

# **Technischer Bericht 16-01**

**Entsorgungsprogramm 2016  
der Entsorgungspflichtigen**

Dezember 2016

**Nationale Genossenschaft  
für die Lagerung  
radioaktiver Abfälle**

Hardstrasse 73  
CH-5430 Wettingen  
Telefon 056-437 11 11

[www.nagra.ch](http://www.nagra.ch)



# Technischer Bericht 16-01

**Entsorgungsprogramm 2016  
der Entsorgungspflichtigen**

Dezember 2016

**Nationale Genossenschaft  
für die Lagerung  
radioaktiver Abfälle**

Hardstrasse 73  
CH-5430 Wettingen  
Telefon 056-437 11 11

[www.nagra.ch](http://www.nagra.ch)

Das Entsorgungsprogramm wurde mit den Entsorgungspflichtigen ausführlich diskutiert und von ihnen an der Sitzung der Verwaltung der Nagra vom 28. November 2016 freigegeben.

**ISSN 1015-2636**

“Copyright © 2016 by Nagra, Wettingen (Schweiz) / Alle Rechte vorbehalten.

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

## Zusammenfassung

Viele wichtige Schritte zur Entsorgung der radioaktiven Abfälle in der Schweiz sind heute realisiert, und für die damit verbundenen Aktivitäten besteht mittlerweile eine grosse Erfahrung. Dies betrifft die Behandlung und Verpackung der radioaktiven Abfälle, ihre Charakterisierung und Inventarisierung sowie die Zwischenlagerung und die dazugehörigen Transporte. Im Hinblick auf die Realisierung der geologischen Tiefenlager wurde ein guter technisch-wissenschaftlicher Stand erreicht; der Nachweis der Entsorgung aller in der Schweiz anfallenden radioaktiven Abfälle in langfristig sicheren geologischen Tiefenlagern in der Schweiz wurde erbracht und vom Bundesrat anerkannt.

Die gesetzlichen Regelungen sind vorhanden und die organisatorischen Vorkehrungen wurden getroffen, um die in den nächsten Jahren anstehende Standortwahl umzusetzen. Dazu gehört das vom Bundesrat 2008 genehmigte Konzept Sachplan geologische Tiefenlager (SGT), welches das laufende Standortwahlverfahren im Detail regelt. Mit der Bestätigung der durch die Nagra in Etappe 1 des Sachplanverfahrens vorgeschlagenen Standortgebiete durch den Bundesrat im November 2011 wurde die erste Etappe erfolgreich abgeschlossen. In Etappe 2 des Sachplanverfahrens wurden in den Standortgebieten, gestützt auf die Zusammenarbeit mit den Standortregionen, mögliche Standortareale für die Oberflächenanlage bezeichnet sowie ergänzende geologische und sicherheitstechnische Untersuchungen durchgeführt. Im Januar 2015 wurden die Vorschläge der Nagra für die in Etappe 3 zu untersuchenden Standortgebiete vom Bundesamt für Energie (BFE) veröffentlicht; der Bundesrat wird voraussichtlich Ende 2018 darüber befinden. Etappe 3 des Sachplanverfahrens umfasst vertiefte erdwissenschaftliche Untersuchungen in den verbleibenden geologischen Standortgebieten. Diese stellen eine Grundlage dar, um für die geologischen Tiefenlager für schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA) bzw. hochaktive Abfälle (HAA) die Auswahl der Standorte für die Vorbereitung der Rahmenbewilligungsgesuche gemäss Konzept Sachplan geologische Tiefenlager (BFE 2008) zu treffen und entsprechende Rahmenbewilligungsgesuche einzureichen. Der vorliegende Bericht dokumentiert das Entsorgungsprogramm der Entsorgungspflichtigen, wie es gesetzlich verlangt wird (Kernenergiegesetz Art. 32, KEG 2003 und Kernenergieverordnung Art. 52, KEV 2004). Wie das erste Entsorgungsprogramm (Entsorgungsprogramm 2008, EP08, Nagra 2008a) wurde das Entsorgungsprogramm 2016 (EP16) von der Nagra im Auftrag der Entsorgungspflichtigen erstellt. Der aktualisierte Bericht ist so aufgebaut, dass alle gemäss KEV Art. 52 Abs. 1 geforderten Angaben im Entsorgungsprogramm behandelt werden. Von seiner Struktur her entspricht das EP16 dem EP08, geht aber zusätzlich auf die vom Bundesrat 2013 im Hinblick auf das vorliegende Entsorgungsprogramm 2016 verfügten Auflagen ein und hält den Fortschritt sowie die wesentlichen Unterschiede zwischen dem EP16 und seiner Vorgängerversion (Nagra 2008a) fest.

Nachfolgend sind die wichtigsten Angaben in Kap. 2 bis 8 des EP16 gemäss den Aspekten in KEV Art. 52 Abs. 1 kurz zusammengefasst:

- **Herkunft, Art und Menge der radioaktiven Abfälle:** Die Herkunft, Art und Menge der in der Schweiz zu entsorgenden radioaktiven Abfälle sind bekannt. Im Entsorgungsprogramm werden vier Szenarien betrachtet. Im Szenario 1a wird hinsichtlich der Angaben zu Abfallmengen von Betriebszeiten für das Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) von 47 Jahren und für die Kernkraftwerke Beznau (KKB), Gösgen (KKG) und Leibstadt (KKL) von 50 Jahren ausgegangen. Im Szenario 2a wird von einer Betriebszeit der Kernkraftwerke KKB, KKG und KKL von 60 Jahren ausgegangen. Schliesslich wird aufgezeigt, mit welchen Abfallmengen zu rechnen ist, wenn mit der absehbaren Revision der Strahlenschutzverordnung (StSV) eine Änderung der nuklidspezifischen Freigrenzen erfolgt (Szenarien 1b und 2b).

Das in die geologischen Tiefenlager einzubringende Abfallinventar ist im Szenario 2b am grössten. Deshalb beruhen die Annahmen, die dem aktuellen Entsorgungsprogramm – soweit nicht anderweitig vermerkt – zugrunde gelegt werden, auf diesem Szenario. Hinsichtlich der radioaktiven Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung (MIF) wird im EP16 von einer Sammelperiode bis 2065 (Ende der Einlagerung der KKW-Abfälle in das SMA-Lager) ausgegangen.

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 Abfallbinde beurteilt. Dies ist Voraussetzung für die behördliche Freigabe der routinemässigen Konditionierung. Ebenso werden die konditionierten Abfälle im Rahmen der für die verschiedenen Entscheidungspunkte zu erstellenden Sicherheitsberichte evaluiert. Es ist grundsätzlich möglich, dass Konditionierverfahren bei wichtigen neuen Erkenntnissen modifiziert werden. Neben der Information über die vorhandenen Abfälle besteht auch für die erst in Zukunft anfallenden Abfälle ein modellhaftes Inventar der radioaktiven Abfälle und Materialien (MIRAM). Das dem EP16 zugrunde gelegte Szenario 2b entspricht weitgehend der Version MIRAM 2014 (Nagra 2014d) mit Ausnahme der Abfälle des Paul Scherrer Instituts (PSI), deren Volumina aufgrund aktualisierter Rechnungen überarbeitet wurden.

Mit den Angaben zu Herkunft, Art und Menge der in der Schweiz zu entsorgenden radioaktiven Abfälle ist somit eine zuverlässige Basis vorhanden für die Planung und Realisierung der geologischen Tiefenlager und für die Bewirtschaftung der vorhandenen Zwischenlager.

- **Benötigte geologische Tiefenlager einschliesslich ihres Auslegungskonzepts:** Das schweizerische Entsorgungskonzept geht von zwei verschiedenen geologischen Tiefenlagern aus, dem SMA-Lager und dem HAA-Lager. Das SMA- und das HAA-Lager können an zwei verschiedenen Standorten, bei einer entsprechenden geologischen Situation aber auch als sogenanntes 'Kombilager' im gleichen Standortgebiet erstellt werden und dabei die Oberflächeninfrastruktur und einen Teil der Zugangsbauwerke nach Untertag gemeinsam nutzen. Unter Beachtung der gesetzlichen und behördlichen Vorgaben werden für die verschiedenen Lager die zu berücksichtigenden konzeptuellen Vorgaben und Annahmen beschrieben und deren modellhafte Umsetzung aufgezeigt. Die beschriebenen Auslegungskonzepte berücksichtigen die Vorgabe in der Kernenergiegesetzgebung, dass die Langzeitsicherheit durch gestaffelte passive Sicherheitsbarrieren zu gewährleisten ist. Für die zukünftige Realisierung existieren für einzelne Elemente der Lager verschiedene Varianten zur Ausgestaltung, mit welchen die standortspezifischen Gegebenheiten berücksichtigt werden können. In den zukünftigen Verfahren ist sicherzustellen, dass zur Berücksichtigung der in Zukunft anfallenden Informationen und Erkenntnisse (Resultate der Exploration der Standorte, Kenntniszuwachs durch Forschung und Entwicklung) der notwendige Handlungsspielraum zur optimalen Gestaltung der Lageranlagen erhalten bleibt.
- **Zuteilung der Abfälle zu den geologischen Tiefenlagern:** Die Abfallzuteilung in HAA, LMA (langlebige mittelaktive Abfälle) und SMA, welche der Erarbeitung von Vorschlägen für die Einengung der geologischen Standortgebiete im Rahmen von SGT Etappe 2 zugrunde gelegt wurde, basiert auf sicherheitsbezogenen Überlegungen, welche auch für Standortgebiete gelten, in denen das einzulagernde Abfallinventar wegen der Langzeitentwicklung beschränkt ist. Für die von der Nagra für SGT Etappe 3 vorgeschlagenen Standortgebiete gilt die Einschränkung nicht mehr. Deshalb wird im EP16 die Einlagerung von langlebigen mittelaktiven Abfällen (LMA) sowohl in das HAA- als auch in das SMA-Lager als Varianten ausgewiesen. Die definitive Abfallzuteilung auf die verschiedenen geologischen Tiefenlager erfolgt schrittweise im Rahmen der verschiedenen nuklearen Bewilli-

gungsverfahren. Dieses Vorgehen ermöglicht auf Basis der effektiv vorgefundenen Verhältnisse, die Abfallzuteilung bzw. Anforderungen an die einzulagernden Abfälle entsprechend dem Optimierungsgebot zu regeln.

- **Realisierungsplan für die Erstellung der geologischen Tiefenlager:** Die gesetzlichen und behördlichen Vorgaben sowie die Festlegung weiterer konzeptueller Vorgaben und Annahmen bilden den Ausgangspunkt für die Ableitung eines Realisierungsplans für das SMA- bzw. HAA-Lager. Die Vorgaben und Annahmen erlauben es, den grundsätzlichen Ablauf festzulegen und die notwendigen Arbeiten aufzulisten. Der Realisierungsplan basiert auf einer Abschätzung des Zeitbedarfs für die Abwicklung der technischen Arbeiten und der behördlichen Verfahren. Dieser geht von einer rechtsgültigen Rahmenbewilligung 2031 sowie von einer Betriebsaufnahme für das SMA-Lager 2050 und für das HAA-Lager 2060 aus. Dabei wird angenommen, dass es zu keinen zeitaufwendigen Rekursen kommt und dass die technischen Arbeiten ohne grösseren Verzug abgewickelt werden können.

Der Realisierungsplan berücksichtigt die standortbezogenen Arbeiten für das SMA- und HAA-Lager sowie die standortunabhängigen, generischen Arbeiten, welche im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsprogramms abgewickelt werden. Dabei werden formelle Empfehlungen der Behörden zu den bisherigen Arbeiten der Nagra berücksichtigt.

Das mehrstufige Bewilligungsverfahren nach Kernenergiegesetz erlaubt es, den notwendigen Handlungsspielraum zur schrittweisen Optimierung der geologischen Tiefenlager zu nutzen. Ebenso erlaubt es, die erforderliche Flexibilität zur Berücksichtigung möglicher zukünftiger Entwicklungen zu erhalten und den erwarteten Erkenntnisgewinn aufgrund vertiefter Exploration der Standorte und der fortlaufenden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu berücksichtigen.

Die Verantwortung für die Entsorgung liegt bei den Entsorgungspflichtigen. Diese haben die Nagra mit der Wahrnehmung aller Aufgaben im Hinblick auf die Realisierung der geologischen Tiefenlager betraut. Die Nagra unterhält ein auf die speziellen Anforderungen ausgerichtetes formelles Management-System, innerhalb dessen alle Arbeiten abgewickelt werden. Für diese Arbeiten stützt sich die Nagra auf ihre qualifizierten Mitarbeitenden ab. Zudem greift sie auf qualifizierte Auftragnehmer zu. Bedarfsgerecht sichert sich die Nagra mittels mehrjähriger Verträge die Unterstützung von Kompetenzzentren und -instituten im In- und Ausland und nimmt an Projekten mit Partnerorganisationen teil.

- **Dauer und benötigte Kapazität der zentralen und der dezentralen Zwischenlagerung:** Die anfallenden radioaktiven Abfälle müssen zwischengelagert werden, bis sie in die entsprechenden geologischen Tiefenlager verbracht werden können. Auch im Szenario, welches zu den grössten Abfallvolumina führt (Szenario 2b), ist mit den bestehenden Zwischenlagern beim ZWILAG und ZWIBEZ eine ausreichende Zwischenlagerkapazität für sämtliche Abfälle aus dem Betrieb und der Stilllegung der Kernkraftwerke vorhanden. Auch für die bis 2065 erwarteten MIF-Abfälle kann u.a. auch aufgrund der Erweiterung des Bundeszwischenlagers am Paul Scherrer Institut (PSI) genügend Zwischenlagerkapazität zur Verfügung gestellt werden, um die anfallenden Abfälle bis zu ihrer Einlagerung in die geologischen Tiefenlager sicher zwischenzulagern. Falls sich die Inbetriebnahme der geologischen Tiefenlager verzögern sollte, können die Zwischenlager auch länger betrieben werden. Die für den Transport der Abfälle erforderliche Infrastruktur und Technologie ist vorhanden und erprobt; für die zukünftig notwendige Infrastruktur liegen Konzepte vor.
- **Finanzplan für die Entsorgungsarbeiten bis zur Ausserbetriebnahme der Kernanlagen:** Zur Festlegung der Beiträge für den Stilllegungs- und Entsorgungsfonds und der zu tätigen Rückstellungen der Eigentümer der Kernanlagen müssen die Kosten der Entsorgung und der Stilllegung alle fünf Jahre im Rahmen der Kostenstudie geschätzt werden. Die letzte Kostenstudie (KS11) wurde 2011 eingereicht. Die Verwaltungskommission des Still-

legungs- und Entsorgungsfonds stellte anschliessend, gestützt auf die Berechnungen in der KS11 auf Basis von Art. 4 der Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung (SEFV 2007) und die anschliessende Überprüfung durch das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) unter Einbezug unabhängiger Experten, dem Eidgenössischen Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) für jede Kernanlage jeweils einen Antrag auf Festlegung der voraussichtlichen Höhe der Stilllegungs- und Entsorgungskosten. Im Hinblick auf eine aufeinander abgestimmte und konsistente Darstellung der Informationen sind gemäss der Verfügung des Bundesrats zum Entsorgungsprogramm 2008 die Kostenstudie 2016 (KS16) und das Entsorgungsprogramm 2016 zeitgleich einzureichen.

Für die Ermittlung der Kosten für die geologischen Tiefenlager müssen modellhafte Annahmen bezüglich der Realisierung der Tiefenlager getroffen werden, ohne jedoch dabei Entscheide vorwegzunehmen oder Aussagen über Präferenzen zu treffen. Diese modellhaften Annahmen sind mit dem Entsorgungsprogramm vereinbar, stellen aber ebenso wie im EP16 keine vorzeitigen Festlegungen zu späteren Entscheidungen auf dem Weg zur Realisierung der geologischen Tiefenlager dar. Dementsprechend werden für wichtige Entscheide bei den Kosten auch alternative Varianten betrachtet. Die Finanzierung der zukünftigen Kosten erfolgt einerseits direkt durch die Eigentümer (Kosten vor Ausserbetriebnahme der Kernkraftwerke) und andererseits über den Stilllegungsfonds für die Kosten der Stilllegung der Kernanlagen sowie über den Entsorgungsfonds für die Kosten der Entsorgungsaufgaben nach Ausserbetriebnahme der Kernkraftwerke. Die Berechnung für die Rückstellungen basiert auf der aktuellen Kostenstudie (KS16). Dadurch wird sichergestellt, dass die gebildeten und die zukünftig noch zu tätigenden Rückstellungen sämtliche erwarteten Kosten abdecken unter Berücksichtigung der Kapitalerträge gemäss SEFV (2007).

- **Informationskonzept:** Im Hinblick auf die Realisierung der benötigten Tiefenlager sind ein aktiver Dialog mit den Interessierten und eine umfassende Information der Öffentlichkeit zu allen Fragen der nuklearen Entsorgung entscheidend. Die Bevölkerung soll die unterschiedlichen Rollen der beteiligten Akteure wahrnehmen und verstehen. Im Rahmen des SGT liegt die Federführung und damit die Verfahrensinformation beim BFE, welches dafür zuständig ist, der Bevölkerung in geeigneter Weise die Mitwirkung an den Verfahren zu ermöglichen. Es kann dazu die Aufsichtsbehörden und fallweise die Nagra mit ihrem Fachwissen beziehen. Die Aufsichtsbehörden (das Eidgenössische Nuklearinspektorat (ENSI) und die Eidgenössische Kommission für nukleare Sicherheit (KNS)) nehmen zu Gesuchen und dem Betrieb von Kernanlagen betreffend Sicherheit und technischer Machbarkeit Stellung und gewährleisten mit ihrer Tätigkeit als unabhängige Instanzen die Einhaltung der Sicherheitsbestimmungen. Das ENSI informiert die Öffentlichkeit über die Ergebnisse ihrer Aufsicht und ist deren Ansprechpartner für Sicherheitsfragen. Die Nagra ist von den Entsorgungspflichtigen mit der Vorbereitung, dem Bau und dem Betrieb der Tiefenlager beauftragt. In dieser Rolle informiert die Nagra über ihre Arbeiten und Projekte, Untersuchungsergebnisse und später über den Bau und Betrieb der Anlagen. Sie pflegt einen aktiven Dialog mit den Interessierten.

Die Nagra informiert frühzeitig und regelmässig über den Stand ihrer Arbeiten und über ihre Vorhaben. Ihre Informationsarbeit hat zum Ziel, die Anliegen der verschiedenen Anspruchsgruppen kennen zu lernen und diese über die nukleare Entsorgung allgemein sowie die Tätigkeiten der Nagra im Besonderen zu informieren. Der Schweizer Öffentlichkeit werden die Gründe transparent dargelegt, warum die radioaktiven Abfälle in geologischen Tiefenlagern langfristig eingeschlossen werden sollen. Die Gesellschaft soll in die Lage versetzt werden, den Handlungsbedarf zu erkennen und sich zu den konkreten Arbeiten und Ergebnissen eine objektive Meinung bilden zu können. Durch ausgebildetes Fachpersonal sowie einen kontinuierlichen Anpassungsprozess an die Bedürfnisse der Anspruchs-

gruppen und die Verfahrensschritte werden die einzusetzenden Instrumente für die Information und Kommunikation auf aktuellem Stand gehalten.

Das vorliegende Entsorgungsprogramm dokumentiert die Rahmenbedingungen und das grundsätzliche Vorgehen für die Realisierung der benötigten, langfristig sicheren geologischen Tiefenlager und gibt Auskunft zu den in der Kernenergieverordnung aufgeführten Themenkreisen, jedoch ohne dem Sachplanverfahren vorzugreifen. Das Entsorgungsprogramm enthält auch einen Vorschlag der Entsorgungspflichtigen, wie die Lager auf konzeptueller Ebene auszulegen sind (inklusive vorhandener Varianten), wie bei der Realisierung die einzelnen Schritte ausgestaltet werden sollen, wie der Realisierungsplan dazu aussieht und welche finanziellen Mittel dafür notwendig sind.

Für die nahe Zukunft ist das Arbeitsprogramm klar definiert. Bis zur nächsten Aktualisierung des Entsorgungsprogramms 2021 werden weitere Fortschritte erwartet. Im Fokus steht die Durchführung vertiefter erdwissenschaftlicher Untersuchungen in den verbleibenden geologischen Standortgebieten. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse stellen eine wichtige Basis für die Auswahl der Standorte für die Vorbereitung der Rahmenbewilligungsgesuche gemäss Konzept Sachplan geologische Tiefenlager (BFE 2008) und die Ausarbeitung der Rahmenbewilligungsgesuche für die geologischen Tiefenlager gemäss KEG (2003) und KEV (2004) dar.



## Résumé

De nombreuses étapes décisives ont été franchies en matière de gestion à long terme des déchets radioactifs en Suisse et l'on dispose aujourd'hui d'une expérience considérable dans les domaines nécessaires, à savoir le traitement et le conditionnement des déchets, leur caractérisation et leur inventaire ainsi que leur stockage intermédiaire et leur transport. S'agissant de la réalisation des dépôts géologiques en couches géologiques profondes, l'état des connaissances scientifiques et techniques a atteint un bon niveau. La démonstration de la faisabilité et de la sûreté à long terme du stockage géologique, à l'intérieur des frontières nationales et pour tous les déchets radioactifs produits en Suisse, a été apportée et approuvée par le Conseil fédéral.

Le cadre légal a été établi et les mesures organisationnelles mises en place pour concrétiser la sélection des sites au cours des années à venir. En particulier, le concept du plan sectoriel «Dépôts en couches géologiques profondes», approuvé en 2008 par le Conseil fédéral, définit avec précision le cadre réglementaire de la procédure de sélection des sites actuellement en cours. En novembre 2011, la confirmation par le Conseil fédéral des domaines d'implantation proposés par la Nagra a conclu la première étape du plan sectoriel. Au cours de l'étape 2, dans chacun des domaines d'implantation, des emplacements potentiels pour les installations de surface ont été désignés en collaboration avec les régions et des études complémentaires ont été menées au regard de la géologie et de la sûreté. En janvier 2015, les propositions de la Nagra pour les domaines d'implantation où les investigations doivent être poursuivies à l'étape 3 ont été publiées par l'Office fédéral de l'énergie; la décision du Conseil fédéral est attendue fin 2018. L'étape 3 du plan sectoriel comprendra la réalisation d'investigations géologiques approfondies dans les domaines d'implantation géologiques retenus. Ces études permettront de sélectionner les sites destinés aux dépôts en couches géologiques profondes pour déchets de faible et moyenne activité et de haute activité, en vue de la préparation de demandes d'autorisation générale conformément au plan sectoriel "Dépôts en couches géologiques profondes" (BFE 2008) et de la présentation des demandes correspondantes. Le présent rapport documente le programme de gestion élaboré par les producteurs de déchets tel qu'il est exigé par les dispositions légales applicables (art. 32 de la Loi sur l'énergie nucléaire (KEG 2003) et art. 52 de l'Ordonnance sur l'énergie nucléaire (KEV 2004)). A l'instar du premier programme de gestion (programme de gestion 2008, Nagra 2008a), la Nagra a été chargée de l'élaboration du programme de gestion 2016 par les producteurs de déchets. Le programme de gestion 2016 traite tous les aspects mentionnés à l'art. 52, al. 1 de l'Ordonnance sur l'énergie nucléaire. Il est structuré de la même manière que le programme de gestion 2008, tout en tenant compte des requêtes émises en 2013 par le Conseil fédéral au regard du programme de gestion 2016. Il décrit en outre les avancées réalisées dans l'intervalle et souligne les principales différences entre le programme de gestion 2016 et son prédécesseur (Nagra 2008a).

Les principaux points abordés aux chapitres 2 à 8 du programme de gestion 2016 sont résumés ci-dessous selon l'art. 52, al. 1 de l'Ordonnance sur l'énergie nucléaire:

- **Origines, types et quantités de déchets radioactifs:** La provenance, la typologie et les quantités de déchets radioactifs produits en Suisse sont connus. Quatre scénarios sont considérés dans le cadre du programme de gestion. Avec le scénario 1a sont prises en compte les quantités de déchets produits pendant une durée de fonctionnement de 47 ans pour la centrale nucléaire de Mühleberg et de 50 ans pour les centrales de Beznau, Gösgen et Leibstadt; le scénario 2a envisage une durée de fonctionnement de 60 ans pour les centrales de Beznau, Gösgen et Leibstadt. On a par ailleurs estimé les quantités de déchets à gérer dans les cas où la révision prévue de l'Ordonnance sur la radioprotection entraînerait une modification des limites d'exemption des différents radionucléides (scénarios 1b et 2b).

C'est dans le cas du scénario 2b que l'inventaire des déchets à stocker dans les dépôts en couches géologiques profondes est le plus important. Pour le programme de gestion actuel, c'est par conséquent sur ce scénario que reposent les hypothèses effectuées (en l'absence d'autre indication dans le texte). Pour les déchets radioactifs issus du secteur médical, de l'industrie et de la recherche, la durée de stockage par défaut définie par le programme de gestion 2016 s'étend jusqu'en 2065 (fin de la période de mise en place des déchets dans le dépôt pour déchets de faible et moyenne activité).

Les déchets produits sont conditionnés, caractérisés et inventoriés au fur et à mesure. Avant le début du conditionnement d'un flux de déchets, la Nagra détermine également si les colis de déchets fabriqués pour le procédé de conditionnement proposé sont adaptés au stockage final. Ces étapes sont requises pour l'autorisation par les autorités du procédé de conditionnement proposé. Les déchets conditionnés sont également évalués dans le cadre des rapports de sûreté établis à différentes étapes du processus. D'une manière générale, la modification d'un procédé de conditionnement demeure possible en cas de découverte majeure. Outre les informations relatives aux déchets existants, un inventaire-type des matières radioactives (MIRAM) a été réalisé pour rendre compte des déchets produits à l'avenir. Le scénario 2b à la base du programme de gestion 2016 concorde pour une grande part avec la version 2014 de l'inventaire MIRAM (Nagra 2014d), à l'exception des déchets de l'Institut Paul Scherrer, dont les volumes ont été revus sur la base de calculs actualisés.

Les données relatives à la provenance, à la typologie et aux quantités de déchets radioactifs à gérer en Suisse constituent ainsi une base fiable pour la planification et la réalisation des dépôts en couches géologique profondes, ainsi que pour l'exploitation des dépôts intermédiaires existants.

- **Les dépôts en couches géologiques profondes requis et leur conception:** Le modèle suisse de gestion des déchets radioactifs prévoit deux dépôts en couches géologiques profondes: l'un pour les déchets de faible et moyenne activité, l'autre pour les déchets de haute activité. Les deux dépôts peuvent être construits sur deux sites différents; si les conditions géologiques le permettent, un dépôt dit «mixte» ou «combiné» au même emplacement est également envisageable, avec la possibilité d'exploiter la même infrastructure de surface et de partager certaines voies d'accès vers le dépôt souterrain. Les exigences conceptuelles à respecter pour ces divers dépôts, sur la base des impératifs légaux et réglementaires, sont décrites et illustrées par des modèles. Les concepts de dimensionnement présentés satisfont à la condition énoncée dans la législation sur l'énergie nucléaire, à savoir que la sûreté à long terme est garantie par une succession de barrières de sécurité passives. Dans la perspective de la future réalisation du dépôt, plusieurs options conceptuelles ont été envisagées pour un certain nombre d'éléments, afin de pouvoir tenir compte de la situation spécifique sur le site sélectionné. Il est important de ménager une marge de manœuvre suffisante dans les procédures à venir, de sorte que les informations et les connaissances nouvelles (issues des résultats de l'exploration des sites ou de la recherche-développement) puissent être intégrées dans la conception des dépôts, assurant ainsi un aménagement optimal.
- **La répartition des déchets dans les dépôts en couches géologiques profondes:** Lorsque les propositions de domaines d'implantations pour l'étape 2 du plan sectoriel ont été préparées, l'attribution des déchets de haute activité, de moyenne activité à vie longue et de faible et moyenne activité à chacun des dépôts a été effectuée sur la base de critères de sûreté qui s'appliquaient aussi aux domaines d'implantation dont l'évolution à long terme n'autorisait le stockage que d'un inventaire réduit. Cette contrainte ne s'applique plus aux domaines d'implantation proposés par la Nagra pour l'étape 3. De ce fait, le programme de gestion 2016 présente des alternatives pour le stockage des déchets de moyenne activité à vie longue, soit dans le dépôt pour déchets de haute activité, soit dans le dépôt pour déchets de faible et moyenne activité. La répartition définitive des déchets dans les dépôts en

couches géologiques profondes se fera par étapes dans le cadre des différentes procédures d'autorisations nucléaires. Cette façon de procéder permettra d'optimiser la répartition des déchets et d'adapter les exigences qui leur sont appliquées, sur la base des situations effectives rencontrées.

- **Le plan de réalisation pour la construction de dépôts en couches géologiques profondes:** Les dispositions légales et réglementaires applicables ainsi que les exigences et hypothèses conceptuelles constituent le point de départ pour la définition d'un plan de réalisation pour les dépôts pour déchets de faible et moyenne activité et pour déchets de haute activité. Les exigences et les hypothèses permettent à la fois de définir le scénario général et d'établir la liste des travaux nécessaires. Le plan de réalisation a été élaboré après évaluation des délais requis pour l'exécution des opérations techniques et procédures administratives. Le calendrier suppose l'obtention de l'autorisation générale en 2031; le début de l'exploitation du dépôt pour déchets de faible et moyenne activité est fixé à 2050, celui du dépôt pour déchets de haute activité à 2060. Cette planification suppose l'absence d'une longue procédure de recours juridique et de tout retard majeur lors de l'exécution des travaux.

Le plan de réalisation prend en compte les travaux spécifiques effectués sur les sites sélectionnés pour les dépôts pour déchets de faible et moyenne activité et pour déchets de haute activité, ainsi que les travaux génériques indépendants des sites, lesquels doivent être exécutés dans le cadre d'un programme de recherche et développement. Les recommandations formelles des autorités compétentes concernant les travaux de la Nagra entrepris à ce jour ont par ailleurs été pris en compte.

Le processus d'autorisation en plusieurs étapes mis en place par la Loi sur l'énergie nucléaire accorde la marge de manœuvre nécessaire à l'optimisation progressive des dépôts en couches géologiques profondes. Il autorise en outre le maintien d'une certaine flexibilité en vue de développements futurs et permet la prise en compte des connaissances futures acquises au cours de l'exploration en profondeur des sites et par la poursuite des travaux de recherche et développement.

La responsabilité de la gestion des déchets incombe à leurs producteurs. Ceux-ci ont délégué à la Nagra l'ensemble des tâches nécessaires à la réalisation des dépôts en couches géologiques profondes. La Nagra s'est dotée d'un système de gestion de la qualité axé sur ces exigences spécifiques et qui s'applique à tous les travaux. Pour la réalisation de ceux-ci, elle peut compter sur une équipe de collaborateurs hautement qualifiés, secondés par des mandataires chevronnés, et en partie aussi sur des centres de compétence et des instituts en Suisse et à l'étranger avec lesquels elle a passé des contrats pluriannuels, ainsi que sur des projets partenaires.

- **Durée et capacité requise pour l'entreposage centralisé et décentralisé:** Les déchets radioactifs produits doivent être entreposés avant de pouvoir être transférés vers les dépôts en couches géologiques profondes. Les centres de stockage ZWILAG et ZWIBEZ disposent d'une capacité de stockage intermédiaire suffisante pour tous les déchets produits par l'exploitation et la désaffectation des centrales nucléaires, et ce même dans le cas du scénario envisageant le plus grand volume de déchets (scénario 2b). Pour l'entreposage des déchets attendus jusqu'en 2065 dans le secteur de la médecine, de l'industrie et de la recherche, jusqu'à leur stockage définitif en dépôts en couches géologiques profondes, on peut également compter sur une capacité supplémentaire grâce notamment à l'extension du dépôt fédéral de l'Institut Paul Scherrer. En cas de retard rencontré pour la mise en service des dépôts en couches géologiques profondes, l'exploitation des dépôts de stockage intermédiaires pourra également être prolongée. L'infrastructure et la technologie requises pour le transport des déchets sont disponibles et éprouvées; des concepts pour les infrastructures futures ont par ailleurs été développés.

- **Plan de financement pour les travaux de gestion des déchets jusqu'à la cessation d'exploitation des centrales nucléaires:** Les coûts de gestion des déchets et de la désaffectation des installations nucléaires sont estimés tous les cinq ans dans le cadre des études de coûts afin de fixer les contributions que les propriétaires des installations nucléaires doivent verser aux fonds d'évacuation et de désaffectation ainsi que les provisions qu'ils doivent faire. La dernière étude des coûts transmise aux autorités date de 2011 (KS11). A partir de cette étude de coûts, conformément à l'article 4 de l'Ordonnance sur le fonds de désaffectation et sur le fonds de gestion des déchets radioactifs pour les installations nucléaires (SEFV 2007) et sur la base de l'examen effectué par l'Institut fédéral de la sécurité nucléaire avec l'appui d'experts indépendants, la commission administrative du fonds de désaffectation et du fonds de gestion des déchets des centrales nucléaires a ensuite demandé au Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication de fixer le montant prévisible des coûts de désaffectation et de gestion des déchets pour chaque installation nucléaire. Suivant la décision du Conseil fédéral suisse concernant le programme de gestion des déchets de 2008, l'étude des coûts 2016 (KS16) doit être présentée en même temps que le programme de gestion des déchets 2016, ceci en vue d'assurer la cohérence des informations contenues dans les deux documents.

Pour le calcul des coûts relatifs aux dépôts en couches géologiques profondes, il est nécessaire d'effectuer des hypothèses quant à leur réalisation, sans toutefois donner lieu à une prise de décision anticipée, ni émettre des préférences. Ces hypothèses sont compatibles avec le programme de gestion des déchets. Cependant, ni dans l'estimation des coûts, ni dans le programme de gestion 2016, il ne s'agit d'anticiper sur les décisions qui seront prises lors des étapes ultérieures de la réalisation des dépôts géologiques. En présence de décisions importantes, plusieurs variantes sont par conséquent proposées pour l'évaluation des coûts.

Le financement des coûts à venir doit être pris en charge directement par les propriétaires (coûts de mise hors service des centrales nucléaires), d'une part, et par les fonds de désaffectation et de gestion des déchets pour les coûts associés, respectivement, à la désaffectation des centrales et aux travaux de gestion des déchets après la mise hors service des centrales, d'autre part. Le calcul des provisions est basé sur l'étude de coûts actuelle (KS16). Ceci permet d'assurer la couverture de l'ensemble des coûts attendus par les provisions existantes et futures tout en tenant compte des revenus de capitaux conformément à l'Ordonnance sur le fonds de désaffectation et sur le fonds de gestion des déchets radioactifs pour les installations nucléaires (SEFV 2007).

- **Stratégie d'information:** Dans la perspective de la réalisation des dépôts en profondeur nécessaires, il est essentiel d'entretenir un dialogue actif avec les intéressés et d'informer le public de manière détaillée sur toutes les questions ayant trait à la gestion des déchets nucléaires. La population doit connaître les différents acteurs de la procédure et les comprendre leurs rôles respectifs. La responsabilité générale pour le plan sectoriel «Dépôts en couches géologiques profondes» incombe à l'Office fédéral de l'énergie, qui est par conséquent aussi chargé d'informer la population et de lui garantir une participation adéquate. L'Office fédéral de l'énergie peut consulter les autorités de surveillance, ou dans certains cas la Nagra, pour des questions spécifiques. En qualité d'organes indépendants, les autorités de surveillance (l'Institut fédéral de la sécurité nucléaire) et la Commission fédérale de sécurité nucléaire examinent les requêtes et contrôlent l'exploitation d'installations nucléaires sur le plan de la sûreté, et de la faisabilité technique, garantissant ainsi le respect des dispositions relatives à la sûreté. L'Institut fédéral de la sécurité nucléaire communique également au public les résultats de ses activités de surveillance et joue le rôle d'interlocuteur de la population pour toutes les questions de sûreté et de sécurité. La Nagra, quant à elle, est chargée par les producteurs de déchets de la planification, de la construction et de l'exploitation des dépôts en couches géologiques profondes. À ce titre, elle doit fournir des infor-

mations sur ses travaux et projets, sur les résultats d'études, et ultérieurement au sujet de la réalisation et de l'exploitation des installations. Elle entretient un dialogue actif avec les personnes intéressées.

La Nagra communique sans retard et de façon régulière sur l'état d'avancement de ses travaux et de ses projets. Ses activités de communication ont pour but de connaître les préoccupations des divers intéressés et de les informer sur le stockage des déchets nucléaires en général et sur les activités de la Nagra en particulier. La Nagra explique de manière transparente au public suisse pourquoi les déchets radioactifs doivent être confinés dans des dépôts en couches géologiques profondes. La société doit être en mesure de reconnaître la nécessité d'agir et se faire une opinion objective sur les projets et résultats concrets. Les instruments d'information et de communication sont mis à jour par du personnel qualifié, en prenant soin de les adapter continuellement aux groupes cibles et aux étapes de la procédure en cours.

Le présent programme de gestion documente les conditions cadres et la démarche générale proposées pour réaliser, avec la sûreté requise, les dépôts en profondeur nécessaires à long terme. Il renseigne en outre sur les points figurant dans l'Ordonnance sur l'énergie nucléaire, sans toutefois anticiper sur la procédure du plan sectoriel. Les producteurs de déchets y proposent également une solution (et des alternatives) pour la conception des dépôts, des étapes concrètes et le plan pour la réalisation et dressent enfin la liste des moyens financiers nécessaires.

Le programme d'activité pour l'avenir proche est clairement défini. D'ici à la prochaine mise à jour du programme de gestion en 2021, on escompte des progrès notables, en particulier la réalisation d'investigations géologiques approfondies dans les domaines d'implantation géologiques retenus. Les connaissances ainsi acquises constitueront une base importante pour la sélection des sites en vue de la préparation de demandes d'autorisation générale dans le cadre du plan sectoriel «Dépôts en couches géologiques profondes» (BFE 2008) et ensuite, de l'élaboration des demandes d'autorisation générale pour les dépôts en couches géologiques profondes conformément à la Loi sur l'énergie nucléaire (KEG 2003) et à l'Ordonnance sur l'énergie nucléaire (KEV 2004).



## Abstract

Many important steps in the management of radioactive waste have already been implemented in Switzerland and there is now wide experience in carrying out the associated activities. These include the handling and packaging of the waste and its characterisation and inventorying, as well as interim storage and the associated waste transport. There is a sound scientific and technical basis for realising the deep geological repositories and the feasibility of implementing repositories that provide the required long-term safety has been demonstrated successfully for all wastes arising in Switzerland and approved by the Federal Council.

The legal framework and organisational measures that will allow the selection of sites to be made in the coming years are also in place. These include the Sectoral Plan for Deep Geological Repositories that was approved by the Federal Council in 2008; this regulates the ongoing site selection process in detail. Stage 1 of the process was completed successfully with the approval by the Federal Council in November 2011 of the siting regions proposed by Nagra. In Stage 2, potential siting areas for the repository surface facilities were identified with the cooperation of the siting regions and additional geological and safety-based investigations were carried out. Nagra's proposals for the siting regions to be investigated further in Stage 3 were published by the Swiss Federal Office of Energy in January 2015. The Federal Council is expected to make a decision on these proposals at the end of 2018. Activities in Stage 3 will include in-depth geological investigations in the siting regions remaining in the process. The results will provide the basis for selecting the sites for the repositories for low- and intermediate-level waste and high-level waste, for which general licence applications will be prepared and submitted according to the Sectoral Plan (BFE 2008). This report documents the waste management programme prepared by the waste producers, as required by the legislation (Nuclear Energy Act (KEG 2003), Art. 32 and Nuclear Energy Ordinance (KEV 2004), Art. 52). As was the case for the first waste management programme of 2008 (Nagra 2008a), the 2016 waste management programme has been prepared by Nagra on behalf of the waste producers. The updated report is structured in such a way that it provides the information required on all the points set out in Article 52 of the Nuclear Energy Ordinance. The structure also basically follows that of the 2008 programme, but, in addition, the conditions attached by the Federal Council in 2013 to its review of the 2008 programme are also addressed. The progress that has been made in the meantime is identified, as are the main differences between the 2016 waste management programme and its predecessor (Nagra 2008a).

The key information in chapters 2 to 8 of the 2016 waste management programme is summarised in the following according to Art. 52 par. 1 of the Nuclear Energy Ordinance:

- **Origin, types and volumes of radioactive waste:** The origin, types and volumes of radioactive waste to be disposed of in Switzerland are known. Four scenarios are considered in the 2016 waste management programme. In scenario 1a, the waste volumes arising from operating lifetimes of 47 years for the nuclear power plant Mühleberg and 50 years for the nuclear power plants Beznau, Gösgen and Leibstadt are assumed. Scenario 2a assumes operating lifetimes for Beznau, Gösgen and Leibstadt of 60 years. It is then considered what waste volumes would be expected if the foreseeable revision of the Radiological Protection Ordinance brings about a change in the nuclide-specific clearance limits (scenarios 1b and 2b).

The waste inventory for emplacement in the deep geological repositories is largest in the case of scenario 2b. Unless otherwise noted, the assumptions underlying the current waste management programme are therefore based on this scenario. For radioactive waste from

medicine, industry and research (MIR), a collection period up to 2065 (end of emplacement of waste from nuclear power plants in the repository for low- and intermediate-level waste) is assumed.

The arising wastes are conditioned, characterised and inventoried on an ongoing basis. Before conditioning of a waste stream begins, the proposed conditioning procedure is evaluated by Nagra in terms of the suitability of the resulting waste packages for disposal. This is a prerequisite for clearance of routine conditioning procedures by the authorities. The conditioned waste will also be evaluated when preparing the safety assessment reports supporting the different decision-making milestones in the programme and it is possible that some conditioning procedures will be modified in the light of new understanding. Besides information on waste that already exists, a model inventory of radioactive wastes and materials that will arise in the future has also been compiled (MIRAM). Scenario 2b assumed in the 2016 waste management programme largely corresponds to the version MIRAM 14 of this inventory (Nagra 2014d), with the exception of the waste from the Paul Scherrer Institute, where the waste volumes were revised based on updated calculations.

The information on the origin, types and volumes of waste for disposal in Switzerland provides a reliable basis for planning and implementing the deep geological repositories and managing the available interim storage capacities.

- **Deep geological repositories and their design concepts:** The Swiss waste management concept assumes two deep geological repositories, one for low- and intermediate-level waste and one for high-level waste. These repositories could be constructed at two different sites depending on the geological situation, or at the same site as a so-called 'combined repository'; in the latter case, the surface infrastructure and part of the access structures to underground could be shared. The conceptual requirements and assumptions to be taken into consideration for the different repositories are described against the background of the legal and regulatory framework and their implementation is described using exemplary concepts. The design concepts take into account the requirement in the nuclear energy legislation that long-term safety has to be assured by a system of multiple passive safety barriers. For future implementation, a range of design variants exists for individual elements of the repository that will allow the site-specific situation to be taken into consideration. It has to be assured in future procedures that sufficient flexibility remains to allow the information and experience arising in the future (results of site exploration, improved knowledge through research & development) to be taken into account in optimising the design of the disposal facilities.
- **Allocation of the waste to the deep geological repositories:** Division of the waste into the categories high-level waste, long-lived intermediate-level waste and low- and intermediate-level waste was used as the basis for proposing the geological siting regions in Stage 2 of the Sectoral Plan process and is based on safety-related considerations that also apply to siting regions in which the waste inventory for disposal is restricted due to long-term evolution. The restriction no longer applies for the siting regions proposed by Nagra for Stage 3 of the Sectoral Plan process. The 2016 programme therefore considers variants for disposing of the long-lived intermediate-level waste in both the high-level waste and low- and intermediate-level waste repositories. The definitive allocation of the waste to the different repositories will be carried out stepwise as part of the various nuclear licensing procedures. This allows the waste allocation and the requirements on the waste for emplacement to be regulated on the basis of effectively existing conditions following the principle of optimisation.

- **Implementation plan for the deep geological repositories:** The legal and regulatory framework and the definition of other conceptual requirements and assumptions provide the starting-point for deriving an implementation plan for the high-level waste and low- and intermediate-level waste repositories. These requirements and assumptions allow the basic procedure to be defined and the necessary work activities to be specified. The plan is based on an estimate of the time needed for carrying out the technical work and for the regulatory procedures. It assumes that a legally valid general licence will be granted by 2031 and that the low- and intermediate-level waste repository will start operation in 2050 and the high-level waste repository in 2060. This assumes that there will be no time-consuming appeal procedures and that the technical work can be performed without significant delay.

The time plan takes into account site-specific studies for the low- and intermediate-level waste and high-level waste repositories, as well as the generic, non-site-specific work that forms part of a research and development programme. The formal recommendations made by the authorities and their experts regarding Nagra's work to date are also considered.

The multi-stage licensing procedure set out in the nuclear energy legislation ensures that the necessary leeway is maintained in terms of stepwise optimisation of the disposal facilities. It also allows flexibility in terms of taking future developments into account together with the increase in knowledge resulting from detailed site explorations and ongoing research and development.

The responsibility for safe waste disposal lies with the waste producers, who have entrusted Nagra with performing all the tasks associated with the implementation of the deep geological repositories. Nagra maintains a formal management system that is geared to the special nature of its activities and ensures that all work is performed within this system. Nagra relies on its highly qualified staff to carry out its work. It also makes use of qualified contractors and, if required, long-term agreements with recognised competence centres, collaboration with scientific institutes in Switzerland and abroad and relevant partner projects.

- **Duration and required capacity of centralised and decentralised interim storage facilities:** Radioactive waste has to be held in interim storage until such time as it can be emplaced in the deep geological repositories. Even for the scenario with the largest waste volumes (scenario 2b), sufficient capacity will be available in the ZWILAG and ZWIBEZ storage facilities for all the waste arising from the operation and decommissioning of the nuclear power plants. Sufficient capacity for the waste from medicine, industry and research expected up to 2065 can also be assured, for example with an expansion of the Federal Government's interim storage facility at the Paul Scherrer Institute. The interim storage facilities can also be operated for longer if the start of operation of the repositories is delayed. Proven infrastructure and technology for transporting the waste is already in place and concepts have been formulated for the infrastructure that will be required in the future.
- **Financing waste management activities up to the shutdown of the nuclear installations:** In order to specify the contributions to be made to the decommissioning and waste disposal funds and the financial reserves to be put aside by the owners of the nuclear installations, the costs of waste disposal and decommissioning have to be estimated every five years in a dedicated cost study. The last cost study was submitted in 2011. Following this, and based on the calculations in the cost study according to Article 4 of the Ordinance on the Decommissioning and Waste Disposal Funds (SEFV) and their review by the Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate and independent experts, the administrative commission of the two funds submitted an application for each nuclear installation to the Federal Department of the Environment, Transport, Energy and Communications for fixing of the expected amount of the decommissioning and waste disposal costs. In the interests of the information

presented being consistent and compatible, the Federal Council decree on the 2008 waste management programme specified that the 2016 cost study and the 2016 waste management programme should be submitted at the same time.

Exemplary assumptions regarding the realisation of the geological repositories have to be made to allow the costs of the repositories to be calculated, without pre-empting any future decisions or making any statements regarding preferences. These assumptions are consistent with the waste management programme but, as in the 2016 waste management programme, do not represent premature commitments in terms of decisions to be made later on the way to implementing the repositories. Accordingly, alternative variants are also considered for key decisions relating to costs. The financing of future costs will be met either directly by the plant owners (costs prior to shutdown of the nuclear power plants) or through the decommissioning fund for the costs of decommissioning the nuclear installations and the waste disposal fund for the costs of disposal arising after the shutdown of the nuclear power plants. The calculation of the reserves is based on the current cost study (2016). This ensures that the reserves to be activated in the future will cover all the expected costs, taking into account the capital returns according to the SEFV (2007).

- **Information concept:** Active dialogue with interested audiences and providing comprehensive information to the public on all aspects of nuclear waste management are decisive in terms of implementing the required repositories. The public should be in a position to understand the roles played by the different participants in the process. For the Sectoral Plan process, the lead, and hence the responsibility for providing information, lies with the Swiss Federal Office of Energy, which is responsible for ensuring the effective participation of the public in the site selection process. The Federal Office of Energy can call for the regulatory authorities and, if necessary, Nagra to bring their technical know-how to the process. The regulatory authorities (in particular the Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate and the Federal Nuclear Safety Commission) prepare expert reviews of licence applications and the operation of nuclear installations from the viewpoint of safety and technical feasibility. In their position as independent evaluators, they are responsible for ensuring that the relevant safety requirements are met. The Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate informs the public about the results of its supervisory activities and acts as a contact for questions relating to safety. Nagra has been entrusted by the waste producers with the preparation, construction and operation of the deep geological repositories. In this capacity, it provides comprehensive information on its ongoing project work, the results of its investigations and, later, on the construction and operation of the facilities and seeks active dialogue throughout with interested parties. Exemplary assumptions regarding the realisation of the geological repositories have to be made to allow the costs of the repositories to be calculated, without pre-empting any future decisions or making any statements regarding preferences. These assumptions are consistent with the waste management programme but, as in the 2016 waste management programme, do not represent premature commitments in terms of decisions to be made later on the way to implementing the repositories. Accordingly, alternative variants are also considered for key decisions relating to costs.

Nagra provides information on the status of its work and its projects at an early stage and on a regular basis. The aim of these information activities is to learn about the concerns of the different interest groups and to inform them about nuclear waste management in general and the activities of Nagra in particular. The Swiss public is informed in a transparent way about why radioactive waste should be disposed of in deep geological repositories. Society should be in a position to recognise the need for action in achieving this goal and to form objective opinions on the concrete projects and results. Using trained personnel and an ongoing approach of adapting to meet the needs of dialogue partners at different stages in the process ensures that the instruments used for information and communication are kept up to date.

The waste management programme presented here documents the boundary conditions and the fundamental procedures for the timely implementation of repositories that provide the required long-term safety. It also provides information on all the topics specified in the Nuclear Energy Ordinance, without in any way pre-empting the Sectoral Plan process. The programme sets out a proposal by the waste producers as to how the repositories are to be designed on a conceptual level (including existing variants), how the individual steps in implementing repositories are to be developed, how the time plan for implementation looks and what financial means are required.

The work programme for the immediate future is clearly defined. It is expected that significant progress will be made by the next update of the waste management programme in 2021, particularly in carrying out detailed geological investigations in the remaining geological siting regions. The results of these investigations will provide an important basis for selecting the sites for which general licence applications will be prepared according to the Sectoral Plan for Deep Geological Repositories (BFE 2008) and the submission of these applications in line with the Nuclear Energy Act (KEG 2003) and Ordinance (KEV 2004).



## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	I
Résumé .....	VII
Abstract .....	XIII
Inhaltsverzeichnis.....	XIX
Tabellenverzeichnis.....	XXII
Figurenverzeichnis .....	XXIII
<b>1 Einleitung und Zielsetzung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Hintergrund und Vorgaben zum Entsorgungsprogramm 2016.....	1
1.2 Übersicht über die übergeordneten Elemente der Entsorgung und den Stand der Arbeiten .....	3
1.3 Ziel, Inhalt und Aufbau des Entsorgungsprogramms .....	7
<b>2 Herkunft, Art und Menge der radioaktiven Abfälle .....</b>	<b>11</b>
2.1 Beschreibung der radioaktiven Abfälle .....	11
2.2 Konditionierung, Charakterisierung und Inventarisierung der radioaktiven Abfälle .....	19
2.3 Zusammenfassung .....	22
<b>3 Die geologischen Tiefenlager .....</b>	<b>25</b>
3.1 Einleitung und Übersicht .....	25
3.1.1 Entsorgungskonzepte: Eine Übersicht.....	26
3.1.2 Lagerkonzepte: Die verschiedenen Aspekte.....	30
3.1.3 Geologie.....	36
3.1.4 Sicherheitsnachweise.....	39
3.1.5 Raumnutzung und Umweltverträglichkeit.....	41
3.2 Auslegungskonzept des HAA-Lagers.....	42
3.2.1 Konzeptuelle Vorgaben und Annahmen für das HAA-Lager.....	42
3.2.2 Modellhafte Umsetzung der konzeptuellen Vorgaben und Annahmen für das HAA-Lager.....	46
3.2.3 Varianten für die Auslegung des HAA-Lagers.....	51
3.3 Auslegungskonzept des SMA-Lagers.....	53
3.3.1 Konzeptuelle Vorgaben und Annahmen für das SMA-Lager.....	53
3.3.2 Modellhafte Umsetzung der konzeptuellen Vorgaben und Annahmen für das SMA-Lager.....	57
3.3.3 Varianten für die Auslegung des SMA-Lagers.....	61
3.4 Auslegungskonzept des Kombilagers.....	62
3.4.1 Konzeptuelle Vorgaben und Annahmen für das Kombilager.....	62

3.4.2	Modellhafte Umsetzung der konzeptuellen Vorgaben und Annahmen für das Kombilager.....	64
3.4.3	Varianten für die Auslegung des Kombilagers.....	64
3.5	Zusammenfassung .....	65
<b>4</b>	<b>Zuteilung der Abfälle zu den geologischen Tiefenlagern .....</b>	<b>67</b>
4.1	Art der Abfälle und Abfallzuteilung.....	67
4.2	Zusammenfassung .....	70
<b>5</b>	<b>Realisierungsplan für die geologischen Tiefenlager .....</b>	<b>73</b>
5.1	Gesetzliche Grundlagen und behördliche Vorgaben für den Realisierungsplan.....	74
5.2	Weitere Vorgaben und Annahmen für die Festlegung des Realisierungsplans.....	76
5.3	Realisierungsplan für die geologischen Tiefenlager.....	77
5.4	Vorgehen bei der Realisierung des HAA-Lagers .....	83
5.4.1	Standortwahl gemäss Sachplan geologische Tiefenlager und Rahmenbewilligung.....	83
5.4.2	Arbeiten nach der Rahmenbewilligung .....	85
5.5	Vorgehen bei der Realisierung des SMA-Lagers .....	87
5.5.1	Standortwahl gemäss Sachplan geologische Tiefenlager und Rahmenbewilligung.....	87
5.5.2	Arbeiten nach der Rahmenbewilligung .....	87
5.6	Vorgehen bei der Realisierung des Kombilagers .....	87
5.6.1	Standortwahl gemäss Sachplan geologische Tiefenlager und Rahmenbewilligung.....	87
5.6.2	Arbeiten nach der Rahmenbewilligung .....	88
5.7	Forschungs- und Entwicklungsarbeiten.....	88
5.8	Abwicklung der Arbeiten .....	89
5.9	Überlieferung von Informationen an künftige Generationen.....	90
5.10	Zusammenfassung .....	90
<b>6</b>	<b>Zwischenlagerung .....</b>	<b>93</b>
6.1	Ausgestaltung, Dauer und Kapazität der Zwischenlagerung.....	93
6.2	Zusammenfassung .....	96
<b>7</b>	<b>Kosten und Finanzierung der Entsorgung .....</b>	<b>97</b>
7.1	Gesetzliche Vorgaben.....	97
7.2	Geschätzte Kosten .....	99
7.3	Finanzierung .....	104
7.3.1	Staatlich kontrollierte Fonds.....	104
7.3.2	Eigene Vorsorge der Eigentümer.....	106
7.3.3	Rückstellungen für Kosten vor Ausserbetriebnahme .....	106
7.4	Zusammenfassung .....	106

<b>8</b>	<b>Informationskonzept</b> .....	107
8.1	Informationsauftrag .....	107
8.2	Klare Rollenteilung zwischen Bewilligungs- und Aufsichtsbehörden sowie der Nagra .....	108
8.3	Informationsverständnis der Nagra.....	109
8.4	Zielsetzung und Inhalte der Öffentlichkeitsarbeit der Nagra.....	109
8.5	Kommunikationsinstrumente.....	110
8.6	Planung und Durchführung der Öffentlichkeitsarbeit der Nagra.....	112
8.7	Zusammenfassung .....	112
<b>9</b>	<b>Schlussfolgerungen</b> .....	115
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	117
<b>Anhang A</b>	.....	A-1
A.1	Zusammenstellung der Vorgaben in Gesetzen, Verordnungen und behördlichen Dokumenten für die Ausgestaltung und Realisierung der geologischen Tiefenlager in der Schweiz .....	A-1
A.2	Ausgangslage, Handlungsspielraum und Flexibilität .....	A-11
A.3	Bei der Vorbereitung und Realisierung der geologischen Tiefenlager zu bearbeitende Themen.....	A-19
A.4	Phasen, Zeitperioden und vorgesehene Aktivitäten für das HAA- und SMA- Programm gemäss Realisierungsplan .....	A-30
A.5	Bundesratsverfügungen und -auflagen für das Entsorgungsprogramm 2016 und ihre Anwendung im vorliegenden Bericht.....	A-39
A.6	Spezifische Empfehlungen für das Entsorgungsprogramm 2016.....	A-42
A.6.1	Empfehlungen zur Langzeitstabilität von abgebrannten Brennelementen .....	A-42
A.6.2	Empfehlungen für das Entsorgungsprogramm 2016 aus dem Projekt "Abfallbewirtschaftung im Vergleich" .....	A-43
A.7	Zwischenlagerkapazitäten für radioaktive Abfälle .....	A-48
A.8	Gesetzlicher Rahmen .....	A-53
A.9	Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen.....	A-62

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1-1:	Vorgaben zum Entsorgungsprogramm: Zitate aus KEG (2003) und KEV (2004).....	2
Tab. 2-1:	Zusammenfassung der vier im EP16 betrachteten Szenarien.....	12
Tab. 2-2a:	Abfallmengen in Kubikmeter für 50 Jahre Betrieb (KKB, KKG, KKL) sowie 47 Jahre für KKM für die aktuell gültige StSV (Szenario 1a).....	15
Tab. 2-2b:	Abfallmengen in Kubikmeter für 50 Jahre Betrieb (KKB, KKG, KKL) sowie 47 Jahre für KKM unter Berücksichtigung der absehbaren Revision der StSV (Szenario 1b).....	16
Tab. 2-2c:	Abfallmengen in Kubikmeter für 60 Jahre Betrieb (KKB, KKG, KKL) sowie 47 Jahre für KKM für die aktuell gültige StSV (Szenario 2a).....	16
Tab. 2-2d:	Abfallmengen in Kubikmeter für 60 Jahre Betrieb (KKB, KKG, KKL) sowie 47 Jahre für KKM unter Berücksichtigung der absehbaren Revision der StSV (Szenario 2b).....	17
Tab. 2-3:	Zusammenstellung der verwendeten und vorgesehenen Konditioniermethoden.....	20
Tab. 3-1:	Information zu ausgewählten Endlagern und Endlagerprojekten im Ausland.....	27
Tab. 4-1a:	Abfallmengen in Kubikmetern für die auf die Tiefenlager bezogenen Kategorien SMA, LMA, HAA (Szenario 1a).....	69
Tab. 4-1b:	Abfallmengen in Kubikmetern für die auf die Tiefenlager bezogenen Kategorien SMA, LMA, HAA (Szenario 1b).....	69
Tab. 4-1c:	Abfallmengen in Kubikmetern für die auf die Tiefenlager bezogenen Kategorien SMA, LMA, HAA (Szenario 2a).....	70
Tab. 4-1d:	Abfallmengen in Kubikmetern für die auf die Tiefenlager bezogenen Kategorien SMA, LMA, HAA (Szenario 2b).....	70
Tab. 6-1:	Belegung der Zwischenlager für Szenario 2b.....	95
Tab. 7-1:	Gesamtkosten der Entsorgung und Stilllegung gegliedert nach Themen.....	100
Tab. 7-2:	Übersicht der zeitlichen Aufteilung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten....	101
Tab. 7-3:	Gesamtkostenschätzung für die Stilllegung und die Entsorgung mit Darstellung der Kostengliederung gemäss Vorgaben der Kommission.....	102
Tab. 7-4:	Detaillierte Aufstellung der Gesamtkosten für das HAA- und SMA-Lager und die Variante Kombilager sowie Gesamtkosten mit Berücksichtigung der Variante Kombilager als Chance.....	103
Tab. 7-5:	Stand Soll-Ist-Fondsvermögen per 31.12.2015.....	105
Tab. 7-6:	Historisch erzielte annualisierte Anlagerendite seit Gründung der Fonds im Vergleich mit der Anlagerendite gemäss SEFV (2007).....	105
Tab. A.1-1:	Vorgaben und Hinweise in Gesetzen sowie in behördlichen Dokumenten.....	A-1
Tab. A.1-2:	Entscheidungspunkte: Erforderliche Genehmigungen und Bewilligungen für die schrittweise Realisierung der geologischen Tiefenlager in der Schweiz.....	A-7

Tab. A.1-3: Einzureichende Unterlagen für die in Tab. A.1-2 aufgeführten Genehmigungen und Bewilligungen für die Realisierung der geologischen Tiefenlager.....	A-9
Tab. A.2-1: Ausgangslage, Handlungsspielraum und Flexibilität. ....	A-11
Tab. A.3-1: Für die Umsetzung des Realisierungsplans aus heutiger Sicht zu bearbeitende Themen.....	A-19
Tab. A.3-2: Kurzbeschreibung der Arbeitsschwerpunkte der nächsten Jahre (exklusive RD&D).....	A-21
Tab. A.3-3: Themen, die gemäss Realisierungsplan aus heutiger Sicht im Rahmen der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten (RD&D-Programm) in den nächsten 10 Jahren behandelt werden (für Details s. Nagra 2016a). ....	A-24
Tab. A.3-4: Arbeiten im Rahmen des RD&D-Programms und der Einreichung der Rahmenbewilligung im Hinblick auf das nukleare Bau- und Betriebsgesuch (für Details s. Nagra 2016a). ....	A-29
Tab. A.4-1: Wichtigste Aktivitäten in den verschiedenen Phasen (HAA-Lager) gemäss dem Realisierungsplan. ....	A-30
Tab. A.4-2: Wichtigste Aktivitäten in den verschiedenen Phasen (SMA-Lager) gemäss dem Realisierungsplan. ....	A-32
Tab. A.4-3: Darlegung eines möglichen Programms HAA für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag gemäss Kapitel 9 im RD&D-Plan (Nagra 2016a). ....	A-34
Tab. A.4-4: Darlegung eines möglichen Programms SMA für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag gemäss Kapitel 9 im RD&D-Plan (Nagra 2016a). ....	A-36
Tab. A.4-5: Betriebs- und Stilllegungszeiten der KKW und Zwischenlager gemäss Szenario 2b. ....	A-38
Tab. A.7-1: Gebindespezifische Verpackungsvorschrift für SMA/ATA.....	A-49
Tab. A.7-2: Belegung (Zahl der Abfallgebinde) von ZWIBEZ-S, ZWILAG-M und ZWILAG-S für die Zwischenlagerung von schwach- und mittelaktiven KKW-Abfällen im Szenario 2b. ....	A-51
Tab. A.7-3: Vorhandene und erforderliche Zwischenlagerkapazität (Anzahl Stellplätze) sowie Belegungsgrad von ZWILAG-M, ZWILAG-S und ZWIBEZ-S für Szenario 2b. ....	A-51

## Figurenverzeichnis

Fig. 1-1a: Die im Entsorgungsprogramm zu behandelnden Elemente (modellhaft) im Falle von zwei getrennten geologischen Tiefenlagern für HAA und SMA. ....	5
Fig. 1-1b: Die im Entsorgungsprogramm zu behandelnden Elemente (modellhaft) im Falle eines Kombilagers, in welchem das SMA- und HAA-Lager im gleichen Standortgebiet angeordnet sind und dabei Elemente der Oberflächeninfrastruktur und zumindest ein Teil der Zugangsbauwerke nach Untertag gemeinsam genutzt werden können.....	6

Fig. 1-2:	Die sechs Standortgebiete als Ergebnis von Etappe 1 des Sachplanverfahrens (Nagra 2008c).....	7
Fig. 2-1:	Zeitlicher Anfall der radioaktiven Abfälle in der Schweiz (in Kubikmeter) für die bestehenden Kernkraftwerke und aus dem MIF-Bereich für eine Sammelperiode bis 2065 für das Szenario 2b.....	18
Fig. 3-1a:	Sicherheitskonzept für das HAA-Lager mit gestaffelten passiven Sicherheitsbarrieren für die abgebrannten Brennelemente (BE).....	31
Fig. 3-1b:	Sicherheitskonzept für das HAA-Lager mit gestaffelten passiven Sicherheitsbarrieren für die verglasten hochaktiven Abfälle (HAA).....	32
Fig. 3-1c:	Sicherheitskonzept für das HAA-Lager mit gestaffelten passiven Sicherheitsbarrieren für die langlebigen mittelaktiven Abfälle (LMA).....	33
Fig. 3-1d:	Sicherheitskonzept für das SMA-Lager mit gestaffelten passiven Sicherheitsbarrieren.....	34
Fig. 3-2:	Informationsquellen geologischer Daten.....	38
Fig. 3-3:	Konzeptuelle Darstellung des HAA-Lagers für abgebrannte Brennelemente (BE) und verglaste hochaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (HAA) sowie für langlebige mittelaktive Abfälle (LMA).....	43
Fig. 3-4:	Systemskizze für die untertägigen Anlagen des HAA-Lagers.....	47
Fig. 3-5:	Mögliche, nicht standortspezifische, funktionale Anordnung und Ausgestaltung der verschiedenen Bauwerke (Module) der Oberflächenanlage für das HAA-Lager.....	48
Fig. 3-6:	Modellhafte standortspezifische Gestaltung der Oberflächenanlage für das HAA-Lager in fiktiver Umgebung.....	49
Fig. 3-7:	Konzeptuelle Darstellung des SMA-Lagers für schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA).....	54
Fig. 3-8:	Systemskizze für die untertägigen Anlagen des SMA-Lagers.....	57
Fig. 3-9:	Mögliche nicht standortspezifische, funktionale Anordnung und Ausgestaltung der verschiedenen Bauwerke (Module) der Oberflächenanlage für das SMA-Lager.....	58
Fig. 3-10:	Modellhafte standortspezifische Gestaltung der Oberflächenanlage für das SMA-Lager in fiktiver Umgebung.....	58
Fig. 3-11:	Konzeptuelle Darstellung des Kombilagers.....	63
Fig. 3-12:	Systemskizze für die untertägigen Anlagen des Kombilagers.....	64
Fig. 5-1a:	Realisierungsplan für das HAA-Lager gemäss heutiger Planung.....	79
Fig. 5-1b:	Realisierungsplan für das SMA-Lager gemäss heutiger Planung.....	80
Fig. 8-1:	Darstellung der verschiedenen Akteure im SGT.....	108
Fig. A.7-1:	Abfallgebinde der KKW für die Konditionierung und Zwischenlagerung der schwach- und mittelaktiven Abfälle.....	A-48

# 1 Einleitung und Zielsetzung

## 1.1 Hintergrund und Vorgaben zum Entsorgungsprogramm 2016

Gemäss Kernenergiegesetzgebung (Kernenergiegesetz, KEG 2003 und Kernenergieverordnung, KEV 2004) übernimmt der Bund eine Führungsrolle bei der nuklearen Entsorgung. Dazu stehen ihm verschiedene Instrumente zur Verfügung, insbesondere der Sachplan geologische Tiefenlager (SGT) zur Wahl der Standorte für die geologischen Tiefenlager (Bundesamt für Energie, BFE 2008), der Entsorgungs- und Stilllegungsfonds zur Sicherstellung der Finanzierung und das Entsorgungsprogramm mit Festlegungen zu übergeordneten Aspekten der Entsorgung; damit sind die für die erfolgreiche Realisierung der Entsorgung notwendigen Rahmenbedingungen und Voraussetzungen geschaffen.

