB / Rest
100-l / 200-l	3'582	4'160 / 15'448	2132 / 19883
1 m ³ -BC	-	-	88
Mosaik-II	256	-	488
KC-T12	-	-	33
LC-84	190	-	1'256
LC-86	340	-	514
180-l-Kokillen (WA-ATA)	-	552	-

Mit der Einlagerungsvorschrift in Tab. A.6-1, der maximal zulässigen Stapelung und den zu lagernden Abfallgebinden gemäss Tab. A.6-2 ergibt sich die Kapazität / Ausnutzung der Zwischenlager für schwach- und mittelaktive Abfälle nach Tab. A.6-3.

Tab. A.6-3: Aktuell vorhandene und erforderliche Zwischenlagerkapazität (Anzahl Gitterboxplätze) sowie Belegungsgrad von Zwilag-MAA, Zwilag-SMA und ZWIBEZ-SAA für das Szenario «60 Jahre Betrieb KKW»

GB: Gitterboxenplätze

Zwischenlager	Vorhandene Kapazität	Erforderliche Kapazität	Belegungsgrad [%]
Zwilag-MAA	320 GB	295 GB	93 ¹⁾
Zwilag-SMA	1150 GB	890 GB	78
ZWIBEZ-SAA	440 GB	278 GB	64

¹⁾ Bei zusätzlichem Bedarf an Lagerkapazität im Zwilag-MAA kann die Konditionierung von Lagergut für eine Lagerung im Zwilag-SMA jederzeit erfolgen.

Hochaktive Abfälle

Die hochaktiven Abfälle der KKW (verglaste Abfälle aus der Wiederaufarbeitung, nicht wiederaufgearbeitete abgebrannte Brennelemente) werden in Transport- und Lagerbehältern (TLB) zum ZWIBEZ-H und Zwilag-BE/HAA(WA) transferiert respektive transportiert und dort eingestellt. Jeder TLB benötigt hierzu einen Stellplatz. Bei ZWIBEZ-H und Zwilag-BE/HAA(WA) stehen aktuell 60 resp. 200 Stellplätze zur Verfügung, d.h. im Verbund existieren somit 260 Stellplätze für TLB.

Die Bundesratsauflage (5.8) aus dem EP16 (s. Anhang A.7) fordert die Betreiber/innen der Kernkraftwerke auf, für das EP21 neue Konzepte zur Erhöhung der Anzahl Stellplätze für die Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente und verglaster hochaktiver Abfälle zu erstellen. In Erfüllung der Auflage wurde ein entsprechendes Konzept zur Erhöhung der Anzahl der Stellplätze für Transport- und Lagerbehälter für BE und WA-HAA erstellt. Wie in Kasemeyer (2021) ausgewiesen, bestehen auch unter Berücksichtigung der Anforderung, dass die einzelnen Behälter für Inspektionen und allfällige Instandhaltungsarbeiten kurzfristig zugänglich sein müssen, verschiedene Varianten, die Anzahl der Stellplätze zu optimieren. Damit würden bei ZWIBEZ-H und Zwilag-H 69 respektive bis zu 228 Stellplätze zur Verfügung stehen, d.h. im Verbund von ZWIBEZ-H und Zwilag-H sind dies 297 Stellplätze für TLB.

Für das Szenario mit 50 Jahren Betrieb von KKB, KKG und KKL und 47 Jahren von KKM (Szenario «50 Jahre Betrieb KKW», s. Anhang A.5) werden insgesamt 248 Stellplätze benötigt, davon sind 225 Stellplätze für TLB mit verbrauchten Brennelementen und 23 Stellplätze für TLB mit hochaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung. Für diese Szenarien reichen die vorhandenen 260 Stellplätze aus. Bei einer Betrachtung von ZWIBEZ-H und Zwilag-H im Verbund ergibt sich ein Belegungsgrad von 95 %.

Für das Szenario mit 60 Jahren Betrieb von KKB, KKG und KKL und 47 Jahren von KKM (Szenario «60 Jahre Betrieb KKW», s. Kap. 2.1) werden insgesamt 274 Stellplätze benötigt, davon sind 251 Stellplätze für TLB mit verbrauchten Brennelementen vorzusehen. Bei einer Betrachtung von ZWIBEZ-H und Zwilag-H im Verbund führt dies bei 260 Stellplätzen zu einem Belegungsgrad von 105 %. Wird hingegen die Anzahl der Stellplätze durch eine verbesserte Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Lagerbereichs optimiert, führt dies bei 297 Stellplätzen zu einem Belegungsgrad der Anlagen für die Zwischenlagerung hochaktiver Abfälle von 91 %.

Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung (MIF) des Bundes

Für die Abfälle des Bundes werden mit dem bestehenden BZL-1 und dem geplanten BZL-2 zwei Zwischenlager zur Verfügung stehen mit einer Gesamtkapazität von ca. 6'300 200-l-Gebinden und 690 KC-T12-Containern. Die tatsächlich anfallenden Abfälle umfassen daneben noch 1 m³- und 1.2 m³-Gebinde, (Klein-)Zylinder mit verschiedenen Dimensionen und wenige 16 m³-Grosscontainer. Für die Betrachtung der effektiv belegbaren Zwischenlagerkapazität von 6'300 m³ werden die verwendeten Lagerbehälter in das tatsächlich benötigte Lagervolumen umgerechnet. Neun 200-l-Gebinde sind in einer Lagervorrichtung untergebracht und benötigen zusammen 4 m³. Ein KC-T12-Container bedarf zuzüglich der Abstände zueinander eines Lagervolumens von ca. 5.12 m³. Zusätzlich wird berücksichtigt, dass:

- die Produktion von Abfällen des Bundes, die im geologischen Tiefenlager zu entsorgen sind, zwar bis Ende 2064 im Szenario «60 Jahre Betrieb KKW» (2063 im Szenario «50 Jahre Betrieb KKW») läuft, diese Abfälle jedoch ab 2050 direkt ins Tiefenlager gebracht werden können und es deshalb zu keiner zusätzlichen Belegung der Zwischenlager (BZL-1, BZL-2) kommt
- die Stilllegung der Anlagen des PSI-West ab 2050 geplant werden kann, was ebenfalls zu keiner zusätzlichen Belegung der Zwischenlager (BZL-1, BZL-2) führt

Mit diesen Annahmen ergibt sich ein notwendiges Lagervolumen im Jahr 2060 von derzeit geschätzt maximal 6'205 m³ und somit eine Auslastung der Lager BZL-1 und BZL-2 von ca. 98.5 % (6'205/6'300 m³).

Zur verfügbaren Zwischenlagerkapazität für radioaktive Abfälle des CERN wurde von ENSI für das EP21 ein Auflagenantrag formuliert, dass von den zuständigen Bundesstellen ausreichende Kapazitäten für die Zwischenlagerung der CERN-Abfälle einschliesslich Kapazitätsreserven für die Abklinglagerung von sehr schwachaktiven Materialien auszuweisen sind. Anhang A.8.10 legt dar, wie die zuständigen Bundesstellen auf diese Auflage eingetreten sind.

A.7 Übersicht über die Bundesratsverfügung und -auflagen für das Entsorgungsprogramm 2021 und ihre Anwendung im vorliegenden Bericht

Verfügung	
1. Die Nagra hat mit dem Entsorgungsprogramm 2016 (Nagra 2016b, NTB 16-01) den gesetzlichen Auftrag der Entsorgungspflichtigen gemäss Art. 32 KEG sowie Art. 52 KEV erfüllt.	
2. Das nächste Entsorgungsprogramm ist im Jahr 2021 gleichzeitig mit den Kostenstudien 2021 einzureichen.	
3. Die Nagra hat zusammen mit dem Baugesuch für ein geologisches Tiefenlager dem UVEK einen Bericht einzureichen, in dem die Kosten für die Rückholung der Abfälle aus einem SMA- und HAA-Lager oder einem Kombilager während der Beobachtungsphase und die Kosten für die Rückholung nach dem Verschluss geschätzt werden. In beiden Fällen sind auch die Kosten für die Verbringung dieser Abfälle in ein Zwischenlager abzuschätzen.	
4. Auflagen für das Entsorgungsprogramm 2016 sowie das Entsorgungsprogramm 2021	Behandelt in:
Ziffer 6.3 Abfallmengen: Die Nagra muss auch im Rahmen der zukünftigen Entsorgungsprogramme darlegen, welche Abfallmengen aktuell erwartet werden und dass diese abdeckend sind. Die Nagra hat ferner aufzuzeigen, welche Methodik zur Prognose verwendet wurde, welche Unterschiede sich zu früheren Prognosen ergeben haben und wie diese Unterschiede zu begründen und zu bewerten sind. <i>Für die Beurteilung der Zwischenlagerkapazität und der in die geologischen Tiefenlager einzubringenden radiologischen Inventare und die Abfallvolumina greift das Entsorgungsprogramm auf das Szenario «60 Jahre Betrieb KKW» zurück, welches der Lagerauslegung und dem Sicherheitsnachweis zugrundegelegt wird. Für eine Darlegung der Methodik zur Prognose der Abfallmengen wird im EP21 auf die entsprechende Dokumentation (Nagra 2014c) verwiesen. Die Datenbank des Modellhaften Inventars für radioaktive Materialien (MIRAM) wird im Hinblick auf das RBG aktualisiert.</i> <i>Die maximale Lagerkapazität wird mit der Rahmenbewilligung festgelegt (Art. 14 Abs. 2 KEG). In Anbetracht des Zeithorizonts der Realisierung und des Betriebs der Tiefenlager sind dabei für die maximale Lagerkapazität Planungsreserven auszuweisen.</i>	Kap. 2 Kap. 4 Kap. 6 Anhang A.5 Tab. A.3-1
Ziffer 6.4 Realisierungsplan: In zukünftigen Entsorgungsprogrammen hat die Nagra darzulegen, wie die Langzeitarchivierung der Informationen zu geologischen Tiefenlagern vorbereitet wird. Für das Baubewilligungsgesuch werden in der Kernenergiegesetzgebung und durch die Richtlinie ENSI-G03 (ENSI 2020b) ein Projekt für die Beobachtungsphase, ein Plan für den Verschluss der Anlage sowie Konzepte für die Rückholung, die Markierung und den temporären Verschluss in Krisenzeiten gefordert. Die vorbereitenden Arbeiten dazu sind ebenfalls in zukünftigen Entsorgungsprogrammen darzulegen. <i>Das EP21 beinhaltet Angaben zur Langzeitarchivierung der Dokumentation und zur Markierung des Lagers und legt die laufenden Arbeiten hinsichtlich der Überlieferung von Informationen an künftige Generationen dar.</i> <i>Zudem sind QM-Massnahmen und die Umsetzung sämtlicher Projektphasen bis zum Verschluss des Gesamtlagers im EP21 dargestellt.</i> <i>Hinsichtlich der vorbereitenden Arbeiten zum Verschluss sei auf Anhang A.8.4 sowie Nagra (2021f) und auf den RD&D-Plan 2021 (Nagra 2021e) verwiesen.</i>	Kap. 5.1 Kap. 5.7 Kap. 5.8 Kap. 5.9 Anhang A.2.2 Anhang A.8.4 Nagra 2021e Nagra 2021f

