

GUTACHTEN

Gutachten zum
Entsorgungsprogramm 2021
der Entsorgungspflichtigen

Mai 2023



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI
Inspection fédérale de la sécurité nucléaire IFSN
Ispettorato federale della sicurezza nucleare IFSN
Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate ENSI



ENSI 33/915

Gutachten zum Entsorgungsprogramm 2021 der Entsorgungspflichtigen

Brugg, Mai 2023

Inhaltsverzeichnis

1	Vorgaben und Zweck des Entsorgungsprogramms	3
2	Herkunft, Art und Menge der radioaktiven Abfälle	9
3	Die geologischen Tiefenlager	13
4	Zuteilung der Abfälle zu den geologischen Tiefenlagern	37
5	Realisierungsplan der geologischen Tiefenlager	39
6	Zwischenlagerung	52
7	RD&D-Plan	56
8	Zusammenfassende Bewertung	59
	Anhang 1 Glossar und Abkürzungsverzeichnis	69
	Anhang 2 Referenzen	74

1 Vorgaben und Zweck des Entsorgungsprogramms

Einleitung

Die Kernenergiegesetzgebung (Kernenergiegesetz vom 21. März 2003, KEG; SR 732.1 und Kernenergieverordnung vom 10. Dezember 2014, KEV; SR 732.11) verlangt von den Entsorgungspflichtigen die periodische Einreichung eines Entsorgungsprogramms. Gemäss Auflage 4.1 aus der Verfügung des Bundesrats zum Entsorgungsprogramm 2016 vom 9. November 2018 (Schweizerischer Bundesrat 2018b) hat die Nagra zusammen mit dem Entsorgungsprogramm (EP) einen Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrations-Plan (RD&D-Plan) einzureichen. Nach Artikel 52 KEV sind das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) und das Bundesamt für Energie (BFE) für die Überprüfung des Entsorgungsprogramms zuständig.

Das Entsorgungsprogramm ist vom Bundesrat zu genehmigen. Er muss der Bundesversammlung regelmässig Bericht über das Programm erstatten. Gemäss KEV ist das Entsorgungsprogramm alle fünf Jahre an veränderte Verhältnisse anzupassen. Damit können neue Erkenntnisse und die aus den behördlichen Stellungnahmen stammenden Empfehlungen und Kommentare berücksichtigt werden.

Gesetzliche Grundlagen

Die Artikel 32 KEG und Artikel 52 KEV enthalten die Vorgaben für die Erstellung des Entsorgungsprogramms:

- Art. 32 Abs. 1 KEG: 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. 52 Abs. 1 KEV: Die Entsorgungspflichtigen haben im Entsorgungsprogramm Angaben zu machen über:
 - 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 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.
- Art. 52 Abs. 2 KEV: Die Entsorgungspflichtigen haben das Programm alle fünf

Jahre anzupassen.

- Art. 52 Abs. 3 KEV: Zuständig für die Überprüfung und für die Überwachung der Einhaltung des Programms sind das ENSI und das BFE.
- Art. 31 Abs. 1 KEG: Wer eine Kernanlage betreibt oder stilllegt, ist verpflichtet, die aus der Anlage stammenden radioaktiven Abfälle auf eigene Kosten sicher zu entsorgen. Zur Entsorgungspflicht gehören auch die notwendigen Vorbereitungsarbeiten wie Forschung und erdwissenschaftliche Untersuchungen sowie die rechtzeitige Bereitstellung eines geologischen Tiefenlagers.

Die Bestimmungen f) und g) aus Art. 52 Abs. 1 KEV werden durch das BFE geprüft. Das BFE überprüft auch die Bestimmung d) «Realisierungsplan für die Erstellung der geologischen Tiefenlager» hinsichtlich der Vorgaben des Sachplans geologische Tiefenlager. Der im Entsorgungsprogramm dokumentierte Realisierungsplan soll auch als Basis für die periodische Aktualisierung der Kostenstudie zur Entsorgung und für die Festlegung der entsprechenden Rückstellungen gemäss Art. 4 der Verordnung vom 7. Dezember 2007 über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen (Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung, SEFV 2007; SR 732.17) dienen.

Wesentliche Unterschiede zwischen dem EP16 und dem EP21

Das ENSI begrüsst, dass die Nagra in den einzelnen Kapiteln des Entsorgungsprogramms 2021 (NTB 21-01) einleitend die wesentlichen Unterschiede zwischen den Entsorgungsprogrammen 2016 und 2021 darlegt. Hinsichtlich der Herkunft, Art und Menge der radioaktiven Abfälle (NTB 21-01, Kap. 2) ergaben sich Änderungen bei den auf Basis des Szenarios „60 Jahre Betrieb KKW“ anfallenden Abfallmengen. Diese resultieren aus einer verbesserten Abschätzung hinsichtlich der anfallenden Abfallmengen bzw. Volumina sowie aus modifizierten Annahmen zu den Verpackungen.

Der Schwerpunkt von Kapitel 3 (NTB 21-01) liegt auf der Darlegung verschiedener Aspekte von Entsorgungs- und Lagerkonzepten. Im EP21 wurde die Übersicht hinsichtlich der Entsorgungskonzepte für hochaktive Abfälle (HAA) wie auch schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA) in verschiedenen Ländern aktualisiert. Hinsichtlich der Aussagen zur Geologie wird im EP21 auf den gegenüber dem EP16 erhöhten Kenntnisstand eingegangen; dieser spiegelt sich in der Darlegung des Fortschritts im Sachplan Geologische Tiefenlager (SGT) seit 2016 und der im Hinblick auf Etappe 3 SGT durchgeführten Felduntersuchungen (u. a. 3D-Seismik, Tiefbohrungen, Quartäruntersuchungen) wider. Gestützt auf die Auswertung der 3D-Seismik und auf die Festlegung des Haupterschliessungsbereichs (HEB) wurden standortspezifische Vorschläge für die Platzierung der Oberflächeninfrastruktur eingebracht.

Die im EP16 dargelegten Auslegungskonzepte für das HAA-, SMA- und Kombilager sind weiterhin gültig. Wesentlicher Unterschied zum EP16 ist die Fokussierung auf das Wirtgestein Opalinuston gemäss Bundesratsentscheid zu Etappe 2 SGT vom November 2018. Die Feldarbeiten bestätigen gemäss Nagra, dass in allen drei Standortgebieten (Jura Ost, Zürich Nordost und Nördlich Lägern) genügend Platz für die Erstellung eines Kombilagers vorhanden ist. Da die Auslegung eines Kombilagers aus Sicht der Nagra vorteilhaft und betreffend Betrieb und Bau abdeckend für ein SMA- und HAA-Lager ist, wird im EP21 die Auslegung anhand eines Kombilagers erläutert. Kapitel 4 behandelt die Zuteilung der Abfälle zu den Lagerteilen im Kombilager. Aufgrund der Einengung auf das Wirtgestein Opalinuston ist aus Sicht der

Nagra die Einlagerung von langlebigen mittelaktiven Abfällen ins HAA-Lager sicherheitstechnisch nicht mehr notwendig.

In Kapitel 5 (NTB 21-01) wird der Realisierungsplan für die geologischen Tiefenlager dargelegt. Der grundsätzliche Ablauf bei der Realisierung der geologischen Tiefenlager und der hierzu notwendigen Arbeiten hat sich gegenüber dem EP16 wenig geändert. Der geplante Zeitpunkt für die Einlagerung von SMA bzw. HAA bleibt aufgrund einer verstärkten Parallelisierung von Prozessen nach wie vor 2050 bzw. 2060. Dies wird auch durch die Hierarchie der Unterlagen gemäss den Vorgaben für die nuklearen Bau- und Betriebsbewilligungsgesuche (Anhang 4 KEV) ermöglicht.

Das EP21 enthält neu einen Realisierungsplan für das Kombilager, dessen Inbetriebnahme 2050 vorgesehen ist. Der aktuelle Realisierungsplan im EP21 geht weiterhin davon aus, dass basierend auf den Ergebnissen der Felduntersuchungen sowie weiteren Erkenntnissen die Einreichung des Rahmenbewilligungsgesuchs der Nagra 2024 erfolgen kann. Die wichtigsten Anpassungen im Realisierungsplan beschränken sich auf die Vorbereitung und Abwicklung der erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag (EUU). Die Ausarbeitung des Gesuchs für die EUU erfolgt erst nach dem Bundesratsentscheid, wenn allfällige Auflagen und Randbedingungen abschliessend geklärt sind. Die Realisierungspläne für das EP21 beinhalten neu eine Phase „Vorbereitung EUU“. In dieser Phase erfolgt nach Rechtskraft der Rahmenbewilligung die Bauvorbereitung für die EUU.

In Kapitel 6 (NTB 21-01) wird die Zwischenlagerung der radioaktiven Abfälle beschrieben. Die grundsätzlichen Annahmen zur Ausgestaltung der Zwischenlagerung haben sich für die SMA und die alphanuklearen Abfälle (ATA) seit 2016 nicht verändert. Aufgrund der Anpassung des Realisierungsplans und den dem EP21 zugrunde liegenden Szenarien wurden die Angaben zur Dauer und Kapazität der Zwischenlagerung geprüft und wo notwendig angepasst. Dazu wird im EP21, analog zum EP16, die Zwischenlagerlogistik (Einbringung von Gebinden in Lagercontainer, Randbedingungen für die Stapelhöhen, maximale Bodenbelastungen) berücksichtigt.

Angaben der Nagra

Zur Erfüllung der gesetzlichen Vorgaben in Art. 32 KEG und Art. 52 KEV hat die Nagra im Dezember 2021 die Berichte NTB 21-01 (Entsorgungsprogramm) und NTB 21-02 (RD&D-Plan) veröffentlicht. Gegenstand und Ziel des Entsorgungsprogramms ist es, aus Sicht der Entsorgungspflichtigen eine gesamtheitliche übergeordnete Darstellung der für die Entsorgung aller radioaktiven Abfälle der Schweiz notwendigen Arbeiten zu geben (strategisches Arbeitsprogramm) und die konzeptuellen Vorgaben und Annahmen für die Auslegung der Anlagen und deren schrittweise Realisierung aufzuzeigen.

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 notwendig ist;
- was in welchem Zeitraum im Rahmen welcher gesetzlichen bzw. behördlichen Verfahren entschieden bzw. realisiert 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 die erforderliche Flexibilität zur Berücksichtigung möglicher zukünftiger Entwicklungen erhalten werden kann;

- 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 die Nagra im Entsorgungsprogramm auf die umfangreiche Dokumentation ihrer Arbeiten im Rahmen des Entsorgungsnachweises und des laufenden Sachplanverfahrens. Das Entsorgungsprogramm nimmt keine Festlegungen oder Entscheide vorweg, die in einem anderen Zusammenhang zu fällen sind. Dies betrifft insbesondere:

- die Evaluation möglicher geologischer Standortgebiete und Standorte im Rahmen des Sachplanverfahrens gemäss BFE (2011);
- die Festlegung der Auslegung der geologischen Tiefenlager für SMA bzw. HAA 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 bzw. HAA durch die verschiedenen nuklearen Bewilligungen gemäss KEG (2003);
- die Definition der in den verschiedenen Phasen notwendigen Feldarbeiten durch die Gesuche bzw. die Bewilligungen für erdwissenschaftliche Untersuchungen gemäss KEG (2003).

Das Entsorgungsprogramm wurde von der Nagra im Auftrag der Entsorgungspflichtigen erstellt; es richtet sich primär an die Behörden, ist aber so abgefasst, dass es auch der breiteren Öffentlichkeit zur Information dient.

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

- die geforderten Angaben für das Entsorgungsprogramm sind in KEV Art. 52 Abs. 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.

Umfang der Beurteilung des ENSI

Das ENSI hat geprüft, ob im Entsorgungsprogramm der Entsorgungspflichtigen die in den rechtlichen Vorgaben aufgeführten Inhalte dargelegt und stufengerecht umgesetzt worden sind.

Zusätzlich beurteilt das ENSI das EP21, wie bereits im Jahr 2016, unter Berücksichtigung des nun zeitgleich eingereichten, aktualisierten RD&D-Plans, hinsichtlich folgender Fragen:

- Sind das Vorgehen und der Zeitplan für die Realisierung der Tiefenlager plausibel?
- Geben das Entsorgungsprogramm und der RD&D-Plan Aufschluss über die zurzeit wichtigen offenen Fragen für die Realisierung von geologischen Tiefenlagern?
- Geben das Entsorgungsprogramm und der RD&D-Plan Aufschluss darüber, wie die Beantwortung dieser offenen Fragen angegangen wird und welche Fragen voraussichtlich bis zur Einreichung des nächsten Entsorgungsprogramms vertieft untersucht werden?
- Ist genügend Zeit vorhanden, um die offenen Fragen stufengerecht mittels Forschung vertieft klären zu können?
- Sind Lagerkonzept und Realisierungsplan konform mit den rechtlichen Vorgaben und vollständig, ist das Lagerkonzept technisch machbar und wird der Stand von Wissenschaft und Technik berücksichtigt?
- Wurden Empfehlungen und Auflagen berücksichtigt und stufengerecht umgesetzt?

Die Struktur des EP21 folgt den Vorgaben der KEV. Das vorliegende Gutachten folgt dieser Gliederung und beinhaltet ein zusätzliches Kapitel, nämlich Kapitel 7, welches die Resultate aus der Beurteilung des RD&D-Plans zusammenfassend darlegt.

Das ENSI hat einzelne Aspekte, die im Entsorgungsprogramm behandelt werden, bereits im Rahmen seines Gutachtens zur Etappe 2 SGT des Sachplanverfahrens (ENSI 33/540) beurteilt. Die folgenden Ausführungen stützen sich auf die entsprechenden Beurteilungen ab bzw. verweisen auf diese.

Zu einzelnen Teilaspekten, insbesondere bei der Überprüfung des RD&D-Plans der Nagra, hat das ENSI Einschätzungen der Expertengruppe geologische Tiefenlagerung (EGT) berücksichtigt.

Standortvorschlag der Nagra

Die Nagra hat am 12. September 2022 angekündigt, für welchen Standort sie ein Rahmenbewilligungsgesuch für ein Tiefenlager einreichen wird. Der Standortvorschlag als auch der vorgeschlagene Typ des Tiefenlagers wird vom ENSI im vorliegenden Gutachten nicht beurteilt. Dies wird im Rahmen der Gutachtenerstellung zu den Rahmenbewilligungsgesuchen erfolgen. Die mit dem Standortvorschlag der Nagra verbundenen offenen Fragen und deren Auswirkungen auf zukünftige RD&D-Programme der Nagra werden entsprechend im Gutachten zum Entsorgungsprogramm 2026 vom ENSI vertieft behandelt, sobald zu den Rahmenbewilligungsgesuchen ENSI-Gutachten vorliegen.

Auflagenanträge und Hinweise

Im Laufe der Beurteilung des Entsorgungsprogramms 2021 der Nagra hat das ENSI Auflagenanträge für den Bundesrat in diesem Gutachten aufgeführt. Zusätzlich hat das ENSI Hinweise aus der Beurteilung des Entsorgungsprogramms 2021 und des RD&D-Plans formuliert (ENSI 33/939). Bei den Hinweisen handelt es sich um Aspekte, deren Berücksichtigung für kommende Aktualisierungen des Entsorgungsprogramms und des RD&D-Plans von Relevanz ist und die im Rahmen der Aufsichtstätigkeit des ENSI behandelt werden.

2 Herkunft, Art und Menge der radioaktiven Abfälle

Angaben der Nagra

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 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), al-phatoxische Abfälle (ATA) 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 Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) und 60 Jahren für die Kernkraftwerke Beznau (KKB), Gösgen (KKG) und Leibstadt (KKL) aus. Bei den radioaktiven Abfällen und Materialien aus Medizin, Industrie und Forschung 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, 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.

Der zeitliche Anfall der radioaktiven Abfälle ist in Abbildung 1 als Summenkurve dargestellt, gegliedert nach Herkunft der Abfälle. Die Angaben beziehen sich auf das Volumen der konditionierten, in Endlagerbehältern verpackten Abfälle. 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. Da dieses Volumen von der Verpackung abhängt, können die Angaben zu diesem Volumen variieren, je nachdem, wo sich die Anlagen des geologischen Tiefenlagers befinden. 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.

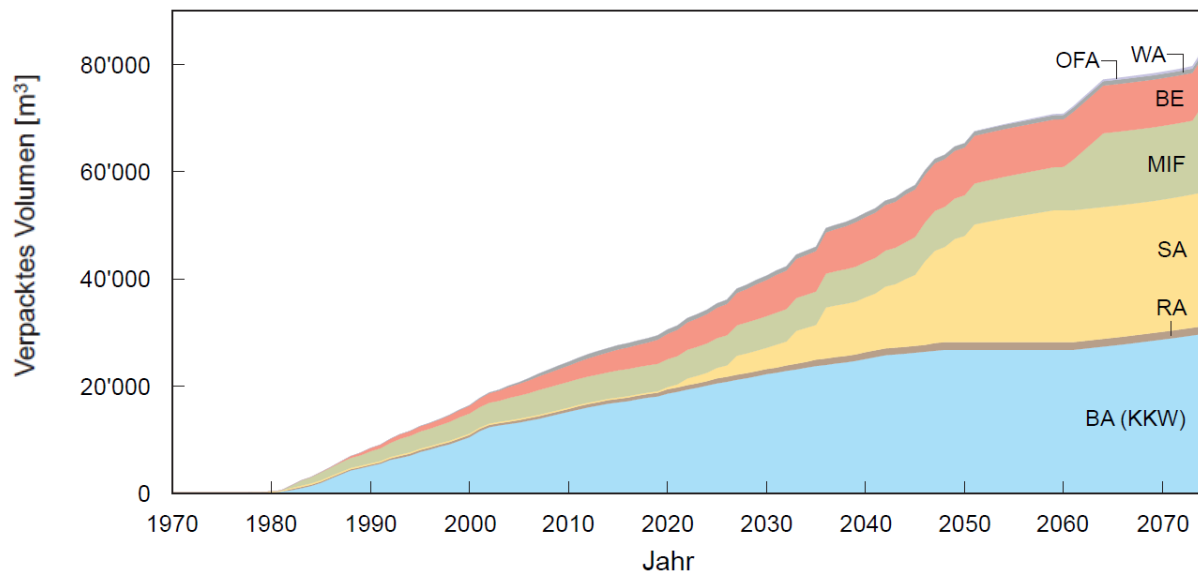


Abbildung 1: Zeitlicher Anfall der radioaktiven Abfälle in der Schweiz in Kubikmeter (m^3) für die bestehenden Kernkraftwerke für 60 Jahre Betrieb (KKB, KKG, KKL) sowie 47 Jahre für KKM und aus dem MIF-Bereich (inkl. Abfälle aus dem CERN) für eine Sammelperiode bis Ende 2064 (Szenario «60 Jahre Betrieb KKW») (NTB 21-01, Fig. 2.1-1 mit Achsenbeschriftung gemäss NAB 22-040). Die Abfälle sind gegliedert nach ihrer Herkunft (BA (KKW): Betriebsabfälle der KKW (inklusive der am ZWILAG produzierten Abfälle) und aus der Entsorgung der TLB; RA: Reaktorabfälle der KKW; SA: Stilllegungsabfälle der KKW und des ZWILAG inklusive Lucens-Abfälle; MIF: Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung inklusive CERN-Abfälle; BE: Abgebrannte Brennelemente; WA: Abfälle aus der Wiederaufarbeitung; OFA: Abfälle aus dem Betrieb und der Stilllegung der Oberflächenanlagen).

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 Abfällen. 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.

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. Die Abfalleigenschaften werden von der Nagra zusätzlich zur Endlagerfähigkeitsbeurteilung auch im Rahmen der für die verschiedenen Entscheidungspunkte erstellten Sicherheitsanalysen evaluiert.

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. 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. 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.

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.

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 Rahmenbewilligungsgesuch 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.

Beurteilung des ENSI

Das ENSI beurteilt die Annahme im Szenario «60 Jahre Betrieb KKW» als plausibel und nachvollziehbar. Die unterstellten Laufzeiten von 47 Jahren für das Kernkraftwerk (KKW) Mühleberg bzw. 60 Jahren für die übrigen schweizerischen KKW und die Sammelperiode für MIF-Abfälle bis Ende 2064 entsprechen gemäss aktueller Beurteilung einer plausiblen Annahme bzw. einer in Bezug auf das erwartete Abfallmengengerüst realistischen Abschätzung. Da es keine Laufzeitbeschränkung für die schweizerischen KKW gibt und das Kernkraftwerk Beznau (KKB) die Laufzeit von 60 Jahren im Jahr 2029 (Block 1), resp. 2031 (Block 2) erreicht haben wird, empfiehlt das ENSI, in künftigen Aktualisierungen des Entsorgungsprogramms die erwarteten Abfallmengen für Szenarien mit längeren unterstellten Laufzeiten der KKW auszuweisen und die Auswirkungen auf die Entsorgung zu bewerten.

Hinweis: In künftigen Aktualisierungen des Entsorgungsprogramms sollen die erwarteten Abfallmengen für Szenarien mit längeren unterstellten Laufzeiten der KKW ausgewiesen und die Auswirkungen auf die Entsorgung bewertet werden.

Die Angaben der Nagra zum Abfallinventar wurden vom ENSI letztmals im Rahmen der Stellungnahme zum Entsorgungsprogramm 2016 (ENSI 33/592) geprüft. Aufgrund von neuen Abschätzungen hinsichtlich der anfallenden Abfallmengen und von neuen Annahmen hinsichtlich der Verpackung in Endlagerbehälter resultieren im EP21 leichte Unterschiede in Bezug auf das Abfallinventar. Das ENSI hat das Abfallmengengerüst im EP21 geprüft und kann die von der Nagra erwähnten wesentlichen Gründe für prozentual relevante Abweichungen bei den Abfallmengen nachvollziehen. Damit erfüllt die Nagra im vorliegenden EP21 die Auflage 6.3 aus der Verfügung des Bundesrats zum EP16 (Schweizerischer Bundesrat 2018b) bezüglich der Abfallmengen. Die Auflage bleibt jedoch aufgrund ihres periodischen Charakters auch für künftige Aktualisierungen des Entsorgungsprogramms bestehen.

Das ENSI nimmt zur Kenntnis, dass im EP21, insbesondere bei den Betriebsabfällen und den Reaktorabfällen trotz Zunahme des konditionierten Abfallvolumens ein deutlich kleineres

verpacktes Volumen gegenüber dem EP16 erreicht wird, indem eine endlagergerechte Verpackung von 36 200-l-Gebinden in Endlagerbehältern mit einem Volumen von 26 m³ unterstellt wird. Das Verpackungskonzept des EP16 sah eine Verpackung von je 12 200-l-Gebinden in einem 10,3 m³ grossen Endlagerbehälter vor. Das ENSI hat die Verwendung der kleineren Endlagerbehälter in seinem sicherheitstechnischen Gutachten zum Vorschlag der in Etappe 3 SGT weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete (ENSI 33/540) aus betrieblichen Gründen begrüsst. Die Auswirkung der Behälterwahl auf andere sicherheitsrelevante Aspekte (z. B. Handhabbarkeit) wird im EP21 nicht diskutiert. Das ENSI stimmt der Nagra zu, dass bei der definitiven Wahl der Endlagerbehälter zu berücksichtigen ist, wo sich die Anlagen des geologischen Tiefenlagers befinden. Daher erwartet das ENSI, dass das Verpackungskonzept für das Rahmenbewilligungsgesuch sowie für künftige Aktualisierungen des Entsorgungsprogramms abhängig vom bis dahin erfolgten Standortvorschlag der Nagra an die daraus resultierenden Lagerkonzepte angepasst wird. Zudem ist das Transportkonzept für die radioaktiven Abfälle von der Verpackungsanlage in das Tiefenlager zu erläutern. Das ENSI fordert zudem eine Berücksichtigung aller sicherheitsrelevanten Aspekte bei der Wahl der Endlagerbehälter.

Auflagenantrag A.1: *Für das Rahmenbewilligungsgesuch sowie für künftige Aktualisierungen des Entsorgungsprogramms ist das Verpackungskonzept für die in Endlagerbehältern verpackten Abfälle sowie das verpackte Abfallvolumen an die aus dem Standortvorschlag der Nagra resultierenden Lagerkonzepte anzupassen. Zudem ist das Transportkonzept für die radioaktiven Abfälle von der Verpackungsanlage in das Tiefenlager zu erläutern. Bei der Wahl der Endlagerbehälter sind weitere sicherheitsrelevante Aspekte, wie die Handhabbarkeit, zu berücksichtigen.*

Die Art und Menge der Stilllegungsabfälle des PSI und derjenigen CERN-Abfälle, deren Entsorgung in der Schweiz vorgesehen ist, wurden im EP21 aufdatiert und konkretisiert. Damit wurde eine Empfehlung des ENSI aus der Stellungnahme zum EP16 umgesetzt. Auch zukünftig sind vor jeder Revision des Entsorgungsprogramms die Anlagenplanungen der nennenswerten MIF-Abfallproduzenten dahingehend abzufragen, ob sich Änderungen in den Abfallprognosen ergeben haben.

Hinweis: *Das ENSI empfiehlt, weiterhin vor jeder Revision des Entsorgungsprogramms die Anlagenplanungen der nennenswerten MIF-Abfallproduzenten dahingehend abzufragen, ob sich Änderungen in den Abfallprognosen ergeben haben.*

Das ENSI begrüsst, dass die Entsorgungspflichtigen die Bestrebungen zur Reduktion von Bitumen bei der Konditionierung gewisser Betriebsabfälle weiterführen und verfolgt diese im Rahmen seiner Aufsichtstätigkeit.

Die Nagra kommt gemäss ihren Ausführungen zum erwarteten Druckaufbau der Gase im geologischen Tiefenlager zum Schluss, dass zum jetzigen Zeitpunkt keine Hinweise vorliegen, welche eine weitere Reduktion der Gasbildung, zum Beispiel durch Einschmelzen der metallischen Abfälle, als notwendig erachten liessen. Damit erfüllt die Nagra im vorliegenden EP21 die Auflage 5.1 aus der Verfügung des Bundesrats zum Entsorgungsprogramm 2016 (Schweizerischer Bundesrat 2018b) bezüglich der Notwendigkeit einer Reduktion potenzieller Gasbildung. Da die Nagra erst im Rahmenbewilligungsgesuch den Nachweis erbringen wird, dass der erwartete Druckaufbau der Gase keine negativen Auswirkungen auf die günstigen Eigenschaften des Opalinustons hat, bleibt die Auflage bis zur nächsten Aktualisierung des Entsorgungsprogramms bestehen. Das ENSI wird den Nachweis der Nagra im Zuge seiner Beurteilung des Rahmenbewilligungsgesuchs prüfen.

3 Die geologischen Tiefenlager

3.1 Einleitung und Übersicht

3.1.1 Entsorgungskonzepte: Eine Übersicht

Angaben der Nagra

Die Entsorgung der schweizerischen radioaktiven Abfälle soll grundsätzlich in der Schweiz erfolgen (Art. 30 KEG), die Einlagerung ausländischer Abfälle in einem geologischen Tiefenlager in der Schweiz wird ausgeschlossen. In der Schweiz ist für alle Arten von radioaktiven Abfällen eine geologische Tiefenlagerung vorgesehen (Art. 3 bzw. 31 KEG). Ein geologisches Tiefenlager besteht aus einem Hauptlager zur Aufnahme der radioaktiven Abfälle, aus einem Pilotlager und aus Testbereichen (Art. 64 KEG). Besonders im Entsorgungskonzept der Schweiz ist die geforderte Gewährleistung der Rückholung der Abfälle bis zum Lagerverschluss (Art. 37 KEG) und das Pilotlager, in welchem die im geologischen Tiefenlager stattfindenden sicherheitsrelevanten Prozesse bis zum Verschluss überwacht werden (Art. 66 KEG).