Kernenergiegesetz und -verordnung verpflichten die Entsorgungspflichtigen<sup>1</sup>, den zuständigen Behörden ein Entsorgungsprogramm vorzulegen und dieses alle fünf Jahre anzupassen (KEV Art. 52). Das Kernenergiegesetz (KEG Art. 32) und die Kernenergieverordnung (KEV Art. 52) enthalten Angaben zum erforderlichen Inhalt und Aufbau des Entsorgungsprogramms; die entsprechenden Vorgaben sind in Tab. 1-1 wiedergegeben. 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.

Das erste Entsorgungsprogramm (Nagra 2008a: NTB 08-01) wurde von der Nagra im Auftrag der Entsorgungspflichtigen erstellt und 2008 beim Eidgenössischen Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) eingereicht. Aufgrund der behördlichen Überprüfung durch das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI und das BFE (ENSI 2011a), die Kommission für nukleare Sicherheit KNS (KNS 2011) sowie der Auswertung der Anhörung (BFE 2013) hat der Bundesrat in seiner Verfügung vom 28. August 2013 (Bundesrat 2013) bestätigt, dass mit dem Entsorgungsprogramm 2008 (EP08) die Nagra den gesetzlichen Auftrag der Entsorgungspflichtigen gemäss KEG Art. 32 sowie KEV Art. 52 und gemäss Ziffer 3 des Bundesratsbeschlusses vom 2. April 2008 zum Sachplan geologische Tiefenlager Konzeptteil erfüllt.

Der Bundesrat hat zudem den Bericht zum Umgang mit den Empfehlungen in den Gutachten und Stellungnahmen zum Entsorgungsnachweis (Nagra 2008b: NTB 08-02) zur Kenntnis genommen und verfügt, dass das nächste Entsorgungsprogramm im Jahr 2016 gleichzeitig mit den Kostenstudien 2016 und zusammen mit einem Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsplan (RD&D-Plan) einzureichen ist.

---

<sup>1</sup> Die Entsorgungspflichtigen sind die Elektrizitätsgesellschaften als Betreiber der Kernkraftwerke sowie die Schweizerische Eidgenossenschaft, die für die Entsorgung der aus der Medizin, Industrie und Forschung stammenden radioaktiven Abfälle (MIF, s. Kap. 2) verantwortlich ist.

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

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

Im Weiteren hat der Bundesrat im Hinblick auf das Entsorgungsprogramm 2016 der Entsorgungspflichtigen (EP16) spezifische Auflagen verfügt (Bundesrat 2013); diese sind in Anhang A.5 wiedergegeben. Eine wichtige Grundlage der bundesrätlichen Auflagen stellt die behördliche Überprüfung des EP08 durch ENSI und das BFE dar (ENSI 2011a). Zudem sind die Anliegen der KNS (KNS 2011), wie sie in ihren Empfehlungen zum EP08 zum Ausdruck kamen, in den vom Bundesrat verfügten Auflagen berücksichtigt worden (Agneb 2014). Anhang A.5 legt zusammenfassend dar, wie im EP16 auf die Auflagen des Bundesrats eingegangen wird.

In Anhang A.6 wird zudem auf spezifische Empfehlungen zum Entsorgungsprogramm 2016 hingewiesen. Die Angaben in Anhang A.6.2 beziehen sich auf die Erkenntnisse des Projekts "Abfallbewirtschaftung im Vergleich" aus dem Forschungsprogramm "Radioaktive Abfälle" der Arbeitsgruppe des Bundes für die nukleare Entsorgung Agneb (Agneb 2014).

## 1.2 Übersicht über die übergeordneten Elemente der Entsorgung und den Stand der Arbeiten

Die übergeordneten Elemente der Entsorgung<sup>2</sup> sind schematisch in Fig. 1-1a und b dargestellt. Die Ausgangslage bezüglich Entsorgung lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- In der Schweiz wird die Kernenergie zur Stromerzeugung und zur Erzeugung von Prozess- und Fernwärme seit Ende der 1960er Jahre genutzt (Inbetriebnahme Kernkraftwerk Beznau-I: 1969, Beznau-II und Mühleberg: 1972, Gösgen: 1979, Leibstadt: 1984). Ausserhalb der Kernenergienutzung fallen in Medizin, Industrie und Forschung bereits seit Jahrzehnten ebenfalls radioaktive Abfälle an.
- Die radioaktiven Abfälle werden laufend in eine für die weitere Entsorgung geeignete Form gebracht (Konditionierung) und sind in Zwischenlagern sicher eingelagert, bis sie in die entsprechenden geologischen Tiefenlager verbracht werden können. Die dazu notwendigen zentralen bzw. dezentralen Zwischenlager sind vorhanden (s. Kap. 6).
- In Übereinstimmung mit der internationalen Praxis geht das schweizerische Entsorgungskonzept ebenfalls von zwei geologischen Tiefenlagern aus: eines für schwach- und mittelaktive Abfälle (sogenanntes SMA-Lager) und eines für abgebrannte Brennelemente sowie verglaste hochaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (sogenanntes HAA-Lager). SMA und alpha-toxischen Abfälle (ATA; s. Kap. 2), welche abgegrenzt und derzeit dem HAA-Lager zugeteilt sind, werden als LMA (langlebige schwach- und mittelaktive Abfälle) bezeichnet (für Informationen zur Abfallzuteilung zu den Lagertypen SMA und HAA inklusive dem EP16 zugrunde liegende Varianten vgl. Kap. 4.1).
- Die seit ca. 40 Jahren in der Schweiz durchgeführten Arbeiten zur geologischen Tiefenlagerung haben zu einem soliden technisch-wissenschaftlichen Kenntnisstand geführt. Dazu gehört der Entsorgungsnachweis für die schwach- und mittelaktiven Abfälle (erbracht am Beispiel Oberbauenstock (Nagra 1985a) und vom Bundesrat 1988 bestätigt) und für die hochaktiven Abfälle (erbracht am Beispiel Opalinuston im Zürcher Weinland (Nagra 2002a, b und c) und vom Bundesrat 2006 bestätigt), die Arbeiten zur Identifikation von Standorten bzw. Standortregionen (Standortwahl SMA; Nagra 1981, Nagra 1983, Nagra 1993, HSK 2001) sowie die Arbeiten zur Abklärung der Möglichkeiten für die Lagerung der HAA (Nagra 2005), inklusive Wahl des Opalinustons und des Zürcher Weinlands für den Entsorgungsnachweis für HAA (Nagra 1988, Nagra 1991, Nagra 1994a, Nagra 1994c, AkEnd 2002, HSK 2002, HSK 2005a). Für das SMA-Lager wurde mit dem Projekt Wellenberg Rahmenbewilligungsreife erreicht (GNW 1994, Nagra 1994b, HSK 1996). Nach zwei ablehnenden kantonalen Abstimmungen wurde das Projekt zurückgezogen. Im Rahmen des Sachplanverfahrens wurden die bestehenden Kenntnisse vertieft und in einer Reihe von Berichten zusammengefasst (SGT Etappe 1: Nagra 2008c, d und e; SGT Etappe 2: Nagra 2010, Nagra 2014a, b und c). Die aktuelle Gesetzgebung (KEG 2003, KEV 2004) regelt die Entsorgung umfassend und bildet eine wichtige Grundlage für das hier beschriebene Entsorgungsprogramm. Das vom Bundesrat verabschiedete Konzept Sachplan geologische Tiefenlager SGT (BFE 2008) legt das Vorgehen für die Wahl von geologischen Standortgebieten im Hinblick auf die Rahmenbewilligungsgesuche für die geologischen Tiefenlager für SMA bzw. HAA fest.

---

<sup>2</sup> Gemäss KEG Art. 3b besteht die Entsorgung aus Konditionierung, Zwischenlagerung und Lagerung der radioaktiven Abfälle in einem geologischen Tiefenlager.

- Die Nagra hat im Rahmen des Sachplanverfahrens SGT Etappe 1 sechs Standortgebiete vorgeschlagen, welche den geologischen und sicherheitstechnischen Anforderungen gemäss Sachplan genügen (Fig. 1-2). Die Aufsichtsbehörden bestätigten den Vorschlag und der Bundesrat hat diese sechs Standortgebiete mit Entscheid im November 2011 in den Sachplan aufgenommen.
- In SGT Etappe 2 wurden in den Standortgebieten, gestützt auf die Zusammenarbeit mit den Standortregionen, mögliche Standortareale für die Oberflächenanlage bezeichnet sowie ergänzende geologische und sicherheitstechnische Untersuchungen durchgeführt. Im August 2014 wurde der Nagra von den Aufsichtsbehörden bescheinigt, dass der geologische Kenntnisstand ausreichend sei, damit sie – wie im Sachplan geologische Tiefenlager vorgesehen – ihre Vorschläge für mindestens zwei Standortgebiete pro Lagertyp beim BFE einreichen kann. Dies ist im Dezember 2014 erfolgt. Die Nagra schlägt basierend auf ihren Untersuchungen und den Ergebnissen des sicherheitstechnischen Vergleichs die Standortgebiete Zürich Nordost und Jura Ost für die weiteren Untersuchungen für Etappe 3 vor<sup>3</sup>.
- Die Resultate der angelaufenen erdwissenschaftlichen Untersuchungen der verbleibenden geologischen Standortgebiete und die erarbeiteten umfangreichen technisch-wissenschaftlichen Grundlagen werden der Nagra in SGT Etappe 3 erlauben, für die geologischen Tiefenlager für SMA bzw. HAA die Auswahl der Standorte für die Vorbereitung der Rahmenbewilligungsgesuche gemäss Konzept Sachplan geologische Tiefenlager (BFE 2008) zu treffen und entsprechende Rahmenbewilligungsgesuche einzureichen.

---

<sup>3</sup> Im Rahmen der Beurteilung der entsprechenden Unterlagen wird diskutiert, ob auch das Standortgebiet Nördlich Lägern in Etappe 3 weiter untersucht werden soll. Um weitere Verzögerungen zu vermeiden, hat die Nagra auch für das Standortgebiet Nördlich Lägern ein Explorationskonzept eingereicht (Nagra 2016d), die entsprechenden Planungsarbeiten aufgenommen sowie mit ersten erdwissenschaftlichen Untersuchungen (3D-Seismik) begonnen.

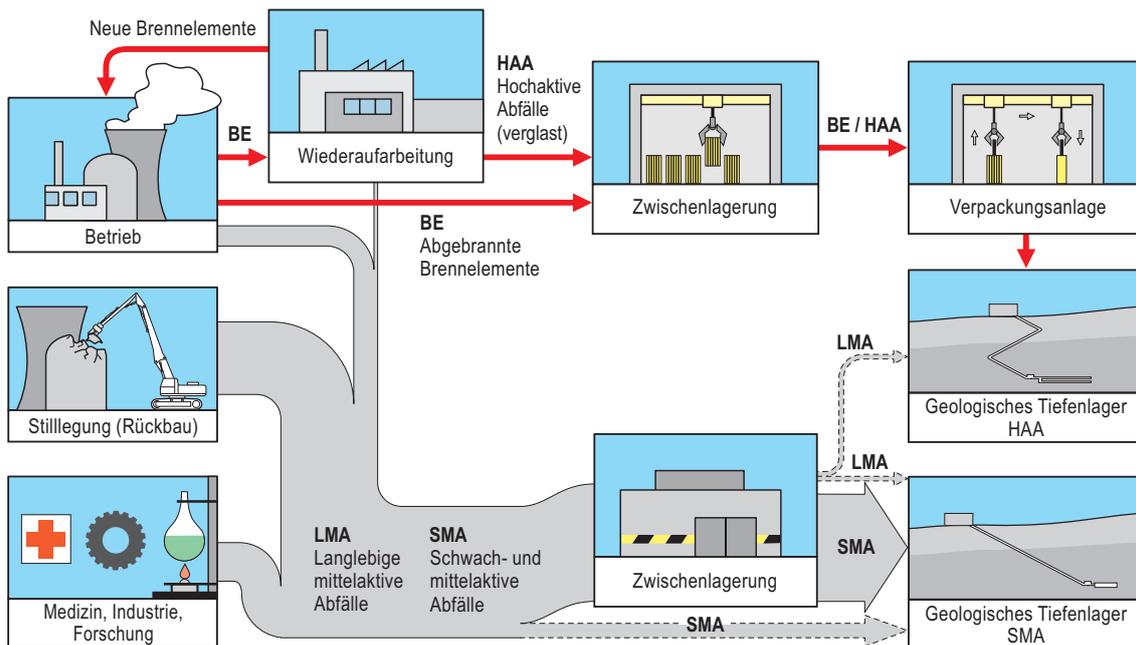


Fig. 1-1a: Die im Entsorgungsprogramm zu behandelnden Elemente (modellhaft) im Falle von zwei getrennten geologischen Tiefenlagern für HAA und SMA.

(i) alle in der Schweiz anfallenden radioaktiven Abfälle und deren Behandlung (s. Kap. 2), (ii) die Zwischenlagerung (s. Kap. 6) und (iii) die Abfallzuteilung in die geologischen Tiefenlager (s. Kap. 4), eines für die schwach- und mittelaktiven Abfälle (SMA), das sogenannte SMA-Lager und eines für die abgebrannten Brennelemente (BE), die hochaktiven Abfälle (HAA), das sogenannte HAA-Lager (inklusive BE/HAA-Verpackungsanlage; für detaillierte Illustration s. Kap. 3.2). Langlebige mittelaktive Abfälle (LMA) und SMA werden vor ihrer Einlagerung ebenfalls in Endlagerbehälter verpackt (für Illustration der LMA/SMA-Verpackungsanlagen vgl. Kap. 3.2 und 3.3).

Die Einlagerung von LMA sowohl in das HAA- als auch in das SMA-Lager wird im EP16 als Varianten ausgewiesen (s. Kap. 4.1).

Es besteht die Option, dass je nach Betriebszeiten der KKW (s. Tab. A.4-5 und Hinweis in Kap. 6) einige Abfälle aus der Stilllegung direkt ins SMA-Lager verbracht werden können.

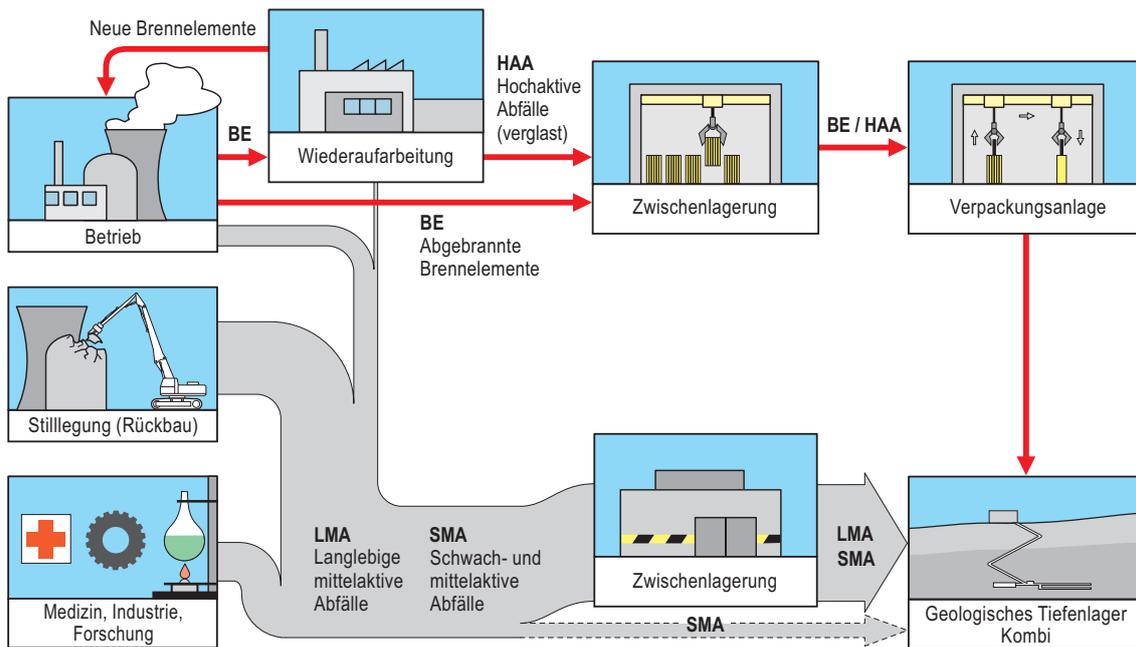


Fig. 1-1b: Die im Entsorgungsprogramm zu behandelnden Elemente (modellhaft) im Falle eines Kombilagers, in welchem das SMA- und HAA-Lager im gleichen Standortgebiet angeordnet sind und dabei Elemente der Oberflächeninfrastruktur und zumindest ein Teil der Zugangsbauwerke nach Untertag gemeinsam genutzt werden können.

(i) alle in der Schweiz anfallenden radioaktiven Abfälle und deren Behandlung (s. Kap. 2), und (ii) die Zwischenlagerung (s. Kap. 6). Ein Kombilager umfasst eine BE/HAA-Verpackungsanlage (für detaillierte Illustration vgl. Kap. 3.2). LMA und SMA werden vor ihrer Einlagerung ebenfalls in Endlagerbehälter verpackt (für Illustration der LMA/SMA-Verpackungsanlagen vgl. Kap. 3.2 und 3.3).

Im Falle eines Kombilagers ist bei geeigneter Anordnung eine auf die spezifischen Abfalleigenschaften orientierte optimierte Abfallzuteilung (HAA, LMA, SMA; s. Kap. 4.1) und Auslegung des geologischen Tiefenlagers möglich.

Es besteht die Option, dass je nach Betriebszeiten der KKW (s. Tab. A.4-5 und Hinweis in Kap. 6) einige Abfälle aus der Stillegung direkt ins Kombilager verbracht werden können.

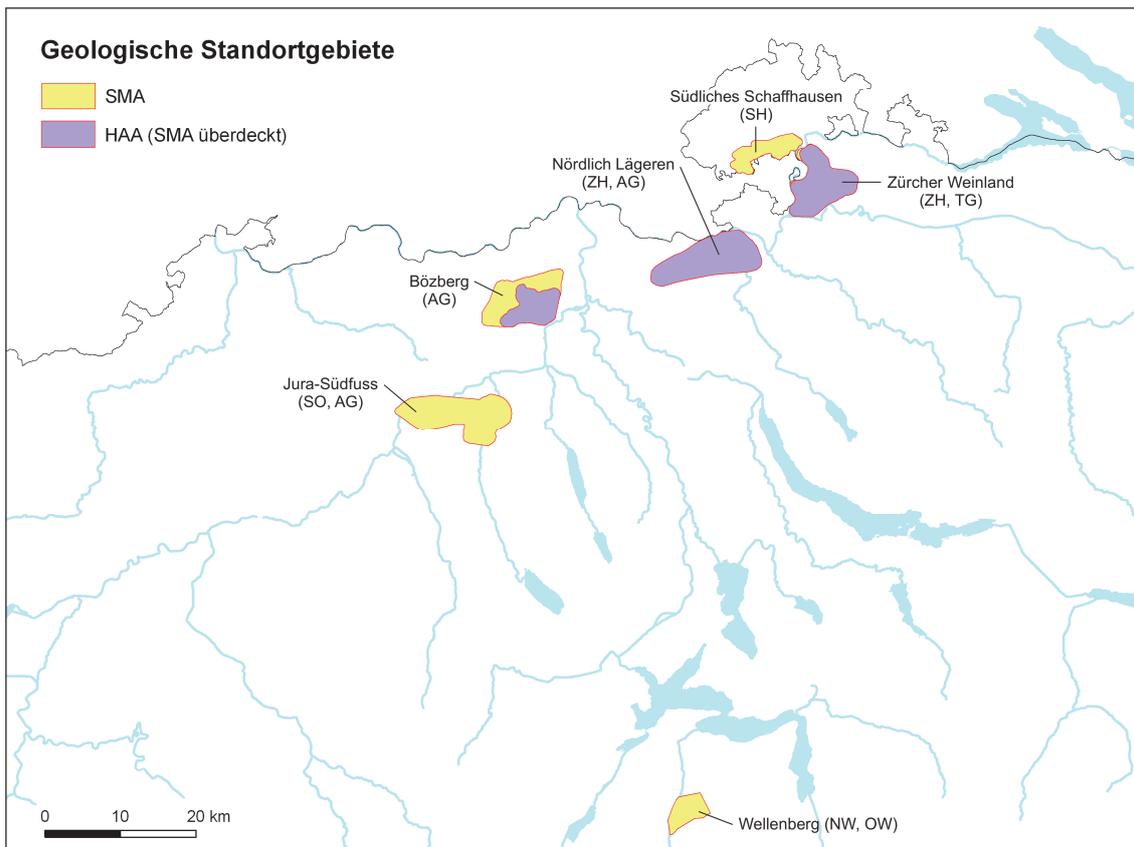


Fig. 1-2: Die sechs Standortgebiete als Ergebnis von Etappe 1 des Sachplanverfahrens (Nagra 2008c).

### 1.3 Ziel, Inhalt und Aufbau des Entsorgungsprogramms

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. Das im Entsorgungsprogramm dokumentierte Arbeitsprogramm und der zugrunde liegende Realisierungsplan sollen auch als Basis für die periodische Aktualisierung der Kostenstudie zur Entsorgung dienen, um die entsprechenden Rückstellungen und die jährlichen Beiträge in den Entsorgungsfonds (SEFV 2007) festzulegen. Das Entsorgungsprogramm ist aufgrund unterschiedlicher Vorgaben und einer anders gelagerten Zielsetzung bewusst breiter angelegt als die Kostenstudie für die Entsorgungskosten (s. Kap. 7). Um eine stufengerechte Optimierung und den Erhalt einer ausreichenden Flexibilität zur Berücksichtigung geänderter externer Vorgaben und zukünftiger technisch-wissenschaftlicher Erkenntnisse und Fortschritte sicherzustellen, umfasst das EP16 verschiedene Varianten.

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<sup>4</sup> 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<sup>5</sup>,
- *welche* Unterlagen für die verschiedenen Verfahren erforderlich sind,
- und *welche* übergeordneten Aktivitäten für die Realisierung der geologischen Tiefenlager und zur Erstellung der dazu benötigten Unterlagen notwendig sind und *welche* Ressourcen (Zeit, Kosten) dazu benötigt werden.

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

Dies betrifft insbesondere:

- die Evaluation möglicher geologischer Standortgebiete und Standorte im Rahmen des Sachplanverfahrens gemäss BFE (2008)
- die Festlegung der Auslegung der geologischen Tiefenlager für SMA 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. Bewilligungen für erdwissenschaftliche Untersuchungen gemäss KEG (2003).

Der vorliegende Bericht ist folgendermassen aufgebaut: Kap. 1 gibt eine Einleitung zum Entsorgungsprogramm und beschreibt dessen Zielsetzungen und seinen Aufbau. Kap. 2 beschreibt die Herkunft, Art und Menge der radioaktiven Abfälle sowie ihre Konditionierung, Charakterisierung und Inventarisierung. Kap. 3 behandelt die benötigten geologischen Tiefenlager einschliesslich ihres Auslegungskonzepts, Kap. 4 diskutiert die Zuteilung der Abfälle zu den geologischen Tiefenlagern und Kap. 5 umfasst den Realisierungsplan für die Erstellung der geologischen Tiefenlager einschliesslich des dazu notwendigen Forschungs- und Entwicklungspro-

---

<sup>4</sup> Deshalb werden im Entsorgungsprogramm für die unterschiedlichen Aspekte der Entsorgung verschiedene Varianten diskutiert, um aufzuzeigen, welcher Handlungsspielraum für die Optimierung erforderlich ist (Berücksichtigung projektbezogener technisch-wissenschaftlicher Erkenntnisse und Fortschritte) und welche Flexibilität zur Berücksichtigung geänderter externer Vorgaben (z.B. bezüglich einzulagernder Abfälle) notwendig ist.

<sup>5</sup> Die diesbezüglichen im EP16 dokumentierten Überlegungen sind zur besseren Übersicht auch tabellarisch im Anhang zusammenfassend dargestellt (Anhang A.2).

gramms. Kap. 6 beschreibt die Dauer und die benötigte Kapazität der zentralen und dezentralen Zwischenlagerung. Kap. 7 umfasst die Kosten und die Finanzierung der Entsorgung. Kap. 8 dokumentiert das Informationskonzept und Kap. 9 enthält die Schlussfolgerungen.

Zwischen dem vorliegenden Entsorgungsprogramm 2016 und dem Entsorgungsprogramm 2008 besteht eine grosse strukturelle und inhaltliche Übereinstimmung. Gründe hierzu sind:

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

Für alle zentralen Themen wird jeweils am Anfang von Kap. 2 bis 8 kurz dargelegt, inwieweit sich die dem EP16 zugrunde liegenden Annahmen und Grundsätze gegenüber dem EP08 geändert haben. Somit sind – redaktionelle Anpassungen und die Aufdatierung von Referenzangaben ausgeschlossen – wichtige themenspezifische Unterschiede des EP16 gegenüber seiner Vorgängerversion für den Leser und die Leserin rasch erkennbar.

Die wesentlichen Unterschiede zwischen dem EP08 und dem EP16 sind:

- Die Bundesratsauflagen zum EP08 werden im EP16 adäquat berücksichtigt.
- Die Anpassung der Realisierungspläne inklusive deren Auswirkungen auf die Zwischenlagerung wird im EP16 dargestellt.
- Eine Revision der Strahlenschutzverordnung (StSV) ist absehbar. Im Rahmen von verschiedenen Szenarien (Szenario 1b, 2b) werden im EP16 deshalb die zu erwartenden neuen nuklidspezifischen Freigrenzen berücksichtigt.
- Das EP16 enthält eine kurze Darstellung des bedeutenden Fortschritts im Sachplanverfahren geologische Tiefenlager seit 2008. So konnten in Etappe 1 ausgehend von einer weissen Karte der Schweiz mit dem Bundesratsentscheid von 2011 sechs potenzielle Standortgebiete bestimmt und in Objektblättern festgehalten werden. Zudem konnten in Etappe 2 gestützt auf eine intensive Zusammenarbeit mit den Standortregionen gemäss Sachplan mindestens je ein Standortareal für die Oberflächenanlage bezeichnet werden. Im Weiteren hat die Nagra in Etappe 2 Vorschläge für die in SGT Etappe 3 weiter zu untersuchenden Standortgebiete beim Bundesamt für Energie (BFE) eingereicht, über welche der Bundesrat voraussichtlich Ende 2018 befinden wird. Ebenso wurden in ausgewählten Standortgebieten im Hinblick auf SGT Etappe 3 mit weitergehenden Felduntersuchungen begonnen (3D-Seismik) und Gesuche für Sondierbohrungen eingereicht.
- Der erste Bericht zur Forschung, Entwicklung und Demonstration (Nagra 2009) wurde von der Nagra im Nachgang zum EP08 erstellt; der Darlegung von RD&D-Arbeitsschwerpunkten wurde deshalb im EP08 ein entsprechendes Gewicht beigemessen. Mit der Auflage des Bundesrats, das nächste Entsorgungsprogramm im Jahr 2016 gleichzeitig mit einem Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsplan (RD&D-Plan) einzureichen, existiert nunmehr ein wichtiger Referenzbericht (Nagra 2016a) zum EP16. In diesem sind Zweck, Umfang, Art und zeitliche Abfolge der RD&D-Aktivitäten (RD&D-Programm) im Detail erläutert, wobei der Schwerpunkt auf der Darlegung der Arbeiten in den nächsten ca. 10 Jahren liegt. Das EP16 beschränkt sich daher in seinen Aussagen zu RD&D-Arbeiten auf eine kurze Darstellung von Themen, die im RD&D-Plan (Nagra 2016a) detailliert behandelt werden.



## 2 Herkunft, Art und Menge der radioaktiven Abfälle

### Wesentliche Unterschiede zwischen dem EP08 und dem EP16

Im Folgenden werden die grössten Gemeinsamkeiten bzw. Unterschiede zwischen dem EP08 und dem EP16 dargestellt. In Kap. 2.1 sind die wesentlichen Gründe für Abweichungen bei den anfallenden Abfallmengen zwischen dem EP08 und dem EP16 erörtert. Im EP08 wurde bei den Abfallmengen von einem 50-jährigen Betrieb der bestehenden KKW und einer Sammelperiode der Abfälle aus dem MIF-Bereich bis zum Jahr 2050 ausgegangen. In weiteren Szenarien wurde im EP08 ein 60-jähriger Betrieb der KKW (mit Sammelperiode der MIF-Abfälle bis zum Jahr 2060) sowie zusätzliche Abfallmengen aus einer Elektrizitätsproduktion neuer KKW betrachtet.

Im EP16 wird mit Ausnahme des KKM (Kernkraftwerk Mühleberg) wiederum von einem 50-jährigen Betrieb der KKW ausgegangen. Für das KKM sind es neu nicht mehr 50 sondern 47 Jahre; dies trägt der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs des KKM im Jahr 2019 Rechnung. Ebenso werden die Abfallmengen für einen 60-jährigen Betrieb der KKW (KKM wiederum 47 Jahre) ausgewiesen. Für beide Fälle werden neu Szenarien mit und ohne zusätzliche Abfallmengen aufgrund einer absehbaren Revision der Strahlenschutzverordnung (StSV) aufgeführt. Im EP16 wird in allen Szenarien von einer Sammelperiode der MIF-Abfälle bis zum Jahr 2065 (Ende des Einlagerungsbetriebs für das SMA-Lager; s. Kap. 5.3) ausgegangen. Die Angaben zur Konditionierung, Charakterisierung und Inventarisierung der radioaktiven Abfälle sind gegenüber dem EP08 in ihren Grundsätzen unverändert und Änderungen beschränken sich auf redaktionelle Anpassungen und die Aufdatierung von Referenzangaben.

### 2.1 Beschreibung der radioaktiven Abfälle

In der Schweiz werden für die Beschreibung der radioaktiven Abfälle die Kategorien<sup>6</sup> gemäss KEV Art. 51 verwendet:

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

In der Schweiz fallen radioaktive Abfälle und Materialien bei der Nutzung der Kernenergie und bei der Verwendung radioaktiver Materialien in Medizin, Industrie und Forschung (MIF) an. Wie bereits erwähnt, werden im EP16 hinsichtlich der Angaben zur Menge und zum zeitlichen Anfall von Abfällen vier verschiedene Szenarien (Tab. 2-1) betrachtet:

- *Szenario 1a*: 50 Jahre Betrieb der Kernkraftwerke Beznau (KKB), Gösgen (KKG) und Leibstadt (KKL), 47 Jahre Betrieb für das Kernkraftwerk Mühleberg (KKM). Dabei wird von den nuklidspezifischen Freigrenzen in der bestehenden Strahlenschutzverordnung (StSV 1994) ausgegangen.
- *Szenario 1b*: Betriebszeiten wie in Szenario 1a, jedoch unter Berücksichtigung der in der absehbaren Revision der StSV zu erwartenden neuen nuklidspezifischen Freigrenzen und der Abklinglagerung von sehr schwachaktiven Materialien (s. Kap. 6.1).

<sup>6</sup> Diese an die internationale Praxis anlehrende Kategorisierung basiert auf den physikalischen Eigenschaften der in der Schweiz vorkommenden radioaktiven Abfälle.

- *Szenario 2a*: 60 Jahre Betrieb der Kernkraftwerke KKB, KKG, KKL, ansonsten wie in Szenario 1a.
- *Szenario 2b*: Betriebszeiten wie in Szenario 2a, jedoch unter Berücksichtigung der in der absehbaren Revision der StSV zu erwartenden neuen nuklidspezifischen Freigrenzen und der Abklinglagerung von sehr schwachaktiven Materialien (s. Kap. 6.1).

Tab. 2-1: Zusammenfassung der vier im EP16 betrachteten Szenarien.

Szenario	Betriebszeit KKW	StSV <sup>1)</sup>	Abklinglagerung <sup>2)</sup>
1a	50 Jahre (47 Jahre KKM)	Bestehende StSV	Keine Abklinglagerung
1b	50 Jahre (47 Jahre KKM)	Revidierte StSV	Mit Abklinglagerung
2a	60 Jahre (47 Jahre KKM)	Bestehende StSV	Keine Abklinglagerung
2b	60 Jahre (47 Jahre KKM)	Revidierte StSV	Mit Abklinglagerung

<sup>1)</sup> Die StSV befindet sich gegenwärtig in Revision, die zu einer Anpassung der Freigrenzen führen wird. Die Änderung der Freigrenzen wird im EP16 im Sinne des Vorsichtsprinzips bereits berücksichtigt (Szenario 1b und 2b).

<sup>2)</sup> Gemäss dem derzeitigen Stand der sich in Revision befindenden Strahlenschutzverordnung beträgt die Zeit für die "Abklinglagerung" maximal 30 Jahre (StSV Art. 85 Abs. 2). Für nähere Angaben zur Abklinglagerung s. Kap. 6.1.

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

- Hinsichtlich Betriebsabfälle aus dem MIF-Bereich wird von einer Sammelperiode bis zum Ende der Einlagerung der radioaktiven Abfälle in das geologische Tiefenlager SMA (bis 2065, vgl. Kap. 5.3) ausgegangen.
- Bei den Angaben zu den Betriebsabfällen aus dem Hotlabor des Paul Scherrer Instituts (PSI) wird von einer Sammelperiode bis 2034 (Szenarien 1a, 1b) und 2044 (Szenarien 2a, 2b) ausgegangen. Diese Sammelperioden fallen mit dem jeweiligen Ende des kommerziellen Betriebs von KKL zusammen (s. Tab. A.4-5).

Das in Fig. 1-1 dargestellte schweizerische Entsorgungskonzept umfasst sowohl die Wiederaufarbeitung als auch die direkte geologische Tiefenlagerung von abgebrannten Brennelementen. So wurden in der Vergangenheit ca. 1'139 t Brennstoff (Uran/Schwermetall, kurz tU) der Wiederaufarbeitung zugeführt. Das KEG (Art. 106 Abs. 4) enthält ein Moratorium für die Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennelementen; dieses wurde 2016 im Rahmen von Übergangsbestimmungen um 4 Jahre verlängert<sup>7</sup>. Für das EP16 wird davon ausgegangen, dass die Wiederaufarbeitung in der Schweiz nicht wieder aufgenommen wird. Diese Annahme ist hinsichtlich der Angaben zum Inventar und zu den Abfallmengen konservativ, da die Wiederaufarbeitung grundsätzlich zu einer Reduktion der in einem geologischen Tiefenlager einzulagernden Abfallmengen und des radiologischen Inventars führt. Für die direkte geologische Tiefenlagerung von abgebrannten Brennelementen werden ca. 2'433 tU (47/50 Jahre Betrieb KKM / restliche KKW) bzw. 2'932 tU (47/60 Jahre Betrieb) prognostiziert.

<sup>7</sup> Abgebrannte Brennelemente dürfen während einer Zeit von zehn Jahren ab dem 1. Juli 2006 nicht zur Wiederaufarbeitung ausgeführt werden. Die Bundesversammlung kann die Frist von zehn Jahren durch einfachen Bundesbeschluss um höchstens zehn Jahre verlängern. Die Frist wurde am 1. Juli 2016 um vier Jahre verlängert (KEG Art. 106 Abs. 4).

Die Abfallmengen für die Szenarien 1a – 2b sind in Tab. 2-2a bis d aufgeführt. Diese Tabellen zeigen zunächst das Volumen für die "angelieferten" bzw. konditionierten Abfälle; dies entspricht dem Volumen der Abfälle, welches für ihre Lagerung in den Zwischenlagern benötigt wird. Da die Abfälle vor ihrer Einlagerung in die Lagerkammern der geologischen Tiefenlager in Endlagerbehälter verpackt werden (vgl. Kap. 3.2 und 3.3), ist in Klammern auch das Volumen für die in Endlagerbehälter verpackten Abfälle ausgewiesen. Die detaillierten Eigenschaften der Abfälle sind in Nagra (2014d) dokumentiert. Der zeitliche Anfall der Abfälle (konditioniert bzw. zusätzlich in Endlagerbehälter verpackt) für das Szenario 2b ist in Fig. 2-1 (oben und unten) als Summenkurve dargestellt, gegliedert nach der Herkunft der Abfälle.

Die im Folgenden benutzten Bezeichnungen (s. Tab. 2-2a – d sowie Anhang A.9) sind weitgehend identisch mit denjenigen in den entsprechenden Tabellen des EP08. Unterschiede in der Bezeichnung zum EP08 betreffen:

- WA (KKW)-HAA in Tab. 2-2a – d entspricht HAA (EP08)
- WA (KKW)-ATA in Tab. 2-2a – d entspricht WA-MA (EP08)
- BA / RA (KKW) in Tab. 2-2a – d sind in EP08 unter BA zusammengefasst.

Das EP16 unterscheidet sich gegenüber dem EP08 zudem durch:

- eine verbesserte Abschätzung hinsichtlich anfallender Abfallmengen
- die Konkretisierung von Annahmen hinsichtlich der Verpackung
- die Realisierung verschiedenster Optimierungsschritte seitens der Abfallverursacher

Aufgrund dieser leicht veränderten Randbedingungen resultieren Unterschiede in den Abfallmengen zwischen dem EP08 und EP16. Dies wird im Folgenden für die verschiedenen Abfallkategorien und die für die Tiefenlagerung relevanten "verpackten Volumina" am Szenario 1a aufgezeigt; dieses ist weitgehend identisch mit dem sogenannten "Referenzfall", der im EP08 betrachtet wurde. Die Gebindezahlen, die dem EP16 zu Grunde liegen, haben sich gegenüber dem EP08 leicht geändert.

Im Folgenden werden die wesentlichen Gründe für prozentual relevante Abweichungen bei den Abfallmengen näher erörtert:

- **BE:** Erhöhung des verpackten Volumens um  $534 \text{ m}^3$ : Die Beschränkung der vollständigen Befüllung von Endlagerbehältern resultiert aus der Begrenzung der maximal zulässigen Wärmeleistung der Behälter<sup>8</sup>; diese Randbedingung hat sich gegenüber dem EP08 nicht geändert. Für die Angaben zum Volumen wurden im EP08 und EP16 jedoch unterschiedliche Randbedingungen hinsichtlich der Auswahl von Brennelementen zur optimalen Beladung der Endlagerbehälter zugrunde gelegt (s. Kap. 3.2.1).
- **WA-HAA:** Reduktion des verpackten Volumens um  $332 \text{ m}^3$ : Die hochaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung werden in spezielle Stahlbehälter (180-l-Kokillen) konditioniert. Im EP08 erfolgte die Verpackung von jeweils einer 180-l-Kokille in einen Endlagerbehälter. Im EP16 erfolgt die Verpackung von drei 180-l-Kokillen in einen (verlängerten) Endlagerbehälter mit deutlich besserer Volumenausnutzung.

---

<sup>8</sup> Bei der Berechnung der notwendigen Anzahl Endlagerbehälter wird berücksichtigt, dass gemäss heutigem Stand des Wissens ein BE/HAA-Endlagerbehälter zum Zeitpunkt der Einlagerung eine maximale Wärmeleistung von 1'500 Watt pro Behälter haben darf. Dies führt dazu, dass ein kleiner Teil der BE/HAA-Endlagerbehälter nicht vollständig beladen werden kann.

- **WA-ATA:** Reduktion des verpackten Volumens um 906 m<sup>3</sup>: Im EP08 wurde von der Rücklieferung von 390 200-l-Gebinden mit bituminierten Schlämmen ausgegangen. Aufgrund neuer Vereinbarungen werden diese im EP16 durch 20 180-l-Kokillen mit verglasten Schlämmen ersetzt. Des Weiteren wurde für alle 180-l-Kokillen (ausnahmslos Abfallgebinde für WA-ATA) eine "dichtere" Verpackung bei gleichzeitig kleinerem Endlagerbehälter konzipiert.
- **BA und RA:** Erhöhung des verpackten Volumens um 3'549 m<sup>3</sup>: Im EP08 wurde für die endlagergerechte Verpackung von 200-l-Gebinden und speziellen Gusscontainern (Mosaik-II-Behälter) ein Endlagerbehälter mit einem Volumen von 26 m<sup>3</sup> verwendet, in den 36 200-l-Gebinde oder 3 Mosaik-II-Behälter verpackt wurden. Neu wurde für die 200-l-Gebinde ein Endlagerbehälter mit 10.3 m<sup>3</sup> konzipiert, in den 12 200-l-Gebinde verpackt werden können (somit ungünstigeres verpacktes Volumen pro Gebinde). Bei den Mosaik-II-Behältern wird neu jeweils 1 Mosaik-II in einen 4.5 m<sup>3</sup>- Container verpackt (somit hier günstigeres verpacktes Volumen pro Mosaik-II-Behälter). Wegen der deutlich grösseren Zahl von 200-l-Gebinden gegenüber den Mosaik-II-Behältern resultiert im EP16 ein insgesamt grösseres verpacktes Volumen.
- **SA (KKW/ZWILAG):** Reduktion des verpackten Volumens um 2'890 m<sup>3</sup>: Einerseits günstigere Verpackung von Mosaik-II-Behältern (s. BA und RA). Andererseits Nutzung von schwachaktivem kontaminiertem und aktiviertem Beton aus der Stilllegung zur Teilverfüllung von Containern mit metallischen Abfällen; diese Nutzung wurde im EP08 nicht berücksichtigt.
- **MIF:** Reduktion des verpackten Volumens um 18'031 m<sup>3</sup>: Im EP08 war die Datenlage zu Abfällen des CERN unbekannt, für PSI-Abfälle aus der Stilllegung der Beschleunigeranlagen nicht gesichert, es lag aber eine konservative Schätzung vor. Zusätzlich zu den wahrscheinlichen Abfallmengen wurde für diese Abfallströme ein Reservevolumen von 12'000 m<sup>3</sup> berücksichtigt. Im EP16 sind die CERN-Abfälle mit ca. 4'000 – 5'000 m<sup>3</sup> erfasst (s. Tab. 2-2a – d). Aufgrund der Datenlage des PSI kommt die Reserve nicht mehr zum Tragen, was zu einer effektiven Reduktion von ca. 8'000 m<sup>3</sup> führt. Des Weiteren wurden im EP08 für die erwähnten Abfälle aus den PSI-Beschleunigeranlagen 11'000 m<sup>3</sup> abgeschätzt. Detaillierte Rechnungen im Rahmen des EP16 haben gezeigt, dass hier nur noch ein Volumen von ca. 2'000 m<sup>3</sup> zu erwarten ist. Somit ergibt sich hieraus eine zusätzliche Reduktion von ca. 9'000 m<sup>3</sup>. Die verbleibende Reduktion von ca. 1'000 m<sup>3</sup> resultiert aus einer generellen Reduktion der Prognosen für die künftig anfallenden Betriebsabfälle.
- **BEVA:** Reduktion des verpackten Volumens um 252 m<sup>3</sup>: Kompaktere Verpackung der Abfälle in Kleingebinde statt Grosscontainer, daher ergibt sich im EP16 im Gegensatz zum EP08 auch ein Unterschied zwischen angeliefertem und verpacktem Volumen.

Tab. 2-2a: Abfallmengen in Kubikmeter für 50 Jahre Betrieb (KKB, KKG, KKL) sowie 47 Jahre für KKM für die aktuell gültige StSV (Szenario 1a).

Erläuterung für Szenarien 1a – 2b: Volumen der angelieferten bzw. konditionierten Abfälle und das in Endlagerbehälter "verpackte" Volumen in Klammern. Die Angaben sind gegliedert nach Kategorien der Kernenergieverordnung (KEV 2004) mit HAA = Hochaktive Abfälle, ATA = Alphatoxische Abfälle, SMA = Schwach- und mittelaktive Abfälle. Zusätzliche Gliederung nach Herkunft mit BE: abgebrannte Brennelemente; WA: Abfälle aus der Wiederaufarbeitung; BA: Betriebsabfälle der KKW und ZWILAG; RA: Reaktorabfälle der KKW bestehend aus austauschbaren Komponenten aus dem Reaktor Druckbehälter, die während des Betriebs anfallen (ohne BE); SA: Stilllegungsabfälle der KKW und ZWILAG inklusive Lucens-Abfälle; MIF: Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung inklusive CERN-Abfälle; BEVA: Abfälle aus dem Betrieb und der Stilllegung der Verpackungsanlagen sowie der Entsorgung der angelieferten Transport- und Lagerbehälter für BE. Unter "BEVA" ist auch eine gewisse Reserve aus den übrigen Oberflächenanlagen berücksichtigt.

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

		Herkunft						Total	
		BE (KKW)	WA (KKW)	BA (KKW)	RA (KKW)	SA (KKW)	MIF		BEVA
Kategorie nach KEV	HAA	1'126 <sup>1)</sup> (7'129)	114 <sup>2)</sup> (398)				8 <sup>4)</sup> (8)	1'248 (7'536)	
	ATA		99 <sup>2)</sup> (414)			24 (24)	154 (573)	277 (1'011)	
	SMA			7'352 (28'094)	416 (1'595)	17'847 (26'006)	9'755 (14'478) <sup>5)</sup>	567 (1'968)	35'937 (72'141) <sup>5)</sup>
	<b>Total</b>	1'126 <sup>3)</sup> (7'129)	213 (812)	7'352 (28'094)	416 (1'595)	17'871 (26'030)	9'917 (15'059) <sup>5)</sup>	567 (1'968)	37'462 (80'687) <sup>5)</sup>

1) Entspricht 2'433 tU.

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

3) Bei einer vollständigen Beladung der Endlagerbehälter (ohne Berücksichtigung von Leerstellen) würde ein Volumen von 6'455 m<sup>3</sup> resultieren.

4) Brennelemente des DIORIT-Reaktors. Annahme: Verpackung in zwei Endlagerbehälter.

5) Darin enthalten sind 4'014 m<sup>3</sup> für Abfälle aus dem CERN, die in der Kostenstudie KS16 nicht berücksichtigt werden.

Tab. 2-2b: Abfallmengen in Kubikmeter für 50 Jahre Betrieb (KKB, KKG, KKL) sowie 47 Jahre für KKM unter Berücksichtigung der absehbaren Revision der StSV (Szenario 1b).

		Herkunft						Total	
		BE (KKW)	WA (KKW)	BA (KKW)	RA (KKW)	SA (KKW)	MIF		BEVA
Kategorie nach KEV	HAA	1'126 <sup>1)</sup> (7'129)	114 <sup>2)</sup> (398)				8 <sup>4)</sup> (8)		1'248 (7'536)
	ATA		99 <sup>2)</sup> (414)			24 (24)	154 (573)		277 (1'011)
	SMA			7'473 (28'260)	416 (1'595)	18'839 (27'366)	14'213 (18'972) <sup>5)</sup>	567 (1'968)	41'508 (78'161) <sup>5)</sup>
	<b>Total</b>	1'126 <sup>3)</sup> (7'129)	213 (812)	7'473 (28'260)	416 (1'595)	18'863 (27'390)	14'375 (19'553) <sup>5)</sup>	567 (1'968)	43'033 (86'708) <sup>5)</sup>

1) Entspricht 2'433 tU.

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

3) Bei einer vollständigen Beladung der Endlagerbehälter (ohne Berücksichtigung von Leerstellen) würde ein Volumen von 6'455 m<sup>3</sup> resultieren.

4) Brennelemente des DIORIT-Reaktors. Annahme: Verpackung in zwei Endlagerbehälter.

5) Darin enthalten sind 4'883 m<sup>3</sup> Abfälle aus dem CERN, die in der Kostenstudie KS16 nicht berücksichtigt werden.

Tab. 2-2c: Abfallmengen in Kubikmeter für 60 Jahre Betrieb (KKB, KKG, KKL) sowie 47 Jahre für KKM für die aktuell gültige StSV (Szenario 2a).

		Herkunft						Total	
		BE (KKW)	WA (KKW)	BA (KKW)	RA (KKW)	SA (KKW)	MIF		BEVA
Kategorie nach KEV	HAA	1'357 <sup>1)</sup> (8'995)	114 <sup>2)</sup> (398)				8 <sup>4)</sup> (8)		1'479 (9'402)
	ATA		99 <sup>2)</sup> (414)			24 (24)	168 (634)		291 (1'072)
	SMA			8'167 (31'068)	478 (1'811)	17'847 (26'006)	9'776 (14'563) <sup>5)</sup>	651 (2'302)	36'919 (75'750) <sup>5)</sup>
	<b>Total</b>	1'357 <sup>3)</sup> (8'995)	213 (812)	8'167 (31'068)	478 (1'811)	17'871 (26'030)	9'952 (15'205) <sup>5)</sup>	651 (2'302)	38'689 (86'224) <sup>5)</sup>

1) Entspricht 2'932 tU.

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

3) Bei einer vollständigen Beladung der Endlagerbehälter (ohne Berücksichtigung von Leerstellen) würde ein Volumen von 7'676 m<sup>3</sup> resultieren.

4) Brennelemente des DIORIT-Reaktors. Annahme: Verpackung in zwei Endlagerbehälter.

5) Darin enthalten sind 4'014 m<sup>3</sup> Abfälle aus dem CERN, die in der Kostenstudie KS16 nicht berücksichtigt werden.

Tab. 2-2d: Abfallmengen in Kubikmeter für 60 Jahre Betrieb (KKB, KKG, KKL) sowie 47 Jahre für KKM unter Berücksichtigung der absehbaren Revision der StSV (Szenario 2b).

		Herkunft						Total	
		BE (KKW)	WA (KKW)	BA (KKW)	RA (KKW)	SA (KKW)	MIF		BEVA
Kategorie nach KEY	HAA	1'357 <sup>1)</sup> (8'995)	114 <sup>2)</sup> (398)				8 <sup>4)</sup> (8)	1'479 (9'402)	
	ATA		99 <sup>2)</sup> (414)			24 (24)	168 (634)	291 (1'072)	
	SMA			8'326 (31'271)	478 (1'811)	18'839 (27'366)	14'222 (19'010) <sup>5)</sup>	651 (2'302)	42'516 (81'760) <sup>5)</sup>
	<b>Total</b>	1'357 <sup>3)</sup> (8'995)	213 (812)	8'326 (31'271)	478 (1'811)	18'863 (27'390)	14'398 (19'652) <sup>5)</sup>	651 (2'302)	44'286 (92'234) <sup>5)</sup>

1) Entspricht 2'932 tU.

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

3) Bei einer vollständigen Beladung der Endlagerbehälter (ohne Berücksichtigung von Leerstellen) würde ein Volumen von 7'676 m<sup>3</sup> resultieren.

4) Brennelemente des DIORIT-Reaktors. Annahme: Verpackung in zwei Endlagerbehälter.

5) Darin enthalten sind 4'883 m<sup>3</sup> Abfälle aus dem CERN, die in der Kostenstudie KS16 nicht berücksichtigt werden.

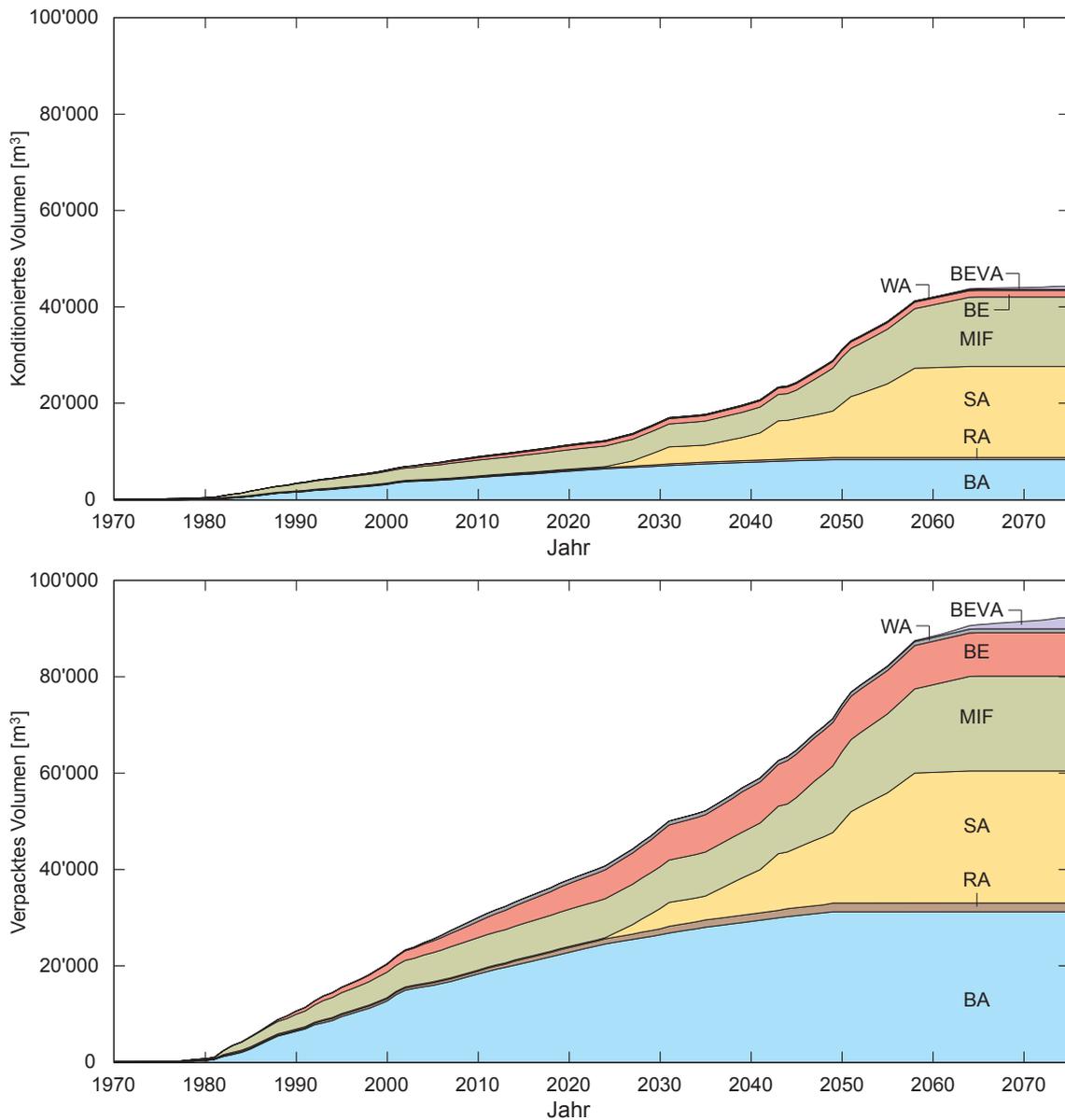


Fig. 2-1: Zeitlicher Anfall der radioaktiven Abfälle in der Schweiz (in Kubikmeter) für die bestehenden Kernkraftwerke und aus dem MIF-Bereich für eine Sammelperiode bis 2065 für das Szenario 2b.

Zeitskala von der Betriebsaufnahme KKB (1970 als ungefährender Mittelwert von KKB I und KKB II) bis Ende Einlagerung in das geologische Tiefenlager für HAA (2075).

Abfälle gegliedert nach ihrer Herkunft (Abkürzungen: vgl. Tab. 2-2a).

Oben: Volumen der konditionierten Abfälle, welches für ihre Lagerung in den Zwischenlagern benötigt wird (Summenkurve nach Herkunft; s. Tab. 2-2d). Unten: Volumen für die in Endlagerbehälter verpackten Abfälle (Summenkurve nach Herkunft; s. Tab. 2-2d, Angaben in Klammern).

## 2.2 Konditionierung, Charakterisierung und Inventarisierung der radioaktiven Abfälle

Die heute anfallenden radioaktiven Abfälle werden laufend konditioniert<sup>9</sup>, charakterisiert und inventarisiert:

- Aufgrund eines Moratoriums zur Wiederaufarbeitung werden seit 2006 die abgebrannten Brennelemente ohne Vorbehandlung in Transport- und Lagerbehälter (TLB) beladen und in den Anlagen des zentralen Zwischenlagers (ZWILAG) bzw. im Zwischenlager ZWIBEZ zwischengelagert, nachdem sie in den Brennelement-Becken der Kernkraftwerke bzw. im Nasslager des Kernkraftwerks Gösgen-Däniken (KKG) genügend abgekühlt sind.
- Die Abfälle aus der Wiederaufarbeitung in England (Sellafield) und Frankreich (La Hague) werden in eine Form gebracht, welche die schweizerischen Anforderungen bezüglich Transport, Zwischenlagerung und geologischer Tiefenlagerung erfüllt. Die Abfälle aus der Wiederaufarbeitung werden in die Schweiz zurückgeführt und im ZWILAG bzw. im ZWIBEZ zwischengelagert. Als Folge eines geänderten Verarbeitungsverfahrens in Frankreich wird ein Teil der LMA-Abfälle nicht wie ursprünglich geplant in Form von Bitumen, sondern als sogenannte CSD-B-Glaskokillen in die Schweiz zurückgeführt. Für die Abfälle aus den Wiederaufarbeitungsanlagen in England erfolgt eine Substitution der schwach- und mittelaktiven Abfälle durch eine radiotoxisch äquivalente Menge an verglasten hochaktiven Abfällen. Dadurch wird die Anzahl Transporte wesentlich verringert und die Menge einzulagernder organischer Stoffe erheblich reduziert.
- Bei den KKW-Betriebsabfällen (inkl. austauschbare Reaktorkomponenten) sind für alle dargestellten Abfallströme Konditionierverfahren vorhanden. Die Konditionierung der Abfälle erfolgt routinemässig, grösstenteils direkt vor Ort, teilweise aber auch zentralisiert im ZWILAG. Letzteres betrifft vor allem Abfälle, die in der Plasmaanlage verbrannt oder eingeschmolzen werden.
- Für die Abfälle aus der Stilllegung der KKW wurden – unter Berücksichtigung der weltweiten Erfahrung – im Rahmen der Stilllegungsstudien Konzepte für ihre Behandlung erarbeitet. Die Abfälle wurden im Rahmen der Stilllegungsstudien modellhaft durch die Nagra charakterisiert. Die Stilllegungsstudien werden periodisch überprüft (vgl. Kap. 7). Dabei werden die Angaben zu den Abfällen bei Vorliegen neuer Erkenntnisse angepasst. Die Zweckmässigkeit der Verfahren zur Konditionierung der Stilllegungsabfälle wird vor ihrer Implementierung nochmals geprüft.
- Die Abfälle der Kleinproduzenten aus dem MIF-Bereich werden im Auftrag des Bundesamts für Gesundheit (BAG) eingesammelt; für ihre Konditionierung und Zwischenlagerung ist das Paul Scherrer Institut (PSI) verantwortlich (Strahlenschutzverordnung, StSV 1994 Art. 87). Die Abfälle aus den grossen Forschungsanlagen (PSI, CERN) und die Abfälle aus der Stilllegung der verschiedenen Forschungseinrichtungen (Hochschulen, Universitäten) werden konditioniert oder – bei kurzlebigen Nuklidinventar – in einem Abklinglager bis zur konventionellen Entsorgung gelagert, oder es liegen Konzepte für ihre Entsorgung, bzw. Minimierung vor.

Tab. 2-3 enthält eine Zusammenstellung der verwendeten bzw. vorgesehenen Konditionierverfahren; die Angaben entsprechen denjenigen im EP08.

---

<sup>9</sup> Gemäss KEG Art. 3d wird Konditionierung definiert als die Gesamtheit der Operationen, mit welchen radioaktive Abfälle für die Zwischenlagerung oder für die Lagerung in einem geologischen Tiefenlager vorbereitet werden, insbesondere die mechanische Zerkleinerung, die Dekontamination, die Verpressung, die Verbrennung, die Einbettung in Abfallmatrizen und die Verpackung.

Tab. 2-3: Zusammenstellung der verwendeten und vorgesehenen Konditioniermethoden.

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

Produzent	Rohabfall	Vorbehandlung	Verfestigungsmaterial	Konditionierungsanlage
Beznau	Ionentauscherharze	Abtropfen / Absaugen	Polystyrol	Trocknung und Verfestigung
	Schlämme	Fällung / Zentrifuge	Zement	Infass-Mischer
	Filterkerzen	Fass-Vorbereitung	Zement	Zementiervorrichtung
Gösgen	Ionentauscherharze	Heissluft-Trocknung	Bitumen	Extruder
	Konzentrate	Aufkonzentration durch Destillation	Bitumen	Extruder
	Filterkerzen	Verpressung	Zement	Zementiervorrichtung
Leibstadt	Ionentauscherharze und Konzentrate	Zentrifuge und Verdampfen	Zement	Infass-Mischer
	Konzentrate	Verdampfen	Zement	Infass-Mischer
	Brennelementkästen	Zerschneiden mit Unterwasserschere	Zement	Zementiervorrichtung
Mühleberg	Ionentauscherharze	Trocknen und Thermolyse	Zement	Infass-Mischer
	Schlämme	Eindicken	Zement	Infass-Mischer
	Brennelementkästen	Zerschneiden mit Unterwasserschere	Zement	Zementiervorrichtung
Alle KKW	Pressbare Mischabfälle bis 2004	Hochdruckpresse	Zement	Zementiervorrichtung
	Brennbare Mischabfälle bis 2004	Verbrennen	Zement	Pilotverbrennungsanlage PSI
	Mischabfälle ab 2005	Verbrennen / Schmelzen	Glas als Schlackebildner	Plasmaanlage ZWILAG
	Nicht pressbare / brennbare Abfälle	Mischen / Vergiessen	Zement	Zementiervorrichtung
	Schwach aktivierte Reaktorabfälle	Schneiden	Zement	Zementiervorrichtung
	Stark aktivierte Reaktorabfälle	Schneiden	–	Verpackung in Gussbehälter
AREVA NC	Spaltproduktlösung	Kalzination	Glas	Verglasungsanlage
	Hülsen und Endstücke	Trocknung und Hochdruckverpressung	–	Verpackung in Kokille
	Schlämme	Kalzination	Glas	Verglasungsanlage
Sellafield Ltd <sup>1)</sup>	Spaltproduktlösung	Kalzination	Glas	Verglasungsanlage

<sup>1)</sup> Weitere Abfälle aus der Wiederaufarbeitung bei Sellafield Ltd werden durch zusätzliche HAA substituiert (vgl. Text).