4. Auflagen für das Entsorgungsprogramm 2016 sowie das Entsorgungsprogramm 2021 (Fortsetzung)	Behandelt in:
Ziffer 6.5 Berücksichtigung von Erfahrung und des Stands von Wissenschaft und Technik: In den nächsten Entsorgungsprogrammen hat die Nagra aufzuzeigen, dass nach aktueller Erfahrung und dem Stand von Wissenschaft und Technik alle notwendigen Vorkehrungen getroffen wurden, damit die gesetzlich festgelegten Schutzziele beim Bau, beim Betrieb und nach dem Verschluss eines geologischen Tiefenlagers erreicht werden. Im Hinblick auf einen zusätzlichen Gewinn für die Sicherheit sind angemessene Optimierungsmassnahmen aufzuzeigen und zu prüfen. Die Angemessenheit ist dabei im Gesamtzusammenhang zu bewerten (d.h. unter anderem bezüglich Betriebssicherheit, Langzeitsicherheit, Transportsicherheit, Personendosen, Anfall neuer Abfälle etc.). <i>Im EP21 wird der vorhandene Handlungsspielraum zur Optimierung der Anlagen und die erforderliche Flexibilität zur Berücksichtigung möglicher zukünftiger Entwicklungen dargelegt. Somit wird sichergestellt, dass alle notwendigen Vorkehrungen getroffen werden, damit die gesetzlich festgelegten Schutzziele beim Bau, Betrieb und nach dem Verschluss eines geologischen Tiefenlagers erreicht werden.</i> <i>Zudem wird, wie in ENSI (2020b) gefordert, in Anhang A.4 das Optimierungsverfahren aufgezeigt, anhand dessen im Vorhaben geologische Tiefenlager sicherheitsgerichtete Entscheide getroffen werden. Für Grundlagen zum Verfahren und der Gesamtplanung sowie zur zeitlichen Umsetzung entlang der Nagra Roadmap sei auf Nagra (2021d) und Nagra (2021e) verwiesen.</i> <i>Ebenso wird im RD&D-Plan 2021 (Nagra 2021e) detailliert auf die Berücksichtigung von Erfahrung und des Stands von Wissenschaft und Technik eingegangen.</i>	Kap. 1 Kap. 2 Anhang A.3 Anhang A.4 Nagra 2021e Nagra 2021d
5. Auflagen für das Entsorgungsprogramm 2016, die für das Entsorgungsprogramm 2021 und folgende angepasst werden	
4.1 Forschungsprogramm: Die Nagra hat zusammen mit dem Entsorgungsprogramm einen Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsplan einzureichen. Darin sind Zweck, Umfang, Art und zeitliche Abfolge der zukünftigen Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsaktivitäten zu dokumentieren. In künftige Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationspläne ist eine vollständige Auflistung der aus Sicht der Nagra wichtigen offenen Fragen aufzunehmen, zusammen mit Angaben darüber, wie und innert welcher Frist die Nagra deren Beantwortung vorsieht. Dabei ist anzugeben, welches die für die jeweils nächsten Meilensteine massgebenden Fragestellungen sind und es ist aufzuzeigen, wie die hierfür erforderlichen Lösungen zeitgerecht erreicht werden können. Darzustellen sind auch die Konsequenzen, falls die für die Meilensteine angestrebten Ziele nicht oder nicht vollumfänglich erreicht werden können. <i>Das EP21 beschränkt sich auf eine Darstellung der wichtigsten RD&D-Aktivitäten und ihre zeitliche Verknüpfung zum Realisierungsplan und verweist für vertiefte Angaben auf den RD&D-Plan sowie weitere relevante Berichte.</i> <i>Im RD&D-Plan 2021 (Nagra 2021e) sind Zweck, Umfang, Art und zeitliche Abfolge der derzeitigen und zukünftigen RD&DAktivitäten dargestellt. Zudem wird im RD&D-Plan 2021 erstmals auch im Rahmen von Roadmaps illustrativ aufgezeigt, wie die einzelnen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten miteinander und mit den Meilensteinen und Entscheidungen bei der Realisierung eines geologischen Tiefenlagers vernetzt sind.</i>	Anhang A.2 Anhang A.4 Anhang A.8.7 Nagra 2021e

5. Auflagen für das Entsorgungsprogramm 2016, die für das Entsorgungsprogramm 2021 und folgende angepasst werden (Fortsetzung)	Behandelt in:
4.2 Gesamtsystem Tiefenlager: In den zukünftigen Entsorgungsprogrammen hat die Nagra darzulegen, wie das Gesamtsystem «geologisches Tiefenlager» technisch und zeitlich umgesetzt werden soll und wie dabei die einzelnen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten miteinander und mit den Meilensteinen und Entscheidungen bei der Realisierung eines geologischen Tiefenlagers vernetzt sind. Hinsichtlich der Entscheidungen hat die Nagra aufzuzeigen, wann sie warum welche Forschungsvorhaben und Entwicklungen in Angriff nimmt und wo und wann welche Schwerpunkte gesetzt werden. Für sicherheitsrelevante Entscheidungen sind verschiedene Alternativen zu betrachten und ein insgesamt für die Sicherheit günstiges Vorhaben zu wählen. Betroffene Entscheide sollen zusammen mit deren Begründungen in einer Form dokumentiert werden, die langfristig Bestand hat, damit sie auch künftig nachvollziehbar bleiben. <i>Im EP21 (Anhang A.3 und A.4) wird dargelegt, wie bei der Realisierung der noch ausstehenden Teile der Entsorgung (insbesondere der geologischen Tiefenlager) vorgegangen werden soll, was in welchem Zeitraum im Rahmen welcher gesetzlichen bzw. behördlichen Verfahren entschieden bzw. realisiert werden soll und wie der vorhandene Handlungsspielraum zur Optimierung der Anlagen genutzt und die erforderliche Flexibilität zur Berücksichtigung möglicher zukünftiger Entwicklungen erhalten werden kann. Zudem wird, wie in ENSI (2020b) gefordert, das Optimierungsverfahren aufgezeigt, anhand dessen im Vorhaben geologisches Tiefenlager sicherheitsgerichtete Entscheide getroffen werden.</i> <i>Für Grundlagen zum Verfahren und die Darlegung der Planung beim Gesamtsystem Tiefenlager sei auf Nagra (2021d) und Nagra (2021e) verwiesen. Im letzteren Bericht wird entlang von Roadmaps aufgezeigt, wie fachtechnische Themen und Arbeitsschwerpunkte mit den Meilensteinen und Entscheidungen bei der Realisierung eines geologischen Tiefenlagers vernetzt sind.</i> <i>Im RD&D-Plan 2021 (Nagra 2021e) wird schliesslich auch aufgezeigt, welche massgebenden Fragestellungen und innert welcher Frist die Nagra bearbeitet, damit die Erkenntnisse zeitgerecht in die Bereitstellung einer stufengerechten Grundlage für den jeweiligen Bewilligungsschritt einfließen.</i>	Anhang A.3 Anhang A.4 Nagra 2021d Nagra 2021e
6. Auflagen für das Entsorgungsprogramm 2021	
5.1 Reduktion potenzieller Gasbildung: Die Nagra hat im Entsorgungsprogramm 2021 darzulegen, ob eine weitere Reduktion der potenziellen Gasbildung aus metallischen Abfällen notwendig ist respektive ob daraus folgende Änderungen der Anforderungen an die endlagerspezifischen Abfalleigenschaften im Hinblick auf die Realisierung von Tiefenlagern erfolgen sollen. <i>Im EP21 wird der derzeitige Stand der Technik bezüglich Abfallbehandlung aufgezeigt. Der Fokus liegt seit vielen Jahren auf der Möglichkeit des Einschmelzens von Metallen sowie der Reduktion des Gehalts an organischen Materialien. Die Nagra bereitet gegenwärtig den Sicherheitsnachweis für das Rahmenbewilligungsgesuch vor, und im Rahmen dessen wird der Gassynthesebericht (Diomidis et al. 2016) aktualisiert.</i>	Kap. 2 Anhang A.8.1 Diomidis et al. 2016

6. Auflagen für das Entsorgungsprogramm 2021 (Fortsetzung)	Behandelt in:
5.2 Pilotlager: Die Nagra hat im nächsten Entsorgungsprogramm Umfang und Inhalt der Messungen zur Überwachung eines Pilotlagers für HAA bzw. SMA weiter zu konkretisieren und die aktuellen Erkenntnisse hinsichtlich des Aspekts der Interpretation bzw. Interpretierbarkeit der erfassten Messwerte sowie hinsichtlich der Gewährleistung der Übertragbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse auf das Hauptlager darzulegen. <i>Das Pilotlagerüberwachungsprogramm wird schrittweise und stufengerecht mit den Realisierungsschritten eines gTL entwickelt. Im Rahmen eines Hintergrundberichts (Nagra 2021c) wird ein erstes standortunabhängiges Konzept für die Pilotlagerüberwachung dokumentiert. Der Bericht zeigt die Methodik der Nagra hinsichtlich der Auswahl von Messparameter bei der Pilotlagerüberwachung auf. Ebenso werden die derzeit laufenden Forschungsarbeiten zum Management und zur Interpretierbarkeit von Messdaten dargestellt sowie die Anforderungen an die Übertragbarkeit von Pilotlagerdaten auf das Hauptlager erläutert.</i>	Kap. 3.1 Anhang A.8.2 Nagra 2021c
5.3 Konsequenzen Kombilager: Im Entsorgungsprogramm 2021 hat die Nagra die grundsätzlich bestehenden Varianten bei einer Kombilager-Lösung aufzuzeigen, um mögliche sicherheitsrelevante Beeinträchtigungen der einzelnen Lagerteile zu vermeiden. Ausserdem soll der relative Platzbedarf und die sicherheitstechnisch anzustrebenden Varianten dokumentiert werden. <i>Für weitere Informationen sei auf Anhang A.8.3 verwiesen. Zudem hat die Nagra zur Beurteilung von Wechselwirkungen zwischen dem SMA- und dem HAA-Lagerteil eines Kombilagers zwei Berichte erstellt: NAB 19-15 (Nagra 2020a) umfasst Informationen zu Wechselwirkungen hinsichtlich des Baus und Betriebs, NAB 20-31 (Nagra 2021b) hinsichtlich der Langzeitsicherheit. Mit diesen Berichten wird aufgezeigt, dass die Sicherheit durch diese Wechselwirkungen nicht negativ beeinträchtigt wird.</i>	Kap. 3.1.1 Kap.3.2 Anhang A.8.3 Nagra 2020a Nagra 2021b
5.4 Verschlussvarianten: Die Nagra hat im Entsorgungsprogramm 2021 als Vorarbeit zur Erstellung eines Konzepts für das Rahmenbewilligungsgesuch mögliche Verschlussvarianten aufzuzeigen und zu vergleichen. <i>Als Vorarbeit zum geforderten Konzept für das RBG hat die Nagra einen Bericht erstellt (Nagra 2021f), in welchem Faktoren, welche den Betrieb und die Realisierungsdauer der Verschlussphase beeinflussen dargestellt und mögliche Verschlussvarianten miteinander verglichen und bewertet werden. Eine Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse findet sich in Anhang A.8.4.</i>	Kap. 3.1 Anhang A.8.4 Nagra 2021f
5.5 Nullmessungen: Die Nagra hat im Entsorgungsprogramm 2021 Vorarbeiten zu Nullmessungen zu dokumentieren. Darin ist begründet darzulegen, welche Prozesse und Parameter wichtig für die Umweltüberwachung und die Nullmessungen sind und wie diese zu erfassen sind. <i>Im Rahmen eines Hintergrundberichts (Fanger et al. 2021) werden die Vorarbeiten der Nagra zu Nullmessungen dokumentiert. Der Bericht zeigt auf, welche Parameter wichtig sind für die Überwachung der Umwelt und des geologischen Umfelds sowie für die Nullmessungen und wie diese erfasst werden. Für weitere Informationen sei auf Anhang A.8.5 verwiesen.</i>	Kap. 3.1 Anhang A.8.5 Fanger et al. 2021