An einem sicheren Lagerstandort muss eine geeignete geologische Situation mit genügender Langzeitstabilität, ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich (EG) mit geeigneten Barriereneigenschaften und eine geeignete hydrogeologische Situation vorhanden sein (Art. 11 KEG). Die OFI des geologischen Tiefenlagers (Oberflächenanlagen, Nebenzugangsanlagen etc.) müssen so platziert werden, dass mögliche Raumnutzungs- und Umweltkonflikte vermieden werden.

Das schweizerische Entsorgungskonzept geht von zwei Lagertypen aus, eines für SMA und eines für HAA. Mit der im Sachplanverfahren (BFE 2011) erfolgten Fokussierung auf das Wirtgestein Opalinuston für alle Abfallarten besteht die Möglichkeit, alle Abfälle in einem sogenannten Kombilager zu entsorgen. Bei einem Kombilager können viele Elemente der OFI und ein Teil der untertägigen Bauten gemeinsam genutzt werden. Daraus ergeben sich beim Kombilager im Vergleich zu zwei Einzellagern auch sicherheitstechnische Vorteile, insbesondere dass die Risiken des Baus (Häufigkeit von Ereignissen) reduziert werden können und beim Bau des HAA-Lagerteils von den Erfahrungen des zuvor erfolgten Baus des SMA-Lagerteils am gleichen Standort profitiert werden kann. Die Realisierung eines Kombilagers führt im Vergleich zu zwei Einzellagern zu ca. 15 % tieferen zukünftigen Kosten. Ein Kombilager wird dann realisiert, falls der neben dem HAA-Lagerteil verbleibende Platz für den SMA-Lagerteil sicherheitstechnisch gleichwertig ist im Vergleich mit einem andernorts platzierten SMA-Lager und falls sich die HAA- und SMA-Lagerteile des Kombilagers langfristig nicht negativ beeinflussen. Die bisherigen Ergebnisse der Feldarbeiten bestätigen, dass in allen drei Standortgebieten grundsätzlich genügend Platz für die Anordnung eines Kombilagers vorhanden ist.

Für die Realisierung eines geologischen Tiefenlagers wurden Lagerkonzepte entwickelt, welche die notwendige Sicherheit gewährleisten (vgl. z. B. Entsorgungsnachweise für SMA: NGB 85-08; HAA: NTB 02-02, NTB 02-03). Im Rahmen der Standortsuche im Sachplanverfahren wurden die bestehenden Kenntnisse vertieft. Weiter wird auch die breite Erfahrung im Ausland, insbesondere aus Frankreich mit einem ähnlichen Wirtgestein für sein geplantes HAA-Lager genutzt. Bezüglich der Realisierung von geologischen Tiefenlagern sind die Erfahrungen aus Schweden und Finnland sowie aus dem konventionellen Untertagebau relevant.

Beurteilung des ENSI

Das von der Nagra vorgestellte Entsorgungskonzept entspricht den Vorgaben der Kernenergiegesetzgebung, den Anforderungen des ENSI an geologische Tiefenlager (ENSI-G03/d) und der internationalen Erfahrung. Gemäss dem heutigen Entsorgungskonzept sind zwei Lager vorgesehen, ein Lager für HAA und ein Lager für SMA. Erfüllt ein Standort sowohl die Anforderungen für ein HAA- als auch für ein SMA-Lager, kann das Auswahlverfahren zu einem gemeinsamen Standort (Kombilager) für alle radioaktiven Abfälle führen.

Ob in den aktuell noch im Sachplanverfahren verbleibenden Standortgebieten die Platzverhältnisse im geologischen Untergrund für ein Kombilager ausreichen und ob ein solches Kombilager gegenüber zwei Einzellagern sicherheitstechnische Vorteile bietet (wie von der Nagra ausgeführt), wird vom ENSI im Rahmen von Etappe 3 des Sachplanverfahrens beurteilt werden, sobald die Unterlagen für ein oder mehrere Rahmenbewilligungsgesuche vorliegen.

3.1.2 Lagerkonzepte und zugehörige Sicherheitskonzepte

Angaben der Nagra

Lagerkonzepte für geologische Tiefenlager beschreiben, wie die Lager in ihren Grundzügen gestaltet werden. Sie definieren sich durch die ihnen zugrundeliegenden Sicherheitskonzepte. Das Sicherheitskonzept für die Nachverschlussphase eines geologischen Tiefenlagers in der Schweiz gewährleistet den dauernden Schutz von Mensch und Umwelt durch gestaffelte, passive Barrieren (Art. 3 KEG). Das Mehrfachbarrierenkonzept (Abbildung 2) gilt für HAA und SMA und sieht sowohl technische Barrieren (Abfallmatrix, Endlagerbehälter, Verfüllung und Versiegelung) sowie eine natürliche Barriere (EG) vor.

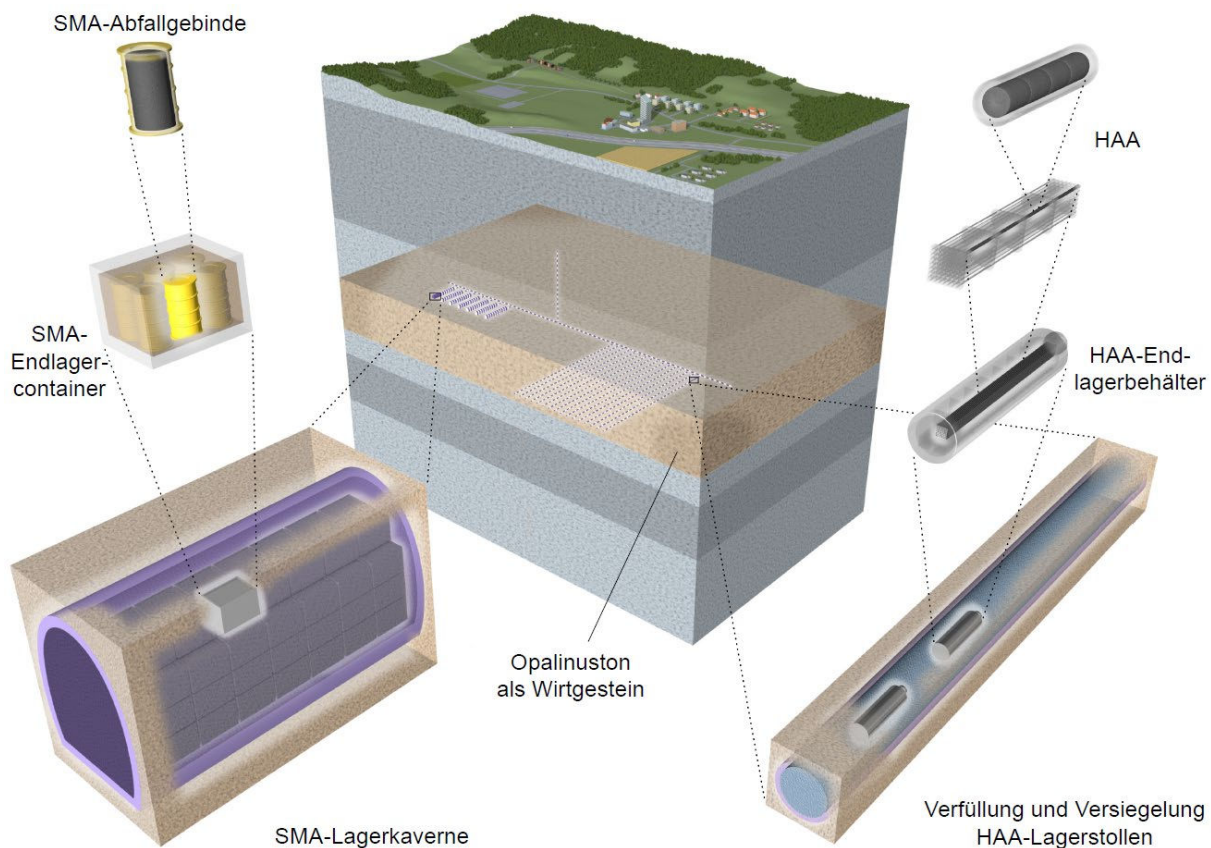


Abbildung 2: Umsetzung des Sicherheitskonzepts für die Nachverschlussphase durch Mehrfachbarrierensysteme gemäss den aktuell durch die Nagra verfolgten Lagerkonzepten für HAA (rechts, dargestellt für die Abfälle der abgebrannten Brennelemente) und SMA (links dargestellt am Beispiel eines typischen 200-I-Fasses) (NTB 21-01, Fig. 3.1-1).

Das Mehrfachbarrierensystem stellt sicher, dass ein geologisches Tiefenlager die notwendigen Sicherheitsfunktionen erfüllt. Die Sicherheitsfunktionen umfassen

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

Die aktuell verfolgten Lagerkonzepte für HAA und SMA (sowie für ein Kombilager) sehen Lagerfelder vor, deren Lagerstollen (HAA) resp. Lagerkavernen (SMA) mittig in der Opalinustonschicht platziert sind. Die Geologie (natürliche Barriere) isoliert die radioaktiven Abfälle von Mensch und Umwelt und gewährleistet zusammen mit den technischen Barrieren den Einschluss und die Rückhaltung der Radionuklide. Die technischen Barrieren sind mit den natürlichen Barrieren sowie untereinander kompatibel und auf die jeweiligen Abfallsorten optimiert.

Die Radionuklide der HAA-Abfälle sind in einer stabilen und sehr schwer löslichen Abfall- oder Glasmatrix fixiert. Die Hüllrohre der Brennelemente (BE) und die Edelstahl-Kokillen der Abfälle aus der Wiederaufarbeitung bilden eine weitere technische Barriere, dahinter folgt der

Endlagerbehälter aus Stahl (Abbildung 2), der die Radionuklide für mehrere tausend Jahre einschliesst und mittig in den HAA-Lagerstollen des geologischen Tiefenlagers eingelagert wird. Verfüllung und Versiegelung der HAA-Lagerstollen schützen den Endlagerbehälter langfristig vor Korrosion und vor Schädigung durch die überliegenden Gesteinsschichten. Beim Verfüllmaterial für die HAA-Lagerstollen werden neben reinem Bentonit auch Bentonitzuschlagstoff-Mischungen (z. B. Bentonit/Sand-Gemische) oder andere Tonmaterialien in Betracht gezogen; ferner könnte das im Entsorgungsnachweis (NTB 02-02) vorgeschlagene Granulat auch durch Bentonitblöcke ersetzt werden. Zudem stellt auch eine zementbasierte Verfüllung eine Variante dar. Auf Zwischensiegel innerhalb der HAA-Lagerstollen kann verzichtet werden, weil durch die Bentonitverfüllung eine hydraulische Trennung bzw. Kompartimentierung zwischen den Endlagerbehältern bereits gegeben ist (NTB 21-01, S. 47). Für die Versiegelung der Lagerfeldzugänge zu den HAA-Lagerstollen existieren verschiedene Varianten.

Die SMA und ATA werden in Abfallgebinden konditioniert und in SMA-Endlagerbehälter verpackt und verfüllt (Abbildung 2). Die SMA-Lagerkavernen werden mit einer zementbasierten Hinterfüllung verfüllt, wodurch alkaline Bedingungen geschaffen werden ($\text{pH} > 10.5$), die zu tiefen Metallkorrosionsraten führen, die mikrobielle Aktivität reduzieren, die Radionuklidrückhaltung begünstigen, den Gasdruckaufbau und allfällige negative Auswirkungen auf das Wirtsgestein begrenzen. Für die Versiegelung der Lagerfeldzugänge zu den SMA-Lagerkavernen existieren verschiedene Varianten.

Beurteilung des ENSI

Das von der Nagra im Lagerkonzept vorgesehene Mehrfachbarrierensystem ist geeignet, um den gesetzlich geforderten dauernden Schutz von Mensch und Umwelt vor der ionisierenden Strahlung radioaktiver Abfälle zu gewährleisten. Der Grundsatz, dass sowohl die technischen als auch die geologischen Barrieren in signifikantem Masse zur Barrierenwirkung des Gesamtsystems beitragen, entspricht den behördlichen Vorgaben (z. B. Art. 11 KEV, ENSI-G03/d). Für beide Lagertypen (und ebenso für ein Kombilager) werden zur Gewährleistung der Langzeitsicherheit Systeme gestaffelter, passiv wirkender technischer und natürlicher Barrieren eingesetzt (Abbildung 2).

Für mehrere dieser Barrieren weist die Nagra darauf hin, dass auch materialtechnische Varianten zu den von der Nagra favorisierten Barrieren vorliegen. Das ENSI und seine Experten (ENSI 33/530; EGT 2016) hatten im Rahmen der Detailprüfung in Etappe 2 SGT die Aussagen der Nagra zum Lagerkonzept geprüft und waren zum Schluss gekommen, dass die Ausführungen der Nagra nachvollziehbar und mehrheitlich plausibel sind (vgl. ENSI 33/540, Kap. 2.2). Bezüglich HAA-Endlagerbehälter diskutiert die Nagra in NAB 16-42 ein breites Spektrum möglicher Behältermaterialien. Das ENSI hatte die Darstellung der technischen Möglichkeiten und der von der Nagra favorisierten Varianten als korrekt bewertet. Ein definitiver Entscheid, welche Varianten umgesetzt werden, muss erst während der weiteren Schritte der Lagerrealisierung und im Kontext anderer Aspekte (z. B. der Gasbildung) gefällt werden.

Das ENSI ist mit den Aussagen der Nagra in NTB 21-01 bezüglich Lagerauslegung einverstanden. Mit fortschreitender Konkretisierung der Projekte für die geologischen Tiefenlager im Rahmen des Sachplanverfahrens und der Bewilligungsverfahren nach KEG ist die Lagerauslegung stufengerecht an die lokalen Bedingungen anzupassen, wobei die Eignung der verschiedenen Varianten geprüft und die für die Sicherheit optimierte Variante zu wählen ist (ENSI-G03/d, Kap. 4.4). Die abschliessende Auslegung der Lager (detaillierte Anordnung der untertägigen Lagerkammern, detaillierte Ausgestaltung der technischen Barrieren) ist mit den

Befunden der EUU, den Resultaten aus dem künftigen RD&D-Plan und den Erfahrungen aus ausländischen Programmen abzustimmen.

Für das Verfüllen der HAA-Lagerstollen werden seitens Nagra eine Reihe möglicher Materialien in Betracht gezogen (Bentonitgranulat, Bentonitblöcke, Bentonit/Sand-Gemische, andere Tonmaterialien, zementbasierte Verfüllung). Bis jetzt hat das ENSI nur eine Verfüllung der HAA-Lagerstollen mit einer Kombination aus Bentonitblöcken und Bentonitgranulat geprüft (HSK 35/99, ENSI 33/540). Das ENSI begrüsst, dass die Nagra bzgl. Verfüllung eine grosse Bandbreite von Möglichkeiten weiterverfolgt, um die sicherheitstechnisch beste Lösung zu evaluieren. Es geht davon aus, dass die Nagra die entsprechenden Sicherheitsnachweise für die jeweiligen Bewilligungsgesuche mit geeigneten Experimenten belegt.

Das ENSI nimmt die Aussage der Nagra zur Kenntnis, dass auf Zwischensiegel innerhalb der HAA-Lagerstollen verzichtet werden kann. Im Rahmen des Rahmenbewilligungsverfahrens wird das ENSI die sicherheitstechnische Bedeutung des Radionuklidtransports entlang der Lagerstollen überprüfen.

Das ENSI stimmt der grundsätzlichen Vorgehensweise der Nagra zu, einen genügend grossen Handlungsspielraum für die Optimierung der Lagerauslegung bis zum nuklearen Baugesuch aufrecht zu erhalten.

3.1.3 Technologie für den Bau, Betrieb und Verschluss der Lager

Angaben der Nagra

Die heutigen Konzepte für den Bau, Betrieb und Verschluss der geologischen Tiefenlager basieren auf der heute vorhandenen Technologie. Auf dem Gebiet der Technologie allgemein (Robotik, Steuerungen etc.) werden voraussichtlich bis Baubeginn noch erhebliche Entwicklungen stattfinden und in die definitive Auslegung der Lagertechnologie einfließen. Detailliertere Informationen zu Entwicklungsprogrammen und zur Überprüfung heutiger Konzepte für den Bau, Betrieb und Verschluss in Zusammenhang mit der Machbarkeit und der Umsetzbarkeit können NTB 21-02 und NAB 21-12 entnommen werden. In ausländischen Programmen gemachte Erfahrungen sind zu berücksichtigen. Für die definitiv zu verwendende Technologie bis zum nuklearen Baugesuch und – je nach Thematik – auch für spätere Verfahrensschritte ist deshalb ein ausreichender Handlungsspielraum zur Berücksichtigung der Entwicklungen beizubehalten (siehe NTB 21-01, 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 (Schweizerischer Bundesrat 2018b, Auflage 5.4). In NTB 21-01, Anhang A.8.4, und NAB 21-12 legt die Nagra dar, wie der Betrieb des Tiefenlagers und die Realisierungsdauer der Verschlussphase durch unterschiedliche Verschlussvarianten beeinflusst werden.

Im NAB 21-12 werden das Verschlusskonzept eines geologischen Tiefenlagers im Opalinuston sowie die ersten konzeptionellen standortunabhängigen und modellhaften Auslegungen der Verschlussbauwerke beschrieben. Ferner werden in diesem Bericht die Auflage 5.4 des Bundesrats (NAB 21-12, Anhang A) behandelt und die Anforderungen an die bauliche Umsetzung und die dabei von der Nagra getroffenen Planungsannahmen zusammenfasst (NAB 21-12, Anhang B).

Beurteilung des ENSI

Das ENSI ist mit den Aussagen der Nagra einverstanden, dass die für den Bau, Betrieb und Verschluss der geologischen Tiefenlager erforderlichen Techniken und Technologien bis zum Baubeginn weiterentwickelt und diese Entwicklungen sowie die Erfahrungen aus den ausländischen Programmen von der Nagra berücksichtigt werden sollen.

Das ENSI stimmt der grundsätzlichen Vorgehensweise der Nagra zu, einen genügend grossen Handlungsspielraum für die Optimierung der Technologie für Bau, Betrieb und Verschluss der geologischen Tiefenlager aufrecht zu erhalten. Dadurch können zur kontinuierlichen Erhöhung der Sicherheit neue Informationen, zukünftige Erkenntnisse und technologische Entwicklungen berücksichtigt werden.

Technologie für den Bau der Lager

Die Nagra hat seit 2016 die Eignung verschiedener Bauverfahren für den Vortrieb und Ausbau der HAA-Lagerstollen weiter untersucht. Eine Schildvortriebsmaschine mit einem Ausbau aus vorfabrizierten Betonsegmenten (Tübbingausbau) wurde als aktuelles Konzept für den Bau der HAA-Lagerstollen gewählt. Die Kavernen des SMA-Lagers sollen mit konventionellen Vortriebsmethoden (Teilschnittmaschine oder Sprengvortrieb) ausgebrochen werden (NTB 21-02, Kap. 8.4.2).

Die vortriebsbedingte Auflockerung des Gebirges um einen Tunnelquerschnitt kann am besten durch einen möglichst frühen Einbau des Tunnelausbaus hinter der Ortsbrust minimiert werden. Der momentan von der Nagra für den Vortrieb der HAA-Lagerstollen geplante maschinelle Vortrieb mit einer Schildvortriebsmaschine ermöglicht einen solchen frühen Stollenausbau und stellt aus Sicht des ENSI eine erprobte, sichere und gebirgsschonende Vortriebsmethode dar.

Aus Sicht des ENSI sind für den Vortrieb der Kavernen im SMA-Lager sowie der weiteren sicherheitsrelevanten Untertagebauwerke der SMA- und HAA-Lager auf Lagerebene ebenfalls gebirgsschonende Vortriebsmethoden zu verwenden. Es ist zu erwarten, dass ein Sprengvortrieb im Vergleich zu einem Vortrieb mit einer Teilschnittmaschine grössere Schädigungen im Opalinuston verursachen und zur Entwicklung grösserer Auflockerungszonen im Opalinuston führen wird. Diesbezüglich sind die Anforderungen aus ENSI-G03/d, Kap. 8, zu beachten.

Das ENSI stellt fest, dass die langfristige Wechselwirkung zwischen den Hauptbestandteilen (Beton, Stahl, Ringspaltverfüllung) des neuen Ausbaus der HAA-Lagerstollen mit vorfabrizierten Fertigbetonelementen (Tübbingausbau) und dem Opalinuston nicht diskutiert wird. Aus Sicht des ENSI muss der Einfluss dieser Materialien auf die Langzeitsicherheit im Rahmen eines Rahmenbewilligungsgesuchs diskutiert werden und ggf. in weiteren Schritten der Lagerrealisierung optimiert werden. Gemäss ENSI 33/649 (Kap. 4.3.2) sind für das Rahmenbewilligungsgesuch auf Basis standortspezifischer Daten belastbare Stoffgesetze für den Opalinuston zu entwickeln, die eine angemessene Beurteilung des hydro-mechanischen Gebirgsverhaltens und des Systemverhaltens (Interaktion Gebirge-Ausbau) erlauben.

Hinweis: *Das Gebirgsverhalten und die Wechselwirkungen zwischen Ausbau und Gebirge (Systemverhalten) im Bereich sicherheitsrelevanter Untertagebauwerke und komplexer Abschnitte des Tiefenlagers, u. a. Kreuzungsbauwerke und Untertagebauwerke mit grosser Spannweite und komplexen Übergangsbereichen mit sich ändernden Querschnitten, sollen für das Rahmenbewilligungsgesuch vertieft untersucht und analysiert werden. Die daraus*

abgeleiteten Erkenntnisse und resultierenden möglichen Auswirkungen sollen in die Betrachtung der Langzeitsicherheit einfließen.

Die möglichen Auswirkungen durchfahrener Störungszonen im Opalinuston während der Bauarbeiten werden seitens Nagra weder in NTB 21-01 noch in NTB 21-02 behandelt.

Hinweis: *Es ist zu erwarten, dass im Opalinuston während der Vortriebsarbeiten auf Lager-ebene Störungszonen durchfahren werden. Experimentelle Daten über die hydromechanischen Eigenschaften solcher Störungszonen sollen bestimmt werden. Mögliche Auswirkungen auf den Bau der HAA-Lagerstollen und SMA-Lagerkavernen und auf die Langzeitsicherheit sollen untersucht werden. Daraus sollen praktische Kriterien für die Identifikation und Beurteilung von einlagerungsbestimmenden Störungszonen während der Vortriebsarbeiten festgelegt werden.*

Technologie für den Betrieb der Lager

Aus Sicht des ENSI ist die in NTB 21-02 dargestellte Planung der Arbeiten zur Entwicklung, Optimierung und Demonstration der Technologien für den Betrieb der Lager zielführend. Zu diesen zählen unter anderem Technologien für die Verpackung abgebrannter Brennelemente (NTB 21-02, Kap. 7.1 und Kap. 7.8), für die Einlagerung (NTB 21-02, Kap. 7.10), für die Verfüllung (NTB 21-02, Kap. 7.9) und für die mögliche Rückholung (NTB 21-02, Kap. 7.10). Die Planung der Nagra sieht Demonstrationsexperimente unter anderem zur Erprobung der sicherheitsrelevanten Techniken und zum Nachweis ihrer Funktionstüchtigkeit gemäss Art. 65 KEV vor.

Das ENSI wird im Rahmen der kommenden Bewilligungsschritte gemäss KEG stufengerecht prüfen, ob diese Technologien den sicherheitstechnischen Anforderungen an den Betrieb und die Langzeitentwicklung des geologischen Tiefenlagers genügen.

Technologie für den Verschluss der Lager

Mit dem Aufzeigen und Vergleichen möglicher Verschlussvarianten in NAB 21-12 hat die Nagra aus Sicht des ENSI die Auflage 5.4 des Bundesrates (Schweizerischer Bundesrat 2018b) umgesetzt. In diesem Bericht werden das Verschlusskonzept eines geologischen Tiefenlagers im Opalinuston sowie konzeptionelle, standortunabhängige und modellhafte Auslegungen der Verschlussbauwerke beschrieben. Die Nagra berücksichtigt dabei Varianten bezüglich der Bauart der Versiegelungsbauwerke und des zeitlichen Ablaufs der Verschlussmassnahmen. Die Varianten der Versiegelungsbauwerke unterscheiden sich in der konstruktiven Ausbildung der einzelnen Bauwerkselemente sowie im Umgang mit der bestehenden Ausbruchsisicherung der Untertagebauwerke und der ausbruchsnahen Auflockerungszone.

Mit den von der Nagra berücksichtigten Varianten werden die wichtigsten Aspekte abgedeckt und sowohl hinsichtlich der Bautechnik aber auch des zeitlichen Verlaufs ausreichend Optionen zur Optimierung im weiteren Verlauf des Verfahrens gegeben.

3.1.4 Überwachung und Rückholbarkeit als integraler Bestandteil der Tiefenlagerkonzepte

Angaben der Nagra

Im schweizerischen Programm sind die Überwachung und die Rückholbarkeit integraler Bestandteil der Tiefenlagerkonzepte. 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, abgestützt auf den bisherigen Erfahrungen (vgl. NTB 21-02, Kap. 8.7), eingereicht.

Zusammen mit dem Entsorgungsprogramm (NTB 21-01) hat die Nagra in Berichten erste standortunabhängige Konzepte zum Umweltmonitoring (NAB 20-28), zur untertägigen Überwachung während des Betriebs der EUU respektive der Testbereiche (NAB 21-14) und zur Überwachung des Pilotlagers (NAB 21-11) vorgelegt.

Mit dem NAB 20-28 werden die Vorarbeiten zu Nullmessungen aufgezeigt, diese sind die Grundlage für die Beantwortung von Bundesratsaufgabe 5.5 (NTB 21-01, Anhang A.8.5). Der Bericht zeigt auf, welche Parameter für die Überwachung der Umwelt und des geologischen Umfelds sowie für die Nullmessungen wichtig sind und wie diese erfasst werden. Diese sind Teil des integralen Überwachungskonzepts für das geologische Tiefenlager. Mit NAB 20-28, Fig. 5-1, legt die Nagra einen Vorschlag für die geplanten Überwachungsprogramme vor. Die zu messenden Prozesse und Parameter der Überwachungsprogramme sowie das Einsetzen der Nullmessungen und die Schnittstellen zum bau- und betriebsbegleitenden Monitoring werden ebenfalls im NAB 20-28 beschrieben. Gemäss aktueller Planung ergeben sich für die meisten Parameter Zeiten im Bereich von >5 Jahren für die Nullmessungen.

Das Konzept der Pilotlagerüberwachung (NAB 21-11) dient u. a. der Beantwortung von Bundesratsaufgabe 5.2 (Schweizerischer Bundesrat 2018b), indem es den Umfang und Inhalt der Messungen zur Überwachung eines Pilotlagers aufzeigt (NTB 21-01, Anhang A.8.2). Das Überwachungsprogramm des Pilotlagers wird schrittweise und stufengerecht mit den Realisierungsschritten eines geologischen Tiefenlagers entwickelt. Im NAB 21-11 wird ein erstes standortunabhängiges Konzept für die Pilotlagerüberwachung vorgelegt. Der Bericht zeigt die Methodik der Nagra hinsichtlich der Auswahl von Messparametern bei der Pilotlagerüberwachung auf. Ebenso werden die derzeit laufenden Arbeiten zum Management und zur Interpretierbarkeit von Messdaten dargestellt sowie die Anforderungen an die Übertragbarkeit von Pilotlagerdaten auf das Hauptlager erläutert (NTB 21-01, Anhang A.7, S. A-57). Ausserdem wird auf aktuell laufende Projekte wie MODATS verwiesen, in denen weitere Arbeiten zu diesen Themen erfolgen. Die detaillierte Ausgestaltung des Überwachungsprogramms für die Pilotlager unter Berücksichtigung des Stands der Technik erfolgt erst nach Abschluss der untertägigen Standorterkundungen, wenn Resultate aus den EUU vorliegen, die für die Überwachung der Pilotlager relevant sind. Gemäss NAB 21-11 plant die Nagra für das Rahmenbewilligungsgesuch eine Neuevaluation des Pilotlager- Monitoringsprogramms durchzuführen.