Die in Zusammenhang mit der Konditionierung (insbesondere für die Sammelkampagnen für Kleinproduzenten des MIF-Bereichs und für die Verwendung der Plasmaanlage im ZWILAG) notwendigen Transporte werden routinemässig gemäss Gefahrgutrecht durchgeführt. Die Konditionierung radioaktiver Abfälle erfordert eine Typengenehmigung gemäss der ENSI-Richtlinie HSK-B05.

Durch behördlich geregelte Verfahren wird sichergestellt (vgl. ENSI-Richtlinien HSK-B-05, HSK 2007), dass die konditionierten Abfälle für die weitere Entsorgung geeignete Eigenschaften aufweisen, und dass alle in Zukunft benötigten Informationen vorhanden und in geeigneter Form dokumentiert sind. Dazu kommt das Verfahren für die Endlagerfähigkeitsbescheinigung von Abfallgebindetypen zur Anwendung. In späteren Verfahrensschritten werden Vorabnahme- und Übernahmeverfahren für einzelne Abfallgebände durchgeführt, in denen Konformität der Gebinde mit den zugehörigen Spezifikationen geprüft wird. Vor Freigabe eines Konditionierverfahrens durch die zuständige Behörde (ENSI) werden das vom jeweiligen Abfallverursacher vorgeschlagene Konditionierverfahren und insbesondere die damit herzustellenden Abfallgebände von der Nagra bezüglich ihrer Endlagerfähigkeit beurteilt. Bei Bedarf wird das vorgeschlagene Konditionierverfahren in Absprache mit der Nagra durch den verantwortlichen Abfallverursacher optimiert. Durch Verhandlungen mit den Verursachern werden die Voraussetzungen und Massnahmen festgelegt und in Spezifikationen festgehalten, die sicherstellen, dass die Abfälle bei ihrer Behandlung in eine transport- und endlagerfähige Form gebracht und so zwischengelagert werden, dass sie ohne weitere Eingriffe ins geologische Tiefenlager verbracht werden können. In Ausnahmefällen können Abfälle Eigenschaften aufweisen (z.B. erhöhte Gasbildung, erhöhte Wärmeleistung, übermässiges Quellen), welche im geologischen Tiefenlager spezielle Massnahmen erfordern. Diese kommen bei der Verpackung der Abfälle in die Endlagerbehälter oder bei ihrer Einlagerung in die Lagerkammern zur Anwendung. Bei der späteren Lagerung der Abfälle werden auch ihre unterschiedlichen chemischen Eigenschaften berücksichtigt; die Abfälle werden je nach ihrer chemischen Zusammensetzung in unterschiedliche Lagerkammern eingebracht.

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

Die für die Planung der Entsorgung notwendigen Kenntnisse zu den Abfällen werden im Rahmen von Charakterisierungsprogrammen erhoben und zentral erfasst. Für die Dokumentation der Informationen zu vorhandenen Abfällen wird das Informationssystem für Radioaktive Materialien (ISRAM) verwendet. Das periodisch aktualisierte modellhafte Inventar der radioaktiven Abfälle und Materialien (MIRAM; aktuell Nagra 2014d) enthält eine Gesamtübersicht sowohl über die vorhandenen als auch über die zukünftig zu erwartenden Abfälle. Mit den Informationen in den beiden Datenbanken steht eine zuverlässige und umfassende Beschreibung der Eigenschaften aller einzulagernden Abfälle für die Abwicklung resp. Planung und Realisierung der weiteren Entsorgungsschritte (Zwischenlager, Transporte, geologische Tiefenlager) zur Verfügung.

Der Gesamtprozess der Festlegung von Konditionierverfahren, der Abfallcharakterisierung und der Inventarisierung wurde von der Nagra zusammen mit den Abfallverursachern definiert. Jedes Konditionierverfahren wird von den Abfallproduzenten spezifiziert, von der Nagra hinsichtlich der Endlagerfähigkeit beurteilt, und im positiven Fall vom ENSI genehmigt. Die notwendigen technischen Arbeiten berücksichtigen die Behördenrichtlinien (ENSI-Richtlinie HSK-

B05, HSK 2007) und sind in Vereinbarungen geregelt; die benötigten Instrumente (vorläufige Annahmebedingungen, Instrument zur sicherheitstechnischen Beurteilung der Abfälle, Datenbanken für alle anfallenden Informationen und ihre Auswertung etc.) sind vorhanden.

Die Abfalleigenschaften werden von der Nagra zusätzlich zur Endlagerfähigkeitsbeurteilung auch im Rahmen der für die verschiedenen Entscheidungspunkte erstellten Sicherheitsanalysen evaluiert. Neben dem Radionuklidinventar (Radiotoxizität, radiogene Wärme, Radiolyse) werden auch die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Rohabfälle und ihre Behandlung resp. Verfestigung sowie ihre Verpackung beurteilt. Zusätzlich wird die Auswirkung der Gasbildung durch Metallkorrosion unter Ausschluss von Sauerstoff (Diomidis 2014) und Degradation organischer Materialien evaluiert (Warthmann et al. 2013a & b). Insbesondere wegen der potenziellen Auswirkung von Komplexbildnern<sup>10</sup> kann es angebracht sein, die Abfälle in verschiedene Gruppen einzuteilen und diese in verschiedenen Lagerkammern räumlich getrennt einzulagern.

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 der Reduktion des Gehalts an organischen Materialien. Letzteres wird für einen Teil der Abfälle mit der Plasmaanlage am ZWILAG erreicht. Zur Beurteilung der Relevanz der Gasbildung durch Metallkorrosion und Degradation organischer Materialien sei auf Anhang A.6.2 verwiesen.

Neben der radiologischen Sicherheit ist bei der Entsorgung der Abfälle auch ihre Chemotoxizität zu berücksichtigen. Diese wird formell im Rahmen der Umweltverträglichkeitsprüfung beurteilt (USG 1983; vgl. Kap. 5). Dementsprechend wird das Abfallinventar auch bezüglich seiner Chemotoxizität charakterisiert (Häner et al. 2014). Selbst unter Berücksichtigung konservativer Freisetzungsmodele ist auch hinsichtlich der Chemotoxizität der radioaktiven Abfälle von keiner Gefährdung der Umwelt auszugehen.

### 2.3 Zusammenfassung

Herkunft, Art und Menge der in der Schweiz zu entsorgenden radioaktiven Abfälle sind bekannt. Im aktuellen Entsorgungsprogramm wird von Szenario 2b ausgegangen, welches zum grössten in die geologischen Tiefenlager einzubringenden radiologischen Inventar führt und die grössten Abfallmengen umfasst (s. Tab. 2-2d). Es geht von einer Betriebszeit von 47 Jahren für das KKM und 60 Jahren für KKB, KKG und KKL aus und berücksichtigt die absehbare Revision der Strahlenschutzverordnung (s. Tab. 2-1). Im EP16 wird hinsichtlich der radioaktiven Abfälle und Materialien aus Medizin, Industrie und Forschung (MIF) von einer Sammelperiode bis 2065 ausgegangen. Gemäss dem diesem Bericht zugrunde liegenden Realisierungsplan (Tab. A.4-2) wird dann die Einlagerung der von den KKW anfallenden schwach- und mittelaktiven Abfälle in das SMA-Lager abgeschlossen.

Die entstehenden Abfälle werden laufend konditioniert, charakterisiert und inventarisiert. Vor Beginn der Konditionierung eines Abfallstroms wird das vorgeschlagene Konditionierverfahren durch die Nagra bezüglich der Endlagerfähigkeit der fertigen Abfallgebinde beurteilt. Dies ist Voraussetzung für die behördliche Genehmigung der routinemässigen Konditionierung. Auch

---

<sup>10</sup> Durch Degradation organischer Materialien können Komplexbildner entstehen; diese können die Mobilität von Radionukliden erhöhen. Deshalb werden Komplexbildner und deren Einfluss auf die Sorption relevanter Radionuklide systematisch untersucht und in der Sicherheitsanalyse in Betracht gezogen vgl. z.B. Van Loon & Kopajtic (1990), Van Loon & Glaus (1998), Glaus & Van Loon (2004), Glaus & Van Loon (2008), Wieland (2014), Cloet et al. (2014).

im Rahmen der für die verschiedenen Entscheidungspunkte zu erstellenden Sicherheitsberichte werden die konditionierten Abfälle evaluiert, und es ist grundsätzlich möglich, dass gewisse Konditionierverfahren aufgrund relevanter neuer Erkenntnisse modifiziert werden. Neben der Information über die vorhandenen Abfälle besteht auch für die erst in Zukunft anfallenden Abfälle ein modellhaftes Inventar. Damit ist eine zuverlässige Basis für die Planung und Realisierung der geologischen Tiefenlager und für die Bewirtschaftung der vorhandenen Zwischenlager vorhanden.



### 3 Die geologischen Tiefenlager

#### Wesentliche Unterschiede zwischen dem EP08 und dem EP16

Der Schwerpunkt von Kap. 3 liegt auf der Darlegung verschiedener Aspekte von Entsorgungs- und Lagerkonzepten. Für das EP16 wurde die Übersicht hinsichtlich der Entsorgungskonzepte für HAA wie auch SMA in verschiedenen Ländern aktualisiert. In der Schweiz sind die Prinzipien des Sicherheitskonzepts bestehend aus gestaffelten passiven Sicherheitsbarrieren (Abfallmatrix, Abfallbehälter und Endlagerbehälter, Verfüllung/Versiegelung und geologische Barrieren) vorgegeben; die Ausführungen zur Sicherheit sind deshalb von ihren Grundsätzen her unverändert. Hinsichtlich der Aussagen zur Geologie wird im EP16 auf den gegenüber dem EP08 erhöhten Kenntnisstand eingegangen; dieser spiegelt sich in der Darlegung des Fortschritts im SGT seit 2008 und der im Hinblick auf Etappe 3 geplanten Felduntersuchungen wider. Hinsichtlich Raumnutzung und Umweltverträglichkeit wird als wesentliche Änderung auf die Planungsstudien hingewiesen; diese dokumentieren im Rahmen einer intensiven Zusammenarbeit mit den Standortregionen gemäss SGT Standortareale für die Oberflächenanlage. Die im EP08 dargelegten Auslegungskonzepte für das HAA-, SMA-Lager und Kombilager sind weiterhin gültig. Neu kommt die Darlegung von Varianten ausgeprägter zum Tragen.

#### 3.1 Einleitung und Übersicht

Im Jahr 2000 legte eine vom UVEK eingesetzte Arbeitsgruppe (Expertengruppe Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle EKRA) ihren Schlussbericht vor (EKRA 2000). Die Arbeitsgruppe hatte die Aufgabe, alle möglichen Entsorgungskonzepte zu evaluieren. Sie kam zum Schluss, dass nur die geologische Endlagerung die nötige Langzeitsicherheit gewährleisten kann. Gleichzeitig hat die EKRA ein Konzept präsentiert, das die gesellschaftlichen Anliegen an Kontrolle und Rückholbarkeit der Abfälle aufnimmt. Dieses Konzept stiess auf eine breite Zustimmung und basierend darauf wurde für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle in der Schweiz die geologische Tiefenlagerung gesetzlich vorgeschrieben (KEG 2003, KEV 2004). Ein geologisches Tiefenlager<sup>11</sup> wird u.a. durch folgende Aspekte bestimmt:

- Art und Menge der einzulagernden Abfälle (Abfallinventar)
- das auf die Art der Abfälle abgestimmte Sicherheitskonzept (Beiträge der geologischen und technischen Barrieren zur Sicherheit), welches den dauernden Schutz von Mensch und Umwelt gewährleistet; das gewählte Sicherheitskonzept definiert die Anforderungen an den Standort (geologische Barrieren) und an die Ausgestaltung des Lagers (technische Barrieren)
- die vorgesehene Überwachung des Lagers und die Möglichkeiten zur allfälligen Rückholung der Abfälle

---

<sup>11</sup> KEG Art. 3c definiert ein geologisches Tiefenlager als eine Anlage im geologischen Untergrund, die verschlossen werden kann, sofern der dauernde Schutz von Mensch und Umwelt durch passive Barrieren sichergestellt wird. Gemäss KEV Art. 64 besteht ein geologisches Tiefenlager aus dem Hauptlager zur Aufnahme der radioaktiven Abfälle, aus einem Pilotlager und aus Testbereichen.

- den gewählten Standort mit:
  - einer geeigneten geologischen Situation mit
    - genügender Langzeitstabilität (geeigneter geologischer Grossraum und günstige lokale Situation)
    - einem einschlusswirksamen Gebirgsbereich mit geeigneten Barriereneigenschaften und eine geeignete hydrogeologische Situation
    - einer genügenden Ausdehnung des Wirtgesteins in bevorzugter Tiefe, das die Anordnung der untertägigen Lagerbauwerke zulässt
  - örtlichen Gegebenheiten an der Erdoberfläche, welche die Eingliederung der obertägigen Infrastruktur des geologischen Tiefenlagers (Oberflächenanlage, Erschliessung etc.) so erlaubt, dass mögliche Raumnutzungs- und Umweltkonflikte bei der Exploration, dem Bau, dem Betrieb, der Beobachtung und der Langzeitüberwachung nach dem Verschluss so weit wie möglich vermieden werden.

Tab. A.1-1 (Anhang A.1) gibt eine Übersicht über die Vorgaben und Hinweise in Gesetzen sowie in behördlichen Dokumenten für die Ausgestaltung der geologischen Tiefenlager in der Schweiz.

### **3.1.1 Entsorgungskonzepte: Eine Übersicht**

Die Entsorgung von radioaktiven Abfällen aus der Kernenergie erfolgt bzw. soll in praktisch allen Ländern in Endlagern erfolgen, wobei zur Berücksichtigung der Verschiedenartigkeit der Abfälle in der Regel mehr als ein Lager vorgesehen ist. In Endlagern (im Gegensatz zu Zwischenlagern) werden Abfälle ohne Absicht der Rückholung langfristig eingeschlossen.

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

Im Rahmen der Europäischen Atomgemeinschaft wurde 2011 die Richtlinie 2011/70/Euratom (Euratom 2011) verabschiedet. Sie verpflichtet die Mitgliedstaaten u.a. dazu, ein nationales Entsorgungsprogramm zu erstellen, welches jeweils die Strategie für die Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle darlegt. Das erste Programm war von jedem Mitgliedstaat spätestens bis August 2015 vorzulegen.

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

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass für die schwach- und mittelaktiven Abfälle in zahlreichen Ländern Lager in Betrieb sind (viele davon oberirdisch oder oberflächennah). Für die hochaktiven Abfälle (inkl. abgebrannte Brennelemente) ist in einigen Ländern die Realisierung der geologischen Tiefenlager weit fortgeschritten (vgl. Tab. 3-1).

Tab. 3-1: Information zu ausgewählten Endlagern und Endlagerprojekten im Ausland.

## a) Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle

Land	Endlager	Stand
Belgien	Dessel (oberirdisch)	Betrieb ab ca. 2022
Deutschland	Asse (ehemaliges Kali- und Salzbergwerk)	Von 1965 bis 1995 genutzt, um die Lagerung von radioaktiven Abfällen zu erproben, die Abfälle sollen nach aktueller Planung zurückgeholt werden
	Konrad (ehem. Eisenerzbergwerk)	Fertigstellung ab 2022
	Morsleben (ehem. Salzbergwerk)	Betrieb abgeschlossen, wird stillgelegt resp. saniert
Finnland	Olkiluoto	Seit 1992 in Betrieb
	Loviisa	Seit 1998 in Betrieb
Frankreich	Centre de la Manche (oberirdisch)	Stillgelegt (bis 1994 in Betrieb)
	Centre de l'Aube (oberirdisch)	Seit 1992 in Betrieb
Grossbritannien	Dounreay (oberirdisch)	Seit 1957 in Betrieb
	Drigg (oberirdisch)	Seit 1959 in Betrieb
Japan	Rokkasho (oberirdisch)	Seit 1992 in Betrieb
Kanada	Kincardine	Baubewilligungsgesuch im Gange, Betrieb ab ca. 2025
	Port Hope – "Historic Waste" (oberirdisch)	Vorbereitung Bauphase im Gange
Schweden	SFR1	Seit 1988 in Betrieb, Erweiterung auf 2023 geplant
Spanien	El Cabril (oberirdisch)	Seit 1992 in Betrieb
Südkorea	Gyeong-Ju, Wolsong	Seit 2015 in Betrieb
Tschechische Republik	Richard (oberflächennah)	Seit 1964 in Betrieb
	Dukovany (oberflächennah)	Seit 1995 in Betrieb
Ungarn	Püspökszilágy (oberirdisch)	Seit 1976 in Betrieb
	Bátaapáti	Einlagerung in erster Lagerkammer seit 2012, weiterhin im Bau
USA	Zahlreiche oberirdische Lager in Betrieb, (Hanford Site, Idaho National Laboratory, Los Alamos National Laboratory, Nevada National Security Site, Savannah River Site, Barnwell, Clive, Andrews County) bzw. geschlossen (Beatty, Maxey Flats, Sheffield, West Valley)	Erste Lager seit 1963 in Betrieb

Tab. 3-1: (Fortsetzung)

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

Land	Endlager	Stand
Belgien	Standort noch unbestimmt	In Planung, Grundsatzentscheid der Regierung erwartet (Tongestein als Wirtgestein vom Projektanten ONDRAF/NIRAS empfohlen)
Deutschland	Standort noch unbestimmt (Tongestein / Granit / Salz)	Neues Verfahren wird definiert, Standortwahl ca. 2031, Erkundungsarbeiten in Gorleben (1979 begonnen) beendet
Finnland	Olkiluoto (Granit)	Standortwahl durch Parlament 2001 bestätigt, Bau Felslabor ONKALO am Standort abgeschlossen, Baubewilligung im November 2015 erteilt, Betriebsbeginn ab 2022
Frankreich	Region Bure (Tongestein)	Felslabor in Standortregion in Betrieb Baubewilligungsgesuch 2018, schrittweiser Pilotbetrieb ab ca. 2025
Kanada	Standort noch unbestimmt	Standortwahlverfahren im Gange, Standortwahl ca. 2023
Schweden	Oskarshamn oder Östhammar (Granit)	Bewilligungsgesuch 2011 eingereicht, Pilotbetrieb ab ca. 2029
USA	Standort noch unbestimmt	Bewilligungsverfahren abgebrochen und Optionen untersucht, geologische Tiefenlagerung von der "Blue Ribbon Commission" empfohlen, neue Standortsuche in Vorbereitung
	WIPP, für langlebige mittelaktive Abfälle (Salz)	1999 in Betrieb genommen

In Übereinstimmung mit der internationalen Praxis geht das schweizerische Entsorgungskonzept von zwei Lagern aus: eines für SMA und eines für HAA (Informationen zur Abfallzuteilung zu den Lagertypen SMA und HAA vgl. Kap. 4.1). Die Auslegung der Lager (inkl. Festlegung des Standorts) hat die spezifischen Eigenschaften der einzulagernden Abfälle zu berücksichtigen. Wegen der Verschiedenartigkeit der Abfälle ergibt dies zwei Lager, die sich in ihrer Auslegung und in ihren sicherheitstechnischen Anforderungen an die Geologie unterscheiden. Es ist möglich, dass sowohl das HAA-Lager als auch das SMA-Lager am gleichen Standort zu liegen kommen. Diese Möglichkeit wird in der Schweiz unter dem Begriff 'Kombilager' evaluiert (s. Kap. 3.4).

Gemäss Gesetz soll die Entsorgung der schweizerischen radioaktiven Abfälle grundsätzlich in der Schweiz erfolgen (vgl. KEG Art. 30 Abs. 2), das Gesetz lässt jedoch auch ausnahmsweise unter gewissen Voraussetzungen die Entsorgung im Ausland zu (vgl. KEG Art. 34 Abs. 4). Die Entsorgung im Rahmen einer multinationalen Lösung im Ausland wurde vor allem für die HAA diskutiert (z.B. Schlussbericht des EU-Projekts SAPIERR I: Stefula 2006, SAPIERR II: Verhoef 2009). Seit 2009 untersucht die Europäische Arbeitsgruppe ERDO, ob eine Organisation gegründet werden könnte, welche ein oder mehrere multinationale geologische Tiefenlager

in Europa implementieren würde. Die Schweiz ist in der Arbeitsgruppe ERDO nicht vertreten. Der Entscheid, ob Abfälle im Rahmen einer solchen multinationalen Initiative im Ausland entsorgt werden sollen, muss vor Baubeginn des entsprechenden geologischen Tiefenlagers gefällt werden. Die Entsorgungspflichtigen in der Schweiz schliessen eine Einlagerung von ausländischen Abfällen in einem geologischen Tiefenlager in der Schweiz aus.

In der Schweiz ist zwar noch kein geologisches Tiefenlager in Betrieb, aber es besteht eine gute technisch-wissenschaftliche Basis und es sind breite Erfahrungen für die Erarbeitung der Lagerprojekte und der zugehörigen Grundlagen vorhanden. Es wurden Lagerkonzepte entwickelt, welche die notwendige Sicherheit gewährleisten, vgl. dazu die verschiedenen Meilensteinberichte (Nagra 1985a, b und c, Nagra 1994b, Nagra 1994c, Nagra 2002c), die von den Behörden und ihren Experten beurteilt wurden (HSK 1986a, HSK 1996, HSK 2004, OECD/NEA 2004, HSK 2005b, KNE 2005, KSA 2005). Dazu gehört insbesondere der Entsorgungsnachweis für SMA und für HAA. Im Rahmen des Sachplanverfahrens wurden die bestehenden Kenntnisse vertieft, die Sicherheit beurteilt und die Ergebnisse in einer Reihe von Berichten zusammengefasst (SGT Etappe 1: Nagra 2008c, d und e; SGT Etappe 2: Nagra 2010, Nagra 2014a, b und c).

Grundsätzlich existieren unterschiedliche Konzepte für die Auslegung technischer Barrieren und für die grundsätzliche Anordnung von Lagerkammern (Nagra 2016b). Im Rahmen des Agneb-Forschungsprojekts "Lagerauslegung" wurden Fragen zur Lagerauslegung beider Lagertypen breit diskutiert und die Ergebnisse in einem Synthesebericht zusammengefasst (Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt "Lagerauslegung", ENSI 2016). Die von der Nagra vorgeschlagenen Lagerkonzepte werden darin generell als sinnvoll und sicherheitsgerichtet angesehen. Weiter wird auch die breite Erfahrung im Ausland genutzt; dies betrifft insbesondere Frankreich mit einem Wirtgestein für sein geplantes HAA-Lager, das dem Opalinuston – einem für beide Lager in der Schweiz vorgesehenen Wirtgestein – sehr ähnlich ist (z.B. ANDRA 2005, ANDRA 2012). Bezüglich der technischen Barrieren für das HAA-Lager sind die Erfahrungen in Schweden und Finnland sehr relevant (z.B. SKB 2011, Posiva 2012), da diese Programme in ihrer Realisierung schon weit fortgeschritten sind. Schliesslich werden auch die breiten Erfahrungen aus dem Untertagbau genutzt.

### 3.1.2 Lagerkonzepte: Die verschiedenen Aspekte

Das Lagerkonzept wird definiert durch die gewählten Sicherheitskonzepte und die daraus resultierenden Anforderungen. Diese sind Anforderungen an die Geologie für mögliche Tiefenlager-Standorte sowie an die Auslegung des Lagers (Auslegungskonzepte). Auslegungskonzepte umfassen Anlagenkonzepte sowie Konzepte für den Bau, den Betrieb und den Verschluss. Sie enthalten Angaben hinsichtlich der für diese Realisierungsschritte notwendigen Technologie, der Massnahmen für die Überwachung des geologischen Tiefenlagers sowie der Technologie, welche eine allfällige Rückholung der radioaktiven Abfälle mit vertretbarem Aufwand ermöglicht. Die Elemente des Lagerkonzepts werden nachfolgend kurz beschrieben und Hinweise auf den erforderlichen Handlungsspielraum für eine optimierte zukünftige Lagergestaltung gegeben<sup>12</sup>.

**Sicherheitskonzept:** Die weltweiten Erfahrungen zeigen, dass es für die Ausgestaltung des Sicherheitskonzepts der geologischen Tiefenlager verschiedene Möglichkeiten gibt. Dies führt zu unterschiedlichen Auslegungen der Lager (insbesondere Auslegung der technischen Barrieren unter Berücksichtigung der geologischen Randbedingungen), die alle eine genügende Sicherheit gewährleisten. Die Unterschiede sind zumindest teilweise auf die verschiedenartigen geologischen Randbedingungen zurückzuführen.

Das Sicherheitskonzept muss der dauernde Schutz von Mensch und Umwelt durch passive Barrieren sicherstellen (KEG Art. 3c). Dementsprechend wird ein Sicherheitskonzept mit mehreren verschiedenartigen, passiven und zeitlich sich ergänzenden Sicherheitsfunktionen<sup>13</sup> verfolgt. Das schweizerische Multibarrierenkonzept enthält die Elemente Abfallmatrix, Abfallbehälter und Endlagerbehälter, Verfüllung/Versiegelung und geologische Barrieren. Der Geologie kommt eine wichtige Bedeutung zu; neben der Isolation der Abfälle vom menschlichen Lebensraum und der Gewährleistung der langfristigen Stabilität muss sie auch einen erheblichen Beitrag zur Barrierenwirkung (Radionuklidrückhaltung) erbringen. In Fig. 3-1 wird das Multibarrierenkonzept für BE (Fig. 3-1a), HAA (Fig. 3-1b), LMA (Fig. 3-1c)<sup>14</sup> und SMA (Fig. 3-1d)<sup>14</sup> illustrativ dargestellt.

<sup>12</sup> Die Entsorgungspflichtigen müssen bei jedem Schritt zur Realisierung der geologischen Tiefenlager (inklusive Verschluss) das Optimierungsgebot beachten (ENSI-G03; ENSI 2009a). Optimierung bedeutet, dass bei jeder sicherheitsrelevanten Entscheidung verschiedene relevante Alternativen und ihre Bedeutung für die Betriebs- und Langzeitsicherheit gegeneinander abgewogen werden und ein insgesamt für die Sicherheit günstiger Entscheid gefällt wird. Optimierungsmassnahmen sind in dem Masse erforderlich, wie dies nach dem Stand von Wissenschaft und Technik möglich und zumutbar ist. Dieses Vorgehen stellt sicher, dass alle notwendigen Vorkehrungen getroffen werden, damit die gesetzlich festgelegten Schutzziele 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. Der Optimierungsprozess ist zu dokumentieren. Die Dokumentation erfolgt mit Einreichung der Rahmenbewilligungsgesuche als nächster Schritt im mehrstufigen Bewilligungsverfahren von Kernanlagen nach KEG (2003).

<sup>13</sup> Eine Sicherheitsfunktion trägt gemäss ENSI-G01, Anhang 1 (ENSI 2011b) zur Einhaltung der Schutzziele bei.

<sup>14</sup> Die Integrität der Endlagerbehälter für LMA und SMA muss aus Gründen der Machbarkeit und der Betriebssicherheit bis zu einer allfälligen Rückholung gewährleistet sein. Damit wird auch der sichere Einschluss von nicht volatilen Radionukliden in den Endlagerbehältern sichergestellt. Unter Berücksichtigung von Ungewissheiten wird deshalb bei Endlagerbehältern für LMA und SMA von einer Einschlusszeit von ungefähr 100 Jahren ab Einlagerung ausgegangen, damit wird die Beobachtungsphase (s. Kap. 5.4) sicherheitsgerichtet abgedeckt.

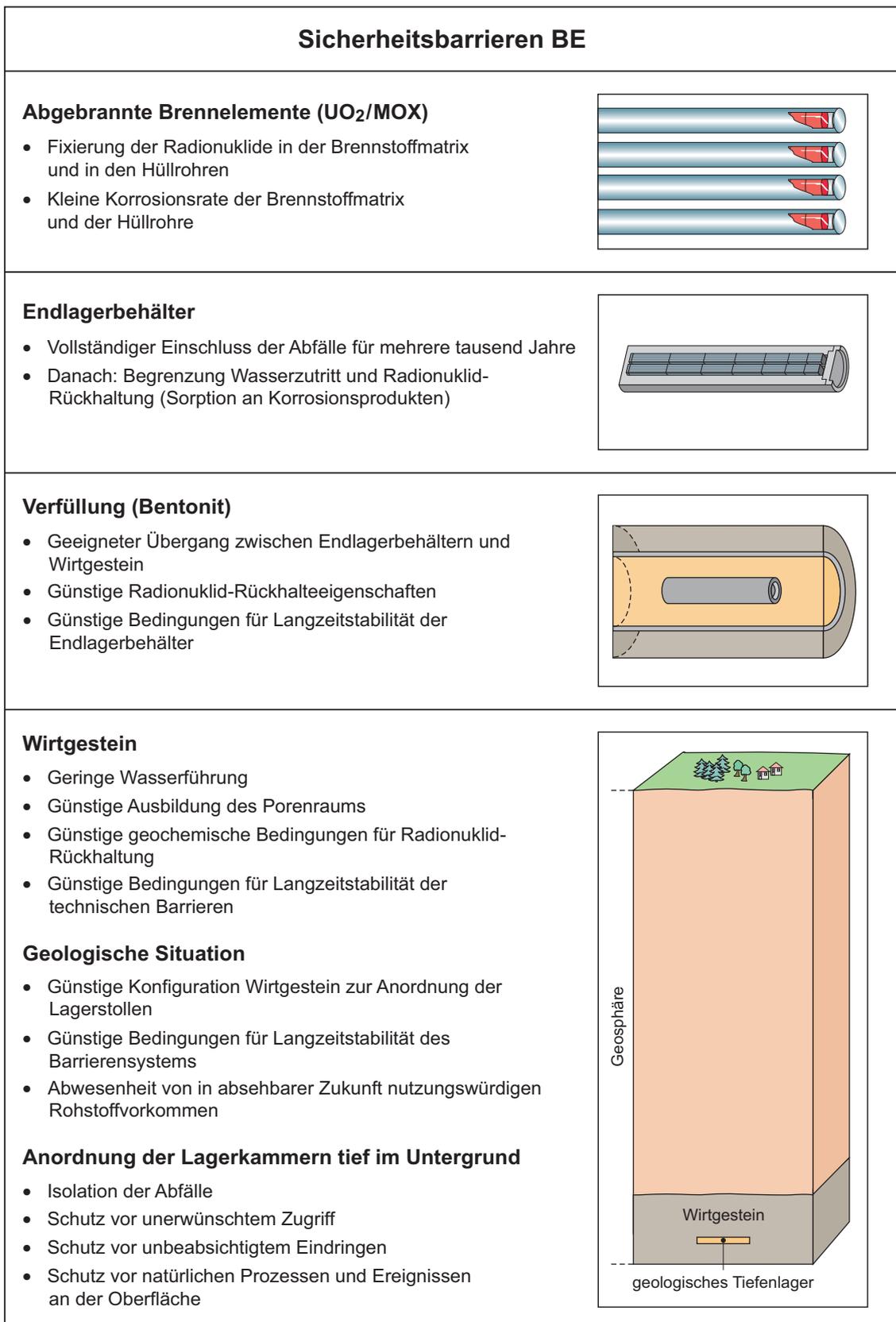


Fig. 3-1a: Sicherheitskonzept für das HAA-Lager mit gestaffelten passiven Sicherheitsbarrieren für die abgebrannten Brennelemente (BE).

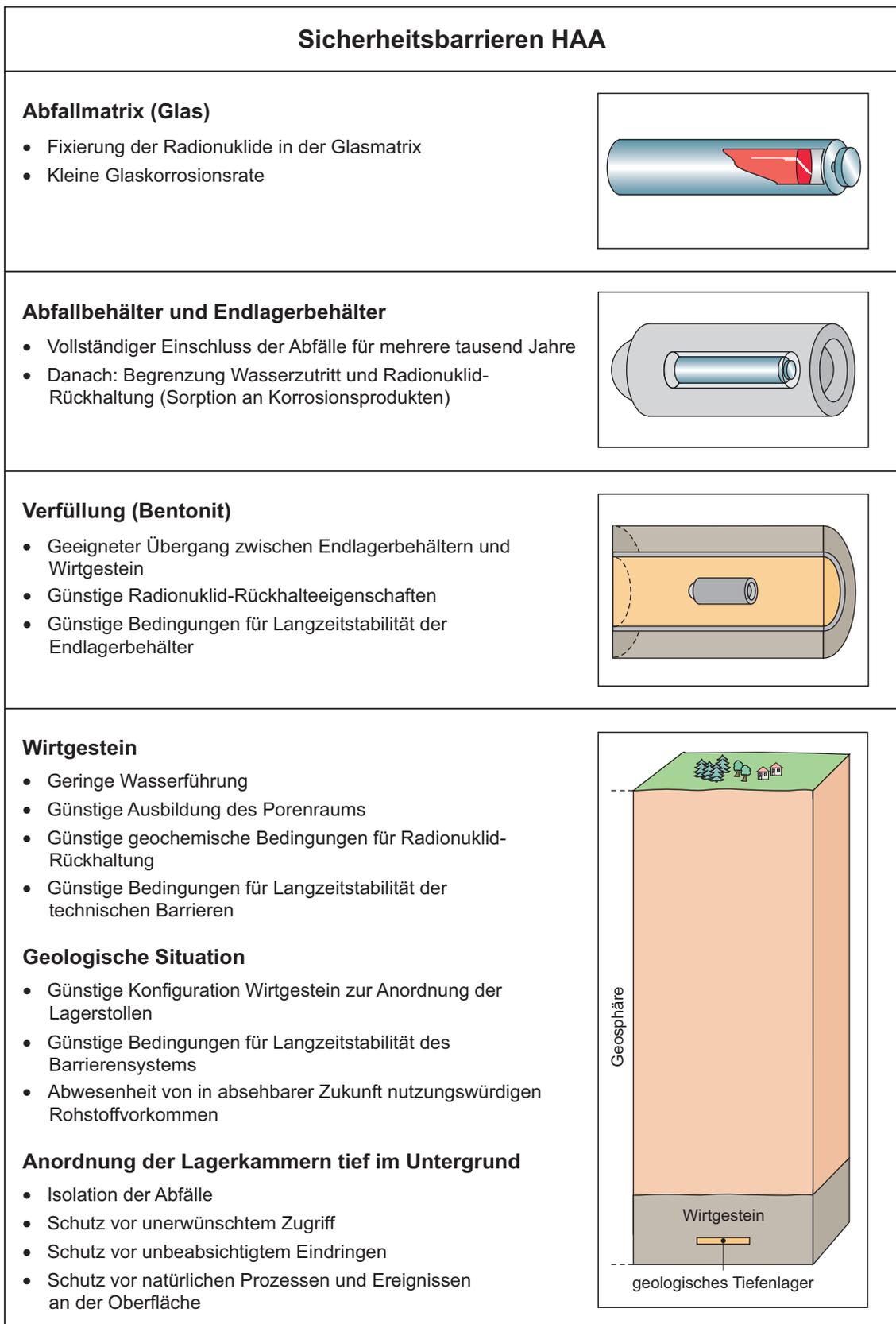


Fig. 3-1b: Sicherheitskonzept für das HAA-Lager mit gestaffelten passiven Sicherheitsbarrieren für die verglasten hochaktiven Abfälle (HAA).

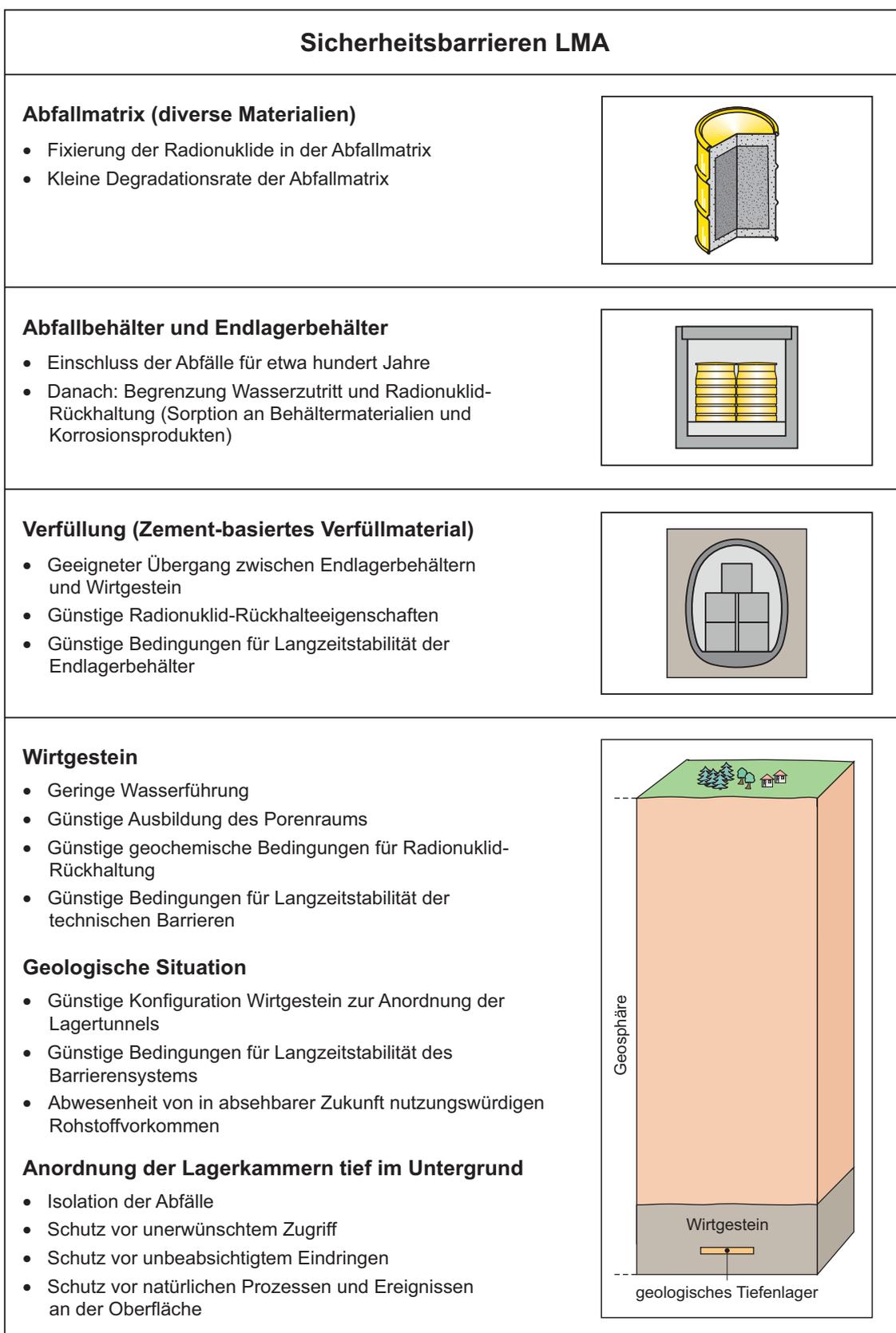


Fig. 3-1c: Sicherheitskonzept für das HAA-Lager mit gestaffelten passiven Sicherheitsbarrieren für die langlebigen mittelaktiven Abfälle (LMA).



Fig. 3-1d: Sicherheitskonzept für das SMA-Lager mit gestaffelten passiven Sicherheitsbarrieren.

**Lagerauslegung:** Es bestehen verschiedene Varianten für die Auslegung der technischen Barrieren und der grundsätzlichen Anordnung der Lagerkammern (Nagra 2016b). Mit fortschreitender Konkretisierung der Projekte für die geologischen Tiefenlager im Rahmen des Sachplanverfahrens und des weiteren Bewilligungsverfahren gemäss KEG (2003) muss die Auslegung stufengerecht verfeinert und an die lokalen Bedingungen angepasst und die Eignung der verschiedenen Varianten geprüft werden. Die abschliessende Auslegung der Lager (detaillierte Anordnung der untertägigen Lagerkammern, detaillierte Ausgestaltung der technischen Barrieren) ist auf die detaillierten Befunde der erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag (EUU; s. Kap. 5.1 sowie Tab. A.4-3 und A.4-4) abzustimmen. Dabei sind auch die in Zukunft anfallenden Resultate aus dem RD&D-Programm (vgl. Kap. 5.7) und die Erfahrungen in ausländischen Programmen zu berücksichtigen. Für eine Optimierung der vorhandenen Projekte zur Lagerauslegung ist deshalb bis zum nuklearen Baugesuch ein genügend grosser Handlungsspielraum zur Berücksichtigung neuer Informationen und Erkenntnisse aufrecht zu erhalten.

**Technologie für den Bau, Betrieb und Verschluss der Lager:** Die Konzepte für den Bau, den Betrieb und den Verschluss der geologischen Tiefenlager (z.B. zur Handhabung der Abfälle und zum Einbau der technischen Barrieren sowie für den Verschluss der Anlage) basieren auf der heute vorhandenen Technik (Nagra 2002a, Nagra 2008e). Auf dem Gebiet der Technik allgemein (Robotik, Steuerungen etc.) werden bis Baubeginn noch erhebliche Entwicklungen stattfinden, welche in die definitive Auslegung der Lagertechnologie einfliessen können. Endlager-spezifische Entwicklungsprogramme laufen, an welchen die Nagra beteiligt ist (z.B. EU-Projekt ESDRED: ESDRED 2009) resp. welche die Nagra initiiert hat (Nagra 2016a). Weiter sind die in ausländischen Programmen anfallenden Erfahrungen zu berücksichtigen. Deshalb ist auch für die definitiv zu verwendende Technologie bis zum nuklearen Baugesuch ein ausreichender Handlungsspielraum zur Berücksichtigung der Entwicklungen beizubehalten.

**Überwachung und Rückholbarkeit:** Im schweizerischen Programm, aber auch in verschiedenen ausländischen Programmen, sind die Überwachung und Rückholbarkeit integraler Bestandteil der Tiefenlagerkonzepte. Die Möglichkeit, allfällige Entscheide rückgängig zu machen und insbesondere Abfälle aus dem Tiefenlager zurückzuholen, wurde im Rahmen des Projekts "Reversibility and Retrievability" (R&R) der OECD/NEA gründlich untersucht (OECD/NEA 2011). Sowohl für die Rückholung wie für die Überwachung bestehen technische Konzepte, die periodisch an die neuesten Erkenntnisse angepasst werden. Bezüglich Überwachung kann vor allem auf die Resultate und Erfahrungen in entsprechenden Felslaborexperimenten zurückgegriffen werden, wie z.B. aus dem EU-Forschungsprogramm "MoDeRn" (Monitoring Developments for Safe Repository Operation and Staged Closure 2009 – 2013; White 2014). Im neuen EU-Forschungsprogramm "Modern2020" (Development & Demonstration of Monitoring Strategies and Technologies for Geological Disposal) werden konzeptuelle Aspekte wie auch technologische Fragen vertieft bearbeitet, so dass für die Rahmenbewilligungsgesuche ein breit abgestütztes Konzept für die Überwachung vorgelegt werden kann. Die detaillierte Ausgestaltung des Überwachungsprogramms erfolgt unter Berücksichtigung des Stands der Technik nach Abschluss der untertägigen Standorterkundungen und bei Vorliegen der Resultate aus den EUU.

Im Hinblick auf eine allfällige Rückholung wurden Konzepte auf Grundlage bestehender Technik entwickelt. Auch hier wird bis zum nuklearen Baugesuch noch eine erhebliche Entwicklung der Technik (z.B. im Untertagbau) erwartet und auch in den ausländischen Programmen wird weitere Erfahrung anfallen. Der technologische Fortschritt wird bei der Auslegung des geologischen Tiefenlagers im Rahmen der nuklearen Baubewilligung zum Tragen kommen.

### 3.1.3 Geologie

In der Schweiz und im Ausland liegen vertiefte Erkenntnisse aus Arbeiten mehrerer Jahrzehnte bezüglich Endlager-relevanter Aspekte der Geologie vor (Schweiz: vgl. Nagra 2002b und c, Nagra 2008d und Nagra 2014b mit darin zitierten Referenzen, Untersuchungsprogramme in den Felslabors Grimsel: z.B. Blechschmidt & Vomvoris 2015 und Mont Terri: z.B. Delay et al. 2014, Vomvoris et al. 2015; Ausland: z.B. SKB 2000, ANDRA 2005, SKB 2008, Posiva 2011, OPG 2011). Sie resultieren aus der allgemeinen geologischen Forschung, der Kohlenwasserstoff-Exploration, aus Tunnelbauten und den seit über 30 Jahren durchgeführten fokussierten Untersuchungen der Nagra (vgl. Fig. 3-2). Diese Kenntnisse sind geeignet, um die Anforderungen an die Geologie in Abhängigkeit vom zugeteilten Abfallinventar und gewählten Sicherheitskonzept festzulegen.

In den Neunzigerjahren stand das geologische Standortgebiet Wellenberg als möglicher Lagerstandort für ein SMA-Lager zur Diskussion. Sieben Jahre nach der ersten Wellenberg-Abstimmung hat sich der Kanton Nidwalden 2002 im Rahmen einer Abstimmung hinsichtlich der Bewilligung für einen Sondierstollen im Wellenberg erneut gegen ein SMA-Lagerprojekt ausgesprochen. Im Hinblick auf ein HAA-Lager hat der Bundesrat 2006 den Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente (BE), verglaste hochaktive (HAA) und langlebige mittelaktive Abfälle (LMA) gutgeheissen. Gleichzeitig hat er den Antrag betreffend Fokussierung künftiger Untersuchungen im Hinblick auf eine geologische Tiefenlagerung der BE/HAA/LMA in der Schweiz auf den Opalinuston und das potenzielle Standortgebiet im Zürcher Weinland abgelehnt. Als eine der Konsequenzen genehmigte der Bundesrat 2008 das Konzept Sachplan geologische Tiefenlager (SGT), welches das laufende Standortwahlverfahren in drei Etappen im Detail regelt (BFE 2008).

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

Für SGT Etappe 2 wurden die geologischen Kenntnisse der in Etappe 1 vorgeschlagenen SMA- und HAA-Standortgebiete durch zusätzliche Untersuchungen weiter vertieft und die Standortgebiete auf Basis des vertieften Kenntnisstands nach den Kriterien des Sachplanverfahrens systematisch weiter eingeengt (Nagra 2014b). Die Einengung umfasste eine schrittweise Evaluation im Hinblick auf den Vorschlag für mindestens zwei Standortgebiete pro Lagertyp<sup>15</sup>. Dazu wurden optimierte geologische Konfigurationen für das HAA- resp. SMA-Lager in den einzelnen Standortgebieten (Bestimmung des prioritären Wirtgesteins, Abgrenzung von optimierten untertägigen Lagerperimetern) ausgewählt. Es folgten eine Prüfung der sicherheitstechnischen

---

<sup>15</sup> Das Optimierungsgebot (ENSI-G03, ENSI 2009a) beinhaltet auch eine Optimierung bezüglich der geologischen Konfiguration in den einzelnen Standortgebieten im Rahmen des SGT. Bei der Abgrenzung von Lagerperimetern innerhalb der Standortgebiete kommt auch das Platzangebot zum Tragen, welches durch geologische Gegebenheiten (u.a. tektonisches Regime) bestimmt wird. Um dem Erkenntnisgewinn im Rahmen der Realisierung (erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag) Rechnung zu tragen, muss der mit der Rahmenbewilligung festgelegte vorläufige Schutzbereich, der sämtliche Teile des Tiefenlagers inklusive der Zugänge umfasst (KEV Art. 70), ebenfalls eine ausreichende Flexibilität aufweisen. Eine detaillierte Anordnung und Auslegung der Lagerkammern kann erst mit dem nuklearen Baubewilligungsgesuch erfolgen. Die definitive Festlegung eines Schutzbereichs erfolgt mit der Betriebsbewilligung.

Eignung bzw. Gleichwertigkeit anhand von Dosisberechnungen und eine qualitative Bewertung anhand der Kriterien des SGT sowie eine vergleichende Gesamtbewertung anhand der behördlich festgelegten entscheiderelevanten Merkmale und die Identifikation allfälliger eindeutiger Nachteile der Standortgebiete. Die resultierenden Vorschläge für Etappe 3 sind das Ergebnis dieser vergleichenden Gesamtbewertung. Die beiden von der Nagra vorgeschlagenen Standortgebiete Jura Ost und Zürich Nordost sehen den Opalinuston als Wirtgestein vor und sind sowohl für die Lagerung von HAA als auch von SMA geeignet (Nagra 2014a). In beiden Gebieten besteht somit auch das Potenzial, das SMA- und das HAA-Lager am selben Standort anzuordnen und dort ein sogenanntes 'Kombilager' (s. Kap. 3.4) zu erstellen. Im Vergleich zu den Standortgebieten Jura Ost und Zürich Nordost weisen die vier übrigen Standortgebiete Jura-Südfuss, Nördlich Lägern, Südranden und Wellenberg aus Sicht der Nagra eindeutige Nachteile auf (Nagra 2014a). Die Nagra schlägt deshalb die beiden Gebiete Jura Ost und Zürich Nordost mit dem Wirtgestein Opalinuston für vertiefte Untersuchungen in Etappe 3 vor<sup>16</sup>.

Das Arbeitsprogramm für die nächsten Jahre ist klar definiert. So werden für Etappe 3 vertiefte erdwissenschaftliche Untersuchungen (u.a. 3D-Seismik, Sondierbohrungen und Quartäruntersuchungen) in den verbleibenden Standortgebieten durchgeführt; wichtige Hinweise hierzu liefern die mit der Berichterstattung zu SGT Etappe 2 eingereichten Explorationskonzepte (Nagra 2014s)<sup>17</sup>.

---

<sup>16</sup> Im Rahmen der Beurteilung der entsprechenden Unterlagen wird diskutiert, ob auch das Standortgebiet Nördlich Lägern (NL) in Etappe 3 weiter untersucht werden soll.

<sup>17</sup> Um weitere Verzögerungen zu vermeiden, hat die Nagra ebenfalls ein Explorationskonzept für das Standortgebiet Nördlich Lägern eingereicht (Nagra 2016d), die entsprechenden Planungsarbeiten aufgenommen sowie mit ersten erdwissenschaftlichen Untersuchungen (3D-Seismik) begonnen.

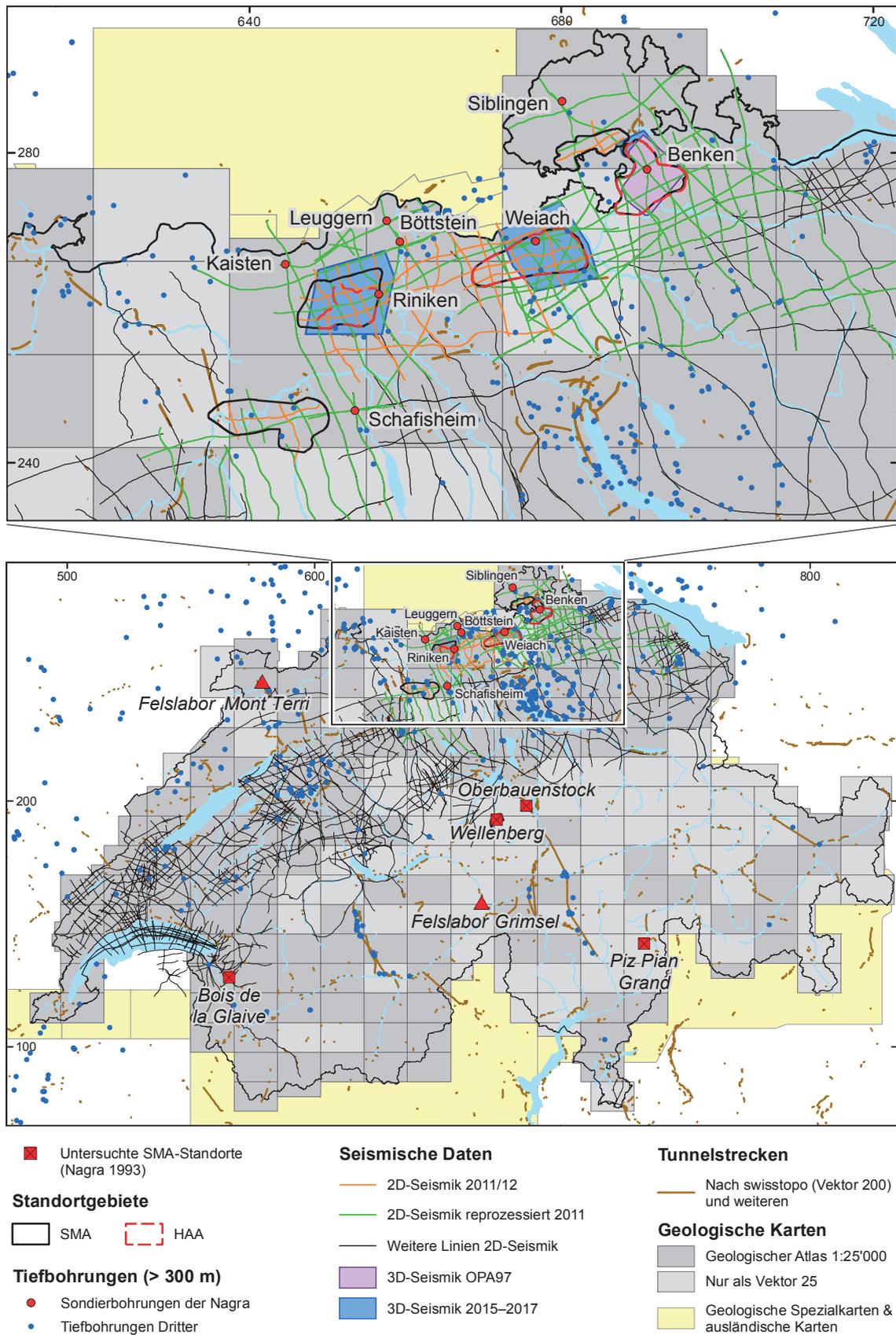


Fig. 3-2: Informationsquellen geologischer Daten.

### 3.1.4 Sicherheitsnachweise

Die Kernenergieverordnung (KEV 2004) sowie die Richtlinie ENSI-G03 (ENSI 2009a) 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 ebenfalls der Nachweis der Langzeitsicherheit erforderlich. Die Richtlinie ENSI-G03 enthält detaillierte Anforderungen zur Erstellung der Sicherheitsnachweise. Insbesondere müssen die Nachweise gemäss dem Stand von Wissenschaft und Technik geführt werden, einen stufengerechten Detaillierungsgrad aufweisen sowie in Sicherheitsberichten dokumentiert werden.

Die Ergebnisse der Sicherheitsnachweise und die Resultate der Behördenprüfung fliessen in die Erarbeitung der Sicherheitsnachweise für den jeweils nachfolgenden Meilenstein ein. Die nächsten Sicherheitsnachweise für die geologischen Tiefenlager sind für die Rahmenbewilligungsgesuche erforderlich. Hinweise zu den in den nächsten Jahren geplanten Arbeiten bezüglich Sicherheit finden sich in Kap. 5 und Tab. A.3-2.

### Langzeitsicherheit

Das oberste Ziel der Langzeitsicherheit der geologischen Tiefenlager ist in Anlehnung an das allgemeine Schutzziel im Kernenergiegesetz (KEG 2003) und gemäss der Richtlinie ENSI-G03 (ENSI 2009a) der dauerhafte Schutz von Mensch und Umwelt vor der ionisierenden Strahlung der eingelagerten Abfälle nach dem ordnungsgemässen Verschluss der Lager, ohne dass dabei künftigen Generationen unzumutbare Lasten und Verpflichtungen auferlegt werden.

Mit dem Nachweis der Langzeitsicherheit für ein verschlossenes geologisches Tiefenlager wird anhand einer umfassenden und systematischen Analyse dargelegt, wie sich das Lager entwickeln wird, welche radiologischen Konsequenzen sich daraus ergeben und dass das übergeordnete Schutzziel und die zugehörigen Leitsätze und Schutzkriterien gemäss der Richtlinie ENSI-G03 eingehalten werden. Dazu gehören auch eine Bewertung der verwendeten Methoden und Daten, der Einbezug von weiteren unterstützenden Argumenten sowie eine systematische und umfassende Analyse der vorhandenen Ungewissheiten und ihrer Relevanz für die Langzeitsicherheit.

In Bezug auf die Methodik kann die Nagra neben den behördlichen Anforderungen auf frühere Sicherheitsnachweise, insbesondere auf den Entsorgungsnachweis für das HAA-Lager (Nagra 2002c und d) zurückgreifen. Zusätzlich existieren internationale Empfehlungen zur Erstellung eines Sicherheitsnachweises (OECD/NEA 2013, PAMINA 2011a und b, OECD/NEA 2012), an deren Erarbeitung die Nagra aktiv beteiligt war. Schliesslich verfolgt die Nagra auch die internationale Entwicklung, z.B. durch Teilnahme am Review von Sicherheitsberichten von Schwesterorganisationen (z.B. SKB 2011) oder den Einsitz in wichtigen Gremien (z.B. Integration Group for the Safety Case der OECD/NEA). Diese Arbeiten werden im Hinblick auf die nächsten Sicherheitsnachweise für die Rahmenbewilligungsgesuche fortgeführt.

Im Rahmen von SGT Etappe 2 hat die Nagra sogenannte provisorische Sicherheitsanalysen erarbeitet und einen sicherheitstechnischen Vergleich der geologischen Standortgebiete gemäss den behördlichen Vorgaben (BFE 2008, ENSI 2010a und ENSI 2013) durchgeführt (Nagra 2014a und c). Die Planung der verfahrensleitenden Behörde (BFE) für den SGT sieht vor, dass die Aufsichtsbehörde (ENSI) auch für SGT Etappe 3 Anforderungen an den sicherheitstechnischen Vergleich definiert. Der Gesuchssteller muss beim Rahmenbewilligungsgesuch die Standortwahl in einem Bericht dokumentieren, der einen Vergleich der zur Auswahl stehenden Optionen hinsichtlich der Sicherheit des geologischen Tiefenlagers sowie eine Bewertung der für die Auswahl des Standorts ausschlaggebenden Eigenschaften enthält (KEV Art. 62).

Die systematische und umfassende Analyse der Ungewissheiten umfasst eine Methodik zur systematischen Erfassung aller sicherheitsrelevanter Sachverhalte, Ereignisse und Prozesse, eine Methodik zur Entwicklung von Szenarien für die grundsätzlichen Entwicklungspfade des Lagers sowie Techniken zum Umgang mit Ungewissheiten bei der quantitativen Analyse (z.B. Sensitivitätsanalyse). In allen Bereichen verfügt die Nagra über Erfahrung und verfolgt laufend die Entwicklung des Stands der Wissenschaft. Aktuell nimmt die Nagra aktiv an einer Initiative der OECD/NEA zur Erstellung eines zusammenfassenden Berichts über den Stand der Technik zur Szenarienentwicklung teil.

Zur Ermittlung der radiologischen Konsequenzen wird die Barrierenwirkung des Nahfelds und des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs anhand von Dosisberechnungen quantitativ untersucht. Diese basieren auf Modellen zum Radionuklidtransport sowie den in Kap. 3.1.3 erwähnten Daten zur geologischen Situation und ihrer Langzeitentwicklung. Entsprechende Grundlagen werden im Rahmen langjähriger Forschungsprogramme am PSI, an den Hochschulen (ETHZ, EPFL) und Universitäten (Bern) sowie durch Aktivitäten in den Felslabors Mont Terri und Grimsel im Rahmen des RD&D-Programms erarbeitet und laufend gemäss dem Stand der Wissenschaft weiterentwickelt (für detaillierte Angaben s. Nagra 2016a). Von besonderer Bedeutung sind Modelle zur Diffusion von Radionukliden (Van Loon 2014, Gimmi & Kosakowski 2011) sowie zur Sorption von Radionukliden auf Ton- und Zementmineralen (Baeyens et al. 2014, Wieland 2014). Die PSI/Nagra Thermodynamische Datenbasis (Thoenen et al. 2014) enthält eine auf Qualität geprüfte Kompilation thermochemischer Daten der Radionuklide und bildet eine wesentliche Grundlage für die quantitative Beschreibung des Radionuklidtransports im Nahfeld und im einschlusswirksamen Gebirgsbereich.

Die quantitative Beschreibung des Transports von Radionukliden durch das Barrierensystem inklusive der Analyse der resultierenden radiologischen Konsequenzen in der Biosphäre erfolgt mit numerischen Rechenprogrammen (Nagra 2014r, Poller et al. 2014). Im Hinblick auf die Sicherheitsnachweise für die Rahmenbewilligungsgesuche wird die internationale Entwicklung auf dem Gebiet der numerischen Modellierung aktiv verfolgt und die Rechenprogramme werden bei Bedarf erweitert.

Für die Langzeitsicherheit eines geologischen Tiefenlagers sind lagerbedingte Einflüsse (thermisch, hydraulisch, chemisch, felsmechanisch sowie Einflüsse durch Gasbildung) von Bedeutung, da die Wechselwirkungen zwischen eingelagerten Abfällen, eingebrachten Materialien und Wirtgestein die Sicherheitsfunktionen (sicherer Einschluss, Rückhaltevermögen) der technischen und geologischen Barrieren potenziell beeinflussen können (Nagra 2016a). Hinsichtlich der Gasbildung und deren Relevanz für das Lagerkonzept sei zudem auf einen aktuellen Synthesericht verwiesen (Diomidis et al. 2016).

## **Betriebsicherheit**

Im Hinblick auf den Einlagerungsbetrieb<sup>18</sup> kommen insbesondere Vorgaben der nuklearen Betriebsicherheit, des Strahlenschutzes sowie der Sicherung und Safeguards zum Tragen<sup>19</sup>.

---

<sup>18</sup> Während der Bauphase sind wie beim Bau einer konventionellen untertägigen Anlage die Aspekte der Arbeitssicherheit und des Gesundheitsschutzes sowie Flucht, Evakuierung und Rettung zu beachten. Dazu wird u.a. auf entsprechende Richtlinien (Arbeitsschutz, Unfallverhütung, SUVA-Richtlinien, EKAS-Richtlinien, Notfallschutzverordnung (NFSV 2010), Brandschutzrichtlinien etc.) zurückgegriffen.

<sup>19</sup> Dies sind z.B. Strahlenschutz StSG 1991/StSV 1994; Verordnung UVEK zu Gefährdungsmassnahmen und des Schutzes gegen Störfälle (Verord. UVEK 2009); Verordnung UVEK über die Gefährdungsannahmen und Sicherungsmassnahmen für Kernanlagen und Kernmaterialien (Verord. UVEK 2008), Safeguardsverordnung 2012 sowie diverse ENSI Richtlinien (s. Anhang A.8).

Der Sicherheitsnachweis für die Betriebsphase umfasst gemäss ENSI-G03 (ENSI 2009a) eine systematische und umfassende Sicherheitsanalyse sowohl für den Normalbetrieb als auch für Störfälle. Im Rahmen von SGT Etappe 2 wurde die Sicherheit für die Betriebsphase beurteilt (Nagra 2013a, Nagra 2014h). Zudem besteht hinsichtlich des sicheren Betriebs und der Analyse von potenziellen Störfällen 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.

### 3.1.5 Raumnutzung und Umweltverträglichkeit

Der Bau und Betrieb eines geologischen Tiefenlagers hat Auswirkungen auf die Umwelt und die Landschaft sowie auf die Raumnutzung der betroffenen Gemeinden und Kantone. Die räumliche Wirksamkeit eines geologischen Tiefenlagers kann heute grundsätzlich abgeschätzt werden und wurde in SGT Etappe 2 in Projektunterlagen (Nagra 2011) sowie in den Planungsstudien (Nagra 2013b – g, Nagra 2014i – q) dargelegt. Anhand verschiedener Instrumente, wie der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP; UVP-Voruntersuchungen: SC+P & Roos & Partner 2014a – i und 2016a – f) oder der sozioökonomisch-ökologischen Wirkungsstudie (SÖW; BFE 2014a), werden diese Wirkungen ermittelt, analysiert und beschrieben. Ziel der Umweltverträglichkeitsprüfung ist es sicherzustellen, dass die geltenden Umweltvorschriften eingehalten werden. Umweltkonflikte sind nach Möglichkeit zu vermeiden resp. zu reduzieren.