6. Auflagen für das Entsorgungsprogramm 2021 (Fortsetzung)	Behandelt in:
5.6 Nutzungsphasen der Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag: Die Nagra hat bei der Aktualisierung des Entsorgungsprogramms die Anforderungen für die verschiedenen Nutzungsphasen der Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag darzulegen. Zudem hat sie die Art und den Zeitplan der vorgesehenen technischen Nachweise für eine spätere Umnutzung zu erläutern (Cloet et al. 2014). <i>Für weitere Informationen sei auf Anhang A.8.6 verwiesen. Die Nagra hat zudem einen Hintergrundbericht (Nagra 2021a) erstellt, in welchem das derzeitige Konzept für EUU stufengerecht aufgezeigt wird. Im Rahmen dieses Konzepts werden die Nutzungsphasen für die erdwissenschaftlichen Untersuchungen dargelegt und die spätere Umnutzung erläutert.</i>	Kap. 3.2 Kap. 5 Anhang A.8.6 Nagra 2021a
5.7 Erfahrungsgewinn Lagerauslegung: Im Rahmen des Entsorgungsprogramms 2021 hat die Nagra darzulegen, ob und gegebenenfalls durch welche zusätzlichen Untersuchungen hinsichtlich der Umsetzbarkeit möglichst frühzeitig konkrete Erfahrungen für die Optimierung der Lagerauslegung gewonnen werden können. <i>In Anhang A.4 wird das Optimierungsverfahren dargestellt. Dabei wird auch die Optimierung der Lagerauslegung in einen zeitlichen Gesamtrahmen gesetzt. Für detailliertere Informationen zur Planung des Gesamtsystems Tiefenlager und Umsetzung entlag von Roadmaps sei auf Nagra (2021d) und Nagra (2021e) verwiesen.</i>	Anhang A.4 Nagra 2021d Nagra 2021e
5.8 Anzahl Stellplätze für Zwischenlagerung: Die Betreiber/innen der Kernkraftwerke haben bei der Aktualisierung des Entsorgungsprogramms neue Konzepte zur Erhöhung der Anzahl Stellplätze für die Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente und verglaster hochaktiver Abfälle zu erstellen. Diese Konzepte haben vorzusehen, dass die einzelnen Behälter für Inspektionen und allfällige Instandhaltungsarbeiten kurzfristig zugänglich sind. <i>Die Entsorgungspflichtigen haben einen Hintergrundbericht (Kasemeyer 2021) erstellt, in welchem verschiedene Varianten zur Erhöhung der Anzahl Stellplätze für die Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente und verglaster hochaktiver Abfälle dargelegt werden. Die Anforderung, dass die einzelnen Behälter für Inspektionen und allfällige Instandhaltungsarbeiten kurzfristig zugänglich sein müssen, wird im Konzeptbericht berücksichtigt. Für weitere Informationen zur Zwischenlagerkapazität für TLB sei auf Kap. 6 und Anhang A.6 verwiesen.</i>	Kap. 6 Anhang A.6 Kasemeyer 2021
7. Auflagen für das Entsorgungsprogramm 2021 und folgende	
6.1 Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsplan: Die Nagra hat Forschungsaktivitäten hinsichtlich der Brennelementalterung und Trockenlagerung in zukünftigen Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsplänen zu berücksichtigen. Die Ergebnisse der Forschungsprojekte und Experimente, die in der vorherigen Version des Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsplans aufgeführt wurden, sind aufzuzeigen. <i>In Anhang A.8.7 werden Ergebnisse von Forschungsprojekten und Experimenten sowie der Stand von Wissenschaft und Technik hinsichtlich der Langzeitstabilität von abgebrannten Brennelementen während der Zwischenlagerung aufgezeigt. Für detailliertere Informationen sei auf Axpo (2015) und Nagra (2021e) verwiesen.</i>	Kap. 2 Anhang A.8.7 Nagra 2021e Axpo 2015

A.8 Ergänzende Informationen zu spezifischen Bundesratsauflagen und zum Umgang mit weiteren Empfehlungen für das Entsorgungsprogramm 2021

Anhang A.8 bezweckt eine übergeordnete Darlegung, wie die Entsorgungspflichtigen auf spezifische Bundesratsauflagen (Bundesrat 2018) für das EP21 und folgende Entsorgungsprogramme (A.8.1 – A.8.8) sowie weitere Empfehlungen für das EP21 (A.8.9 und A.8.10) eingetreten sind. Für eine detaillierte Information wird auf entsprechende Hintergrundberichte zum EP21 (s. Kap. 1.1) und/oder anderweitige Referenzen verwiesen.

A.8.1 Auflage 5.1 zur Reduktion potenzieller Gasbildung

Die Nagra hat im Entsorgungsprogramm 2021 darzulegen, ob eine weitere Reduktion der potenziellen Gasbildung aus metallischen Abfällen notwendig ist respektive ob daraus folgende Änderungen der Anforderungen an die endlagerspezifischen Abfalleigenschaften im Hinblick auf die Realisierung von Tiefenlagern erfolgen sollen.

Periodisch wird der Stand der Technik bezüglich Abfallbehandlung neu beurteilt und gegebenenfalls weiterentwickelt. Der Fokus liegt seit vielen Jahren auf der Möglichkeit des Einschmelzens von Metallen sowie auf der Reduktion des Gehalts an organischen Materialien. Letzteres wird für einen Teil der Abfälle mit der Plasmaanlage im Zwiilag erreicht.

Das ENSI hat in seiner Stellungnahme zum EP16 festgehalten, dass es der Argumentation der Nagra folgt und die Reduktion und das Einschmelzen metallischer Abfälle ein höheres sicherheitstechnisches Optimierungspotenzial bietet als die Reduktion der Organika. Ebenso anerkennt das ENSI, dass das Einschmelzverfahren zu jedem Zeitpunkt bis zur Einlagerung der Abfälle ins geologische Tiefenlager zur Anwendung kommen kann.

Im EP16 haben die Entsorgungspflichtigen dargelegt, dass sie die Behandlung bereits konditionierter Abfälle als nicht verhältnismässig erachten. Die Behörden konnten dieser Argumentation folgen und haben darauf hingewiesen, dass die metallischen Abfälle nicht bereits anderweitig irreversibel konditioniert sein sollten. Gemäss der KNS (KNS 2018) kommt im Hinblick auf die Vorgabe in Art. 54 Abs. 1 KEV, wonach radioaktive Abfälle möglichst rasch konditioniert werden müssen, dieser Feststellung besondere Bedeutung zu.

Pyrolyse stellt zwar eine grundsätzlich machbare Option dar, die aber aufgrund der geringen Relevanz von organischen Stoffen in einem geologischen Tiefenlager und einer Gesamtbetrachtung auf Basis des aktuellen Kenntnisstands nicht angemessen ist. Da die Reduktion organischer Abfälle für das ENSI hingegen in Zusammenhang mit anderweitigen Aspekten (Radionuklidkomplexierung) eine sinnvolle Option darstellt, werden seitens der Entsorgungspflichtigen die Bestrebungen zur Reduktion von Bitumen bei der Konditionierung gewisser Betriebsabfälle weitergeführt. Eine entsprechende Nachbehandlung bereits konditionierter organischer Abfälle erachten die Entsorgungspflichtigen hingegen als nicht verhältnismässig.

Die Nagra bereitet gegenwärtig den Sicherheitsnachweis für das Rahmenbewilligungsgesuch vor, und im Rahmen dessen wird der Gassynthesebericht (Diomidis et al. 2016) aktualisiert. Die Sicherheitsanalyse wird auf dem standortspezifischen Verständnis der geologischen Verhältnisse basieren und neue Erkenntnisse bezüglich Gasbildung und Druckaufbau integrieren. Die Nagra geht gemäss heutigem Kenntnisstand davon aus, dass für die erwartete Entwicklung des Tiefenlagersystems mit einer signifikanten Sicherheitsmarge nachweislich belegt werden kann, dass der erwartete Druckaufbau der Gase keine negativen Auswirkungen auf die günstigen Eigenschaften des Opalinustons hat. Die Sicherheitsanalyse für das RBG umfasst auch den Nachweis, dass im sehr unwahrscheinlichen Fall eines druckinduzierten Gasaustritts durch das Wirtgestein die radiologischen Auswirkungen in der Biosphäre nur sehr gering sind oder gänzlich ausbleiben. Daraus lässt sich schliessen, dass zum jetzigen Zeitpunkt keine Hinweise vorliegen, welche eine weitere

Reduktion der Gasbildung als notwendig erachten liessen. Die Optimierung der Sicherheit eines geologischen Tiefenlagers erfolgt durch ein schrittweises Vorgehen und abgestimmt mit den Stilllegungsprojekten der verbleibenden KKW; deren Stilllegung wird eine gewichtige Quelle der metallischen Abfälle darstellen. Falls sich im Rahmen des mehrstufigen Bewilligungsverfahrens nach KEG (2003) zeigen würde, dass eine weitere Reduktion der Gasbildung erforderlich wäre, liesse sich die Option grundsätzlich bis zum Beginn der Einlagerung der radioaktiven Abfälle realisieren.

A.8.2 Auflage 5.2 zum Pilotlager

Die Nagra hat im nächsten Entsorgungsprogramm Umfang und Inhalt der Messungen zur Überwachung eines Pilotlagers für HAA bzw. SMA weiter zu konkretisieren und die aktuellen Erkenntnisse hinsichtlich des Aspekts der Interpretation bzw. Interpretierbarkeit der erfassten Messwerte sowie hinsichtlich der Gewährleistung der Übertragbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse auf das Hauptlager darzulegen.