Die Möglichkeit, Abfälle aus dem Tiefenlager zurückzuholen, wurde im Rahmen des Projekts "Reversibility and Retrievability" der OECD/NEA gründlich erörtert (NEA 2011). Im Hinblick auf das Rahmenbewilligungsgesuch wird die Nagra Konzepte zur Rückholung auf Grundlage bestehender Technik erarbeiten, in denen sowohl generische als auch standortspezifische Aspekte der Rückholung dargelegt werden.

In Zusammenhang mit der Thematik 'Rückholung ohne grossen Aufwand' (ENSI-G03/d) wird bis zum nuklearen Baugesuch noch eine erhebliche Entwicklung der Technologie (z. B. in der Robotik und im Untertagbau) erwartet. Es ist davon auszugehen, dass diesbezüglich auch von Entwicklungen und Erfahrungen profitiert werden kann, die in ausländischen, weiter fortgeschrittenen Programmen gemacht werden. Der technologische Fortschritt wird bei der Auslegung des geologischen Tiefenlagers im Rahmen der nuklearen Bau- bzw. Betriebsbewilligung adäquat berücksichtigt werden (NTB 21-01, Anhang A.4.2).

Beurteilung des ENSI

Gemäss Art. 23, KEV haben die Entsorgungspflichtigen mit dem Rahmenbewilligungsgesuch ein Konzept für die Beobachtungsphase einzureichen. Die Forschungsaktivitäten der Nagra zur Überwachung eines geologischen Tiefenlagers werden vom ENSI grundsätzlich als zielführend beurteilt. Den vorliegenden Stand der Arbeiten zur Überwachung, d. h. standortunabhängige Konzepte zur Überwachung der Umwelt und des geologischen Umfelds (NAB 20-28), zur untertägigen Überwachung während des Betriebs der EUU respektive der Testbereiche (NAB 21-14) und des Pilotlagers (NAB 21-11), erachtet das ENSI grundsätzlich als stufengerecht.

Vorarbeiten der Nagra zu den Nullmessungen sind bereits erfolgt und die teilweise seit 2016 weiter ausgebauten Messnetze für die Langzeitbeobachtungen (GNSS-Permanentmessstationen, Seismometer, Langzeitbeobachtung in Tiefbohrungen) erachtet das ENSI als sinnvoll und zielführend. Die von der Nagra aufgezeigte Liste von Prozessen und zu messenden Parametern ist für das ENSI nachvollziehbar. Damit sieht das ENSI die Auflage 5.5 des Bundesrates (Schweizerischer Bundesrat 2018b) aus dem EP16 als erfüllt an. Mit dem zur Rahmenbewilligung einzureichenden integralen Überwachungskonzept (ggf. mehreren Konzepten) will die Nagra die nun vorliegenden Konzepte schrittweise und standortspezifisch präzisieren. Das ENSI wird das integrale Überwachungskonzept zusammen mit dem Rahmenbewilligungsgesuch überprüfen.

In NAB 21-28 legt die Nagra dar, wie die Überwachung der Umwelt und des geologischen Umfelds sowie die dazugehörigen Nullmessungen als Teil des integralen Überwachungskonzepts für das geologische Tiefenlager von ihr angedacht sind. Das Messprogramm sieht auch Nivellement-Messungen vor, die gemäss Fig. 5-1 ein Jahr vor dem Beginn des Baus der EUU erstmals durchgeführt werden sollen. In Tab. 4-9 wird jedoch ausgeführt, dass die erste Messkampagne zwei Jahre vor Baubeginn der Zugangsbauwerke zu den BEUU vorgesehen sind. Weiter wird in Tab. 4-9 ausgeführt, dass die Messkampagnen vor Baubeginn und während der Bautätigkeit in ein- bis vierjährigen Abständen durchgeführt werden sollen. Frühere Erfahrungen seitens swisstopo haben gezeigt, dass bei Nivellement-Messungen die Eignung der dazu gemessenen Fixpunkte teilweise erst nach mehreren Jahren definitiv feststellbar ist.

Hinweis: Das ENSI empfiehlt der Nagra, dass sie für die Nivellement-Nullmessungen mindestens einen Zeitraum von mehreren Jahren mit jährlichen Messkampagnen vorsieht, so dass vor Baubeginn aufgrund der mehrfachen Messungen geklärt ist, ob die dazu gewählten Fixpunkte tatsächlich langfristig geeignet sind.

Die Nagra hat den Umfang und Inhalt der Messungen zur Überwachung eines Pilotlagers für HAA bzw. SMA weiter konkretisiert und die aktuellen Erkenntnisse hinsichtlich des Aspekts der Interpretation der erfassten Messwerte dargelegt.

Bezüglich der Auswahl der Überwachungsparameter begrüsst das ENSI, dass sich die Nagra an dem im Rahmen des internationalen Forschungsprojekts MoDeRN 2020 entwickelten Workflow orientiert. Das ENSI erachtet diesen Ansatz grundsätzlich als zielführend. Allerdings erachtet das ENSI die Auswahl von nur zwei Überwachungsparametern Temperatur und Porenwasserdruck für die Überwachung des Pilotlagers im NAB 21-11 als zu gering. Die Argumentation dafür beruht überwiegend darauf, dass es nur für diese beiden Parameter sicherheitstechnisch hergeleitete maximal zulässige Werte gibt. Aus Sicht des ENSI wirkt dies zu einschränkend. Die Nagra wird in Rahmen der Dokumentation des Rahmenbewilligungsgesuchs die Parameterauswahl neu evaluieren und gegebenenfalls anpassen.

Die Nagra hat bei der Wahl der zu überwachenden Parameter zu berücksichtigen, dass das Pilotlager dazu dient, Daten zur Erhärtung des Sicherheitsnachweises für den Verschluss des Tiefenlagers zu ermitteln. Die Begrenzung der Überwachung auf nur zwei Parameter (Temperatur und Porenwasserdruck im Opalinuston) dient aus Sicht des ENSI jedoch nicht dazu, die im NAB 21-11 genannten Ziele eines Monitorings (Lieferung von Informationen zum Verhalten des Mehrfachbarrierensystems, Überprüfung von Modellen und deren Aussagen zur Entwicklung des Mehrfachbarrierensystems, Entdeckung von unerwarteten Entwicklungen während der Beobachtungsphase) vollständig zu erreichen und ist deshalb neu zu evaluieren.

Die Nagra hat ebenfalls Erkenntnisse hinsichtlich der Gewährleistung der Übertragbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse vom Pilotlager auf das Hauptlager dargelegt. Bezüglich der Übertragbarkeit weist das ENSI daraufhin, dass sich die Nagra hierbei überwiegend auf die räumliche Nähe und die Verwendung der gleichen Materialien und Methoden bezieht. Eine unmittelbare Übertragbarkeit wird für Parameter, wie z. B. die Temperaturen, die Wassersättigungen und die Spannungen, jedoch nur bedingt gegeben sein, da diese Parameter im Pilotlager und im Hauptlager für HAA aufgrund der geringeren Anzahl an Lagerstollen im Pilotlager unterschiedlich sein können.

Daher sollte für die Übertragbarkeit intensiver auf das Prozessverständnis und auf modellbasierte Prognosen für das Pilot- und das Hauptlager verwiesen werden. So kann ein Vergleich der Entwicklung der Messwerte im Pilotlager mit den auf Modellbasis prognostizierten Werten Aufschluss über das vorliegende Prozessverständnis geben und die zu erwartenden Unterschiede zwischen Pilotlager und Hauptlager aufzeigen. Das ENSI erachtet die Bundesratsaufgabe 5.2 (Schweizerischer Bundesrat 2018b) für das EP21 als erfüllt. Das Überwachungsprogramm des Pilotlagers ist bzgl. Umfang und Inhalt der Messungen aus Sicht des ENSI künftig stufengerecht weiter zu konkretisieren. Dabei ist auch auf die Übertragbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse im Pilotlager auf das Hauptlager einzugehen (vgl. Hinweise zum Konzept Überwachung Pilotlager in ENSI 33/939).

Auflagenantrag A.2: *Im nächsten Entsorgungsprogramm ist mit Hilfe von Simulationswerkzeugen vertiefter auf die Übertragbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse im Pilotlager auf das Hauptlager einzugehen. Zudem sind der Umfang und der Inhalt der Messungen im Pilotlager stufengerecht weiter zu konkretisieren und dabei das Messprogramm auch im Hinblick auf die Lieferung von Information zum Kurz- und Langzeitverhalten des Mehrfachbarrierensystems und zur Entdeckung von unerwarteten Entwicklungen während der Beobachtungsphase bei Bedarf zu erweitern.*

Die von der Nagra angeführten Forschungsvorhaben und Entwicklungen bezüglich der Rückholung sind aus Sicht des ENSI zielführend. Das ENSI begrüsst, dass die Rückholbarkeit mit einer eigenen Tier 3 Roadmap (NTB 21-02, Appendix 3) in die zukünftige Lagerentwicklung eingebunden ist und dass die Nagra sich zu diesem Thema international vernetzt hat.

Zusammen mit dem Rahmenbewilligungsgesuch ist ein Lagerkonzept vorzulegen, dass ein Einlagerungskonzept umfasst (ENSI 33/649, Kap. 4.3.1). Mit dem Rahmenbewilligungsgesuch ist von der Nagra ausserdem ein Konzept zur allfälligen Rückholung der radioaktiven Abfälle einzureichen (ENSI-G03/d, Kap. 7.4.2a). Diese Konzepte werden seitens ENSI zusammen mit dem Rahmenbewilligungsgesuch geprüft werden.

3.1.5 Geologie

Angaben der Nagra

Die Nagra stützt sich bei ihren Arbeiten auf vertiefte Erkenntnisse zu Tiefenlager-relevanten geologischen Aspekten, die über mehrere Jahrzehnte in der Schweiz und im Ausland gesammelt worden sind. Sie kommen aus der allgemeinen geologischen Forschung, der Kohlenwasserstoff-Exploration, aus Tunnelbauten und den fokussierten Untersuchungen der Nagra (unter anderem in zwei internationalen Felslaboren). Die Nagra sieht diese Kenntnisse als geeignet an, um die Anforderungen an die Geologie für die Standortwahl in Abhängigkeit vom zugeordneten Abfallinventar und gewählten Sicherheitskonzept festzulegen.

Ausgehend von einer «weissen Karte Schweiz» wurden in Etappe 1 SGT mögliche Wirtgesteine und Gebiete identifiziert und daraus sechs Vorschläge für Standortgebiete für ein SMA-Lager und drei Vorschläge für ein HAA-Lager unterbreitet und am Ende der Etappe 1 durch einen Bundesratsentscheid für die weitere Untersuchung in Etappe 2 festgehalten. In Etappe 2 erfolgte aufgrund von zusätzlichen Untersuchungen der Nagra eine Einengung auf zwei Standortgebiete, die jeweils für ein SMA- und ein HAA-Lager vorgeschlagen wurden. Gestützt auf die Behördengutachten hat der Bundesrat Ende 2018 den Fokus auf den Opalinuston als verbleibendes Wirtgestein sowie das Zurückstellen von drei Standortgebieten gutgeheissen, aber für weitere Untersuchungen in Etappe 3 neben den vorgeschlagenen Standortgebieten Jura Ost und Zürich Nordost auch das Standortgebiet Nördlich Lägern einbezogen.

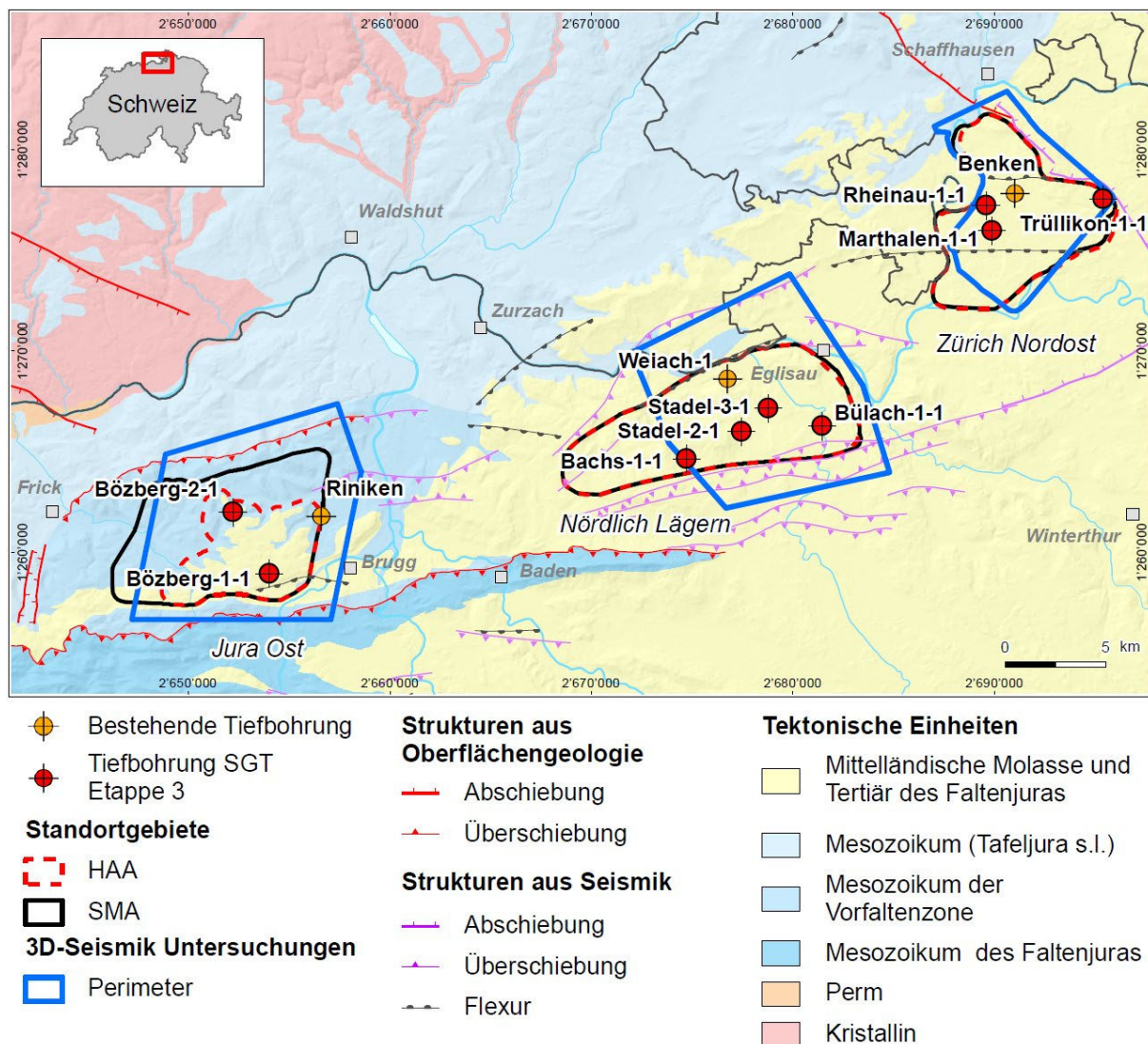


Abbildung 3: Übersichtskarte über die Tektonik der Nordschweiz, mit den im Sachplanverfahren am Ende von Etappe 2 verbliebenen Standortgebieten Jura Ost, Nördlich Lägern und Zürich Nordost. In diesen Gebieten wurden in Etappe 3 neue 3D-seismische Untersuchungen (innerhalb der blauen Rahmen) sowie Tiefbohrungen (rote Kreise) durchgeführt (NTB 21-01, Fig. 3.1-2).

In der laufenden Etappe 3 wurden für die drei verbliebenen Standortgebiete umfangreiche erdwissenschaftliche Untersuchungen (Abbildung 3), insbesondere neue 3D-seismische Messungen, durchgeführt und bis Ende Oktober 2021 acht Tiefbohrungen abgeschlossen (eine voraussichtlich letzte Tiefbohrung befand sich zur Zeit der Berichtsveröffentlichung noch in Ausführung). Weitere Feldarbeiten wurden im Hinblick auf die Beurteilung der geologischen Langzeitentwicklung durchgeführt, darunter zumeist entlang von glazialen Rinnen hochauflösende 2D-Seismik-Messungen sowie elf Quartärbohrungen.

Die laufenden Auswertungen bilden zusammen mit erdwissenschaftlichen Systemanalysen und Studien zum Prozessverständnis die Basis für den kommenden sicherheitstechnischen Vergleich der Standortgebiete und die Begründung der Standortwahl. Die Ergebnisse bestätigen aus Sicht der Nagra 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 Rahmenbewilligungs-

gesuch in einer Geosynthese zusammengefasst. Dabei werden auch neue Erkenntnisse aus Experimenten in Felslabors, aus Untersuchungen von Schwesterorganisationen im Ausland und aus weiteren relevanten Arbeitsgebieten berücksichtigt.

Beurteilung des ENSI

Das ENSI hat die von der Nagra eingereichten Daten zur Geologie im Rahmen des Sachplanverfahrens mehrfach vertieft geprüft und beurteilt. Seine Beurteilung ist in den Gutachten zu Etappe 1 (ENSI 33/070) und Etappe 2 (ENSI 33/540) dargelegt. Gemäss der Beurteilung des ENSI waren am Ende von Etappe 2 die drei geologischen Standortgebiete Jura Ost, Nördlich Lägern und Zürich Nordost jeweils für ein SMA-Lager und ein HAA-Lager in Etappe 3 vertieft weiter zu untersuchen. Diese Bewertung wurde vom Bundesrat Ende 2018 gutgeheissen (Schweizerischer Bundesrat 2018a) und im Ergebnisbericht zu Etappe 2 (BFE 2018) festgehalten.

Die Nagra hat daraufhin in den drei verbleibenden Standortgebieten 3D-seismische Messungen durchgeführt und zwei bis vier neue Tiefbohrungen pro Standortgebiet abgeteuft (Abbildung 3). Die Auswertung der dabei gewonnenen Daten und Proben ist gegenwärtig noch nicht abgeschlossen. Ziel dieser Untersuchungen ist die Erhebung einer hinreichenden Datenbasis für ein Rahmenbewilligungsgesuch für ein SMA- und ein HAA-Lager in separaten Standortgebieten bzw. ein Kombilager in einem Standortgebiet.

Die Aussagen der Nagra, dass die Ergebnisse der geologischen Untersuchungen die Eignung aller drei Standortgebiete bestätigt und dass das Platzangebot in allen drei Standortgebieten für Einzel- und Kombilager ausreichend ist, werden seitens ENSI im Rahmen des Entsorgungsprogramms 2021 nicht beurteilt. Dazu müssen die Auswertungen der Daten vollständig dokumentiert und dem ENSI zur Beurteilung vorgelegt werden. Dieser Schritt ist für das Einreichen der Unterlagen zusammen mit dem Rahmenbewilligungsgesuch bzw. den Rahmenbewilligungsgesuchen vorgesehen.

3.1.6 Sicherheitsnachweise

Angaben der Nagra

Die Kernenergieverordnung (KEV 2004a) sowie die Richtlinie ENSI-G03/d fordern für alle Bewilligungsschritte im Zuge der Realisierung eines geologischen Tiefenlagers Sicherheitsnachweise für die Betriebsphase sowie für die Nachverschlussphase des Tiefenlagers (Langzeitsicherheitsnachweis). Für den definitiven Verschluss eines Tiefenlagers ist ein abschliessender Nachweis der Langzeitsicherheit erforderlich.

Oberstes Ziel bezüglich Langzeitsicherheit ist der dauerhafte Schutz von Mensch und Umwelt vor der ionisierenden Strahlung der eingelagerten Abfälle nach dem Verschluss eines Tiefenlagers. Die Langzeitsicherheit ist auch das oberste Kriterium zur Standortwahl. Im Rahmen von Etappe 2 SGT hat die Nagra dazu sogenannte provisorische Sicherheitsanalysen erarbeitet und einen sicherheitstechnischen Vergleich der geologischen Standortgebiete gemäss den behördlichen Vorgaben (BFE 2011; ENSI 33/075; ENSI 33/154) durchgeführt (NTB 14-01; NTB 14-03). Sie verfolgt die internationale Entwicklung und beteiligt sich an internationalen Projekten mit Bezug zum Sicherheitsnachweis für geologische Tiefenlager. Eine besondere Bedeutung kommt dabei dem Aufzeigen der Robustheit des Systems und der Darlegung der Konsequenzen verbleibender Ungewissheiten für die Langzeitsicherheit zu.

Der Sicherheitsnachweis für die Betriebsphase umfasst gemäss den Vorgaben in ENSI-G03/d eine systematische und umfassende Sicherheitsanalyse sowohl für den Normalbetrieb als auch für Störfälle. Im Rahmen von Etappe 2 SGT wurde die Sicherheit für die Betriebsphase beurteilt (NTB 13-01; NAB 14-51). Hinsichtlich des sicheren Betriebs und der Analyse von potenziellen Störfällen besteht eine sehr breite Kenntnis- und Erfahrungsbasis aus in- und ausländischen Kernanlagen. Für die Sicherheitsnachweise zu den Rahmenbewilligungsgesuchen kann somit auf eine etablierte Methodik gemäss vorhandenem Stand der Technik abgestützt werden.

Beurteilung des ENSI

Die Nagra hat in Etappe 2 SGT für alle geologischen Standortgebiete provisorische Sicherheitsanalysen für die Nachverschlussphase durchgeführt. Der quantitative Teil der provisorischen Sicherheitsanalysen besteht aus Dosisberechnungen für jedes Standortgebiet. Die Nagra hat bei diesen Dosisberechnungen das standardisierte Parametervariationsverfahren zur Ermittlung der charakteristischen Dosisintervalle gemäss den behördlichen Vorgaben durchgeführt. Das ENSI hat im Rahmen seiner Beurteilung der quantitativen Sicherheitsanalyse in Etappe 2 SGT die Ergebnisse der Nagra durch eigene Berechnungen überprüft und seine Prüfergebnisse in ENSI 33/540 (Kap. 5.2, Abb. 31) dokumentiert.

Das ENSI begrüsst, dass sich die Nagra an verschiedenen internationalen Projekten und Arbeitsgruppen zum Thema Sicherheitsnachweis beteiligt. Der Behandlung von Ungewissheiten zum Aufzeigen der Robustheit des Systems kommt dabei auch aus Sicht des ENSI eine besondere Bedeutung zu.

Das Vorgehen der Nagra zum Sicherheitsnachweis für die Nachverschlussphase und zur Betriebssicherheit wird nächstmalig im Rahmen der Überprüfung der Rahmenbewilligungsgesuche seitens ENSI geprüft.

3.2 Auslegung der geologischen Tiefenlager

Angaben der Nagra

In NTB 21-01, Kap. 3.2, wird die konzeptuelle Lagerauslegung am Beispiel eines modellhaften Kombilagers beschrieben (Abbildung 4 und Abbildung 5). Dabei wird ein standortunabhängiges Projekt gemäss dem aktuellen Stand der Projektierung zugrunde gelegt. In NTB 21-01, Kap. 3.3 und 3.4, werden die wesentlichen Unterschiede zwischen dem jeweiligen Auslegungskonzept der Einzellager HAA und SMA und dem Auslegungskonzept des Kombilagers aufgeführt.

Die Auslegungskonzepte für das HAA- und das SMA-Lager basieren auf den in NTB 21-01 dargestellten Sicherheitskonzepten (Mehrfachbarrierensystem, Abbildung 2). Ein Kombilager besteht aus räumlich getrennten Lagerteilen für HAA und SMA am gleichen Standort. Die gesetzlichen und behördlichen Vorgaben sind für alle Lagertypen (vgl. NTB 21-01, Anhang A.1) prinzipiell gleich. Somit ist die Langzeitsicherheit eines Kombilagers 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 (siehe NTB 21-01, Anhang A.8.3, Auflage 5.3 Konsequenzen Kombilager).

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 den ENSI-Vorgaben in ENSI-G03/d (siehe NTB 21-01, Anhang A.4).

Eine abschliessende Festlegung des Lagerprojekts (u. a. Anordnung der untertägigen Lagerkammern, detaillierte Ausgestaltung der technischen Barrieren) erfolgt im Rahmen des nuklearen Baugesuchs bzw. im nachfolgenden Freigabeverfahren und basiert auf den Befunden der EUU; vgl. hierzu NTB 21-01, Kap 5.4.2 sowie Tab. A.2-4. Dabei sind auch die in Zukunft anfallenden Resultate aus dem RD&D-Plan und die Erfahrungen in ausländischen Programmen zu berücksichtigen. Für eine Optimierung des Lagerprojekts ist deshalb bis zum nuklearen Baugesuch ein genügend grosser Handlungsspielraum zur Berücksichtigung neuer Informationen und Erkenntnisse aufrecht zu erhalten (siehe NTB 21-01, Anhang A.4).

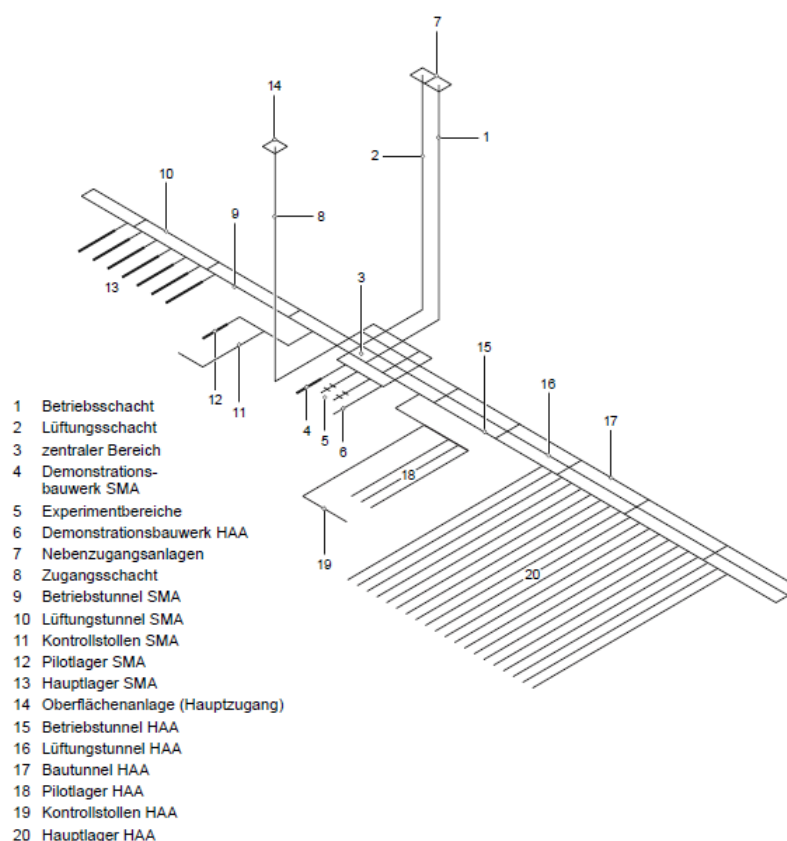


Abbildung 4: Systemskizze eines standortunabhängigen Projekts mit den untertägigen Anlagenelementen und Bauten eines Kombilagers (NTB 21-01, Fig. 3.2-1)

Ein Kombilager umfasst alle für den Bau und Betrieb der Lagerteile HAA und SMA erforderlichen Anlagenelemente und Bauten. Es ist bezüglich der Funktionen für ein SMA-Lager und ein HAA-Lager abdeckend und auch die Vorgaben in den Gesetzen und behördlichen Richtlinien für die Ausgestaltung und Realisierung der geologischen Tiefenlager (vgl. NTB 21-01, 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.