In SGT Etappe 3 sollen in enger Abstimmung mit den verschiedenen Interessensgruppen – insbesondere Regionen und Kantone – die Anordnung der Oberflächenanlagen sowie deren Erschliessung stufengerecht optimiert werden. Auch werden mögliche Standorte für die benötigten Nebenzugangsanlagen<sup>20</sup> zusammen mit den Regionen und den Kantonen diskutiert sowie deren Wirkung auf Landschaft und Umwelt beschrieben. Die Wirkung der Oberflächeninfrastruktur wird im Umweltverträglichkeitsbericht beschrieben. Dieser ist Bestandteil des Rahmenbewilligungsgesuchs.

Einen weiteren Bestandteil des Rahmenbewilligungsgesuchs stellt der Bericht über die Abstimmung mit der Raumplanung dar.

Im Konzeptteil des SGT (BFE 2008) finden sich Hinweise zu Verfahrensfragen hinsichtlich Raumplanung und Umweltverträglichkeit. Vorgaben zur Raumnutzung und Umweltverträglichkeit sind in der Schweiz im Rahmen der Gesetzgebung klar geregelt und gelten auch für das Vorhaben geologische Tiefenlager<sup>21</sup>.

---

<sup>20</sup> Die Gesamtheit der Elemente auf einem Areal für einen Nebenzugang wird als Nebenzugangsanlage resp. des Öfteren auch als Schachtkopfanlage bezeichnet.

<sup>21</sup> Siehe u.a. USG 1983/UVPV 1988 (Umweltschutz), StFV 1991 (Störfälle), Verordnung des UVEK über Listen zum Verkehr mit Abfällen (Verord. UVEK 2005), RPG 1979/RPV 2000 (Raumplanung), LRV 1985 (Luft), LSV 1986 (Lärm), GSchG 1991/GSchV 1998 (Gewässerschutz), AltIV 1998 (Altlasten), VBBo 1998 (Bodenschutz), VVEA 2015 (Abfälle), NHG 1966/NHV 1991 (Natur- und Heimatschutz), BAFU-Richtlinien und -Wegleitungen, ChemRRV 2005, kantonale Richtpläne, Nutzungspläne (Anhang A.8).

## 3.2 Auslegungskonzept des HAA-Lagers

### 3.2.1 Konzeptuelle Vorgaben und Annahmen für das HAA-Lager

Das Auslegungskonzept für das HAA-Lager ist in Fig. 3-3 dargestellt. Es basiert auf dem in Kap. 3.1.2 beschriebenen Sicherheitskonzept (Multibarrierenkonzept), berücksichtigt die gesetzlichen und behördlichen Vorgaben (vgl. Tab. A.1-1) und geht ausserdem von folgenden Annahmen aus:

#### *Erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag (EUU) und Bauwerke des HAA-Lagers auf Lagerebene*

- Für die EUU werden u.a. verschiedene untertägige Bauten (z.B. Sondierstollen im Wirtgestein) benötigt. Diese sind so anzuordnen und auszulegen, dass sie die Charakterisierung der geologischen Situation untertag und somit die Beurteilung der Sicherheit des geologischen Tiefenlagers ermöglichen, ohne die Eignung eines Standorts für ein geologisches Tiefenlager zu beeinträchtigen (KEG Art. 35). Da zu diesem Zeitpunkt noch keine kerntechnische Anlage vorliegt (s. Kap. 5.1), sind die Bauten so zu planen, dass sie später im Falle einer nuklearen Baubewilligung umgenutzt und als Testbereiche bzw. weitere Anlagen in das geologische Tiefenlager integriert werden können<sup>22</sup>.

Das HAA-Lager umfasst ein Hauptlager für BE/HAA, ein Hauptlager für LMA, ein Pilotlager und Testbereiche. Es basiert auf dem Konzept des kontrollierten geologischen Langzeitlagers gemäss EKRA (2000), wie es auch in KEG (2003) und KEV (2004) eingeflossen ist.

- Im *Hauptlager BE/HAA* werden die in Endlagerbehälter verpackten hochaktiven Abfälle eingelagert. Das Hauptlager BE/HAA ist in einem oder mehreren Lagerfeldern angeordnet. Die Lagerfelder bestehen aus den Lagerkammern (BE/HAA-Lagerstollen) und den Lagerfeldzugängen. Sie stellen die Hohlräume zur dauerhaften Einlagerung und die notwendigen Zugänge auf Lagerebene sicher.
- Im *Hauptlager LMA*<sup>23</sup> werden die in Endlagerbehälter verpackten langlebigen mittelaktiven Abfälle eingebracht. Dabei werden die Abfälle gemäss heutiger Planung entsprechend ihrer chemischen Eigenschaften in getrennte Lagerkavernen eingelagert (vgl. Nagra 2014c, Anhang A-31).
- Das *Pilotlager* dient der Überwachung des Verhaltens des Barrierensystems anhand einer kleinen repräsentativen Abfallmenge. Eine mögliche schematische Anordnung ist in Fig. 3-3 illustriert. Das Pilotlager entspricht in seiner Auslegung dem Hauptlager BE/HAA. Bei den LMA erfolgt die Überwachung in einer Lagerkaverne des LMA-Lagerfelds, weil die Menge an LMA gemäss heutiger Planung zu klein ist für ein separates Pilotlager.
- *Testbereiche* sind ein integraler Bestandteil der geologischen Tiefenlager (KEV Art. 64) und dienen der Weiterführung von Langzeitexperimenten, die im Rahmen von erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag (EUU) initiiert werden<sup>24</sup>. Eine mögliche schematische Anordnung von Testbereichen ist in Fig. 3-3 illustriert; es sind aber je nach geologischer Situation auch anderweitige Anordnungen von Testbereichen vorstellbar.

<sup>22</sup> Diese Vorgehensweise entspricht insofern einer sicherheitsgerichteten Auslegung, als dass das Platzangebot innerhalb des Lagerperimeters im Wirtgestein möglichst gut genutzt, die Schädigung des Wirtgesteins beschränkt und die untertägigen Hohlräume im Wirtgestein in ihrer Ausdehnung und Anzahl begrenzt werden.

<sup>23</sup> Die Einlagerung von LMA sowohl in das HAA- als auch in das SMA-Lager wird im EP16 als Varianten ausgewiesen (s. Kap. 4.1).

<sup>24</sup> Siehe Tab. A.4-3.

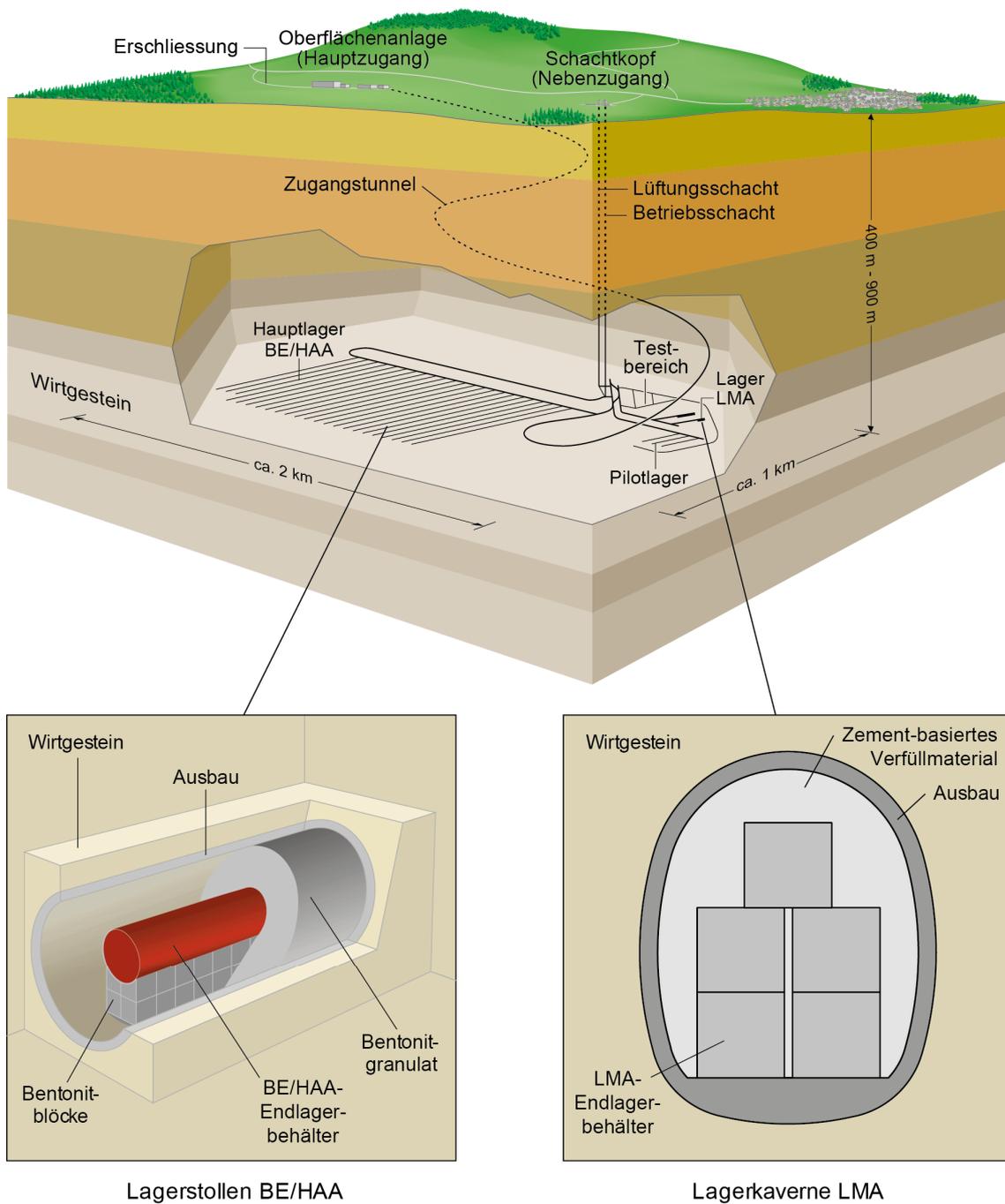


Fig. 3-3: Konzeptuelle Darstellung des HAA-Lagers für abgebrannte Brennelemente (BE) und verglaste hochaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (HAA) sowie für langlebige mittelaktive Abfälle (LMA).

### *Zugang nach Untertag*

- Im Rahmen der EEU werden zwei getrennte Zugänge nach Untertag erstellt (z.B. Sondierschacht, Sondiertunnel). Damit wird für die Untersuchungen auf Lagerebene die erforderliche Verbindung von der Oberfläche sichergestellt. Da zu diesem Zeitpunkt noch keine kerntechnische Anlage vorliegt (s. Kap. 5.1), sind diese Bauten so zu planen, dass sie später im Falle einer nuklearen Baubewilligung umgenutzt und in das geologische Tiefenlager integriert werden können.
- Im Einlagerungsbetrieb sind mindestens ein Hauptzugang und ein Nebenzugang erforderlich. Über den Hauptzugang erfolgt der Transport der Abfälle und der Verfüllmaterialien von der Oberflächenanlage in den Lagerbereich. Über den Nebenzugang resp. die Nebenzugänge wird die Frischluftversorgung, der Bau weiterer BE/HAA-Lagerstollen, der Besucherbetrieb und die Ver- und Entsorgung des Tiefenlagers (z.B. Energieversorgung, Wasserversorgung, Abwasserentsorgung und Wasserhaltung; Nagra 2016c) sichergestellt. Die Zugänge können als Tunnel (Rampe), Schacht oder Blindschacht (untertägiger Schachtkopf mit Erschliessungstunnel) ausgeführt werden. Die Oberflächenanlage muss nicht direkt über bzw. nicht in unmittelbarer Nähe des untertägigen Lagers angeordnet werden (Nagra 2013e, Nagra 2014j, m und p, Nagra 2016c). Der Zugang zur Lagerebene über einen Zugangstunnel oder Blindschacht mit horizontalem Verbindungstunnel erlaubt eine gewisse Entkopplung des untertägigen Lagerbereichs vom Standort der Oberflächenanlage.

### *Oberflächeninfrastruktur*

- Für die erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag sind diverse Infrastrukturanlagen an der Oberfläche nötig (z.B. Erschliessungsbauwerke, Anlagen und Bauwerke für die Ver- und Entsorgung der Sondierbauwerke, Administrationsgebäude für erdwissenschaftliche Untersuchungen, Bauinstallationen inkl. Installationsplätze sowie Standorte für die Verwertung und Ablagerung von Ausbruch-, Aushubmaterial). Da zu diesem Zeitpunkt noch keine kerntechnische Anlage vorliegt (s. Kap. 5.1), sind diese Bauten so zu planen, dass sie später im Falle einer nuklearen Baubewilligung allenfalls umgenutzt und in das geologische Tiefenlager integriert werden können<sup>25</sup>.
- Das geologische Tiefenlager umfasst gemäss KEG Art. 49 auch die mit dem Bau, Betrieb und Rückbau zusammenhängende Oberflächeninfrastruktur, soweit sie in einem engen räumlichen und funktionalen Zusammenhang mit dem Projekt steht. Diese besteht aus der Oberflächenanlage, den notwendigen Anlagen an der Oberfläche bei den Nebenzugängen (z.B. Schachtkopfanlagen<sup>26</sup>), der versorgungs- und verkehrstechnischen Erschliessung sowie Baustelleninstallationen. Die Oberflächeninfrastruktur stellt die Schnittstelle zur Ver- und Entsorgung der untertägigen Anlagen sicher. In der Oberflächenanlage werden die Abfälle und übrigen Produktionsmittel angenommen, die Abfälle verpackt und für die Einlagerung vorbereitet. Bauinstallationen inklusive Installationsplätze sowie Standorte für die Verwertung und Ablagerung von Ausbruch-, Aushub- oder Abbruchmaterial sind erforderlich, um die phasenweise notwendige ober- und untertägige Infrastruktur zu errichten oder die nicht mehr notwendigen Anlagen rückzubauen bzw. zu verfüllen.

---

<sup>25</sup> Bei der Umnutzung sind u.a. bauliche, technische, organisatorische und administrative Anforderungen an die Anlagensicherung zu beachten. Die hierzu gültigen Vorgaben sind z.B. in der Verordnung UVEK über die Gefährdungsannahmen und Sicherungsmassnahmen für Kernanlagen und Kernmaterialien (Verord. UVEK 2008), Safeguardsverordnung (2012), PSPVK (2006), VAPK (2006), VBWK (2006) sowie diversen ENSI-Richtlinien dokumentiert (s. Anhang A.8).

<sup>26</sup> Die Gesamtheit der Elemente auf einem Areal für einen Nebenzugang wird als Nebenzugangsanlage resp. des Öfteren auch als Schachtkopfanlage bezeichnet. Entsprechend wird auch das Areal als Schachtkopfareal bezeichnet (Nagra 2016c).

### *Betriebs- und Verschlusskonzept*

- Das Betriebs- und Verschlusskonzept ist Bestandteil des Auslegungskonzepts und umfasst u.a. die folgenden Elemente:
  - Der *Antransport der Abfälle* zur Oberflächenanlage erfolgt in speziellen Transportbehältern gemäss der dann gültigen Transportvorschriften über das öffentliche Verkehrsnetz per Bahn oder auf der Strasse. Bei der Annahme der Abfälle werden diese auf Konformität mit den Annahmebedingungen für das HAA-Lager überprüft.
  - Die *Verpackung* der angelieferten BE und verglasten HAA in Endlagerbehälter erfolgt in Umladezellen innerhalb der BE/HAA-Verpackungsanlage. Die BE/HAA-Endlagerbehälter sind in Bezug auf Belastungen so ausgelegt, dass im Störfall keine Freisetzung von Radionukliden auftritt<sup>27</sup>. Zudem gewährleisten sie die nötige Abschirmung. Zur Einhaltung der vorgegebenen maximalen Wärmeleistung der BE/HAA-Endlagerbehälter ist für eine geeignete Zuteilung der angelieferten BE auf die Endlagerbehälter zu sorgen. Dies wird durch eine entsprechende Auslegung der BE/HAA-Verpackungsanlage und die Verwendung einer geeigneten Verpackungsstrategie sichergestellt<sup>28</sup>.
  - Die *Verpackung* der LMA erfolgt in einer separaten LMA-Verpackungsanlage<sup>29</sup>. Auch die Endlagerbehälter für LMA sind in Bezug auf mechanische und thermische Belastungen und solche durch Flüssigkeiten so ausgelegt, dass im Störfall keine oder nur eine begrenzte Freisetzung von Radionukliden auftritt.
  - Die Endlagerbehälter werden in internen Transportbehältern nach Untertag transportiert. Diese bieten einen zusätzlichen Schutz vor äusseren Einwirkungen auf die Endlagerbehälter und gewährleisten eine zusätzliche Abschirmung. Die Endlagerbehälter werden im Umladebereich am Eingang zur Lagerkammer aus dem internen Transportbehälter entnommen und zur Einlagerungsposition transportiert.
  - Der BE/HAA-Lagerstollen wird im Bereich eines eingelagerten BE/HAA-Endlagerbehälters jeweils zeitnah verfüllt. Wenn ein Lagerstollen vollständig mit Endlagerbehältern gefüllt ist, wird dieser mit einem Versiegelungsbauwerk verschlossen. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, innerhalb der BE/HAA-Lagerstollen sogenannte Zwischensiegel zu installieren, um die Lagerstollen in einzelne Kompartimente zu unterteilen. Zur Verfüllung der Hohlräume der LMA-Lagerkavernen wird ein zementbasiertes Verfüllmaterial verwendet. Nach vollständiger Befüllung einer LMA-Lagerkaverne wird diese mit einem Versiegelungsbauwerk verschlossen.

---

<sup>27</sup> Gemäss dem heutigen Behälterkonzept bestehen die BE/HAA-Endlagerbehälter aus dickwandigen und gasdicht verschweissten Stahlbehältern, die so ausgelegt sind, dass sie bei auftretenden Auslegungsstörfällen ausreichend intakt und gasdicht bleiben, so dass der vollständige Einschluss der darin verpackten radioaktiven Abfälle weiterhin sichergestellt ist. Eine Freisetzung von Radionukliden wird für die BE/HAA-Abfälle im Auslegungsstörfall ausgeschlossen.

<sup>28</sup> Für eine optimale Beladung der Endlagerbehälter müssen diese mit Brennelementen unterschiedlicher Wärmeleistung beladen werden können (s. Kap. 2.1). Dies verlangt, dass gleichzeitig der Zugriff auf mehrere Transport- und Lagerbehälter (TLB) möglich ist. Deshalb sind gemäss heutiger Planung in der BE/HAA-Verpackungsanlage mehrere Andock-Stationen für die TLB und die Endlagerbehälter vorgesehen.

<sup>29</sup> Je nach Betriebskonzept können Umlade- und Fördereinrichtungen der BE/HAA-Verpackungsanlage auch für die Handhabung von Transport- und Endlagerbehälter mit LMA verwendet werden, so dass auch eine kombinierte Verpackungsanlage mit separater LMA-Umladezelle eine Möglichkeit darstellt.

- Parallel zur Einlagerung der BE/HAA-Endlagerbehälter werden die jeweils benötigten BE/HAA-Lagerstollen aufgeföhren. Der Bau dieser Stollen erfolgt in der Einlagerungs-betriebsphase nicht über den Hauptzugang. Damit ist sichergestellt, dass die im Bau befindlichen Anlagenteile von denjenigen im Einlagerungsbetrieb räumlich getrennt sind. Die BE/HAA-Lagerstollen des Pilotlagers und die LMA-Lagerkavernen werden vor Beginn der Einlagerung gebaut.
- Nach Abschluss der Einlagerung beginnt die Beobachtungsphase (s. Tab. A.4-1); dazu bleibt die Lagerebene weiterhin über mindestens zwei Zugänge erschlossen. Die Beobachtung umfasst neben der Überwachung des Pilotlagers die kontinuierliche oder wiederholte Messung von radiologischen und nicht-radiologischen Zustandsparametern in der Umgebung des Tiefenlagers sowie in den Testbereichen.
- Der Verschluss des Lagers erfolgt in mehreren Etappen mit verschiedenen, gestaffelten Versiegelungsbauwerken (Nagra 2008g) und der Verfüllung der übrigen Hohlräume<sup>30</sup>. Zuerst werden die einzelnen Lagerkammern (Lagerstollen und Lagerkavernen) im Zuge der Einlagerung verfüllt und versiegelt. Im Rahmen der Beobachtungsphase erfolgt nach einer beschränkten Dauer (Annahme 10 Jahre; s. Tab. A.4-1) in einem zweiten Schritt die Verfüllung und Versiegelung der Zugänge zu den Lagerfeldern des Hauptlagers auf Lagerebene und gegebenenfalls der nicht mehr benötigten Zugänge von der Oberfläche nach Untertag<sup>31</sup>. Die Anlagen und Bauwerke an der Oberfläche, welche nur für die Verpackung und Einlagerung der Abfälle gebraucht wurden, werden nach der Einlagerung stillgelegt und rückgebaut. Die dritte und letzte Verschlussetappe bildet der Verschluss des Gesamtlagers nach Abschluss der Beobachtungsphase (Annahme 50 Jahre nach Einlagerung, s. Tab. A.4-2) auf Anordnung des Bundesrats nach Gesuch des Eigentümers (KEG Art. 39). Sie umfasst die Verfüllung der bis dahin noch verwendeten Testbereiche und aller anderen offenen Untertagbauwerke inklusive der noch offenen Zugänge. Versiegelungen müssen in allen Zugängen an der Schichtgrenze des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs erstellt werden. Zum Verschluss des Gesamtlagers gehören auch die Markierung des Tiefenlagers, die Sicherstellung einer langfristig wirksamen Trennung grundwasserführender Gesteinsschichten entlang der Zugangsbauwerke oberhalb der Lagerebene mit geeigneten Abdichtungen, der Rückbau der verbliebenen Oberflächeninfrastruktur, sowie die Renaturierung der Terrainoberfläche, falls keine anderweitige Nutzung vorgesehen ist.

### **3.2.2 Modellhafte Umsetzung der konzeptuellen Vorgaben und Annahmen für das HAA-Lager**

Eine Möglichkeit, wie die in Kap. 3.2.1 diskutierten konzeptionellen Vorgaben und Annahmen umgesetzt werden können, zeigt die Systemskizze für die untertägigen Anlagen (Fig. 3-4). Der Transport der radioaktiven Abfälle zu den untertägigen Lagerstollen und -kavernen erfolgt über den Zugangstunnel (Hauptzugang). Die modellhafte Auslegung umfasst zudem als Nebenzugänge einen Betriebsschacht und einen Lüftungsschacht für die Frischluftversorgung.

---

<sup>30</sup> Neben der Abfallmatrix, den Abfallbehältern und den Endlagerbehältern stellen Versiegelungen und Verfüllungen Elemente des technischen Barrierensystems dar (vgl. Kap. 3.1.2).

<sup>31</sup> Dies kann beispielsweise zutreffen, wenn drei Zugänge zum Tiefenlager bestehen. In diesem Fall kann einer davon im Zuge dieser zweiten Verschlussetappe versiegelt und verfüllt werden (i.d.R. der Hauptzugang).

Fig. 3-5 und 3-6 zeigen eine mögliche, funktionale Anordnung und Ausgestaltung der verschiedenen Bauwerke der Oberflächenanlage für das HAA-Lager sowie deren Gestaltung und Erschliessung und ihre grossräumige Einbettung in die Umgebung. Die modellhaften Darstellungen beziehen sich auf keinen spezifischen Standort. Die effektive räumliche Anordnung und Ausgestaltung hängen von den standortspezifischen Gegebenheiten ab.

Im Rahmen von SGT Etappe 2 wurden Standortareale für die Oberflächenanlage eines HAA-Lagers unter Berücksichtigung von raum- und umweltplanerischen Rahmenbedingungen und gestützt auf die Mitwirkung der Regionen bezeichnet (für die Standortgebiete Jura Ost und Zürich Nordost, s. Nagra 2013e und Nagra 2014j<sup>32</sup>). Dazu hat die Nagra auch Vorschläge zur möglichen Ausgestaltung der Oberflächenanlage und deren verkehrstechnischer Erschliessung ausgearbeitet sowie Planungsvarianten bezüglich der Oberflächeninfrastruktur (Nagra 2011, 2012, 2013a und e, 2014j) vorgeschlagen.

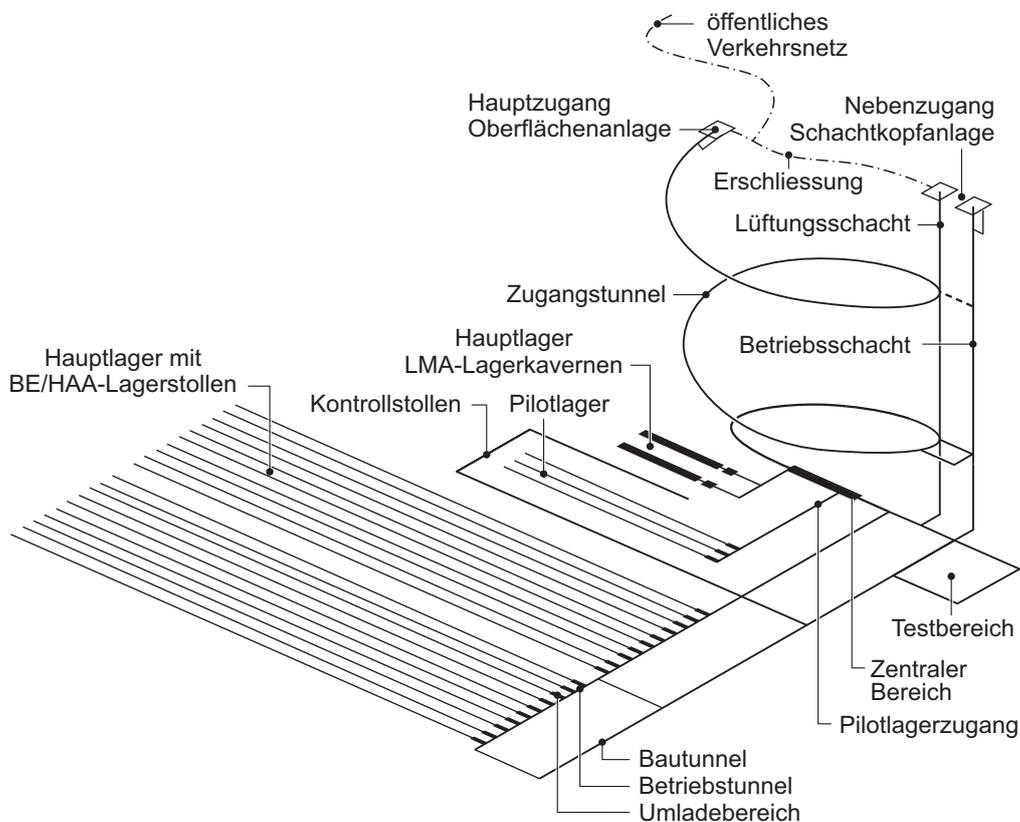


Fig. 3-4: Systemskizze für die untertägigen Anlagen des HAA-Lagers.

<sup>32</sup> Im Rahmen der Beurteilung der entsprechenden Unterlagen wird diskutiert, ob auch das Standortgebiet Nördlich Lägern (NL) in SGT Etappe 3 weiter untersucht werden soll. In SGT Etappe 2 wurden für das HAA-Lager auch Planungsstudien im Planungssperimeter NL erarbeitet und Standortareale für die Oberflächenanlage bezeichnet (2014m und 2014p), auf welche allenfalls in Etappe 3 abgestützt werden kann.

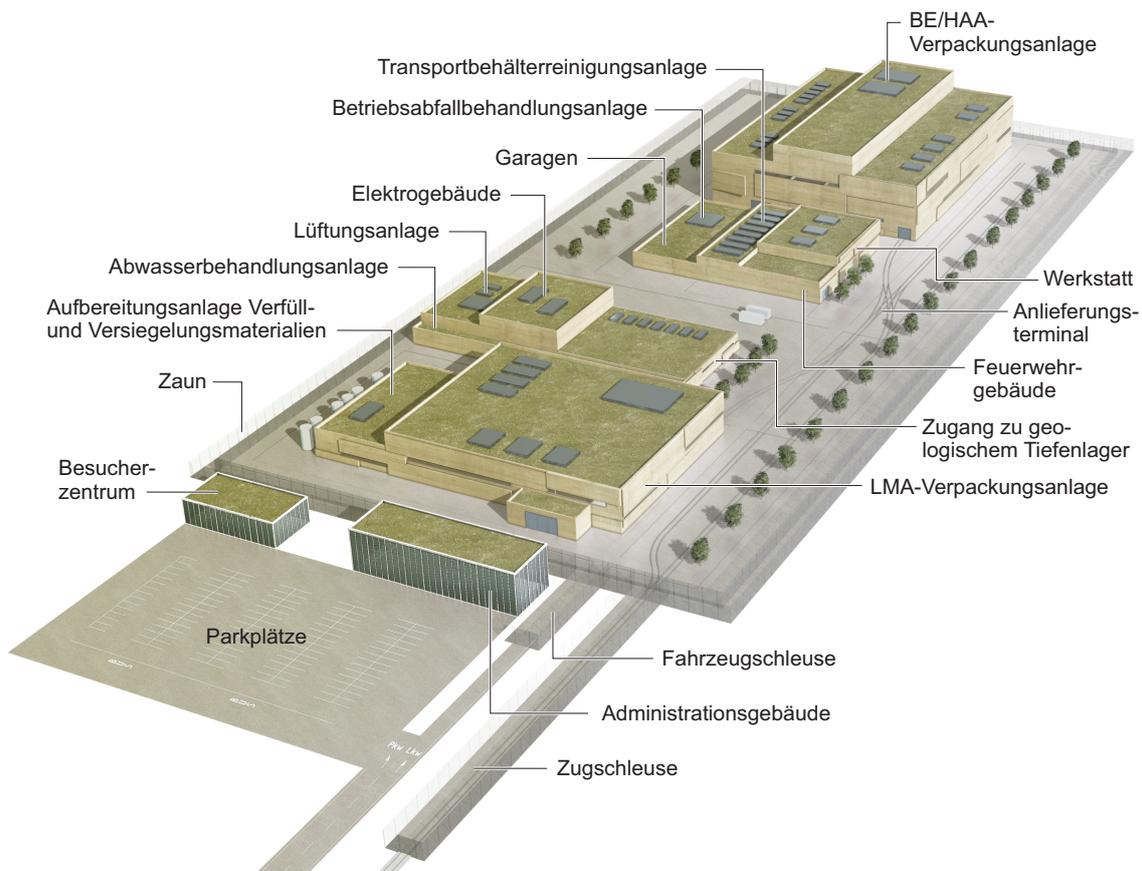


Fig. 3-5: Mögliche, nicht standortspezifische, funktionale Anordnung und Ausgestaltung der verschiedenen Bauwerke (Module) der Oberflächenanlage für das HAA-Lager

Die **Oberflächenanlage** eines HAA-Lagers (Fig. 3-5) steht am Hauptzugang, über welchen der Transport der in internen Transportbehältern verpackten Endlagerbehälter nach Untertag erfolgt (Fig. 3-4). Sie umfasst als wichtigste Elemente gemäss heutiger Planung<sup>33</sup> die folgenden Bauwerke (Module)<sup>34</sup>:

- *BE/HAA-Verpackungsanlage* und *LMA-Verpackungsanlage*<sup>35</sup>, sowie *Aufbereitungsanlage für Verfüll- und Versiegelungsmaterial*; darin erfolgt die Verpackung von BE/HAA und LMA in die Endlagerbehälter und die Vorbereitung für die Einlagerung sowie die Vorhaltung und Vorbereitung von Verfüllmaterial (z.B. Bentonitgranulat, Mörtelkomponenten) zur Verfüllung der LMA-Endlagerbehälter oder der Lagerkammern während der Einlagerung
- *Zugang zum geologischen Tiefenlager*; i.d.R. unterirdisch angeordnetes Bauwerk für die Beladung der Fördergeräte nach Untertag. Es stellt die Verbindung zum **Hauptzugang** dar

<sup>33</sup> Als Basis wird von den Angaben in den entsprechenden Planungsstudien für das HAA-Lager (Nagra 2013e, Nagra 2014j) sowie in Nagra (2011) und Nagra (2013a) ausgegangen. Je nach standortspezifischer Situation und Realisierungskonzept können Bauwerke auch anders angeordnet oder in Gebäude zusammengefasst werden.

<sup>34</sup> Elemente, die in der folgenden Aufzählung in kursiv geschrieben sind, finden sich in Fig. 3-5.

<sup>35</sup> Die Einlagerung von LMA sowohl in das HAA- als auch in das SMA-Lager wird im EP16 als Varianten ausgewiesen (s. Kap. 4.1). Für den Fall, dass alle SMA und ATA im SMA-Lager eingelagert werden, würde auf die Erstellung der LMA-Verpackungsanlage beim HAA-Lager verzichtet.

- Für den Betrieb und Unterhalt der Oberflächen- und Untertaganlagen notwendigen Nebengebäude (z.B. *Elektrogebäude, Lüftungsanlage, Abwasserbehandlungsanlage*) mit Einrichtungen zur Ver- und Entsorgung sowie für den Unterhalt der Anlagen (Lüftung, Energieversorgung, Wasser, Abwasser, Bergwasserhaltung, *Werkstätten* und *Garagen* etc.) und dem *Feuerwehrgebäude*
- Nebengebäude für Betriebsabfallsammlung und -sortierung<sup>36</sup> (*Betriebsabfallbehandlungsanlage*) und optional *Transportbehälterreinigungsanlage*
- *Administrationsgebäude* sowie Eingangskontrolle (*Geräteschleuse, Personenschleuse, Fahrzeug- und Zugschleuse*) und *Anlieferungsterminal*: Das Administrationsgebäude wird für die organisatorische Leitung des Anlagenbetriebs verwendet; die Eingangskontrolle und das Anlieferungsterminal ist für die vorschriftsgemäße Betriebslogistik (z.B. Anlieferung radioaktiver Abfälle, Verfüll- und Versiegelungsmaterialien, extern produzierte leere Endlagerbehälter sowie Betriebsmittel) erforderlich
- Sicherungsanlagen (*Sicherungszaun* etc.)
- Besuchereinrichtungen (z.B. im Rahmen eines *Besucherzentrums*) und *Parkplätze*



Fig. 3-6: Modellhafte standortspezifische Gestaltung der Oberflächenanlage für das HAA-Lager in fiktiver Umgebung.

<sup>36</sup> Die Betriebsabfälle werden in eine bestehende externe Betriebsabfallbehandlungsanlage transportiert.

Hinsichtlich **Nebenzugänge** wird für Planungszwecke davon ausgegangen, dass das HAA-Lager neben dem Hauptzugang i.d.R. einen **Betriebs-** und einen **Lüftungszugang** umfasst; diese sind in Fig. 3-4 als Betriebsschacht und Lüftungsschacht dargestellt. Für deren Anordnung gibt es grundsätzlich verschiedene Möglichkeiten. So können Nebenzugänge<sup>37</sup> örtlich getrennt oder gemeinsam auf dem gleichen Areal platziert werden (Nagra 2016c).

Das Areal für den **Betriebsschacht** umfasst im Einlagerungsbetrieb im Wesentlichen die folgenden Elemente:

- Förderturm mit Schachthalle sowie Material- und Personenzugang
- Notwendige Einrichtungen für die Bauarbeiten (Baubüro, Mannschaftsräume, Werkstatt, Lagerplatz, Geräte- und Materialhalle etc.) zur Erstellung der BE/HAA-Lagerstollen während des Einlagerungsbetriebs
- Materialbewirtschaftung (Ausbruchmaterial, Baumaterial) und Zwischendepot für während des Einlagerungsbetriebs anfallendes Ausbruchmaterial bis zu dessen Weitertransport
- Nebengebäude mit Einrichtungen zur Ver- und Entsorgung (Lüftung, Energieversorgung, Wasser, Abwasser, Bergwasserhaltung etc.)
- Sicherungsanlagen (Sicherungszaun etc.)

Das Areal für den **Lüftungsschacht** umfasst im Wesentlichen die folgenden Elemente:

- Schachtkopf mit Frischluftansaugöffnung (evtl. mit Kühlanlage zur Vorkühlung der Frischluft)
- Rettungseinrichtungen (Personenzugang und -förderung)
- Sicherungsanlagen (Sicherungszaun etc.)

Der **Transport der Endlagerbehälter nach Untertag** bis zum Umladebereich bei den Lagerkammern sowie der untertägige Transport und die Einlagerung in BE/HAA-Lagerstollen resp. LMA-Lagerkavernen hängen stark von der Zugangskonfiguration und der effektiven Auslegung des Lagers ab; es bieten sich hierzu verschiedene Möglichkeiten an (Kap. 3.2.3).

Für die **Erschließung** der Oberflächenanlage und der Nebenzugangsanlagen (Nagra 2011, 2013e, 2014j und 2016c) ist eine Bahn<sup>38</sup>- und Strassenzufahrt oder ein Strassenanschluss an das öffentliche Verkehrsnetz notwendig (Fig. 3.4)<sup>39</sup>. Zudem wird eine Anbindung an die übergeordneten Ver- und Entsorgungseinrichtungen (Kanalisation, Bergwasserableitung in den Vorfluter, Wasserleitungen, Energieversorgungsleitungen etc.) benötigt.

In sämtlichen Realisierungsphasen werden – wenn auch teilweise unterschiedliche – Baustelleneinrichtungen, Einrichtungen zur Materialbewirtschaftung und eine entsprechende Bauzufahrt benötigt (Nagra 2011, Nagra 2013e, Nagra 2014j) und es ist ein Langzeitdepot vorzusehen; dies für den Fall, dass ein Teil des ausgebrochenen Opalinustons für den Verschluss des Tiefenlagers verwendet werden soll.

---

<sup>37</sup> Die Gesamtheit der Elemente auf einem Areal für einen Nebenzugang wird als Nebenzugangsanlage resp. des Öfteren auch als Schachtkopfanlage bezeichnet. Entsprechend wird auch das Areal als Schachtkopfareal bezeichnet (Nagra 2016c).

<sup>38</sup> Allenfalls wird hierzu eine nahegelegene Umladestation benötigt.

<sup>39</sup> Für den Bau von Zugängen nach Untertag kann je nach standortspezifischer Situation ein untertägiger Zwischenangriff notwendig sein; hierzu wird eine Zufahrt an das öffentliche Verkehrsnetz benötigt.

Für Planungszwecke wird für den **Bau des HAA-Lagers** von der folgenden modellhaften Umsetzung ausgegangen:

- Die modellhafte Auslegung des HAA-Lagers gemäss Fig. 3-4 umfasst einen Zugangstunnel sowie einen Betriebs- und Lüftungsschacht. Grundsätzlich existieren mehrere Zugangskonfigurationen nach Untertag (Kap. 3.2.3; s. auch Nagra 2016c); je nach Standortsituation sind diese aber als Zugang nach Untertag unterschiedlich gut geeignet.
- Die Errichtung und der Verschluss untertägiger Bauwerke erfolgen von Hauptangriffspunkten und zugehörigen Bauinstallationen am Ort der Oberflächenanlage und der Nebenzugänge aus.
- Länge und Anordnung der BE/HAA-Lagerstollen und der Lagerfelder sowie Orientierung der Stollenachse und Abstände zwischen den Lagerstollen können so angepasst werden, dass das Platzangebot in der Lagerzone optimal genutzt wird (Nagra 2008e, Nagra 2014e).
- Hinsichtlich der Querschnittsgrössen, -formen, Längen und Ausbau der BE/HAA-Lagerstollen, LMA-Lagerkavernen und der übrigen untertägigen Bauwerke sowie hinsichtlich des Verfüllmaterials wird für Planungszwecke von den Angaben in technischen Berichten der Nagra (Nagra 2010, 2014f und 2002a) ausgegangen. Als Ausbau der BE/HAA-Lagerstollen ist die Ausbruchsicherung mit einer Spritzbetonschale (Einlagerungsabschnitte) oder mit Stahlbögen und Netzen (Zwischensiegelabschnitte) vorgesehen (Nagra 2010, Nagra 2014f, Nagra 2016e, f und g). Es existieren jedoch auch anderweitige Möglichkeiten (Kap. 3.2.3).

### 3.2.3 Varianten für die Auslegung des HAA-Lagers

Um die erforderliche Flexibilität zur Berücksichtigung möglicher zukünftiger Entwicklungen im Rahmen des Realisierungsplans für die Optimierung der Anlagen und Betriebsabläufe zu erhalten, werden verschiedene Varianten betrachtet; diese sind konsistent mit dem in Anhang A.2 dargelegten Handlungsspielraum. In der derzeitigen Planung stehen folgende Auslegungsvarianten im Vordergrund:

- Als Variante zur Abgrenzung von LMA und deren Einlagerung ins HAA-Lager besteht die Möglichkeit die betroffenen Abfälle alle im SMA-Lager einzulagern (s. Kap. 4.1). In diesem Fall würde auf die Erstellung von LMA-Lagerkavernen im HAA-Lager verzichtet.
- Die Verpackung der BE und HAA kann grundsätzlich auch in einer Anlage erfolgen, welche sich ausserhalb der Oberflächenanlage am Standort des geologischen Tiefenlagers befindet. Die fertig verpackten BE/HAA-Endlagerbehälter müssten in einem solchen Fall dann in noch zu entwickelnden Transportbehältern zur Oberflächenanlage des HAA-Lagers transportiert und dort direkt eingelagert werden.
- Die Verpackung der LMA kann grundsätzlich auch in einer Anlage erfolgen, welche sich ausserhalb der Oberflächenanlage am Standort des geologischen Tiefenlagers befindet.
- Hinsichtlich der Errichtung und der Verfüllung untertägiger Bauwerke existiert Handlungsspielraum, um standortspezifischen Gegebenheiten, einer allfälligen Etappierung einzelner Bauwerke oder Anforderungen aufgrund unterschiedlicher Baulose Rechnung zu tragen.
- Es gibt verschiedene Auslegungsvarianten für die Zugänge nach Untertag und die untertägige Erschliessung der Lagerfelder: Verwendung von Zugangstunneln und/oder Schächten, Länge der/des Zugangstunnel(s), parallele Zugangstunnel, Lage und Linienführung von Zugangstunneln und Schächten, Anzahl und funktionale Zuordnung der Nebenzugänge, Zugang ins Pilotlager, Trassierung von Bau- und Betriebstunneln, zusätzlicher Lüftungstunnel auf Lagerebene, Umfahrung der Lagerzone zur Vorerkundung etc. (vgl. Nagra 2010, Nagra 2014g, Nagra 2016c). Ebenso besteht hinsichtlich der zeitlichen Umsetzung dieser Auslegungsvarianten im Rahmen des Realisierungsplans Handlungsspielraum.

- Zur Berücksichtigung neuer Vorschriften sowie dem Optimierungsgebot entsprechend neuer Erfahrungen und technischem Fortschritt werden für Planungszwecke hinsichtlich der Endlagerbehälter für BE und HAA verschiedene Möglichkeiten betrachtet. Dies betrifft Fragestellungen in Zusammenhang mit dem Transport (Infrastruktur, Transportbehälter, Fahrzeuge) wie auch Behältermaterialien. Als Material für die Endlagerbehälter für abgebrannte Brennelemente und verglaste hochaktive Abfälle stellen neben Karbonstahl oder Gusseisen auch alternative Behältermaterialien (verschiedene Keramiktypen) sowie spezifische Legierungen (Beschichtungen mit Kupfer, Titan, Nickel) Varianten dar (Diomidis et al. 2016; Anhang A.6.2).
- Hinsichtlich des Transports der Endlagerbehälter besteht eine breite Palette von Möglichkeiten. Der Transport nach Untertag kann über eine Schachtförderanlage (Sindern & Borowski 2014), eine Standseilbahn (Messmer & Berger 2014), pneumetriebene Fahrzeuge (Ricca & Monti 2014) oder eine Zahnradbahn (Wieser et al. 2014) erfolgen. Für den untertägigen Transport und die Einlagerung in die BE/HAA-Lagerstollen stellen sowohl pneumatische als auch schienengebundene Fahrzeuge eine Möglichkeit dar
- Die für Planungszwecke vorgesehenen Querschnittsgrößen, -formen und Länge der Lagerstollen sowie die Ausbruchsicherung untertägiger Bauwerke (Nagra 2010, Nagra 2014f, Nagra 2016e) können bei Bedarf den standortspezifischen geomechanischen Bedingungen angepasst werden. So bestehen hinsichtlich der Art und Weise des Vortriebs verschiedene Varianten und für die Ausbruchsicherung der BE/HAA-Lagerstollen sind je nach standortspezifischer Situation alternative Ausbruchsicherungen mit Spritzbeton, mit Stahlbögen und Netzen oder mit Tübbingen sowie Kombinationen daraus denkbar (Fries & Winter 2009, Nagra 2014f, Nagra 2016f und g).
- Beim Verfüllmaterial für die BE/HAA-Lagerstollen werden neben reinem Bentonit auch Bentonitzuschlagstoff-Mischungen (z.B. Bentonit/Sand-Gemisch) oder andere Tonmaterialien betrachtet; ferner könnte das im Entsorgungsnachweis (Nagra 2002a) vorgeschlagene Granulat auch durch Bentonitblöcke ersetzt werden. Zudem stellt auch eine zementbasierte Verfüllung eine Variante dar (Nagra 2016b).
- Das Lager wird so ausgelegt, dass die Betriebszeiten bzw. die Beobachtungsphase verlängert werden können<sup>40</sup>. Für gewisse Bauteile und Komponenten sind dazu Revisionen und Ersatz bzw. Erneuerungen vorzusehen und in den entsprechenden Konzepten einzuplanen.

---

<sup>40</sup> Beispielsweise dann, wenn die Beobachtungsphase deutlich länger dauern sollte.

### 3.3 Auslegungskonzept des SMA-Lagers

#### 3.3.1 Konzeptuelle Vorgaben und Annahmen für das SMA-Lager

Das Auslegungskonzept für das SMA-Lager ist in Fig. 3-7 dargestellt. Es basiert auf dem in Kap. 3.1.2 beschriebenen Sicherheitskonzept (Multibarrierenkonzept), berücksichtigt die gesetzlichen und behördlichen Vorgaben (vgl. Tab. A.1-1) und geht ausserdem von den folgenden Annahmen aus:

*Erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag (EUU) und Bauwerke des SMA-Lagers auf Lagerebene*

- Für die EUU werden u.a. verschiedene untertägige Bauten (z.B. Sondierstollen im Wirtgestein) benötigt. Diese sind so anzuordnen und auszulegen, dass sie die Charakterisierung der geologischen Situation untertag und somit die Beurteilung der Sicherheit des geologischen Tiefenlagers ermöglichen, ohne die Eignung eines Standorts für ein geologisches Tiefenlager zu beeinträchtigen (KEG Art. 35). Da zu diesem Zeitpunkt noch keine kerntechnische Anlage vorliegt (s. Kap. 5.1), sind die Bauten so zu planen, dass sie später im Falle einer nuklearen Baubewilligung umgenutzt und als Testbereiche bzw. weitere Bauwerke in das geologische Tiefenlager integriert werden können<sup>41</sup>.
- Das SMA-Lager umfasst ein Hauptlager, ein Pilotlager und Testbereiche. Es basiert auf dem Konzept des kontrollierten geologischen Langzeitlagers gemäss EKRA (2000), wie es auch in KEG (2003) und KEV (2004) eingeflossen ist.
  - Im *Hauptlager SMA*<sup>42</sup> werden die in Endlagerbehälter verpackten schwach- und mittelaktiven Abfälle eingelagert. Die Abfälle werden gemäss heutiger Planung entsprechend ihrer chemischen Eigenschaften in getrennte Lagerkavernen eingelagert (vgl. Nagra 2014c, Anhang A-31). Das Hauptlager SMA ist in einem oder mehreren Lagerfeldern angeordnet. Die Lagerfelder bestehen aus den SMA-Lagerkavernen und den Lagerfeldzugängen. Sie stellen die Hohlräume zur dauerhaften Einlagerung und die notwendigen Zugänge auf Lagerebene sicher.
  - Das *Pilotlager* dient der Überwachung des Verhaltens des Barrierensystems anhand einer kleinen repräsentativen Abfallmenge. Das Pilotlager entspricht in seiner Auslegung dem Hauptlager. Eine mögliche schematische Auslegung ist in Fig. 3-8 illustriert.
  - *Testbereiche* sind ein integraler Bestandteil der geologischen Tiefenlager (KEV Art. 64) und dienen der Weiterführung von Langzeitexperimenten, die im Rahmen von erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag initiiert werden<sup>43</sup>. Eine mögliche schematische Anordnung von Testbereichen ist in Fig. 3-8 illustriert; es sind aber je nach geologischer Situation auch anderweitige Anordnungen von Testbereichen vorstellbar.

---

<sup>41</sup> Diese Vorgehensweise entspricht insofern einer sicherheitsgerichteten Auslegung, als dass das Platzangebot innerhalb des Lagerperimeters im Wirtgestein möglichst gut genutzt, die Schädigung des Wirtgesteins beschränkt und die untertägigen Hohlräume im Wirtgestein in ihrer Ausdehnung und Anzahl begrenzt werden.

<sup>42</sup> Die Einlagerung von LMA sowohl in das HAA- als auch in das SMA-Lager wird im EP16 als Varianten ausgewiesen (s. Kap. 4.1).

<sup>43</sup> Siehe Tab. A.4-4.

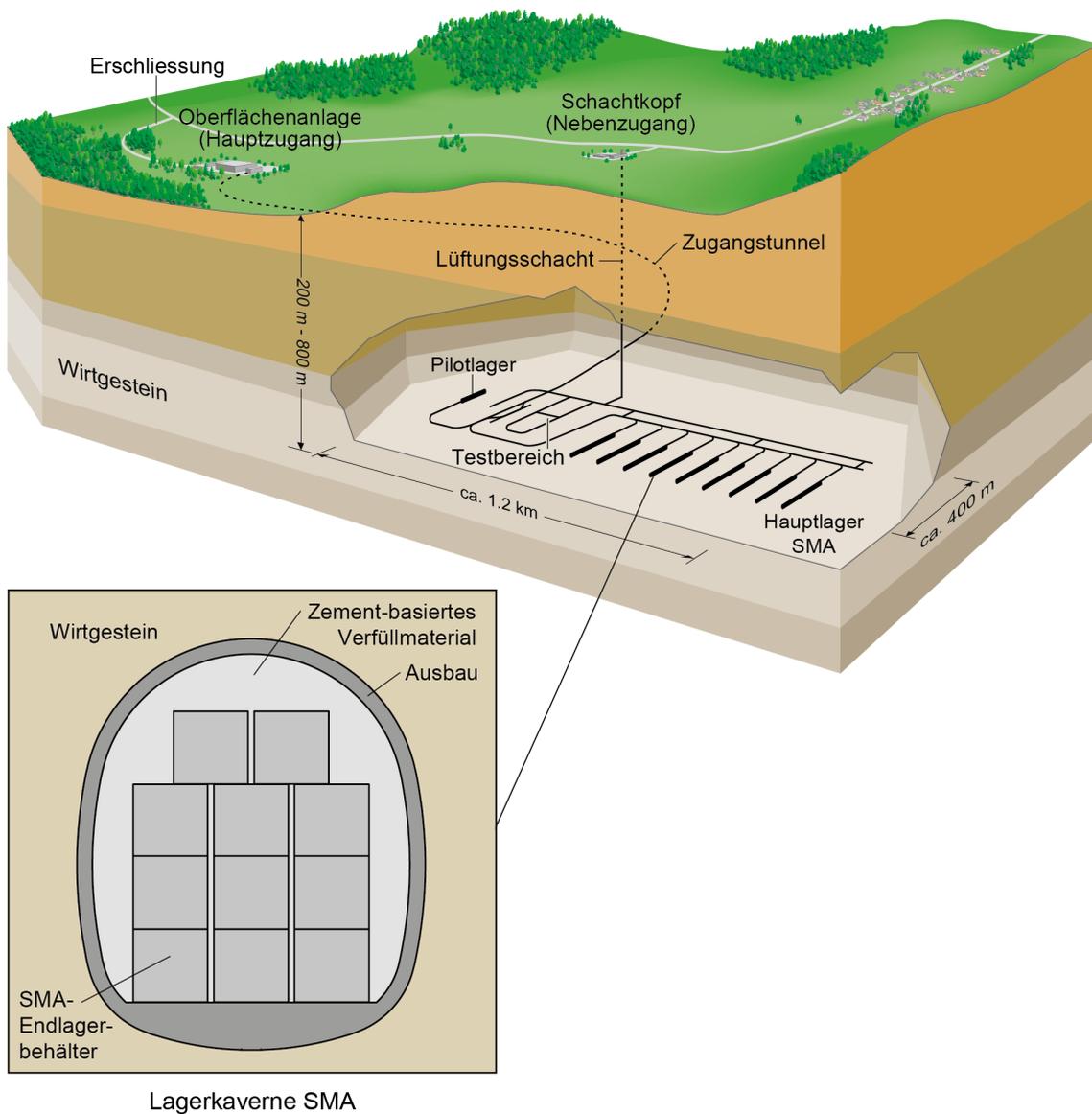


Fig. 3-7: Konzeptuelle Darstellung des SMA-Lagers für schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA).

#### Zugang nach Untertag

- Im Rahmen der erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag (EUU) werden zwei getrennte Zugänge nach Untertag erstellt (z.B. Sondierschacht, Sondiertunnel). Damit wird für die Untersuchungen auf Lagerebene die erforderliche Verbindung von der Oberfläche sichergestellt. Da zu diesem Zeitpunkt noch keine kerntechnische Anlage vorliegt (s. Kap. 5.1), sind diese Bauten so zu planen, dass sie später im Falle einer nuklearen Baubewilligung umgenutzt und in das geologische Tiefenlager integriert werden können.
- Im Einlagerungsbetrieb sind mindestens ein Hauptzugang und ein Nebenzugang erforderlich. Über den Hauptzugang erfolgt der Transport der Abfälle und der Verfüllmaterialien von der Oberflächenanlage in den Lagerbereich. Über den Nebenzugang resp. die Nebenzugänge wird die Frischluftversorgung, der Besucherbetrieb und die Ver- und Entsorgung des Tiefenlagers (z.B. Energieversorgung, Wasserversorgung, Abwasserentsorgung und Wasserhaltung; Nagra 2016c) sichergestellt. Die Zugänge können als Tunnel (Rampe), Schacht

oder Blindschacht (untertägiger Schachtkopf mit Erschliessungstunnel) ausgeführt werden. Die Oberflächenanlage muss nicht direkt über bzw. nicht in unmittelbarer Nähe des untertägigen Lagers angeordnet werden (Nagra 2013b, c, d und g, Nagra 2014i, l und o). Der Zugang zur Lagerebene über einen Zugangstunnel oder Blindschacht mit horizontalem Verbindungstunnel erlaubt eine gewisse Entkopplung des untertägigen Lagerbereichs vom Standort der Oberflächenanlage.

#### *Oberflächeninfrastruktur*

- Für die erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag sind diverse Infrastrukturanlagen an der Oberfläche nötig (z.B. Erschliessungsbauwerke, Anlagen und Bauwerke für die Ver- und Entsorgung der Sondierbauwerke, Administrationsgebäude für erdwissenschaftliche Untersuchungen, Bauinstallationen inkl. Installationsplätze sowie Standorte für die Verwertung und Ablagerung von Ausbruch-, Aushubmaterial). Da zu diesem Zeitpunkt noch keine kerntechnische Anlage vorliegt (s. Kap. 5.1), sind diese Bauten so zu planen, dass sie später im Falle einer nuklearen Baubewilligung allenfalls umgenutzt und in das geologische Tiefenlager integriert werden können<sup>44</sup>.
- Das geologische Tiefenlager umfasst gemäss KEG Art. 49 auch die mit dem Bau, Betrieb und Rückbau zusammenhängende Oberflächeninfrastruktur, soweit sie in einem engen räumlichen und funktionalen Zusammenhang mit dem Projekt steht. Diese besteht aus der Oberflächenanlage, den notwendigen Anlagen an der Oberfläche bei den Nebenzugängen (z.B. Schachtkopfanlagen<sup>45</sup>), der versorgungs- und verkehrstechnischen Erschliessung sowie sämtlichen Baustelleninstallationen. Die Oberflächeninfrastruktur stellt die Schnittstelle zur Ver- und Entsorgung der untertägigen Anlagen sicher. In der Oberflächenanlage werden die Abfälle und übrigen Produktionsmittel angenommen, die Abfälle verpackt und für die Einlagerung vorbereitet. Bauinstallationen inklusive Installationsplätze sowie Standorte für die Verwertung und Ablagerung von Ausbruch-, Aushub- oder Abbruchmaterial sind erforderlich, um die phasenweise notwendige obertägige und untertägige Infrastruktur zu errichten oder die nicht mehr notwendigen Anlagen rückzubauen bzw. zu verfüllen.

#### *Betriebs- und Verschlusskonzept*

- Das Betriebs- und Verschlusskonzept ist Bestandteil des Auslegungskonzepts und umfasst u.a. die folgenden Elemente:
  - Der *Antransport der Abfälle* zur Oberflächenanlage erfolgt in speziellen Transportbehältern gemäss der dann gültigen Transportvorschriften über das öffentliche Verkehrsnetz per Bahn oder auf der Strasse. Bei der Annahme der Abfälle werden diese auf Konformität mit den Annahmebedingungen für das SMA-Lager überprüft.
  - Alle Abfälle werden in Endlagerbehältern aus Beton eingelagert. Dazu werden die konditionierten Abfälle (Abfallgebände) vor ihrer Einlagerung entweder in der SMA-Verpackungsanlage innerhalb der Oberflächenanlage in Endlagerbehälter verpackt (z.B. Betriebs- und Reaktorabfälle) oder es werden schon bei der Konditionierung Endlagerbehälter verwendet (für gewisse Stilllegungsabfälle). Dabei sind spezielle Vorgaben und Randbedingungen zu berücksichtigen (z.B. chemische Eigenschaften). Letztere können

<sup>44</sup> Bei der Umnutzung sind u.a. bauliche, technische, organisatorische und administrative Anforderungen an die Anlagensicherung zu beachten. Die hierzu gültigen Vorgaben sind z.B. in der Verordnung UVEK über die Gefährdungsannahmen und Sicherungsmassnahmen für Kernanlagen und Kernmaterialien (Verord. UVEK 2008), Safeguardsverordnung (2012), PSPVK (2006), VAPK (2006), VBWK (2006) sowie diversen ENSI-Richtlinien dokumentiert (s. Anhang A.8).

<sup>45</sup> Die Gesamtheit der Elemente auf einem Areal für einen Nebenzugang wird als Nebenzugangsanlage resp. des Öfteren auch als Schachtkopfanlage bezeichnet. Entsprechend wird auch das Areal als Schachtkopfareal bezeichnet (Nagra 2016c).

angeliefert und nach Kontrolle direkt eingelagert werden. Die Endlagerbehälter für SMA sind in Bezug auf mechanische und thermische Belastungen und solche durch Flüssigkeiten grundsätzlich so ausgelegt, dass im Störfall keine oder nur eine begrenzte Freisetzung von Radionukliden auftritt.

- Die Endlagerbehälter werden in internen Transportbehältern nach Untertag transportiert. Diese bieten einen zusätzlichen Schutz vor äusseren Einwirkungen auf die Endlagerbehälter und gewährleisten eine zusätzliche Abschirmung. Im Falle einer Betriebsstörung ist so eine Intervention ohne grosse Zusatzmassnahmen möglich. Die Endlagerbehälter werden im Umladebereich am Eingang zur Lagerkaverne aus dem internen Transportbehälter entnommen und zur Einlagerungsposition transportiert.
- Zur Verfüllung der Hohlräume der SMA-Lagerkavernen wird ein zementbasiertes Verfüllmaterial verwendet. Nach vollständiger Befüllung einer SMA-Lagerkaverne wird diese mit einem Versiegelungsbauwerk verschlossen.
- Die SMA-Lagerkavernen inklusive derjenigen des Pilotlagers werden vor Beginn der Einlagerung gebaut. Durch diese zeitliche Staffelung werden Bau- und Betriebsaktivitäten klar getrennt, d.h. während der Einlagerung sind keine Bauaktivitäten erforderlich.
- Nach Abschluss der Einlagerung beginnt die Beobachtungsphase (s. Tab. A.4-2); dazu bleibt die Lagerebene weiterhin über mindestens zwei Zugänge erschlossen. Die Beobachtung umfasst neben der Überwachung des Pilotlagers die kontinuierliche oder wiederholte Messung von radiologischen und nicht-radiologischen Zustandsparametern in der Umgebung des Tiefenlagers sowie in den Testbereichen.
- Der Verschluss des Lagers erfolgt in mehreren Etappen mit verschiedenen gestaffelten Versiegelungsbauwerken (vgl. Nagra 2002a) und der Verfüllung der übrigen Hohlräume<sup>46</sup>. Zuerst werden die einzelnen Lagerkammern (Lagerkavernen) im Zuge der Einlagerung verfüllt und versiegelt. Im Rahmen der Beobachtungsphase erfolgt nach einer beschränkten Dauer (Annahme 10 Jahre; s. Tab. A.4-2) in einem zweiten Schritt die Verfüllung und Versiegelung der Zugänge zum Hauptlager auf Lagerebene sowie gegebenenfalls nicht mehr benötigte Zugänge von der Oberfläche nach Untertag<sup>47</sup>. Die Anlagen und Bauwerke an der Oberfläche, welche nur für die Verpackung und Einlagerung der Abfälle gebraucht wurden, werden nach der Einlagerung stillgelegt und rückgebaut. Die dritte und letzte Verschlussstufe bildet der Verschluss des Gesamtlagers nach Abschluss der Beobachtungsphase (Annahme 50 Jahre nach Einlagerung, s. Tab. A.4-2) auf Anordnung des Bundesrats nach Gesuch des Eigentümers (KEG Art. 39). Sie umfasst die Verfüllung der bis dahin noch verwendeten Testbereiche und aller anderen offenen Untertagbauwerke inklusive der noch offenen Zugänge. Versiegelungen müssen in allen Zugängen an der Schichtgrenze des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs erstellt werden. Zum Verschluss des Gesamtlagers gehören auch die Markierung des Tiefenlagers, die Sicherstellung einer langfristig wirksamen Trennung grundwasserführender Gesteinsschichten entlang der Zugangsbauwerke oberhalb der Lagerebene mit geeigneten Abdichtungen, der Rückbau der verbliebenen Oberflächeninfrastruktur, sowie die Renaturierung der Terrainoberfläche, falls keine anderweitige Nutzung vorgesehen ist.

---

<sup>46</sup> Neben der Abfallmatrix, den Abfallbehältern und den Endlagerbehältern stellen Versiegelungen und Verfüllungen Elemente des technischen Barrierensystems dar (vgl. Kap. 3.1.2).

<sup>47</sup> Dies kann beispielsweise zutreffen, wenn drei Zugänge zum Tiefenlager bestehen. In diesem Fall kann einer davon im Zuge dieser zweiten Verschlussstufe versiegelt und verfüllt werden (i.d.R. der Hauptzugang).

### 3.3.2 Modellhafte Umsetzung der konzeptuellen Vorgaben und Annahmen für das SMA-Lager

Eine Möglichkeit, wie die in Kap. 3.3.1 diskutierten konzeptionellen Vorgaben und Annahmen umgesetzt werden können, zeigt die Systemskizze der untertägigen Anlagen (Fig. 3-8). Der Transport der radioaktiven Abfälle zu den untertägigen Lagerkavernen erfolgt über den Zugangstunnel (Hauptzugang). Die modellhafte Auslegung umfasst zudem als Nebenzugang einen Lüftungsschacht für die Frischluftversorgung.

Fig. 3-9 und 3-10 zeigen eine mögliche funktionale Anordnung und Ausgestaltung der verschiedenen Bauwerke der Oberflächenanlage für das SMA-Lager sowie deren Gestaltung und Erschliessung und ihre grossräumige Einbettung in die Umgebung. Die modellhaften Darstellungen beziehen sich auf keinen spezifischen Standort. Die effektive räumliche Anordnung und Ausgestaltung hängen von den standortspezifischen Gegebenheiten ab.