Im Rahmen eines Hintergrundberichts zum EP21 (Nagra 2021c) sind in Zusammenhang mit der Bundesratsaufgabe 5.2 die Vorarbeiten der Nagra zur Überwachung des Pilotlagers dargelegt.

Das Pilotlagerüberwachungsprogramm wird schrittweise und stufengerecht mit den Realisierungsschritten eines gTL entwickelt. Mit dem RBG wird ein erstes integrales Überwachungskonzept eingereicht, welches auch ein erstes Konzept für die Pilotlagerüberwachung enthält. Das Projekt für die Beobachtungsphase muss erst mit dem Baubewilligungsgesuch eingereicht werden.

Die Nagra hat am EU-Forschungsprojekt "Development and Demonstration of Monitoring Strategies and Technologies" (Galson Sciences Limited 2019) teilgenommen, bei dem Strategien für die Auswahl von Überwachungsparametern für verschiedene geologische Tiefenlagerkonzepte entwickelt wurden. Der Fokus lag auf der Überwachung des EBS (Engineered Barrier System) und des Nahfeld-Gesteins während des Betriebs eines geologischen Tiefenlagers. Die Nagra hat im Rahmen von Modern2020 (Galson Sciences Limited 2019) eine Methodik für das schweizerische Konzept erarbeitet, das Überwachungsparameter identifiziert, die technisch messbar sind, die Sicherheit von Pilot- und Hauptlager nicht beeinflussen sowie relevant für die Demonstration der Langzeitsicherheit sind. Mit der entwickelten Methodik können die Überwachungsparameter für ein Pilotlager regelmässig unter Einbezug neuer Entwicklungen im Bereich der Messtechnik evaluiert und angepasst werden.

Im neuen EU-Forschungsprogramm "Monitoring Equipment and Data Treatment for Safe Repository Operation and Staged Closure" (MODATS) werden, mit Beteiligung der Nagra, in den nächsten drei Jahren Methoden für das Management und die Interpretation bzw. Interpretierbarkeit von Überwachungsdaten entwickelt, die auch auf Pilotlager anwendbar sein werden. Die Nagra wird dabei ihre Entwicklungen anhand von Überwachungsdaten aus dem FE-Experiment, welches im Felslabor Mont Terri durchgeführt wird, erarbeiten.

Die Bauweise, Einlagerungsart und Verfüllung des Pilotlagers werden mit der des Hauptlagers vergleichbar sein, und eine repräsentative kleine Menge von Abfällen wird im Pilotlager eingelagert werden (Art. 66 Abs. 3 Bst. c und 3d KEV). Das Pilotlager wird so platziert werden, dass dessen geologische und hydrogeologische Verhältnisse mit denjenigen des Hauptlagers vergleichbar sind (Art. 66 Abs. 3 Bst. a KEV) und gleichzeitig eine räumliche und hydraulische Trennung gewährleistet ist (Art. 66 Abs. 3 Bst. b KEV), was im Rahmen der baubegleitenden Erkundungen beim Auffahren der Pilot- und Hauptlagerstollen untersucht wird. Durch diese Massnahmen wird die Übertragbarkeit der Überwachungsergebnisse vom Pilot- auf das Hauptlager (Art. 66 Abs. 2 KEV) gewährleistet.

A.8.3 Auflage 5.3 Konsequenzen Kombilager

Im Entsorgungsprogramm 2021 hat die Nagra die grundsätzlich bestehenden Varianten bei einer Kombilager-Lösung aufzuzeigen, um mögliche sicherheitsrelevante Beeinträchtigungen der einzelnen Lagerteile zu vermeiden. Ausserdem sollen der relative Platzbedarf und die sicherheitstechnisch anzustrebenden Varianten dokumentiert werden.

Unter dem Begriff 'Kombilager' wird ein Lager bestehend aus räumlich getrennten Lagerteilen für HAA und SMA im gleichen geologischen Standortgebiet verstanden. Ist nach der Festlegung des HAA-Lagers im gleichen Standortgebiet noch ausreichend Platz für ein SMA-Lager vorhanden und finden bezüglich Sicherheit (z.B. Bau-, Betriebs- und Langzeitsicherheit) keine relevanten negativen Beeinflussungen zwischen SMA- und HAA-Lagerteil statt, dann wird, falls es die abschliessende sicherheitstechnische Gesamtbewertung erlaubt, der Bau eines Kombilagers gegenüber zwei Einzellagern klar bevorzugt (s. Kap. 3.1.1). In Zusammenhang mit der ENSI-Vorgabe ist die obige Auflage zum EP21 so zu verstehen, dass vorhandene Wechselwirkungen zwischen dem SMA- und dem HAA-Lagerteil eines Kombilagers aufzuzeigen sind und zu begründen ist, dass die Sicherheit durch diese Wechselwirkungen nicht relevant beeinträchtigt wird.

Die Nagra hat zur Beurteilung von Wechselwirkungen zwischen dem SMA- und dem HAA-Lagerteil eines Kombilagers zwei Hintergrundberichte zum EP21 erstellt: NAB 19-15 (Nagra 2020a) umfasst Informationen zu Wechselwirkungen hinsichtlich des Baus und Betriebs, NAB 20-31 (Nagra 2021b) hinsichtlich der Langzeitsicherheit.

Nagra (2020a) vergleicht ein beispielhaftes Kombilager mit zwei Einzellagern (SMA-Lager und HAA-Lager). Ein Kombilager besteht, wie die Einzellager, aus der Oberflächeninfrastruktur (z.B. Oberflächenanlage, Nebenzugangsanlagen), Zugangsbauwerken (z.B. Zugangsschacht, Lüftungsschacht) und Bauten auf Lagerebene (z.B. zentraler Bereich, Lagerfeldzugänge, HAA-Hauptlager, SMA-Hauptlager). Da das Kombilager aber eine Gesamtanlage darstellt, können viele Elemente der Oberflächeninfrastruktur und ein Teil der Bauten untertag (Zugangsbauwerke und zentraler Bereich) für den Bau und die Einlagerung von SMA und HAA gemeinsam genutzt werden und stehen auch in der Beobachtungsphase zur Verfügung. Diese gemeinsame Nutzung ist mit Synergien verbunden, wie z.B. bezüglich Erkundung des geologischen Untergrunds, Kontinuität und Know-how beim Betriebspersonal. Zudem werden beim Kombilager im Vergleich zu zwei Einzellagern die Gesamtauswirkungen (z.B. Flächen-, Energie- und Ressourcenverbrauch, Bauvolumina und Ausbruchmengen, Emission von Treibhausgasen) reduziert; beide Aspekte sprechen somit für die Realisierung eines Kombilagers.

Im Bericht wird dargelegt, dass in einem Kombilager die gleichen Prozesse vorgesehen sind, wie in den jeweiligen Einzellagern. Es kann auch angenommen werden, dass in allen Lagertypen die jeweils gleichen oder gleichwertige Anlagen und Sicherheitssysteme vorhanden sind und dass sich daher keine Unterschiede hinsichtlich der Betriebssicherheit ableiten lassen.

Der Realisierungsplan des Kombilagers umfasst zwei Phasen, während denen Tätigkeiten aus sicherheitstechnischer Sicht zu trennen sind. Dies betrifft den SMA-Einlagerungsbetrieb mit gleichzeitigem Bau des HAA-Lagerteils und den sequenziellen HAA/SMA-Einlagerungsbetrieb. Die einzelnen Tätigkeiten entsprechen aber auch hier denjenigen der Einzellager und können räumlich und/oder zeitlich entkoppelt werden, sodass sich keine Unterschiede hinsichtlich der Betriebssicherheit ableiten lassen.

Ein geologisches Tiefenlager muss so geplant und realisiert werden, dass die Schutzziele der Betriebssicherheit erreicht werden, d.h. die Vorkehrungen hinsichtlich nuklearer Betriebssicherheit, Strahlenschutz, Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz, Flucht, Rettung, Evakuierung und Intervention sowie Sicherung müssen den gesetzlichen und behördlichen Anforderungen

genügen. Dieses Prinzip ist unabhängig vom Lagertyp und den zugehörigen Anlagenelementen und Betriebsabläufen. Durch eine geeignete Auslegung und Anordnung der einzelnen Lagerteile und durch geeignete Betriebsabläufe wird gewährleistet, dass bauliche und betriebliche Wechselwirkungen zwischen dem SMA- und dem HAA-Lagerteil eines Kombilagers zu keiner sicherheitsrelevanten Beeinträchtigung führen.

Der Arbeitsbericht NAB 20-31 (Nagra 2021b) umfasst eine Darlegung sicherheitstechnisch relevanter Wechselwirkungen zwischen dem SMA- und dem HAA-Lagerteil eines Kombilagers in Zusammenhang mit der Beurteilung der Langzeitsicherheit. Ausgehend von einer umfassenden Zusammenstellung der behördlichen Vorgaben und Erwartungen wurde eine Methodik entwickelt, die zur Ableitung von standortspezifisch zu erfüllenden sicherheitstechnischen Anforderungen bezüglich der Anordnung der HAA- und SMA-Lagerteile im Kombilager dient. Hierzu zählt insbesondere der zwischen den Lagerteilen einzuhaltende Mindestabstand, der gewährleistet, dass die möglichen thermischen, hydraulischen, felsmechanischen und chemischen (THM-C) Wechselwirkungen zwischen den Lagerteilen über das Wirtgestein sowie allfällige radiologische Wechselwirkungen über das Wirtgestein keine sicherheitsrelevante Beeinträchtigung darstellen. Darüber hinaus wurden standortspezifische Aspekte zur gegenseitigen Anordnung der Lagerteile (z.B. Ausrichtung der Lagerkammern, Varianten der SMA-Kavernenquerschnitte für moderate / grosse Überdeckungen) und die daraus resultierenden Auswirkungen auf das Platzangebot am Lagerstandort analysiert. Weitere Analysen beziehen sich auf die möglichen THM-C-Wechselwirkungen entlang der Zugangsbauwerke zu den beiden Lagerteilen sowie auf den Transport von gelösten und volatilen Radionukliden entlang der verfüllten Untertagbauten. Am Beispiel eines modellhaften Kombilagerprojekts wurden die sicherheitsrelevanten Wechselwirkungen mittels einer modellunterstützten Indikatormethodik quantitativ abgeschätzt. Die Methode wird eingesetzt, um im Rahmen des sicherheitstechnischen Vergleichs für SGT Etappe 3 eine sicherheitstechnische Gesamtbewertung des Kombilagers gegenüber zwei separaten Lagern für HAA und SMA in unterschiedlichen Standortgebieten vorzunehmen.