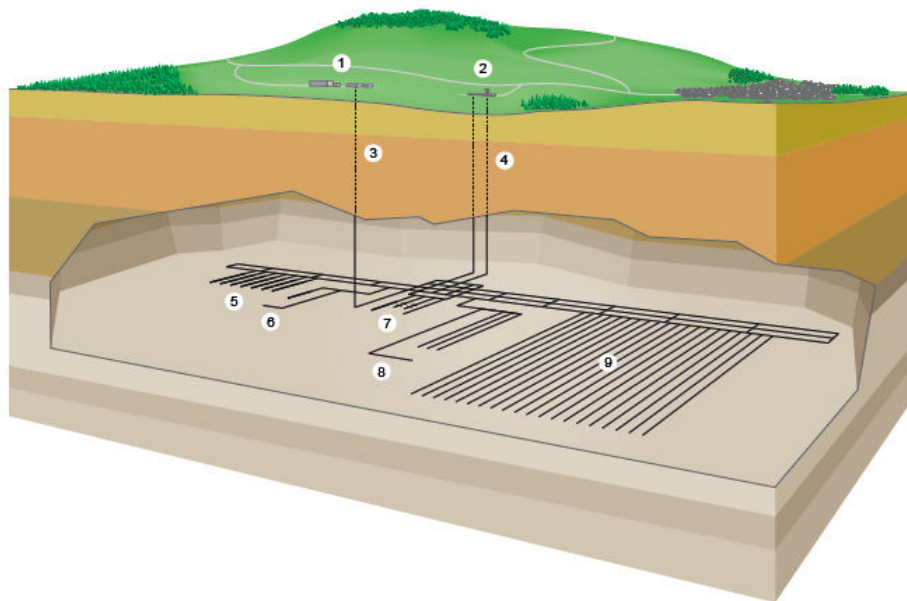


Abbildung 5: Mögliche Anordnung der verschiedenen Anlagenelemente und Bauten für ein Kombilager. Legende: 1) Oberflächenanlage; 2) Nebenzugangsanlage (NZA); 3) Zugangsschacht (Hauptzugang); 4) Betriebs- und Lüftungsschacht (Nebenzugänge); 5) Hauptlager SMA; 6) Pilotlager SMA; 7) Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag bzw. Testbereiche; 8) Pilotlager HAA; 9) Hauptlager HAA (NTB 21-01, Fig. 3.2-2).

Die Anlagenelemente und Bauten, welche für den Betrieb eines Kombilagers benötigt werden, lassen sich vereinfacht in drei Kategorien einteilen: (i) OFI, (ii) Zugänge nach untertage (Tunnel oder Schacht) und (iii) Anlagenelemente und Bauten auf Lagerebene.

Oberflächeninfrastruktur

Abbildung 6 zeigt eine schematische Darstellung der OFI eines Kombilagers. 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 Aushubmaterial. Die OFA stellt das Kernstück der OFI dar. Nach der Anlieferung und Eingangskontrolle werden die radioaktiven Abfälle endlagergerecht verpackt (falls nicht bereits in Endlagerbehältern verpackt) und anschliessend nach untertage transportiert.

Abbildung 7 illustriert eine mögliche Anordnung und Ausgestaltung der erforderlichen Anlagenelemente und Bauten der OFA für ein Kombilager. Die Verpackung der abgebrannten Brennelemente und der Abfälle aus der Wiederaufarbeitung kann grundsätzlich auch in einer Anlage ausserhalb der OFA erfolgen. Gemäss NAB 20-14 lässt sich die Verpackungsanlage für HAA (BEVA) nur am Ort des geologischen Tiefenlagers oder beim Zentralen Zwischenlager der Zwischenlager Würenlingen AG (ZWILAG) sinnvoll realisieren; anderweitige Standortoptionen für die BEVA sind mit deutlichen Nachteilen verbunden. Auch die Verpackung der SMA/ATA kann in einer Anlage erfolgen, welche sich ausserhalb der OFA, z. B. beim ZWILAG (NTB 21-01, S. 39-40), befindet.



Abbildung 6: Schematische Anordnung der verschiedenen Anlagenelemente der Oberflächeninfrastruktur eines Kombilagers (NTB 21-01, Fig. 3.2-3).

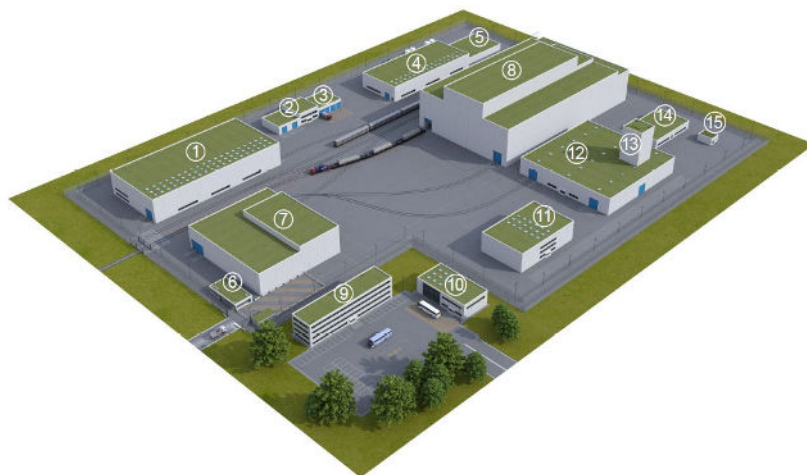


Abbildung 7: Schematische Anordnung und Ausgestaltung der Anlagenelemente und Bauten der Oberflächenanlage für ein Kombilager. Legende: 1) TLB-Behandlungsanlage; 2) Feuerwehrgebäude; 3) Garagen; 4) Aufbereitungsanlage Verfüll-/Versieglungsmaterial; 5) Betriebsabfallbehandlungsanlage; 6) Pforte / Zutrittskontrolle; 7) SMA-Verpackungsanlage; 8) HAA-Verpackungsanlage (BEVA); 9) Administrationsgebäude; 10) Besucherzentrum; 11) Werkstätten; 12) Schachthalle; 13) Schachtförderturm; 14) Lüftungsgebäude; 15) Energieversorgungsgebäude (NTB 21-01, Fig. 3.2-4).

Die SMA-Abfälle (oder Teile davon) können auch bei den Absendern mit einer mobilen / temporären Anlage in SMA-Endlagerbehälter verpackt und anschliessend zum Tiefenlager transportiert und eingelagert werden. Auch eine Verpackung ausserhalb der Oberflächenanlage ist denkbar. Bei Verpackungslösungen ausserhalb der OFA sind entweder die Endlagerbehälter für den Transport zu qualifizieren oder die Endlagerbehälter für den Transport in geeignete Transportbehälter zu verpacken.

Zugänge nach untertage

Die Zugangsbauwerke (Schächte, Tunnel) stellen die Verbindung zwischen Oberfläche und Bauten auf der Lagerebene sicher. Die Abbildungen 4 bis 6 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 untertage zur Verfügung. Aus baulichen, betrieblichen und betriebssicherheits-technischen Gründen sind folgende, funktional getrennte Zugänge geplant:

- Zugangsschacht oder Zugangstunnel (Hauptzugang von der OFA auf die Lagerebene);
- Betriebsschacht oder Betriebszugangstunnel (Nebenzugang von der NZA-B (Abbildung 6) auf die Lagerebene);
- Lüftungsschacht (Nebenzugang von der NZA-L (Abbildung 6) auf die Lagerebene).

Je nach Standortsituation sind die verschiedenen Zugangskonfigurationen unterschiedlich gut geeignet. Die Anzahl und funktionale Zuordnung der Nebenzugänge kann unterschiedlich ausgeführt werden. Die Zugänge nach untertage können als Tunnel, Schacht (obertägiger Schachtkopf) oder Blindschacht (untertägiger Schachtkopf mit Erschliessungstunnel) ausgeführt werden (NTB 21-01, S. 49).

Anlagenelemente und Bauten auf Lagerebene

Die Bauten auf Lagerebene eines Kombilagers lassen sich in folgende Kategorien einteilen (Abbildung 5): (i) HAA-Lagerteil (Hauptlager HAA und Pilotlager HAA), (ii) SMA-Lagerteil (Hauptlager SMA und Pilotlager SMA), (iii) Bauten EUU bzw. Testbereiche und (iv) zentraler Bereich.

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. Der Zugang zu den Pilotlagern inklusive Kontrollstollen erfolgt gemäss der derzeitigen Planung in Form eines kurzen Abzweigers aus den Betriebstunneln. Abstand und Zugang können je nach Konfiguration auch anders realisiert werden (Abbildung 5).

Die Testbereiche werden so angeordnet und ausgelegt, dass darin erdwissenschaftliche Untersuchungen gemäss Art. 35 KEG erfolgen können. Durch die Anordnung der Testbereiche nahe am zentralen Bereich kann mit den Experimenten auf Lagerebene so früh wie möglich, d. h. noch während des Baus des zentralen Bereichs begonnen werden (vgl. NTB 21-01, Tab. A.2-4). Aktuell wird davon ausgegangen, dass zwischen dem zentralen Bereich und dem Lagerfeldbereich keine signifikanten geologischen Unterschiede vorhanden sind.

Bau und Betrieb

Im Fall eines Kombilagers soll der Bau des HAA-Lagerteils mit dem dazugehörigen HAA-Pilotlager teilweise gleichzeitig mit der Einlagerung der SMA-Endlagerbehälter erfolgen. Das Kombilager muss daher so ausgelegt werden, dass der Bau des HAA-Lagerteils, einschliesslich des HAA-Pilotlagers, räumlich getrennt zur Einlagerung im SMA-Lagerteil erfolgen kann, welche über den Hauptzugang (Schacht oder Tunnel) vorgesehen ist. Dafür sind der Betriebszugang (z. B. Betriebsschacht) in der Nebenzugangsanlage für den Betrieb und auf Lagerebene der Bau- und Betriebstunnel des HAA-Lagerteils als Bauzugang vorgesehen. Der

Betriebszugang wird auch für den Bau weiterer Lagerstollen im HAA-Lagerteil während der Einlagerung der HAA-Endlagerbehälter genutzt (NTB 21-01, S. 45). Die HAA-Lagerstollen und die SMA-Kavernen werden während der Einlagerung der HAA- bzw. SMA-Endlagerbehälter laufend bzw. abschnittsweise verfüllt. Nach vollständiger Verfüllung eines HAA-Lagerstollens oder einer SMA-Kaverne wird dieser bzw. diese mit einem Versiegelungsbauwerk verschlossen (NTB 21-01, S. 47).

Wechselwirkungen zwischen dem SMA- und dem HAA-Lagerteil

Die Nagra hat zur Beurteilung von Wechselwirkungen zwischen dem SMA- und dem HAA-Lagerteil eines Kombilagers zwei Hintergrundberichte zu NTB 21-01 erstellt: NAB 19-15 umfasst Informationen zu Wechselwirkungen hinsichtlich des Baus und Betriebs, NAB 20-31 hinsichtlich der Langzeitsicherheit.

NAB 19-15 vergleicht ein beispielhaftes Kombilager mit zwei Einzellagern (SMA-Lager und HAA-Lager). Bei einem Kombilager können viele Elemente der OFI und ein Teil der Bauten untertag (Zugangsbauwerke und zentraler Bereich) für den Bau und die Einlagerung von SMA und HAA gemeinsam genutzt werden. Die daraus generierten Synergien und Reduktionen der Gesamtauswirkungen (z. B. Flächen-, Energie- und Ressourcenverbrauch, Bauvolumina und Ausbruchmengen, Emission von Treibhausgasen) sprechen aus Sicht der Nagra für die Realisierung eines Kombilagers. Die Nagra nimmt an, dass in allen Lagertypen die jeweils gleichen oder gleichwertige Anlagen und Sicherheitssysteme vorhanden sind, daher keine Unterschiede hinsichtlich der Betriebssicherheit vorhanden sind.

Ein geologisches Tiefenlager muss ausserdem unabhängig vom Lagertyp so geplant und realisiert werden, dass die Schutzziele der Betriebssicherheit erreicht werden. Durch eine geeignete Auslegung der Lagerteile und geeignete Betriebsabläufe verursachen die baulichen und betrieblichen Wechselwirkungen zwischen dem SMA- und dem HAA-Lagerteil eines Kombilagers aus Sicht der Nagra keine sicherheitsrelevante Beeinträchtigung.

NAB 20-31 umfasst eine Darlegung der für die Langzeitsicherheit relevanten Wechselwirkungen zwischen dem SMA- und dem HAA-Lagerteil eines Kombilagers. Es wurde eine Methodik entwickelt, die zur Ableitung von standortspezifisch zu erfüllenden sicherheitstechnischen Anforderungen bezüglich der Anordnung der HAA- und SMA-Lagerteile im Kombilager dient. Daraus werden insbesondere der zwischen den Lagerteilen einzuhaltende Mindestabstand, Aspekte zur gegenseitigen Anordnung der Lagerteile und die daraus resultierenden Auswirkungen auf das Platzangebot am Lagerstandort abgeleitet und eine sicherheitstechnische Gesamtbewertung des Kombilagers gegenüber zwei separaten Lagern in den Standortgebieten vorgenommen. Auch hier sprechen die dargelegten Aspekte aus Sicht der Nagra eindeutig für die Realisierung eines Kombilagers.

Beurteilung des ENSI

Die Ausführungen der Nagra in NTB 21-01 (Kap. 3.2) basieren auf einem modellhaften Kombilager, das von der Nagra im Rahmen des Entsorgungsprogramms 2021 und der Kostenstudie 2021 als Lagertypvariante bevorzugt wird. Die Nagra wird ihren Vorschlag zur Realisierung von zwei Einzellagern oder von einem Kombilager bzw. den sicherheitstechnischen Vergleich der Standorte erst mit den Unterlagen für das Rahmenbewilligungsgesuch begründen. Das ENSI wird im Rahmen seiner Prüfung des Rahmenbewilligungsgesuchs prüfen, ob diese Wahl sicherheitstechnisch nachvollziehbar begründet ist. Ferner wird das ENSI im Rahmen seiner

Überprüfung in Etappe 3 SGT die einzureichenden standortspezifischen Lagerprojekte und die dazugehörigen Grundlagen prüfen.

Die in NTB 21-01, Kap. 3.2.1, beschriebenen Anforderungen an die Lagerauslegung und die dabei getroffenen Annahmen sind nachvollziehbar. Die in NTB 21-01, Kap. 3.2.2, beschriebene modellhafte Umsetzung der konzeptuellen Vorgaben und Annahmen am Beispiel eines Kombilagers erscheint im Wesentlichen zweckmässig und sinnvoll. Die in NTB 21-01, Fig. 3.2-1 (Abbildung 5), dargestellte generische Anordnung der verschiedenen Anlagenelemente und Bauten (OFI und Untertagebauwerke) erscheint zielführend; sie enthält alle gesetzlich geforderten Lagerteile.

Das ENSI begrüsst das Vorgehen der Nagra, einen ausreichenden Handlungsspielraum bis zum nuklearen Baugesuch aufrecht zu erhalten, um neue Informationen und Erkenntnisse für die Optimierung eines Lagerprojekts zu nutzen. Das ENSI geht davon aus, dass die Nagra im Rahmen der nächsten Aktualisierung von Kostenstudie und Entsorgungsprogramm die technischen Planungsgrundlagen einschliesslich aller Schnittstellen zwischen den Anlagenteilen für die gewählten Standorte (Einzellager SMA und HAA) oder für den gewählten Standort eines Kombilagers aktualisiert und dokumentiert.

Oberflächeninfrastruktur

Im Zuge der Prüfung in Etappe 2 SGT haben das ENSI und seine Experten die generischen Konzeptstudien und Standortvorschläge der Nagra für die OFA geprüft und als plausibel und stufengerecht bewertet (ENSI 33/456, ENSI 33/467, ENSI 33/540, ENSI 2013). Das ENSI begrüsst, dass die Konzepte im Rahmen der Etappe 3 SGT sowie im Hinblick auf das Entsorgungsprogramm 2021 und die Kostenstudie 2021 deutlich weiterentwickelt wurden.

Zugangsbauwerke und Bauwerke auf Lagerebene

Die modellhafte Anordnung der Untertagebauwerke eines Kombilagers wurde im Entsorgungsprogramm 2021 (Abbildung 4) gegenüber der früheren Darstellung in NTB 16-01 teilweise angepasst. Die vorgenommenen Anpassungen sind sicherheitsgerichtet und zweckmässig.

Die für die Durchführung der EUU geplanten Bauwerke (Experimentbereiche und Demonstrationsbauwerke), welche später im Rahmen der nuklearen Baubewilligung als Testbereiche umgenutzt werden können, werden nahe am zentralen Bereich geplant. Die Nagra geht momentan davon aus, dass die geologischen Bedingungen im zentralen Bereich und im Lagerfeldbereich vergleichbar sind (NTB 21-01, S. 43-44). Diese Annahme ist relevant für die Anordnung der Lagerfelder (Lagerkammer) und anderer sicherheitsrelevanten Untertagebauwerke und soll aus Sicht des ENSI im Rahmen der geplanten EUU überprüft werden.

Aus Sicht des ENSI können die Zugänge nach untertage grundsätzlich als Tunnel, Schächte oder einer Kombination davon erstellt werden. Auf die Forderung des ENSI in seiner Beurteilung zum EP16 (ENSI 33/592, S. 22), dass weitere Varianten für den standortspezifischen Lagerzugang verstärkt angeschaut werden sollen, ist die Nagra in NTB 21-01 (S. 35 und 49), eingegangen. Die Ausführungen der Nagra sind infolge des notwendigen Handlungsspielraums zur Berücksichtigung neuer Informationen und Erkenntnisse, die in die Projektierungsarbeiten bis zum Baugesuch einfließen sollen, nachvollziehbar und ihre Vorgehensweise ist stufengerecht. Gemäss ENSI 33/649 hat die Nagra mögliche Zugangsvarianten im Rahmen

der in Etappe 3 SGT zu erstellenden bautechnischen Risikoanalyse und Lagerprojekte im Hinblick auf die Standortwahl zu betrachten.

Das ENSI unterstützt das Vorgehen der Nagra, dass aus Sicherheitsgründen (Flucht, Intervention, redundante Ver- und Entsorgung) immer mindestens zwei räumlich und lüftungstechnisch getrennte Zugangsbauwerke zur Verfügung stehen (NTB 21-01, S. 43). Dies erfüllt die Forderung des ENSI in seiner Beurteilung zum EP16 (ENSI 33/592, S. 22), dass die Nagra bei der weiteren Entwicklung der Lagerkonzepte und Lagerprojekte u. a. auf das Einrichten von unabhängigen Fluchtwegen zur Geländeoberfläche fokussieren soll, um bei einem gravierenden Ereignis eine selbständige Rettung der Personen zu ermöglichen.

Im Referenzbericht NAB 21-12 werden das Verschlusskonzept eines geologischen Tiefenlagers im Opalinuston sowie konzeptionelle, standortunabhängige und modellhafte Auslegungen der Verschlussbauwerke beschrieben. Die Ausführungen der Nagra in NAB 21-12, Kap. 2.7, erfüllen die Forderung des ENSI in seiner Beurteilung zum EP16 (ENSI 33/592, S. 22), dass die Anforderungen an die Versiegelungsstrecken zur Erfüllung des übergeordneten Schutzziels der Langzeitsicherheit begründet werden sollen.

Das ENSI hat in seiner Stellungnahme zum EP16 (ENSI 33/592, S. 23) auf Aspekte hingewiesen, die in den Aussagen und Darstellungen der Nagra zum Kombilager überdacht oder zumindest in der dargestellten Form durch sicherheitstechnische Überlegungen begründet werden sollten. Dies wurde im Rahmen des Entsorgungsprogramms 2021 (vgl. NTB 21-01 und NAB 21-12) umgesetzt.

Bau und Betrieb

Die Logistik spielt im Untertagebau eine zentrale Rolle. Oft entscheiden Aspekte der Logistik über die termin- und damit sachgerechte Erstellung eines Bauwerks. Daher sind die damit zusammenhängenden und im Wesentlichen an die Grösse des auszubrechenden Querschnitts zu stellenden Anforderungen frühzeitig zu identifizieren und in der Planung zu berücksichtigen (z. B. für die Abstellung der Baugeräte, Fluchtwege, Rettungscontainer, Lüftungs-/Entstaubungs-/Entwässerungsanlagen, Energieversorgung und Materiallager etc.).

Aus Sicht des ENSI sind die Kapazität und die Zuverlässigkeit (wenig Ausfälle) der Schachtförderanlage des Betriebsschachts sehr wichtig für die Bedienung der Baustelle und zur Einhaltung der Termine beim HAA-Lager bzw. Kombilager, da der Betriebsschacht ein mögliches Nadelöhr der Baustelle ist. Ein Grossteil der logistischen Leistungen (Ausbruchsmaterial, Beton, Stahl, Maschinen, Personaltransport, Container usw.) werden über den Betriebsschacht (Bauzugang) abgewickelt (NTB 21-01, S. 45). Ferner soll gewährleistet werden, dass sich die Versorgungswege für die Einlagerung der SMA-Endlagerbehälter mit den Bauaktivitäten für die Erstellung der Zugänge (Bau- und Betriebstunnel) zu den HAA-Lagerstollen nicht kreuzen und die Sicherheit für Bau und Betrieb nicht gefährdet wird.

Variante für die Auslegung eines Kombilagers

Die Nagra betrachtet in NTB 21-01, Kap. 3.2.3, verschiedene 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. Diese betreffen verschiedene Bauwerke des Kombilagers, einschliesslich ihrer Erschliessung, das Verfüllmaterial für den SMA- und HAA-Lagerteil, bauliche und betriebliche Aspekte sowie die Beobachtungs- und die Verschlussphasen. Das ENSI

begrüssst das Aufrechterhalten der Flexibilität, die Vorgehensweise ist nachvollziehbar und sicherheitsgerichtet.

Die in der Auflage 5.3 (Schweizerischer Bundesrat 2018b) genannten Aspekte bezüglich der Wechselwirkungen zwischen dem SMA- und dem HAA-Lagerteil eines Kombilagers werden seitens Nagra in NTB 21-01 (Anhang A.8.3) sowie ausführlich in NAB 19-15 und NAB 20-31 angesprochen. Das ENSI geht im Folgenden auf die in der Auflage genannten Aspekte ein. Der sicherheitstechnische Vergleich der Kombilager-Variante mit zwei einzelnen SMA- und HAA-Lagern wird seitens ENSI erst im Rahmen der Prüfung der Rahmenbewilligungsgesuche und der Standortwahl beurteilt werden.

Im Bericht NAB 19-15 werden die grundsätzlichen Auslegungsvarianten eines Kombilagers gezeigt. Hier werden von der Nagra auch diverse für die Betriebssicherheit relevante Aspekte diskutiert, darunter insbesondere das Problem des zeitgleichen Einlagerungsbetriebs im SMA-Lager und Auffahrtbetriebs im HAA-Lager sowie die zeitgleiche Auffahrung und Einlagerung bei den HAA-Lagerstollen während der Betriebsphase. In diesen Perioden müssen die übergeordneten Prinzipien der nuklearen Betriebssicherheit (Einschluss und Abschirmung, sicherer Zustand, Verhinderung Notfälle bzw. Begrenzung der Folgen daraus) eingehalten werden können. Die Ausführungen der Nagra bleiben stufengerecht auf einer generischen Ebene. Aus Sicht des ENSI können in einem Kombilager zwar Synergien genutzt und Auswirkungen (z. B. Flächen-, Energie- und Ressourcenverbrauch, Bauvolumina und Ausbruchmengen, Emission von Treibhausgasen) reduziert werden, die Komplexität der Anlagenabläufe und damit die Möglichkeit ungewollter Interaktionen und Störfälle dürfte jedoch zunehmen, insbesondere wenn im HAA-Lager Einlagerung und Ausbruch gleichzeitig und in unmittelbarer Nähe zueinander stattfinden. Daher sind die für die Betriebssicherheit relevanten Aspekte im Rahmen kommender Rahmen-, Bau- und Betriebsbewilligungsgesuche erneut und mit zunehmendem Detaillierungsgrad zu betrachten.

In NAB 19-15 (Kap. 9) werden verschiedene Varianten eines Kombilagers betrachtet und die Nagra macht Angaben zum Flächenbedarf der OFI und Ausbruchsvolumina, jedoch nicht zum im Untergrund notwendigen relativen Platzbedarf für die einzelnen Anlagenteile. Dieser Aspekt der Auflage 5.3 ist nur zum Teil erfüllt. Das ENSI geht jedoch davon aus, dass die Nagra die in den drei Standortgebieten vorhandenen Platzverhältnisse, basierend auf den interpretierten 3D-seismischen Datensätzen im Rahmen ihrer Berichte zur Standortwahl, darstellen wird.

Bezüglich der sicherheitstechnisch anzustrebenden Varianten in der Lagerkonfiguration macht die Nagra in NAB 20-31 diverse Aussagen, z. B. zum Mindestabstand, zur Anordnung der einzelnen Lagerteile, zur Ausrichtung der Lagerkammern und zu Varianten der SMA-Kavernenquerschnitte für unterschiedliche Überdeckungen. Das Vorgehen der Nagra in NAB 20-31 wird seitens ENSI als adäquat angesehen, die Tiefe der Betrachtung ist stufengerecht. Dieser Aspekt der Auflage 5.3 ist erfüllt. Auch die Forderung des ENSI in seiner Stellungnahme zum EP16 (ENSI 33/592, S. 23), dass die Nagra bei der Evaluation einer Kombilager-Lösung aufzuzeigen und zu begründen hat, welche Mindestabstände zwischen HAA- und SMA-Lager einzuhalten sind und welche Konsequenzen sich daraus für den Platzbedarf ergeben, wird in NAB 20-31 behandelt und umgesetzt.

In ENSI 33/649 wird gefordert, dass die Nagra für jeden EG den mindestens erforderlichen Platzbedarf für die untertägigen Teile innerhalb des EG sowie die Ungewissheiten des mindestens erforderlichen Platzbedarfs standortspezifisch darstellt. Daher wird der Aspekt des relativen Platzbedarfs zusammen mit den Rahmenbewilligungsgesuchen durch

das ENSI geprüft werden, so dass die Auflage 5.3 zum Entsorgungsprogramm geschlossen werden kann.

3.3 Erfahrungsgewinn Lagerauslegung

Angaben der Nagra

In NTB 21-01, Anhang 4, wird das von der Nagra vorgesehene Optimierungsverfahren dargestellt. Zusätzliche Informationen zur Planung des Gesamtsystems Tiefenlager finden sich in NAB 21-10. In diesen Ausführungen wird die Optimierung der Lagerauslegung in den gesetzlichen Gesamtrahmen gesetzt. Das dreistufige Bewilligungsverfahren des KEG entspricht bereits einem Optimierungsverfahren.

Wichtigste Grundlage bei der Projektentwicklung für die fachtechnische Beurteilung von Sicherheit und technischer Machbarkeit von Varianten und Optionen sind die jeweiligen Systemanalysen, die sich auf die Datenerhebungen, die Modellentwicklungen und die stufengerechte Projektierung abstützt (NTB 21-01, S. A-37 und A-38). Ziele der Optimierung sind die Gewährleistung der Langzeitsicherheit, die Gewährleistung der Sicherheit und Machbarkeit bei Bau und Betrieb der geologischen Tiefenlager, die Sicherstellung der Kompatibilität des Lagers mit Umwelt, Raumplanung und Gesellschaft sowie die Berücksichtigung von Ressourcen und Wirtschaftlichkeit, die zu einer Gesamtoptimierung zusammengeführt werden.

Im Hinblick auf das Rahmenbewilligungsgesuch hat die Nagra umfangreiche Felduntersuchungen, insbesondere 3D-seismische Messungen, Tiefbohrungen und Quartäruntersuchungen in den drei verbleibenden Gebieten durchgeführt. Die Tiefbohrungen dienen der Eichung der 3D-Seismik (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 (NTB 21-01, S. 5).