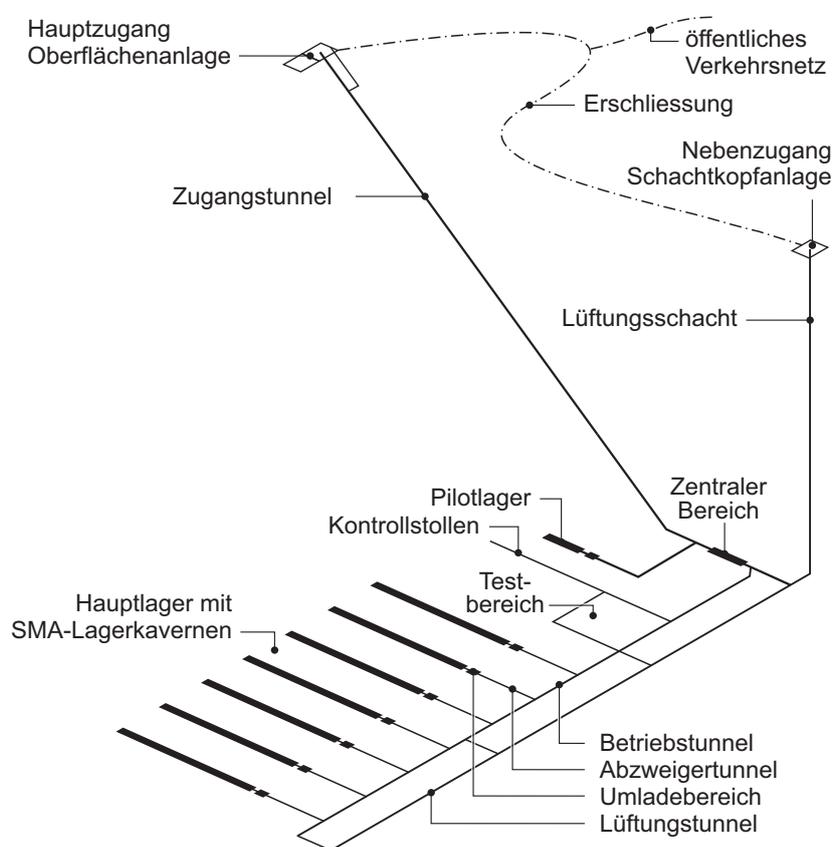


Fig. 3-8: Systemskizze für die untertägigen Anlagen des SMA-Lagers.

Im Rahmen von SGT Etappe 2 wurden Standortareale für die Oberflächenanlage eines SMA-Lagers unter Berücksichtigung von raum- und umweltplanerischen Rahmenbedingungen und gestützt auf die Mitwirkung der Regionen bezeichnet (für die Standortgebiete Jura Ost und Zürich Nordost, s. Nagra 2013d und Nagra 2014i<sup>48</sup>). Dazu hat die Nagra auch Vorschläge zur

<sup>48</sup> Im Rahmen der Beurteilung der entsprechenden Unterlagen wird diskutiert, ob auch das Standortgebiet Nördlich Lägern (NL) in SGT Etappe 3 weiter untersucht werden soll. In SGT Etappe 2 wurden für das SMA-Lager auch Planungsstudien im Planungssperimeter NL erarbeitet und Standortareale für die Oberflächenanlage bezeichnet (Nagra 2014l und Nagra 2014o), auf welche allenfalls in Etappe 3 abgestützt werden kann.

möglichen Ausgestaltung der Oberflächenanlage und deren verkehrstechnischer Erschliessung ausgearbeitet sowie Planungsvarianten bezüglich der Oberflächeninfrastruktur (Nagra 2011, 2012, 2013a und d, 2014i) vorgeschlagen.

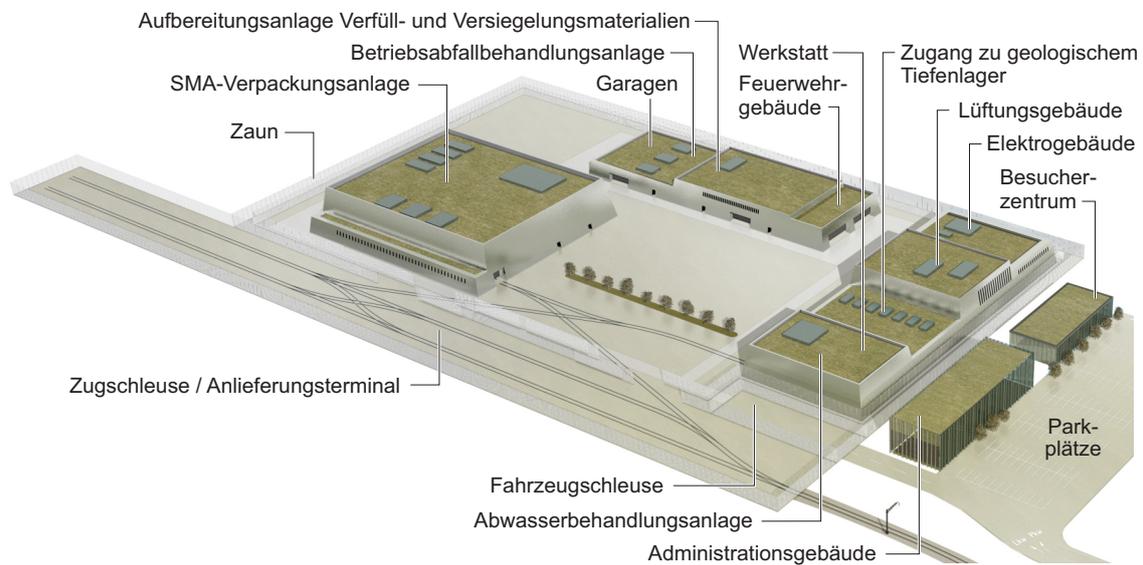


Fig. 3-9: Mögliche nicht standortspezifische, funktionale Anordnung und Ausgestaltung der verschiedenen Bauwerke (Module) der Oberflächenanlage für das SMA-Lager.



Fig. 3-10: Modellhafte standortspezifische Gestaltung der Oberflächenanlage für das SMA-Lager in fiktiver Umgebung.

Die **Oberflächenanlage** eines SMA-Lagers (Fig. 3-9) steht am Hauptzugang, über welchen der Transport der in internen Transportbehältern verpackten Endlagerbehälter nach Untertag erfolgt (Fig. 3-8). Sie umfasst als wichtigste Elemente gemäss heutiger Planung<sup>49</sup> die folgenden Bauwerke (Module)<sup>50</sup>:

- *SMA-Verpackungsanlage*<sup>51</sup> und *Aufbereitungsanlage für Verfüll- und Versiegelungsmaterial*; darin erfolgt die Verpackung von SMA in die Endlagerbehälter und die Vorbereitung für die Einlagerung, sowie die Vorhaltung und Vorbereitung von Verfüllmaterial (z.B. Mörtelkomponenten, Sand/Bentonitgemisch) zur Verfüllung von SMA-Endlagerbehälter oder Lagerkavernen sowie Versiegelungen während der Einlagerung.
- *Zugang zum geologischen Tiefenlager*; i.d.R. unterirdisch angeordnetes Bauwerk für die Beladung der Fördergeräte nach Untertag. Es stellt die Verbindung zum **Hauptzugang** dar.
- Für den Betrieb und Unterhalt der Oberflächen- und Untertaganlagen notwendige Nebengebäude (z.B. *Elektrogebäude, Lüftungsanlage, Abwasserbehandlungsanlage*) mit Einrichtungen zur Ver- und Entsorgung sowie für den Unterhalt der Anlagen (Lüftung, Energieversorgung, Wasser, Abwasser, Bergwasserhaltung, *Werkstätten* und *Garagen* etc.) und dem *Feuerwehrgebäude*.
- Nebengebäude für Betriebsabfallsammlung und -sortierung<sup>52</sup> (*Betriebsabfallbehandlungsanlage*)
- *Administrationsgebäude* sowie Eingangskontrolle (Geräteschleuse, Personenschleuse, *Fahrzeug- und Zugschleuse*) und *Anlieferungsterminal*: Das Administrationsgebäude wird für die organisatorische Leitung des Anlagenbetriebs verwendet. Die Eingangskontrolle und das Anlieferungsterminal ist für die vorschriftsgemässe Betriebslogistik (z.B. Anlieferung radioaktiver Abfälle, Verfüll- und Versiegelungsmaterialien, extern produzierte leere Endlagerbehälter sowie Betriebsmittel) erforderlich
- Sicherungsanlagen (*Sicherungszaun* etc.)
- Besuchereinrichtungen (z.B. im Rahmen eines *Besucherzentrums*) und *Parkplätze*

Hinsichtlich der **Nebenzugänge** wird für Planungszwecke davon ausgegangen, dass das SMA-Lager neben dem Hauptzugang i.d.R. einen **Lüftungszugang** umfasst, wobei je nach Standort-situation und Auslegungsvariante für den Zugang nach Untertag zusätzlich ein **Betriebsschacht** in Betracht zu ziehen ist (s. Kap. 3.3.3)<sup>53</sup>. Für die Anordnung der Nebenzugänge gibt es grundsätzlich verschiedene Möglichkeiten. So können Nebenzugänge<sup>54</sup> örtlich getrennt oder gemeinsam auf dem gleichen Areal platziert werden (Nagra 2016c).

<sup>49</sup> Als Basis wird von den Angaben in den entsprechenden Planungsstudien für das SMA-Lager (Nagra 2013d, Nagra 2014i) sowie von Nagra (2011) und Nagra (2013a) ausgegangen.

<sup>50</sup> Elemente, die in der folgenden Aufzählung in kursiv geschrieben sind, finden sich in Fig. 3-9.

<sup>51</sup> Die Einlagerung von LMA sowohl in das HAA- als auch in das SMA-Lager wird im EP16 als Varianten ausgewiesen (s. Kap. 4.1). Für den Fall, dass alle SMA und ATA im SMA-Lager eingelagert werden, könnte die SMA-Verpackungsanlage auch für die Verpackung dieser Abfälle verwendet werden.

<sup>52</sup> Die Betriebsabfälle werden in eine bestehende externe Betriebsabfallbehandlungsanlage transportiert.

<sup>53</sup> Der Betriebsschacht ist im Einlagerungsbetrieb nicht zwingend erforderlich, sofern dieser für den Bau der Sondierbauwerke vor der Nuklearen Baubewilligung nicht benötigt wurde oder die Zahl der Besucher nach Untertag während der Einlagerungsbetriebsphase beschränkt bleibt.

<sup>54</sup> Die Gesamtheit der Elemente auf einem Areal für einen Nebenzugang wird als Nebenzugangsanlage resp. des Öfteren auch als Schachtkopfanlage bezeichnet. Entsprechend wird auch das Areal als Schachtkopfareal bezeichnet (Nagra 2016c).

Im Falle eines **Betriebsschachts** umfasst das Areal im Einlagerungsbetrieb im Wesentlichen die folgenden Elemente:

- Förderturm für Material- und Personenzugang
- Nebengebäude mit Einrichtungen zur Ver- und Entsorgung (Lüftung, Energieversorgung, Wasser, Abwasser, Bergwasserhaltung etc.)
- Sicherungsanlagen (Sicherungszaun etc.)

Das Areal für einen **Lüftungsschacht** umfasst im Wesentlichen die folgenden Elemente:

- Schachtkopf mit Frischluftansaugöffnung (evtl. mit Kühlanlage zur Vorkühlung der Frischluft)
- Rettungseinrichtungen (Personenzugang und -förderung)
- Sicherungsanlagen (Sicherungszaun etc.)

Der **Transport der Endlagerbehälter nach Untertag** bis zum Umladebereich bei den Lagerkammern sowie der untertägige Transport und die Einlagerung in SMA-Lagerkavernen hängen stark von der Zugangsconfiguration und der effektiven Auslegung des Lagers ab; es bieten sich hierzu verschiedene Möglichkeiten an (Kap. 3.3.3).

Für die **Erschliessung** der Oberflächenanlage und der Nebenzugangsanlagen (Nagra 2011, 2013e, 2014j und 2016c) ist eine Bahn-<sup>55</sup> und Strassenzufahrt oder ein Strassenanschluss an das öffentliche Verkehrsnetz notwendig (Fig. 3.8)<sup>56</sup>. Zudem wird eine Anbindung an die übergeordneten Ver- und Entsorgungseinrichtungen (Kanalisation, Bergwasserableitung in den Vorfluter, Wasserleitungen, Energieversorgungsleitungen etc.) benötigt.

In sämtlichen Realisierungsphasen werden mit Ausnahme der Einlagerungsbetriebsphase Baustelleneinrichtungen, Einrichtungen zur Materialbewirtschaftung und eine entsprechende Bauzufahrt benötigt (Nagra 2011, 2013d, 2014i) und es ist ein Langzeitdepot vorzusehen; dies für den Fall, dass ein Teil des ausgebrochenen Opalinustons für den Verschluss des Tiefenlagers verwendet werden soll.

Für Planungszwecke wird für den **Bau des SMA-Lagers** von der folgenden modellhaften Umsetzung ausgegangen:

- Die modellhafte Auslegung des SMA-Lagers gemäss Fig. 3-8 umfasst einen Zugangstunnel sowie einen Lüftungsschacht. Grundsätzlich existieren mehrere Zugangsconfigurationen nach Untertag (Kap. 3.3.3; s. auch Nagra 2016c); je nach Standortsituation sind diese aber als Zugang nach Untertag unterschiedlich gut geeignet.
- Die Errichtung und der Verschluss untertägiger Bauwerke erfolgen von Hauptangriffspunkten und zugehörigen Bauinstallationen am Ort der Oberflächenanlage und der Nebenzugänge aus.
- Länge und Anordnung der SMA-Lagerstollen und der Lagerfelder sowie Orientierung der Stollenachse und Abstände zwischen den Lagerstollen können so angepasst werden, dass das Platzangebot in der Lagerzone optimal genutzt wird (Nagra 2008e, Nagra 2014e).

---

<sup>55</sup> Die Anlieferung von Transportbehältern mit den radioaktiven Abfällen zur Oberflächenanlage soll bevorzugt über die Bahn erfolgen. Allenfalls wird hierzu eine nahegelegene Umladestation benötigt.

<sup>56</sup> Für den Bau von Zugängen nach Untertag kann je nach standortspezifischer Situation ein untertägiger Zwischenangriff notwendig sein; hierzu wird eine Zufahrt an das öffentliche Verkehrsnetz benötigt.

- Hinsichtlich der Querschnittsgrössen, -formen, Längen und Ausbau der SMA-Lagerkavernen und der übrigen untertägigen Bauwerke sowie hinsichtlich des Verfüllmaterials wird für Planungszwecke von den Angaben in technischen Berichten der Nagra (Nagra (2010), Nagra (2014f) ausgegangen. Als Ausbau der SMA-Lagerkavernen ist eine einschalige Spritzbetonschale vorgesehen (Nagra 2010, Nagra 2014f, Nagra 2016f und g). Es existieren jedoch auch anderweitige Möglichkeiten (Kap. 3.3.3).

### 3.3.3 Varianten für die Auslegung des SMA-Lagers

Um die erforderliche Flexibilität zur Berücksichtigung möglicher zukünftiger Entwicklungen im Rahmen des Realisierungsplans für die Optimierung der Anlagen und Betriebsabläufe zu erhalten, werden verschiedene Varianten betrachtet; diese sind konsistent mit dem in Anhang A.2 dargelegten Handlungsspielraum. In der derzeitigen Planung stehen folgende Auslegungsvarianten im Vordergrund:

- Die Einlagerung aller SMA und ATA im SMA-Lager stellt eine Variante dar (s. Kap. 4.1).
- Es besteht grundsätzlich die Möglichkeit, SMA (oder Teile davon) bei den Absendern mit einer mobilen/temporären Anlage in Endlagerbehälter zu verpacken und diese zum Lager zu transportieren und dort direkt einzulagern. Ebenso besteht grundsätzlich die Möglichkeit, Synergien mit dem Zwiilag zu nutzen, um SMA zu verpacken, diese zum Lager zu transportieren und dort direkt einzulagern. Dazu sind entweder die Endlagerbehälter für den Transport zu qualifizieren oder die Endlagerbehälter sind für den Transport in geeignete Transportbehälter zu verpacken. In beiden Fällen könnte allenfalls auf die Verpackungsanlage am Standort des SMA-Lagers verzichtet werden.
- Hinsichtlich der Errichtung und der Verfüllung untertägiger Bauwerke existiert Handlungsspielraum, um standortspezifischen Gegebenheiten, einer allfälligen Etappierung einzelner Bauwerke oder Anforderungen aufgrund unterschiedlicher Baulose Rechnung zu tragen.
- Es gibt verschiedene Auslegungsvarianten für die Zugänge nach Untertag und die untertägige Erschliessung der Lagerfelder: Verwendung von Zugangstunneln und/oder Schächten, Länge der/des Zugangstunnel(s), parallele Zugangstunnel, Lage und Linienführung von Zugangstunneln und Schächten, Anzahl und funktionale Zuordnung der Nebenzugänge, Zugang ins Pilotlager, Trassierung von Bau- und Betriebstunneln, zusätzlicher Lüftungstunnel auf Lagerebene, Umfahrung der Lagerzone zur Vorerkundung etc. (vgl. Nagra 2010, Nagra 2014g, Nagra 2016c). Ebenso besteht hinsichtlich der zeitlichen Umsetzung dieser Auslegungsvarianten im Rahmen des Realisierungsplans Handlungsspielraum.
- Für den Transport der Endlagerbehälter gibt es verschiedene Möglichkeiten. So kann der Transport nach Untertag über eine Schachtförderanlage (Sindern & Borowski 2014), eine Standseilbahn (Messmer & Berger 2014), Pneufahrzeuge (Ricca & Monti 2014) oder eine Zahnradbahn (Wieser et al. 2014) erfolgen<sup>57</sup>.
- Die Eigenschaften und der Bau der SMA-Lagerkavernen (Grösse, Länge, Form, Ausbruchssicherung) sowie weiterer untertägiger Bauwerke können den standortspezifischen geomechanischen Bedingungen angepasst werden. (Nagra 2010, Nagra 2014f, Nagra 2016e, f und g).
- Das Lager wird so ausgelegt, dass die Betriebszeiten bzw. die Beobachtungsphase verlängert werden können<sup>58</sup>. Für gewisse Bauteile und Komponenten sind dazu Revisionen und Ersatz bzw. Erneuerungen vorzusehen und in den entsprechenden Konzepten einzuplanen.

<sup>57</sup> Für den Transport der Endlagerbehälter innerhalb der SMA-Lagerkaverne wird in der aktuellen Planung von der Verwendung eines Laufkrans ausgegangen.

<sup>58</sup> Beispielsweise dann, wenn die Beobachtungsphase deutlich länger dauern sollte.

### 3.4 Auslegungskonzept des Kombilagers

#### 3.4.1 Konzeptuelle Vorgaben und Annahmen für das Kombilager

Unter dem Begriff 'Kombilager' wird ein Konzept beschrieben, bei dem das HAA- und das SMA-Lager beide am gleichen Standort angeordnet werden. Da es sich beim Kombilager um ein geologisches Tiefenlager handelt, wird von einem BE/HAA- und SMA/LMA-Lagerteil gesprochen. Die beiden Lagerteile sind räumlich getrennt und befinden sich entweder im gleichen oder aber in unterschiedlichen Wirtgesteinen. Beim Kombilager können gewisse Elemente der Oberflächeninfrastruktur und zumindest ein Teil der Zugangsbauwerke nach Untertag gemeinsam genutzt werden. Grundsätzlich gelten für das Kombilager jeweils die gleichen konzeptuellen Vorgaben und Annahmen wie für das HAA- und das SMA-Lager.

Fig. 3-11 und 3-12 zeigen das Auslegungskonzept für das Kombilager sowie die entsprechende Systemskizze für die untertägigen Anlagen. Die wesentlichen Merkmale des Auslegungskonzepts für das Kombilager in Ergänzung zu denjenigen des HAA- (Kap. 3.2.1) und SMA-Lagers (Kap. 3.3.1) sind nachfolgend zusammengefasst:

- Das Kombilager besteht aus zwei Lagerteilen: Der Lagerteil BE/HAA umfasst das Hauptlager BE/HAA mit den entsprechenden Lagerfelder resp. Lagerstollen BE/HAA zur Einlagerung der BE/HAA-Endlagerbehälter sowie die zugehörigen Lagerfeldzugangsbauwerke (s. unten), den Testbereich HAA inkl. Kontrollstollen und ein Pilotlager für BE/HAA. Der Lagerteil SMA/LMA umfasst das Hauptlager SMA/LMA mit den entsprechenden Lagerkavernen zur Einlagerung der SMA- und LMA-Endlagerbehälter sowie die zugehörigen Lagerfeldzugangsbauwerke (s. unten), den Testbereich SMA inkl. Kontrollstollen und ein Pilotlager für SMA/LMA.
- Die Haupt- und Pilotlager werden auf Lagerebene vom Fuss der Zugangsbauwerke aus über getrennte Lagerfeldzugangsbauwerke (Betriebs- und Bautunnel für den Lagerteil BE/HAA, Betriebs- und Lüftungstunnel für den Lagerteil SMA/LMA) erschlossen.
- Die untertägigen Lagerbereiche werden im Einlagerungsbetrieb gleich wie diejenigen des HAA-Lagers i.d.R. über drei Zugänge (Hauptzugang und zwei Nebenzugänge) erschlossen.
- Die Oberflächeninfrastruktur enthält grundsätzlich die gleichen Elemente, wie sie für das HAA-Lager in Kap. 3.2.1 und das SMA-Lager in Kap. 3.3.1 beschrieben sind. Weitere Hinweise zur Oberflächeninfrastruktur eines Kombilagers finden sich in den entsprechenden Planungsstudien für die Standortgebiete JO, ZNO und NL (Nagra 2013d, Nagra 2014k, Nagra 2014n, Nagra 2014q). Ein Kombilager ermöglicht bei geeigneter Anordnung eine gemeinsame Nutzung von Elementen der Oberflächeninfrastruktur. Aufgrund der übergeordneten Realisierungspläne dauert die Einlagerungsbetriebsphase deutlich länger als bei den Einzellagern. Zudem erfolgt der Bau des Lagerteils BE/HAA und des dazugehörigen Pilotlagers BE/HAA teilweise gleichzeitig mit der Einlagerung der SMA/LMA-Endlagerbehälter. Das Kombilager ist daher so auszulegen, dass der Bau des Lagerteils- und Pilotlagers BE/HAA räumlich getrennt zur Einlagerung im SMA/LMA-Lagerteil erfolgen kann. Für diesen Fall sind der Betriebszugang (z.B. Betriebsschacht) und der Bau- und Lüftungstunnel des BE/HAA-Lagerteils als Bauzugang vorgesehen.
- Da im Einlagerungsbetrieb und im Beobachtungsbetrieb deutlich mehr untertägige Bauwerke auf Lagerebene belüftet werden müssen, ist mehr Frischluft auf die Lagerebene zu fördern. Daher muss die Auslegung gegebenenfalls einen grösseren Durchmesser für den Lüftungsschacht vorsehen als dies bei Einzellagern der Fall wäre.

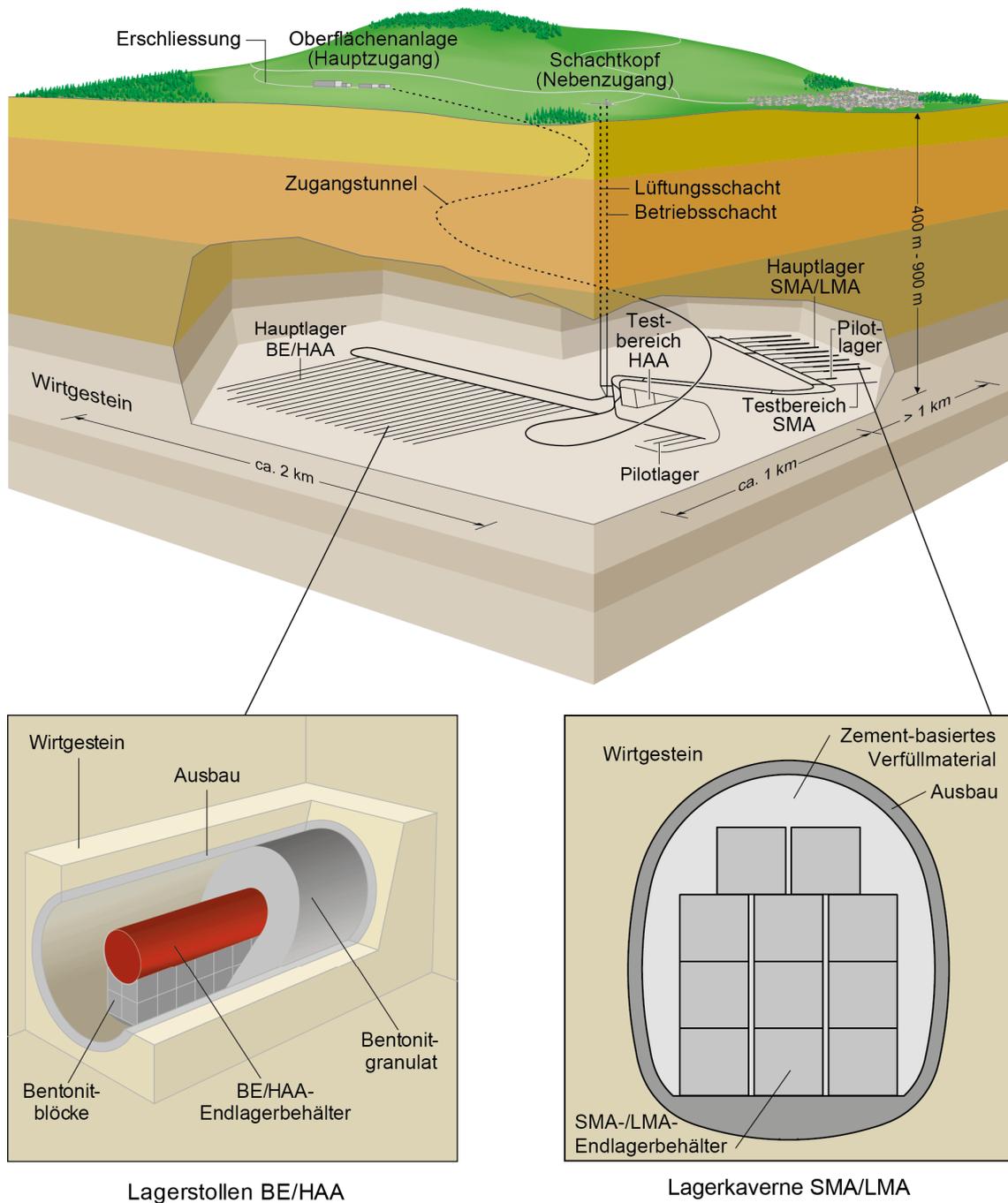


Fig. 3-11: Konzeptuelle Darstellung des Kombilagers.

### 3.4.2 Modellhafte Umsetzung der konzeptuellen Vorgaben und Annahmen für das Kombilager

Die Möglichkeiten zur Auslegung der Lagerbereiche (BE/HAA, SMA und LMA) entsprechen grundsätzlich den Angaben in Kap. 3.2 bzw. 3.3. Eine Möglichkeit, wie die konzeptuellen Vorgaben und Annahmen für das Kombilager umgesetzt werden können, zeigt die Systemskizze für die untertägigen Anlagen in Fig. 3-12. Der Transport der radioaktiven Abfälle zu den untertägigen Lagerstollen und -kavernen erfolgt über den Zugangstunnel (Hauptzugang). Die modellhafte Auslegung des Kombilagers umfasst zudem als Nebenzugänge einen Betriebsschacht für zeitgleiche Bautätigkeiten (s. Kap. 3.4.1) und einen Lüftungsschacht für die Frischluftversorgung.

Auch die Oberflächenanlagen können grundsätzlich gleich ausgestaltet werden, wobei aber für SMA und LMA gewisse Anlagenteile gemeinsam genutzt werden können.

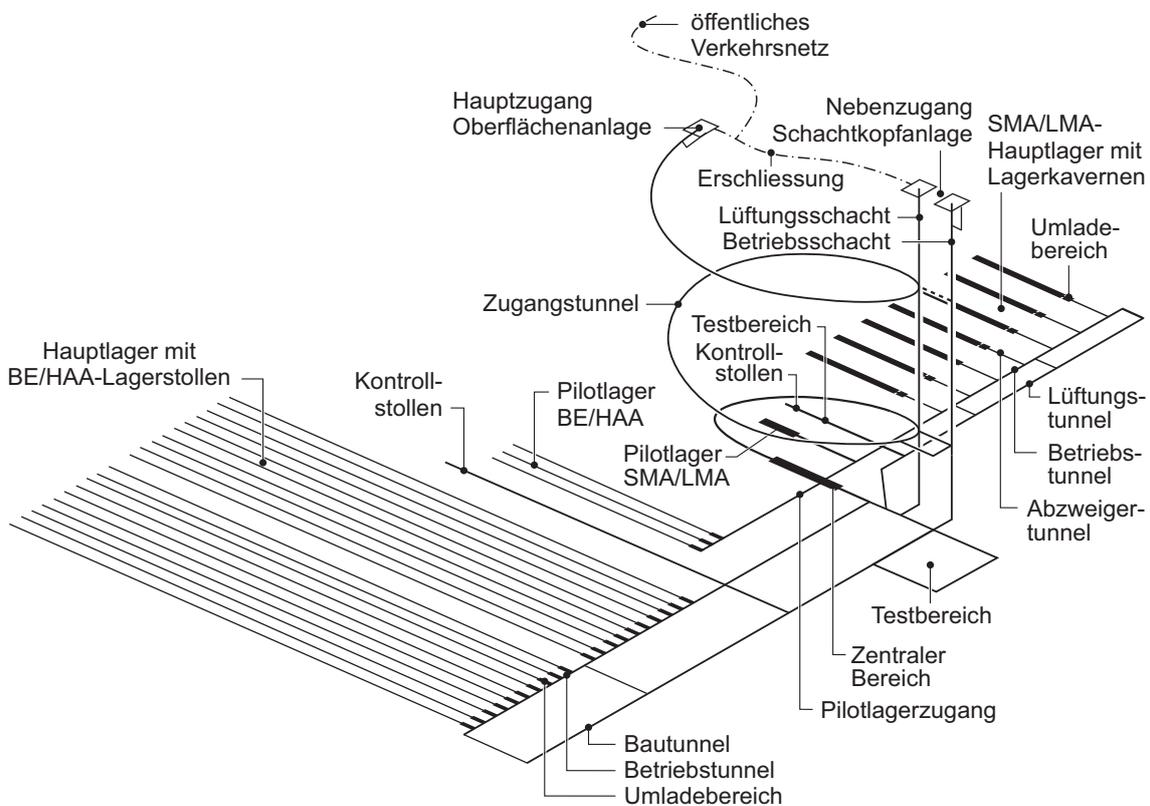


Fig. 3-12: Systemskizze für die untertägigen Anlagen des Kombilagers.

### 3.4.3 Varianten für die Auslegung des Kombilagers

Der Handlungsspielraum zur Optimierung des Kombilagers entspricht grundsätzlich denjenigen für das SMA- und HAA-Lager (vgl. Kap. 3.2.3 und 3.3.3).

### 3.5 Zusammenfassung

Das schweizerische Entsorgungskonzept geht von zwei verschiedenen geologischen Tiefenlagern aus, dem SMA-Lager und dem HAA-Lager. Sie können an zwei verschiedenen Standorten, bei einer entsprechenden geologischen Situation aber auch am gleichen Standort erstellt werden (sogenanntes 'Kombilager'). Im Rahmen des Sachplanverfahrens geologische Tiefenlager hat die Nagra in Etappe 1 sechs geologische Standortgebiete für das SMA-Lager und drei geologische Standortgebiete für das HAA-Lager vorgeschlagen, welche den geologischen und sicherheitstechnischen Anforderungen gemäss Sachplan genügen. In Etappe 2 wurden die geologischen Kenntnisse durch zusätzliche Untersuchungen weiter vertieft. Basierend auf den Ergebnissen des sicherheitstechnischen Vergleichs gemäss den Vorgaben durch die Aufsichtsbehörde hat die Nagra ihre Vorschläge für mindestens zwei Standortgebiete pro Lagertyp beim BFE im Dezember 2014 den Behörden zur Überprüfung unterbreitet. Die Nagra schlägt sowohl für das SMA- als auch das HAA-Lager die Standortgebiete Zürich Nordost und Jura Ost für vertiefte Untersuchungen für SGT Etappe 3 vor. Diese Untersuchungen wurden inzwischen aufgenommen.

Der Gesetzgeber definiert ein geologisches Tiefenlager als Anlage im geologischen Untergrund, die verschlossen werden kann, sofern der dauernde Schutz von Mensch und Umwelt durch passive Barrieren sichergestellt wird. Das schweizerische Multibarrierenkonzept besteht aus Abfallmatrix, Abfallbehälter und Endlagerbehälter, Verfüllung/Versiegelung und geologische Barrieren. Für alle Bewilligungsschritte im Zuge der Realisierung eines geologischen Tiefenlagers werden Sicherheitsnachweise für die Betriebsphase sowie für die Nachverschlussphase des Tiefenlagers (Langzeitsicherheitsnachweis) gefordert; mit dem letzteren Nachweis wird anhand einer umfassenden und systematischen Analyse dargelegt, wie sich das Lager entwickeln wird, welche radiologischen Konsequenzen sich daraus ergeben und dass das übergeordnete Schutzziel und die zugehörigen Leitsätze und Schutzkriterien eingehalten werden.

Gestützt auf eine intensive Zusammenarbeit mit den Standortregionen konnten in SGT Etappe 2 für alle Lagertypen und potenziellen Standortgebiete Standortareale für die Oberflächenanlage im zugehörigen Planungsperimeter bezeichnet werden. In den entsprechenden Planungsstudien sind Aspekte zur Raumnutzung und Umweltverträglichkeit ausführlich erläutert.

Bei der Anlagenplanung wurden auf Basis konzeptioneller Vorgaben und Annahmen Auslegungskonzepte für das HAA- und das SMA-Lager definiert und modellhaft umgesetzt. Für einzelne Elemente der Lager existieren verschiedene Varianten zur Auslegung, welche es erlauben, die standortspezifischen Gegebenheiten zu berücksichtigen. In den zukünftigen Verfahren ist ausserdem sicherzustellen, dass zur Berücksichtigung der in Zukunft anfallenden Informationen und Erkenntnisse (Resultate der Exploration der Standorte, Kenntniszuwachs durch Forschung und Entwicklung) der notwendige Handlungsspielraum zur Optimierung der ober- und untertägigen Anlagen erhalten bleibt.



## 4 Zuteilung der Abfälle zu den geologischen Tiefenlagern

### Wesentliche Unterschiede zwischen dem EP08 und dem EP16

Die Art der Abfälle hat sich gegenüber dem Entsorgungsprogramm 2008 nicht geändert. Ebenso wird grundsätzlich von einer vergleichbaren Abfallzuteilung auf die verschiedenen Lagertypen ausgegangen. Wie im EP08 werden hinsichtlich der Angaben zu den Abfallmengen die auf die geologische Tiefenlagerung bezogenen Kategorien SMA, LMA, HAA verwendet, wobei alle dem EP16 zugrunde liegenden Szenarien (1a – 2b) betrachtet werden. Falls der Vorschlag der Nagra zur Einengung in SGT Etappe 2 bestätigt wird, ist aus sicherheitstechnischen Gründen im weiteren Verfahren eine Abgrenzung von LMA und deren Einlagerung ins HAA-Lager nicht mehr notwendig. In diesem Fall können die SMA und die ATA im SMA-Lager eingelagert werden. Weil der Entscheid zum Vorschlag der Nagra für die Einengung der geologischen Standortgebiete im Rahmen von SGT Etappe 2 noch ausstehend ist, wird die Einlagerung von LMA sowohl in das HAA- als auch in das SMA-Lager noch als Varianten ausgewiesen. Die zu berücksichtigenden Abfallmengen für die Zuteilung der Abfälle auf die Tiefenlager bezogenen Kategorien SMA, LMA, HAA basieren auf Tab. 2-2.

#### 4.1 Art der Abfälle und Abfallzuteilung

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

Das Entsorgungskonzept der Schweiz geht von zwei geologischen Tiefenlagern aus, dem HAA-Lager und dem SMA-Lager. Unter einem Kombilager wird ein Konzept beschrieben, bei dem das HAA- und das SMA-Lager beide am gleichen Standort angeordnet werden (s. Kap. 1.2 und Kap. 3.4). Abgebrannte Brennelemente sowie verglaste hochaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung werden dem HAA-Lager, schwach- und mittelaktive Abfälle dem SMA-Lager zugeordnet. Die alphatoxischen Abfälle (ATA, s. Kap. 2.1) können aufgeteilt und teilweise mit den hochaktiven und teilweise mit den schwach- und mittelaktiven Abfällen entsorgt werden. Werden alphatoxische Abfälle dem SMA-Lager zugeordnet, muss ein geologisches Standortgebiet unter Umständen höhere sicherheitstechnische Anforderungen erfüllen als wenn ausschliesslich schwach- und mittelaktive Abfälle entsorgt würden. Ebenso können Teile der schwach- und mittelaktiven Abfälle dem HAA-Lager zugeteilt werden. Die Gesamtheit der SMA und ATA, welche allenfalls dem HAA-Lager zugeteilt wird, wird als LMA (langlebige schwach- und mittelaktive Abfälle<sup>59</sup>) bezeichnet.

---

<sup>59</sup> Die Bezeichnung LMA für langlebige schwach- und mittelaktive Abfälle ist entstanden im Zeitraum vor Inkrafttreten der aktuellen Kernenergiegesetzgebung. Sie bezeichnet schwach- und mittelaktive Abfälle, die aufgrund besonderer sicherheitstechnischer Anforderungen an die geologischen Barrieren eines SMA-Lagers (insbesondere bezüglich langfristigem Schutz vor Erosion) abgegrenzt und dem HAA-Lager zugeteilt wurden. Dies betraf z.B. das damals im Fokus der Betrachtung für ein SMA-Lager stehende geologische Standortgebiet Wellenberg. Im Rahmen des Sachplanverfahrens wird dieses Konzept weiter verwendet. Im EP16 wird der Begriff langlebige mittelaktive Abfälle (LMA) weiterhin verwendet, weil die Beurteilung des Nagra-Vorschlags zur Einengung der geologischen Standortgebiete in SGT Etappe 2 und der abschliessende Bundesratsentscheid noch ausstehend sind.

Die für die Erarbeitung von Vorschlägen für die Einengung der geologischen Standortgebiete im Rahmen von SGT Etappe 2 gemachte Abfallzuteilung stellt die Grundlage für die Abfallzuteilung im EP16 dar. Die Berichterstattung für SGT Etappe 2 basiert auf Angaben aus MIRAM 14 (Nagra 2014d). Im Hinblick auf die Kostenstudie 2016 (KS16) wurde das Abfallinventar überprüft und primär bezüglich MIF leicht angepasst. In Tab. 4-1 bis 4-4 sind die Abfallmengen für die auf die Tiefenlager bezogenen Kategorien SMA, LMA, HAA für die verschiedenen Szenarien (Szenario 1a – 2b; s. Kap. 2.1) dargestellt.

Falls der Vorschlag der Nagra zur Einengung in SGT Etappe 2 bestätigt wird, ist aus sicherheitstechnischen Gründen im weiteren Verfahren eine Abgrenzung von LMA und deren Einlagerung ins HAA-Lager nicht mehr notwendig<sup>60</sup>. Alle SMA und ATA können im SMA-Lager eingelagert werden. Die Einlagerung von LMA sowohl in das HAA- als auch in das SMA-Lager wird deshalb im EP16 als Varianten ausgewiesen; d.h. neben der bisherigen Abfallzuteilung stellt die Einlagerung von bisher als LMA bezeichneten Abfällen ins SMA-Lager ebenso eine Variante dar.

Die Art der den verschiedenen Lagern bzw. Lagerteilen und Lagerkammern (HAA, LMA, SMA) zugeteilten Abfälle und ihre Eigenschaften (Radionuklidinventar, Materialeigenschaften, Wärmeentwicklung, Gasbildung, Komplexbildner) sind in sich so homogen, dass eine auf die spezifischen Abfalleigenschaften orientierte Auslegung des Lagers gut möglich ist (z.B. Berücksichtigung der Wärmeleistung, chemische Eigenschaften, Gasbildung etc.). Eine detaillierte Beschreibung der Abfälle und ihrer Eigenschaften findet sich in Nagra (2014d).

Hinsichtlich der Abfallzuteilung auf die verschiedenen geologischen Tiefenlager ist im Rahmen der Realisierung der geologischen Tiefenlager auch nach Erteilung der Rahmenbewilligung Handlungsspielraum vorhanden, um auf Basis der effektiv vorgefundenen standortspezifischen Verhältnisse die Abfallzuteilung bzw. Anforderungen an die einzulagernden Abfälle entsprechend dem Optimierungsgebot zu regeln. So werden die detaillierten Bedingungen für die Einlagerung der Abfälle erst in der Bau- bzw. Betriebsbewilligung festgelegt, wenn alle dazu notwendigen Informationen (Resultate der detaillierten Standortabklärungen und der detaillierten Auslegung der technischen Barrieren, effektiv vorliegende Abfälle) verfügbar sind; dies kann noch zu geringen Verschiebungen in der Abfallzuteilung führen.

---

<sup>60</sup> Im Dezember 2014 hat die Nagra die beiden Standortgebiete Jura Ost und Zürich Nordost für vertiefte Untersuchungen in Etappe 3 vorgeschlagen (Nagra 2014a). Im Rahmen der Beurteilung der entsprechenden Unterlagen wird diskutiert, ob auch das Standortgebiet Nördlich Lägern (NL) in Etappe 3 weiter untersucht werden soll. Auch im Fall von NL ist aus sicherheitstechnischen Gründen im weiteren Verfahren eine Abgrenzung von LMA und deren Einlagerung ins HAA-Lager nicht mehr notwendig.

Tab. 4-1a: Abfallmengen in Kubikmetern für die auf die Tiefenlager bezogenen Kategorien SMA, LMA, HAA (Szenario 1a).

Erläuterung für Szenarien 1a – 2b (s. Kap. 2.1): Volumen der konditionierten Abfälle und Volumen, bei denen die konditionierten Abfälle zusätzlich in Endlagerbehälter verpackt sind (Zahlen in Klammern). Die Angaben sind gegliedert nach Kategorien der geologischen Tiefenlager (gTL) und bezüglich Herkunft. BE: abgebrannte Brennelemente; WA: Abfälle aus der Wiederaufarbeitung; BA: Betriebsabfälle der KKW und ZWILAG; RA: Reaktorabfälle der KKW; SA: Stilllegungsabfälle der KKW und ZWILAG; MIF: Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung inklusive CERN-Abfälle (s. auch Tab. 2-2a – 2-2d); BEVA: Abfälle aus dem Betrieb und der Stilllegung der Verpackungsanlagen sowie der Entsorgung der angelieferten Transport- und Lagerbehälter für BE. Unter "BEVA" ist auch eine gewisse Reserve aus den übrigen Oberflächenanlagen berücksichtigt.

		Herkunft						Total	
		BE (KKW)	WA (KKW)	BA (KKW)	RA (KKW)	SA (KKW)	MIF		BEVA
Kategorie nach gTL	HAA	1'126 (7'129)	114 (398)				8 (8)		1'248 (7'536)
	LMA		99 (414)		77 (261)		154 (573)	490 (1'661)	820 (2'909)
	SMA			7'352 (28'094)	339 (1'334)	17'871 (26'030)	9'755 (14'478)	77 (307)	35'394 (70'243)
	<b>Total</b>	1'126 (7'129)	213 (812)	7'352 (28'094)	416 (1'595)	17'871 (26'030)	9'917 (15'059)	567 (1'968)	37'462 (80'687)

Tab. 4-1b: Abfallmengen in Kubikmetern für die auf die Tiefenlager bezogenen Kategorien SMA, LMA, HAA (Szenario 1b).

		Herkunft						Total	
		BE (KKW)	WA (KKW)	BA (KKW)	RA (KKW)	SA (KKW)	MIF		BEVA
Kategorie nach gTL	HAA	1'126 (7'129)	114 (398)				8 (8)		1'248 (7'536)
	LMA		99 (414)		77 (261)		154 (573)	490 (1'661)	820 (2'909)
	SMA			7'473 (28'260)	339 (1'334)	18'863 (27'390)	14'214 (18'972)	77 (307)	40'966 (76'263)
	<b>Total</b>	1'126 (7'129)	213 (812)	7'473 (28'260)	416 (1'595)	18'863 (27'390)	14'375 (19'553)	567 (1'968)	43'033 (86'708)

Tab. 4-1c: Abfallmengen in Kubikmetern für die auf die Tiefenlager bezogenen Kategorien SMA, LMA, HAA (Szenario 2a).

		Herkunft						Total	
		BE (KKW)	WA (KKW)	BA (KKW)	RA (KKW)	SA (KKW)	MIF		BEVA
Kategorie nach gTL	HAA	1'357 (8'995)	114 (398)				8 (8)		1'479 (9'402)
	LMA		99 (414)		110 (374)		168 (634)	559 (1'934)	936 (3'356)
	SMA			8'167 (31'068)	368 (1'437)	17'871 (26'030)	9'776 (14'563)	92 (369)	36'274 (73'467)
	<b>Total</b>	1'357 (8'995)	213 (812)	8'167 (31'068)	478 (1'811)	17'871 (26'030)	9'952 (15'205)	651 (2'302)	38'689 (86'224)

Tab. 4-1d: Abfallmengen in Kubikmetern für die auf die Tiefenlager bezogenen Kategorien SMA, LMA, HAA (Szenario 2b).

		Herkunft						Total	
		BE (KKW)	WA (KKW)	BA (KKW)	RA (KKW)	SA (KKW)	MIF		BEVA
Kategorie nach gTL	HAA	1'357 (8'995)	114 (398)				8 (8)		1'479 (9'402)
	LMA		99 (414)		110 (374)		168 (634)	559 (1'934)	936 (3'356)
	SMA			8'326 (31'271)	368 (1'437)	18'863(27'390)	14'223 (19'010)	92 (369)	41'872 (79'477)
	<b>Total</b>	1'357 (8'995)	213 (812)	8'326 (31'271)	478 (1'811)	18'863 (27'390)	14'398 (19'652)	651 (2'302)	44'286 (92'234)

## 4.2 Zusammenfassung

Das Entsorgungskonzept der Schweiz geht von zwei geologischen Tiefenlagern aus, dem HAA-Lager und dem SMA-Lager. Lagerauslegung und die Zuteilung der Abfälle auf die verschiedenen Lager haben die Standortwahl zu berücksichtigen. Im HAA-Lager werden neben den abgebrannten Brennelementen (BE) auch die verglasten hochaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung eingelagert. Schwach- und mittelaktive Abfälle werden dem SMA-Lager zugeordnet. Diejenigen SMA und ATA, welche allenfalls dem HAA-Lager zugeteilt werden, werden als LMA (langlebige schwach- und mittelaktive Abfälle) bezeichnet. Falls der Vorschlag der Nagra zur Einengung in SGT Etappe 2 bestätigt wird, ist aus sicherheitstechnischen Gründen im weiteren Verfahren eine Abgrenzung von LMA und deren Einlagerung ins HAA-Lager nicht mehr notwendig. Alle SMA und ATA können in diesem Fall im SMA-Lager eingelagert werden. Weil der Entscheid zum Vorschlag der Nagra für die Einengung der geologischen Standortgebiete im Rahmen von SGT Etappe 2 noch ausstehend ist, wird die Einlagerung von LMA sowohl in das HAA- als auch in das SMA-Lager im EP16 als Varianten ausgewiesen.

Die Abfallzuteilung wird im Rahmen der verschiedenen Bewilligungsverfahren gemäss KEG (2003) und KEV (2004) schrittweise verfeinert. So werden die detaillierten Bedingungen für die Einlagerung der Abfälle werden erst in der Bau- bzw. Betriebsbewilligung festgelegt, wenn alle dazu notwendigen Informationen verfügbar sind; dies kann noch zu kleineren Verschiebungen in der Abfallzuteilung führen.



## 5 Realisierungsplan für die geologischen Tiefenlager

### Wesentliche Unterschiede zwischen dem EP08 und dem EP16

Der grundsätzliche Ablauf bei der Realisierung der geologischen Tiefenlager und der hierzu notwendigen Arbeiten hat sich gegenüber dem EP08 wenig geändert. Stark geändert hat sich hingegen die terminliche Situation. Das EP08 basierte auf Angaben der Kostenstudie 2006 (KS06); so ging man von einer Inbetriebnahme des SMA-Lagers 2035 resp. des HAA-Lagers 2050 aus. Der aktuelle Realisierungsplan sieht die Inbetriebnahme des SMA-Lagers 2050 resp. des HAA-Lagers 2060 vor. Die wichtigsten Gründe hierfür sind:

- Das Sachplanverfahren war in der KS06 im Detail noch nicht bekannt. Zudem hat sich das Verfahren als wesentlich aufwändiger erwiesen, als im SGT-Konzeptteil (BFE 2008) ursprünglich vorgesehen. Insgesamt wird heute mit einer rund 10 Jahre längeren Dauer für die Standortwahl gerechnet.
  - Die Etappe 1 dauerte bis zur Festlegung der Standortgebiete für Etappe 2 durch den Bundesrat im November 2011 nur wenig länger als im Konzeptteil vorgesehen (3 anstatt 2.5 Jahre).
  - Für Etappe 2 waren gemäss dem Konzeptteil ebenfalls 2.5 Jahre vorgesehen. Gemäss dem aktuellen Realisierungsplan wird der Bundesrat erst Ende 2018 zu den Ergebnissen von Etappe 2 befinden; dies kommt einer Verzögerung von 4.5 Jahren gegenüber den Planungsannahmen im SGT-Konzeptteil gleich. Wichtigste Gründe waren die intensive und anspruchsvolle Zusammenarbeit mit den Standortregionen und den Kantonen im Zusammenhang mit der Evaluation von Standortarealen für die Oberflächenanlagen, die Durchführung weiterer Feldarbeiten (u.a. 2D-seismische Messungen) und die umfangreiche Dokumentation der Vorschläge der Nagra für die in Etappe 3 weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete sowie die vom ENSI im Rahmen der Prüfung der Vorschläge geforderte Nachdokumentation durch die Nagra.
  - Für Etappe 3 waren im SGT-Konzeptteil 6 Jahre bis zum Bundesratsentscheid eingeplant. Dies für den Fall, dass in Etappe 3 Sondierbohrungen nötig werden und nicht aufgrund des bestehenden Kenntnisstands entschieden werden kann. Der Realisierungsplan im EP08 ging von rund 3 Jahren für die erdwissenschaftlichen Untersuchungen und die Ausarbeitung der Rahmenbewilligungsgesuche aus. Der aktuelle Realisierungsplan im EP16 geht davon aus, dass zu Beginn der Etappe 3 in den verbleibenden Standortgebieten jeweils 3 bis 5 Sondierbohrungen erforderlich sind. Aufgrund der Ergebnisse der Felduntersuchungen sowie weiteren Erkenntnissen wird die Nagra nach rund 3 Jahren ab Beginn der Etappe 3 die Auswahl der Standorte für die Vorbereitung der Rahmenbewilligungsgesuche gemäss Konzept Sachplan geologische Tiefenlager (BFE 2008) bekannt geben können. Danach erfolgt eine weitere Konkretisierung der Lagerprojekte an den vorgeschlagenen Standorten, respektive am Standort für ein Kombilager, wiederum in Zusammenarbeit mit den Standortregionen und Kantonen sowie die Ausarbeitung und Einreichung der Rahmenbewilligungsgesuche (2024). Für die behördliche Überprüfung eines Rahmenbewilligungsgesuchs, die Anhörung und den Bundesratsentscheid waren im EP08 gemäss SGT-Konzeptteil rund 3 Jahre eingeplant. Aktuell veranschlagt das BFE hierfür 5 Jahre bis zum Bundesratsentscheid (2029). Für die Genehmigung durch das Parlament (2030) sowie eine allfällige Referendumsabstimmung (2031) sind weitere 2 Jahre eingeplant.

- Für das SMA-Lager hat das ENSI in seiner Beurteilung des EP08 den vorgesehenen Zeit-horizont für die erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag (EUU) als eine zu opti-mistische Annahme beurteilt, um die für die Einreichung des Baubewilligungsgesuchs not-wendigen geologischen, sicherheitstechnischen und bautechnischen Datengrundlagen zu erheben. Bei der Erstellung des nächsten Entsorgungsprogramms seien die Untersuchungen stufengerecht zu konkretisieren und darzulegen. Für das EP16 liegen nunmehr vertiefte Planungsgrundlagen hinsichtlich des Programms SMA für erdwissenschaftliche Unter-suchungen untertag vor. Daraus resultiert für den SMA-Realisierungsplan auch nach Abschluss der Phase Standortwahl/Rahmenbewilligung eine zusätzliche Verzögerung von 5 Jahren gegenüber dem EP08.

## 5.1 Gesetzliche Grundlagen und behördliche Vorgaben für den Realisierungsplan

In Tab. A.1-2 und A.1-3 (Anhang A.1) sind die verfahrensbezogenen Vorgaben in KEG (2003) und KEV (2004), im Konzept SGT und der ENSI-Richtlinie G03 (ENSI 2009a) sowie Angaben im USG (USG 1983) für die Realisierung der geologischen Tiefenlager zusammengestellt. Der aus diesen Vorgaben resultierende grundsätzliche Ablauf der Realisierung mit den dabei erfolgenden wichtigsten Festlegungen wird nachfolgend kurz beschrieben.

Die Standortwahl erfolgt gemäss Konzept SGT in drei Etappen, deren Ausgestaltung im Detail in BFE (2008) beschrieben ist. Ausgehend von Vorschlägen der Entsorgungspflichtigen führte *Etappe 1* zu geologischen Standortgebieten für das SMA- und das HAA-Lager, welche vom Bundesrat 2011 bestätigt wurden (BFE 2011). Die zurzeit laufende *Etappe 2* des SGT führt zu mindestens je zwei Standorten für das SMA- bzw. das HAA-Lager, wiederum festgehalten in den vom Bundesrat zu genehmigenden Objektblättern für Etappe 2 (2018). Zudem konnte in Etappe 2 gestützt auf eine intensive Zusammenarbeit mit den Standortregionen gemäss Sach-plan mindestens je ein Standortareal für die Oberflächenanlage bezeichnet werden.

In *Etappe 3* werden vertiefte erdwissenschaftliche Untersuchungen in den verbleibenden geolo-gischen Standortgebieten durchgeführt. 2022 wird die Nagra die Auswahl der Standorte für die Vorbereitung der Rahmenbewilligungsgesuche gemäss Konzept Sachplan geologische Tiefen-lager (BFE 2008) bekannt geben. Danach erfolgt eine weitere Konkretisierung der Lagerpro-jekte an den vorgeschlagenen Standorten unter Berücksichtigung der Zusammenarbeit mit den Standortregionen für die Einreichung von Rahmenbewilligungsgesuchen (2024). Nach der Begutachtung der Rahmenbewilligungsgesuche durch die Behörden wird der Bundesrat über die Erteilung der Rahmenbewilligung befinden sowie zeitgleich die Festsetzungen gemäss Sachplan bzw. Raumplanungsgesetz genehmigen und diese in Objektblättern festhalten. Die in SGT *Etappe 3* zurückgestellten Standorte für HAA bzw. SMA sind gemäss SGT Reserveoptionen und bleiben bis zur Erteilung der Betriebsbewilligung des entsprechenden Lagers raumplane-risch gesichert. Beim Standortwahlprozess (alle drei Etappen des SGT) wird gemäss SGT (BFE 2008) der Sicherheit erste Priorität eingeräumt; raumplanerische und sozioökonomische Aspekte werden berücksichtigt, sind aber nachrangig.

Mit der Rahmenbewilligung werden grundsätzliche, politisch bedeutsame Fragen entschieden, die sich in Zusammenhang mit einer Kernanlage stellen (Botschaft zum Kernenergiegesetz, BBl 2001). Deshalb wird vom Gesetzgeber verlangt, dass im Gegensatz zu den weiteren Bewilli-gungsschritten nach KEG der Entscheid des Bundesrats zur Rahmenbewilligung der Bundesver-sammlung zur Genehmigung vorgelegt werden muss und der Beschluss der Bundesversamm-lung dem fakultativen nationalen Referendum untersteht. Bei einem geologischen Tiefenlager steht als Grundsatzentscheid neben der grundsätzlichen Zustimmung zum Vorhaben die Stand-ortfrage im Vordergrund. Mit der Rahmenbewilligung werden die Grundzüge des Projekts fest-

gelegt. Zu diesen Grundzügen gehören die ungefähre Grösse und Lage der wichtigsten Bauten sowie die Kategorien des Lagerguts und die maximale Lagerkapazität (KEG Art. 14 Abs. 2). In der Rahmenbewilligung werden auch die Eignungskriterien definiert, die bei der weiteren Lagerrealisierung einzuhalten sind. Zudem sind Konzepte für die Beobachtungsphase und den Verschluss zu erstellen. Desweiteren wird auch der vorläufige Schutzbereich festgelegt.

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

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

- *Bewilligung für erdwissenschaftliche Untersuchungen* (KEG Art. 35 und 36): Die gesetzlichen Anforderungen an erdwissenschaftliche Untersuchungen sind in KEG Art. 35 und 36 festgelegt. Diese Untersuchungen umfassen sowohl Sondierbohrungen als auch Untertagbauten (KEG Art. 36 Abs. 1 Bst a). Nach Vorliegen der Rahmenbewilligung sind neben allfälligen zusätzlichen Sondierbohrungen vor allem Untersuchungen in Untertagbauten notwendig. Für diese als erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag (EUU) bezeichneten Untersuchungen werden u.a. verschiedene untertägige Bauten benötigt. Diese umfassen neben Bauten auf Lagerebene (z.B. Sondierstollen) auch die benötigten Zugänge nach Untertag (z.B. Sondierschacht, Sondiertunnel). Ziel ist u.a. die Charakterisierung der geologischen Situation untertag. Mit entsprechenden Experimenten werden wichtige Erkenntnisse im Hinblick auf den Bau des Lagers gewonnen (Tab. A.4-3). Da zu diesem Zeitpunkt noch keine kerntechnische Anlage vorliegt, sind die Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen so zu planen, dass sie später im Rahmen der nuklearen Baubewilligung in eine Kernanlage (KEG Art. 3 Bst. d) umgenutzt und in das geologische Tiefenlager integriert werden können<sup>61</sup>. Die Bewilligung für EUU ist wie bei allen erdwissenschaftlichen Untersuchungen befristet und verleiht keinen Anspruch auf eine spätere Umnutzung in eine Kernanlage.
- *Nukleare Baubewilligung* (KEG Art. 15 – 18): Die nukleare Baubewilligung legt die geplante Kapazität der Anlage fest und enthält weiter ein Projekt für die Beobachtungsphase und einen Plan für den Verschluss. Zudem werden mit der Baubewilligung die wesentlichen Elemente der technischen Umsetzung festgelegt. Hierzu gehören auch die Testbereiche; sie sind zusammen mit dem Hauptlager und dem Pilotlager integraler Bestandteil der geologischen Tiefenlager (KEV Art. 64). In den Testbereichen werden Langzeitexperimente, die im Rahmen von EUU initiiert wurden, während des Baus weitergeführt<sup>62</sup>. Dies ist notwendig, um im Hinblick auf die Betriebsbewilligung sicherheitsrelevante Eigenschaften des Wirtgesteins zur Erhärtung des Sicherheitsnachweises standortspezifisch zu bestätigen

<sup>61</sup> Mit dieser Vorgehensweise werden die folgenden sicherheitstechnischen Anforderungen umgesetzt: i) das Platzangebot innerhalb des Lagerperimeters im Wirtgestein ist möglichst gut zu nutzen, ii) die Schädigung des Wirtgesteins ist zu beschränken und iii) die untertägigen Hohlräume im Wirtgestein sind in ihrer Ausdehnung und Anzahl zu begrenzen.

<sup>62</sup> Der formelle Übergang von Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag in Testbereiche kann nach Vorliegen der Baubewilligung im Rahmen weiterer Verfahrensschritte erfolgen. Die Kernenergiegesetzgebung sieht entsprechende Möglichkeiten vor (z.B. KEG Art. 17 Abs. 1 Bst f sowie KEV Anhang IV).

(KEG Art. 37 Abs. 1 Bst a; KEV Art. 65 Abs. 1). Zudem sind gemäss KEV Art. 65 in den Testbereichen vor Inbetriebnahme des Tiefenlagers sicherheitsrelevante Techniken zu erproben und deren Funktionstüchtigkeit nachzuweisen. Das betrifft insbesondere die Technik zur Rückholung von Abfallgebinden ohne grossen Aufwand (KEG Art. 37 Abs. 1 Bst b) und erfordert u.a. einen Nachweis hinsichtlich dem Einbringen und Entfernen von Verfüllmaterial (KEV Art. 65 Abs. 2).

- *Nukleare Betriebsbewilligung* (vgl. KEG Art. 19 – 25): Die nukleare Betriebsbewilligung legt den definitiven Schutzbereich des geologischen Tiefenlagers sowie die zulässige Kapazität der Anlage fest. Ebenfalls festgelegt werden Massnahmen zur Überwachung der Umgebung und die Stufen der Inbetriebnahme, deren Beginn eine vorgängige Freigabe durch die Aufsichtsbehörden erfordert (KEG Art. 21 Abs. 1). Weiter legt die Betriebsbewilligung die Anforderungen, insbesondere Grenzwerte für die Aktivität der einzulagernden Abfälle fest (KEG Art. 37 Abs. 3). Für die Einlagerung von Abfallgebinden in ein geologisches Tiefelager bedarf es der Freigabe durch das ENSI (ENSI 2009a). Die Erprobung der Versiegelungstechnik und der Nachweis deren Funktionstüchtigkeit erfolgen während dem Betrieb des geologischen Tiefenlagers in den Testbereichen (KEV Art. 65 Abs. 3).
- *Verschluss<sup>63</sup> des geologischen Tiefenlagers* (vgl. KEG Art. 39): Der Bundesrat ordnet nach Ablauf der Beobachtungsphase die Verschlussarbeiten an, wenn der dauernde Schutz von Mensch und Umwelt gewährleistet ist (KEG Art. 39 Abs. 2). Nach ordnungsgemäsem Verschluss kann der Bundesrat eine weitere, befristete Überwachung anordnen (KEG Art. 39 Abs. 3). Nach ordnungsgemäsem Verschluss oder nach Ablauf der Überwachungsfrist stellt der Bundesrat fest, dass das Lager nicht mehr der Kernenergiegesetzgebung untersteht (KEG Art. 39 Abs. 4).

## 5.2 Weitere Vorgaben und Annahmen für die Festlegung des Realisierungsplans

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

- Die Entsorgung erfolgt grundsätzlich in der Schweiz (KEG Art. 30 Abs. 2): für die aus heutiger Sicht unwahrscheinliche Lagerung im Ausland kann ausnahmsweise unter strengen Auflagen eine Bewilligung erteilt werden (KEG Art. 34 Abs. 4). Der abschliessende Entscheid, ob die Entsorgung im Ausland erfolgen soll, wird spätestens vor Baubeginn des jeweiligen geologischen Tiefenlagers getroffen (Anhang A.2, Tab. A.2-1).
- Die vorhandenen Standortmöglichkeiten für die geologischen Tiefenlager werden im Rahmen des SGT-Verfahrens systematisch geprüft (Evaluation der Sicherheit und Geologie, Koordination der Raumnutzung). Der für das Rahmenbewilligungsgesuch verlangte Vergleich der zur Auswahl stehenden Optionen hinsichtlich der Sicherheit des geplanten Tiefenlagers und die miteinhergehende Bewertung der für die Auswahl des Standorts ausschlaggebenden Eigenschaften (KEV Art. 62) können sich deshalb auf die Untersuchungen und Arbeiten im Rahmen des SGT abstützen.

---

<sup>63</sup> Für den Fall einer ungünstigen Entwicklung der Rahmenbedingungen während der Betriebsphase sind zudem gemäss Richtlinie ENSI-G03 (ENSI 2009a) technische und betriebliche Vorkehrungen für einen temporären Verschluss zu treffen. In einer früheren Studie stellen Klubertanz et al. (2008) fest, dass ein "Selbstverschluss" ohne menschlichen Eingriff kaum zu realisieren ist. Vielmehr sind sowohl bei der Lagerauslegung wie bei den Betriebsabläufen Massnahmen zu planen und Vorkehrungen zu treffen, welche einen schnellen Verschluss der Anlage ermöglichen würden.