Falls der sicherheitstechnische Vergleich zu keiner Differenzierung führt, ist es gemäss ENSI (ENSI 2018c) den Entsorgungspflichtigen überlassen, bei ihrer Abwägung und gesamtheitlichen Betrachtung weitere Aspekte beizuziehen. Da weder hinsichtlich des Baus und Betriebs noch der Langzeitsicherheit nachteilige Wechselwirkungen vorliegen, welchen nicht durch eine geeignete Anordnung, Auslegung sowie Bau- und Betriebsabläufe begegnet werden kann, sprechen die in Nagra (2020a) und Kap. 3.1.1 dargelegten Aspekte eindeutig für die Realisierung eines Kombilagers.

A.8.4 Auflage 5.4 Verschlussvarianten

Die Nagra hat im Entsorgungsprogramm 2021 als Vorarbeit zur Erstellung eines Konzepts für das Rahmenbewilligungsgesuch mögliche Verschlussvarianten aufzuzeigen und zu vergleichen.

Für das Rahmenbewilligungsgesuch wird gemäss Art. 23 KEG u.a. ein standortspezifisches Konzept für den Verschluss des geologischen Tiefenlagers in der Schweiz gefordert. Die Pläne für den Verschluss werden gemäss Art. 16 Abs. 1 Bst. e KEG und Art. 24 KEG dagegen erst für die Baubewilligung benötigt. Zum Verschlusskonzept gehört die Entwicklung eines nach dem Stand der Technik und Wissenschaft zweckmässigen Systems, welches robust ist und in Anbetracht des langen Zeithorizonts bis zum definitiven Verschluss einen angemessenen Handlungsspielraum zur Berücksichtigung späterer Optimierungen bietet.

Die Einhaltung bzw. die Sicherstellung der Langzeitsicherheit ist die wichtigste Anforderung an das zu erarbeitende Konzept und somit an das Verschlussystem. Die sukzessive Verfüllung und Versiegelung der Lagerstollen/-kavernen, der Zugangsbauwerke und der abschliessende Gesamtverschluss des geologischen Tiefenlagers für radioaktive Abfälle sind mehrheitlich Bestandteile des Mehrfachbarrierensystems und tragen dazu bei, dass der Transport von Radionukliden aus den untertägigen Anlagenelementen verhindert bzw. minimiert wird.

Als Vorarbeit zum geforderten Konzept für das RGB und in Hinblick auf die Bundesratsauflage 5.4 hat die Nagra einen Hintergrundbericht (Nagra) erarbeitet. Dieser Bericht beschreibt ein standortunabhängiges Verschlusskonzept. Es werden die wichtigsten gesetzlichen Vorgaben, die an den Verschluss gestellt werden, erörtert und die Anforderungen aus der Langzeitsicherheit an den Verschluss stufengerecht beschrieben. Aus den übergeordneten Anforderungen werden Auslegungs- und Dimensionierungsgrundsätze für die Konzipierung des Verschlusses abgeleitet. Mit diesen Grundsätzen werden Konzepte für alle Versiegelungsbauwerke erarbeitet und diese für den jeweiligen Einsatzort (Lagerkammer, Lagerfelder und Zugangsbauwerke) grob vordimensioniert. Es werden unterschiedliche bautechnische Varianten für die Ausführung der Versiegelungen entwickelt, die zusammen ein breites Spektrum zu erwartender geologischer Randbedingungen abdecken und zur Erfüllung von Sicherheitsfunktionen der Langzeitsicherheit beitragen. Geotechnischen Gefährdungen wird dadurch so begegnet, dass Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit vermieden werden.

Die Planung des zeitlichen Ablaufs des Verschlusses, für den gemäss Bundesratsauflage 5.4 Varianten untersucht werden sollen, muss sich in den Realisierungsplan des Kombilagers (Fig. 5.3-1) einfügen und den Anforderungen der Langzeitsicherheit, der Betriebssicherheit und des Strahlenschutzes Rechnung tragen. Aus Sicht der Langzeitsicherheit ist es wünschenswert, möglichst schnell eine passive Sicherheit herzustellen, d.h. das Tiefenlager zu verfüllen und Versiegelungsbauwerke zu errichten. Für den Strahlenschutz und die Betriebssicherheit ist dies ebenfalls vorteilhaft. Für die HAA-Lagerstollen ist die Versiegelung unmittelbar nach Einlagerungsende vom ENSI vorgeschrieben (Art. 7.3a ENSI-G03; ENSI 2020b). Aus Sicherheitsüberlegungen ist ein identisches Vorgehen auch für die SMA-Lagerkavernen vorgesehen. Der Anforderung, die Rückholung bis zu einem allfälligen Verschluss "ohne grossen Aufwand" sicherzustellen, wird ebenfalls Rechnung getragen. Solange das geologische Tiefenlager zugänglich ist, bleibt der Aufwand zum Entfernen von errichteten Verfüllungen und Versiegelungen im Vergleich zum Gesamtaufwand für eine Rückholung klein.

Die im KEG vorgeschriebene Beobachtungsphase (Planungsannahme: Dauer ca. 50 Jahre) dient der Überwachung ausgewählter Aspekte des Sicherheitsnachweises. Die Beobachtung findet im Wesentlichen in den Kontrollstollen der HAA- und SMA-Pilotlager statt, die während des gesamten Beobachtungszeitraums zugänglich bleiben. Verschlussvarianten umfassen daher nur verschiedene Verschlusszeitpunkte für die HAA- und SMA-Lagerfeldzugänge und für die Zugänge zu den Pilotlagern.

Es ist eine erste Beobachtungsphase vorgesehen, für die als Planungsannahme im EP21 eine Dauer von ca. 10 Jahren postuliert wird. In dieser ersten Beobachtungsphase werden die Lagerfeldzugänge bis zu den Versiegelungen der Lagerkammern offengehalten und die dortigen Versiegelungen beobachtet. Nach erfolgreichem Abschluss dieser ersten Phase werden die Lagerfeldzugänge verfüllt und versiegelt. Eine Verlängerung oder Verkürzung der ersten Beobachtungsphase ist prinzipiell möglich und hat grundsätzlich keinen Einfluss auf die Langzeitsicherheit. Der Strahlenschutz ist zu jedem Zeitpunkt aufgrund des frühzeitigen Verschlusses der Lagerkammern sichergestellt. Ein regulärer Unterhalt der noch offenen untertägigen Bauwerke trägt zur Betriebssicherheit bei.

Im Hintergrundbericht werden in Anlehnung an die Bundesratsaufgabe 5.4 die im EP21 dargestellten Planungsannahmen mit Varianten verglichen. Nach heutiger Einschätzung stellt der Ablauf zum Verschluss des geologischen Tiefenlagers, wie er im Realisierungsplan (Nagra 2021) dargestellt ist, die derzeit beste Lösung dar, da er unterschiedliche Anforderungen ausgewogen berücksichtigt. Im Laufe der weiteren Konzeptentwicklung bis zum RBG und darüber hinaus werden weitere Varianten untersucht und das Konzept optimiert.

A.8.5 Auflage 5.5 Nullmessungen

Die Nagra hat im Entsorgungsprogramm 2021 Vorarbeiten zu Nullmessungen zu dokumentieren. Darin ist begründet darzulegen, welche Prozesse und Parameter wichtig für die Umweltüberwachung und die Nullmessungen sind und wie diese zu erfassen sind.

Im Rahmen eines Hintergrundberichts zum EP21 (Fanger et al. 2021) sind in Zusammenhang mit der Bundesratsaufgabe 5.5 die Vorarbeiten der Nagra zu Nullmessungen dargelegt.

Die Überwachung der Umwelt und des geologischen Umfelds (ÜUG) sowie die dazugehörigen Nullmessungen sind Teil des integralen Überwachungskonzepts für das geologische Tiefenlager. Die ÜUG-Daten bilden die Grundlagen, um natürliche Veränderungen und Schwankungen in der Umwelt und im geologischen Umfeld des geologischen Tiefenlagers von Veränderungen zu unterscheiden, die durch den Bau, Betrieb und Verschluss des geologischen Tiefenlagers verursacht werden könnten. Fanger et al. (2021) beschreiben generisch anhand konzeptioneller und standortunabhängiger Überlegungen beispielhafte Messprogramme, die vom Betreiber des geologischen Tiefenlagers geplant und durchgeführt werden sowie den aktuellen Planungsstand zum Langzeitdatenmanagement und zur Archivierung der Proben. Nach der Standortwahl und vor dem RBG werden die Messprogramme standortspezifisch konkretisiert.

Im ÜUG-Konzept sind folgende Messprogramme, Probenahmen und Analysen vorgesehen:

- Meteorologie (meteorologische Messstation, Beprobung mit Hilfe von Luftfiltern und Staubfangplatten sowie von Niederschlagswasser, radiologische Analysen der Proben)
- Boden (Bodenluft-Messstellen für Radon, Bodenproben, radiologische Analysen der Proben)
- Oberflächengewässer (Gerinne-Messstellen, Oberflächengewässerproben, hydrochemische und radiologische Analysen der Proben)
- Quellen (Quell-Messstellen, Quellwasserproben, hydrochemische und radiologische Analysen der Proben)
- Grundwasser (untiefe Piezometer sowie Langzeitbeobachtungssysteme in Tiefbohrungen, Grundwasserproben, hydrochemische und radiologische Analysen der Proben)
- Geodynamik und Geotechnik (Deformationsüberwachung von Bauten sowie Überwachung der Lagerfelder und der Standortregion mittels Nivellement-Messungen und GNSS-Permanentmessstationen)
- Seismizität (Seismometer)

Nullmessungen zur Erfassung des ungestörten Ausgangszustands sind einer der zentralen Aspekte der ÜUG, da sie über den gesamten Lebenszyklus eines geologischen Tiefenlagers eine wichtige Grundlage bilden, von der Standortcharakterisierung über die Beweissicherung bis hin zum ordnungsgemässen Verschluss des geologischen Tiefenlagers und dessen Entlassung aus der Kernenergiegesetzgebung. Sie stellen auch eine Basis für die Festlegung von Interventionswerten dar. Für die zuverlässige Erfassung müssen die Nullmessungen rechtzeitig vor Beginn des Baus der Zugangsbauwerke EUU sowie vor Beginn der Einlagerung gestartet werden und statistische, saisonale und jährliche Schwankungen abdecken.

Einige Messprogramme wurden bereits in den möglichen Standortregionen implementiert (GNSS-Permanentmessstationen, Seismometer, Langzeitbeobachtung in Tiefbohrungen) und erste Nullmessungen werden aufgezeichnet. Der Beginn der Nullmessungen für die Messprogramme zu Meteorologie, Oberflächengewässer, Quellen und untiefes Grundwasser sowie die Verdichtung bereits laufender Messprogramme ist nach Abschluss der fachtechnischen RBG-Beurteilung (ca. 7 Jahre vor Baubeginn der Zugangsbauwerke) geplant resp. zu Beginn der Phase "Vorbereitung EUU" (ca. 3 Jahre vor Baubeginn der Zugangsbauwerke) im Falle von Nivellement, Seismometer, tiefes Grundwasser. Intensive radiologische Nullmessungskampagnen sind vor Baubeginn der Zugangsbauwerke sowie vor Einlagerungsbetrieb geplant.