Um der Vielzahl von externen und internen Anforderungen gerecht zu werden, hat die Nagra ein Anforderungs- und Konfigurationsmanagement (Requirements and Configuration Management, RCM) aufgebaut, mit Hilfe dessen die Nagra das Tiefenlagerprojekt auf der Grundlage konkreter Ergebnisse aus ihrem RD&D-Programm anpasst (vgl. NTB 21-02, Kap. 5.3.1). Bisherige Tätigkeiten daraus haben nachgewiesen, dass die Sicherheitsanforderungen eingehalten werden können. Von zukünftigen RD&D-Aktivitäten wird erwartet, 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. Konkrete Erfahrungen stammen dabei insbesondere aus den Felslaboren, in denen die Nagra Forschung betreibt (Mont Terri, Grimsel, Äspö, Bure, vgl. NTB 21-02, Kap. 5.6.2). In NTB 21-02 werden als unterstützendes Instrument zur Illustration und Darlegung von Zusammenhängen und Verknüpfungen sogenannte Roadmaps eingesetzt. Deren Verwendung entspricht der internationalen Praxis im Umfeld der Planung von geologischen Tiefenlagern.

In Anbetracht der schrittweisen Konkretisierungen müssen formelle Festlegungen, insbesondere wenn sie früh im Verfahren getroffen werden, so weit wie möglich angemessene Reserven umfassen. Diese Reserven ermöglichen eine Optimierung und erlauben es, auf Unvorhergesehenes oder neue Erkenntnisse (z. B. bezüglich der geologischen Verhältnisse am gewählten Standort) mit entsprechenden Projektanpassungen zu reagieren (NAB 21-10, S. 7).

Definitive Entscheide über die Verteilung der Abfälle in den Bereichen für SMA und für HAA im Kombilager, eine Entwicklung hin zur Einlagerung von HAA in nicht durchgehenden Lagerstollen (Blindstollen) und den geplanten Einsatz einer Schildvortriebsmaschine für den Ausbruch der HAA-Lagerstollen wurden durch die im RD&D-Bericht 2016 geplanten Aktivitäten untermauert (NTB 21-02, Kap. 5.5, S. 78).

Der Bau und Betrieb der Bauwerke für die EUU wird ein wichtiger Meilenstein für die Entwicklung von Kompetenzen für den Bau und den Betrieb des Tiefenlagers im Hinblick auf die Einreichung des nuklearen Baugesuchs sein (NTB 21-02, Kap. 5.6.3). Mit Hilfe der EUU wird das bis zu diesem Zeitpunkt gewonnene Prozessverständnis speziell für den ausgewählten Standort und die tatsächlichen Bedingungen des Opalinustons vor Ort überprüft und die in-situ-Demonstration bestimmter Aspekte möglich sein.

Beurteilung des ENSI

Der Aspekt der Optimierung wurde in der Neuauflage der Richtlinie ENSI-G03/d als ein wichtiger Prozess während der Lagerrealisierung betont (Kap. 4.4). Die neu formulierten Anforderungen unterstützen Auflage 5.7 (Schweizerischer Bundesrat 2018b), die sich zunächst nur auf das Entsorgungsprogramm 2021 bezieht, und erweitern diese zu einem kontinuierlichen Verfahren, das bei der Lagerrealisierung in allen Schritten anzuwenden ist.

Der Optimierung liegt ein schrittweises Vorgehen zugrunde, das im schweizerischen Bewilligungsverfahren vorhanden ist und durch die zwischen Rahmen- und Baubewilligung geplanten EUU noch einen weiteren Schritt erfährt. Die Nagra zeigt in ihren Ausführungen auf, dass jeder dieser Schritte im Rahmen der Roadmaps und der Prüfung durch das Nagra-interne RCM eine Optimierung in der Lagerauslegung vorsieht und dabei auch Bedeutung auf die notwendige Flexibilität (Reserven) gelegt wird. Das ENSI begrüsst diese Verknüpfung mit dem RCM der Nagra. Es begrüsst auch die von der Nagra in den verschiedenen Felslaboren geplanten, aktuell laufenden oder bereits abgeschlossenen Projekte, die mit frühzeitiger und konkreter Erfahrung zur Optimierung der Lagerauslegung in den verschiedenen Realisierungsschritten beitragen. Das ENSI beurteilt die Auflage 5.7 des Bundesrats damit als erfüllt.

4 Zuteilung der Abfälle zu den geologischen Tiefenlagern

Gemäss SGT mussten die Entsorgungspflichtigen als ersten Schritt in Etappe 1 SGT die Zuteilung der Abfälle auf das Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA-Lager) und das Lager für hochaktive Abfälle (HAA-Lager) festlegen. Dabei sind grundsätzlich verschiedene Möglichkeiten denkbar, die Abfälle der Abfallkategorien gemäss Art. 51 KEV 2004b (hochaktive Abfälle HAA, alphanukleare Abfälle ATA sowie schwach- und mittelaktive Abfälle SMA) auf die beiden Lagertypen aufzuteilen. Es ist Aufgabe der Entsorgungspflichtigen, geeignete Lösungen vorzuschlagen; diese werden durch die Behörden geprüft. Die Nagra hat die in Etappe 1 SGT vorgeschlagene Abfallzuteilung in den Unterlagen zu Etappe 2 SGT und im Entsorgungsprogramm aktualisiert. Unter Berücksichtigung der Einengung der geologischen Standortgebiete im Rahmen von Etappe 2 SGT, hat die Nagra die Abfallzuteilung im Entsorgungsprogramm 2021 angepasst.

Angaben der Nagra

Das schweizerische Entsorgungskonzept geht 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. Die grundsätzliche Zuteilung der radioaktiven Abfälle auf die geologischen Tiefenlager HAA und SMA erfolgt mit der Rahmenbewilligung.

Mit Abschluss von Etappe 2 SGT erfolgte 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 Abfällen und deren Einlagerung ins HAA-Lager nicht mehr notwendig. Abgebrannte BE sowie verglaste HAA aus der Wiederaufarbeitung werden dem HAA-Lager bzw. dem HAA-Lagerteil des Kombilagers, SMA sowie ATA dem SMA-Lager bzw. dem SMA-Lagerteil des Kombilagers zugeordnet.

Die detaillierten Bedingungen für die Einlagerung der Abfälle werden erst in der Bau- bzw. Betriebsbewilligung festgelegt, wenn alle dazu notwendigen Informationen verfügbar sind. Eine auf die spezifischen Abfalleigenschaften orientierte Auslegung des Lagers (z. B. Berücksichtigung der Wärmeleistung, chemische Eigenschaften, Gasbildung etc.) ist grundsätzlich möglich.

In Anbetracht des Zeithorizonts bis zum Ende der Einlagerungsphase respektive allenfalls bis zum Verschluss des geologischen Tiefenlagers muss im Sinne der Optimierung eine ausreichende Flexibilität erhalten bleiben, so dass geringe Verschiebungen in der Abfallzuteilung möglich sind und später im Verfahren in begründeten Fällen (u. a. zukünftiger Umgang mit MIF-Abfällen sowie mit SMA aus der Stilllegung von Oberflächenanlagen) von der mit der Rahmenbewilligung in den Grundzügen festgelegten Abfallzuteilung abgewichen werden kann.

Beurteilung des ENSI

Das ENSI stimmt der Nagra zu, dass aufgrund der guten Barriereigenschaften des Wirtgesteins Opalinuston die Einlagerung aller SMA und ATA im SMA-Lager eine mögliche Variante für die Abfallzuteilung ist. Das ENSI weist darauf hin, dass gemäss Richtlinie ENSI-G03/d ein geologisches Tiefenlager so auszulegen ist, dass mögliche Wechselwirkungen zwischen verschiedenartigen Abfällen zu keiner sicherheitsrelevanten Beeinträchtigung führen.

Das ENSI ist mit der Aussage der Nagra einverstanden, dass bis zur Festlegung des definitiven Lagerprojekts in der Bau- und Betriebsbewilligung und in begründeten Fällen auch darüber hinaus Flexibilität hinsichtlich der Abfallzuteilung bewahrt wird. Es ist die Aufgabe der Nagra, die Abfallzuteilung in den verschiedenen Schritten der Lagerrealisierung bis zum Lagerbetrieb mit entsprechendem Detaillierungsgrad zu aktualisieren. Änderungen der Abfallzuteilung während des Einlagerungsbetriebs erfordern eine Überprüfung und gegebenenfalls eine Aktualisierung des Sicherheitsnachweises.

5 Realisierungsplan der geologischen Tiefenlager

Der Realisierungsplan ist zusammen mit dem Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsplan (RD&D-Plan) ein zentrales Planungs- und Kontrollinstrument für die Planung und Implementierung der erforderlichen Infrastruktur zur Entsorgung der radioaktiven Abfälle. Beide Pläne werden zeitgleich alle fünf Jahre aktualisiert. Sie unterstützen die Entsorgungspflichtigen bei der schrittweisen und systematischen Abwicklung der notwendigen Vorhaben und Verfahren und helfen den Behörden bei ihrer Aufsichtsfunktion über die nukleare Entsorgung, indem eine vorausschauende proaktive Begleitung bzw. Steuerung der damit verbundenen technischen Aufgaben und behördlichen Auflagen ermöglicht wird.

Angaben der Nagra

Standortwahl gemäss Sachplan geologische Tiefenlager und Rahmenbewilligung

Ende 2021 steht das Verfahren in der dritten und letzten Etappe des SGT. Die folgenden Angaben beschränken sich auf die noch anstehenden Aufgaben bis zur Erteilung der Rahmenbewilligung.

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 2011). Der Vergleich der Standortgebiete muss gemäss den im SGT festgelegten sicherheitstechnischen Kriterien und den durch das ENSI präzisierten Anforderungen (ENSI 33/649) vorgenommen werden.

Die Dokumentation der Standortwahl erfolgt gemäss Vorgaben der Kernenergiegesetzgebung (Art. 62 KEV) und ENSI 33/649 als Bestandteil der Unterlagen zum Rahmenbewilligungsgesuch 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.

Realisierungsplan

Ausgehend von den in NTB 21-01, 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 Abbildung 8 für das Vorhaben Kombilager als Balkendiagramm dargestellte Realisierungsplan (in NTB 21-01 sind in den Fig. A.2-1 und A.2-2 ebenfalls die Realisierungspläne für die HAA- und SMA-Lager als Balkendiagramme dargestellt). Diese Planung ist vor allem 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 zugrunde gelegte Zeitplan geht von einer Betriebsaufnahme des Kombilagers bzw. des SMA-Lagers im Jahr 2050 aus. Der Beginn der Einlagerung im HAA-Lager bzw. im HAA-Teil des Kombilagers ist im Jahr 2060 vorgesehen.

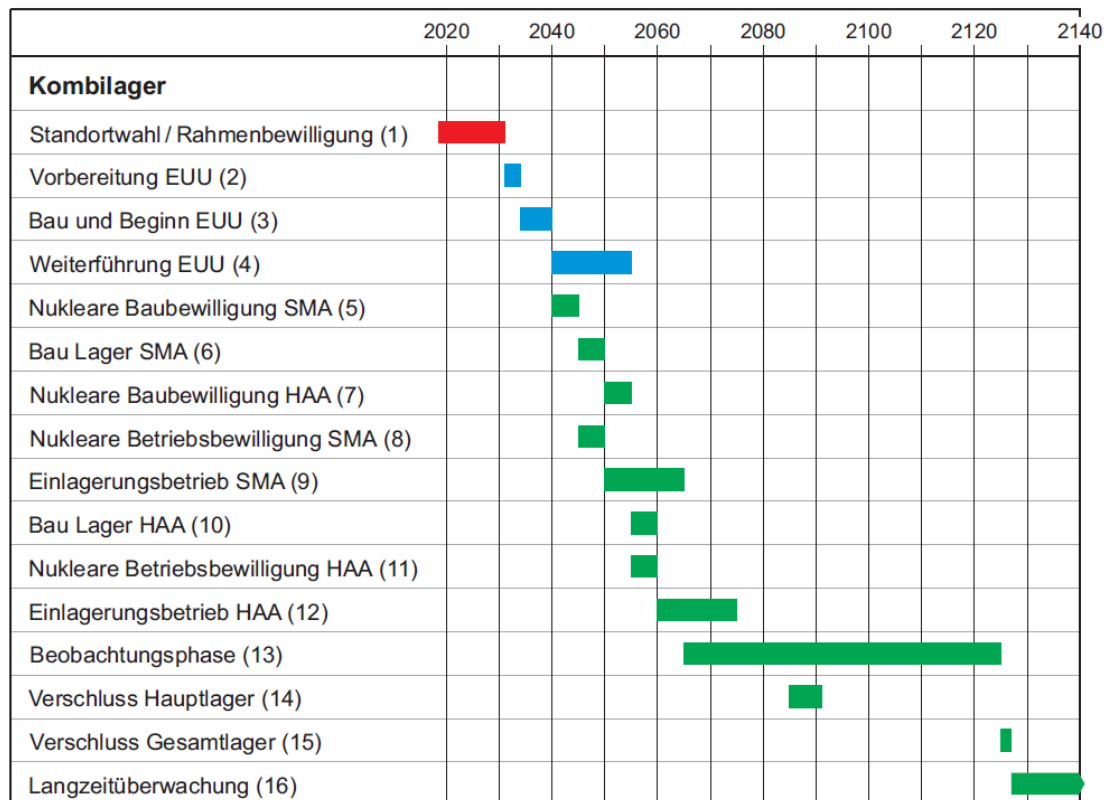


Abbildung 8: Realisierungsplan für das Kombilager gemäss heutiger Planung (NTB 21-01, Fig. 5.3-1, vgl. NTB 21-01, Tab. A.2-1). Als Lesehilfe sind die Phasen fortlaufend nummeriert.

Der Realisierungsplan berücksichtigt insbesondere:

- die gesetzlich und behördlich vorgegebenen Genehmigungen und Bewilligungen und die damit zusammenhängenden Entscheidungspunkte (vgl. Anhang A.1 in NTB 21-01);
- 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).

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 werden die 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 (NTB 21-01, Kap. 5.4.2 und NTB 21-01, Anhang A.2.1). Gleichzeitig beginnt die Beobachtungsphase (Annahme 50 Jahre; NTB 21-01, 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 OFI), anschliessend kann die Überwachung von der Oberfläche aus weitergeführt werden.

Der erforderliche Kenntnisstand und der Stand der Projektentwicklung für die nächsten Realisierungsschritte lassen sich folgendermassen zusammenfassen:

- Für die Standortwahl und Erarbeitung des Rahmenbewilligungsgesuchs gelten die Vorgaben für SGT Etappe 3 (ENSI 33/649). Es müssen genügend Kenntnisse aus vertieften Felduntersuchungen (z. B. Seismik, Tiefbohrungen, Quartäruntersuchungen; NTB 21-01, Kap. 3.1.5), für robuste Aussagen zur Sicherheit und zur bautechnischen Machbarkeit vorliegen; dies betrifft u. a. die Wirtgesteinseigenschaften (teilweise aus standortunabhängigen Untersuchungen; vgl. NTB 21-01, 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; NTB 21-01, Kap. 3.2.3).
- Nach Erteilung der Rahmenbewilligung wird das Projekt und das Gesuch im Hinblick auf die EUU vorbereitet und eingereicht. Das Gesuch umfasst auch die hierzu notwendige Infrastruktur für EUU. Im Anschluss an die Erteilung der Bewilligung für EUU nach Kernenergiegesetz (KEG 2003) folgt der Bau der Zugangsbauwerke EUU bis auf Lagerebene, von wo aus die Erkundung untertage erfolgt. Beim Auffahren der Untertagbauten erfolgt eine vortriebsbegleitende Charakterisierung (Bau und Beginn EUU; Abbildung 8). Zudem kann in den Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag (BEUU) mit zeitkritischen Experimenten begonnen werden (Tab. A.2-4 NTB 21-01). Zum Zeitpunkt der Real-

sierung der Zugangsbauwerke EUU sowie der für die EUU benötigten Bauten untertag und Infrastrukturanlagen an der Oberfläche liegt noch keine kerntechnische Anlage vor. Die Bauten und Anlagen werden deshalb so geplant, dass sie bei Vorliegen der nuklearen Baubewilligung umgenutzt und in das geologische Tiefenlager integriert werden können. Beim Bau sind im Hinblick auf eine spätere Umnutzung u. a. bauliche, technische, organisatorische und administrative Anforderungen an die Anlagensicherung zu beachten.

- Im Rahmen des nuklearen Baugesuchs 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 den EUU 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. Terminangaben in NTB 21-01, Tab. 3.1-1).

Die wesentlichen Unterschiede für den Realisierungsplan zwischen EP16 und EP21 umfassen die folgenden Aspekte:

- Die Ausarbeitung des Gesuchs EUU erfolgt erst nach dem Bundesratsentscheid zum Rahmenbewilligungsgesuch, wenn allfällige Auflagen und Randbedingungen abschliessend geklärt sind. Zudem wird das Gesuch erst eingereicht, wenn die Rahmenbewilligung rechtskräftig ist.
- Die Realisierungspläne für das EP21 beinhalten neu eine Phase "Vorbereitung EUU" (Phase (2) in Abbildung 8). In dieser Phase erfolgt nach Rechtskraft der Rahmenbewilligung die Bauvorbereitung für die EUU.
- Die aktualisierte Planung der EUU durch die Nagra beruht u. a. auf einer verstärkten Parallelisierung von Prozessen:
 - Für die Phase "Bau und Beginn EUU" (Phase (3) in Fig. 5.3-1 NTB 21-01) wird neu im EP21 von 5 anstatt 4 Jahren ausgegangen. Diese Änderung hat jedoch keinen Einfluss auf den übergeordneten Realisierungsplan.
 - Die Einreichung des nuklearen Baugesuchs SMA erfolgt im EP21 bereits 1 Jahr früher als im EP16. Dies führt dazu, dass die Bewilligungsphasen für den Bau (Phase (5) in Abbildung 8) und den Betrieb (Phase (8) in Abbildung 8) des SMA-Lagers bzw. Kombilagers neu 5 anstatt 4 Jahre betragen.
 - 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 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 (vgl. Abbildung 9 und NAB 21-14).

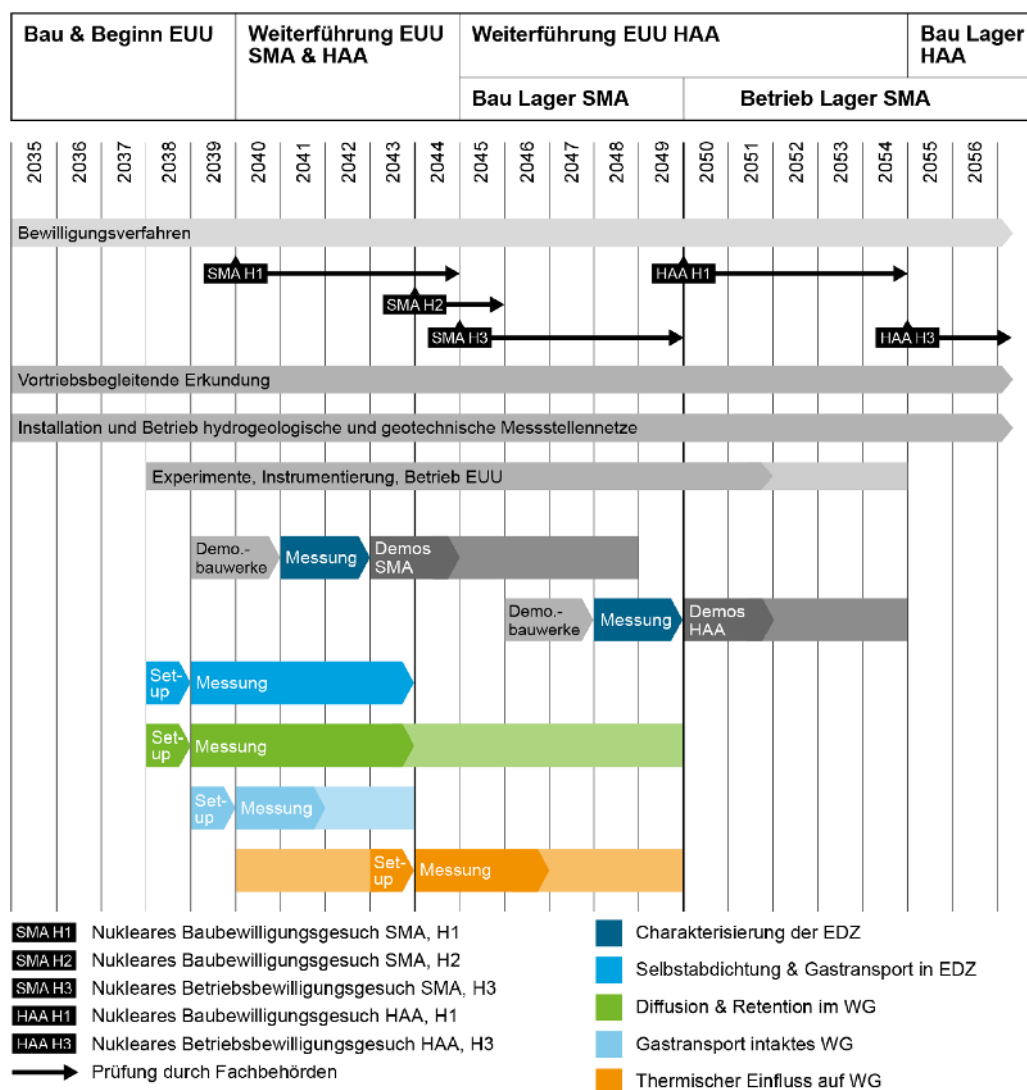


Abbildung 9: Phasenweise Gliederung der Arbeiten EUU für ein Kombilager entsprechend des generischen Lagerprojektes zur Erlangung der nuklearen Bau- und Betriebsbewilligungen (helle Erweiterungen der spezifischen Blöcke für Demonstrationen und Experiment deuten einen zeitlichen Spielraum für die jeweilige Umsetzung an, NAB 21-14, Fig. 3-1).

Vorgehen bei der Realisierung am Beispiel des Kombilagers

Der Realisierungsplan für ein Kombilager ist in Abbildung 8 illustriert. 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 in NTB 21-01). Für Hinweise auf Aktivitäten, die sich bei den Einzellagern unterscheiden, sei auf NTB 21-01, Kap. 5.5, verwiesen.

Die KEV-Vorgaben an das Rahmenbewilligungsgesuch sowie die Präzisierungen der sicherheitstechnischen Vorgaben für SGT Etappe 3 (ENSI 33/649) 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 33/649).
- 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 SGT 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. NTB 21-01, 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 Baugesuch 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 Ausbruchsicherung, Verkleidung und Wahl des Abdichtungssystems.

Diverse Synergieeffekte, welche beim Kombilager zum Tragen kommen (NTB 21-01, Kap. 3.1.1), fallen bei den Einzellagern weg (NAB 19-15). Dies betrifft die Vorbereitung und

Durchführung der EUU (z. B. Synergieeffekte hinsichtlich der Charakterisierung der geologischen Situation sowie des experimentellen Programms), den Bau (z. B. Elemente der OFI 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.

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 (NTB 21-02) 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 (NTB 21-01, Anhang A.2.2). Für eine ausführliche Erläuterung der Forschungsaktivitäten wird auf NTB 21-02 verwiesen. Die Arbeiten zum RD&D-Plan 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.

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 NTB 21-01, Anhang A.2.2; detailliertere Angaben können dem RD&D-Plan (NTB 21-01) entnommen werden.

Umsetzung des Realisierungsplans

Für die planmässige Umsetzung des Realisierungsplans ist ein breites Spektrum von Themen zu bearbeiten (vgl. NTB 21-01, Anhang A.2.2 sowie NTB 21-02). Dazu gehören Fragen zur Geologie, zur Sicherheit, zum Inventar der radioaktiven Abfälle sowie zur Auslegung, dem späteren Bau, Betrieb und Verschluss der geologischen Tiefenlager.

Im EP21 (Anhang A.3 und A.4, NTB 21-01) 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 der Richtlinie ENSI-G03/d gefordert, das Optimierungsverfahren aufgezeigt, anhand dessen im Vorhaben geologisches Tiefenlager sicherheitsgerichtete Entscheide getroffen werden.

Die Grundlagen zum Verfahren und die Darlegung der Planung beim Gesamtsystem Tiefenlager werden in den Nagra-Berichten NAB 21-10 und NTB 21-02 erläutert. 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.

Im RD&D-Plan 2021 (NTB 21-02) wird schliesslich auch aufgezeigt, welche massgebenden Fragestellungen die Nagra innert welcher Frist bearbeitet, damit die Erkenntnisse zeitgerecht in die Bereitstellung einer stufengerechten Grundlage für den jeweiligen Bewilligungsschritt einfließen.

Der vorgeschlagene Realisierungsplan (Abbildung 8, vgl. auch NTB 21-01, Fig. A.2-1 und A.2-2), und die zugehörigen Entscheidungspunkte bieten genügend Handlungsspielraum zur Optimierung der Gestaltung der Entsorgung (insbesondere für die Auslegung der geologischen Tiefenlager und bei Bedarf für 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 den Anhängen A.2 bis A.4 in NTB 21-01 dargestellt.

Beurteilung des ENSI

Die Realisierung eines geologischen Tiefenlagers ist ein schrittweiser Prozess (Richtlinie ENSI-G03/d, Anhang 2). Durch die periodische Aktualisierung des Entsorgungsprogramms und des RD&D-Plans kann dem Projektstand und der Diskussion anstehender Fragen Rechnung getragen werden. Die von der Nagra vorgelegten Realisierungspläne machen Angaben zur Standortauswahl gemäss SGT sowie zu den Bewilligungsschritten (Rahmenbewilligung, Baubewilligung, Betriebsbewilligung), zum Verschluss und zur Entlassung des Tiefenlagers aus der Kernenergiegesetzgebung.

Das EP21 enthält neu auch einen Realisierungsplan für das Kombilager. 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. Das ENSI hat sich daher auf seine Prüfung des Realisierungsplans des Kombilagers konzentriert. Dieser orientiert sich an den gesetzlichen und behördlichen (nuklearen) Bewilligungsverfahren.

Zudem berücksichtigt der Realisierungsplan weitere Grundsätze und Prinzipien, die in der Gesetzgebung oder in behördlichen Vorgaben verankert sind. Der Vorschlag der Nagra für die schrittweise Realisierung der vorgesehenen geologischen Tiefenlager und die Zweckmässigkeit des vorliegenden Realisierungsplans für das Kombilager wurden durch das ENSI wie im EP08 (ENSI 33/110) und EP16 (ENSI 33/592) anhand der folgenden fünf Fragen geprüft und beurteilt:

Wurden die behördlichen Anforderungen an die Sicherheit und die Vorgaben hinsichtlich der nuklearen Bewilligungsverfahren gemäss KEG, KEV, SGT und der Richtlinie ENSI-G03 berücksichtigt und sind die daraus abgeleiteten Annahmen richtig und vollständig?

Das ENSI kommt aufgrund seiner Prüfung zum Schluss, dass die Entsorgungspflichtigen die gesetzlichen und behördlichen Vorgaben (KEG, KEV, SGT sowie der Richtlinie ENSI-G03/d) im vorgeschlagenen Realisierungsplan korrekt berücksichtigt haben. Der Realisierungsplan bildet die schrittweisen nuklearen Bewilligungsverfahren korrekt und transparent ab; dies gilt auch für das Verfahren zur Standortwahl (BFE 2011).

Die Richtlinie ENSI-G03/d fordert neu, dass das Optimierungsverfahren für sicherheitsrelevante Entscheidungen in den Entsorgungsprogrammen der Entsorgungspflichtigen zu dokumentieren und bei Bedarf zu aktualisieren ist. Betreffend Optimierungsmassnahmen ist aus Sicht des ENSI das von der Nagra in NTB 21-01 beschriebene übergeordnete Optimierungsverfahren ausreichend für den jetzigen Stand der Lagerrealisierung.