- Unterlagen im Hinblick auf raumplanerische Festsetzungen gemäss Sachplan sind Bestandteil des für das Rahmenbewilligungsgesuch benötigten Berichts zur Abstimmung mit der Raumplanung.
- Das schweizerische Entsorgungskonzept geht von zwei geologischen Tiefenlagern aus. Es besteht aber die Möglichkeit, alle Abfälle an einem Standort in räumlich getrennten Bereichen zu entsorgen (sogenanntes 'Kombilager', vgl. BFE 2008).
- Hinsichtlich der Abfallzuteilung auf die verschiedenen geologischen Tiefenlager (s. Kap. 4.1) ist im Rahmen der Realisierung der geologischen Tiefenlager Handlungsspielraum vorhanden, um auf Basis der effektiv vorgefundenen Verhältnisse die Abfallzuteilung bzw. Anforderungen an die einzulagernden Abfälle entsprechend dem Optimierungsgebot stufengerecht zu regeln. Damit ist sichergestellt, dass für alle erwarteten Abfälle ein Entsorgungspfad vorhanden ist.
- Im Zeitplan wird der zeitliche Anfall der einzulagernden Abfälle berücksichtigt, mit der Absicht, die Einlagerungsphase kurz zu halten.
- Für eine Abschätzung der benötigten Zwischenlagerkapazität wird davon ausgegangen, dass sämtliche Abfälle für alle im EP16 aufgeführten Szenarien (Szenarien 1a – 2d, s. auch Abfallkategorien in Tab. 2-1a – d) in den verfügbaren Zwischenlagern gelagert und von dort in die geologischen Tiefenlager transportiert werden müssen. Beim HAA-Lager ist die notwendige Abklingzeit wegen der anfänglich hohen Wärmeleistung der BE/HAA zu berücksichtigen (s. Kap. 2.1).
- Für die Optimierung der Gestaltung der Entsorgung (insbesondere die Auslegung der geologischen Tiefenlager und bei Bedarf Optimierung der Konditionierverfahren) ist ein genügend grosser Handlungsspielraum notwendig; ebenso braucht es Flexibilität zur Berücksichtigung zukünftiger möglicher Entwicklungen bezüglich einzulagernder Abfälle. 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 sollen deshalb so lange erhalten bleiben, wie es das schrittweise Bewilligungsverfahren gemäss KEG (2003) verlangt.
- Die Konkretisierung der Konzepte bzw. Projekte (die Auslegung der Lager, die für den Bau, Betrieb und Verschluss zu verwendende Technologie, die Beurteilung der Sicherheit) erfolgt stufengerecht in einem Detaillierungsgrad und mit einer Belastbarkeit, die den anstehenden Entscheiden angemessen ist. Der Überprüfung der Sicherheit und der grundsätzlichen technischen Machbarkeit wird bei jedem Schritt ein hoher Stellenwert gegeben; in frühen Schritten ist jedoch ein kleinerer Detaillierungsgrad notwendig.
- Die Entscheide bei der Umsetzung des Realisierungsplans sollen nicht nur technisch, sondern auch gesellschaftlich breit abgestützt werden. Dazu ist der entsprechende Einbezug der Interessensgruppen sicherzustellen. In der Phase Standortwahl (s. Tab. A.4-1 und A.4-2) ist dies durch das SGT-Verfahren sichergestellt (BFE 2008). Auch in den nachfolgenden nuklearen Bewilligungsverfahren ist der Einbezug der verschiedenen Interessensgruppen gesetzlich vorgesehen und geregelt. Dabei kommt auch der Information der Öffentlichkeit eine hohe Bedeutung zu (vgl. dazu Kap. 8).

### 5.3 Realisierungsplan für die geologischen Tiefenlager

Ausgehend von den in Kap. 5.1 und 5.2 beschriebenen Vorgaben und Annahmen sowie unter Berücksichtigung der notwendigen Zeiten für die Abwicklung der technischen Arbeiten und für die Durchführung der behördlichen Verfahren ergibt sich der in Fig. 5-1a und 5-1b für das HAA- bzw. das SMA-Programm als Balkendiagramm dargestellte Realisierungsplan. Diese Pla-

nung ist v.a. für spätere Phasen mit Ungewissheiten von mehreren Jahren verbunden. Der Realisierungsplan basiert zudem auf der Annahme, dass die Rechtsmittel in den Bewilligungsverfahren nicht ausgeschöpft werden. Der dem EP16 zugrunde gelegte Zeitplan geht von einer Betriebsaufnahme des SMA-Lagers von 2050 bzw. des HAA-Lagers von 2060 aus. Dieser Zeitplan liegt den Angaben in Kap. 6 (Betriebszeiten der Zwischenlager) und in Kap. 7 (Kosten und Finanzierung) zugrunde, ist in Tab. A.4-1 und Tab. A.4-2 (Anhang A.4) aufgelistet und ist kompatibel mit den Balkendiagrammen in Fig. 5-1a und b.

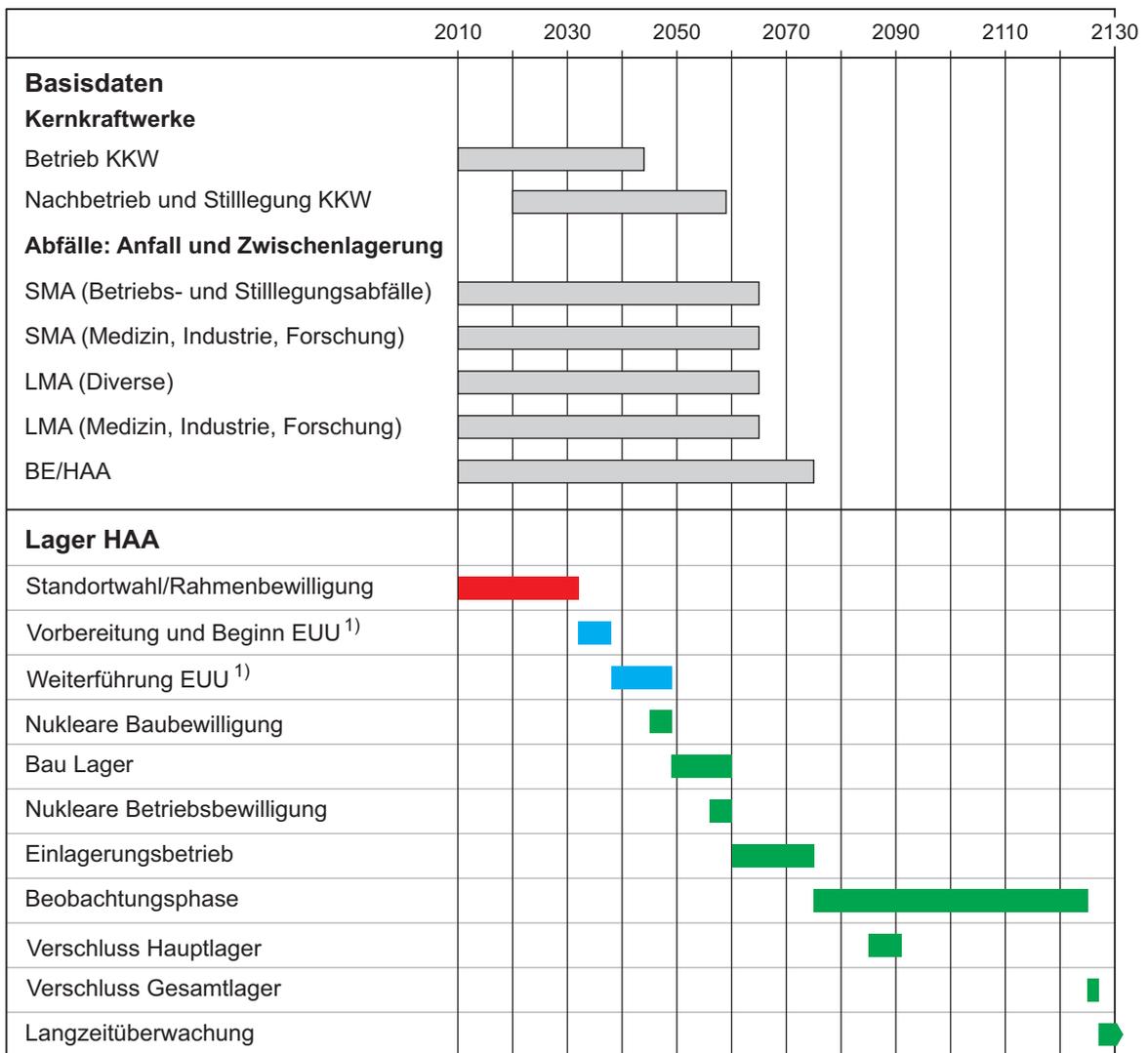
Der Realisierungsplan berücksichtigt insbesondere:

- die gesetzlich und behördlich vorgegebenen Genehmigungen und Bewilligungen und die damit zusammenhängenden Entscheidungspunkte gemäss Tab. A.1-2
- die für diese Genehmigungen und Bewilligungen notwendigen Unterlagen gemäss Tab. A.1-3 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 Entnahme aus dem Reaktorkern notwendige Abklingzeit bis zur Einlagerung)

Der vorgeschlagene Realisierungsplan (Fig. 5-1a und b) und die zugehörigen Entscheidungspunkte bieten genügend Handlungsspielraum zur Optimierung der Entsorgung und geben die erforderliche Flexibilität für die Berücksichtigung zukünftiger Entwicklungen bezüglich einzulagernder Abfälle. Das diesbezügliche Vorgehen ist in Tab. A.2-1 dargestellt.

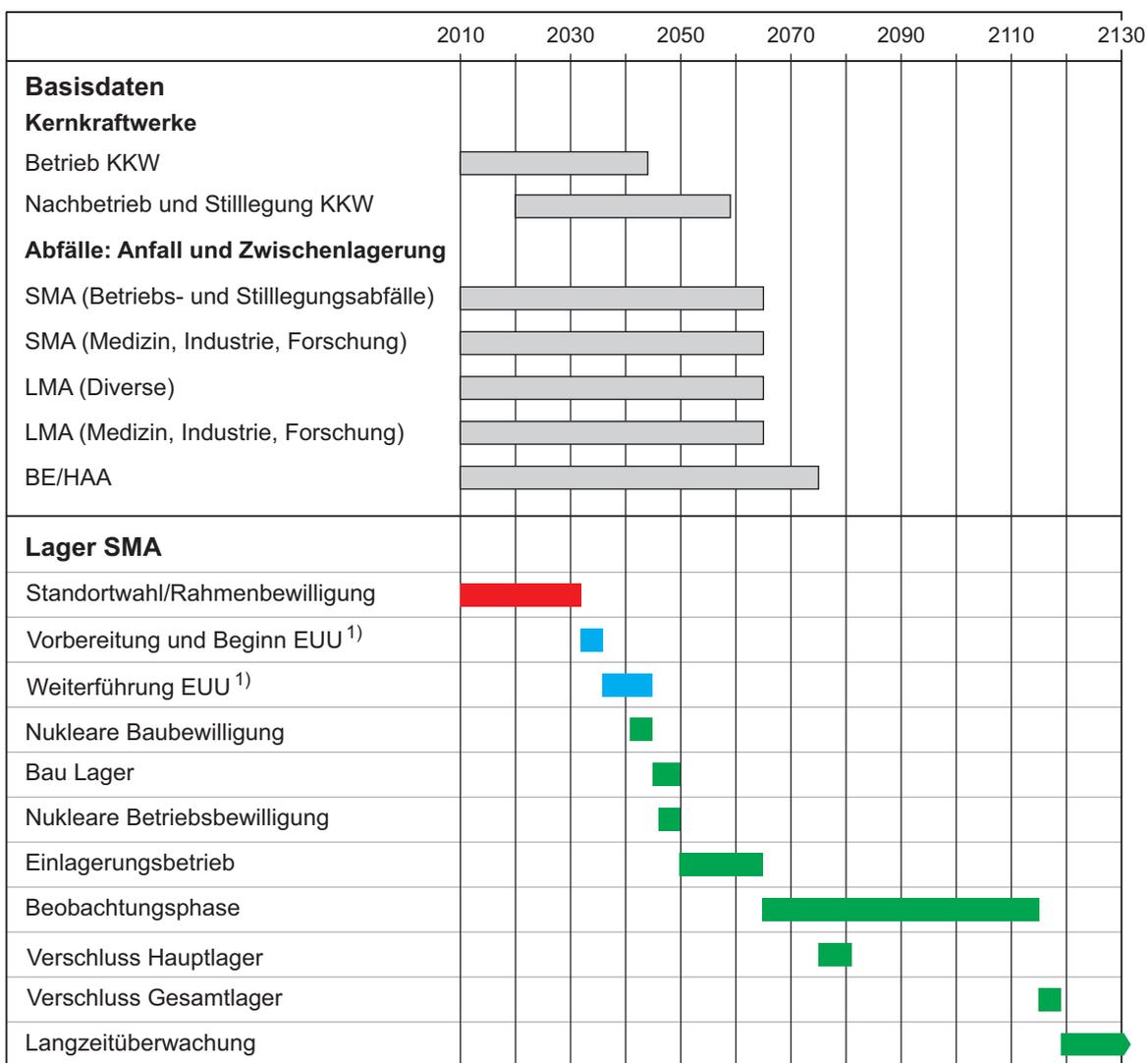
Als übergeordnet wichtigste Aussagen ergeben sich aus Tab. A.2-1:

- Für die Rahmenbewilligung müssen genügend Kenntnisse für robuste Aussagen zur Sicherheit und zur bautechnischen Machbarkeit vorliegen; dies betrifft u.a. die Wirtgesteinseigenschaften (teilweise aus standortunabhängigen Untersuchungen, vgl. Kap. 5.7), die Platzverhältnisse und die Langzeitstabilität inklusive Aussagen zur Erosion. Diese Informationen können mit Untersuchungen von der Oberfläche (z.B. Seismik, Sondierbohrungen, Quartäruntersuchungen) ergänzt durch standortunabhängige Arbeiten gewonnen werden. 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).
- Im Rahmen des nuklearen Baubewilligungsgesuchs wird die detaillierte Anordnung und Auslegung der untertägigen Lagerbauten und der technischen Barrieren sowie der Infrastruktur und Technologie für den Bau, Betrieb und Verschluss des Lagers festgelegt (KEV Art. 24 Abs. 2 sowie Anhang 4). Im Gesuch werden die für den Bau des Lagers notwendigen Erkenntnisse aus erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag berücksichtigt. Mit diesem Realisierungsplan lassen sich auch die Erfahrungen, die in den für die Schweiz relevanten ausländischen Programmen (insbesondere Finnland, Frankreich, Schweden) gemacht werden, mit berücksichtigen (vgl. dazu die Terminangaben in Tab. 3-1).



<sup>1)</sup> EUU: Erdwissenschaftliche Untersuchungen Untertag

Fig. 5-1a: Realisierungsplan für das HAA-Lager gemäss heutiger Planung.



<sup>1)</sup> EUU: Erdwissenschaftliche Untersuchungen Untertag

Fig. 5-1b: Realisierungsplan für das SMA-Lager gemäss heutiger Planung.

Die wichtigsten Merkmale des Realisierungsplans sind:

- Die Wahl der Standorte für das SMA- und das HAA-Lager erfolgt im SGT-Verfahren, welches bis zur Erteilung der jeweiligen Rahmenbewilligung parallel geführt wird.
- 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 EEU gewonnen werden.
- Der Bau der Anlagen erfolgt so weit, wie dies für die Aufnahme des Betriebs notwendig ist. Der Bau zusätzlicher BE/HAA-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. Gleichzeitig beginnt die Beobachtungsphase (Annahme 50 Jahre; s. Tab. A.4-1); in dieser erfolgt nach einer beschränkten Dauer (Annahme 10 Jahre; s. Tab. A.4-1) die Verfüllung und Versiegelung der Zugänge zu den Lagerfeldern des Hauptlagers auf Lagerebene und der nicht mehr benötigten Zugänge von der Oberfläche nach Untertag.
- Nach Abschluss der Beobachtungsphase erfolgen der Gesamtverschluss und der Rückbau der Gesamtanlage (Zugangsbauwerke, restliche Teile der Oberflächeninfrastruktur), anschliessend kann die Überwachung von der Oberfläche aus weitergeführt werden.

Abweichungen zu den nachfolgend aufgeführten Voraussetzungen können dazu führen, dass der hier dargelegte Realisierungsplan (Fig. 5-1a und b) bis zur Betriebsaufnahme des SMA- bzw. HAA-Lagers nicht eingehalten werden kann:

- Damit die Rahmenbewilligungen 2031 rechtskräftig vorliegen, müssen sich die Feldarbeiten in SGT Etappe 3 ohne grössere rechtlich-bedingte Verzögerungen und relevante Überraschungen abwickeln lassen. Zudem muss für das RBG ein gesellschaftlich tragfähiges Projekt vorliegen, für welches auch fundierte technisch-wissenschaftliche Unterlagen vorhanden sind. Die Begutachtung der Gesuchsunterlagen durch die Behörden erfolgt ebenso wie der Bundesratsentscheid und dessen Bestätigung planmässig. Ein allfälliges nationales Referendum lässt sich ohne Verzögerungen abwickeln und führt zu einem positiven Ausgang.
- Damit nach rechtskräftiger Rahmenbewilligung innerhalb der aufgeführten Zeiten eine rechtskräftige nukleare Baubewilligung vorliegt, ist es notwendig, dass:
  - die Anträge für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag (EEU) so eingereicht und von den Behörden geprüft werden, dass das UVEK unmittelbar nach der Erteilung der Rahmenbewilligungen durch den Bundesrat (2029) die Bewilligung für EEU – vorbehaltlich der Bestätigung der Rahmenbewilligungen durch das Parlament – erteilen kann
  - die Vorbereitung und die Durchführung der EEU sich ohne relevante Überraschungen abwickeln lassen; für das SMA-Lager mit geringeren Anforderungen an die Langzeitsicherheit werden einige wenige Jahre benötigt, um die geologische Situation auf Lagerebene zu charakterisieren und die für das nukleare Baugesuch notwendigen Daten zu erheben (s. Tab. A.4-4); für das HAA-Lager wird hierzu mehr Zeit eingeplant (s. Tab. A.4-3)
  - die Gesuchsunterlagen zum nuklearen Baubewilligungsgesuch technisch-wissenschaftlich fundiert sind und durch die Behörden plangemäss geprüft werden, damit die Bewilligung erteilt werden kann; weiter sind keine Rekurse mit längeren Verzögerungen eingerechnet

- Bei Vorliegen der nuklearen Baubewilligung wird der Bau der Anlagen umgehend in Angriff genommen. Zudem lassen sich die Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag inklusive der erforderlichen Zugänge so wie vorgesehen und ohne grössere Aufwände für die Umnutzung ins geologische Tiefenlager integrieren. Kommt es beim Betriebsbewilligungsverfahren zu keinen Rekursen mit längeren Verzögerungen, führt dies zu einer Betriebsaufnahme ca. 2050 für das SMA-Lager und ca. 2060 für das HAA-Lager.

Die oben diskutierten Punkte beschreiben aus heutiger Sicht auch den 'kritischen Pfad', da sie sequenziell aneinander gekoppelt sind.

Für die Umsetzung des hier beschriebenen Realisierungsplans ist ein breites Spektrum von Themen zu bearbeiten (vgl. Tab. A.3-1 in Anhang A.3). Dazu gehören Fragen zur Geologie, zur Sicherheit, zum Inventar der radioaktiven Abfälle sowie zur Auslegung, dem späteren Bau, Betrieb und Verschluss der geologischen Tiefenlager.

Bei der Rahmenbewilligung stehen insbesondere entscheidrelevante Standortfragen im Vordergrund. Zudem muss eine solide Basis erarbeitet werden, damit die stufengerechte Berichterstattung für das Rahmenbewilligungsgesuch gemäss den Vorgaben der KEV (2004) sichergestellt werden kann. Die entsprechenden Arbeitsschwerpunkte sind in Kap. 5.4.1 (HAA-Lager) und Kap. 5.5.1 (SMA-Lager) abgehandelt. Tab. A.3-2 beinhaltet eine kurze Beschreibung der vorgesehenen Arbeiten basierend auf den Vorschlägen der Nagra für die in SGT Etappe 3 weiter zu untersuchenden Standortgebiete (Nagra 2014a und b).

Für die Abwicklung dieser in den nächsten Jahren anstehenden Arbeiten mit direktem Standortbezug (u.a. Seismik, Sondierbohrungen, Auswertungen und Synthesen, Langzeitbeobachtungen, Sicherheitsberichte, Anlagenprojektierung) kann auf langjährige Erfahrungen zurückgegriffen werden; auf eine Beschreibung ihrer Durchführung wird in den nachfolgenden Abschnitten verzichtet, da ihre Abwicklung bekannt und ausführlich dokumentiert ist. Die Hauptberichte, welche zu den Vorschlägen der Nagra in SGT Etappe 1 und Etappe 2 eingereicht wurden, fassen jeweils die aktuellen Kenntnisse in Bezug auf Geologie und Sicherheit zusammen (s. insbesondere Nagra 2008c, d und e, Nagra 2010 sowie Nagra 2014a, b und c). Für Etappe 3 werden vertiefte erdwissenschaftliche Untersuchungen (3D-Seismik, Sondierbohrungen und Quartäruntersuchungen) in den verbleibenden Standortgebieten durchgeführt; wichtige Hinweise hierzu liefern die mit der Berichterstattung zu Etappe 2 eingereichten Explorationskonzepte (Nagra 2014s)<sup>64</sup>.

Die Arbeiten nach Erteilung der Rahmenbewilligung umfassen solche in Zusammenhang mit der Vorbereitung und Durchführung erdwissenschaftlicher Untersuchungen untertag sowie den Tätigkeiten im Hinblick auf das nukleare Bau- und Betriebsbewilligungsgesuch (Kap. 5.4.2 (HAA-Lager) und Kap. 5.5.2 (SMA-Lager)). Entsprechende Vorgaben sind in der Kernenergiegesetzgebung und in Richtlinien der Aufsichtsbehörde geregelt.

---

<sup>64</sup> Im Rahmen der Beurteilung der entsprechenden Unterlagen wird diskutiert, ob auch das Standortgebiet Nördlich Lägern in Etappe 3 weiter untersucht werden soll. Um für alle Fälle gerüstet zu sein und weitere Verzögerungen zu vermeiden, hat die Nagra ein Explorationskonzept für das Standortgebiet Nördlich Lägern eingereicht (Nagra 2016d), die entsprechenden Planungsarbeiten aufgenommen sowie mit ersten erdwissenschaftlichen Untersuchungen (3D-Seismik) begonnen.

## 5.4 Vorgehen bei der Realisierung des HAA-Lagers

Die Basis für diesen Abschnitt bildet der in Kap. 5.3 vorgestellte Realisierungsplan. Wie in Kap. 5.3 erläutert, werden hier nur die Arbeiten mit direktem Standortbezug erläutert, die Arbeiten bezüglich des RD&D-Programms sind in Kap. 5.7 beschrieben.

### 5.4.1 Standortwahl gemäss Sachplan geologische Tiefenlager und Rahmenbewilligung

Die grundsätzliche Vorgehensweise für die Standortwahl ist im Konzeptteil des SGT beschrieben (vgl. BFE 2008).

**Etappe 1:** Die Nagra hat im Rahmen des Sachplanverfahrens in Etappe 1 geologische Standortgebiete vorgeschlagen (Nagra 2008c), welche den sicherheitstechnischen Anforderungen genügen. In einem mehrstufigen systematischen Verfahren ausgehend vom ganzen Gebiet der Schweiz (sogenannte "weisse Karte Schweiz") kamen bei der Erarbeitung dieser Vorschläge (s. Fig. 1-2) Anforderungen an die Geologie (Nagra 2008e) zum Tragen, welche die im Konzeptteil des SGT festgelegten Kriterien (BFE 2008) verwendeten. Die Aufsichtsbehörden bestätigten nach umfassender Prüfung den Vorschlag und der Bundesrat setzte diese sechs Standortgebiete mit Entscheid vom November 2011 im Sachplan fest.

**Etappe 2:** In SGT Etappe 2 wurden in den in Etappe 1 vorgeschlagenen SMA- und HAA-Standortgebieten zusätzliche erdwissenschaftliche Untersuchungen durchgeführt (u.a. 2D-Seismik) und die Kenntnisse in Bezug auf Geologie und Sicherheit weiter vertieft (s. insbesondere Nagra 2014a, b und c). Die Standortgebiete wurden nach den Kriterien des Sachplanverfahrens systematisch weiter eingengt (Nagra 2014b). Diese Einengung umfasste eine schrittweise Optimierung der für die Bewertung verwendeten geologischen Konfigurationen für das HAA- resp. SMA-Lager in den einzelnen Standortgebieten, eine Prüfung der sicherheitstechnischen Eignung der Standortgebiete bzw. Gleichwertigkeit anhand von Dosisberechnungen und eine qualitative Bewertung anhand der Kriterien des SGT sowie eine vergleichende Gesamtbewertung anhand der behördlich festgelegten entscheiderelevanten Merkmale und die Identifikation allfälliger eindeutiger Nachteile der Standortgebiete. Im Dezember 2014 hat die Nagra ihre Vorschläge für mindestens zwei Standortgebiete pro Lagertyp beim BFE eingereicht und vorgeschlagen, die Standortgebiete Jura-Südfuss, Nördlich Lägern, Südranden und Wellenberg zurückzustellen (Nagra 2014a), da diese gegenüber den Standortgebieten Jura Ost und Zürich Nordost eindeutige Nachteile aufweisen.

Im Gegensatz zur sicherheitsgerichteten Einengung der Standortgebiete geologischer Konfigurationen für das HAA- resp. SMA-Lager besteht in den Planungssperimeter der Standortgebiete hinsichtlich der Platzierung, der Anordnung und der Ausgestaltung der Oberflächeninfrastruktur Flexibilität. Die Nagra hat in SGT Etappe 2 als Diskussionsgrundlage Vorschläge für mögliche Standortareale für die Oberflächenanlage erarbeitet (Nagra 2011) und einen standortunabhängigen Bericht zur Sicherheit und zum Schutz des Grundwassers (Nagra 2013a) veröffentlicht. Gestützt auf eine intensive Zusammenarbeit mit den Standortregionen konnten in SGT Etappe 2 für alle Lagertypen und potenziellen Standortgebiete Standortareale für die Oberflächenanlage im zugehörigen Planungssperimeter bezeichnet werden. In den entsprechenden Planungsstudien (Nagra 2013b – g, Nagra 2014i – q) sind Aspekte zur Raumnutzung und Umweltverträglichkeit ausführlich erläutert und die bestehende Flexibilität in der Ausgestaltung der Oberflächeninfrastruktur ist dargelegt.

**Etappe 3 und Rahmenbewilligung:** Nach Genehmigung der Objektblätter (Etappe 2) werden in SGT Etappe 3 gestützt auf die Zusammenarbeit mit den Standortregionen die Lagerprojekte konkretisiert. Dies betrifft die Platzierung der Schachtkopfanlagen sowie Fragen der Anordnung und weiteren Ausgestaltung der Oberflächeninfrastruktur<sup>65</sup>.

Im Hinblick auf das Rahmenbewilligungsgesuch wird die Nagra als wesentliche Felduntersuchungen 3D-Seismikmessungen, Sondierbohrungen und Quartäruntersuchungen durchführen. Die in Etappe 3 notwendigen Feldarbeiten in den vorgeschlagenen SMA- und HAA-Standortgebieten werden koordiniert durchgeführt. Bei der 3D-Seismik stehen die Kartierung von Schichtlagerung und die Inventarisierung und strukturgeologische Interpretation allfälliger Störungen im Vordergrund. Die Sondierbohrungen dienen insbesondere der Eichung der 3D-Seismik (v.a. Tiefenlage und Mächtigkeit der Wirt- und Rahmengesteine) sowie der Erfassung der relevanten Gesteinseigenschaften und Zustandsparameter. Untersuchungen quartärer Lockergesteine liefern Beiträge zur Langzeitentwicklung.

Gestützt auf die Feldarbeiten und weitere Erkenntnisse wird die Nagra 2 bis 3 Jahre vor Einreichung der Rahmenbewilligungsgesuche die Auswahl der Standorte für die Vorbereitung der Rahmenbewilligungsgesuche gemäss Konzept Sachplan geologische Tiefenlager (BFE 2008) bekannt geben können. Zeitgleich würde die Bekanntgabe der Realisierung eines allfälligen 'Kombilagers' erfolgen (vgl. Kap. 3.4). Die Dokumentation der Standortwahl erfolgt gemäss Vorgaben der Kernenergiegesetzgebung (KEV Art. 62) als Bestandteil der Unterlagen zum RBG im sicherheitstechnischen Vergleich der zur Auswahl stehenden Optionen hinsichtlich Sicherheit des geplanten Tiefenlagers sowie einer Bewertung der für die Auswahl des Standorts ausschlaggebenden Eigenschaften.

Nach Bekanntgabe der Auswahl der Standorte für die Vorbereitung der Rahmenbewilligungsgesuche durch die Nagra erfolgt eine weitere Konkretisierung der Lagerprojekte an den vorgeschlagenen Standorten unter Berücksichtigung der Zusammenarbeit mit den Standortregionen. Die involvierten Standortregionen erarbeiten gemäss SGT zudem Projekte zur regionalen Entwicklung und Grundlagen für allfällige Kompensationsmassnahmen. Die Entsorgungspflichten regeln in SGT Etappe 3 mit dem/den Standortkanton(en) und der Standortregion die Frage allfälliger Kompensationsmassnahmen und Abgeltungen.

Mit der Rahmenbewilligung werden grundsätzliche, politisch bedeutsame Fragen entschieden, die sich in Zusammenhang mit einer Kernanlage stellen; insbesondere legt die Rahmenbewilligung den Standort fest. Dass es sich bei der Rahmenbewilligung um einen Grundsatzentscheid handelt, spiegelt sich darin, dass im Gegensatz zu den weiteren Bewilligungsschritten nach KEG (Kap. 5.4.2 und 5.5.2) der Entscheid des Bundesrats zur Rahmenbewilligung der Bundesversammlung zur Genehmigung vorgelegt wird und der Beschluss der Bundesversammlung dem fakultativen nationalen Referendum untersteht.

---

<sup>65</sup> Die Verpackung der BE und HAA in einer Verpackungsanlage kann grundsätzlich auch in einer Anlage erfolgen, welche sich ausserhalb der Oberflächenanlage am Standort des geologischen Tiefenlagers befindet. Die fertig verpackten BE/HAA-Endlagerbehälter müssten in einem solchen Fall dann in noch zu entwickelnden Transportbehältern zur Oberflächenanlage des HAA-Lagers transportiert werden.

Die KEV-Vorgaben an das Rahmenbewilligungsgesuch bedingen an den gewählten Standorten folgende Untersuchungen und Arbeiten:

- Bereitstellung einer geologischen Synthese mit geologischen Datensätzen für die Langzeitsicherheit und die Anlagenprojektierung
- Sicherheitstechnischer Vergleich der in Etappe 3 vertieft untersuchten SMA- und HAA-Standortgebiete inklusive der Bewertung der für den Standortentscheid ausschlaggebenden Eigenschaften
- Vertiefung der Projekte zur Anlage (inkl. Betrieb und Verschluss): Dazu sind Konzepte zu ober- und untertägigen Anlagenelemente zu erarbeiten (s. Kap.5.1)
- Dokumentation der raumplanerischen Abstimmung
- Abklärungen zur Umweltverträglichkeit (UVP, 1. Stufe)
- Erarbeitung eines Überwachungskonzepts (Monitoring)
- Erstellung eines Sicherheitsberichts (Konzept)

Zum Zeitpunkt der Rahmenbewilligung werden im Hinblick auf eine spätere Optimierung im Rahmen des mehrstufigen Bewilligungsverfahrens für die Lagerauslegung noch verschiedene Varianten offen gehalten (s. Anhang A.2). 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; die abschliessenden Entscheide sollen spätestens beim nuklearen Baugesuch gefällt werden. Für HAA betrifft dies aus heutiger Sicht insbesondere:

- Varianten hinsichtlich Materialien und Auslegungskonzepte für die BE/HAA-Endlagerbehälter
- Varianten für die Auslegung der BE/HAA-Lagerkammern
- Varianten für die Auslegung und Einbringung der Verfüllmaterialien
- Varianten für die Auslegung und Erstellung der Versiegelungselemente
- Varianten zur Gestaltung des Verschlusses der LMA-Lagerkavernen bezüglich Gasfreisetzung
- Varianten für die Auslegung der Tunnel inklusive Ausbruchsicherung, Verkleidung und Wahl des Abdichtungssystems

#### **5.4.2 Arbeiten nach der Rahmenbewilligung**

**Untersuchungen untertag:** Parallel zum Rahmenbewilligungsverfahren werden die Projekte und Gesuche im Hinblick auf die erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag (EUV) vorbereitet. Die Gesuche umfassen auch die hierzu notwendigen Sondierzugänge (z.B. Sondierschacht, Sondiertunnel). Beim Auffahren der Untertagbauten erfolgt eine vortriebsbegleitende Charakterisierung (Vorbereitung und Beginn EUU; Fig. 5-1a und b). Die entsprechenden Befunde fliessen in die nuklearen Baubewilligungsgesuche für die geologischen Tiefenlager ein.

Tab. A.4-3 in Anhang A.4 stellt einen Überblick über die während der Phase "Weiterführung erdwissenschaftlicher Untersuchungen untertag" (Fig. 5-1a) aus heutiger Sicht geplanten Aktivitäten und zugehörigen Ziele dar. Sie zeigt zudem auf, wie die Aktivitäten mit dem Realisierungsplan des HAA-Lagers vernetzt sind und zu Meilensteinen und Entscheidungen beitragen. Für eine detaillierte Darlegung des Zwecks, des Umfangs sowie der Art der wichtigsten RD&D Aktivitäten wird auf den RD&D-Plan (Nagra 2016a) verwiesen.

**Nukleares Baugesuch:** Basierend auf den aktualisierten Unterlagen zur Geologie (inkl. Resultate der EUU und Resultate aus dem RD&D-Programm sowie Erkenntnissen aus anderen Programmen) werden aktualisierte geologische Datensätze für die Auslegung der Anlagen und die Beurteilung der Sicherheit bereitgestellt. Im Rahmen der Anlagenprojektierung werden alle Unterlagen bezüglich Anlagenauslegung für das nukleare Baugesuch vorbereitet (Tab. A.1-3). Desweiteren werden die benötigten Berichte zur Langzeitsicherheit, zur Betriebssicherheit und zu den technischen Barrieren erstellt. Die behördliche Beurteilung der Unterlagen führt zur nuklearen Baubewilligung durch das zuständige Departement (UVEK). Parallel zum nuklearen Baubewilligungsverfahren werden die Experimente untertag weitergeführt.

**Bau, Betrieb, Überwachung und Verschluss der Anlage:** Im Anschluss an die Baubewilligung werden die für die Aufnahme des Einlagerungsbetriebs notwendigen Anlagen erstellt. In dieser Phase erfolgt im Rahmen behördlicher Verfahrensschritte die Umnutzung von Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag in Testbereiche als Bestandteil des geologischen Tiefenlagers (s. Kap. 5.1). Im Testbereich werden Langzeitexperimente, die im Rahmen von EUU initiiert wurden, weitergeführt sowie vor Inbetriebnahme des Tiefenlagers sicherheitsrelevante Techniken erprobt und deren Funktionstüchtigkeit nachgewiesen. Tab. A.4-3 stellt einen Überblick über die während dem Bau aus heutiger Sicht geplanten Aktivitäten und zugehörigen Ziele dar. Parallel zum Bau wird das Gesuch für die nukleare Betriebsbewilligung ausgearbeitet und eingereicht (Tab. A.1-3). Nach Erhalt der Betriebsbewilligung beginnt der Einlagerungsbetrieb. Zuerst werden die Abfälle in das Pilotlager eingelagert. Danach beginnt die Einlagerung der BE und HAA in die Lagerstollen. Parallel zur Einlagerung werden weitere BE/HAA-Lagerstollen erstellt. Nach Abschluss der Einlagerung beginnt die Beobachtungsphase (Tab. A.1-3). Das Konzept der geologischen Tiefenlagerung vereint das Konzept der Endlagerung in geologischen Formationen mit der Möglichkeit der Rückholung, es gewährleistet also eine gewisse Reversibilität (EKRA 2000). Dies bedeutet, dass vor dem Verschluss eines geologischen Tiefenlagers dessen Entwicklung u.a. anhand des Pilotlagers längere Zeit beobachtet wird. Während dieser Zeit sollen die Abfälle ohne grösseren Aufwand zurückgeholt werden können. Für Planungszwecke wird gemäss SEFV Art. 3 von einer Beobachtungsphase von 50 Jahren ausgegangen; deren Dauer kann aber bei Bedarf angepasst werden. Der Bundesrat ordnet nach Ablauf der Beobachtungsphase die Verschlussarbeiten an, wenn der dauernde Schutz von Mensch und Umwelt gewährleistet ist (KEG Art. 39 Abs. 2). Nach ordnungsgemäsem Verschluss befindet sich das geologische Tiefenlager in der Nachverschlussphase. Der Bundesrat verfügt nach Ablauf einer allfälligen weiteren, befristeten Überwachung von der Oberfläche (KEG Art. 39 Abs. 3) die Entlassung der einzelnen verschlossenen Tiefenlager aus der Kernenergiegesetzgebung (KEG Art. 39 Abs. 4). Die Verantwortung für die verschlossenen geologischen Tiefenlager geht auf den Bund über. Dieser kann im Rahmen der Langzeitüberwachung weiter gehende Massnahmen nach diesem Zeitpunkt, insbesondere eine Umweltüberwachung, durchführen (KEG Art. 39 Abs. 4).

## **5.5 Vorgehen bei der Realisierung des SMA-Lagers**

Die Basis für dieses Unterkapitel bildet der in Kap. 5.3 vorgestellte Realisierungsplan. Im Folgenden werden nur die Arbeiten mit direktem Standortbezug erläutert, die Arbeiten bezüglich Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sind in Kap. 5.7 beschrieben.

### **5.5.1 Standortwahl gemäss Sachplan geologische Tiefenlager und Rahmenbewilligung**

Das Vorgehen für das SMA-Lager entspricht demjenigen für das HAA-Lager. Deshalb wird hier auf eine Beschreibung verzichtet; die Aussagen in Kap. 5.4.1 gelten sinngemäss auch für das SMA-Lager.

### **5.5.2 Arbeiten nach der Rahmenbewilligung**

Das grundsätzliche Vorgehen ist gleich wie im HAA-Programm. Auch für das SMA-Lager werden erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag (EUU) im Hinblick auf die nukleare Bau- und Betriebsbewilligung durchgeführt.

Tab. A.4-4 in Anhang A.4 stellt einen Überblick über die während den Phasen "Weiterführung erdwissenschaftlicher Untersuchungen untertag" sowie "Bau Lager" (Fig. 5-1b) aus heutiger Sicht geplanten Aktivitäten und zugehörigen Ziele dar. Sie zeigt zudem auf, wie die Aktivitäten mit dem Realisierungsplan des SMA-Lagers vernetzt sind und zu Meilensteinen und Entscheidungen beitragen<sup>66</sup>. Für eine detaillierte Darlegung des Zwecks, des Umfangs sowie der Art der EUU wird auf den RD&D-Plan (Nagra 2016a) verwiesen.

Das weitere Vorgehen (nukleares Baubewilligungsgesuch, Bau, Betriebsbewilligungsgesuch, Betrieb, Überwachung und Verschluss) ist ähnlich wie beim HAA-Lager und unterscheidet sich von diesem vor allem in den Zeiten (vgl. Balkendiagramm in Fig. 5-1b) und dadurch, dass parallel zum Einlagerungsbetrieb keine Lagererweiterung vorgesehen ist.

## **5.6 Vorgehen bei der Realisierung des Kombilagers**

Die in Kap. 5.3 vorgestellten Realisierungspläne für das HAA- und SMA-Lager stellen die Grundlage für die Realisierung des Kombilagers dar. Die detaillierte Ausgestaltung des Realisierungsplans für das Kombilager hängt vom Standort ab. Die Erarbeitung von Realisierungsplänen benötigt zudem die Klärung von Fragen mit den zuständigen Behörden hinsichtlich der Umsetzung des Bewilligungsverfahrens für den Fall eines Kombilagers.

### **5.6.1 Standortwahl gemäss Sachplan geologische Tiefenlager und Rahmenbewilligung**

Das Vorgehen für das Kombilager in der Phase Standortwahl/Rahmenbewilligung entspricht grundsätzlich demjenigen des HAA-Lagers (s. Kap. 5.4). Gestützt auf vertiefte erdwissenschaftliche Untersuchungen in den verbleibenden geologischen Standortgebieten und auf weitere Erkenntnisse wird die Nagra 2022 die Auswahl der Standorte für die Vorbereitung der Rahmenbewilligungsgesuche gemäss Konzept Sachplan geologische Tiefenlager (BFE 2008) bekannt geben (s. Kap. 5.4). Zeitgleich wird bekannt gegeben, ob zwei Einzellager oder ein Kombilager

---

<sup>66</sup> Im Falle von ähnlichen Eigenschaften des Wirtgesteins können stufengerecht Synergieeffekte zur Anpassung der entsprechenden experimentellen Programme für das SMA-Lager und das HAA-Lager genutzt werden.

erstellt werden sollen. Bei der Wahl eines Kombilagers würde anschliessend das Rahmenbewilligungsgesuch für das Kombilager ausgearbeitet und den Behörden zur Überprüfung unterbreitet.

### **5.6.2 Arbeiten nach der Rahmenbewilligung**

Grundsätzlich gelten für das Kombilager jeweils die gleichen konzeptuellen Vorgaben und Annahmen wie für das HAA- und das SMA-Lager (Kap. 3.4). Ebenso beinhaltet das Vorgehen für das Kombilager nach Rechtsgültigkeit der Rahmenbewilligung sinngemäss alle Arbeitsschritte, wie sie für das HAA- und SMA-Lager notwendig sind (s. Kap. 5.4 und 5.5). Beim Kombilager existieren Synergieeffekte hinsichtlich der Vorbereitung und Durchführung der erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag (z.B. Synergieeffekte hinsichtlich der Charakterisierung der geologischen Situation sowie des experimentellen Programms), des Baus (z.B. Elemente der Oberflächeninfrastruktur und des Zugangs nach Untertag), des Betriebs der BE/HAA- und SMA-/LMA-Lagerteile (z.B. Nutzung von Zugangsbauwerken nach Untertag), der Beobachtungsphase und dem Verschluss.

### **5.7 Forschungs- und Entwicklungsarbeiten**

Die Realisierung von geologischen Tiefenlagern erfolgt in einem mehrere Jahrzehnte andauernden stufenweisen Prozess und erfordert eine umfassende Planungsgrundlage für die wissenschaftlichen und technischen Arbeitsschwerpunkte. Im RD&D-Plan (Nagra 2016a) sind der Zweck, der Umfang, die Art und die Zeitdauer der verschiedenen zukünftigen Aktivitäten zur Forschung, Entwicklung und Demonstration, die sich aus dem Realisierungsplan sowie den im EP16 dargestellten konzeptuellen Vorgaben und Annahmen ergeben, umfassend dargestellt.

Das EP16 beschränkt sich auf die Darlegung von Arbeitsschwerpunktt Themen zu Forschung und Entwicklung. Tab. A.3-3 beinhaltet eine kurze Beschreibung der Themen, die gemäss Realisierungsplan aus heutiger Sicht im Rahmen des RD&D-Programms in den nächsten ca. 10 Jahren behandelt werden. Für eine ausführliche Erläuterung der Forschungsaktivitäten sei auf Nagra (2016a) verwiesen. Die Arbeiten zum RD&D-Programm decken ein breites Spektrum von Themen ab; dazu gehören Fragen zur Geologie, zur Sicherheit und zu sicherheitsrelevanten Phänomenen und Prozessen, zu den radioaktiven Abfällen, zum Lagerkonzept, zu den technischen Barrieren sowie zum Verschluss der geologischen Tiefenlager.

Im Rahmen von laufenden RD&D-Aktivitäten werden auch Module der geologischen Tiefenlager (Elemente der Oberflächeninfrastruktur, technische Barrieren und die zugehörigen Lagerkammern, Technologie für den Bau, Betrieb und Verschluss der Lager) entwickelt, die im Rahmen einer stufengerechten Lagerimplementierung – wo erforderlich – an die standortbezogenen Verhältnisse angepasst werden könnten (vgl. Kap. 5.4 und 5.5).

In den verschiedenen weltweit durchgeführten Entsorgungsprojekten sind seit vielen Jahren Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprogramme im Gange, welche teilweise im Rahmen der internationalen Zusammenarbeit durchgeführt werden. Dabei spielen für einige der RD&D-Themen Felslabors eine zentrale Rolle. Aus Sicht der Nagra sind die Erkenntnisse aus den Felslabors Mont Terri (CH), Bure (F), Grimsel (CH), Aspö (S) und Mol (BE) von besonderem Interesse. Daneben umfassen die Aktivitäten zur Forschung, Entwicklung und Demonstration Laborprogramme, Feldprogramme (z.B. in Zusammenhang mit natürlichen Analoga), Modellentwicklungen und themenspezifische Studien. So existiert in der Schweiz seit ca. 40 Jahren ein RD&D-Programm, in dessen Rahmen das PSI sowie weitere universitäre Einrichtungen eingebunden werden (s. Kap. 5.7) und der dazu führt, dass die im Ausland durchgeführten Arbeiten ergänzt und bedarfsgemäss vertieft werden können. Forschungsthemen

und -aktivitäten werden am stufengerechten Informations- und Entscheidungsbedarf der einzelnen Meilensteine bei der Realisierung der geologischen Tiefenlager ausgerichtet. Die Beurteilung der Dringlichkeit und des für die verschiedenen Meilensteine erforderlichen Tiefgangs der Bearbeitung dieser Themen berücksichtigt den Stand der Kenntnisse sowie die Beurteilungen durch die Behörden und ihre Experten (insbesondere KNS 2011, BFE 2011, ENSI 2011d, KNS 2012, ENSI 2012, BFE 2013 und ENSI 2013, Anhang 1). Sie orientiert sich auch an den Vorgaben in Tab. A.1-3 und den Festlegungen in Tab. A.2-2.

Im Hinblick auf das nukleare Bau- und Betriebsbewilligungsgesuch sind spezifische RD&D-Aktivitäten 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 bzw. SMA/LMA, die Überprüfung und Demonstration der Einlagerung und Rückholung der Abfallgebinde, die Verfüllung und Versiegelung sowie die Überwachung. Eine entsprechende kurze Beschreibung der Themen findet sich in Tab. A.3-4; detailliertere Angaben können dem RD&D-Plan (Nagra 2016a) entnommen werden.

## 5.8 Abwicklung der Arbeiten

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

Um ihre Aufgaben fachgerecht ausführen zu können, ist die Organisation der Nagra flexibel aufgebaut und wird auf die jeweiligen Bedürfnisse ausgerichtet. Die Nagra ist zurzeit als Projektleitungsorganisation aufgebaut. Aufgaben werden als Aufträge an qualifizierte Auftragnehmer vergeben, wenn die Aufgabe genügend klar umschrieben werden kann und die Schnittstellen zu anderen Aufgaben gut beherrschbar sind. Dazu wird in Arbeitsgebieten, welche spezielles Wissen verlangen (insbesondere RD&D-Arbeiten), auf die im Rahmen einer langjährigen Zusammenarbeit etablierten Kompetenzzentren (z.B. PSI oder Universität Bern)<sup>67</sup>, auf Institute im In- und Ausland oder auf langjährige erfahrene Auftragnehmer zurückgegriffen, welche für das entsprechende Thema über das Wissen und die notwendige Infrastruktur verfügen. Ausgewählte Themen werden im Rahmen gemeinsamer Projekte mit Partnerorganisationen abgewickelt, teilweise in Zusammenhang mit den Forschungsrahmenprogrammen der Europäischen Kommission, teilweise im Rahmen anderer vertraglicher Vereinbarungen. Dazu gehören insbesondere die Forschungsprogramme in den internationalen Felslabors.

Für diese Arbeiten stützt sich die Nagra, neben den auf dem Markt erhältlichen qualifizierten Auftragnehmern, auch auf über mehrjährige Verträge abgesicherte Kompetenzzentren, auf Institute im In- und Ausland und auf Partnerprojekte ab. Die Nagra selbst verfügt über qualifizierte Mitarbeitende mit dem für ihre Aufgaben erforderlichen Sicherheitsbewusstsein und übernimmt die Planung der Arbeiten, erstellt die Syntheseberichte und vertritt die Resultate und Schlussfolgerungen nach aussen (bei Bedarf unter Beizug von Schlüsselauftragnehmern). Die Beauftragung und Abwicklung der Arbeiten erfolgt innerhalb eines klar definierten Management-Systems, welches 2005 erstmals als Qualitätsmanagement-System gemäss ISO 9001 zertifiziert wurde. Innerhalb dieses Systems spielen Reviews eine zentrale Rolle. In Etappe 3

---

<sup>67</sup> Mit Langfristverträgen wird über Kompetenzzentren sichergestellt, dass ein erfahrener Pool an Mitarbeitenden sowie eine spezielle Infrastruktur für ausgewählte Arbeitsgebiete zur Verfügung stehen. Entsprechend ihrer Ausrichtung führen diese Kompetenzzentren die Forschungsarbeiten selbständig ohne Einflussnahme der Nagra auf die detaillierte Ausgestaltung der Forschung aus. Damit wird sichergestellt, dass die Resultate als wissenschaftlich unabhängig anerkannt sind.

kommt das Sachplanverfahren in seine entscheidende Phase. Die Nagra hat sich deshalb durch eine Organisationsentwicklung auf diese Herausforderungen und Ziele hin neu ausgerichtet und explizit vorbereitet.

## **5.9 Überlieferung von Informationen an künftige Generationen**

In der Kernenergiegesetzgebung ist eine Reihe von Massnahmen zur Überlieferung von Informationen über ein geologisches Tiefenlager an künftige Generationen vorgesehen. Der Eigentümer eines geologischen Tiefenlagers muss eine Dokumentation erstellen, die für eine langfristige Sicherstellung der Kenntnisse über das Lager geeignet ist (KEV Art. 71). Gemäss KEG Art. 40 muss der Bundesrat dafür sorgen, dass diese Informationen aufbewahrt werden und die Kenntnisse über das Lager langfristig erhalten bleiben (Langzeitarchivierung). Zudem schreibt das Gesetz die Markierung des geologischen Tiefenlagers vor. Ein Konzept für die Markierung muss vom Eigentümer im Rahmen des Baubewilligungsgesuchs vorgelegt werden (ENSI 2009a).

Der Stand der Arbeiten auf dem Gebiet der Überlieferung von Informationen an künftige Generationen ist international unterschiedlich weit fortgeschritten. 2011 lancierte die Nuclear Energy Agency (NEA) der OECD das Projekt "Preservation of Records, Knowledge and Memory (RK&M) Across Generations". Dadurch sollen die fachlichen Überlegungen international vernetzt, mögliche Lösungen analysiert und Entscheidungen gegenseitig kommuniziert werden. Die Nagra beteiligt sich seit 2011 aktiv am RK&M-Projekt mit finanziellen sowie fachlichen Beiträgen.

Gemäss den ersten Erkenntnissen des Projekts sollen die Fragen der Langzeitarchivierung und der Markierung nicht einzeln, sondern vielmehr – zusammen mit einem breiten Spektrum von Massnahmen zum Informations- und Wissenserhalt – im Rahmen eines globalen Systems betrachtet werden.

## **5.10 Zusammenfassung**

Die gesetzlichen und behördlichen Vorgaben sowie die Festlegung weiterer konzeptueller Vorgaben und Annahmen bilden den Ausgangspunkt für die Ableitung der Realisierungspläne für das SMA- bzw. HAA-Lager. Die Vorgaben und Annahmen erlauben die Festlegung des grundsätzlichen Ablaufs und eine Auflistung der notwendigen Arbeiten. Nach Abschätzung des Zeitbedarfs für die Abwicklung der technischen Arbeiten und für die behördlichen Verfahren können die Realisierungspläne definiert werden. Diese gehen von einer rechtsgültigen Rahmenbewilligung im Jahr 2031 und von einer Betriebsaufnahme für das SMA-Lager 2050 und für das HAA-Lager 2060 aus (vgl. Fig. 5-1a und b). Dabei wird angenommen, dass es zu keinen zeitaufwendigen Rekursen kommt und dass die technischen Arbeiten und die Bewilligungsverfahren plangemäss abgewickelt werden können.

Die Realisierungspläne berücksichtigen sowohl standortspezifische Arbeiten im Rahmen des Sachplans geologische Tiefenlager als auch die laufenden und geplanten RD&D-Arbeiten, die für die Rahmenbewilligung und die weiteren Bewilligungsschritte (Bau- und Betriebsbewilligung) benötigt werden.

Das in der Kernenergiegesetzgebung verankerte mehrstufige Bewilligungsverfahren lässt es zu, den notwendigen Handlungsspielraum zur optimalen Gestaltung der geologischen Tiefenlager zu erhalten. Werden die Gesuche bzw. die Bewilligungen entsprechend gehandhabt, so kann die zukünftig anfallende Information (Resultate der detaillierten Exploration der Standorte, Kenntniszuwachs durch Forschung und Entwicklung) optimal genutzt werden.

Die Verantwortung für die Entsorgung liegt bei den Entsorgungspflichtigen. Diese haben die Nagra mit der Wahrnehmung aller Aufgaben im Hinblick auf die Realisierung der geologischen Tiefenlager betraut.

Die Nagra unterhält ein auf die speziellen Anforderungen ausgerichtetes formelles Management-System, innerhalb dessen alle Arbeiten abgewickelt werden. Für diese Arbeiten stützt sich die Nagra auf qualifizierte Mitarbeitende und neben den auf dem Markt erhältlichen qualifizierten Auftragnehmern auch auf über mehrjährige Verträge abgesicherte Kompetenzzentren, auf Institute im In- und Ausland und auf Partnerprojekte ab.

Die Thematik der Langzeitarchivierung der Dokumentation und der Markierung des Lagers fließt in das breitere Thema der Überlieferung von Informationen an künftige Generationen ein. Die Nagra verfolgt den internationalen Stand der fachlichen Überlegungen im Rahmen eines Projekts der Nuclear Energy Agency (NEA) der OECD.



## 6 Zwischenlagerung

### Wesentliche Unterschiede zwischen dem EP08 und dem EP16

Die grundsätzlichen Annahmen hinsichtlich Ausgestaltung der Zwischenlagerung haben sich seit 2008 nicht verändert. Aufgrund der Anpassung des Realisierungsplans und den dem EP16 zugrunde liegenden Szenarien wurden die Angaben zur Dauer und Kapazität der Zwischenlagerung geprüft und wo notwendig angepasst. Dazu wird im EP16 die Zwischenlagerlogistik (Einbringung von Gebinden in Lagercontainer, Randbedingungen für die Stapelhöhen, maximale Bodenbelastungen) berücksichtigt.

#### 6.1 Ausgestaltung, Dauer und Kapazität der Zwischenlagerung

Die heute anfallenden Abfälle aus den KKW und die für die geologische Tiefenlagerung vorgesehenen Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung (MIF) werden zwischengelagert. Die Zwischenlagerung der Betriebs-, Reaktor- und Stilllegungsabfälle der KKW erfolgt im ZWILAG oder ZWIBEZ. Die Lagerung von Abfällen aus dem MIF-Bereich erfolgt im Bundeszwischenlager (BZL resp. dem geplanten OSPA) auf dem Gelände des PSI und unterliegt der Verantwortung des Bunds.

Langfristig stehen folgende Anlagen für die Zwischenlagerung zur Verfügung bzw. sind geplant (mit Nomenklatur für die Verwendung in Tab. 6-1):

- BZL: Bundeszwischenlager am PSI für die Lagerung von MIF-Abfällen
- OSPA: Geplanter "PSI Stapelplatz Ost OSPA" für die Lagerung von MIF-Abfällen<sup>68</sup>
- ZWIBEZ-S: Zwischenlager des KKB für schwachaktive Abfälle
- ZWIBEZ-H: Zwischenlager des KKB für hochaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente
- ZWILAG-S: "Halle S" für schwachaktive Abfälle
- ZWILAG-M: "Lager M" für (schwach- und) mittelaktive Abfälle
- ZWILAG-H: "Halle H" für hochaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente

Die abgebrannten BE werden ohne Vorbehandlung in Transport- und Lagerbehälter (TLB) eingebracht und im ZWILAG-H bzw. im ZWIBEZ-H zwischengelagert, nachdem sie in den Brennelementelagerbecken der KKW bzw. im KKG-Nasslager genügend abgekühlt sind. Auch die Abfälle aus der Wiederaufarbeitung werden zwischengelagert: die verglasten HAA in TLBs im ZWILAG-H, die anderen Abfälle aus der Wiederaufarbeitung in Containern im ZWILAG-M.

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 (s. Tab. A.4-5). Für eine konservative Abschätzung der maximal benötigten Zwischenlagerkapazität wird jedoch angenommen, dass auch im Sze-

---

<sup>68</sup> Das Bundeszwischenlager beim Paul Scherrer Institut muss erweitert werden. Hierzu reichte das PSI 2014 beim Bundesamt für Energie (BFE) ein Bau- und Betriebsbewilligungsgesuch ein. Die öffentliche Auflage der Gesuchsunterlagen für den sogenannten "PSI Stapelplatz Ost OSPA" ist erfolgt (1. Hälfte 2016).

nario 2b<sup>69</sup> alle Abfälle zwischengelagert werden, bevor sie zu den geologischen Tiefenlagern transportiert werden. Damit wird im EP16 dem denkbar konservativsten Abfallvolumen sowie einer allfälligen Verzögerung der Inbetriebnahme des SMA-Lagers Rechnung getragen.

Für die Beurteilung der Zwischenlagerkapazität ist die Phase nach Rückbau der KKW inklusive der dortigen Zwischenlager massgebend. Im EP16 werden die Kapazitäten der dezentralen SMA-Zwischenlager bei den KKW im Gegensatz zum EP08 nicht mehr betrachtet. Die Zwischenlagerkapazität während des Betriebs der KKW ist in jedem Fall gegeben, da bei ZWILAG/ZWIBEZ zu jeder Zeit eine ausreichende Kapazität zur Verfügung steht (für Angaben zu Betriebszeiten der KKW inklusive dezentrale SMA-Zwischenlager vgl. Tab. A.4-5).

Im EP08 wurden vereinfachte Betrachtungen auf Basis der in die Zwischenlager eingebrachten Abfallvolumina im Vergleich mit den (theoretisch) verfügbaren Volumina der Lager vorgenommen. Bei der vertieften Abschätzung hinsichtlich des Belegungsgrads in Zwischenlagern müssen diverse Randbedingungen wie z.B. die maximale Bodenbelastung der Lager berücksichtigt werden. Abhängig von der Art der zu lagernden Behälter wird dadurch die maximale Anzahl von Gebinden, die aufeinander gestapelt werden können, beschränkt. Das verfügbare Lagervolumen kann dementsprechend bei bestimmten Lagern nicht vollständig genutzt werden, dies ist in den Zahlen der Tab. 6-1 berücksichtigt.

Im EP16 erfolgt eine detailliertere Betrachtung der Zwischenlagerkapazität (s. Anhang A.7); diese berücksichtigt die tatsächliche Zwischenlagerlogistik vor Ort. Die Zwischenlager ZWIBEZ-S und ZWILAG-S/-M sind auf die Lagerung von Lagercontainern (sogenannte Gitterboxen) ausgelegt, in die (kleinere) Abfallgebände eingestellt werden. Auf jedem Stellplatz ist eine mehrfache Stapelung der Gitterboxen möglich. Daneben fallen aus der Stilllegung der KKW Betoncontainer an, die direkt ohne Einstellung in Gitterboxen gelagert werden; die Stapelhöhe bei Betoncontainern wird durch die maximale Bodenbelastung begrenzt. Bei den Zwischenlagern ZWIBEZ-H und ZWILAG-H für HAA werden die TLB direkt eingestellt, die maximale Kapazität ist somit durch die Zahl der Stellplätze limitiert.

Eine Analyse der Abfälle (Mengen und zeitlicher Anfall) zeigt, dass für die KKW auch für Szenario 2b bei Zwischenlagerung aller Abfälle genügend Zwischenlagerkapazität vorhanden ist (Tab. 6-1). Ohne Optimierung ist hinsichtlich der Belegung der Zwischenlager für die abgebrannten Brennelemente und verglasten hochaktiven Abfälle im Szenario 2b von einem Belegungsgrad von max. 104 % auszugehen. Wird hingegen die Anzahl der Stellplätze durch eine verbesserte Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Lagerbereichs optimiert (s. Anhang A.7), führt dies zu einem Belegungsgrad der Anlagen für die Zwischenlagerung hochaktiver Abfälle von 88 %. Falls sich die Inbetriebnahme der geologischen Tiefenlager verzögern sollte, können die Zwischenlager mit administrativen und technischen Massnahmen (Verträge, Unterhalt, evtl. Nachrüstungen, Ersatz oder Erneuerung von ausgewählten Komponenten) auch länger betrieben werden<sup>70</sup>.

---

<sup>69</sup> Beschreibung der Szenarien: s. Kap. 2.1.

<sup>70</sup> Bei einem allfällig verlängerten Betrieb von Zwischenlagern ist dem Altersmanagement Rechnung zu tragen.

Tab. 6-1: Belegung der Zwischenlager für Szenario 2b.

Für Details zu Szenario 2b s. Kap. 2.1.

Zwischenlager <sup>1)</sup>	Belegungsgrad <sup>4)</sup> [%]
BZL/OSPA <sup>2)</sup>	97
ZWIBEZ-S	75
ZWILAG-M	100
ZWILAG-S	79
ZWILAG-H + ZWIBEZ-H <sup>3)</sup>	104 (88) <sup>5)</sup>

- <sup>1)</sup> Für Angaben zu den Betriebszeiten der Zwischenlager s. Tab. A.4-5. Im EP08 war die Zwischenlagerkapazität vom KKG-Nasslager ausgewiesen (Betrieb von 2008 – 2046). Aufgrund der Verzögerung im Realisierungsplan (Inbetriebnahme SMA-Lager 2050 resp. HAA-Lager 2060; Kap. 5) beschränken sich die Angaben im EP16 hinsichtlich der KKW-Abfälle auf die Darlegung der vorhandenen Zwischenlagerkapazität im ZWILAG und ZWIBEZ.
- <sup>2)</sup> Der Rückbau der PSI-West-Anlagen ist nach 2050 geplant. Da das SMA-Lager dann zur Verfügung steht, müssen diese Abfälle nicht zwischengelagert werden, andernfalls muss der Platz vor Ort genutzt werden.
- <sup>3)</sup> ZWILAG-H und ZWIBEZ-H können bezüglich Kapazität als Einheit betrachtet werden.
- <sup>4)</sup> Für die detaillierte Herleitung des Belegungsgrads sei auf Anhang A.7 verwiesen.
- <sup>5)</sup> Ohne Optimierungsmassnahmen ist hinsichtlich der Belegung von ZWILAG-H und ZWIBEZ-H von einem Belegungsgrad von 104 % auszugehen. Wird hingegen die Anzahl der Stellplätze optimiert, führt dies zu einem Belegungsgrad der Anlagen für die Zwischenlagerung für abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle von 88 % (s. Anhang A.7).

Für ihre Einlagerung in die geologischen Tiefenlager werden die Abfälle aus den Zwischenlagern ausgelagert und in geeigneten Transportbehältern zu den geologischen Tiefenlagern transportiert. Für die abgebrannten BE und die HAA besteht die Absicht, dazu die bestehenden TLB zu verwenden<sup>71</sup>. Dies verlangt jedoch, dass die Behälter neu lizenziert werden; andernfalls müssen die abgebrannten BE und HAA für den Transport in geeignete und lizenzierte Transportbehälter umgeladen werden. Die TLB werden nach ihrer Verwendung verwertet; falls dies nicht vollständig möglich ist, werden die entsprechenden Teile – z.T. nach entsprechender Abklinglagerung – als radioaktiver Abfall entsorgt. Die für den Transport notwendige Infrastruktur (Be- und Entladung der Transportbehälter) ist entweder vorhanden oder als Konzept vorliegend, dies gilt auch für die für den Transport notwendigen Waggons und Strassenfahrzeuge. Der Handlungsspielraum zur Berücksichtigung von neuen Erfahrungen, technischen Neuerungen und neuen Vorschriften ist gewährleistet (Tab. A.2-1). Bei der absehbaren Revision der Strahlenschutzverordnung (StSV) mit revidierten nuklidspezifischen Freigrenzen (berücksichtigt in Szenarien 1b und 2b) fällt zusätzliches radioaktives Material an (rund 9'000 m<sup>3</sup> bei Aufbewahrung in Gitterboxen oder auf Paletten), das nach geltender StSV freimessbar wäre und konventionell entsorgt werden könnte. Dieses Material ist sehr schwachaktiv und kann nach einer "Abklingzeit"<sup>72</sup> freigemessen werden und eine grosse Teilmenge davon dem Wertstoff-

<sup>71</sup> Die Eigentümer der Behälter haben dazu ein Alterungsüberwachungprogramm für bestehende TLB vorgesehen.