A.8.6 Auflage 5.6 Nutzungsphasen der Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag

Die Nagra hat bei der Aktualisierung des Entsorgungsprogramms die Anforderungen für die verschiedenen Nutzungsphasen der Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag darzulegen. Zudem hat sie die Art und den Zeitplan der vorgesehenen technischen Nachweise für eine spätere Umnutzung zu erläutern.

Die Nagra hat in Zusammenhang mit der Bundesratsaufgabe 5.6 einen Hintergrundbericht zum EP21 (Nagra 2021a) erstellt. In diesem Bericht wird das derzeitige Konzept für EUU stufengerecht dargelegt und es wird auf die Auflage eingegangen.

Die erdwissenschaftlichen Untersuchungen der Nagra erhärten die Datengrundlage für die Beurteilung der Langzeitsicherheit sowie für die Planung und Projektierung des geologischen Tiefenlagers. Durch die EUU werden die notwendigen standortspezifischen Informationen für die Erarbeitung des nuklearen Baubewilligungsgesuchs, zur standortspezifischen Erhärtung des Sicherheitsnachweises und zur Vorbereitung und Optimierung des Lagerbaus geschaffen.

Für die Realisierung der EUU bedarf es einer umfangreichen Infrastruktur bestehend aus oberirdischen Anlagenteilen, Zugangsbauwerken und zweckbestimmten Experiment- bzw. Demonstrationsbereichen. Alle Zugangsbauwerke und Zugangstunnel werden in der Phase "Bau und Beginn EUU" (s. Kap. 5.4.2) ausgehend vom Areal der geplanten Nebenzugangsanlage des späteren geologischen Tiefenlagers erstellt und so ausgelegt, dass sie umgenutzt und in das geologische Tiefenlager integriert werden können.

Die Anforderungen an die Infrastruktur für EUU und insbesondere für die Bauten für EUU (BEUU) werden von verschiedenen Treibern bestimmt. So sind für die Betriebssicherheit z.B. zwei getrennte Zugänge nach untertag zu erstellen. Für die Langzeitsicherheit sind die Bauten so auszuführen, dass sie die Eignung des Standorts für ein gTL nicht beeinträchtigen. Weiterhin sind die Bauten so anzulegen, dass sie die notwendigen Untersuchungen zur standortspezifischen Erhärtung des Sicherheitsnachweises ermöglichen. Dazu müssen die Experimente in ungestörten Bereichen durchgeführt werden und die gewonnenen Erkenntnisse auf die Lagerfelder übertragbar sein. Schliesslich müssen die Ergebnisse der EUU in die Erstellung der nuklearen Bau- und Betriebsgesuche berücksichtigt werden können.

In der Phase "Weiterführung EUU" (s. Kap. 5.4.2) ist vorgesehen, zur Erbringung der Sicherheitsnachweise für die Lagerkammern die sicherheitsrelevanten Eigenschaften des Wirtgesteins bezüglich des mechanischen Systemverhaltens, der Selbstabdichtung, des thermischen Impakts, der Gastransportkapazität sowie des Diffusions- und Retentionsverhaltens vertieft zu untersuchen. Zur Gewinnung von belastbaren Messreihen sind von Laufzeiten dieser Experimente von bis zu 5 Jahren auszugehen.

Weiter wird die Erstellung von Lagerstollen und -kavernen demonstriert, sowie die Funktionstüchtigkeit der sicherheitsrelevanten Technologien zur Einlagerung inklusive Einbringung des Verfüllmaterials, das Entfernen des Verfüllmaterials und der Rückholung aufgezeigt, sofern die für das nukleare Baubewilligungsgesuch erforderlichen Nachweise nicht in überträgigen Anlagen erbracht werden können. Schliesslich wird auch die Versiegelung in den Demonstrationsbauwerken erprobt und deren Funktionsfähigkeit nachgewiesen. Die Vorgaben an die Unterlagen für die nuklearen Bau- und Betriebsbewilligungsgesuche (Anhang 4 KEV) sehen eine Hierarchisierung der Unterlagen vor (Hierarchiestufen H1 – H4). Durch die Differenzierung zwischen den Stufen H1 und H2 nach KEV steht ausreichend Zeit zur Durchführung der EUU zur Verfügung. Die Experimente können parallel ablaufen und Experimente, die eine mehrjährige Laufzeit zum Erbringen des Sicherheitsnachweises benötigen, werden bereits in der Phase "Bau und Beginn EUU" gestartet (s. Kap. 5.4.2). Die Überführung der BEUU in die Testbereiche beinhaltet im Wesentlichen einen Änderungsantrag weg von der Durchführung von erdwissenschaftlichen Untersuchungen und hin zur Umnutzung und Betrieb der Testbereiche als Bestandteil einer kern-technischen Anlage.

A.8.7 Auflage 6.1 zur Langzeitstabilität von abgebrannten Brennelementen

Im Rahmen der Bundesratsaufgabe 6.1 wird die Nagra aufgefordert, im EP21 die Ergebnisse der Forschungsprojekte hinsichtlich Brennelementalterung und Trockenlagerung aufzuzeigen.

Bei den abgebrannten BE soll durch geeignete Rahmenbedingungen sichergestellt werden (vgl. dazu die Vorgaben in der ENSI-Richtlinie G05; ENSI 2008), dass die Hüllrohre während der Zwischenlagerung nicht beschädigt werden. Es kann indessen a priori nicht vollständig ausgeschlossen werden, dass durch eine Schädigung einzelner Hüllrohre eine Freisetzung von Radioaktivität aus dem Brennstoff oder allenfalls von Bestandteilen der Strukturmaterialien (sogenannter "Debris") in der Umladezelle der Brennelementverpackungsanlage erfolgt. In der Brennelementverpackungsanlage (vgl. Kap. 3.2) können auch Brennelemente mit beschädigten Hüllrohren gehandhabt werden. Für die Langzeitsicherheit sind intakte Hüllrohre keine Voraussetzung; ihre Barrierenwirkung wurde in den bisherigen Langzeitsicherheitsanalysen nicht berücksichtigt (Kap. 3.1.2). Das Verhalten von Brennelementen während der Langzeittrockenlagerung ist Gegenstand eigener Untersuchungen, verschiedener internationaler Programme und Studien (z.B. SPAR IV der IAEA; IAEA 2012) sowie behördlicher Arbeitsgruppen (z.B. West European Nuclear Regulators Association, WENRA).

Von den schweizerischen Abfallproduzenten wurde eine Studie erstellt (Axpo 2015), die sich mit dem internationalen Stand der Technik und laufenden Forschungsprogrammen zur Brennelement-Integrität nach Langzeitlagerung und Transport beschäftigt. Die wichtigsten Folgerungen sind, dass die Integrität während der Trockenlagerung für den weitaus grössten Teil der Hüllrohre gewährleistet ist, da z.B. wegen der Inertatmosphäre keine signifikanten Korrosionsprozesse erwartet werden und Sekundärschäden durch Hydrid-Reorientierung ohne Primärschäden ausgeschlossen werden können. Selbst wenn einzelne Hüllrohre beschädigt wären, sollte dies die Integrität und die Handhabbarkeit des gesamten Brennelements nicht in Frage stellen.

Unabhängig von dieser Studie hat die Nagra ein eigenes experimentelles Programm initiiert, an welchem auch internationale Experten (EU, Deutschland, USA) beteiligt sind (Nagra 2021e). In diesem experimentellen Programm werden reale (hoch-) abgebrannte Brennstäbe auf ihre Integrität unter verschiedenen Belastungen geprüft. Im Programm der Nagra wird zudem untersucht, wie allfällige, bei Beschädigungen des Brennstoffs entstandene Bruchstücke (Debris) aus einem Transport- und Lagerbehälter (TLB) entfernt werden können. Für die Dekontamination der entladenen TLBs sowie deren Freigabe und Wiederverwertung (z.T. nur bei Teilkomponenten) nach entsprechender Abklinglagerung existieren international bereits Technologien und stufengerechte technische Konzepte liegen vor.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass gemäss aktuellem Kenntnisstand davon ausgegangen werden kann, dass keine signifikanten Schäden an Brennelementen durch Alterung und Trockenlagerung zu erwarten sind und in jedem Fall eine sichere Handhabbarkeit und Entsorgung der Abfälle gewährleistet werden kann.

A.8.8 Umgang mit MIF-Abfällen nach dem Ende der Einlagerung (Empfehlung der KNS zum EP21)

Empfehlung: Die KNS stellt fest, dass noch offen ist, wie mit den Abfällen aus Medizin, Industrie und Forschung (MIF) verfahren werden soll, die nach Ende der Einlagerung von radioaktiven Abfällen in das Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA-Lager) – nach heutiger Planung ab 2065 – anfallen werden. Da gemäss Vorgabe des KEG der Bund für die Entsorgung der MIF-Abfälle verantwortlich ist, empfiehlt die KNS den zuständigen Stellen beim Bund, zeitnah entsprechende Festlegungen zu treffen, insbesondere auch, um bestehenden Regelungsbedarf zu identifizieren und allfällige Regelungslücken schliessen zu können.

Nach dem Ende der Einlagerungsphase des geologischen Tiefenlagers werden weiterhin SMA aus den Bereichen Medizin, Industrie und Forschung (MIF) anfallen. Die Verantwortung für deren Entsorgung liegt beim Bund. Daher hat die Arbeitsgruppe des Bundes für die nukleare Entsorgung (Agneb) in Anlehnung an die Empfehlung 1 der KNS (KNS 2018) zum Entsorgungsprogramm 2016 in einem Bericht (Agneb 2019) Optionen für mögliche Entsorgungspfade für die Zeit nach dem Ende der Einlagerungsphase in das geologische Tiefenlager aufgezeigt. Über einen Zeitraum von 90 Jahren (2065 – 2155) rechnet der Bericht mit einem endlagergerecht verpackten Abfallvolumen von ca. 4'000 m³, was ca. 5 % der Menge aller bis Ende 2064 (s. Anhang A.2.1) erwarteten SMA entspricht. Es ist davon auszugehen, dass diese Abfälle im Vergleich zu den heute bestehenden MIF-Abfällen eine beschränkte Radiotoxizität mit einer kürzeren Halbwertszeit haben.

Die Optionen umfassen unter anderem die Einlagerung der Abfälle im geplanten geologischen Tiefenlager am Ende der Beobachtungsphase, welches anschliessend definitiv verschlossen wird, die Einlagerung in geologischen Schichten nahe der Oberfläche oder die Ablagerung an der Oberfläche. Denkbar ist auch eine internationale Lösung. Zum Teil würden diese Optionen eine Gesetzesanpassung bedingen.