Ist der Realisierungsplan in seinen Grundzügen korrekt und vollständig?

Der Realisierungsplan für das Kombilager orientiert sich am gesetzlich geforderten schrittweisen Vorgehen gemäss KEG und KEV und bildet die damit verbundenen Schritte korrekt und vollständig ab. Der Realisierungsplan ist in der vorliegenden Form stufengerecht: Für die unmittelbaren Umsetzungsphasen – insbesondere für die Festsetzung der Lagerstandorte – orientiert sich der Realisierungsplan detailliert an den Vorgaben des Sachplans geologische Tiefenlager (BFE 2011).

Gemäss Auflage 6.4 aus der Verfügung des Bundesrats zum Entsorgungsprogramm 2008 (Schweizerischer Bundesrat 2013) sind unter anderem die vorbereitenden Arbeiten für die in der Kernenergiegesetzgebung geforderten Themen Projekt für die Beobachtungsphase, Plan für den Verschluss der Anlage sowie Konzepte für die Rückholung ohne grossen Aufwand, für die Markierung und für den temporären Verschluss in Krisenzeiten in zukünftigen Entsorgungsprogrammen darzulegen. Die Entsorgungspflichtigen haben im Realisierungsplan dargelegt, wann sie welche Unterlagen zu den Themen Beobachtungsphase, Verschluss des Lagers, Rückholung ohne grossen Aufwand und temporären Verschluss in Krisenzeiten einreichen werden. Im RD&D-Plan wird u. a. in den spezifischen Roadmaps aufgezeigt, wann die Nagra diese Arbeiten in Angriff nehmen möchte. Diese Angaben sind kompatibel mit den behördlichen Vorgaben. Aus Sicht des ENSI ist daher dieser Teil der Auflage 6.4 (Schweizerischer Bundesrat 2018b) zum Realisierungsplan erfüllt. Die Arbeiten zur Langzeitarchivierung der Information und der Markierung werden insbesondere vom BFE beurteilt und somit in deren Stellungnahme festgehalten. Aufgrund ihres periodischen Charakters, bleibt die Auflage 6.4 auch für künftige Aktualisierungen des Entsorgungsprogramms bestehen. Die vorbereitenden Arbeiten zu den genannten Themen in der Bundesratsauflage sind in zukünftigen Entsorgungsprogrammen bzw. RD&D-Plänen zu konkretisieren und gemäss jeweiligem Projektstand weiterzuentwickeln (vgl. auch Kap. 3 zum Thema Pilotlager und Verschluss).

Das langfristige Datenmanagement und die Archivierung von Proben und Daten sind gemäss Nagra (NAB 20-28) ein wichtiges Thema bei Überwachungsprogrammen eines geologischen Tiefenlagers. Zum einen müssen Daten und Proben für lange Zeiträume aufbewahrt werden, zum anderen muss sichergestellt werden, dass sie auch langfristig nutzbar sind, damit sie als Datengrundlage für Entscheidungen auch für zukünftige Generationen zur Verfügung stehen. Laut Nagra werden konkrete Arbeiten zur Planung, Vorbereitung und Beschaffungen bezüglich

des Managements und der Archivierung von Proben und Daten erst nach dem Rahmenbewilligungsgesuch ausgeführt (dazu gehören dann auch die Prozessbeschreibungen, Datenmodelle etc.). Die Arbeiten werden frühzeitig beginnen, so dass die entsprechenden Systeme bis zum Start der ersten Messungen und Probenahmen zur Verfügung stehen.

Das ENSI ist mit den Grundsätzen der Nagra für das langfristige Datenmanagement und für die Archivierung von Proben einverstanden. Die Expertengruppe geologische Tiefenlagerung (EGT) kommt in ihrem Positionspapier (EGT 2022) zum Schluss, dass bereits im Rahmen des SGT wichtige Daten und Proben gesammelt wurden, die für spätere Schritte bei der Realisierung zur Verfügung stehen sollen. Das ENSI stimmt dieser Schlussfolgerung zu und formuliert daher folgenden neuen Auflagenantrag.

Auflagenantrag A.3: *Ein aktualisierter Datenmanagement-Plan ist im Rahmen der zukünftigen Entsorgungsprogramme jeweils einzureichen und in diesem ist festzulegen, wie mit den im Rahmen des Sachplans erarbeiteten und in den folgenden Schritten der Realisierung eines geologischen Tiefenlagers gesammelten und verarbeiteten Daten und Informationen umgegangen wird. Im Datenmanagement-Plan ist zu regeln, ab wann, für wie lange und in welcher Qualität welche Daten und Informationen aktiv verfügbar sind, welche Informationen langfristig archiviert werden, welche Technologien dafür eingesetzt werden und welche Ressourcen dazu notwendig sind.*

Stimmt der Realisierungszeitplan mit der angestrebten Inbetriebnahme des SMA- bzw. HAA-Lagerteils überein?

Der vorgelegte Zeitplan der Entsorgungspflichtigen für die Abwicklung der technischen Arbeiten und die Durchführung der erforderlichen behördlichen Verfahren berücksichtigt den SGT und hat eine Betriebsaufnahme des SMA-Lagers ab 2050 bzw. des HAA-Lagers ab 2060 zum Ziel. Dabei wird angenommen, dass sich alle Beteiligten (Entsorgungspflichtige, Bewilligungs- und Aufsichtsbehörden) für eine verzugslose Abwicklung der Arbeiten einsetzen und die Rechtsmittel in den erforderlichen Bewilligungsverfahren nicht ausgeschöpft werden.

Der Realisierungsplan der Entsorgungspflichtigen geht davon aus, dass die Bauten für EUU inklusive der erforderlichen Zugänge ohne grössere Aufwände für die Umnutzung in die geologischen Tiefenlager integriert werden können. Die Entsorgungspflichtigen mussten daher im Rahmen des Entsorgungsprogramms 2021 gemäss Bundesratsaufgabe 5.6 (Schweizerischer Bundesrat 2018b) die Anforderungen für die verschiedenen Nutzungsphasen der EUU darlegen und erläutern, wie und wann die technischen Nachweise erfolgen sollen, um eine spätere Umnutzung zu erreichen. Die Entsorgungspflichtigen haben in NTB 21-01 und NAB 21-14 plausibel und stufengerecht die Anforderungen an die verschiedenen Nutzungsphasen und die technische Umnutzung erläutert. Die Nachweise zur Umnutzung der EUU sollen im Rahmen des nuklearen Baugesuchs des SMA-Lagerteils erfolgen. Damit erachtet das ENSI die Aufgabe 5.6 des Bundesrats als erfüllt. Die Entsorgungspflichtigen haben in ihren Unterlagen auch die Empfehlung E.15 in ENSI 33/593 aufgenommen. So werden die Umnutzung bzw. der Rückbau als Rahmenbedingungen für die Erstellung der EUU-Bauwerke berücksichtigt und mögliche Experimente in den EUU und deren mögliche Fortsetzung in den Testbereichen erläutert.

Die Anpassungen der Entsorgungspflichtigen im Realisierungsplan (NTB 21-01; S. 55) betreffen vor allem die Vorbereitung und Abwicklung der EUU. Gemäss Angaben der Entsorgungspflichtigen steht mehr Zeit zur Verfügung für die Erbringung von experimentellen Nachweisen

aus den EUU für den Bau als auch für den Betrieb (H3). Grund dafür ist die Parallelisierung von Prozessen in Zusammenhang mit der Abwicklung der EUU und der Erarbeitung der nuklearen Bau- und Betriebsbewilligungsgesuche. Die Nagra hat in NAB 21-14 und in Abbildung 9 übersichtlich dargestellt, wann die Entsorgungspflichtigen welche Experimente in den EUU durchführen wollen, und erläutert, welcher Zeitbedarf für die jeweiligen Experimente benötigt wird. Damit hat die Nagra die Empfehlung E.5 in ENSI 33/593 erfüllt.

Abbildung 9 zeigt ausserdem, zu welchem Zeitpunkt die Entsorgungspflichtigen Anträge für die Bau- und Betriebsbewilligung stellen wollen. Aus Sicht des ENSI stellt das vorgeschlagene Vorgehen eine gute Basis zur Weiterentwicklung dar. Insbesondere für das Vorgehen bei einem Kombilager müssen u. a. bestimmte Aspekte präzisiert werden:

- Bei einem Kombilager muss die Gesamtanlage betrachtet werden und die optimale Platzierung des HAA-Lagerteils muss aus Sicht der Sicherheit Priorität haben, auch wenn dieser erst nach dem SMA-Lagerteil gebaut wird. Für das ENSI ist nicht ersichtlich, welche Informationen zum HAA-Lagerteil bereits in den Anträgen für die Platzierung des SMA-Lagerteils enthalten sind und ob die Nagra nach dem Rahmenbewilligungsgesuch für ein Kombilager weitere Daten benötigt, um die Lagerfelder für HAA und SMA sicherheitstechnisch optimiert platzieren zu können.
- Aus Abbildung 9 ist nicht ersichtlich, wann die Entsorgungspflichtigen den HAA-H2-Antrag stellen wollen.
- Aus Sicht des ENSI kann der Bau des SMA-Lagerteils erst beginnen, wenn die Prüfung des SMA-H2-Antrags abgeschlossen und die Freigabe durch das ENSI erfolgt ist.

Aus Sicht des ENSI können diese Punkte erst nach Einreichung der Rahmenbewilligungsgesuche am konkreten Standort und Lagerprojekt diskutiert werden. Das ENSI formuliert daher folgenden Auflagenantrag:

Auflagenantrag A.4: *Im nächsten Entsorgungsprogramm ist die Parallelisierung von Prozessen in Zusammenhang mit der Abwicklung der EUU und der Erarbeitung der nuklearen Bau- und Betriebsbewilligungsgesuche zu konkretisieren. Ebenfalls sind darzustellen, welche zusätzlichen Daten bis zum Baugesuch SMA-Lagerteil, Hierarchiestufe H1, benötigt werden, um die Lagerteile für ein Kombilager sicherheitstechnisch optimal zu platzieren.*

Gemäss der Abfallzuteilung im EP21 werden die SMA sowie die ATA dem SMA-Lager bzw. dem SMA-Lagerteil des Kombilagars zugeordnet (vgl. Kap. 4). Damit wären auch die Abfälle aus dem Rückbau des ZWILAG und der OFA des HAA-Lagers bzw. des Kombilagars für diese Lager vorgesehen. Daher geht die Nagra in der aktuellen Planungsannahme davon aus, dass der Verschluss des Hauptlagers SMA zweistufig erfolgt. Damit kann auch die Einlagerung der Stilllegungsabfälle des ZWILAG und der BEVA sichergestellt werden (NTB 21-01, S. 68, Fussnote 32). Aus Sicht des ENSI ist die Planungsannahme der Nagra zielführend. Das ENSI wird die definitive Zuordnung der SMA aus dem Rückbau des ZWILAG und der OFA des HAA-Lagers sowie die entsprechende Zeitplanung des Einlagerungsbetriebes und des Verschlusses des SMA-Lagers bzw. des SMA-Lagerteils des Kombilagars im weiteren Verlauf der Projektrealisierung prüfen.

Im Vergleich zum EP16 wurde der Zeitbedarf für das behördliche Bewilligungsverfahren für die Baugesuche eines SMA-Lagers und eines HAA-Lagers sowie für die Betriebsbewilligung für ein HAA-Lager inklusive Entscheids des UVEK im EP21 von 4 auf 5 Jahre angepasst, wie

in der Stellungnahme vom ENSI (ENSI 33/592) empfohlen. Damit wurde die Empfehlung E.3 in ENSI 33/593 umgesetzt.

Wurden die offenen Fragen und die notwendigen Arbeiten (stufengerecht) identifiziert?

Der Handlungsbedarf für die Forschung und Entwicklung leitet sich aus dem aktuellen Stand der Tiefenlagerprojekte SMA und HAA ab; für das weitere Vorgehen haben die Entsorgungspflichtigen, ausgehend von einem Realisierungskonzept, den Handlungsspielraum analysiert und die zu bearbeitenden Themen aufgezeigt (NTB 21-01, Tab. A.3-1 und in Kap. 7 in sogenannten „Roadmaps“ dargestellt).

Nach dem Einreichen des Rahmenbewilligungsgesuchs wird die weitere Forschung und Entwicklung mehrheitlich für die Optimierung sowie für die Auswahl und Weiterentwicklung der Technologie genutzt werden, um den erforderlichen Kenntnisstand bzgl. Technologie bis zum Baugesuch zu erreichen. Nach dem Baugesuch werden die Schwerpunkte des Forschungsaufwands auf der Verifizierung und Optimierung der Betriebsabläufe sein. Das ENSI hat daher geprüft, wie der Prozess der Identifikation und Priorisierung des Forschungsbedarfs bei der Nagra abgewickelt wird.

In Bezug auf offene Fragen und auf die notwendigen Arbeiten ist die Nagra auf die Bundesratsaufgabe 4.1 wie folgt eingegangen. Sie hat Themen definiert, die eine grosse RD&D-Komponente haben. Für jedes dieser Themen wurde eine spezifische Roadmap bis 2060, also bis zum Start des Betriebs im HAA-Lagerteil, erstellt. Diese Roadmaps werden ausführlich in Kapitel 7 des NTB 21-02 beschrieben, heben die Aktivitäten hervor, die für die Erreichung der nächsten Meilensteine wichtig sind und erläutern, wie die erforderlichen Lösungen zeitnah erreicht werden können. Aus Sicht des ENSI ist das Vorgehen eine deutliche Verbesserung im Vergleich zum EP16. Die Bundesratsaufgabe 4.1 ist für das EP21 erfüllt. Sie bleibt gemäss Verfügung des Bundesrats (Schweizerischer Bundesrat 2018b) für zukünftige Entsorgungsprogramme bestehen.

Die Entsorgungspflichtigen haben gemäss Auflage 4.2 aus der Verfügung des Bundesrats zum EP16 (Schweizerischer Bundesrat 2018b) den zeitlichen Rahmen für die Realisierung des Gesamtsystems der geologischen Tiefenlager in NTB 21-01 anhand der Planung des Sachplans und der Bewilligungsschritte gemäss KEG/KEV dargestellt. Ebenfalls wurde im Rahmen der Kostenstudie 2021 eine mögliche technische Umsetzung des Gesamtsystems dokumentiert. Ein Anforderungs- und Konfigurationsmanagement (RCM) stellt eine weitere Möglichkeit für eine vernetzte Darstellung der einzelnen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten untereinander und mit den Meilensteinen und Entscheidungen bei der Realisierung in Form von Berichten dar (vgl. Richtlinie ENSI-G03/d, 11d-e). Die Nagra hat in NTB 21-02, Kapitel 5.3.1, ihr Vorgehen zum RCM beschrieben. Zusätzlich hat das ENSI sich in drei Fachsitzungen über die Weiterentwicklung des RCM informiert (ENSI 33/601, ENSI 33/818 und ENSI 33/781).

Gemäss Nagra werden im aktuellen Tiefenlagerprojekt auch Varianten auf verschiedenen Ebenen entwickelt, von denen viele im RCM beschrieben werden. Diese werden in künftigen Programmphasen weiterentwickelt und bewertet werden. Die endgültige Wahl unter den Varianten erfolgt in der Optimierungsphase nach den Rahmenbewilligungsgesuchen im Hinblick auf die Einreichung des Baugesuchs. Die RD&D-Aktivitäten sind laut Nagra mit den entsprechenden RCM-Anforderungen verknüpft. Aus Sicht des ENSI haben die Entsorgungspflichtigen gute Fortschritte gemacht, weshalb die Auflage 4.2 für das EP21 erfüllt ist.

In NTB 21-02 wurden nicht für alle Forschungsaspekte Alternativen gezeigt (siehe Kapitel 7). Für welche Forschungsaspekte im Hinblick zur Optimierung Alternativen notwendig sind, ergibt sich erst aus einem Vergleich mit der systematischen und umfassenden Dokumentation der Anforderungen an das Tiefenlager (RCM). Diese Dokumentation ist aus Sicht des ENSI notwendig, damit alle erforderlichen Informationen und Begründungen für Entscheide auch in Zukunft zur Verfügung stehen. Sie ist für den langfristigen Wissenserhalt wichtig (vgl. Erläuterungsbericht zur Richtlinie ENSI-G03/d, Kap. 11) und sollte spätestens mit der getroffenen Standortwahl beginnen.

Das ENSI wird daher nach der getroffenen Standortwahl im Rahmen des Rahmenbewilligungsgesuchs die Dokumentation der Anforderungen an das Tiefenlager sowie im Rahmen des nächsten Entsorgungsprogramms die Auswahl der Varianten im Hinblick zur Optimierung und ihre Verknüpfung zu den Forschungsaktivitäten prüfen.

Bleibt der gewünschte Handlungsspielraum in der stufenweisen Umsetzung des Entsorgungsprogramms (Realisierungsplan) erhalten?

Das ENSI stellt fest, dass im vorgelegten Realisierungsplan die grundsätzlichen Abläufe festgelegt, die notwendigen Arbeiten sowie der erforderliche Handlungsspielraum stufengerecht identifiziert und die für die Umsetzung des Entsorgungsprogramms relevanten Entscheidungspunkte korrekt bezeichnet werden. Bezüglich der Standortauswahl folgt der Plan den Vorgaben des SGT.

Für wichtige Fragestellungen bzgl. Alternativen in der zukünftigen Entwicklung der Projekte und Möglichkeiten zur Optimierung der Anlagen werden durch die Entsorgungspflichtigen Entscheidungspunkte festgelegt. Dadurch können die Flexibilität bzgl. der zukünftigen Entwicklung der Lagerrealisierung und der Handlungsspielraum zur Optimierung der Anlage stufengerecht ausgenutzt werden (vgl. NTB 21-01, Tab. A.2.2). Mit den Rahmen-, Bau- und Betriebsbewilligungsgesuchen, dem Gesuch zum Verschluss des geologischen Tiefenlagers und mit dem Gesuch um Feststellung des ordnungsgemässen Verschlusses sind dem ENSI gemäss KEG entsprechende Sicherheitsnachweise vorzulegen. Dabei hängt der erforderliche Detaillierungsgrad von der Stufe des Bewilligungsverfahrens ab. Ferner sind die Sicherheitsnachweise periodisch gemäss aktuellem Zustand der Anlage und dem Stand von Wissenschaft und Technik anzupassen (vgl. Richtlinie ENSI-G03/d, Kap. 9).

In dieser Hinsicht gewährleistet der Realisierungsplan nach Einschätzung des ENSI den erforderlichen Handlungsspielraum und genügend Flexibilität, um relevante technische und wissenschaftliche Erkenntnisse, insbesondere für den Bau, Betrieb und Verschluss der geologischen Tiefenlager, zu berücksichtigen.

6 Zwischenlagerung

Angaben der Nagra

Die anfallenden radioaktiven Abfälle müssen zwischengelagert werden, bis die entsprechenden geologischen Tiefenlager annahmefähig sind. Die Zwischenlagerung der Betriebs-, Reaktor- und Stilllegungsabfälle der KKW erfolgt im Zentralen Zwischenlager (ZWILAG) oder im Zwischenlager des KKB (ZWIBEZ). Die Lagerung von Abfällen aus dem MIF-Bereich erfolgt auf dem Gelände des PSI im Bundeszwischenlager (BZL-1) resp. in der zu dessen Erweiterung geplanten Anlage BZL-2 und unterliegt der Verantwortung des Bundes.

Aufgrund der vorgesehenen Inbetriebnahme des geologischen Tiefenlagers für SMA im Jahr 2050 müssten bei einem 50-jährigen Betrieb alle Abfälle der KKW im ZWILAG/ZWIBEZ zwischengelagert und von dort zu den geologischen Tiefenlagern transportiert werden. Bei einem 60-jährigen Betrieb der KKW wäre es prinzipiell möglich, die Stilllegungsabfälle von KKL direkt zum SMA-Lager zu transportieren. Für eine konservative Abschätzung der maximal benötigten Zwischenlagerkapazität wird jedoch angenommen, dass auch im Szenario „60 Jahre Betrieb KKW“ alle Abfälle zwischengelagert werden, bevor sie zu den geologischen Tiefenlagern transportiert werden. Damit wird dem denkbar konservativsten Abfallvolumen sowie einer allfälligen Verzögerung der Inbetriebnahme des SMA-Lagers Rechnung getragen.

Im EP21 werden die Kapazitäten der dezentralen Zwischenlager bei den KKW – analog zum EP16 – nicht betrachtet. Die Zwischenlagerkapazität während des Betriebs der KKW ist in jedem Fall gegeben, da bei den Anlagen ZWILAG und ZWIBEZ zu jeder Zeit eine ausreichende Kapazität zur Verfügung steht. Im EP21 erfolgt analog dem EP16 eine detailliertere Betrachtung der Zwischenlagerkapazität; diese berücksichtigt die tatsächliche Zwischenlagerlogistik vor Ort (Einbringung von Gebinden in Lagercontainer, Randbedingungen für die Stapelhöhen, maximale Bodenbelastungen).

Der Bundesrat hat im Hinblick auf das EP21 eine spezifische Auflage zur Anzahl der Stellplätze für die Zwischenlagerung von BE und HAA(WA) formuliert (Bundesratsaufgabe 5.8, Schweizerischer Bundesrat 2018b) und die Betreiberinnen der KKW aufgefordert, im EP21 neue Konzepte zur Erhöhung der Anzahl Stellplätze für die Zwischenlagerung abgebrannter BE und verglasten HAA zu erstellen. In einer Studie der Zwischenlager Würenlingen AG (Kasemeyer 2021) wird ausgewiesen, dass auch unter Berücksichtigung der gestellten Anforderungen verschiedene Varianten zur Erhöhung und Optimierung der Anzahl Stellplätze bestehen.

Die Anlagen für die Zwischenlagerung von abgebrannten BE und verglasten HAA im ZWILAG und ZWIBEZ werden im EP21 bezüglich Kapazität als Einheit betrachtet. Ohne Optimierung ist hinsichtlich der Belegung im Szenario „60 Jahre Betrieb KKW“ von einem Belegungsgrad von max. 105 % auszugehen. Wird hingegen die Anzahl der Stellplätze durch eine verbesserte Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Lagerbereichs optimiert, führt dies zu einem Belegungsgrad von 91 %.

Für die Abfälle des Bundes stehen mit dem bestehenden BZL-1 und dem geplanten BZL-2 zwei Zwischenlager zur Verfügung. Für die Betrachtung der Zwischenlagerkapazität im MIF-Bereich wird im EP21 berücksichtigt, dass

- die Produktion von MIF-Abfällen für die geologische Tiefenlagerung zwar bis ins Jahr 2064 läuft, diese jedoch ab 2050 ohne Belegung der Zwischenlager (BZL-1,

BZL-2) direkt ins Tiefenlager gebracht werden können;

- die Stilllegung der Anlagen des PSI-West ab 2050 geplant werden kann, was ebenfalls zu keiner Belegung der Zwischenlager (BZL-1, BZL-2) führt.

Mit diesen Annahmen ergibt sich eine Auslastung der Lager BZL und OSPA von ca. 99 %.

Zur verfügbaren Zwischenlagerkapazität für radioaktive Abfälle des CERN wurde von ENSI für das EP21 ein Auflagenantrag A.9 (ENSI 33/592) 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. Gemäss EP21 untersucht eine Arbeitsgruppe BAG – CERN – PSI für mögliche CERN-Rückbauabfälle die Option einer Vorkonditionierung beim CERN und einer Zwischenlagerung in einem neu zu erstellendem 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. Die CERN-Betriebsabfälle werden gemäss aktueller Planung im BZL-1 und BZL-2 zwischengelagert.

Im EP21 wird gezeigt, dass auch für das Szenario „60 Jahre Betrieb KKW“ und bei einer allfälligen Verzögerung der Inbetriebnahme des SMA-Lagers genügende Zwischenlagerkapazität in den bestehenden Zwischenlagern vorhanden ist. Falls sich die Inbetriebnahme der geologischen Tiefenlager verzögern sollte, können die Zwischenlager auch länger betrieben werden.

Durch die Revision der Strahlenschutzverordnung mit revidierten nuklidspezifischen Freigrenzen fällt im Vergleich zum EP16 zusätzliches Material an. Dieses Material ist sehr schwachaktiv und kann nach einer «Abklingzeit» freigemessen werden und eine grosse Teilmenge davon dem Wertstoffkreislauf zugeführt werden; der Rest kann konventionell entsorgt werden. Dazu sind «Abklinglager» nötig, wo das Material bis zu seiner konventionellen Freigabe aufbewahrt wird.

Der Bundesrat hat im Hinblick auf das EP21 eine spezifische Empfehlung zur Langzeitstabilität von abgebrannten BE formuliert (Bundesratsaufgabe 6.1) und die Nagra aufgefordert, Forschungsaktivitäten hinsichtlich Brennelement-Alterung und Trockenlagerung in zukünftigen RD&D-Plänen zu berücksichtigen. Zudem sind die Ergebnisse der Forschungsprojekte und Experimente, die in der vorherigen Version des RD&D-Plans aufgeführt wurden, aufzuzeigen. Im EP21 finden sich daher entsprechende spezifische Hinweise zu eigenen Untersuchungen sowie zu anderweitigen Arbeiten in Zusammenhang mit der Langzeitstabilität, Brennelement-Alterung und Trockenlagerung von abgebrannten BE.

Die Nagra kommt zum Schluss, dass gemäss aktuellem Kenntnisstand davon ausgegangen werden kann, dass keine signifikanten Schäden an BE durch Alterung und Trockenlagerung zu erwarten sind und in jedem Fall eine sichere Handhabbarkeit und Entsorgung der Abfälle gewährleistet werden kann.

Beurteilung des ENSI

Die Angaben der Nagra bezüglich der Kapazitäten der Zwischenlager sind nachvollziehbar. Mit der Berücksichtigung der Zwischenlagerlogistik (Einbringung von Gebinden in Lagercontainer, Randbedingungen für die Stapelhöhen, maximale Bodenbelastungen) kann eine detaillierte Betrachtung der Zwischenlagerkapazität ermittelt werden.

Das ENSI stimmt der Aussage im EP21 zu, dass für die bestehenden KKW und für die bis 2050 erwarteten Abfälle aus dem MIF-Bereich (mit Ausnahme des CERN) genügend Zwischenlagerkapazität zur Verfügung gestellt werden kann. Die Betriebszeiten der bestehenden Zwischenlager sind grundsätzlich flexibel und können mit administrativen und technischen Massnahmen angepasst werden.

In den Anlagen für die Zwischenlagerung von abgebrannten BE und verglasten HAA in ZWILAG und ZWIBEZ stehen gemäss dem vom ENSI akzeptierten Stellplatzkonzept 200 bzw. 48 Plätze zur Verfügung. Um die Anzahl der Stellplätze für die Zwischenlagerung abgebrannter BE und verglaster HAA zu erhöhen, wurden von den Entsorgungspflichtigen mit dem EP21 neue Konzepte erstellt und dem ENSI zur Prüfung eingereicht.