<sup>72</sup> Gemäss dem derzeitigen Stand der sich in Revision befindenden Strahlenschutzverordnung beträgt die Zeit für die "Abklinglagerung" maximal 30 Jahre (StSV Art. 85 Abs. 2).

kreislauf zugeführt werden; der Rest kann konventionell entsorgt werden. Dazu sind "Abklinglager" nötig, wo das Material bis zu seiner konventionellen Freigabe aufbewahrt wird. Detaillierte Untersuchungen zu den Auswirkungen und zum Materialaufkommen für die Abklinglagerung finden sich in einem Bericht der Arbeitsgruppe des Bundes für die nukleare Entsorgung (Agneb; Agneb 2015).

Der Bundesrat hat im Hinblick auf das Entsorgungsprogramm 2016 eine spezifische Empfehlung zur Langzeitstabilität von abgebrannten Brennelementen formuliert (Bundesratsaufgabe 6.1; s. Anhang A.5) und die Entsorgungspflichtigen aufgefordert, im EP16 die Arbeiten zur Untersuchung der Langzeitstabilität von abgebrannten Brennelementen während der Zwischenlagerung, den Stand von Wissenschaft und Technik bezüglich Langzeitverhalten der Brennelement-Hüllrohre und die sich daraus ergebenden Konsequenzen auszuweisen. In Anhang A.6.1 finden sich entsprechende spezifische Hinweise zu eigenen Untersuchungen sowie anderweitigen Arbeiten im Zusammenhang mit der Langzeitstabilität von abgebrannten Brennelementen.

## **6.2 Zusammenfassung**

Auch für das Szenario 2b und bei einer allfälligen Verzögerung der Inbetriebnahme des SMA-Lagers gibt es genügend Zwischenlagerkapazität in den bestehenden Zwischenlagern für die sichere Zwischenlagerung aller Abfälle bis die letzten Abfallbinde in die entsprechenden geologischen Tiefenlager verbracht werden. Wird von einem Einlagerungsbetrieb von 15 Jahren ausgegangen (s. Realisierungsplan in Kap. 5), ist dies für das SMA-Lager 2064 und für das HAA-Lager 2074 der Fall. Für die erwarteten Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung (MIF) sowie die Abfälle aus den KKW steht auch im Falle des Szenarios 2b genügend Zwischenlagerkapazität bis zum planmässigen Abschluss des Einlagerungsbetriebs für das SMA-Lager zur Verfügung. Ebenso kann bei optimierter Belegung von ZWILAG-H und ZWIBEZ-H auch im Falle des Szenarios 2b für die abgebrannten Brennelemente und hochaktiven Abfälle bis zum Abschluss des Einlagerungsbetriebs genügend Zwischenlagerkapazität zur Verfügung gestellt werden.

Falls sich die Inbetriebnahme der geologischen Tiefenlager verzögern sollte, können die Zwischenlager auch länger betrieben werden. Die für den Transport der Abfälle erforderliche Infrastruktur und Technologie ist vorhanden und erprobt, und für die zukünftig notwendige Infrastruktur sind Konzepte vorhanden.

## 7 Kosten und Finanzierung der Entsorgung

### Wesentliche Unterschiede zwischen dem EP08 und dem EP16

Das erste Entsorgungsprogramm (Nagra 2008a) wurde von der Nagra im Auftrag der Entsorgungspflichtigen erstellt und 2008 beim Eidgenössischen Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) eingereicht. Das Entsorgungsprogramm 2008 (EP08) stützte sich auf die damals aktuellste Kostenstudie ab, die Kostenstudie 2006 (KS06). Da die Kostenstudie 2006 und das Entsorgungsprogramm 2008 bezüglich Kosten und zugehörigem Realisierungsplan zeitlich nicht abgestimmt waren, waren die Aussagen im EP08 bezüglich Kosten und Terminplänen nicht aktuell und konnten z.B. die Entwicklungen im Standortauswahlverfahren für die geologischen Tiefenlager nicht korrekt abbilden.

Der Bundesrat hat deshalb in seiner Verfügung vom 28. August 2013 (Bundesrat 2013) zum Entsorgungsprogramm 2008 der Entsorgungspflichtigen vorgegeben, dass das nächste Entsorgungsprogramm im Jahr 2016 gleichzeitig mit der Kostenstudie 2016 einzureichen ist. Damit ist sichergestellt, dass ab 2016 die Aussagen in Kostenstudie und Entsorgungsprogramm aufeinander abgestimmt sind und eine konsistente Darstellung der Informationen zur Entsorgung gewährleistet ist.

Die Kostenschätzung für die geologischen Tiefenlager beruht gemäss Vorgaben der Verwaltungskommission der Stilllegungs- und Entsorgungsfonds (im Folgenden als Kommission bezeichnet) auf den gleichen Modellstandorten wie die Kostenstudie 2011. Im Weiteren hat die Kommission für die Kostenstudien detaillierte Vorgaben bezüglich Kostenstruktur und bezüglich Erfassung und Darstellung von Zuschlägen für Prognoseungenauigkeiten, von Zuschlägen für Gefahren und von Abzügen für Chancen sowie bezüglich eines allfälligen zusätzlichen Sicherheitszuschlags zur Berücksichtigung des "optimism bias" gemacht.

### 7.1 Gesetzliche Vorgaben

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

In Kap. 7.3.1 wird ausführlicher auf den Stilllegungs- und Entsorgungsfonds und dessen historische Performance eingegangen. Die Fonds stellen die im Kernenergiegesetz<sup>73</sup> verankerte und in der Stilllegungs- und Entsorgungsverordnung präzisierte Finanzierungsform der Stilllegungs- und Entsorgungskosten nach Ausserbetriebnahme dar. Die einbezahlten Gelder werden dem direkten Zugriff der Eigentümer entzogen und von den staatlich kontrollierten Fonds verwaltet,

---

<sup>73</sup> KEG Art. 77.

welche die zweckgebundene Verwendung sicherstellen sollen. Zu keiner Zeit werden dadurch die Eigentümer von ihrer Kostentragungspflicht<sup>74</sup> entbunden, weder während noch nach Ende der Beitragspflicht<sup>75</sup>.

Zur Bestimmung der jährlichen Beiträge an den Stilllegungs- und den Entsorgungsfonds sowie für die Festlegung der Höhe der Rückstellungen der Eigentümer werden alle fünf Jahre die voraussichtlichen Stilllegungs- und Entsorgungskosten im Rahmen von Kostenstudien von den Eigentümern der Kernanlagen bzw. von den Entsorgungspflichtigen ermittelt (SEFV Art. 4). Die Kostenstudien stützen sich auf die Stilllegungsplanungen für die Kernanlagen, das Entsorgungsprogramm für die radioaktiven Abfälle, aktuelle technisch-wissenschaftliche Erkenntnisse sowie auf die zum Zeitpunkt der Berechnung gültigen Preise (SEFV Art. 4). Diese Kostenstudien werden in Bezug auf die für die Sicherheit relevanten Aspekte vom Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) sowie in Bezug auf die Kostenberechnung von unabhängigen Fachleuten überprüft (SEFV Art. 4).

Der Kostenstudie und dem Entsorgungsprogramm liegen unterschiedliche Ziele zugrunde. Das EP16 bildet den gegenwärtigen Stand der Planung zur geologischen Tiefenlagerung ab und berücksichtigt die vorhandenen Handlungsoptionen für die Realisierung der geologischen Tiefenlager in ergebnisoffener Form, ohne Vorentscheide zu Standorten oder zur detaillierten technischen Auslegung zu treffen.

Die Zielsetzung der Kostenstudie 2016 (KS16) ist eine hinreichend genaue, realistische und nachvollziehbare Kostenschätzung für die Bestimmung der Beiträge an den Stilllegungs- und den Entsorgungsfonds und für die Festlegung der Höhe der Rückstellungen für Stilllegungs- und Entsorgungskosten vor der Ausserbetriebnahme der Kernkraftwerke. Für die Ermittlung der Kosten für die geologischen Tiefenlager müssen modellhafte Annahmen bezüglich der Realisierung der geologischen Tiefenlager getroffen werden, ohne jedoch dabei Entscheide vorwegzunehmen oder Aussagen über Präferenzen zu treffen. Diese modellhaften Annahmen sind mit dem Entsorgungsprogramm vereinbar, stellen aber ebenso wie im EP16 keine vorzeitigen Festlegungen zu späteren Entscheidungen auf dem Weg zur Realisierung der geologischen Tiefenlager dar. Dementsprechend werden für wichtige Entscheide bei den Kosten auch alternative Varianten betrachtet.

---

<sup>74</sup> KEG Art. 31.

<sup>75</sup> SEFV Art. 7.

## 7.2 Geschätzte Kosten

KS16 ist die Basis für die nachfolgend aufgeführten Kosten.

Die jetzt eingereichte Kostenstudie berücksichtigt:

- die Angaben bezüglich der zu entsorgenden Abfälle in Kap. 2 (Tab. 2-2)
- die Beschreibung der Entsorgungsanlagen und Infrastruktur (für geologische Tiefenlager: vgl. Kap. 3.2, 3.3 und 3.4, für Zwischenlager: vgl. Kap. 6.1)
- den Realisierungsplan, insbesondere:
  - die Betriebszeiten der KKW und der Entsorgungsanlagen (für geologische Tiefenlager: vgl. die Tabellen in Anhang A.4 und die Beschreibung in Kap. 5.3, für Zwischenlager: vgl. Tab. 6-1 in Kap. 6.1)
  - die Entscheidungspunkte (Bewilligungen) für die noch zu realisierenden Entsorgungsanlagen (für geologische Tiefenlager: vgl. die Tabellen in Anhang A.4 und die Beschreibung in Kap. 5.3)
  - die wichtigsten Aktivitäten (für geologische Tiefenlager: vgl. Kap. 5.3 und die Tabellen in Anhang A.4)

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

- Wiederaufarbeitung
- Zwischenlagerung
- Beschaffung der Transport- und Lagerbehälter für die BE/HAA
- Transporte
- Vorbereitung, den Bau, den Betrieb, die Überwachung und den Verschluss des SMA-Lagers
- Vorbereitung, den Bau, den Betrieb, die Überwachung und den Verschluss des HAA-Lagers
- Stilllegung der Kernanlagen

Die Gesamtkosten der Entsorgung und Stilllegung gegliedert nach Themen sind in Tab. 7-1 aufgeführt. Sie belaufen sich auf 19'176 Mio. CHF für die Entsorgungskosten und 3'406 Mio. CHF für die Stilllegungskosten. Die angegebenen Kosten umfassen die bereits getätigten Ausgaben (aufgelaufene Kosten per Ende 2015) sowie die zukünftigen durch die Eigentümer direkt sowie über den Stilllegungs- bzw. Entsorgungsfonds zu finanzierenden Ausgaben (zukünftige Kosten ab 2016).

Tab. 7-2 zeigt die zeitliche Aufteilung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten. Auf die Finanzierung der jeweiligen Kosten wird in Kap. 7.3 eingegangen.

Tab. 7-1: Gesamtkosten der Entsorgung und Stilllegung gegliedert nach Themen.

Angaben (in Mio. CHF) gemäss swissnuclear (2016a), swissnuclear (2016b) und swissnuclear (2016c). Angaben ohne Klammern beinhalten die Kosten des Bunds; Angaben in Klammern entsprechen den Kosten ohne diejenigen des Bunds. Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt. PB16 bedeutet Preisbasis 2016.

<b>Themen</b>	<b>Kosten KS16/PB16</b>
Wiederaufarbeitung	2'762 (2'762)
Zwischenlagerung (ZWILAG) inklusive zentrale Abfallbehandlung	2'739 (2'686)
ZWIBEZ und KKG-Nasslager	156 (156)
Beschaffung Transport- und Lagerbehälter für BE/HAA	1'098 (1'096)
Transporte	303 (299)
SMA-Lager <sup>1), 2)</sup>	4'424 (3'361)
HAA-Lager inklusive Verpackungsanlage für BE/HAA <sup>2)</sup>	7'694 (7'630)
<b>Total Entsorgung</b>	<b>19'176</b> <b>(17'990)</b>
<b>Stilllegung der Kernkraftwerke und Zwischenlager <sup>3), 4)</sup></b>	<b>3'406</b>
<b>Gesamttotal</b>	<b>22'582</b> <b>(21'396)</b>

<sup>1)</sup> Ohne Kosten für die Stilllegungsabfälle (Gesamtkosten in der Höhe von 188 Mio. CHF)

<sup>2)</sup> Bei der Realisierung von zwei Einzellagern. Unter Berücksichtigung der Chance des Kombilagers ergeben sich folgende Kosten (s. Tab. 7-3 und 7-4): für SMA Kosten von 4'151 Mio. CHF (ohne Bund: 3'156 Mio. CHF), für HAA Kosten von 7'152 Mio. CHF (ohne Bund 7'099 Mio. CHF) bzw. für die Entsorgung Kosten von total 18'362 Mio. CHF (ohne Bund: 17'254 Mio. CHF).

<sup>3)</sup> Kostenschätzung basierend auf der Variante 'Abschluss der Stilllegung nach Entlassung aus dem Kernenergiegesetz'. Bei Variante 'Stilllegung einschliesslich konventioneller Rückbau' ergeben sich Gesamtkosten von 3'634 Mio. CHF.

<sup>4)</sup> Inklusiv Gesamtkosten für die Entsorgung der Stilllegungsabfälle in der Höhe von 188 Mio. CHF.

Tab. 7-2: Übersicht der zeitlichen Aufteilung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten.

Angaben in Mio. CHF. Angaben ohne Klammern basieren bei den Entsorgungskosten auf der Realisierung von zwei Einzellagern und bei den Stilllegungskosten auf der Variante 'Abschluss der Stilllegung nach Entlassung aus dem Kernenergiegesetz'. Angaben in Klammern berücksichtigen bei den Entsorgungskosten die Chance Kombilager und bei den Stilllegungskosten den konventionellen Rückbau. Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt. Preisbasis 2016.

	<b>Entsorgung</b>	<b>Stilllegung</b>	<b>Total</b>
Aufgelaufene Kosten bis Ende 2015	5'590 (5'590)	19 (19)	5'609 (5'609)
Ab 2016 bis Ausserbetriebnahme der Kernkraftwerke	2'069 (1'979)	228 (228)	2'297 (2'207)
Nach Ausserbetriebnahme der Kernkraftwerke	10'495 (9'850)	3'159 (3'387)	13'654 (13'237)
Zukünftiger Kostenanteil Bund ab 2016	1'022 (943)	- (-)	1'022 (943)
<b>Total</b>	<b>19'176</b> <b>(18'362)</b>	<b>3'406</b> <b>(3'634)</b>	<b>22'582</b> <b>(21'996)</b>

In Tab. 7-3 sind die Kosten für die Entsorgung und Stilllegung entsprechend der von der Kommission vorgegebenen Kostengliederung dargestellt. Die Tabelle enthält für die Entsorgungs- und Stilllegungskosten neben den Gesamtkosten auch Angaben zu den Basiskosten, den Zuschlägen für Prognoseungenauigkeiten und Gefahren sowie den Abzügen für Chancen. Gemäss Kostengliederung ergeben sich die Gesamtkosten aus der Summe von verschiedenen Kostenblöcken, die nachfolgend aufgeführt werden. Die Basiskosten setzen sich zusammen aus den Ausgangskosten sowie den Kosten zur Risikominderung. Zu den Basiskosten werden Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten addiert. Dann werden Zuschläge für Gefahren und Abzüge für Chancen eingerechnet. Wegen der konsequent einheitlich und umfassend erhobenen Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten, der Zuschläge für Gefahren bzw. der Abzüge für Chancen wird von einem zusätzlichen Sicherheitszuschlag zur Berücksichtigung des "optimism bias" abgesehen. Die Summe über alle Kostenblöcke ergibt die Gesamtkosten.

Tab. 7-3: Gesamtkostenschätzung für die Stilllegung und die Entsorgung mit Darstellung der Kostengliederung gemäss Vorgaben der Kommission.

Angaben in Mio. CHF gemäss swissnuclear (2016a) sind inklusive der Kosten des Bunds für die Entsorgung der MIF-Abfälle<sup>1)</sup>. Die Angaben basieren auf einem 50-jährigen Betrieb der KKW (KKM 47 Jahre). Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt. PB16 bedeutet Preisbasis 2016.

<b>Gesamtkosten KS16/PB16</b>	<b>Entsorgung</b>	<b>Stilllegung</b>	<b>Total</b>
<b>Aufgelaufene Kosten bis 2015</b>	<b>5'590</b>	<b>19</b>	<b>5'609</b>
<b>Zukünftige Kosten ab 2016</b>			
Ausgangskosten	10'197	2'622	12'819
Kosten zur Risikominderung	370	67	437
Basiskosten	10'567	2'689	13'256
Prognoseungenauigkeiten	1'877	301	2'178
Gefahren	1'373	491	1'864
Chancen	-230	-94	-324
Sicherheitszuschlag	-	-	-
<i>Zuschlag auf zukünftige Basiskosten</i>	<i>3'020</i>	<i>698</i>	<i>3'718</i>
<b>Gesamtkosten KS16/PB16</b>	<b>19'176</b>	<b>3'406</b>	<b>22'582</b>
Berücksichtigung Kombilager als Chance	-815	0	-815
<b>Gesamtkosten bei Berücksichtigung des Kombilagers als Chance (50 % gewichtet)</b>	<b>18'362</b>	<b>3'406</b>	<b>21'768</b>
<b>Gesamtkosten KS11 PB16</b>	<b>17'626</b>	<b>3'204</b>	<b>20'830</b>
<b>Differenz KS16 /KS11</b>	<b>1'551</b>	<b>202</b>	<b>1'753</b>
<b>Differenz KS16 /KS11 [in %]</b>	<b>8.8 %</b>	<b>6.3 %</b>	<b>8.4 %</b>

<sup>1)</sup> Der Bund ist verantwortlich für die Entsorgung der MIF-Abfälle. Für die diesbezüglichen Kosten werden keine Beiträge an den Stilllegungs- und den Entsorgungsfonds geleistet. Zwischen den Eigentümern der Kernanlagen und dem Bund bzw. anderen Organisationen aus dem MIF-Bereich wird eine Vereinbarung über deren Beteiligung an den Erstellungskosten der geologischen Tiefenlager zu erarbeiten sein. Gemäss KEG Art. 38 haben die Inhaber der geologischen Tiefenlager Anrecht auf eine kostendeckende Entschädigung für einzulagernde Abfälle Dritter.

Die Kosten für die geologischen Tiefenlager sind in Tab. 7-4 entsprechend der von der Kommission vorgegebenen Kostengliederung für das HAA-Lager, das SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager aufgeführt; dabei wird von einer 47-jährigen Betriebszeit für KKM und einer 50-jährigen Betriebszeit für die anderen Kernkraftwerke ausgegangen. Weiter sind in Tab. 7-4 als Variante auch Gesamtkosten für den Fall aufgeführt, bei dem die Realisierung eines Kombilagers anstelle von zwei Einzellagern als Chance mit einem Gewicht von 50 % berücksichtigt wird.

Tab. 7-4 zeigt, dass die Ausgangskosten etwa 70 % der Gesamtkosten betragen und dass etwas mehr als 5 % der Gesamtkosten für Massnahmen zur Risikominderung aufgewendet werden. Die Basiskosten betragen rund 80 % der Gesamtkosten. Die nach Abzug der aufgelaufenen

Kosten (rund 10 %) resultierenden zukünftigen Basiskosten betragen rund 65 % der Gesamtkosten. Die gesamthaft getätigten Zuschläge und Abzüge für Ungenauigkeiten, Gefahren und Chancen betragen rund 35 % der zukünftigen Basiskosten.

Tab. 7-4: Detaillierte Aufstellung der Gesamtkosten für das HAA- und SMA-Lager und die Variante Kombilager sowie Gesamtkosten mit Berücksichtigung der Variante Kombilager als Chance.

Angaben in Mio. CHF gemäss swissnuclear (2016b); Kostengliederung gemäss Vorgaben der Kommission.

Die Realisierung des Kombilagere anstelle der zwei Einzellager wird als Chance berücksichtigt.

Kostengliederung gemäss Vorgaben der Kommission. In den Zahlen sind die Gesamtkosten für die Einlagerung der Stilllegungsabfälle in der Höhe von 188 Mio. CHF nicht berücksichtigt. Die Angaben basieren auf einem 50-jährigen Betrieb der KKW (KKM 47 Jahre). Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

	HAA-Lager		SMA-Lager		Total Einzellager		Kombilager	
	[in % Gesamtkosten]	[MCHF]	[in % Gesamtkosten]	[MCHF]	[in % Gesamtkosten]	[MCHF]	[in % Gesamtkosten]	[MCHF]
<b>Ausgangskosten</b>	71 %	<b>5'453</b>	73 %	<b>3'209</b>	71 %	<b>8'662</b>	70 %	<b>7'292</b>
Kosten zur Risikominderung	6 %	433	7 %	326	6 %	759	7 %	741
<b>Basiskosten</b>	77 %	<b>5'886</b>	80 %	<b>3'535</b>	78 %	<b>9'421</b>	77 %	<b>8'033</b>
Aufgelaufene Kosten	9 %	723	13 %	573	11 %	1'296	12 %	1'296
Zukünftige Basiskosten	67 %	5'163	67 %	2'962	67 %	8'125	64 %	6'737
Zuschläge für Ungenauigkeiten	14 %	1'103	14 %	606	14 %	1'708	14 %	1'418
Zuschläge für Gefahren	9 %	721	9 %	415	9 %	1'128	9 %	991
Abzüge für Chancen	-2 %	-154	-2 %	-76	-2 %	-230	-1 %	-64
Zusätzlicher Sicherheitszuschlag	0 %	0	0 %	0	0 %	0	0 %	0
<b>Gesamtkosten</b>	98 %	<b>7'546</b>	101 %	<b>4'480</b>	99 %	<b>12'026</b>	99 %	<b>10'377</b>
Mehr-/Minderkosten Standortvarianten (gewichtet)	2 %	148	-1 %	-56	1 %	92	1 %	112
Zuschläge auf zukünftige Basiskosten	23 %	1'808	20 %	88	22 %	2'697	23 %	2'456
Zuschläge auf zukünftige Basiskosten [%] <sup>1)</sup>	35 %		30 %		33 %		36 %	
Zuschläge für Ungenauigkeiten [%] <sup>1)</sup>	21 %		20 %		21 %		21 %	
Zuschläge für Gefahren [%] <sup>1)</sup>	17 %		12 %		15 %		16 %	
Abzüge für Chancen [%] <sup>1)</sup>	-3 %		-3 %		-3 %		-1 %	
<b>Gesamtkosten inklusive Standortvarianten</b>	100 %	<b>7'694</b>	100 %	<b>4'424</b>	100 %	<b>12'118</b>	100 %	<b>10'489</b>
Berücksichtigung Kombilager als Chance	-7 %	-542	-6 %	-273	-7 %	-815		
<b>Gesamtkosten bei Berücksichtigung des Kombilagere als Chance (50 % gewichtet)</b>	93 %	<b>7'152</b>	94 %	<b>4'151</b>	93 %	<b>11'303</b>		

<sup>1)</sup> In Prozent der zukünftigen Basiskosten.

### 7.3 Finanzierung

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

#### 7.3.1 Staatlich kontrollierte Fonds

Das Kernenergiegesetz<sup>76</sup> verpflichtet die Eigentümer der Kernanlagen, zur Sicherstellung der Finanzierung der Stilllegung und der Entsorgung Beiträge an die entsprechenden Fonds zu leisten.

Der Stilllegungsfonds soll die Finanzierung der Kosten für die Stilllegung der Kernanlagen sowie für die Entsorgung der dabei entstehenden Abfälle sicherstellen. Der Fonds besteht seit 1984. Die während des Betriebs anfallenden Stilllegungskosten werden analog den Entsorgungskosten vor Ausserbetriebnahme direkt von den Eigentümern bezahlt.

Der Entsorgungsfonds soll die Finanzierung der Kosten für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle und der abgebrannten Brennelemente nach der Ausserbetriebnahme eines Kernkraftwerks sicherstellen. Der Entsorgungsfonds wurde im Jahr 2000 gegründet. Im Kernenergiegesetz<sup>77</sup> wird unterschieden zwischen Entsorgungskosten, die während des Betriebs und solchen, die nach Ausserbetriebnahme eines Kernkraftwerks anfallen. Die während des Betriebs anfallenden Entsorgungskosten werden gemäss Kernenergiegesetz<sup>78</sup> von den Eigentümern direkt aus eigenen Mitteln bezahlt.

Die beiden Fonds stellen sicher, dass nach endgültiger Ausserbetriebnahme der Kernkraftwerke genügend finanzielle Mittel vorhanden sind, um sämtliche noch ausstehenden Entsorgungs- und Stilllegungsaufwendungen zu decken.

Die beiden Fonds stehen unter der Aufsicht des Bundesrats<sup>79</sup>.

Zusätzlich zur Einzahlungspflicht in die Fonds sieht das Kernenergiegesetz weitere Sicherungsmassnahmen und eine Nachschusspflicht der Eigentümer vor<sup>80</sup>.

#### Fondsvermögen und Entwicklung der Anlagerenditen

Tab. 7-5 zeigt das Stilllegungs- und Entsorgungsfondsvermögen und das Soll-Vermögen der Fonds per 31.12.2015 gemäss den jeweiligen Jahresberichten der Fonds<sup>81</sup>.

---

<sup>76</sup> KEG Art. 77.

<sup>77</sup> KEG Art. 77 Abs. 2.

<sup>78</sup> KEG Art. 82.

<sup>79</sup> SEFV Art. 20 Abs. 2 und Art. 29a Abs. 1.

<sup>80</sup> KEG Art. 79 – 80.

<sup>81</sup> Siehe STENFO (2016): [www.stenfo.ch](http://www.stenfo.ch).

Tab. 7-5: Stand Soll-Ist-Fondsvermögen per 31.12.2015.

	Stilllegungsfonds	Entsorgungsfonds
Soll-Betrag per 31.12.2015 bei einer Anlagerendite von 3.5 %	1'972	4'101
Ist-Betrag per 31.12.2015 nach effektiver Rendite	2'000	4'223
Überschuss/(Unterdeckung)	28	122
Überschuss/(Unterdeckung) [in %]	1.41 %	2.97 %

Tab. 7-6 zeigt die erzielte annualisierte Anlagerendite des Stilllegungs- und Entsorgungsfonds seit der erstmaligen Einlage in die Fonds bis 31.12.2015 im Vergleich zur Soll-Anlagerendite gemäss SEFV (2007).

Tab. 7-6: Historisch erzielte annualisierte Anlagerendite seit Gründung der Fonds im Vergleich mit der Anlagerendite gemäss SEFV (2007).

Siehe Jahresberichte der Fonds (STENFO (2016): [www.stenfo.ch](http://www.stenfo.ch)).

<b>Stilllegungsfonds</b>			
	Effektive Werte 1.1.1985 – 31.12.2015	Budgetierte Werte	Differenz
Anlagerendite des Portefeuilles	4.75 % (p.a.)	3.5 % (p.a.)	1.25 % (p.a.)
Abzüglich Teuerung	0.84 % (p.a.)	1.5 % (p.a.)	-0.66 % (p.a.)
Realrendite des Portefeuilles	3.91 % (p.a.)	2.0 % (p.a.)	1.91 % (p.a.)
<b>Entsorgungsfonds</b>			
	Effektive Werte Q1 2002 – 31.12.2015	Budgetierte Werte	Differenz
Anlagerendite des Portefeuilles	3.21 % (p.a.)	3.5 % (p.a.)	-0.29 % (p.a.)
Abzüglich Teuerung	0.31 % (p.a.)	1.5 % (p.a.)	-1.19 % (p.a.)
Realrendite des Portefeuilles	2.9 % (p.a.)	2.0 % (p.a.)	0.9 % (p.a.)

### 7.3.2 Eigene Vorsorge der Eigentümer

Vor der Ausserbetriebnahme anfallende Kosten werden durch die Eigentümer direkt bezahlt.

Die mit dem Nachbetrieb verbundenen Aufwendungen werden als Teil der Betriebskosten betrachtet. Auch sie sind, entsprechend dem im Kernenergiegesetz<sup>82</sup> verankerten Verursacherprinzip, durch die Eigentümer zu tragen. Der Nachbetrieb wird von den Eigentümern direkt finanziert.

### 7.3.3 Rückstellungen für Kosten vor Ausserbetriebnahme

Die Eigentümer bilden auf Basis der jeweiligen Kostenstudien Rückstellungen für Kosten vor Ausserbetriebnahme. Deren externe Revisionsstellen prüfen, ob die Eigentümer Rückstellungen für Stilllegungs- und Entsorgungskosten vor der Ausserbetriebnahme mindestens in Höhe des von der Kommission genehmigten Rückstellungsplans gebildet und zweckgebunden verwendet haben<sup>83</sup>. Die Eigentümer legen der Kommission diesen Prüfbericht vor<sup>84</sup>.

## 7.4 Zusammenfassung

Zur Festlegung der Beiträge für den Stilllegungs- und Entsorgungsfonds und der durch die Eigentümer der Kernanlagen zu tätigen Rückstellungen werden die Kosten der Entsorgung und der Stilllegung periodisch geschätzt. Die letzte Kostenstudie wurde 2011 durchgeführt und von den Behörden (ENSI) geprüft. Die Kommission des Stilllegungs- und Entsorgungsfonds stellte anschliessend dem UVEK für jede Kernanlage einen Antrag auf Festlegung der voraussichtlichen Höhe der Stilllegungs- und Entsorgungskosten.

Gemäss der Verfügung des Schweizer Bundesrats zum Entsorgungsprogramm 2008 vom 28.08.2013 (Bundesrat 2013) wird das Entsorgungsprogramm erstmalig zeitgleich mit den Kostenstudien eingereicht.

Die Kostenstudie 2016 ist die Basis für die im vorliegenden Entsorgungsprogramm aufgeführten Kosten. Die Finanzierung der zukünftigen Kosten erfolgt einerseits direkt durch die Eigentümer (Kosten vor Ausserbetriebnahme der Kernkraftwerke) und andererseits über den Stilllegungs- und Entsorgungsfonds für die Kosten der Stilllegungs- und Entsorgungsaufgaben nach Ausserbetriebnahme der Kernkraftwerke. Die Eigentümer sind verpflichtet, dafür jährliche Beiträge an die Fonds zu leisten. Die Fonds entbinden die Eigentümer jedoch nicht von der im Kernenergiegesetz verankerten Kostentragungspflicht<sup>85</sup>. Sie dienen vielmehr der Sicherstellung der Geldmittel für die Stilllegungs- und Entsorgungskosten nach Ausserbetriebnahme der Kernkraftwerke.

---

<sup>82</sup> KEG Art. 31 Abs. 1.

<sup>83</sup> KEG Art. 82 Abs. 2 Bst. C.

<sup>84</sup> Vgl. KEG Art. 82 Abs. 3 und SEFV Art. 19 Abs. 2.

<sup>85</sup> KEG Art. 31.

## 8 Informationskonzept

### Wesentliche Unterschiede zwischen dem EP08 und dem EP16:

Das vorliegende Informationskonzept unterscheidet sich nur unwesentlich von demjenigen im EP08. Neu wurde im von allen Mitarbeitenden der Nagra gemeinsam erarbeiteten Verhaltenskodex der Nagra von 2013 (Nagra 2013h) die bestehende Grundhaltung zum Informationsverständnis auch kodifiziert: Die Nagra informiert einerseits aktiv, steht andererseits aber auch für Fragen aller Anspruchsgruppen zur Verfügung. Bei grenznahen Projekten informiert sie nach Möglichkeit das benachbarte Ausland gleichberechtigt.

Die Kommunikationsinstrumente werden laufend den Entwicklungen angepasst, beispielsweise durch die Aktualisierung der Auftritte an Messen und Gewerbeausstellungen. So wurde von 2012 bis 2015 die Erlebnisausstellung "Time Ride" erfolgreich eingesetzt, um Sachinformation auf unterhaltsame Art und Weise zu vermitteln. Sie wurde 2015 von einer kleineren, flexibel einsetzbaren weiteren Erlebnisausstellung abgelöst. Auch den an Bedeutung gewinnenden sozialen Medien wird Rechnung getragen.

### 8.1 Informationsauftrag

Das internationale Übereinkommen über die Sicherheit der Behandlung abgebrannter Brennelemente und über die Sicherheit der Behandlung radioaktiver Abfälle (IAEA 1997) misst der Information der Öffentlichkeit einen hohen Stellenwert bei. So wird die *"Erkenntnis, dass es wichtig ist, die Öffentlichkeit über Fragen der Sicherheit der Behandlung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle aufzuklären"* als vierter Punkt in der Präambel des Abkommens aufgeführt. Gleichzeitig bekräftigt das Abkommen als sechsten Punkt, *"dass die Verantwortung für die Gewährleistung der Sicherheit der Behandlung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle letztlich beim Staat liegt"*. Diese Punkte des Übereinkommens sind in der nationalen Gesetzgebung der Schweiz umgesetzt. Beispielsweise bestimmt Art. 74 des KEG betreffend Information der Öffentlichkeit: *"Die zuständigen Behörden informieren die Öffentlichkeit regelmässig über den Zustand der Kernanlagen und über Sachverhalte, welche die nuklearen Güter und radioaktiven Abfälle betreffen."* Die Bewilligungs- und Aufsichtsbehörden haben also einen gesetzlichen Informationsauftrag. Dieser Informationsauftrag kommt im Bereich Entsorgung, insbesondere im Sachplanverfahren und danach bei den Bewilligungsverfahren nach KEG (2003) zum Tragen.

Nach dem Verursacherprinzip obliegt den Entsorgungspflichtigen die Aufgabe der sicheren Entsorgung und geologischen Tiefenlagerung der radioaktiven Abfälle. Daher kommt ihnen neben den Bewilligungs- und Aufsichtsbehörden ebenfalls eine wichtige Rolle in der Öffentlichkeitsarbeit zu. Im erläuternden Bericht zur Vernehmlassung der KEV schreibt das BFE betreffend Informationskonzept im Entsorgungsprogramm: *"Nicht zuletzt spielen Öffentlichkeitsarbeit und Transparenz in einem politisch sensiblen Bereich wie der nuklearen Entsorgung eine entscheidende Rolle. Deshalb müssen die Entsorgungspflichtigen im Entsorgungsprogramm auch Angaben zu ihrem Informationskonzept liefern."* Die Behörden weisen den Entsorgungspflichtigen also ebenfalls einen Informationsauftrag zu, und sie (resp. die von ihnen beauftragte Nagra) haben im Entsorgungsprogramm zuhanden der Behörden darzulegen, wie sie diesen Auftrag wahrnehmen.

## 8.2 Klare Rollenteilung zwischen Bewilligungs- und Aufsichtsbehörden sowie der Nagra

Den einzelnen Akteuren bei der nuklearen Entsorgung kommen unterschiedliche Rollen zu. Wie internationale Erfahrungen zeigen, ist es wichtig, dass diese unterschiedlichen Aufgaben von der Öffentlichkeit verstanden werden und die beteiligten Organisationen entsprechend wahrgenommen werden.

Im Konzeptteil des SGT (BFE 2008) sind die wichtigsten Akteure für die Standortwahl im Rahmen des Sachplans benannt (Fig. 8-1), ihre Rollen mittels Pflichtenheften definiert und auch die Beteiligungsmöglichkeiten aufgezeigt.

**Bewilligungsbehörden:** Im Rahmen des Sachplans geologische Tiefenlager und der nachfolgenden Bewilligungsverfahren nach KEG (2003) liegt die Federführung und damit die Verfahrensinformation bei den Bewilligungsbehörden (in erster Linie dem BFE), die dafür zuständig sind, der Bevölkerung in geeigneter Weise die Mitwirkung am Verfahren zu ermöglichen. Sie ziehen dazu in der Regel die Aufsichtsbehörden und fallweise die Nagra mit ihrem Expertenwissen bei.

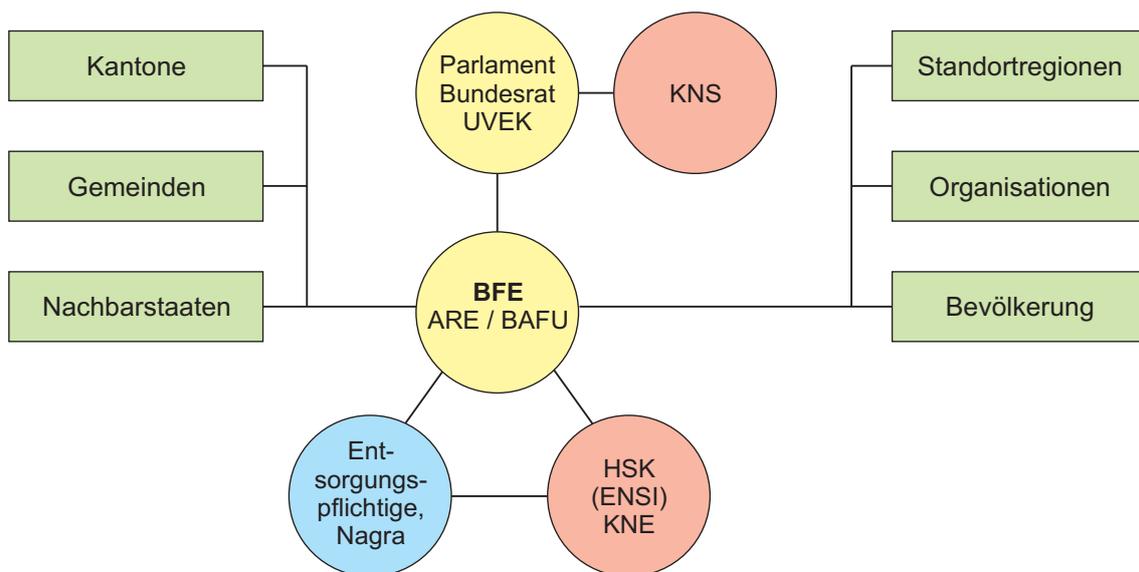


Fig. 8-1: Darstellung der verschiedenen Akteure im SGT.

Die Federführung liegt beim BFE (Bundesamt für Energie).

**Aufsichtsbehörden:** Die Aufsichtsbehörden (insbesondere das ENSI) nehmen zu Gesuchen und zum Betrieb von Entsorgungsanlagen betreffend Sicherheit Stellung und gewährleisten gegenüber der Bevölkerung die Einhaltung der Sicherheitsbestimmungen. Sie informieren die Öffentlichkeit über ihre Ergebnisse und sind Ansprechpartner für Sicherheitsfragen. Das ENSI leitet in dieser Funktion z.B. das 'Technische Forum Sicherheit'.

**Nagra:** Die Nagra ist von den Entsorgungspflichtigen mit der Vorbereitung, dem Bau und dem Betrieb der geologischen Tiefenlager beauftragt. In dieser Rolle informiert die Nagra über ihre Arbeiten, Untersuchungsergebnisse, Projekte und später über den Bau und Betrieb der Anlagen. Sie pflegt einen aktiven Dialog mit Interessierten. Ihr Informationskonzept dazu wird im Folgenden dargestellt.

### 8.3 Informationsverständnis der Nagra

Die Öffentlichkeit hat Anspruch darauf, zu erfahren, wie die Nagra ihren Auftrag erfüllt. Die Nagra hat sich dazu ein Leitbild gegeben. Es fasst die Ziele und Grundsätze ihrer Arbeit zusammen. Zum Informationsverständnis wird folgender Grundsatz festgehalten, welcher die Basis für die Informationstätigkeit darstellt: *"Wir können unseren Auftrag nur erfüllen, wenn unsere Arbeit bei der Bevölkerung breite Akzeptanz findet. Wir informieren deshalb frühzeitig, regelmäßig und ohne Vorbehalte über den Stand unserer Arbeiten und über unsere Vorhaben."*

Diese Grundhaltung ist auch im Verhaltenskodex der Nagra (Nagra 2013h) wiedergegeben: *"Die Information der Anspruchsgruppen über die Ergebnisse unserer Arbeiten gehört zu unserer Verantwortung. Damit leisten wir einen Beitrag zum gesellschaftlichen Entscheidungsprozess."*

Die Nagra informiert einerseits aktiv, steht andererseits aber auch für Fragen zu Verfügung. Bei grenznahen Projekten informiert sie nach Möglichkeit das benachbarte Ausland gleichberechtigt.

Die Nagra informiert Interessierte und die Öffentlichkeit über verschiedene Kanäle transparent und allgemein verständlich über ihre Arbeiten, Untersuchungsergebnisse und Projekte. Die detaillierten Ergebnisse werden in Nagra Technischen Berichten (NTB) publiziert und sind öffentlich zugänglich. Sie ermöglichen insbesondere der interessierten Fachwelt eine kritische Beurteilung der Resultate.

Aus der Überzeugung heraus, dass es wichtig ist, den Anliegen und Fragen aller interessierten Kreise Rechnung zu tragen, will die Nagra ein offener Gesprächspartner sein, auf die von aussen an sie herangetragenen Anliegen eingehen und diese soweit machbar bei ihren weiteren Arbeiten berücksichtigen.

### 8.4 Zielsetzung und Inhalte der Öffentlichkeitsarbeit der Nagra

**Generelles Verständnis zur nuklearen Entsorgung:** Die Informationsarbeit der Nagra hat zum Ziel, die Anliegen der verschiedenen Anspruchsgruppen kennen zu lernen und sie über die nukleare Entsorgung allgemein sowie die Tätigkeiten der Nagra im Besonderen zu informieren. Der Öffentlichkeit sollen die Gründe transparent dargelegt werden, warum die radioaktiven Abfälle in geologischen Tiefenlagern eingeschlossen werden sollen. Die Bevölkerung und die Politik sollen in die Lage versetzt werden, den Handlungsbedarf zu erkennen und sich zu den konkreten Projekten im Sachplanverfahren eine objektive Meinung bilden zu können. In den nächsten Jahren sind folgende Informationsinhalte wichtig:

- Die Schweiz hat radioaktive Abfälle zu entsorgen. Heute werden diese sicher in Zwischenlagern aufbewahrt. Langfristig sind aber Anlagen nötig, welche den dauerhaft sicheren Einschluss auch ohne Wartung und Unterhalt gewährleisten, d.h. die passiv sicher sind.
- Der Gesetzgeber hat nach vertiefter Evaluation<sup>86</sup> klare Vorschriften zur dauerhaften Entsorgung erlassen. Die vorgeschriebene geologische Tiefenlagerung gewährt für alle radioaktiven Abfälle langfristig einen sicheren Einschluss. Mit der Genehmigung der Entsorgungsnachweise für alle Abfallkategorien wurde vom Bundesrat bestätigt, dass die für die anfallenden Abfälle benötigten Tiefenlager in der Schweiz sicher erstellt werden können.

---

<sup>86</sup> 1999 setzte der Bund die Expertengruppe "Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle" (EKRA) ein. Diese erarbeitete die Grundlagen für einen Vergleich verschiedener Entsorgungskonzepte. In ihrem Bericht vom Januar 2000 schlug sie das Konzept der kontrollierten geologischen Langzeitlagerung vor, welches die Endlagerung mit der Möglichkeit der Reversibilität kombiniert. Dieses Konzept wurde im Kernenergiegesetz unter dem Begriff "geologisches Tiefenlager" aufgenommen.

- Aus ethischer Verantwortung sollen die zur Tiefenlagerung notwendigen Anlagen unabhängig von der Diskussion um die weitere Kernenergienutzung in der Schweiz zielstrebig realisiert werden.
- Die Standortwahl der Tiefenlager erfolgt unter Leitung des Bunds im Sachplanverfahren geologische Tiefenlager (SGT), transparent und ergebnisoffen mit Einbezug aller Betroffenen.
- Die Rollen der Beteiligten sind klar definiert. Das Bundesamt für Energie leitet als federführendes Amt das Sachplanverfahren und die folgenden Bewilligungsverfahren. Die technisch-wissenschaftlichen Grundlagen für Verfahren und Gesuche werden von der Nagra im Auftrag der Entsorgungspflichtigen bereitgestellt und von den Aufsichtsbehörden überprüft. Die Aufsichtsbehörden sind von den Bewilligungsbehörden unabhängig.

**Informationsanspruch in Standortregionen:** Die Bevölkerung in Standortregionen für Tiefenlager hat einen besonderen Informationsanspruch, insbesondere zur Meinungsbildung im Zusammenhang mit Partizipationsmöglichkeiten in den verschiedenen Verfahren. Die Nagra trägt diesem Umstand durch entsprechende Schwerpunktsetzung in ihrer Öffentlichkeitsarbeit Rechnung. Die Nagra ist bestrebt, ein verlässlicher, dialogorientierter Partner für Behörden und Bevölkerung in diesen Regionen zu sein.

Für die Information der Behörden der Standortregionen, der Gremien der regionalen Partizipation und der interessierten Öffentlichkeit stehen in den nächsten Jahren folgende Schwerpunkte im Vordergrund:

- Information über die Planung und Durchführung der in den geologischen Standortgebieten anstehenden Arbeiten der Nagra
- Darlegung der Gründe für die technisch-wissenschaftlichen Vorschläge der Nagra im Rahmen des Standortauswahlverfahrens
- Stufengerechte Information zu den geplanten Anlagen an der Oberfläche und im Untergrund
- Allgemeine Information über das generelle Entsorgungskonzept und dessen schrittweise Umsetzung

Diese Informationen können sowohl via Medien Verbreitung finden oder aber in direktem Dialog an lokalen Anlässen, je nach Möglichkeit und Bedarf der Regionen auch an Ausstellungen oder im Rahmen von Vorträgen.

## 8.5 Kommunikationsinstrumente

Neben der öffentlich zugänglichen wissenschaftlich-technischen Berichterstattung in Nagra Technischen Berichten (NTB), Arbeitsberichten sowie Themenheften und Broschüren für die interessierten Bürgerinnen und Bürger, welche alle sowohl online als auch als Papierkopie erhältlich sind, nutzt die Nagra verschiedene weitere Kommunikationsinstrumente, um mit Interessierten ins Gespräch zu kommen oder sie zu informieren. Dabei ist zu beachten, dass hier eine laufende Weiterentwicklung stattfindet. Das im Folgenden beschriebene Instrumentarium ist daher als Momentaufnahme zu verstehen. Durch einen kontinuierlichen Anpassungsprozess an die Bedürfnisse der Anspruchsgruppen und die Verfahrensschritte werden die Instrumente auf aktuellem Stand gehalten. Dazu werden projektspezifisch auch verschiedene externe Spezialisten beigezogen.

**Medien:** Die Medienarbeit der Nagra ist insbesondere im Rahmen des SGT wichtig. Die Nagra liefert in aktiver Form regelmässig Informationen zu relevanten Themen und Ereignissen an die Medienschaffenden und steht bei spezifischen Anfragen als Gesprächspartnerin zur Verfügung. Bei besonderen Anlässen wird mittels Medienmitteilung informiert. Einmal im Jahr werden die Vertreter der Medien zu einem Mediengespräch eingeladen.

Integriert in einen **Medienverbund** werden auch die an Bedeutung gewinnenden sozialen Medien nach Möglichkeit als Informationsmittel berücksichtigt. Die Nagra betreibt neben einer eigenen Homepage auch Blogs und hat die kostenlos erhältliche App "Entsorgung Erleben" entwickelt.

Die internetbasierten Informationsmittel werden durch verschiedene eigene **Printprodukte** (Themenhefte und Broschüren) ergänzt. Mit einzelnen Themenbroschüren werden ausgewählte Fragen aufgearbeitet. Aktuelle Informationen werden zweimal jährlich in einem gedruckten **Newsletter** weitergegeben. Mit einem ausführlichen **Geschäftsbericht** informiert die Nagra jeweils über das vergangene Geschäftsjahr und den Fortschritt ihrer Arbeiten. Die Printprodukte können gedruckt bezogen werden und stehen auch als Download über das Internet zur Verfügung.

**Führungen und Besichtigung von Anlagen und Arbeiten im Feld:** Für einen Einblick in die heutige Abfallbehandlung und die Zwischenlagerung der radioaktiven Abfälle können die Anlagen des zentralen Zwischenlagers in Würenlingen besichtigt werden. Besuche können direkt bei der Betreiberin, der ZWILAG oder über die Nagra organisiert werden. Weiter besteht die Möglichkeit der Besichtigung der Kernkraftwerke, insbesondere ihrer Informationspavillons.

In ihrem Felslabor Grimsel oder im internationalen Felslabor Mont Terri in St. Ursanne, das von swisstopo betrieben wird, bietet die Nagra für Gruppen Besichtigungen an. Mit dem Besucherzentrum Mont Terri mit einer permanenten Ausstellung und Vortragsräumen steht die notwendige Infrastruktur zur Verfügung, um rund 5'000 Besucherinnen und Besucher pro Jahr zu empfangen. Interessierte können sich vor Ort ein Bild über die laufenden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten machen und mit den Mitarbeitenden ihre Fragen diskutieren. Die Nagra organisiert jährlich für die Bevölkerung mehrere Besuchstage in den beiden Felslabors.

Bei grösseren Feldarbeiten wie z.B. seismischen Untersuchungen bietet die Nagra wie bisher (z.B. 3D-Seismik 2015/16) Führungen oder Tage der offenen Tür vor Ort an. Bei stationären Feldarbeiten (v.a. Tiefbohrungen) ist vorgesehen, Informationscontainer für Besuchende einzurichten.

Nach der Erteilung einer Rahmenbewilligung wird die Möglichkeit bestehen, die an den Standorten der zukünftigen Tiefenlager erstellten Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen zu besichtigen. Während der schrittweisen Realisierung der Tiefenlager ist geplant, die im Bau befindlichen oder erstellten Anlagen für Besichtigungen zugänglich zu machen. Ab Baubeginn der Anlagen sind permanente Informationsausstellungen vorgesehen. Bei den Lagerprojekten sind Besucherkonzepte geplant, welche die Besichtigung der in Betrieb befindlichen Anlagen erlauben.

**Informationsreisen:** Seit vielen Jahren organisiert die Nagra für Entscheidungsträgerinnen und -träger aus Wirtschaft, Politik und Behörden Informationsreisen zu Entsorgungsanlagen im Ausland. Den Teilnehmern aus dem gesamten politischen Spektrum wird Gelegenheit gegeben, sich über die Entsorgungskonzepte anderer Staaten vor Ort zu informieren und Anlagen, die in Betrieb sind oder sich im Bau befinden, zu besichtigen und mit den Verantwortlichen ins Gespräch zu kommen.

**Vorträge, Informations- und Diskussionsveranstaltungen:** Auf Anfrage orientieren Mitarbeitende der Nagra in Vorträgen interessierte Bevölkerungskreise und Organisationen, Parteien, Verbände, Vereine oder die breite Öffentlichkeit über die nukleare Entsorgung sowie über ihre laufenden Arbeiten und Projekte. Die Nagra beteiligt sich auch an Podiums- und Diskussionsveranstaltungen. Bei Bedarf unterstützt sie die Behörden bei deren Informationsveranstaltungen. Die Nagra besucht auch aktiv Veranstaltungen von Organisationen, die ihren Arbeiten kritisch gegenüberstehen, und steht dabei Rede und Antwort zu Fragen oder bei Diskussionen.

**Informationstour und Ausstellungen an Messen:** Die Nagra beteiligt sich jedes Jahr mit eigenen Ausstellungsständen an Publikumsmessen. Nagra-Mitarbeitende suchen das direkte Gespräch mit den Besuchern und beantworten Fragen. Die von 2012 bis 2015 durchgeführte Erlebnisausstellung "TIME RIDE" hat dabei Sachinformation auf unterhaltsame Art und Weise vermittelt und damit breite positive Beachtung gefunden. Insgesamt besuchten rund 182'000 Personen diese Ausstellung und nutzten dabei die Gelegenheit, mit Mitarbeitern der Nagra ins Gespräch zu kommen. Sie wurde Ende 2015 von einer kleineren, flexibel einsetzbaren weiteren Erlebnisausstellung abgelöst.

**Fachkongresse und Tagungen:** Die Mitarbeitenden der Nagra stellen ihre Arbeiten regelmässig der Fachwelt an Kongressen und Tagungen vor. Wichtige Resultate werden in anerkannten Fachzeitschriften publiziert.

## 8.6 Planung und Durchführung der Öffentlichkeitsarbeit der Nagra

Für die Planung und Durchführung der Öffentlichkeitsarbeit steht der Nagra gut ausgebildetes und erfahrenes Fachpersonal zur Verfügung. Dieses wird intern fallweise verstärkt durch den Beizug von Nagra-Projektleiterinnen und Projektleitern. Die kontinuierliche Schulung und Weiterbildung der Mitarbeitenden hat zum Ziel, den sich ändernden Dialog- und Informationsansprüchen gerecht zu werden und aktuelle, laufend weiter entwickelte Kommunikationsmittel einzusetzen. Die Öffentlichkeitsarbeit wird intern periodisch auf ihre Effizienz und Wirksamkeit überprüft.

Die Nagra verfolgt die internationale Entwicklung im Bereich Öffentlichkeitsarbeit und Interaktion mit verschiedenen Anspruchsgruppen. Dazu pflegt sie den Austausch mit Organisationen anderer Staaten, die ähnliche Aufgaben haben. Seit längerer Zeit ist sie im "Forum on Stakeholder Confidence" der "Nuclear Energy Agency" (NEA) der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) vertreten.

## 8.7 Zusammenfassung

Im Hinblick auf die Realisierung der benötigten Tiefenlager sind ein aktiver Dialog mit den Interessierten und eine umfassende Information der Öffentlichkeit zu allen Fragen der nuklearen Entsorgung entscheidend. Die Bevölkerung soll in die Lage versetzt werden, die unterschiedlichen Rollen der beteiligten Akteure zu verstehen. Im Rahmen des Sachplans geologische Tiefenlager und der nachfolgenden Bewilligungsverfahren nach Kernenergiegesetz liegt die Federführung und damit die Verfahrensinformation bei den Bewilligungsbehörden (in erster Linie dem BFE), die dafür zuständig sind, der Bevölkerung in geeigneter Weise die Mitwirkung an den Verfahren zu ermöglichen. Sie können dazu die Aufsichtsbehörden und fallweise die Nagra mit ihrem Fachwissen beiziehen. Die Aufsichtsbehörden (insbesondere das ENSI) nehmen zu Gesuchen und dem Betrieb von Kernanlagen betreffend Sicherheit Stellung und gewährleisten mit ihrer Tätigkeit als unabhängige Instanz die Einhaltung der Sicherheitsbestimmungen. Sie informieren die Öffentlichkeit über die Ergebnisse ihrer Aufsicht und sind deren Ansprechpart-

ner für Sicherheitsfragen. Die Nagra ist von den Entsorgungspflichtigen mit der Vorbereitung, dem Bau und dem Betrieb der Tiefenlager beauftragt. In dieser Rolle informiert die Nagra über ihre Arbeiten, Untersuchungsergebnisse, Projekte und später über den Bau und Betrieb der Anlagen. Sie pflegt einen aktiven Dialog mit Interessierten.

Die Nagra informiert frühzeitig, regelmässig und ohne Vorbehalte über den Stand ihrer Arbeiten und über ihre Vorhaben. Ihre Informationsarbeit hat zum Ziel, die Anliegen der verschiedenen Anspruchsgruppen kennen zu lernen und diese über die nukleare Entsorgung allgemein sowie die Tätigkeiten der Nagra im Besonderen zu informieren. Die Bevölkerung und die Politiker werden so in die Lage versetzt, den Handlungsbedarf zu erkennen und sich zu den konkreten Projekten der geologischen Tiefenlagerung eine objektive Meinung bilden zu können. Durch ausgebildetes Fachpersonal sowie einen kontinuierlichen Anpassungsprozess an die Bedürfnisse der Anspruchsgruppen und die Verfahrensschritte werden die einzusetzenden Instrumente für die Information und Kommunikation auf aktuellem Stand gehalten.



## 9 Schlussfolgerungen

Wichtige Schritte zur Entsorgung der radioaktiven Abfälle in der Schweiz sind realisiert, und für die damit verbundenen Aktivitäten besteht mittlerweile eine grosse Erfahrung. Dies betrifft die Behandlung und Verpackung der radioaktiven Abfälle, ihre Charakterisierung und Inventarisierung sowie die Zwischenlagerung und die dazugehörigen Transporte. Bei der Vorbereitung der geologischen Tiefenlager wurde ein solider technisch-wissenschaftlicher Stand erreicht; der Nachweis der Entsorgung aller in der Schweiz anfallenden radioaktiven Abfälle in langfristig sicheren Tiefenlagern in der Schweiz wurde erbracht und vom Bundesrat anerkannt.

Das vorgelegte Entsorgungsprogramm dokumentiert die Rahmenbedingungen und das grundsätzliche Vorgehen für die zeitgerechte Realisierung der benötigten langfristig sicheren Tiefenlager und gibt Auskunft zu den in der Kernenergieverordnung aufgeführten Themenkreisen. Das Entsorgungsprogramm enthält auch einen Vorschlag, wie die Lager auf konzeptueller Ebene auszulegen sind (inkl. vorhandener Varianten), wie bei der Realisierung die einzelnen Schritte ausgestaltet werden sollen, wie der Realisierungsplan dazu aussieht und welche finanziellen Mittel dafür notwendig sind. Nach erfolgter Begutachtung und Genehmigung des Entsorgungsprogramms ist eine aktive und zielstrebige Mitarbeit aller Beteiligten erforderlich, damit es in absehbarer Zeit zu den erwünschten Fortschritten bei der Realisierung der geologischen Tiefenlager kommt.

Auch die gesetzlichen Regelungen sind vorhanden und die organisatorischen Vorkehrungen getroffen, um die für die Entsorgung in den nächsten Jahren anstehenden Aktivitäten umzusetzen. Dazu gehört insbesondere das vom Bundesrat 2008 genehmigte Konzept Sachplan geologische Tiefenlager (SGT), welches das laufende Standortwahlverfahren im Detail regelt. Im Rahmen von SGT Etappe 1 hat die Nagra sechs potenzielle Standortgebiete vorgeschlagen, welche mit Entscheid des Bundesrats 2011 im Sachplan festgehalten wurden. In Etappe 2 bezeichnete Nagra gestützt auf die Zusammenarbeit mit den Standortregionen Standortareale für die Oberflächenanlagen. Zudem wurden die geologischen Kenntnisse der in Etappe 1 vorgeschlagenen Standortgebiete durch zusätzliche Untersuchungen weiter vertieft und die Standortgebiete auf Basis des vertieften Kenntnisstands nach den Kriterien des Sachplanverfahrens systematisch weiter eingeeengt (Nagra 2014b). Im Dezember 2014 hat die Nagra ihre Vorschläge für mindestens zwei Standortgebiete pro Lagertyp beim BFE eingereicht; sie schlägt hierbei gestützt auf die Ergebnisse einer schrittweisen Optimierung vor, sowohl für die Lagerung von HAA als auch von SMA die Standortgebiete Jura Ost und Zürich Nordost in SGT Etappe 3 weiter zu untersuchen.

Das Arbeitsprogramm für die nächsten Jahre ist klar definiert. Bis zur nächsten Aktualisierung des Entsorgungsprogramms 2021 werden bedeutende Fortschritte erwartet. So ist 2018 die Aufnahme von geologischen Standortgebieten in den vom Bundesrat zu genehmigenden Objektblättern für SGT Etappe 2 vorgesehen. Für Etappe 3 erfolgt die Durchführung vertiefter Feldarbeiten (u.a. 3D-Seismik, Sondierbohrungen, Quartäruntersuchungen). Gestützt auf diese und weitere Erkenntnisse wird die Nagra 2022 die Auswahl der Standorte für die Vorbereitung der Rahmenbewilligungsgesuche gemäss Konzept Sachplan geologische Tiefenlager (BFE 2008) bekannt geben. Zeitgleich würde die Bekanntgabe eines allfälligen 'Kombilagers' erfolgen. Zudem wird die Oberflächeninfrastruktur (z.B. Platzierung von Schachtkopfanlagen) in Zusammenarbeit mit den Regionen weiter konkretisiert. Der aktuelle Realisierungsplan geht davon aus, dass die Rahmenbewilligungsgesuche 2024 eingereicht werden.



## 10 Literaturverzeichnis

- Agneb (2014): Jahresbericht 2013. Arbeitsgruppe des Bundes für die nukleare Entsorgung (Agneb), September 2014.
- Agneb (2015): Auswirkungen einer verlängerten Abklinglagerung auf die radioaktiven Abfälle. Bericht der Untergruppe «Abklinglager». Arbeitsgruppe des Bundes für die nukleare Entsorgung (Agneb), März 2015.
- AkEnd (2002): Stellungnahme zum Auswahlverfahren Opalinuston im Zürcher Weinland. Im Auftrag der Deutsch-Schweizerischen Kommission für die Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen (DSK). Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AkEnd), Deutschland.
- AltIV (1998): Verordnung über die Sanierung von belasteten Standorten (Altlasten-Verordnung, AltIV) vom 26. August 1998, Stand am 1. Januar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.680, Schweiz.
- ANDRA (2005): Dossier 2005 Argile: Synthesis Report: Evaluation of the feasibility of a geological repository in an argillaceous formation. Meuse/Haute-Marne site. Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs, Châtenay-Malabry, France.
- ANDRA (2012): Référentiel du site Meuse/Haute-Marne – Présentation générale. Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs ANDRA, Châtenay-Malabry, France.
- Axpo (2015): Langzeitstabilität von abgebrannten Brennelementen während der Zwischenlagerung. Axpo Technischer Bericht BT-KN-T 0070.
- Baeyens, B., Marques Fernandes, M., Thoenen, T. & Bradbury, M.H. (2014): Sorption data bases for argillaceous rocks and bentonite for the Provisional Safety Analyses for SGT-E2. Nagra Tech. Ber. NTB 12-04.
- BBl (2001): Botschaft des Bundesrats zu einem Kernenergiegesetz vom 28. Februar 2001. Bundesblatt (BBl) 2001 2665, p. 2796 ff.
- BFE (2008): Sachplan geologische Tiefenlager: Konzeptteil. BFE, 02.04.2008. Revision vom 30. November 2011. Bundesamt für Energie BFE, Bern, Schweiz.
- BFE (2011): Sachplan geologische Tiefenlager – Ergebnisbericht zu Etappe 1: Festlegungen und Objektblätter. Bundesamt für Energie BFE, Bern, Schweiz.
- BFE (2012): Höhere Beiträge für Stilllegung der Kernkraftwerke und Entsorgung der radioaktiven Abfälle bestätigt. Medienmitteilung BFE vom 21.11.2012. Bundesamt für Energie BFE, Bern, Schweiz.
- BFE (2013): Entsorgungsprogramm vom Oktober 2008 und Umgang mit den Empfehlungen zum Entsorgungsnachweis. Bericht über die Anhörung. BFE, August 2013. Bundesamt für Energie BFE, Bern, Schweiz.
- BFE (2014a): Sachplan geologische Tiefenlager: Sozioökonomisch-ökologische Wirkungsstudie SÖW in Etappe 2. Schlussbericht. BFE, Bern, Schweiz.