Aus Sicht der Agneb sollen die kommenden Generationen entscheiden, wie sie die Abfälle nach 2065 entsorgen wollen. Jedoch sind heute Voraussetzungen zu schaffen, damit die möglichen Optionen offenbleiben und Wahlmöglichkeiten bestehen. Dies gilt insbesondere für die allfällige Entsorgung der nach dem Ende der Einlagerungsphase entstehenden MIF-Abfälle am Ende der nachfolgenden Beobachtungsphase und vor dem definitiven Verschluss des geologischen Tiefenlagers. Der Entscheid, dies umzusetzen, ist erst in ca. 50 bis 100 Jahren zu fällen.

Damit die Umsetzung dieser Option möglich bleibt, sind bereits im Rahmenbewilligungsverfahren entsprechende Platzreserven zu berücksichtigen. Auch bei den nachfolgenden Bewilligungen sind Entscheide so zu treffen, dass die Flexibilität für die Umsetzung der Option offenbleibt. Sollte der Bund entscheiden, die Option umzusetzen, müsste er die Finanzierung allfälliger zusätzlicher Massnahmen sicherstellen.

Die Option ist befristet. Daher müssen zukünftig bei Entscheidungen die Vor- und Nachteile dieser Variante gegenüber anderen Entsorgungswegen vertieft geprüft werden.

Die heute anfallenden MIF-Abfälle sind wie die übrigen radioaktiven Abfälle gemäss geltendem Recht zu entsorgen.

A.8.9 Befund und Erwägung des Bundesrats hinsichtlich der Verantwortung der Betreibergesellschaften der Kernkraftwerke sowie deren Aktionärinnen und Aktionäre bei der Standortsuche und der Abfallentsorgung

Im Rahmen der behördlichen Überprüfung des EP16 (Nagra 2016b) beurteilte das BFE (BFE 2018a) das Informationskonzept der Nagra als angemessen, den Anforderungen entsprechend und begrüsst es, dass die Nagra in den kommenden Jahren einen Schwerpunkt bei der Öffentlichkeitsarbeit in den Standortregionen legt.

Als verbesserungswürdig wurde, wie bereits beim EP08, hingegen die Kommunikation der Eigentümer der Kernanlagen beurteilt. In ihrem Gutachten zum EP16 (BFE 2018a) kritisierte das BFE, dass die Betreibergesellschaften der Kernkraftwerke und deren Aktionärinnen und Aktionäre in der öffentlichen Wahrnehmung kaum als Abfallverursachende wahrgenommen werden und ist nach wie vor der Meinung, dass die Offenlegung der politischen Verantwortung für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle von grosser Bedeutung ist. Nur so könne die Nagra in der Öffentlichkeit als technisch-wissenschaftliches Kompetenzzentrum wahrgenommen werden. Aufgrund der Wichtigkeit des Anliegens blieb die Forderung des BFE auch im Hinblick auf das EP21 bestehen, dass die Kernkraftwerkbetreiber und deren Aktionärinnen und Aktionäre ihre Rolle als politisch Verantwortliche wahrnehmen und diese in ihrer Kommunikation verstärkt zum Ausdruck bringen.

Da der Bundesrat eine entsprechende Auflage nicht verfügen kann, hat der Bundesrat befunden und erwogen und darauf verzichtet, die Forderung des BFE in seiner Verfügung als Auflage vom 21. November 2018 zum EP16 (Bundesrat 2018) aufzunehmen. Er hat jedoch auf die Verantwortung der Kernkraftwerkbetreiber und Kantone bei der Standortsuche und der Abfallentsorgung hingewiesen und fordert, dass sie ihre Rolle pragmatisch und verhältnismässig wahrnehmen.

Zur Darlegung, wie die Entsorgungspflichtigen auf den Befund und die Erwägung des Bundesrats für das EP21 eingetreten sind, werden im Folgenden die Zuständigkeiten der Betreiber der Kernkraftwerke im Bereich Stilllegung und Entsorgung aufgezeigt. Anschliessend wird – darauf basierend – die Kommunikation der Kernkraftwerkbetreiber dargelegt.

Zuständigkeiten der Betreibergesellschaften der Kernkraftwerke im Bereich Stilllegung und Entsorgung

Die Aufgabengebiete bzw. Zuständigkeiten der Kernkraftwerkbetreiber im Bereich der Stilllegung und Entsorgung sind wie folgt:

- In fachtechnischer Hinsicht haben die Entsorgungspflichtigen, d.h. die KKW-Betreiber und der Bund (verantwortlich für die MIF-Abfälle), der Nagra die Aufgabe delegiert, im Rahmen des Standortwahlverfahrens die wissenschaftlich-technischen Grundlagen zur Standortwahl zu erarbeiten sowie die notwendigen Schritte zur Realisierung des geologischen Tiefenlagers gemäss der Kernenergiegesetzgebung (KEG 2003) in die Wege zu leiten.
- Im Zwiilag (Gemeinde Würenlingen) sowie im ZWIBEZ auf dem Areal des KKW Beznau werden bestehende schwach-, mittel- und hochradioaktive Abfälle von den Betreibern sicher zwischengelagert.
- Die Betreiber erarbeiten – unter der Aufsicht des Bundes – alle fünf Jahre eine Kostenstudie, welche die voraussichtlichen Kosten für die Stilllegung und Entsorgung der radioaktiven Abfälle dokumentiert. Die Kostenstudien werden vom ENSI und von unabhängigen Experten geprüft.
- Die bereits während des Kraftwerkbetriebs entstehenden Entsorgungskosten werden von den Betreibern laufend bezahlt. Diese Kosten umfassen u.a. Aufwendungen für die Zwischenlagerung, Transporte, Transport- und Zwischenlagerbehälter und die Vorbereitung der radioaktiven Abfälle für die spätere Einlagerung in das geologische Tiefenlager sowie die laufenden Kosten der Nagra. Zusätzlich bezahlen die Betreiber während der Betriebszeit in zwei vom Bund überwachte Fonds ein. Diese Beiträge decken zusammen mit der Rendite auf den Fondsvermögen die Gesamtkosten für die Stilllegung und Entsorgung. So stellen die Betreiber sicher, dass die nötigen Gelder für den nach der Ausserbetriebnahme anfallenden Aufwand für Stilllegung und Entsorgung vorhanden sind.
- In der Schweiz besteht ein weltweit einzigartiges Inventarverzeichnis für radioaktive Materialien. Darin werden alle bereits vorhandenen und in Zukunft noch anfallenden radioaktiven Abfälle der Schweiz modellhaft erfasst, quantifiziert und umfassend charakterisiert. Auf dieser Grundlage werden fundierte Daten für Langzeitsicherheitsanalysen und die Projektierung des geologischen Tiefenlagers bereitgestellt. Die KKW-Betreiber arbeiten diesbezüglich eng mit der Nagra zusammen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Kernkraftwerkbetreiber ihre Pflichten gemäss Kernenergiegesetz (KEG 2003) für die Stilllegung der Anlagen und die Entsorgung der radioaktiven Abfälle, die aus dem Betrieb, der Stilllegung und dem Rückbau der Kernkraftwerke in der Schweiz entstehen, wahrnehmen; dies sowohl in fachtechnischer als auch in finanzieller Hinsicht. Demgegenüber haben die KKW-Betreiber keine politische Verantwortung, da sie keine politischen Entscheide fällen.

Kommunikation der Kernkraftwerkbetreiber

Für die Kommunikation zum Entsorgungsprogramm und dem Sachplanverfahren geologische Tiefenlager sind primär die Nagra und das BFE zuständig. Die KKW-Betreiber kommunizieren grundsätzlich nicht zu den einzelnen Schritten im Sachplanverfahren, den Ergebnissen der Untersuchungen sowie Berichten der Nagra. Die Nagra soll ihre wissenschaftlich-technischen Arbeiten unabhängig durchführen können und als zentrale Stimme zu den einzelnen Schritten kommunizieren. Falls im Ausnahmefall dennoch eine Kommunikation der Kernkraftwerkbetreiber gewünscht ist, so erfolgt diese in enger Absprache mit der Nagra.

Die Kernkraftwerkbetreiber bzw. deren Branchenverband swissnuclear kommunizieren aktiv zu den vorgenannten Themenbereichen, die in ihre Zuständigkeit fallen:

- Die KKW-Betreiber sind für die Kommunikation zur Finanzierung der Stilllegung und der Entsorgung verantwortlich. Sie informieren aktiv über die alle fünf Jahre erscheinenden Kostenstudien. Ziel der Kommunikation ist es, die Öffentlichkeit und die Medien darüber zu informieren, dass und wie die KKW-Betreiber ihrer finanziellen Verantwortung nachkommen.
 - Die Kommunikation erfolgt über eine aktive Medienarbeit und die Publikation von Beiträgen auf der Website von swissnuclear. Interessierte haben die Möglichkeit, den e-Newsletter von swissnuclear zu abonnieren, der oft auch diesbezügliche Beiträge beinhaltet.
- swissnuclear kommuniziert überdies über www.swissnuclear.ch sowie www.kernenergie.ch zu Fragen von Ausbildung und Nachwuchs im Kernenergiebereich, einem Themenbereich, der auch den Kompetenzerhalt für die Stilllegung und die Entsorgung erfasst. swissnuclear verfasst und veröffentlicht zudem regelmässig diesbezügliche Studien.
- Im Bildungsbereich erstellt swissnuclear Beiträge in Lehrmitteln. So werden u.a. kostenlose (und stark nachgefragte) Schullektionen zur Kernenergie und zum Betrieb der Kernkraftwerke zur Verfügung gestellt. Zudem steht mit dem Nuklearforum eine Informations- und Wissensplattform zur Verfügung.
- In den Besucherzentren der KKW und des Zwiilag stehen Exponate zur Stilllegung und Entsorgung, die zumeist in enger Zusammenarbeit mit der Nagra erstellt und aktualisiert werden. Sie stellen allgemeine Hintergrundinformationen zu Entsorgungsfragen, zum geologischen Tiefenlager und zum Standortwahlverfahren zur Verfügung. Ebenso informieren die KKW-Betreiber auf ihren Websites, d.h. auf www.swissnuclear.ch und insbesondere auf www.kernenergie.ch.

A.8.10 Zwischenlagerung der Rückbauabfälle des CERN und des Protonenbeschleunigers HIPA (PSI)

Auflagenantrag des ENSI (Bundesrat 2018): Im Rahmen des nächsten Entsorgungsprogramms sind von den zuständigen Bundesstellen ausreichende Kapazitäten für die Zwischenlagerung der CERN-Abfälle (Abfälle aus der europäischen Organisation für Kernforschung) auszuweisen.