Das ENSI hat das eingereichte Optimierungskonzept (Kasemeyer 2021) auf Plausibilität geprüft und erachtet die vorgeschlagene Erweiterung als verhältnismässig. Die Darlegungen zu den verschiedenen Varianten und die durchgeführten Analysen sind für das ENSI nachvollziehbar. Obwohl die operationellen Strahlenschutzaspekte (z. B. Dosisminimierung für das Personal) bei der Nutzwertanalyse nicht berücksichtigt worden sind, geht das ENSI davon aus, dass diese das Resultat der Analyse nicht nennenswert beeinträchtigen würden. Gleichwohl kann das ENSI zum jetzigen Zeitpunkt keine vertiefte Prüfung der vorgeschlagenen Varianten durchführen, da hierfür vorerst die entsprechenden Nachweise erbracht und vorgelegt werden müssen. Erst nach deren Prüfung kann sich das ENSI zur Bewertung der Optimierungsvariante(n) äussern. Das ENSI kommt zu dem Schluss, dass die Betreiberinnen der KKW die Bundesratsauflage 5.8 (Schweizerischer Bundesrat 2018b) im Rahmen des Entsorgungsprogramms 2021 erfüllt haben. Das Konzept zur Erhöhung der Anzahl Stellplätze für die Zwischenlagerung abgebrannter BE und verglaster HAA ist aus Sicht des ENSI weiter zu konkretisieren, weshalb der folgende Auflagenantrag formuliert wird:

Auflagenantrag A.5: *Das Konzept zur Erhöhung der Anzahl Stellplätze für die Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente und verglaster hochaktiver Abfälle ist unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus der aktuell laufenden Aktualisierung des Stellplatzkonzeptes für das nächste Entsorgungsprogramm weiterzuentwickeln.*

Die für die KKW gewählte Methode der konservativen Abschätzung der maximal benötigten Zwischenlagerkapazität wird im MIF-Bereich nicht übernommen. Insbesondere ist für die Stilllegungsabfälle der Anlagen des PSI-West eine direkte Anlieferung an das geologische Tiefenlager vorgesehen und keinerlei Zwischenlagerkapazität eingeplant. Bei einer allfälligen Verzögerung der Inbetriebnahme des SMA-Lagers sollen aus Sicht des ENSI neue Kapazitätsreserven für die Zwischenlagerung von MIF-Abfällen (Produktion ab 2050) und für die Stilllegung der Anlagen des PSI-West geplant werden.

Hinweis: *Bei einer allfälligen Verzögerung der Inbetriebnahme des SMA-Lagers sollen aus Sicht des ENSI neue Kapazitätsreserven für die Zwischenlagerung von MIF-Abfällen (Produktion ab 2050) und für die Stilllegung der Anlagen des PSI-West geplant werden.*

Das ENSI ist über die Arbeit im Zusammenhang mit der Untersuchung einer Verfügbarkeit für die Zwischenlagerung von CERN-Rückbauabfällen informiert. Das ENSI erachtet die Option einer Vorkonditionierung beim CERN und einer Zwischenlagerung in einem neu zu erstellenden Zwischenlager (CERN-ZL) auf dem PSI-Areal als machbar.

Der Bundesrat hat in seiner Verfügung zum EP16 befunden, dass der Auflagenantrag A.9 des ENSI bezüglich zusätzliche Kapazitätsreserve für die Abklinglagerung bzw. Zwischenlagerung

von CERN-Rückbauabfällen verschiedene Bundesstellen betrifft. Die Planung der Zwischenlagerung und Abklinglagerung 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. Die Agneb hat die Thematik eines eventuell zu errichtenden weiteren Zwischenlagers für CERN-Abfälle auf dem Gelände des PSI aufgegriffen.

Im aktuellen RD&D-Plan beschreibt die Nagra die durchgeführten und geplanten Forschungsaktivitäten hinsichtlich Brennelement-Alterung und Trockenlagerung (NTB 21-02, Kap 7.1 und Kap. 8.3.4), und fasst den bisherigen Kenntnisstand im EP21 zusammen (NTB 21-01, Anhang A.8.7). Damit wird die Bundesratsauflage 6.1 umgesetzt. Zudem wurde das ENSI in Fachgesprächen von der Nagra regelmässig über die Fortschritte der Untersuchungen informiert (z. B. ENSI 33/833, ENSI 33/907). Da der Fokus der bisherigen Untersuchungen zum mechanischen Verhalten von Brennstäben unter störfallbedingten Belastungen auf den für Druckwasserreaktoren typischen Materialien lag, empfiehlt das ENSI, in den künftigen Untersuchungen auch das Störfallverhalten von hochabgebrannten Siedewasserreaktor-Brennstäben zu betrachten.

Hinweis: Das ENSI empfiehlt, in den künftigen Untersuchungen der Langzeitstabilität von abgebrannten Brennelementen während der Zwischenlagerung auch das Störfallverhalten von hochabgebrannten Siedewasserreaktor-Brennstäben zu betrachten.

7 RD&D-Plan

Die Nagra hat der Auflage 4.1 aus der Verfügung des Bundesrats (Schweizerischer Bundesrat 2018b) folgend zusammen mit dem Entsorgungsprogramm einen Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrations-Plan (RD&D-Plan, NTB 21-02) eingereicht. Im RD&D-Plan sind Zweck, Umfang, Art und zeitliche Abfolge der zukünftigen RD&D-Aktivitäten dokumentiert. Zu den einzelnen Themenbereichen sind die jeweiligen Ziele dargestellt, der bestehende Stand von Wissenschaft und Technik, der Fortschritt seit dem letzten RD&D-Plan 2016 (NTB 16-02) und es werden die geplanten Aktivitäten für die nächsten 5 bis 10 Jahre kurz zusammengefasst. Über diesen Zeitraum hinaus beschreibt die Nagra die RD&D-Aktivitäten allgemeiner.

7.1 Beurteilungsschwerpunkte des ENSI

Das ENSI hat sich bei der Beurteilung des RD&D-Plans 2021 der Nagra an folgenden Aspekten orientiert:

Aktueller Stand von Wissenschaft und Technik

Das ENSI hat geprüft, ob aus seiner Sicht der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik auf den Forschungsgebieten von der Nagra korrekt eingeschätzt wurde, oder ob relevante Aspekte nicht berücksichtigt wurden.

Fortschritte im Vergleich zum RD&D-Plan von 2016

Die Nagra hat im RD&D-Plan 2016 Forschungsziele definiert. Das ENSI verfolgt, inwieweit diese Ziele stufengerecht erreicht wurden oder sie allenfalls weiterbestehen.

Ziele der nächsten 5–10 Jahre und Bearbeitungszeiten für diese Ziele

Das ENSI hat geprüft, ob die auf den jeweiligen Forschungsgebieten für die kommenden 5–10 Jahre gesteckten Ziele sinnvoll und realistisch erreichbar sind, um eine fristgemässe Realisierung des geologischen Tiefenlagers zu ermöglichen. Hierbei wurde auch die zeitliche Verknüpfung der Forschungsaktivitäten mit dem Realisierungsplan des Entsorgungsprogramms berücksichtigt. Das ENSI hat geprüft, ob sich aus seiner Sicht zum jetzigen Zeitpunkt wichtiger Forschungsbedarf abzeichnet, den die Nagra aktuell nicht abzudecken plant.

Berücksichtigung von Auflagen zum RD&D-Plan der Nagra

Das ENSI hat geprüft, inwieweit die Auflagen aus der Verfügung des Bundesrats zum Entsorgungsprogramm 2016 (Schweizerischer Bundesrat 2018b) mit den eingereichten Dokumenten (EP21 sowie RD&D-Plan 2021) erfüllt wurden und welche Auflagen allenfalls für künftige Aktualisierungen weiter bestehen bleiben. Falls notwendig, stellt das ENSI neue Forderungen zu den künftigen Aktualisierungen der oben genannten Dokumente.

7.2 Beurteilung des ENSI

Im Folgenden wird die Erfüllung derjenigen Auflagen aus der Verfügung des Bundesrats zum EP16 (Schweizerischer Bundesrat 2018b) beurteilt, welche ausschliesslich den RD&D-Plan betreffen.

Auflage 4.1 Forschungsprogramm

Die Nagra hat gemäss Auflage 4.1 zusammen mit dem Entsorgungsprogramm einen RD&D-Plan eingereicht. Damit ist dieser Teil der Auflage erfüllt. Die Nagra hat mit den im RD&D-Plan enthaltenen Roadmaps die wichtigen offenen Fragen aufgelistet und einen Zeitplan für deren Beantwortung erstellt. Mit den neu erstellten Roadmaps hat die Nagra das Thema der offenen Fragen angemessen behandelt.

Die von der Nagra erstellten Roadmaps für die Behandlung von offenen Fragen sind im nächsten RD&D-Plan zu aktualisieren. Darüber hinaus haben das ENSI und seine Experten festgestellt, dass die Nagra im RD&D-Plan als einzige Konsequenz anführt, dass es zu zeitlichen Verzögerungen im Bewilligungsprozess kommen kann. Gemäss Art. 31 KEG ist ein Tiefenlager von den Entsorgungspflichtigen rechtzeitig bereitzustellen. Das ENSI empfiehlt der Nagra deshalb, im nächsten Entsorgungsprogramm vertiefter zu erläutern, mit welchen Massnahmen sie plant, Verzögerungen zu vermeiden bzw. möglichst klein zu halten. Die Auflage bleibt aufgrund ihres periodischen Charakters auch für künftige Aktualisierungen des Entsorgungsprogramms bestehen und ist entsprechend im nächsten Entsorgungsprogramm zu ergänzen.

Auflage 6.1 Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsplan

Die Auflage 6.1 betreffend Forschungsaktivitäten hinsichtlich Brennelement-Alterung und Trockenlagerung wird im Kapitel 6 behandelt und ist aus Sicht des ENSI erfüllt.

Auflage 6.5 Berücksichtigung von Erfahrung und des Standes von Wissenschaft und Technik

Die Nagra geht mit dem Bericht NTB 21-02 auf die Berücksichtigung der Erfahrung und des Stands von Wissenschaft und Technik ein. Das ENSI kommt zum Ergebnis, dass das Vorgehen im RD&D-Plan die Beurteilungskriterien nach Kapitel 7.1 und somit auch die Auflage 6.5 aus der Verfügung des Bundesrats zum Entsorgungsprogramm 2016 (Schweizerischer Bundesrat 2018b) erfüllt. Spezifische Hinweise zu einzelnen Aspekten im Entsorgungsprogramm und RD&D-Plan, deren sicherheitstechnische Relevanz von untergeordneter Bedeutung ist und die im Rahmen der laufenden Aufsichtstätigkeit behandelt werden, sind in einer separaten Aktennotiz ENSI 33/939 aufgeführt.

Das ENSI und seine Experten haben festgestellt, dass im RD&D-Plan der Fortschritt im Vergleich mit dem vorherigen RD&D-Plan nicht immer erläutert wurde. Es ist deshalb dem ENSI nicht klar, ob ein Forschungsprojekt erfolgreich beendet wurde und welche Erkenntnisse gewonnen wurden.

Auflagenantrag A.6: *In künftigen Entsorgungsprogrammen sind in den RD&D-Plänen zu jedem Forschungsgebiet die Fortschritte der Forschungsprojekte gegenüber dem Stand im vorherigen RD&D-Plan aufzuzeigen. Dies betrifft insbesondere auch die Fälle, in denen ein Experiment nicht erfolgreich war oder abgebrochen wurde.*

Betreffend Optimierungsmassnahmen ist aus Sicht des ENSI das von der Nagra in NTB 21-01 beschriebene übergeordnete Optimierungsverfahren ausreichend für den jetzigen Stand der Lagerrealisierung. Im nächsten Entsorgungsprogramm erwartet das ENSI eine aktualisierte Dokumentation des Optimierungsverfahrens, welches auch konkrete Beispiele aufführt.

Hinweis: *Das ENSI empfiehlt im nächsten Entsorgungsprogramm das Optimierungsverfahren zu aktualisieren (vgl. Richtlinie ENSI-G03) und mit konkreten Beispielen zu ergänzen.*

Neuer Auflageantrag zur Verknüpfung von Daten und Modellen

Der Sicherheitsnachweis für ein geologisches Tiefenlager muss sich gemäss Richtlinie ENSI-G03/d am aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik orientieren. Dies bedarf im Zuge der einzelnen Bewilligungsschritte eines Tiefenlagers einer regelmässigen Weiterentwicklung und Verbesserung des Sicherheitsnachweises. Hierfür ist es wichtig, dass sich die kontinuierliche Verbesserung des Prozessverständnisses im Umfeld der Untertagebauten (z. B. modellbasierte Prognose und Vergleich mit Messwerten) auch in verbesserten Modellen (z. B. Anpassung der Modelle) widerspiegelt. Dies bildet die Basis, um Wechselwirkungen zunehmend besser quantifizieren und deren Folgen für das Barrierensystem (z. B. Störungen) abschätzen zu können.

Moderne digitale Konzepte, wie z. B. «Building Information Modelling» (BIM) und «digitale Zwillinge», gewinnen in aktuellen Infrastruktur- und Untertagebauprojekten immer mehr an Bedeutung. Das ENSI sieht Potential für die Verknüpfung solcher Systeme mit den mathematischen Modellen für den Sicherheitsnachweis. Das ENSI formuliert daher folgenden Auflageantrag:

Auflagenantrag A.7: *Im Rahmen des nächsten Entsorgungsprogramms ist darzulegen, welche Strategien für die Verknüpfung von Daten, geometrischen Informationen und mathematischen Modellen für den Sicherheitsnachweis verfolgt werden. Dabei ist auch die mögliche Rolle moderner digitaler Konzepte, wie z. B. «Building Information Modelling» und «digitale Zwillinge», zu erläutern.*

8 Zusammenfassende Bewertung

Zusammenfassende Bewertung

Das ENSI kommt mit seiner Prüfung zum Schluss, dass die Nagra mit dem Einreichen des Entsorgungsprogramms und des RD&D-Plans den gesetzlichen Auftrag gemäss Art. 32 KEG und Art. 52 KEV – bezogen auf die vom ENSI zu prüfenden Aspekte – erfüllt hat.

Im Rahmen der Prüfung wurden alle Bundesratsauflagen zum Entsorgungsprogramm 2016 (Schweizerischer Bundesrat 2018b) hinsichtlich ihrer Erfüllung bewertet (siehe Kapitel 8.1). Das ENSI empfiehlt auf Basis der jetzt geprüften Unterlagen für die zukünftigen Entsorgungsprogramme weitere Auflagenanträge (siehe Kapitel 8.2). Spezifische Hinweise zu einzelnen Aspekten im Entsorgungsprogramm und RD&D-Plan, deren sicherheitstechnische Relevanz von untergeordneter Bedeutung ist und die im Rahmen der laufenden Aufsicht behandelt werden, sind in einer separaten Aktennotiz (ENSI 33/939) aufgeführt.

Die in Kapitel 1 aufgelisteten Fragen werden vom ENSI wie folgt beantwortet:

Sind das Vorgehen und der Zeitplan für die Realisierung der Tiefenlager plausibel?

Das ENSI kommt in seiner Prüfung und Beurteilung zum Schluss, dass die Entsorgungspflichtigen die gesetzlichen und behördlichen Vorgaben (KEG, KEV, SGT, Richtlinie ENSI-G03/d) im vorgeschlagenen Realisierungsplan korrekt berücksichtigt haben. Der Realisierungsplan bildet das schrittweise nukleare Bewilligungsverfahren korrekt und transparent ab; dies gilt auch für das Verfahren zur Standortwahl (BFE 2011). Zu einigen Aspekten gibt es weiterbestehende Auflagen (Kap. 8.1) und neue Auflagenanträge (Kap. 8.2).

Geben das Entsorgungsprogramm und der RD&D-Plan Aufschluss über die zurzeit wichtigen offenen Fragen für die Realisierung von geologischen Tiefenlagern?

Das ENSI hat geprüft, wie der Prozess der Identifikation und Priorisierung von Forschungsbedarf bei der Nagra abgewickelt wird. Mit den neu erstellten Roadmaps hat die Nagra das Thema der offenen Fragen angemessen behandelt. Aus Sicht des ENSI sind die Roadmaps in den nächsten Entsorgungsprogrammen zu aktualisieren.

Geben das Entsorgungsprogramm und der RD&D-Plan Aufschluss darüber, wie die Beantwortung dieser offenen Fragen angegangen wird und welche Fragen voraussichtlich bis zur Einreichung des nächsten Entsorgungsprogramms vertieft untersucht werden?

Im aktuellen RD&D-Plan erläutert die Nagra die geplanten RD&D-Aktivitäten für die nächsten 5 bis 10 Jahre, also bis zur geplanten Einreichung des Rahmenbewilligungsgesuchs, im Detail. Aktivitäten für den weiter in der Zukunft liegenden Zeitraum werden allgemeiner beschrieben. Das ENSI hat diesbezügliche Hinweise in ENSI 33/939 formuliert.

Ist genügend Zeit vorhanden, um offene Fragen mittels Forschung vertieft klären zu können?

Das ENSI hat geprüft, ob der von der Nagra für die geplanten RD&D-Aktivitäten veranschlagte Zeitrahmen realistisch ist und die Forschungsziele sinnvoll gewählt sind, um eine fristgemässe Realisierung der geologischen Tiefenlager zu ermöglichen. Für den Fall, dass die für die Meilensteine angestrebten Ziele nicht oder nicht vollumfänglich erreicht werden können, führt die Nagra im RD&D-Plan als einzige Konsequenz an, dass es zu zeitlichen Verzögerungen im Bewilligungsprozess kommen kann. Gemäss Art. 31 KEG ist ein Tiefenlager von den

Entsorgungspflichtigen rechtzeitig bereitzustellen. Das ENSI empfiehlt der Nagra deshalb, im nächsten Entsorgungsprogramm vertiefter zu erläutern, mit welchen Massnahmen sie plant, Verzögerungen zu vermeiden bzw. möglichst klein zu halten.

Sind die Lagerkonzepte gesetzeskonform und vollständig, ist das Lagerkonzept technisch machbar und wird der Stand von Wissenschaft und Technik berücksichtigt?

Die von der Nagra in den Lagerkonzepten pro Lagertyp vorgesehenen Systeme gestaffelter, passiv wirkender technischer und natürlicher Barrieren (Mehrfachbarrierensystem gemäss Art. 11, Abs. 2, Bst. b KEV) beurteilt das ENSI als geeignet, um den gesetzlich geforderten dauernden Schutz von Mensch und Umwelt vor der ionisierenden Strahlung radioaktiver Abfälle zu gewährleisten. Der Grundsatz, dass sowohl die technischen als auch die geologischen Barrieren in signifikantem Masse zur Barrierenwirkung des Gesamtsystems beitragen, entspricht den behördlichen Vorgaben (ENSI-G03/d).

Das ENSI ist mit den Aussagen der Nagra in NTB 21-01 bezüglich Lagerauslegung einverstanden. Mit fortschreitender Konkretisierung der Projekte für die geologischen Tiefenlager im Rahmen des Sachplanverfahrens und des weiteren Bewilligungsverfahrens gemäss KEG (2003) muss die Lagerauslegung stufengerecht verfeinert und an die lokalen Bedingungen angepasst sowie die Eignung der verschiedenen Varianten geprüft werden. Die abschliessende Auslegung der Lager bzw. Lagerteile (Anordnung der untertägigen Lagerkammern, Ausgestaltung der technischen Barrieren) ist auf die detaillierten Befunde der EUU, die Resultate aus dem künftigen RD&D-Plan und die Erfahrungen aus ausländischen Programmen abzustimmen. Die in Abbildung 5 dargestellte generische Anordnung der verschiedenen Anlagenelemente und Bauten (OFI und Untertagebauwerke) erscheint zielführend, sie enthält alle gesetzlich geforderten Lagerteile. Das ENSI begrüsst das Vorgehen der Nagra, einen ausreichenden Handlungsspielraum bis zum nuklearen Baugesuch aufrecht zu erhalten, um neue Informationen und Erkenntnisse für die Optimierung des Lagerprojekts zu nutzen.

Wurden Empfehlungen und Auflagen berücksichtigt und stufengerecht umgesetzt?

Diese Frage wird im folgenden Unterkapitel 8.1 diskutiert. Die Bundesratsauflagen wurden mehrheitlich umgesetzt. Es besteht Verbesserungsbedarf bei Auflage 4.1.

8.1 Erfüllung der Auflagen des Bundesrats

In diesem Unterkapitel werden die Berücksichtigung und Erfüllung der Auflagen aus der Verfügung des Bundesrats zum Entsorgungsprogramm 2016 (Schweizerischer Bundesrat 2018b) beurteilt.

Auflage 4.1 Forschungsprogramm (teilerfüllt: Kapitel 5, Kapitel 7)

Auflagentext

Die Nagra hat zusammen mit dem Entsorgungsprogramm ein Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrations-Plan einzureichen. Darin sind Zweck, Umfang, Art und zeitliche Abfolge der zukünftigen Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrations-Aktivitäten zu dokumentieren. In künftige Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrations-Pläne 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.

Beurteilung des ENSI

Im Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrations-Plan 2021 hat die Nagra für Themen, die eine grosse Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationskomponente haben, spezifische Roadmaps bis 2060, also bis zum Start des Betriebs im HAA-Lager bzw. im HAA-Lagerteil des Kombilagers, erstellt. Diese heben die Aktivitäten hervor, die für die Erreichung der nächsten Meilensteine wichtig sind und erläutern, wie die erforderlichen Lösungen zeitnah erreicht werden können. Aus Sicht des ENSI sind die Roadmaps im nächsten Entsorgungsprogramm weiter zu konkretisieren. Das ENSI und seine Experten haben festgestellt, dass die Nagra im RD&D-Plan als einzige Konsequenz anführt, dass es zu zeitlichen Verzögerungen im Bewilligungsprozess kommen kann. Gemäss Art. 31 KEG ist ein Tiefenlager von den Entsorgungspflichtigen rechtzeitig bereitzustellen. Das ENSI empfiehlt der Nagra deshalb, im nächsten Entsorgungsprogramm vertiefter zu erläutern, mit welchen Massnahmen sie plant, Verzögerungen zu vermeiden bzw. möglichst klein zu halten. Damit ist die Auflage 4.1 nicht vollständig erfüllt und entsprechend im nächsten Entsorgungsprogramm zu ergänzen. Die Auflage bleibt aufgrund ihres periodischen Charakters auch für künftige Aktualisierungen des Entsorgungsprogramms bestehen.

Auflage 4.2 Gesamtsystem Tiefenlager (erfüllt: Kapitel 5)

Auflagentext

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 sie wann welche Schwerpunkte gesetzt werden. Für sicherheitsrelevante Entscheidungen sind verschiedene Alternativen zu betrachten und ein insgesamt für die Sicherheit günstiges Vorhaben zu wählen. Getroffene Entscheidungen sollen zusammen mit deren Begründungen in einer Form dokumentiert werden, die langfristig Bestand hat, damit sie auch künftig nachvollziehbar bleiben.

Beurteilung des ENSI

Die Entsorgungspflichtigen haben den zeitlichen Rahmen für die Realisierung des Gesamtsystems der geologischen Tiefenlager im Entsorgungsprogramm 2021 anhand der Planung des SGT und der Bewilligungsschritte gemäss KEG/KEV dargestellt. Ebenfalls wurde im Rahmen der Kostenstudie 2021 eine mögliche technische Umsetzung des Gesamtsystems dokumentiert. Gemäss Nagra werden im aktuellen Tiefenlagerprojekt auch Varianten auf verschiedenen Ebenen entwickelt, die in künftigen Programmphasen weiterentwickelt und bewertet werden. Aus Sicht des ENSI haben die Entsorgungspflichtigen gute Fortschritte gemacht, weshalb die Auflage 4.2 für das bestehende EP21 erfüllt ist. Die Auflage bleibt jedoch aufgrund ihres periodischen Charakters auch für künftige Aktualisierungen des Entsorgungsprogramms bestehen.

Auflage 5.1 Reduktion potenzieller Gasbildung (erfüllt: Kapitel 2)*Auflagentext*

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.

Beurteilung des ENSI

Die Nagra kommt gemäss ihren Ausführungen zum erwarteten Druckaufbau der Gase im geologischen Tiefenlager zum Schluss, dass zum jetzigen Zeitpunkt keine Hinweise vorliegen, welche eine weitere Reduktion der Gasbildung, zum Beispiel durch Einschmelzen der metallischen Abfälle, als notwendig erachten liessen. Damit erfüllt die Nagra im vorliegenden Entsorgungsprogramm 2021 die Auflage 5.1 aus der Verfügung des Bundesrats zum Entsorgungsprogramm 2016 bezüglich der Notwendigkeit einer Reduktion potenzieller Gasbildung. Da die Nagra erst im Rahmenbewilligungsgesuch den Nachweis erbringen wird, dass der erwartete Druckaufbau der Gase keine negativen Auswirkungen auf die günstigen Eigenschaften des Opalinustons hat, bleibt die Auflage bis zur nächsten Aktualisierung des Entsorgungsprogramms bestehen.

Auflage 5.2 Pilotlager (erfüllt: Kapitel 3.1.4)*Auflagentext*

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.

Beurteilung des ENSI

Die Nagra hat Umfang und Inhalt der Messungen zur Überwachung eines Pilotlagers für HAA bzw. SMA im EP21 weiter konkretisiert und die aktuellen Erkenntnisse hinsichtlich des Aspekts der Interpretation der erfassten Messwerte dargelegt. Damit erachtet das ENSI die Bundesratsauflage 5.2 als erfüllt.

Auflage 5.3 Konsequenzen Kombilager (erfüllt: Kapitel 3.2)*Auflagentext*

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.

Beurteilung des ENSI

Aus Sicht des ENSI hat die Nagra die Auflage 5.3 grösstenteils erfüllt. Die in der Auflage angesprochenen Aspekte werden seitens Nagra stufengerecht dargestellt. In ENSI 33/649 wird gefordert, dass die Nagra für jeden einschlusswirksamen Gebirgsbereich den mindestens

erforderlichen Platzbedarf für die Anordnung der untertägigen Teile innerhalb des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs sowie die Ungewissheiten des mindestens erforderlichen Platzbedarfs standortspezifisch darstellt. Daher wird der Aspekt des relativen Platzbedarfs zusammen mit den Rahmenbewilligungsgesuchen durch das ENSI geprüft werden, so dass die Auflage zum Entsorgungsprogramm geschlossen werden kann.

Auflage 5.4 Verschlussvarianten (erfüllt: Kapitel 3.1.3)

Auflagentext

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

Beurteilung des ENSI

Mit dem Aufzeigen und Vergleichen möglicher Verschlussvarianten im Rahmen des Entsorgungsprogramms 2021 hat die Nagra aus Sicht des ENSI die Auflage 5.4 des Bundesrates umgesetzt. Mit den von der Nagra berücksichtigten Varianten werden die wichtigsten Aspekte abgedeckt und sowohl hinsichtlich der Bautechnik aber auch des zeitlichen Verlaufs ausreichend Optionen zur Optimierung im weiteren Verlauf des Verfahrens gegeben.

Auflage 5.5 Nullmessungen (erfüllt: Kapitel 3.1.4)

Auflagentext

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.

Beurteilung des ENSI

Vorarbeiten der Nagra zu den Nullmessungen sind bereits erfolgt und die teilweise seit 2016 weiter ausgebauten Messnetze für die Langzeitbeobachtungen erachtet das ENSI als sinnvoll und zielführend. Die von der Nagra aufgezeigte Liste von Prozessen und zu messenden Parametern ist für das ENSI nachvollziehbar. Damit ist die Bundesratsauflage 5.5 erfüllt.

Auflage 5.6 Nutzungsphasen der Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertage (erfüllt: Kapitel 5)

Auflagentext

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

Beurteilung des ENSI

Die Nagra hat die Anforderungen an die verschiedenen Nutzungsphasen und die technische Umnutzung im Entsorgungsprogramm und im dazugehörigen Hintergrundbericht plausibel und stufengerecht erläutert. Die Nachweise zur Umnutzung der erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag werden im Rahmen des nuklearen Baugesuchs erfolgen. Damit erachtet das ENSI die Bundesratsauflage 5.6 als erfüllt.

Auflage 5.7 Erfahrungsgewinn Lagerauslegung (erfüllt: Kapitel 3.3)*Auflagentext*

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.

Beurteilung des ENSI

Der Optimierung der Lagerauslegung liegt ein schrittweises Vorgehen zugrunde, das im schweizerischen Bewilligungsverfahren vorhanden ist und durch die zwischen Rahmen- und Baubewilligung geplanten erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag noch einen weiteren Schritt erfährt. Die Nagra zeigt in ihren Ausführungen auf, dass jeder dieser Schritte im Rahmen der Roadmaps und der Prüfung durch das Nagra-interne Anforderungs- und Konfigurationsmanagement eine Optimierung in der Lagerauslegung vorsieht und dabei auch Bedeutung auf die notwendige Flexibilität (Reserven) gelegt wird. Das ENSI beurteilt die Auflage 5.7 aus der Verfügung des Bundesrats zum Entsorgungsprogramm 2016 damit als erfüllt.