Dieser Auflagenantrag des ENSI betrifft verschiedene Bundesstellen. Die Planung der Zwischenlager und Abklinglager der CERN-Abfälle ist noch nicht abgeschlossen. Die zuständigen Bundesstellen sind in der Arbeitsgruppe des Bundes für die nukleare Entsorgung (Agneb) vertreten, daher soll dieser Auflagenantrag zur Weiterverfolgung als Pendezenz der Agneb zugeordnet werden.

Stand der Planung bezüglich der Rückbauabfälle des CERN (Information seitens der zuständigen Bundesstellen zuhanden EP21)

Das Paul Scherrer Institut (PSI) betreibt die Sammelstelle des Bundes. Diese umfasst Anlagen zur Konditionierung von radioaktiven MIF-Abfällen und das Bundeszwischenlager (BZL-1). Ab 2023 wird noch das zweite Zwischenlagergebäude (BZL-2) dazukommen. Eine Limitierung der Inventare in den Zwischenlagern kann einerseits volumen- andererseits aktivitätsbedingt sein. Das BZL-2 wurde so geplant, dass es zusammen mit BZL-1 alle bekannten und zukünftig erwarteten Abfälle aus dem MIF-Bereich, die zwischengelagert werden müssen, volumenmässig aufnehmen kann.

Nicht zwischengelagert werden dort die Rückbauabfälle des Protonenbeschleunigers HIPA des PSI, da diese zeitlich so anfallen, dass sie direkt ins geologische Tiefenlager (gTL) verbracht werden können.

Volumenmässig ebenfalls keinen Platz im BZL-1 und BZL-2 finden Rückbauabfälle des CERN (im Gegensatz zu den CERN-Betriebsabfällen). Dieser Umstand ist der Tatsache geschuldet, dass die Planung und Bewilligung des BZL-2 schon abgeschlossen war, bevor die CERN-Rückbaumengen untersucht wurden. Zurzeit finden Diskussionen zur Planung der Entsorgung der CERN-Rückbauabfälle in der Schweiz statt, so dass der Bau eines zusätzlichen Zwischenlagers verfrüht wäre. Eine komplette Stilllegung des Beschleunigerkomplexes (LHC, Vor-Beschleuniger und Experimente) steht aber aktuell nicht in der Planung des CERN.

Für mögliche CERN-Rückbauabfälle untersucht eine Arbeitsgruppe BAG – CERN – PSI die Option einer Vorkonditionierung beim CERN und einer Zwischenlagerung in einem neu zu erstellenden Zwischenlager (CERN-ZL) auf dem PSI-Areal. Die Positionierung auf dem PSI-Areal würde in der Nähe von BZL-1 / BZL-2 erfolgen und für die Realisierung wäre mit einem Zeitraum von 10 bis 15 Jahren zu rechnen. Offen ist aber noch die Frage der bundesinternen Vorfinanzierung für den eventuellen Bau dieser Zusatzinfrastruktur.

A.9 Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

Agneb	Arbeitsgruppe des Bundes für die nukleare Entsorgung
AG I&K	Arbeitsgruppe 'Information und Kommunikation' des BFE
AltIV	Altlasten-Verordnung
AMG	Abfallmengengerüst
ARE	Bundesamt für Raumplanung
ASR	Auswahl der Standorte für die Vorbereitung der Rahmenbewilligungsgesuche
ATA	Alphatoxische Abfälle
A _u	Gewässerschutzbereich
AUZ	Auflockerungszone
BA	Betriebsabfälle der KKW
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BAG	Bundesamt für Gesundheit
BE	Abgebrannte Brennelemente
BEUU	Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag
BEVA	Verpackungsanlage für BE und HAA(WA) («Brennelementverpackungsanlage»)
BFE	Bundesamt für Energie
BG	Bundesgericht
BVG	Bundesverwaltungsgericht
BZL	Bundeszwischenlager
CERN	Europäische Organisation für Kernforschung (European Organization for Nuclear Research)
ChemRRV	Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung
EBS	Engineered Barrier System
EDRAM	International Association for Environmentally Safe Disposal of Radioactive Materials
EKAS	Eidgenössische Koordinationskommission für Arbeitssicherheit
EKRA	Expertengruppe Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle
ELB	Endlagerbehälter
ELFB	Endlagerfähigkeitsbescheinigung
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
EP08	Entsorgungsprogramm 2008
EP16	Entsorgungsprogramm 2016
EP21	Entsorgungsprogramm 2021

(Fortsetzung)

ERDO	Europäische Arbeitsgruppe, die seit 2009 untersucht, ob und unter welchen Bedingungen eine Organisation gegründet werden könnte, welche ein oder mehrere multinationale geologische Tiefenlager in Europa implementieren würde
ESDRED	Engineering Studies and Demonstration of Repository Designs (EU-Projekt)
EURAD	European Joint Programme on Radioactive Waste Management (EU-Forschungsprogramm)
EUU	Erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag
FLG	Felslabor Grimsel
FMT	Felslabor Mont Terri
gTL	Geologisches Tiefenlager
GNSS	Global Navigation Satellite System (satellitengestütztes Präzisionsmessnetz von swisstopo)
GNW	Genossenschaft für nukleare Entsorgung Wellenberg
GSchG	Gewässerschutzgesetz
GSchV	Gewässerschutzverordnung
HAA	Hochaktive Abfälle
HEB	Haupterschliessungsbereich
HE-E	Heater Experiment
HSK	Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (ab 1.1.2009: ENSI)
IAEA	International Atomic Energy Agency
IDKM	Information, Data and Knowledge Management (Projekt der OECD/NEA)
ISRAM	Informationssystem für Radioaktive Materialien
JO	Standortregion Jura Ost
KEG	Kernenergiegesetz
KEV	Kernenergieverordnung
KKB	Kernkraftwerk Beznau
KKG	Kernkraftwerk Gösgen
KKG-H	Nasslager des KKG für abgebrannte Brennelemente
KKL	Kernkraftwerk Leibstadt
KKM	Kernkraftwerk Mühleberg
KKW	Kernkraftwerk
KNS	Eidgenössische Kommission für nukleare Sicherheit, seit 2007 (ersetzt Kommission für die Sicherheit von Kernanlagen KSA)
KSA	Kommission für die Sicherheit von Kernanlagen (bis 2007)

(Fortsetzung)

KS11	Kostenstudie 2011
KS16	Kostenstudie 2016
KS21	Kostenstudie 2021
LRV	Luftreinhalte-Verordnung
LSV	Lärmschutz-Verordnung
MAA	Mittelaktive Abfälle
MCHF	Millionen Schweizer Franken
MIF	Abfälle aus der Medizin, Industrie und Forschung
MIRAM	Modellhaftes Inventar für radioaktive Materialien
Modern2020	Development & Demonstration of monitoring strategies and technologies for geological disposal (EU-Projekt)
MODATS	Monitoring Equipment and Data Treatment for Safe Repository Operation and Staged Closure (EU-Forschungsprogramm)
MOX	Mischoxid
nBaB	nukleare Baubewilligung
nBaBG	nukleares Baubewilligungsgesuch
nBeB	nukleare Betriebsbewilligung
nBeBG	nukleares Betriebsbewilligungsgesuch
NEA	Nuclear Energy Agency der OECD
NHG	Bundesgesetz über den Natur- und Heimatschutz
NHV	Verordnung über den Natur- und Heimatschutz
NL	Standortregion Nördlich Lägern
NZA	Nebenzugangsanlage
NZA-B	NZA für den Betriebszugang
NZA-BL	NZA für den Betriebs- und Lüftungszugang
NZA-L	NZA für den Lüftungszugang
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development (Organisation für wirtschaftliche Entwicklung und Zusammenarbeit)
OFA	Oberflächenanlage
OFI	Oberflächeninfrastruktur
ONKALO	Finnisches Felslabor am Standort Olkiluoto
OPA	Opalinuston
p.a.	per annum (jährlich)
PB21	Preisbasis 2021 (1. Januar 2021)
PSI	Paul Scherrer Institut
Q1	1. Quartal

(Fortsetzung)

RA	Austauschbare Kernkomponenten der KKW (Reaktorabfälle)
RBG	Rahmenbewilligungsgesuch
RCM	Requirements and Configuration Management (Anforderungs- und Konfigurationsmanagement)
RD&D	Research, Development and Demonstration (Forschung, Entwicklung und Demonstration)
RK&M	Preservation of Records, Knowledge and Memory Across Generations (Projekt der OECD/NEA)
R&R	Reversibility and Retrievability (Projekt der OECD/NEA)
RPG	Raumplanungsgesetz
RPV	Raumplanungsverordnung
SA	Stilllegungsabfälle
SAPIERR	Support Action: Pilot Initiative for European Regional Repositories (EU-Projekt)
SEFV	Verordnung über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen (Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung)
SFR	Endlager für kurzlebige radioaktive Abfälle in Forsmark, Schweden
SGT	Sachplan geologische Tiefenlager
SMA	Schwach- und mittelaktive Abfälle
SMA-VA	Verpackungsanlage für SMA/ATA
SPAR IV	Spent Fuel Performance Assessment and Research (IAEA)
SEFV	Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung
STENFO	Stilllegungsfonds für Kernanlagen und Entsorgungsfonds für Kernkraftwerke
StFV	Störfallverordnung
StSG	Strahlenschutzgesetz
StSV	Strahlenschutzverordnung
SUVA	Schweizerische Unfallversicherungsanstalt
TFS	Technisches Forum 'Sicherheit' des ENSI
THM-C	Thermische, hydraulische, felsmechanische und chemische (Wechselwirkungen)
TLB	Transport- und Lagerbehälter
UO ₂	Uranoxid
USG	Umweltschutzgesetz
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
UVPV	Umweltverträglichkeitsprüfungsverordnung
ÜUG	Überwachung der Umwelt und des geologischen Umfelds

(Fortsetzung)

VA	Verpackungsanlage
VBBö	Verordnung über Belastungen des Bodens
VIG	Vernehmlassungsverfahren
VLJ	Seit 1992 in Betrieb stehendes Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle in Olkiluoto, Finnland
VVEA	Abfallverordnung
VwVG	Verwaltungsverfahrensgesetz
WA	Abfälle aus der Wiederaufarbeitung
WA-ATA	Alphatoxische Abfälle aus der Wiederaufarbeitung
WA-HAA	Hochaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung
WA-MA	Mittelaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung
WENRA	West European Nuclear Regulators Association
WG	Wirtgestein
ZNO	Standortregion Zürich Nordost
ZWIBEZ	Zwischenlager des KKB
ZWIBEZ-H	Zwischenlager des KKB für hochaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente
ZWIBEZ-SAA	Zwischenlager des KKB für schwachaktive Abfälle
Zwilag	Zwischenlager Würenlingen AG
Zwilag-H	"Halle H" für hochaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente im Zwilag
Zwilag-MAA	"Lager M" für (schwach- und) mittelaktive Abfälle im Zwilag
Zwilag-SAA	"Halle S" für schwachaktive Abfälle im Zwilag