Auflage 5.8 Anzahl Stellplätze für Zwischenlagerung (erfüllt: Kapitel 6)*Auflagentext*

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.

Beurteilung des ENSI

Aus Sicht des ENSI haben die Betreiberinnen der Kernkraftwerke die Bundesratsauflage 5.8 im Rahmen des Entsorgungsprogramms 2021 erfüllt. Das Konzept zur Erhöhung der Anzahl Stellplätze für die Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente und verglaster hochaktiver Abfälle ist aus Sicht des ENSI weiter zu konkretisieren, weshalb dazu ein neuer Auflagenantrag formuliert wurde (siehe Kapitel 8.2).

Auflage 6.1 Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsplan (erfüllt: Kapitel 6)*Auflagentext*

Die Nagra hat Forschungsaktivitäten hinsichtlich Brennelement-Alterung 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.

Beurteilung des ENSI

Das ENSI kommt zu dem Schluss, dass die Bundesratsauflage 6.1 im Entsorgungsprogramm 2021 erfüllt wurde. Die Nagra hat den Stand von Wissenschaft und Technik bezüglich Langzeitverhalten der Brennelement-Hüllrohre und die sich daraus ergebenden Konsequenzen im

Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsplan 2021 ausgewiesen und die diesbezüglich erfolgten und geplanten Arbeiten beschrieben.

Auflage 6.3 Abfallmengen (erfüllt: Kapitel 2)

Auflagentext

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.

Beurteilung des ENSI

Das ENSI kommt zu dem Schluss, dass die Nagra die Bundesratsauflage 6.3 im Rahmen des Entsorgungsprogramms 2021 erfüllt hat. Die Auflage bleibt jedoch aufgrund ihres periodischen Charakters auch für künftige Aktualisierungen des Entsorgungsprogramms bestehen.

Auflage 6.4 Realisierungsplan (die vom ENSI zu prüfenden Aspekte sind erfüllt: Kapitel 5)

Auflagentext

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 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.

Beurteilung des ENSI

Die vorbereitenden Arbeiten zu den in der Bundesratsauflage 6.4 genannten Themen wurden im Entsorgungsprogramm dargelegt. Somit ist aus Sicht des ENSI dieser Teil der Auflage zum Realisierungsplan erfüllt. Die vorbereitenden Arbeiten zu diesen Themen in der Bundesratsauflage sind in zukünftigen Entsorgungsprogrammen bzw. RD&D-Plan zu konkretisieren und gemäss jeweiligen Projektstand weiterzuentwickeln. Die Arbeiten zur Langzeitarchivierung der Information und der Markierung werden insbesondere vom BFE beurteilt und somit in dessen Stellungnahme festgehalten. Die Auflage 6.4 bleibt aufgrund ihres periodischen Charakters auch für künftige Aktualisierungen des Entsorgungsprogramms bestehen.

Auflage 6.5 Berücksichtigung von Erfahrung und des Standes von Wissenschaft und Technik (erfüllt: Kapitel 7)

Auflagentext

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.).

Beurteilung des ENSI

Im RD&D-Plan geht die Nagra auf die Berücksichtigung der Erfahrung und des Stands von Wissenschaft und Technik ein. Der Bericht behandelt eine ganze Palette von Forschungsthemen. Betreffend Optimierungsmassnahmen ist aus Sicht des ENSI das von der Nagra im Entsorgungsprogramm beschriebene übergeordnete Optimierungsverfahren ausreichend für den jetzigen Stand der Lagerrealisierung. Für die nächsten Entsorgungsprogramme erwartet das ENSI eine aktualisierte Dokumentation des Optimierungsverfahrens, welches auch konkrete Beispiele aufführt. Das ENSI kommt zum Schluss, dass das Vorgehen im RD&D-Plan die Bundesratsauflage 6.5 (Schweizerischer Bundesrat 2018b) erfüllt ist. Die Auflage bleibt aufgrund ihres periodischen Charakters auch für künftige Aktualisierungen des Entsorgungsprogramms bestehen.

8.2 Neue Auflagenanträge

In diesem Unterkapitel werden neue Auflagenanträge des ENSI aufgeführt, die aus der Beurteilung der eingereichten Dokumente resultieren. Das ENSI empfiehlt dem Bundesrat diese Auflagen zu stellen.

Nummer	Auflage	Kapitelverweis
A.1	Für das Rahmenbewilligungsgesuch sowie für künftige Aktualisierungen des Entsorgungsprogramms ist das Verpackungskonzept für die in Endlagerbehältern verpackten Abfälle sowie das verpackte Abfallvolumen an die aus dem Standortvorschlag der Nagra resultierenden Lagerkonzepte anzupassen. Zudem ist das Transportkonzept für die radioaktiven Abfälle von der Verpackungsanlage in das Tiefenlager zu erläutern. Bei der Wahl der Endlagerbehälter sind weitere sicherheitsrelevante Aspekte, wie die Handhabbarkeit, zu berücksichtigen.	Kapitel 2
A.2	Im nächsten Entsorgungsprogramm ist mit Hilfe von Simulationswerkzeugen vertiefter auf die Übertragbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse im Pilotlager auf das Hauptlager einzugehen. Zudem sind der Umfang und der Inhalt der Messungen im Pilotlager stufengerecht weiter zu konkretisieren und dabei das Messprogramm auch im Hinblick auf die Lieferung von Information zum Kurz- und Langzeitverhalten des Mehrfachbarriersystems und zur Entdeckung von unerwarteten Entwicklungen während der Beobachtungsphase bei Bedarf zu erweitern.	Kapitel 3.1.4

Nummer	Auflage	Kapitelverweis
A.3	Ein aktualisierter Datenmanagement-Plan ist im Rahmen der zukünftigen Entsorgungsprogramme jeweils einzureichen und in diesem ist festzulegen, wie mit den im Rahmen des Sachplans erarbeiteten und in den folgenden Schritten der Realisierung eines geologischen Tiefenlagers gesammelten und verarbeiteten Daten und Informationen umgegangen wird. Im Datenmanagement-Plan ist zu regeln, ab wann, für wie lange und in welcher Qualität welche Daten und Informationen aktiv verfügbar sind, welche Informationen langfristig archiviert werden, welche Technologien dafür eingesetzt werden und welche Ressourcen dazu notwendig sind.	Kapitel 5
A.4	Im nächsten Entsorgungsprogramm ist die Parallelisierung von Prozessen in Zusammenhang mit der Abwicklung der EUU und der Erarbeitung der nuklearen Bau- und Betriebsbewilligungsgesuche zu konkretisieren. Ebenfalls sind darzustellen, welche zusätzlichen Daten bis zum Baugesuch SMA-Lagerteil, Hierarchiestufe H1, benötigt werden, um die Lagerteile für ein Kombilager sicherheitstechnisch optimal zu platzieren.	Kapitel 5
A.5	Das Konzept zur Erhöhung der Anzahl Stellplätze für die Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente und verglaster hochaktiver Abfälle ist unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus der aktuell laufenden Aktualisierung des Stellplatzkonzeptes für das nächste Entsorgungsprogramm weiterzuentwickeln.	Kapitel 6
A.6	In künftigen Entsorgungsprogrammen sind in den RD&D-Plänen zu jedem Forschungsgebiet die Fortschritte der Forschungsprojekte gegenüber dem Stand im vorherigen RD&D-Plan aufzuzeigen. Dies betrifft insbesondere auch die Fälle, in denen ein Experiment nicht erfolgreich war oder abgebrochen wurde.	Kapitel 7
A.7	Im Rahmen des nächsten Entsorgungsprogramms ist darzulegen, welche Strategien für die Verknüpfung von Daten, geometrischen Informationen und mathematischen Modellen für den Sicherheitsnachweis verfolgt werden. Dabei ist auch die mögliche Rolle moderner digitaler Konzepte, wie z. B. «Building Information Modelling» und «digitale Zwillinge», zu erläutern.	Kapitel 7

Brugg, Mai 2023

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI

Der Direktor

Dr. Marc Kenzelmann

Anhang 1 Glossar und Abkürzungsverzeichnis

ATA	Alphatoxische Abfälle: Radioaktive Abfälle mit einem hohen Gehalt an Alphastrahlern (Art. 31 KEV)
BAG	Bundesamt für Gesundheit
Barrieren	Barrieren bilden das passive Sicherheitssystem eines Lagers zum Schutz von Mensch und Umwelt über lange Zeit. Es sind technische und natürliche Einschluss- und Rückhaltesysteme, welche die radioaktiven Abfälle von der Biosphäre isolieren.
BE	Brennelemente bzw. abgebrannte Brennelemente, die ohne Wiederaufbereitung in ein HAA-Lager verbracht werden.
BEVA	Verpackungsanlage für BE und HAA (Brennelementverpackungsanlage) bzw. Abfälle aus dem Betrieb und der Stilllegung der Verpackungsanlage sowie der Entsorgung der angelieferten Transport- und Lagerbehälter für BE
BFE	Bundesamt für Energie
BZL	Bundeszwischenlager
CERN	Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire, internationale Organisation für Kernforschung bei Genf auf dem Gebiet von Schweiz und Frankreich, mit diversen grösseren Beschleunigeranlagen, aus deren Betrieb sich radioaktive Abfälle ergeben.
Dosis	Mass für die Beurteilung des gesundheitlichen Risikos durch ionisierende Strahlung. In diesem Gutachten ist die effektive Dosis gemeint: Summe der mit den Wichtungsfaktoren gewichteten Äquivalentdosen in allen Organen und Geweben. Die Einheit der Dosis ist das Sievert (Sv).
EG	Einschlusswirksamer Gebirgsbereich
EGT	Expertengruppe geologische Tiefenlagerung
ENSI-G03	Richtlinie des ENSI mit dem Titel «Geologische Tiefenlager»
Entsorgungsnachweis	Im Entsorgungsnachweis haben die Entsorgungspflichtigen aufgezeigt, dass die in der Schweiz produzierten Abfälle grundsätzlich auch in der Schweiz entsorgt werden können. Der Entsorgungsnachweis ist für SMA (1988) als auch für HAA (2006) separat erbracht worden.

EP	Entsorgungsprogramm der Entsorgungspflichtigen, das alle 5 Jahre zu aktualisieren ist. EP21 / EP16: Entsorgungsprogramm 2021 / 2016
Etappe 1 SGT	Die Etappe 1 des Sachplanverfahrens geologisches Tiefenlager dauerte von 2008 bis 2011 und umfasste eine erste Standorteinengung: Von der Nagra wurden 6 Standortgebiete vorgeschlagen. Der Vorschlag wurde vom ENSI im Rahmen des Gutachtens ENSI 33/070 beurteilt und vom Bundesrat gutgeheissen.
Etappe 2 SGT	Die Etappe 2 des Sachplanverfahrens geologisches Tiefenlager dauerte von 2011 bis 2018. Der Vorschlag der Nagra wurde vom ENSI im Rahmen des Gutachtens ENSI 33/540 beurteilt. Der Bundesrat hat 2018 entschieden, dass in Etappe 3 des Standortauswahlverfahrens für SMA sowie für HAA die geologischen Standortgebiete Jura Ost, Nördlich Lägern, Zürich Nordost vertieft untersucht werden sollen.
Etappe 3 SGT	Die Etappe 3 des Sachplanverfahrens geologisches Tiefenlager hat im November 2018 begonnen. Ziel von Etappe 3 SGT ist die Standortwahl für jeweils ein HAA-Lager und ein SMA-Lager bzw. ein Kombilager. Dies mündet in Rahmenbewilligungsgesuche gemäss KEG.
EUU	Erdwissenschaftliche Untersuchungen untertage
Geologisches Standortgebiet	Das geologische Standortgebiet wird gemäss Konzeptteil SGT durch die für die Lagerung der radioaktiven Abfälle geeigneten geologischen Gesteinskörper im Untergrund definiert.
Geologisches Tiefenlager	Anlage im geologischen Untergrund zur sicheren Entsorgung radioaktiver Abfälle, die verschlossen werden kann, sofern der dauernde Schutz von Mensch und Umwelt durch passive Barrieren sichergestellt wird (Art. 3 KEG).
GNSS	Globales Navigationssatellitensystem
HAA	Hochaktive Abfälle, darunter fallen nach Art. 31 KEV abgebrannte Brennelemente und verglaste Spaltprodukte aus der Wiederaufarbeitung. Durch den radioaktiven Zerfall entsteht eine grosse Wärmeentwicklung.
HEB	Haupterschliessungsbereich
ISRAM	Informationssystem für Radioaktive Materialien
KEG	Kernenergiegesetz vom 21. März 2003, in Kraft seit 1. Februar 2005, SR 732.1, das Gesetz regelt die friedliche Nut-

	zung der Kernenergie und bestimmt das Vorgehen bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle.
KEV	Kernenergieverordnung vom 10. November 2004, in Kraft seit 1. Februar 2005, SR 732.11
KKB	Kernkraftwerk Beznau
KKG	Kernkraftwerk Gösgen
KKL	Kernkraftwerk Leibstadt
KKM	Kernkraftwerk Mühleberg
KKW	Kernkraftwerk
Lagerbereich	Bereich innerhalb des Standortgebiets, in dem der radioaktive Abfall eingelagert wird.
MIF-Abfälle	Radioaktive Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung
MIRAM	Modellhaftes Inventar für radioaktive Materialien, zusammenfassende Datenbank zu den bereits vorhandenen und noch zu erwartenden radioaktiven Abfällen in der Schweiz.
Mehrfachbarrierensystem	Gestaffelte, passiv und verschiedenartig wirkende technische und natürliche Barrieren zum Einschluss und zur Rückhaltung der im Tiefenlager eingelagerten radioaktiven Stoffe. Für den Fall, dass eine Barriere ihre angedachte Funktion nicht wie geplant erfüllt, umfasst es weitere Barrieren, die dies kompensieren können.
MoDeRn	EU Forschungsprojekt, "Monitoring Developments for safe Repository operation and stage closure". MoDeRn 2020: EU-Forschungsprojekt, "Development and demonstration of monitoring strategies and technologies for geological disposal"
NAB	Nagra Arbeitsbericht
Nagra	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle. Im Hinblick auf die dauernde und sichere Entsorgung von radioaktiven Abfällen haben die Betreiberinnen der fünf schweizerischen Kernkraftwerke und die Schweizerische Eidgenossenschaft 1972 die Nagra gegründet. Die Nagra schlägt gemäss den Vorgaben des Konzeptteils des Sachplans geologische Standortgebiete und Standorte vor und reicht das Rahmenbewilligungsgesuch ein.
NEA	Nuclear Energy Agency der OECD
Nebenzugangsanlage	Jene Anlageteile (Bauwerke, Installationen und Geräte) an der Oberfläche und am oberen Ende eines Zugangsbau-

	werks (Schacht oder Tunnel) eines geologischen Tiefenlagers, über welche keine Transporte radioaktiver Abfälle erfolgen. Eine Nebenzugangsanlage stellt die Aufgaben und Funktionen des Nebenzugangs sicher und kann bei der Oberflächenanlage oder getrennt davon angeordnet sein.
NTB	Nagra Technischer Bericht
NZA	Nebenzugangsanlage
Oberflächenanlage	Gesamtheit der Anlagen (Bauwerke, Installationen und Geräte) an der Oberfläche (oder in Oberflächennähe) zur Annahme radioaktiver Abfälle, zur Vorbereitung der Einlagerung (z. B. Verpackung) inklusive Anlieferung und Rückschub aller dazu erforderlichen Behälter und Materialien, zum Verlad für den Transport der Tiefenlagerbehälter, Verfüll- und Versiegelungsmaterialien sowie für alle erforderlichen Nebenprozesse (z. B. Versorgungs- und Entsorgungseinrichtungen). Die Oberflächenanlage befindet sich am oberen Ende des Zugangsbauwerks, über welches die Transporte radioaktiver Abfälle in das geologische Tiefenlager erfolgen.
Oberflächeninfrastruktur	Oberbegriff für alle Anlagen an der Oberfläche (Oberflächenanlage, Schachtköpfe, Deponien, Erschliessung)
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development (Organisation für wirtschaftliche Entwicklung und Zusammenarbeit)
OFA	Oberflächenanlage
OFI	Oberflächeninfrastruktur
OSPA	Erweiterung des Bundeszwischenlagers für radioaktive Abfälle (BZL-2) auf dem Gelände des PSI
PSI	Paul Scherrer Institut, Forschungszentrum für Natur- und Ingenieurwissenschaften. Das PSI sammelt die schweizerischen radioaktiven Abfällen aus Medizin, Industrie und Forschung und betreibt das Bundeszwischenlager.
Rahmengestein	Ober- und/oder unterhalb des Wirtgesteins liegende Gesteinsschichten, deren Eigenschaften (insbesondere deren Tonmineralgehalt) zusätzlich zum Wirtgestein wesentlich zur Barrierenwirkung der geologischen Schicht beitragen.
RCM	Requirements and Configuration Management (Anforderungs- und Konfigurationsmanagement) der Nagra
RD&D	Research, Development and Demonstration (Forschung, Entwicklung und Demonstration)

SEFV	Stilllegungs- und Entsorgungsfondverordnung
SGT	Sachplan geologische Tiefenlager, beschreibt das Schweizer Standortauswahlverfahren für Tiefenlager. Der Begriff umfasst sowohl den 2008 vom Bundesrat verabschiedeten Konzeptteil als auch das Verfahren selbst.
SMA	Schwach- und mittelaktive Abfälle: Diese Abfälle enthalten vorwiegend radioaktive Stoffe mit kürzeren Halbwertszeiten. Sie stammen aus dem Betrieb und späteren Abbruch der Kernkraftwerke sowie aus Medizin, Industrie und Forschung (gesetzlich definiert in Art. 31. KEV).
StSV	Strahlenschutzverordnung
TLB	Transport- und Lagerbehälter
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
Zugangsbauwerke	Bauwerke wie Rampen oder Schächte, welche ausgehend von den Anlagen an der Erdoberfläche die Anlagen im geologischen Untergrund erschliessen.
ZWIBEZ	Zwischenlager des KKB
ZWILAG	Zentrales Zwischenlager der Zwischenlager Würenlingen AG

Anhang 2 Referenzen

- BFE (2011): Sachplan geologische Tiefenlager – Konzeptteil, Bundesamt für Energie, Bern
- BFE (2018): Sachplan geologische Tiefenlager – Ergebnisbericht zu Etappe 2: Festlegungen und Objektblätter, Bericht Bundesamt für Energie, Bern
- EGT (2016): Sachplan Geologische Tiefenlager, Etappe 2 – Stellungnahme der EGT zum Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete, Expertenbericht zuhanden des ENSI, Expertengruppe Geologische Tiefenlagerung, Brugg
- EGT (2022): Positionspapier: Empfehlungen der EGT zu einem Datenmanagement-Plan für die geologische Tiefenlagerung, Expertenbericht zuhanden des ENSI, Expertengruppe Geologische Tiefenlagerung, Brugg
- ENSI-G03/d: Geologische Tiefenlager, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Richtlinie, Brugg, 2020
- ENSI (2013): Resultate der Prüfung von NTB 13-01 zuhanden des BFE, Brief, 12. September 2013, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg
- ENSI 33/070: Sicherheitstechnisches Gutachten zum Vorschlag geologischer Standortgebiete, Sachplan geologische Tiefenlager, Etappe 1, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg, 2010
- ENSI 33/075: Anforderungen an die provisorischen Sicherheitsanalysen und den sicherheitstechnischen Vergleich, Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg, 2010
- ENSI 33/110: Stellungnahme zum Entsorgungsprogramm 2008 der Entsorgungspflichtigen, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg, 2012
- ENSI 33/154: Präzisierungen zur sicherheitstechnischen Methodik für die Auswahl von mindestens zwei Standortgebieten je für HAA und SMA in Etappe 2 SGT, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Aktennotiz, Brugg, 2013
- ENSI 33/456: Bautechnische Beurteilung der Standortareale für Oberflächenanlagen, Dr. von Moos AG Beratende Geologen und Ingenieure, Expertenbericht zuhanden des ENSI, Zürich, 2016
- ENSI 33/467: Sachplan geologische Tiefenlager (SGT) Etappe 2: Beurteilung der Standortareale und der Platzierung einer Oberflächenanlage – Ausgewählte externe Gefährdungen und Sicherheitsaspekte, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Aktennotiz, Brugg, 2015
- ENSI 33/530: Nachforderung des ENSI zum Indikator Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit, Basler & Hofmann AG, Dr. von Moos AG, Expertenbericht, Zürich, 2016
- ENSI 33/540: Sicherheitstechnisches Gutachten zum Vorschlag der in Etappe 3 SGT weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete, Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Gutachten, Brugg, 2017
- ENSI 33/592: Stellungnahme zum Entsorgungsprogramm 2016 der Entsorgungspflichtigen, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg, 2018
- ENSI 33/593: Empfehlungen und Hinweise aus der Beurteilung des Entsorgungsprogramms und des RD&D-Plans 2016, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Aktennotiz, Brugg, 2018

- ENSI 33/601: ENSI-Nagra Fachgespräch "(Qualitäts-)/Requirementsmanagementsystem der Nagra" vom 9. Mai 2017, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Aktennotiz, Brugg, 2017
- ENSI 33/649: Präzisierungen der sicherheitstechnischen Vorgaben für Etappe 3 des Sachplans geologische Tiefenlager, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Aktennotiz, Brugg, 2018
- ENSI 33/781 Protokoll der Fachsitzung «RCM (Requirements Config. Mgmt.) und DFM (Datenflussmgmt.)» Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Aktennotiz, Brugg, 2020
- ENSI 33/818 Protokoll der Fachsitzung "Vorstellung des Anforderungsmanagements (Requirements and Configuration Management RCM) an konkreten Beispielen", Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Aktennotiz, Brugg, 2020
- ENSI 33/833: Aktueller Stand der Forschungsarbeiten zur Trockenlagerung abgebrannter Brennelemente Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Protokoll, Brugg, 2021
- ENSI 33/907: Aktueller Stand der Forschungsarbeiten zur Trockenlagerung abgebrannter Brennelemente 2, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Protokoll, Brugg, 2022
- ENSI 33/939: Empfehlungen und Hinweise aus der Beurteilung des Entsorgungsprogramms und des RD&D-Plans 2021, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Aktennotiz, Brugg, 2023
- Fennell P.A.H., Graham A.J., Smart N.R., Sofield C.J. (2001): Grain boundary corrosion of copper canister material, Technical Report SKB-TR-01-09 Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co., Stockholm
- Geologisches Landesamt Baden-Württemberg (1994): Ergiebigkeitsuntersuchungen in Festgesteinsaquiferen, Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg i.Br.
- HSK 35/99: Gutachten zum Entsorgungsnachweis der Nagra für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle (Projekt Opalinuston), Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, Würenlingen, 2005
- Kasemeyer U. (2021): Optimierung des Stellplatzkonzeptes Gebäude H, Phase 1: Erarbeitung Optimierungskonzept, Technischer Bericht ZWI 3422/D00018, Rev. 0, 31.10.2021, Zwiag Zwischenlager Würenlingen AG, Würenlingen
- KEG: Kernenergiegesetz vom 21. März 2003, Schweiz, SR 732.1
- KEV: Kernenergieverordnung vom 10. Dezember 2004, Schweiz, SR 732.11
- KEV: Kernenergieverordnung vom 10. Dezember 2004 (Stand 1. Februar 2019), Schweiz, SR 732.11
- NAB 14-51: Ergänzende Sicherheitsbetrachtungen für die Untertageanlagen der geologischen Tiefenlager in der Betriebsphase: Vorgaben, Vorgehen und Dokumentation der Ergebnisse, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2014
- NAB 16-42: ENSI-Nachforderung zum Indikator "Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit" in SGT Etappe 2 – Prüfung der Lager- und Barrierenkonzepte, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2016

- NAB 19-15: Standortunabhängiger Vergleich eines Kombilagers mit zwei Einzellagern hinsichtlich Bau- und Betriebsabläufe und Umwelt, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2020
- NAB 20-14: Verpackungsanlage hochaktiver Abfälle: Vor- und Nachteile verschiedener Standortvarianten, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2020
- NAB 20-28: Konzeptbericht Überwachung Umwelt und geologisches Umfeld, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2021
- NAB 20-31: Methodik zur Definition des Mindestabstands zwischen den HAA- und SMA-Lagerteilen im Kombilager, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2021
- NAB 21-10: Realisierung des Vorhabens geologische Tiefenlager in der Schweiz: Grundlagen zum Verfahren und Umsetzung der Gesamtplanung, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2021
- NAB 21-11: Pilot Repository Monitoring: First Concept Report, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2021
- NAB 21-12: Verschlusskonzept für ein geologisches Tiefenlager, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2021
- NAB 21-14: Konzept erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag (EUU), Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2021
- NAB 22-040: Entsorgungsprogramm 2021 der Entsorgungspflichtigen und Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsplan (RD&D-Plan): Fragen des ENSI und zugehörige Antworten der Nagra, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2022
- 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), Report NEA/RWM/R(2011)4 OECD Nuclear Energy Agency, Paris
- NGB 85-08: Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle: Sicherheitsbericht – Projekt Gewähr 1985, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Projektbericht, Wettingen, 1985
- Nilsson K.-F., Lofaj F., Burström M., Andersson C.-G. (2005): Pressure tests of two KBS-3 canister mock-ups, Technical Report SKB-TR-05-18 Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co., Stockholm
- NTB 02-02: Projekt Opalinuston: Konzept für die Anlage und den Betrieb eines geologischen Tiefenlagers – Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2002
- NTB 02-03: Projekt Opalinuston: Synthese der geowissenschaftlichen Untersuchungsergebnisse – Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente; verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2002

- NTB 13-01: Standortunabhängige Betrachtungen zur Sicherheit und zum Schutz des Grundwassers: Grundlagen zur Beurteilung der grundsätzlichen Bewilligungsfähigkeit einer Oberflächenanlage für ein geologisches Tiefenlager, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2013
- NTB 14-01: 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, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2014
- NTB 14-03: SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage: Charakteristische Dosisintervalle und Unterlagen zur Bewertung der Barrierensysteme, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2014
- NTB 16-01: Entsorgungsprogramm 2016 der Entsorgungspflichtigen, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2016
- NTB 16-02: The Nagra Research, Development and Demonstration (RD&D) Plan for the Disposal of Radioactive Waste in Switzerland, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2016
- NTB 21-01: Entsorgungsprogramm 2021 der Entsorgungspflichtigen, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2021
- NTB 21-02: The Nagra Research, Development and Demonstration (RD&D) Plan for the Disposal of Radioactive Waste in Switzerland, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2021
- Schweizerischer Bundesrat (2013): Verfügung des Schweizerischen Bundesrats zum Entsorgungsprogramm 2008 der Entsorgungspflichtigen sowie zum Bericht zum Umgang mit den Empfehlungen in den Gutachten und Stellungnahmen zum Entsorgungsnachweis vom Oktober 2008, Verfügung, 28. August 2013, Bern
- Schweizerischer Bundesrat (2018a): Gutheissung Ergebnisbericht zu Etappe 2 des Sachplans geologische Tiefenlager (SGT) und Start von Etappe 3, Bundesblatt BBl 2018 7642
- Schweizerischer Bundesrat (2018b): Verfügung des Schweizerischen Bundesrats zum Entsorgungsprogramm 2016 der Entsorgungspflichtigen, Verfügung, 21. November 2018, Bern
- SEFV: Verordnung vom 7. Dezember 2007 über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen (SEFV, Stand 1. Januar 2020), Schweiz, SR 732.17
- StSV: Strahlenschutzverordnung vom 26. April 2017, Schweiz, SR 814.501