- BFE (2014b): Newsletter Tiefenlager, Nr. 12, April 2014. Bundesamt für Energie BFE, Bern, Schweiz.
- Birkhäuser, P., Roth, P., Meier, B. & Naef, H. (2001): 3D-Seismik: Räumliche Erkundung der mesozoischen Sedimentschichten im Zürcher Weinland. Nagra Tech. Ber. NTB 00-03.
- Blechs Schmidt, I. & Vomvoris, S. (2015): The fourth decade of underground research at the Grimsel Test Site – What we have learned and where we go from here. WMSYM WM2015 Conference "Achieving Results through Technology and Innovation on a Global Scale" March 15-19, 2015, Phoenix, AZ, 7, Paper 15075.
- Bundesrat (2013): Verfügung zum Entsorgungsprogramm 2008 der Entsorgungspflichtigen sowie zum Bericht zum Umgang mit den Empfehlungen in den Gutachten und Stellungnahmen zum Entsorgungsnachweis vom Oktober 2008 Schweizerischer Bundesrat, 28. Aug. 2013.
- ChemRRV (2005): Verordnung zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen (Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung, ChemRRV) vom 18. Mai 2005, Stand am 1. Januar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.81, Schweiz.
- Cloet, V., Schwyn, B. & Wieland, E. (2014): Geochemische Nahfeld-Daten für die provisorischen Sicherheitsanalysen in SGT Etappe 2. Nagra Arbeitsber. NAB 14-52 Rev. 1.
- Deichmann, N., Ballarin Dolfin, D. & Kastrup, U. (2000): Seismizität der Nord- und Zentralschweiz. Nagra Tech. Ber. NTB 00-05.
- Delay, J., Bossart, P., Ling, L.X., Blechs Schmidt, I., Ohlsson, M., Vinsot, A., Nussbaum, C. & Maes, N. (2014): Three decades of underground research laboratories: what have we learned? Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement, 5<sup>th</sup> international meeting, Montpellier, October 22-25, 2012, Geological Society, London, Special Publications 400, 7-32.
- Diomidis, N. (2014): Scientific basis for the production of gas due to corrosion in a deep geological repository. Nagra Arbeitsber. NAB 14-21.
- Diomidis, N., Cloet, V., Leupin, O.X., Marschall, P., Poller, A. & Stein, M. (2016): Production, consumption and transport of gases in deep geological repositories according to the Swiss disposal concept. Nagra Tech. Ber. NTB 16-03.
- EKRA (2000): Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle: Schlussbericht. Im Auftrag des Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation. Expertengruppe Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle (EKRA), Bern, Schweiz.
- ENSI (2009a): Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen ENSI-G03/d. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg.
- ENSI (2009b): Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis: Erläuterungsbericht zur Richtlinie ENSI-G03/d. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg, Schweiz.

- ENSI (2009c): Freimessung von Materialien und Bereichen aus kontrollierten Zonen. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen in Zusammenarbeit mit dem BAG und der Suva ENSI-B04. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg, Schweiz.
- ENSI (2010a): Anforderungen an die provisorischen Sicherheitsanalysen und den sicherheitstechnischen Vergleich. Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2. ENSI 33/075 (April 2010). Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg, Schweiz.
- ENSI (2010b): Ausbildung und Fortbildung des Strahlenschutzpersonals. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen ENSI-B13. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg, Schweiz.
- ENSI (2010c): Strahlenschutzziele für Kernanlagen. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen ENSI-G15. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg, Schweiz.
- ENSI (2011a): Stellungnahme zum Entsorgungsprogramm 2008 der Entsorgungspflichtigen. ENSI 33/110, Dez. 2011. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg, Schweiz.
- ENSI (2011b): Sicherheitstechnische Klassierung für bestehende Kernkraftwerke – Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen. ENSI-G01, Januar 2011. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg, Schweiz.
- ENSI (2011c): Ermittlung und Aufzeichnung der Dosis strahlenexponierter Personen. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen ENSI-B09. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg, Schweiz.
- ENSI (2011d): Stellungnahme zu NTB 10-01 "Beurteilung der geologischen Unterlagen für die provisorischen Sicherheitsanalysen in Etappe 2 SGT" Sachplan geologische Tiefenlager. ENSI 33/115. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg, Schweiz.
- ENSI (2012): Stellungnahme zur Kostenstudie 2011 über die Stilllegungs- und Entsorgungskosten der Kernanlagen in der Schweiz. ENSI 10/677 (Oktober 2012). Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg, Schweiz.
- ENSI (2013): Präzisierungen zur sicherheitstechnischen Methodik für die Auswahl von mindestens zwei Standortgebieten je für HAA und SMA in Etappe 2 SGT. Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2. ENSI 33/154 (Januar 2013). Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg, Schweiz.
- ENSI (2015a): Abfallbewirtschaftung im Vergleich. Forschungsprogramm "Radioaktive Abfälle" der Arbeitsgruppe des Bundes für die nukleare Entsorgung. Projektbericht. ENSI 33/188 (Februar 2015). Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg, Schweiz.
- ENSI (2015b): Notfallschutz in Kernanlagen. Ausgabe April 2009, Revision 1 vom 31. Oktober 2015. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen ENSI-B12. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg, Schweiz.
- ENSI (2016): Schlussbericht zum AGNEB-Forschungsprojekt "Lagerauslegung". ENSI 33/503 Rev. 1 (Mai 2016). Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg, Schweiz.

- ESDRED (2009): Engineering Studies and Demonstration of Repository Designs: Final summary report and global evaluation of the project. Erhältlich unter [www.esdred.info](http://www.esdred.info).
- Euratom (2011): Richtlinie 2011/70/Euratom des Rates vom 19. Juli 2011 über einen Gemeinschaftsrahmen für die verantwortungsvolle und sichere Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle. Amtsblatt der Europäischen Union L 199/48 vom 02.08.2011.
- Ferrière, Ch. & Kluth, T. (2013): Projektstudie für eine Schmelzanlage zur Behandlung radioaktiv kontaminierter / aktivierter metallischer Reststoffe. Nagra Arbeitsber. NAB 13-55.
- Fries, T. & Winter, M. (2009): Standortunabhängige Grundlagen Anlagen und Betrieb SGT / SUG 2.3. Alternatives Ausbaukonzept ("Liner Concept") für BE/HAA-Lagerstollen. Nagra Arbeitsber. NAB 09-07.
- Gimmi, T. & Kosakowski, G. (2011): How mobile are sorbed cations in clays and clay rocks? *Environmental Science & Technology* 45/04, 1443-1449.
- Glaus, M.A. & Van Loon, L.R. (2004): A generic procedure for the assessment of the effect of concrete admixtures on the retention behaviour of cement for radionuclides: Concept and case studies. Nagra Tech. Ber. NTB 03-09.
- Glaus, M.A. & Van Loon, L.R. (2008): Chemical reactivity of alpha-isosaccharinic acid in heterogeneous alkaline systems. Nagra Tech. Ber. NTB 08-10.
- GNW (1994): Technischer Bericht zum Gesuch um die Rahmenbewilligung für ein Endlager schwach- und mittelaktiver Abfälle am Wellenberg, Gemeinde Wolfenschiessen, NW. GNW Tech. Ber. 94-01. Genossenschaft für Nukleare Entsorgung Wellenberg GNW.
- GSchG (1991): Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG) vom 24. Januar 1991, Stand am 1. Januar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.20, Schweiz.
- GSchV (1998): Verordnung über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzverordnung, GSchV) vom 28. Oktober 1998, Stand am 2. Februar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.201, Schweiz.
- Häner, A., Mayer, G., Schwyn, B. & Schweingruber, M. (2014): Chemische Risikobewertung – Beurteilung von Stoffen in einem geologischen Tiefenlager für radioaktive Abfälle aufgrund ihrer Chemotoxizität. Nagra Arbeitsber. NAB 14-35.
- Holdsworth, S.R., Graule, T. & Mazza, E. (2014): Feasibility evaluation study of candidate canister solutions for the disposal of nuclear spent fuel and high level waste – a status review. Nagra Arbeitsber. NAB 14-90.
- HSK (1986a): Gutachten zum Projekt Gewähr 1985 der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra). HSK 23/28. Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Villigen, Schweiz.
- HSK (1986b): Auslegungskriterien für den Schutz von sicherheitsrelevanten Ausrüstungen in Kernkraftwerken gegen die Folgen von Flugzeugabsturz. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen HSK-R-102. Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Villigen, Schweiz.

- HSK (1995): Richtlinie für den überwachten Bereich der Kernanlagen und des Paul Scherrer Institutes. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen HSK-R-07. Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Villigen, Schweiz.
- HSK (1996): Gutachten zum Gesuch um Rahmenbewilligung für ein SMA-Endlager am Wellenberg. HSK 30/9, KSA 30/11. Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Villigen, Schweiz.
- HSK (2000): Anforderungen der HSK an das Projekt eines Lagers für schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA) am Wellenberg unter Berücksichtigung der Empfehlungen der Expertengruppe EKRA. HSK 30/15. Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Villigen, Schweiz.
- HSK (2001): Geologisches Tiefenlager für schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA): Verfahren zur Auswahl eines Standortgebietes. HSK 30/17. Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Villigen, Schweiz.
- HSK (2002): Stellungnahme zum Auswahlverfahren Opalinuston im Zürcher Weinland. HSK 23/74. Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Villigen, Schweiz.
- HSK (2003a): Sicherheitstechnische Anforderungen an die Sicherung von Kernanlagen. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen HSK-R-49. Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Villigen, Schweiz.
- HSK (2003b): Sicherheitstechnische Anforderungen an den Brandschutz in Kernanlagen. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen HSK-R-50. Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Villigen, Schweiz.
- HSK (2003c): Transport- und Lagerbehälter (T/L-Behälter) für die Zwischenlagerung. Richtlinie für schweizerische Kernanlagen HSK-R-52. Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Villigen, Schweiz.
- HSK (2004): Stellungnahme zur Sicherheitsanalyse Kristallin-I der Nagra. HSK 23/73. Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Villigen, Schweiz.
- HSK (2005a): Entsorgungsnachweis: Etappe auf einem langen Weg: Historischer Abriss der bisherigen Entscheidungen und Tätigkeiten im Hinblick auf die geologische Tiefenlagerung der hochaktiven Abfälle in der Schweiz. Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Villigen, Schweiz.
- HSK (2005b): Gutachten zum Entsorgungsnachweis der Nagra für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle (Projekt Opalinuston). HSK 35/99. Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Villigen, Schweiz.
- HSK (2007): Anforderungen an die Konditionierung radioaktiver Abfälle. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen HSK-B-05/d. Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Villigen, Schweiz.
- HSK (2008): Transport- und Lagerbehälter für die Zwischenlagerung: Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen HSK-G05. Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Villigen, Schweiz.

- IAEA (1997): Joint Convention on the safety of spent fuel management and on the safety of radioactive waste management. INFCIRC/546. International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, Austria.
- IAEA (2012): Spent Fuel Performance Assessment and Research: Final Report of a Coordinated Research Project (SPAR-II). IAEA TECDOC-1680 (2012). International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, Austria.
- KEG (2003): Kernenergiegesetz (KEG) vom 21. März 2003, Stand am 1. Januar 2009. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.1, Schweiz.
- KEV (2004): Kernenergieverordnung (KEV) vom 10. Dezember 2004, Stand am 1. Mai 2012. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.11, Schweiz.
- Klubertanz, G., Hufschmied, P. & Frank, E. (2008): Self closure mechanisms for underground waste repositories. Radioactive waste disposal in geological formations. Proceedings International Conference Braunschweig, November 6-9, 2007. BfS & GRS, Köln, 149-155.
- KNE (2005): Projekt Opalinuston Zürcher Weinland der Nagra: Beurteilung der erdwissenschaftlichen Datengrundlagen und der bautechnischen Machbarkeit. Expertenbericht der Kommission Nukleare Entsorgung (KNE) zuhanden der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK). HSK 35/98. Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Villigen, Schweiz.
- KNS (2009): Stellungnahme zum Nagra-Bericht: Evaluation von Methoden zur Mineralisierung organischer radioaktiver Materialien wie Ionenaustauscherharzen. KNS 21/209, August 2009. Eidgenössische Kommission für nukleare Sicherheit KNS, Schweiz.
- KNS (2011): Stellungnahme zum Entsorgungsprogramm 2008. KNS 23/262, Dezember 2011. Eidgenössische Kommission für nukleare Sicherheit KNS, Schweiz.
- KNS (2012): Stellungnahme zum Bericht zum Umgang mit den Empfehlungen in den Gutachten und Stellungnahmen zum Entsorgungsnachweis (NTB 08-02). KNS 12/270, März 2012. Eidgenössische Kommission für nukleare Sicherheit KNS, Schweiz.
- KSA (2005): Stellungnahme zum Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle (Projekt Opalinuston). KSA 23/170. Eidgenössische Kommission für die Sicherheit von Kernanlagen KSA, Schweiz.
- LRV (1985): Luftreinhalte-Verordnung (LRV) vom 16. Dezember 1985, Stand am 1. Januar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.318.142.1, Schweiz.
- LSV (1986): Lärmschutz-Verordnung (LSV) vom 15. Dezember 1986, Stand am 1. Januar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.41, Schweiz.
- Mälzer, A., Rösch, H., Misselwitz, I., Ebert, M. & Moosman, D. (1988): Höhenänderungen in der Nordschweiz und im Südschwarzwald bis zum Bodensee. Nagra Tech. Ber. NTB 88-05.
- Matzner, A. (2008): Evaluation von Methoden zur Mineralisierung organischer radioaktiver Materialien wie Ionenaustauscherharze. Nagra Arbeitsber. NAB 08-20.

- Messmer, S. & Berger, P. (2014): Sicherheitstechnische Betrachtungen zu Standseilbahnen für den Zugang zu einem zukünftigen geologischen Tiefenlager. Nagra Arbeitsber. NAB 14-77.
- Naef, H., Birkhäuser, P. & Roth, P. (1995): Interpretation der Reflexionsseismik im Gebiet Nördlich Lägeren – Zürcher Weinland. Nagra Tech. Ber. NTB 94-14.
- Nagra (1981): Die Endlagerung schwach- und mittelradioaktiver Abfälle in der Schweiz. Potentielle Standortgebiete für ein Endlager Typ B. Nagra Tech. Ber. NTB 81-04.
- Nagra (1983): Die Endlagerung schwach- und mittelradioaktiver Abfälle in der Schweiz: Evaluation der potentiellen Standortgebiete. Nagra Tech. Ber. NTB 83-15.
- Nagra (1985a): Nukleare Entsorgung Schweiz: Konzept und Übersicht über das Projekt Gewähr 1985. Nagra Gewähr Bericht NGB 85-01.
- Nagra (1985b): Projekt Gewähr 1985: Endlager für hochaktive Abfälle: Sicherheitsbericht. Nagra Gewähr Bericht NGB 85-05.
- Nagra (1985c): Projekt Gewähr 1985: Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle: Sicherheitsbericht. Nagra Gewähr Bericht NGB 85-08.
- Nagra (1988): Sedimentstudie – Zwischenbericht 1988: Möglichkeiten zur Endlagerung langlebiger radioaktiver Abfälle in den Sedimenten der Schweiz. Nagra Tech. Ber. NTB 88-25.
- Nagra (1991): Sedimentstudie – Zwischenbericht 1990: Zusammenfassende Übersicht der Arbeiten von 1988 bis 1990 und Konzept für das weitere Vorgehen. Nagra Tech. Ber. NTB 91-19.
- Nagra (1993): Endlager für kurzlebige schwach- und mittelaktive Abfälle (Endlager SMA): Vergleichende Beurteilung der Standorte Bois de la Glaive, Oberbauenstock, Piz Pian Grand und Wellenberg: Textband und Beilagenband. Nagra Tech. Ber. NTB 93-02.
- Nagra (1994a): Sedimentstudie – Zwischenbericht 1993: Zusammenfassende Übersicht der Arbeiten von 1990 bis 1994 und Konzept für weitere Untersuchungen. Nagra Tech. Ber. NTB 94-10.
- Nagra (1994b): Bericht zur Langzeitsicherheit des Endlagers SMA am Standort Wellenberg (Gemeinde Wolfenschiessen, NW): Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle (Endlager SMA). Nagra Tech. Ber. NTB 94-06.
- Nagra (1994c): Kristallin-I safety assessment report. Nagra Tech. Ber. NTB 93-22.
- Nagra (2001a): Sondierbohrung Benken: Untersuchungsbericht. Nagra Tech. Ber. NTB 00-01.
- Nagra (2001b): Optimierungsstudie für ausgewählte Abfalltypen aus Medizin, Industrie und Forschung. Nagra Tech. Ber. NTB 01-06.
- Nagra (2002a): Projekt Opalinuston: Konzept für die Anlage und den Betrieb eines geologischen Tiefenlagers: Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle. Nagra Tech. Ber. NTB 02-02.

- Nagra (2002b): Projekt Opalinuston: Synthese der geowissenschaftlichen Untersuchungsergebnisse: Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle. Nagra Tech. Ber. NTB 02-03.
- Nagra (2002c): Project Opalinus Clay: Safety Report: Demonstration of disposal feasibility for spent fuel, vitrified high-level waste and long-lived intermediate-level waste (Entsorgungsnachweis). Nagra Tech. Ber. NTB 02-05.
- Nagra (2005): Geologische Tiefenlagerung der abgebrannten Brennelemente, der hochaktiven und langlebigen mittelaktiven Abfälle: Darstellung und Beurteilung der aus sicherheitstechnisch-geologischer Sicht möglichen Wirtgesteine und Gebiete. Nagra Tech. Ber. NTB 05-02.
- Nagra (2008a): Entsorgungsprogramm 2008 der Entsorgungspflichtigen. Nagra Tech. Ber. NTB 08-01.
- Nagra (2008b): Bericht zum Umgang mit den Empfehlungen in den Gutachten und Stellungnahmen zum Entsorgungsnachweis. Nagra Tech. Ber. NTB 08-02.
- Nagra (2008c): Vorschlag geologischer Standortgebiete für ein SMA- und ein HAA-Lager: Darlegung der Anforderungen, des Verfahrens und der Ergebnisse. Nagra Tech. Ber. NTB 08-03.
- Nagra (2008d): Vorschlag geologischer Standortgebiete für ein SMA- und ein HAA-Lager: Geologische Grundlagen. Nagra Technischer Bericht NTB 08-04.
- Nagra (2008e): Vorschlag geologischer Standortgebiete für ein SMA- und ein HAA-Lager: Begründung der Abfallzuteilung, der Barrierensysteme und der Anforderungen an die Geologie: Bericht zur Sicherheit und Machbarkeit. Nagra Tech. Ber. NTB 08-05.
- Nagra (2008f): Modellhaftes Inventar für radioaktive Materialien MIRAM 08. Nagra Tech. Ber. NTB 08-06.
- Nagra (2008g): Effects of post-disposal gas generation in a repository for low- and intermediate-level waste sited in the Opalinus Clay of Northern Switzerland. Nagra Tech. Ber. NTB 08-07.
- Nagra (2009): The Nagra Research, Development and Demonstration (RD&D) Plan for the Disposal of Radioactive Waste in Switzerland. Nagra Tech. Ber. NTB 09-06.
- Nagra (2010): Beurteilung der geologischen Unterlagen für die provisorischen Sicherheitsanalysen in SGT Etappe 2 – Klärung der Notwendigkeit ergänzender geologischer Untersuchungen. Nagra Tech. Ber. NTB 10-01.
- Nagra (2011): Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2: Vorschläge zur Platzierung der Standortareale für die Oberflächenanlage der geologischen Tiefenlager sowie zu deren Erschliessung. Genereller Bericht und Beilagenband. Nagra Tech. Ber. NTB 11-01.
- Nagra (2012): Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2: Vorschläge zur Platzierung der Standortareale für die Oberflächenanlage der geologischen Tiefenlager sowie zu deren Erschliessung – Vorgehen und Informationen zur Erarbeitung der Vorschläge. Nagra Arbeitsber. NAB 12-07.

- Nagra (2013a): Standortunabhängige Betrachtungen zur Sicherheit und zum Schutz des Grundwassers: Grundlagen zur Beurteilung der grundsätzlichen Bewilligungsfähigkeit einer Oberflächenanlage für ein geologisches Tiefenlager. Nagra Tech. Ber. NTB 13-01.
- Nagra (2013b): Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2: Standortareal WLB-1-SMA im Planungssperimeter Wellenberg für die Oberflächenanlage eines geologischen Tiefenlagers SMA: Planungsstudie. Nagra Arbeitsber. NAB 13-61.
- Nagra (2013c): Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2: Standortareal JS-1-SMA im Planungssperimeter Jura-Südfuss für die Oberflächenanlage eines geologischen Tiefenlagers SMA: Planungsstudie. Nagra Arbeitsber. NAB 13-64.
- Nagra (2013d): Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2: Standortareal JO-3+ SMA im Planungssperimeter Jura Ost für die Oberflächenanlage eines geologischen Tiefenlagers SMA: Planungsstudie. Nagra Arbeitsber. NAB 13-66.
- Nagra (2013e): Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2: Standortareal JO-3+ HAA im Planungssperimeter Jura Ost für die Oberflächenanlage eines geologischen Tiefenlagers HAA: Planungsstudie. Nagra Arbeitsber. NAB 13-67.
- Nagra (2013f): Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2: Standortareal JO-3+ Kombi im Planungssperimeter Jura Ost für die Oberflächenanlage eines geologischen Tiefenlagers Kombi: Planungsstudie. Nagra Arbeitsber. NAB 13-68.
- Nagra (2013g): Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2: Standortareal SR-4-SMA im Planungssperimeter Südanden für die Oberflächenanlage eines geologischen Tiefenlagers SMA: Planungsstudie. Nagra Arbeitsber. NAB 13-81.
- Nagra (2013h): Verhaltenskodex.
- Nagra (2014a): SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage – Sicherheitstechnischer Bericht zu SGT Etappe 2. Sicherheitstechnischer Vergleich und Vorschlag der in Etappe 3 weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete. Nagra Tech. Ber. NTB 14-01.
- Nagra (2014b): SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage. Geologische Grundlagen (Dossiers I – VIII). Nagra Tech. Ber. NTB 14-02.
- Nagra (2014c): SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage. Charakteristische Dosisintervalle und Unterlagen zur Bewertung der Barrierensysteme. Nagra Tech. Ber. NTB 14-03.
- Nagra (2014d): Modellhaftes Inventar für radioaktive Materialien MIRAM 2014. Nagra Tech. Ber. NTB 14-04.
- Nagra (2014e): Unterlagen zum Platzbedarf in den Lagerperimetern der geologischen Standortgebiete. Nagra Arbeitsber. NAB 14-99.
- Nagra (2014f): Beurteilung der Tiefenlage in Bezug auf die geotechnischen Bedingungen: Grundlagen für die Abgrenzung und Bewertung der Lagerperimeter. Nagra Arbeitsber. NAB 14-81.

- Nagra (2014g): Bautechnische Risikoanalyse zur Realisierung der Zugangsbauwerke. Nagra Arbeitsber. NAB 14-50.
- Nagra (2014h): Ergänzende Sicherheitsbetrachtungen für die Untertageanlagen der geologischen Tiefenlager in der Betriebsphase: Vorgaben, Vorgehen und Dokumentation der Ergebnisse. Nagra Arbeitsber. NAB 14-51.
- Nagra (2014i): Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2: Standortareal ZNO-6b-SMA im Planungssperimeter Zürich Nordost für die Oberflächenanlage des geologischen Tiefenlagers SMA: Planungsstudie. Nagra Arbeitsber. NAB 14-27.
- Nagra (2014j): Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2: Standortareal ZNO-6b-HAA im Planungssperimeter Zürich Nordost für die Oberflächenanlage des geologischen Tiefenlagers HAA: Planungsstudie. Nagra Arbeitsber. NAB 14-28.
- Nagra (2014k): Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2: Standortareal ZNO-6b-Kombi im Planungssperimeter Zürich Nordost für die Oberflächenanlage des geologischen Tiefenlagers Kombi: Planungsstudie. Nagra Arbeitsber. NAB 14-29.
- Nagra (2014l): Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2: Standortareal NL-2-SMA im Planungssperimeter Nördlich Lägern für die Oberflächenanlage eines geologischen Tiefenlagers SMA: Planungsstudie. Nagra Arbeitsber. NAB 14-03.
- Nagra (2014m): Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2: Standortareal NL-2-HAA im Planungssperimeter Nördlich Lägern für die Oberflächenanlage eines geologischen Tiefenlagers HAA: Planungsstudie. Nagra Arbeitsber. NAB 14-04.
- Nagra (2014n): Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2: Standortareal NL-2-Kombi im Planungssperimeter Nördlich Lägern für die Oberflächenanlage eines geologischen Tiefenlagers Kombi: Planungsstudie. Nagra Arbeitsber. NAB 14-05.
- Nagra (2014o): Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2: Standortareal NL-6-SMA im Planungssperimeter Nördlich Lägern für die Oberflächenanlage des geologischen Tiefenlagers SMA: Planungsstudie. Nagra Arbeitsber. NAB 14-06.
- Nagra (2014p): Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2: Standortareal NL-6-HAA im Planungssperimeter Nördlich Lägern für die Oberflächenanlage des geologischen Tiefenlagers HAA: Planungsstudie. Nagra Arbeitsber. NAB 14-07.
- Nagra (2014q): Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2: Standortareal NL-6-Kombi im Planungssperimeter Nördlich Lägern für die Oberflächenanlage des geologischen Tiefenlagers Kombi: Planungsstudie. Nagra Arbeitsber. NAB 14-08.
- Nagra (2014r): Provisional Safety Analyses for SGT Stage 2. Models, Codes and General Modelling Approach. Nagra Tech. Rep. NTB 14-09.
- Nagra (2014s): Konzepte der Standortuntersuchungen für SGT Etappe 3. Nagra Arbeitsber. NAB 14-83.
- Nagra (2016a): RD&D-Plan 2016. Nagra Tech. Ber. NTB 16-02.

- Nagra (2016b): ENSI-Nachforderung zum Indikator "Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit" in SGT Etappe 2 – Prüfung der Lager- und Barrierenkonzepte. Nagra Arbeitsber. NAB 16-42.
- Nagra (2016c): Generische Beschreibung von Schachtkopfanlagen (Nebenzugangsanlagen) geologischer Tiefenlager. Nagra Tech. Ber. NTB 16-08.
- Nagra (2016d): Konzepte der Standortuntersuchungen SGT Etappe 3 – Nördlich Lägern. Nagra Arbeitsber. NAB 16-28.
- Nagra (2016e): ENSI-Nachforderung zum Indikator "Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit" in SGT Etappe 2 – Zusammenfassende Darstellung der Zusatzdokumentation (Hauptbericht). Nagra Arbeitsber. NAB 16-41.
- Nagra (2016f): ENSI-Nachforderung zum Indikator "Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit" in SGT Etappe 2 – Projektkonzepte für die Lagerkammern und Versiegelungsstrecken und deren Bewertung. Nagra Arbeitsber. NAB 16-45.
- Nagra (2016g): ENSI-Nachforderung zum Indikator "Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit" in SGT Etappe 2 – Vortriebs- und Sicherheitskonzepte für die Profile F, K09, K04, K04a und D (Ergänzende Unterlagen zu NAB 16-45). Nagra Arbeitsber. NAB 16-46.
- NHG (1966): Bundesgesetz über den Natur- und Heimatschutz (NHG) vom 1. Juli 1966, Stand am 12. Oktober 2014. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 451, Schweiz.
- NHV (1991): Verordnung über den Natur- und Heimatschutz (NHV) vom 16. Januar 1991, Stand am 1. März 2015. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 451.1, Schweiz.
- NFSV (2010): Verordnung über den Notfallschutz in der Umgebung von Kernanlagen (Notfallschutzverordnung, NFSV) vom 20. Oktober 2010, Stand am 1. Januar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.33, Schweiz.
- OECD/NEA (2004): Die Sicherheit der geologischen Tiefenlagerung von BE, HAA und LMA in der Schweiz: Eine internationale Expertenprüfung der radiologischen Langzeitsicherheitsanalyse der Tiefenlagerung im Opalinuston des Zürcher Weinlands. OECD Nuclear Energy Agency, Issy-les-Moulineaux, France.
- OECD/NEA (2006): Advanced nuclear fuel cycles and radioactive waste management. OECD Nuclear Energy Agency, Issy-les-Moulineaux, France.
- OECD/NEA (2011): Reversibility and Retrievability (R&R) for the deep disposal of high-level radioactive waste and spent fuel. Final Report of the NEA R&R Project (2007 – 2011). OECD Nuclear Energy Agency, Paris, France.
- OECD/NEA (2012): Methods for safety assessment of geological disposal facilities for radioactive waste: Outcomes of the NEA MeSA Initiative. OECD Nuclear Energy Agency, Paris, France.
- OECD/NEA (2013): The Nature and Purpose of the Post-closure Safety Cases for Geological Repositories. NEA/RWM/R(2013)1. OECD Nuclear Energy Agency, Paris, France.

- OPG (2011): OPG's Deep Geologic Repository Project: Geosynthesis. Report NWMO DGR-TR-2011-11. Heruntergeladen von [www.nwmo.ca](http://www.nwmo.ca) am 18.06.2015.
- PAMINA (2011a): European handbook of the state-of-the-art of safety assessments of geological repositories. Part 1. Deliverable D1.1.4. European Commission, Brussels.
- PAMINA (2011b): PAMINA project summary report. Deliverable D5.1. European Commission, Brussels.
- Patel, R., Punshon, C., Nicholas, J., Bastid, P., Zhou, R., Schneider, C., Bagshaw, N., Howse, D., Hutchinson, E., Asano, R. & King, F. (2012): Canister Design Concepts for Disposal of Spent Nuclear Fuel and High Level Waste. Nagra Tech. Ber. NTB 12-06.
- Poller, A., Smith, P.A., Mayer, G. & Hayek, M. (2014): Modelling of radionuclide transport along the underground access structures of deep geological repositories. Nagra Tech. Ber. NTB 14-10.
- Posiva (2011): Olkiluoto Site Description 2011. Posiva Report 2011-2. Posiva Oy, Olkiluoto, Finland.
- Posiva (2012): Safety case for the disposal of spent nuclear fuel at Olkiluoto - Synthesis 2012. Posiva Report 2012-12. Posiva Oy, Olkiluoto, Finland.
- PSPVK (2006): Verordnung über die Personensicherheitsprüfungen im Bereich Kernanlagen (PSPVK) vom 9. Juni 2006, Stand am 1. April 2011. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.143.3, Schweiz.
- Ricca, S. & Monti, G. (2014): Safety Considerations for a Trackless Transport System (Heavy Load Vehicle) for a Future Geological Repository. Nagra Arbeitsber. NAB 14-78.
- RPG (1979): Bundesgesetz über die Raumplanung (Raumplanungsgesetz, RPG) vom 22. Juni 1979, Stand am 1. Januar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 700, Schweiz.
- RPV (2000): Raumplanungsverordnung (RPV) vom 28. Juni 2000, Stand am 1. Januar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 700.1, Schweiz.
- Safeguardsverordnung (2012): Safeguardsverordnung vom 21. März 2012, Stand am 1. Januar 2013. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.12, Schweiz.
- SC+P & Roos+Partner (2014a): UVP-Voruntersuchung für ein geologisches Tiefenlager SMA: Standortareal ZNO-6b-SMA, Jura Ost. Bericht Sieber Cassina + Partner AG, Zürich und Roos + Partner AG, Luzern v. 05.12.2014 z. Hd. der Nagra.
- SC+P & Roos+Partner (2014b): UVP-Voruntersuchung für ein geologisches Tiefenlager HAA: Standortareal ZNO-6b-HAA, Jura Ost. Bericht Sieber Cassina + Partner AG, Zürich und Roos + Partner AG, Luzern v. 05.12.2014 z. Hd. der Nagra.
- SC+P & Roos+Partner (2014c): UVP-Voruntersuchung für ein geologisches Tiefenlager Kombi: Standortareal ZNO-6b-Kombi, Jura Ost. Bericht Sieber Cassina + Partner AG, Zürich und Roos + Partner AG, Luzern v. 05.12.2014 z. Hd. der Nagra.

- SC+P & Roos+Partner (2014d): UVP-Voruntersuchung für ein geologisches Tiefenlager SMA: Standortareal JO-3+-SMA, Jura Ost. Bericht Sieber Cassina + Partner AG, Zürich und Roos + Partner AG, Luzern v. 05.12.2014 z. Hd. der Nagra.
- SC+P & Roos+Partner (2014e): UVP-Voruntersuchung für ein geologisches Tiefenlager HAA: Standortareal JO-3+-HAA, Jura Ost. Bericht Sieber Cassina + Partner AG, Zürich und Roos + Partner AG, Luzern v. 05.12.2014 z. Hd. der Nagra.
- SC+P & Roos+Partner (2014f): UVP-Voruntersuchung für ein geologisches Tiefenlager Kombi: Standortareal JO-3+-Kombi, Jura Ost. Bericht Sieber Cassina + Partner AG, Zürich und Roos + Partner AG, Luzern v. 05.12.2014 z. Hd. der Nagra.
- SC+P & Roos+Partner (2014g): UVP-Voruntersuchung für ein geologisches Tiefenlager SMA: Standortareal WLB-1-SMA, Wellenberg. Unpubl. Bericht Sieber Cassina + Partner AG, Zürich und Roos + Partner AG, Luzern z. Hd. der Nagra.
- SC+P & Roos+Partner (2014h): UVP-Voruntersuchung für ein geologisches Tiefenlager SMA: Standortareal SR-4-SMA, Südranden. Unpubl. Bericht Sieber Cassina + Partner AG, Zürich und Roos + Partner AG, Luzern z. Hd. der Nagra.
- SC+P & Roos+Partner (2014i): UVP-Voruntersuchung für ein geologisches Tiefenlager SMA: Standortareal JS-1-SMA, Jura-Südfuss. Unpubl. Bericht Sieber Cassina + Partner AG, Zürich und Roos + Partner AG, Luzern z. Hd. der Nagra.
- SC+P & Roos+Partner (2016a): UVP-Voruntersuchung für ein geologisches Tiefenlager SMA: Standortareal NL-2-SMA, Nördlich Lägern. Bericht Sieber Cassina + Partner AG, Zürich und Roos + Partner AG, Luzern v. 31.03.2016 z. Hd. der Nagra.
- SC+P & Roos+Partner (2016b): UVP-Voruntersuchung für ein geologisches Tiefenlager HAA: Standortareal NL-2-HAA, Nördlich Lägern. Bericht Sieber Cassina + Partner AG, Zürich und Roos + Partner AG, Luzern v. 31.03.2016 z. Hd. der Nagra.
- SC+P & Roos+Partner (2016c): UVP-Voruntersuchung für ein geologisches Tiefenlager Kombi: Standortareal NL-2-Kombi, Nördlich Lägern. Bericht Sieber Cassina + Partner AG, Zürich und Roos + Partner AG, Luzern v. 31.03.2016 z. Hd. der Nagra.
- SC+P & Roos+Partner (2016d): UVP-Voruntersuchung für ein geologisches Tiefenlager SMA: Standortareal NL-6-SMA, Nördlich Lägern. Bericht Sieber Cassina + Partner AG, Zürich und Roos + Partner AG, Luzern v. 31.03.2016 z. Hd. der Nagra.
- SC+P & Roos+Partner (2016e): UVP-Voruntersuchung für ein geologisches Tiefenlager HAA: Standortareal NL-6-HAA, Nördlich Lägern. Bericht Sieber Cassina + Partner AG, Zürich und Roos + Partner AG, Luzern v. 31.03.2016 z. Hd. der Nagra.
- SC+P & Roos+Partner (2016f): UVP-Voruntersuchung für ein geologisches Tiefenlager Kombi: Standortareal NL-6-Kombi, Nördlich Lägern. Bericht Sieber Cassina + Partner AG, Zürich und Roos + Partner AG, Luzern v. 31.03.2016 z. Hd. der Nagra.
- SEFV (2007): Verordnung über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen vom 7. Dezember 2007 (Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung, SEFV), Stand am 1. Januar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.17, Schweiz.

- Sindern, W. & Borowski, S. (2014): Sicherheitstechnische Betrachtungen zu Schachtförderanlagen für den Zugang zu einem zukünftigen geologischen Tiefenlager. Nagra Arbeitsber. NAB 14-75.
- SKB (2000): Geoscientific programme for investigations and evaluation of sites for the deep repository. SKB Technical Report TR 00-20. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management SKB, Stockholm.
- SKB (2008): Site description of Forsmark at completion of the site investigation phase – SDM-Site Forsmark. SKB Technical Report TR-08-05. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management SKB, Stockholm.
- SKB (2011): Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark – Main report of the SR-Site project. SKB Technical Report TR 11-01. SKB, Stockholm. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management SKB, Stockholm.
- Stefula, V. (2006): SAPIERR Support Action: Pilot Initiative for European regional repositories. European Commission & DECOM Slovakia.
- STENFO (2016): [www.stenfo.ch](http://www.stenfo.ch).
- StFV (1991): Verordnung über den Schutz vor Störfällen (Störfallverordnung, StFV) vom 27. Februar 1991, Stand am 1. Juni 2015. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.012, Schweiz.
- StSG (1991): Strahlenschutzgesetz (StSG) vom 22. März 1991, Stand am 1. Januar 2007. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.50, Schweiz.
- StSV (1994): Strahlenschutzverordnung vom 22. Juni 1994 (StSV), Stand am 1. Januar 2014. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.501, Schweiz.
- swissnuclear (2016a): Kostenstudie 2016 (KS16) – Mantelbericht. swissnuclear Bericht FGK-AN-16.001 Rev. 0, Olten, Schweiz.
- swissnuclear (2016b): Kostenstudie 2016 (KS16): Schätzung der Entsorgungskosten – Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung. swissnuclear Bericht FGK-AN-16.002, Olten, Schweiz.
- swissnuclear (2016c): Kostenstudie 2016 (KS16): Schätzung der Entsorgungskosten – geologische Tiefenlagerung. swissnuclear Bericht FGK-AN-16.043, Olten, Schweiz.
- Thoenen, T., Hummel, W., Berner, U. & Curti, E. (2014): The PSI/Nagra Chemical Thermodynamic Database 12/07. Nagra Arbeitsber. NAB 14-49.
- UN-ECE (1991): Convention on Environmental Impact Assessment in a Transboundary Context ("Espoo Convention"). Entered into force on 10 September 1997. United Nations Economic Commission for Europe.
- USG (1983): Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG) vom 7. Oktober 1983, Stand am 1. April 2015. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.01, Schweiz.

- UVPV (1988): Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPV) vom 19. Oktober 1988, Stand am 1. Januar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.011, Schweiz.
- Van Loon, L.R. (2014): Effective diffusion coefficients and porosity values for argillaceous rocks and bentonite: measured and estimated values for the Provisional Safety Analyses for SGT-E2. Nagra Tech. Ber. NTB 12-03.
- Van Loon, L.R. & Kopajtic, Z. (1990): Complexation of  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  and  $\text{UO}_2^{2+}$  by radiolytic degradation products of bitumen. Nagra Tech. Ber. NTB 90-18.
- Van Loon, L.R. & Glaus, M.A. (1998): Experimental and theoretical studies on alkaline degradation of cellulose and its impact on the sorption of radionuclides. Nagra Tech. Ber. NTB 97-04.
- VAPK (2006): Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen (VAPK) vom 9. Juni 2006, Stand am 1. Januar 2009. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.143.1, Schweiz.
- VBBö (1998): Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBö) vom 1. Juli 1998, Stand am 1. Juni 2015. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.12, Schweiz.
- VBWK (2006): Verordnung über die Betriebswachen von Kernanlagen (VBWK) vom 9. Juni 2006, Stand am 1. Januar 2009. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.143.2, Schweiz.
- Verhoef, E. (2009): SAPIERR II – Strategic Action Plan for Implementation of European Regional Repository – Final Activity Report. European Commission.
- Verord. UVEK (2005): Verordnung des UVEK über Listen zum Verkehr mit Abfällen vom 18. Oktober 2005, Stand am 1. Januar 2010. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.610.1, Schweiz.
- Verord. UVEK (2008): Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und Sicherungsmassnahmen für Kernanlagen und Kernmaterialien vom 16. April 2008, Stand am 1. Mai 2008. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.112.1, Schweiz.
- Verord. UVEK (2009): Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen vom 17. Juni 2009, Stand am 1. August 2009. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.112.2, Schweiz.
- Vomvoris, S., Blechschmidt, I., Vietor, T. & Mueller, H. (2015): Nagra's activities at the Grimsel Test Site and Mont Terri project: Update and Outlook. 15<sup>th</sup> International High-Level Radioactive Waste Management Conference IHLRWM, Charleston, SC, USA, April 12-16, 2015, 379-389.
- VVEA (2015): Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA) vom 4. Dezember 2015, Stand am 1. Januar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts 814.600, Schweiz.
- Warthmann, R., Mosberger, L. & Baier, U. (2013a): Anaerober Abbau und Gasbildungskinetik für SMA in geologischen Tiefenlagern. Nagra Arbeitsbericht NAB 13-52.

- Warthmann, R., Mosberger, L. & Baier, U. (2013b): Langzeit-Degradation von organischen Polymeren unter SMA-Tiefenlagerbedingungen. Nagra Tech. Ber. NTB 13-04.
- White, M.J. (ed.) (2014): Monitoring During the Staged Implementation of Geological Disposal: The MoDeRn Project Synthesis. MoDeRn Deliverable D-6.1. European Commission, Brussels, Belgium.
- Wieland, E. (2014): Sorption database for the cementitious near field of L/ILW and ILW repositories for Provisional Safety Analyses for SGT-E2. Nagra Tech. Ber. NTB 14-08.
- Wieser, U., Burger, M. & Beyerle, P. (2014): Sicherheitstechnische Betrachtungen zu Zahnradbahnen für den Zugang zu einem zukünftigen geologischen Tiefenlager. Nagra Arbeitsber. NAB 14-76.
- Wiget, A., Schlatter, A., Brockmann, E. & Ineichen, D. (2006): GPS-Netz – Neotektonik Nord-Schweiz 2004: Messkampagne im Auftrag der Nagra und Deformationsanalyse 1988-1995-2004. Nagra Arbeitsber. NAB 06-04.
- ZWILAG (2016): Versuche und Betrachtungen zur Behandlung von Borsäurekonzentraten in der Plasmaanlage. Zwilagbericht ZWI 7750/D00305.

## Anhang A

### A.1 Zusammenstellung der Vorgaben in Gesetzen, Verordnungen und behördlichen Dokumenten für die Ausgestaltung und Realisierung der geologischen Tiefenlager in der Schweiz

Tab. A.1-1: Vorgaben und Hinweise in Gesetzen sowie in behördlichen Dokumenten.

Das Entsorgungsprogramm 2016 wurde auf Grundlage der bestehenden Gesetzgebung mit Stand 1. Juli 2016 erstellt. Die Vorgaben in KEG (2003) und KEV (2004) werden teilweise in Richtlinien und weiteren Vorgaben des ENSI konkretisiert. Diese sind in der nachfolgenden Zusammenstellung in der Regel nicht aufgeführt, werden aber ebenso wie weitere gesetzliche Vorgaben zur Sicherheit (Kap. 3.1.4) und Raumnutzung und Umweltverträglichkeit (Kap. 3.1.5) berücksichtigt. Die Vorgaben zum Entsorgungsprogramm sind in Tab. 1-1 aufgeführt und werden hier nicht wiederholt.

Vorgaben	Referenz
<b>Geologische Tiefenlager: Allgemeines</b>	
Wer eine Kernanlage betreibt oder stilllegt, ist verpflichtet, die aus der Anlage stammenden radioaktiven Abfälle in geologische Tiefenlager auf eigene Kosten sicher zu entsorgen.	KEG Art. 3 & 31
Radioaktive Abfälle müssen so entsorgt werden, dass der dauernde Schutz von Mensch und Umwelt gewährleistet ist. Mit der geologischen Tiefenlagerung sind radioaktive Abfälle so zu entsorgen, dass künftigen Generationen keine unzumutbare Lasten und Verpflichtungen auferlegt werden. Diese beiden Bestimmungen werden als "Schutzziel" definiert.	KEG Art. 1, 3, 13, 16, 20 & 30 Abs. 3, ENSI-G03 Abs. 4.1 & 4.2
<b>Geologische Tiefenlager: Standortwahl und Nachweis der Langzeitsicherheit</b>	
Die in der Schweiz anfallenden Abfälle müssen grundsätzlich in der Schweiz entsorgt werden. Ausnahme: kann für die Ausfuhr der Abfälle zur Lagerung eine Bewilligung erteilt werden, wenn spezifische Voraussetzungen erfüllt sind und zudem der Absender mit dem Empfänger der radioaktiven Abfälle mit Zustimmung der vom Bundesrat bezeichneten Behörde verbindlich vereinbart hat, dass der Absender sie nötigenfalls zurücknimmt.	KEG Art. 30 Abs. 2 KEG Art. 34 Abs. 4
Der Bund legt in einem Sachplan die Ziele und Vorgaben für die Lagerung der radioaktiven Abfälle in geologischen Tiefenlagern für die Behörden verbindlich fest. Sachplan geologische Tiefenlager: siehe BFE (2008).	KEV Art. 5
Die Ergebnisse der erdwissenschaftlichen Untersuchungen müssen die Eignung des Standorts für ein geologisches Tiefenlager bestätigen.	KEG Art. 13
Die absehbare zukünftige Nutzung von Bodenschätzen darf durch ein geologisches Tiefenlager nicht unnötig eingeschränkt werden.	ENSI-G03 Abs. 4.2i
Die Risiken, die in der Zukunft aus der geologischen Tiefenlagerung in der Schweiz entstehen, dürfen nicht grösser sein als sie heute in der Schweiz zulässig sind.	ENSI-G03 Abs. 4.2d
Der Standort für ein geologisches Tiefenlager muss zur Gewährleistung der Langzeitsicherheit folgende Eigenschaften aufweisen: a. ausreichende Ausdehnung von geeignetem Wirtgestein b. günstige hydrogeologische Verhältnisse c. geologische Langzeitstabilität.	KEV Art. 11 Abs. 1 bzw. KEV Art. 63

Tab. A.1-1: (Fortsetzung)

Vorgaben	Referenz
<b>Geologische Tiefenlager: Standortwahl und Nachweis der Langzeitsicherheit (Fortsetzung)</b>	
<p>Das Erreichen des Schutzziels unter Beachtung der Leitsätze ist anhand quantitativer Schutzkriterien zu beurteilen. Das Einhalten der Schutzkriterien ist im Rahmen des Sicherheitsnachweises aufzuzeigen.</p> <p>Der Sicherheitsnachweis stellt eine Gesamtbewertung der Langzeitsicherheit des verschlossenen geologischen Tiefenlagers dar. Er ist auf die Ergebnisse einer umfassenden Sicherheitsanalyse abzustützen.</p>	ENSI-G03 Abs. 4.3 & 7.2
In der ENSI-G03 sind spezifische Bestimmungen zu den Sicherheitsanalysen aufgeführt, inklusive u.a. Ermittlung der Individualdosen, Nachweiszeitraum, nicht zu betrachtende Entwicklungen sowie Umgang mit Ungewissheiten.	ENSI-G03 Abs. 7.2.2
<b>Geologische Tiefenlager: Abfallzuteilung und Annahmebedingungen</b>	
Radioaktive Abfälle sind im Hinblick auf die Entsorgung in Kategorien einzuteilen.	KEV Art. 51
Zu den Unterlagen für das Rahmenbewilligungsgesuch gehören [der Zweck und die Grundzüge des Projektes darunter] insbesondere die Kategorien des Lagergutes und die maximale Lagerkapazität.	KEV Art. 23 bzw. KEG Art. 14 Abs. 2
Zu den Unterlagen für das Baugesuch gehören Anlagekonzepte und Auslegungsg Grundlagen, inklusive Dispositionspläne und Konzepte für radiologische Zonen.	KEV Anhang 4
Die Betriebsbewilligung legt die Stufen der Inbetriebnahme fest, deren Beginn einer vorgängigen Freigabe durch die Aufsichtsbehörden bedarf. Annahmebedingungen sind zu erlassen. Eine Freigabepflicht besteht u.a. für die erste Einlagerung von Abfallgebinden eines Typs.	KEG Art 21, KEV Art. 29 Abs. 1 sowie ENSI- G03 5.2.4
Die Betriebsbewilligung legt Anforderungen, insbesondere Grenzwerte für die Aktivität der einzulagernden Abfälle fest.	KEG Art. 37 Abs. 3
Die Dokumentation zur langfristigen Sicherstellung der Kenntnisse über das geologische Tiefenlager enthält u.a. das Inventar der eingelagerten radioaktiven Abfälle, in Art und Menge aufgeteilt nach den Lagerräumen.	KEG Art. 38 Abs. 2 bzw. KEV Art. 71
<b>Geologische Tiefenlager: Auslegung</b>	
Zur Gewährleistung der Sicherheit sind alle Vorkehrungen zu treffen, die nach der Erfahrung und dem Stand der Wissenschaft und Technik notwendig sind bzw. zu einer weiteren Verminderung der Gefährdung beitragen, soweit sie angemessen sind.	KEG Art. 4
Ein geologisches Tiefenlager ist so auszulegen, dass nach dessen Verschluss keine weiteren Massnahmen zur Gewährleistung der Langzeitsicherheit erforderlich sind.	ENSI-G03 Abs. 4.2e
<p>Für geologische Tiefenlager wird die Betriebsbewilligung erteilt, wenn zusätzlich zu den Voraussetzungen nach KEG Art. 20 Abs. 1:</p> <p>a. die während des Baus gewonnenen Erkenntnisse die Eignung des Standortes bestätigen</p> <p>b. die Rückholung der radioaktiven Abfälle bis zu einem allfälligen Verschluss ohne grossen Aufwand möglich ist.</p>	KEG Art. 37 Abs. 1
Sicherheitsfunktionen müssen auch bei Eintreten eines beliebigen vom auslösenden Ereignis unabhängigen Einzelfehlers wirksam bleiben. Sie müssen redundant sein. Passive sind gegenüber aktiven Sicherheitsfunktionen zu bevorzugen. Bei der Auslegung sind ausreichende Sicherheitszuschläge zu berücksichtigen.	KEV Art. 10 Abs. 1

Tab. A.1-1: (Fortsetzung)

Vorgaben	Referenz
<b>Geologische Tiefenlager: Auslegung (Fortsetzung)</b>	
<p>Ein geologisches Tiefenlager ist so auszulegen, dass:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>die Grundsätze von KEV Art. 10 Abs. 1 [Grundsätze für die Auslegung von Kernkraftwerken, s. oben] sinngemäss erfüllt werden</li> <li>die Langzeitsicherheit durch gestaffelte passive Sicherheitsbarrieren gewährleistet wird</li> <li>Vorkehrungen zur Erleichterung von Überwachung und Reparaturen des Lagers oder zur Rückholung der Abfälle die passiven Sicherheitsbarrieren nach dem Verschluss des Lagers nicht beeinträchtigen</li> <li>das Lager innert einiger Jahre verschlossen werden kann.</li> </ol>	KEV Art. 11 Abs. 2
In der Rahmenbewilligung werden Kriterien festgelegt, bei deren Nichterfüllung ein vorgesehener Lagerbereich wegen fehlender Eignung ausgeschlossen wird.	KEG Art. 14 Abs. 1
<p>Ein geologisches Tiefenlager und dessen Oberflächenanlagen sind auf die Umsetzung der Leitsätze zur Erreichung des Schutzziels und die Einhaltung der Schutzkriterien auszulegen. Es gelten die in der Kernenergiegesetzgebung festgehaltenen Grundsätze der nuklearen Sicherheit und Sicherung.</p> <p>In der ENSI-G03 sind allgemeine Anforderungen sowie Anforderungen an die Oberflächenanlagen bzw. an die unterirdischen Bauwerke aufgeführt.</p>	ENSI-G03 Abs. 5.1, 5.1.1, 5.1.2, 5.1.3
Pflicht zur Optimierung: Bei jedem Schritt zur Realisierung sind für jede sicherheitsrelevante Entscheidung verschiedene Alternativen und ihre Bedeutung für die Langzeitsicherheit in qualitativer Weise zu betrachten und ein insgesamt für die Sicherheit günstiger Entscheid zu fällen.	ENSI-G03 Abs. 4.2k bzw. 6.1
Ein geologisches Tiefenlager besteht aus dem Hauptlager zur Aufnahme der radioaktiven Abfälle, aus einem Pilotlager und aus Testbereichen.	KEV Art. 64
In den Testbereichen sind die sicherheitsrelevanten Eigenschaften des Wirtgesteins zur Erhärtung des Sicherheitsnachweises standortspezifisch vertieft abzuklären.	KEV Art. 65 Abs. 1 sowie ENSI-G03 Abs. 5.2.3
Im Pilotlager ist das Verhalten der Abfälle, der Verfüllung und des Wirtgesteins bis zum Ablauf der Beobachtungsphase zu überwachen. Bei der Überwachung sind im Hinblick auf den Verschluss Daten zur Erhärtung des Sicherheitsnachweises zu ermitteln.	KEV Art. 66 Abs. 1 sowie ENSI-G03 Abs. 5.2.2
Die Ergebnisse der Überwachung [im Pilotlager] müssen auf die Vorgänge im Hauptlager übertragbar sein. Sie bilden eine Grundlage für den Entscheid über den Verschluss des Tiefenlagers.	KEV Art. 66 Abs. 2
<p>Bei der Auslegung des Pilotlagers sind folgende Grundsätze zu beachten:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse müssen mit denjenigen des Hauptlagers vergleichbar sein</li> <li>Das Pilotlager muss vom Hauptlager räumlich und hydraulisch getrennt sein</li> <li>Die Bauweise des Pilotlagers und die Art der Einlagerung der Abfälle und der Verfüllung müssen dem Hauptlager entsprechen</li> <li>Das Pilotlager muss eine repräsentative kleine Menge von Abfällen enthalten.</li> </ol>	KEV Art. 66 Abs. 3
Störfälle im Pilotlager dürfen die Betriebs- und Langzeitsicherheit des Hauptlagers nicht beeinträchtigen und umgekehrt. Eine allfällige Umlagerung der Abfälle aus dem Pilotlager in das Hauptlager ist bei der Auslegung zu berücksichtigen.	ENSI-G03 Abs. 5.1.5 bzw. 5.2.2
Während des Betriebs des Tiefenlagers ist die Versiegelung von Kavernen und Stollen zu erproben und deren Funktionstüchtigkeit nachzuweisen.	KEV Art. 65 Abs. 3

Tab. A.1-1: (Fortsetzung)

Vorgaben	Referenz
<b>Geologische Tiefenlager: Spezifische Vorgaben für den Betrieb</b>	
Die Betriebsbewilligung legt die Sicherheits-, Sicherungs- und Notfallschutzmassnahmen fest, die der Bewilligungsinhaber während des Betriebs zu treffen hat.	KEG Art. 21
Die allgemeinen Pflichten des Betriebsbewilligungsinhabers (inkl. Betriebssicherheit) sind im KEG aufgeführt.	KEG Art. 22
Die ENSI-G03 listet Vorgaben für den Betrieb eines geologischen Tiefenlagers auf inklusive Bestimmungen zur Überwachung, zur Einlagerung und zur laufenden Verfüllung der HAA-Stollen.	ENSI-G03 Abs. 5.2
Die ENSI-G03 listet Vorgaben bzgl. Schutzkriterien sowie Sicherheitsnachweis für die Betriebsphase.	ENSI-G03 Abs. 4.3.1 bzw. 7.1
Der Strahlenschutz in der Betriebsphase eines geologischen Tiefenlagers und seiner zugehörigen Oberflächenanlagen ist gemäss Art. 6 StSV zu optimieren. Dabei sind auch allfällige Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit zu berücksichtigen.	ENSI-G03 Abs. 6.1
Für die Betriebsphase ist eine probabilistische Sicherheitsanalyse durchzuführen. Die Gefährdungsanalyse durch extern ausgelöste Ereignisse ist gemäss Verordnung des UVEK (Verord. UVEK 2008) durchzuführen. Die Ergebnisse sind zu diskutieren, die risikodominanten Abläufe zu beschreiben und allenfalls sinnvolle Verbesserungsmassnahmen vorzuschlagen.	ENSI-G03 Abs. 7.1e
Bei Kernanlagen sind gegen Störfälle mit Ursprung innerhalb oder ausserhalb der Anlage Schutzmassnahmen zu treffen. Die Störfälle sind nach der Wahrscheinlichkeit ihres Eintretens in die Störfallkategorien gemäss Verordnung des UVEK (Verord. UVEK 2008) einzuteilen.	KEV Art. 8 sowie ENSI-G03 Abs. 7.1c
Falls es während der Betriebsphase Hinweise auf ein Versagen des Barrierensystems gibt, eine zielführende Instandsetzung nicht möglich ist und deshalb die Langzeitsicherheit eines geologischen Tiefenlagers nicht mehr gewährleistet werden kann, müssen Abfallgebinde zurückgeholt werden.	ENSI-G03 Abs. 5.2.6
Für den Fall einer ungünstigen Entwicklung der Rahmenbedingungen, welche die Sicherheit des Lagers oder einen ordnungsgemässen Verschluss in Frage stellen, sind technische und betriebliche Vorkehrungen für einen temporären Verschluss zu treffen. Der temporäre Verschluss ist in einem Konzept darzulegen, das zusammen mit dem Baubewilligungsgesuch einzureichen ist.	ENSI-G03 Abs. 5.1.6
<b>Geologische Tiefenlager: Spezifische Vorgaben für die Beobachtungsphase und den Verschluss</b>	
Der Eigentümer eines geologischen Tiefenlagers hat nach Einlagerung der Abfallgebinde die Lagerkavernen und -stollen zu verfüllen. Beim Verschluss hat er sämtliche noch offenen Teile des Tiefenlagers zu verfüllen und die für die Langzeitsicherheit und die Sicherung massgebenden Teile zu versiegeln.	KEV Art. 67 Abs. 1 & Art. 69 Abs. 1
Wenn die Einlagerung der radioaktiven Abfälle abgeschlossen ist, muss der Eigentümer ein aktualisiertes Projekt für die Beobachtungsphase und ein Projekt für den allfälligen Verschluss vorlegen. Der Bundesrat ordnet nach Ablauf der Beobachtungsphase die Verschlussarbeiten an. Nach ordnungsgemässigem Verschluss kann er eine weitere, befristete Überwachung anordnen. Nach ordnungsgemässigem Verschluss oder nach Ablauf der Überwachungsfrist stellt der Bundesrat fest, dass das Lager nicht mehr der Kernenergiegesetzgebung untersteht. Der Bund kann weitergehende Massnahmen nach diesem Zeitpunkt, insbesondere eine Umweltüberwachung, durchführen.	KEG Art. 39 und KEV Art. 42 sowie ENSI-G03 Abs. 5.3.1

Tab. A.1-1: (Fortsetzung)

Vorgaben	Referenz
<b>Geologische Tiefenlager: Spezifische Vorgaben für die Beobachtungsphase und den Verschluss</b> (Fortsetzung)	
Eine Beobachtungsphase von 50 Jahren wird vorausgesetzt.	SEFV Art. 3
Nach dem ordnungsgemässen Verschluss muss die Langzeitsicherheit erneut durch eine Sicherheitsanalyse bestätigt werden, in der die effektive Ausführung des Verschlusses berücksichtigt wird. Diese Sicherheitsanalyse bildet die Grundlage für die Feststellungsverfügung zur Entlassung eines geologischen Tiefenlagers aus der Kernenergiegesetzgebung.	ENSI-G03 Abs. 5.3.1
<b>Geologische Tiefenlager: Dokumentation, Markierung und Schutzbereich</b>	
Der Eigentümer eines geologischen Tiefenlagers muss eine Dokumentation erstellen, die für eine langfristige Sicherstellung der Kenntnisse über das geologische Tiefenlager geeignet ist. Die Dokumentation muss enthalten: a. Lage und Ausdehnung der Untertagbauten b. Inventar der eingelagerten radioaktiven Abfälle, in Art und Menge aufgeteilt nach den Lagerräumen c. Auslegung der technischen Sicherheitsbarrieren einschliesslich der Versiegelung der Zugänge d. Grundlagen und Ergebnisse der endgültigen Analyse der Langzeitsicherheit.	KEV Art. 71 Abs. 1 & 2 (s. auch KEG Art. 38 Abs. 2)
Der Betriebsbewilligungsinhaber muss eine vollständige Dokumentation über die technischen Einrichtungen und den Betrieb führen, den Sicherheitsbericht und den Sicherungsbericht wenn nötig anpassen und das Projekt für die Beobachtungsphase und den Plan für den Verschluss der Anlage nachführen.	KEG Art. 22
Der Bewilligungsinhaber hat die organisatorischen und technischen Dokumente während der gesamten Betriebsdauer bis zum Verschluss nachzuführen und dem aktuellen Stand der Kernanlage anzupassen. Er hat den Betrieb jederzeit nachvollziehbar zu dokumentieren. Die Dokumentation muss bis zum Verschluss oder bis nach Ablauf der Überwachungsfrist sicher aufbewahrt werden. Nach dem Verschluss oder nach Ablauf der Überwachungsfrist wird sie dem Departement übergeben.	KEV Art 41 und Art. 71 Abs. 3
[Die] nach dem ordnungsgemässen Verschluss abzugebende Dokumentation ist in mindestens drei Exemplaren zu erstellen und an unterschiedlichen Stellen zu archivieren. Die Langzeitbeständigkeit der Dokumentation ist aufzuzeigen, und die dazu erforderlichen Wartungs- und Instandhaltungsmassnahmen sind zu erläutern.	ENSI-G03 Abs. 6.3
Der Bundesrat legt die Kriterien für den Schutzbereich fest. Ein vorläufiger Schutzbereich wird bei der Erteilung der Rahmenbewilligung definiert und dem Grundbuchamt gemeldet. Bei der Erteilung der Betriebsbewilligung wird er definitiv festgelegt. Der Bundesrat sorgt dafür, dass die Informationen über das Lager, die eingelagerten Abfälle und den Schutzbereich aufbewahrt werden und die Kenntnisse darüber erhalten bleiben.	KEG Art. 40 bzw. KEV Art. 70
Der Bundesrat schreibt die dauerhafte Markierung des Lagers vor.	KEG Art. 40 Abs. 7
Der Eigentümer hat im Rahmen des Baubewilligungsgesuchs ein Konzept für die Markierung des geologischen Tiefenlagers vorzulegen.	ENSI-G03 Abs. 5.3.2
Die dauerhafte Markierung darf die Langzeitsicherheit nicht beeinträchtigen. Sie ist im Sicherheitsnachweis zu berücksichtigen.	ENSI-G03 Abs. 5.3.2
Mit dem Verschluss hat der Eigentümer des geologischen Tiefenlagers insbesondere zu gewährleisten, dass die Markierung des geologischen Tiefenlagers dauerhaft ist.	KEV Art. 69 Abs. 3

Tab. A.1-1: (Fortsetzung)

<b>Geologische Tiefenlager: Qualitätssicherung</b>	
Für sämtliche sicherheitsrelevanten Arbeiten zu Projektierung, Bau, Betrieb, Beobachtung und Verschluss eines geologischen Tiefenlagers ist ein Qualitätsmanagementprogramm zu erstellen	KEV Art. 25 & 31 sowie ENSI-G03 Abs. 6.2
<b>Geologische Tiefenlager: Sicherung der Anlagen</b>	
Um zu verhindern, dass die nukleare Sicherheit von Kernanlagen und Kernmaterialien durch unbefugtes Einwirken beeinträchtigt oder Kernmaterialien entwendet werden, müssen Sicherungsmassnahmen getroffen werden.	KEG Art. 5 Abs. 3
Systematische Sicherheits- und Sicherungsbewertungen sind während der ganzen Lebensdauer der Anlage durchführen. Der Sicherheitsbericht und der Sicherungsbericht sollen wenn nötig angepasst werden.	KEG Art. 22 Abs. 2
Sicherheitstechnische Anforderungen an die Sicherung von Kernanlagen inklusive Einteilung der Kernmaterialien und radioaktiven Abfälle und Sicherungsmassnahmen sind in der relevanten Gesetzgebung aufgeführt.	HSK-R-49 (HSK 2003a) sowie KEV Art. 9 Anhang 2 sowie Verord. UVEK (2008) Abs. 3
Der Betriebsbewilligungsinhaber hat für diejenigen Bereiche, in denen sich Kernmaterialien befinden, Materialbilanzzonen festzulegen.	Safeguardsverordnung Art. 8 Abs. 1
Der Betriebsbewilligungsinhaber hat eine Materialbilanzzone derart zu begrenzen, bzw. so zu unterteilen, dass Bestand und Bewegungen von Kernmaterialien jederzeit festgestellt werden können.	Safeguardsverordnung Art. 8 Abs. 2 und 3
Der Betriebsbewilligungsinhaber hat über den Bestand von Kernmaterialien in jeder Materialbilanzzone laufend Buch zu führen und dem Bundesamt die relevanten Berichte einzureichen.	Safeguardsverordnung Art. 9 und 10

Tab. A.1-2: Entscheidungspunkte: Erforderliche Genehmigungen und Bewilligungen für die schrittweise Realisierung der geologischen Tiefenlager in der Schweiz.

<b>Phase / Meilenstein</b>	<b>Genehmigungen, Bewilligungen und Freigaben</b>	<b>Referenz</b>
<b>Standortwahl:</b>		
SGT Etappe 1 (Bearbeitung, Genehmigung)	Genehmigung Objektblätter der Etappe 1 (Stufe Vororientierung) für geologische Standortgebiete und Planungssperimeter Erfolgte im Nov. 2011	Konzept SGT (BFE 2008)
SGT Etappe 2 (Bearbeitung, Genehmigung)	Genehmigung Objektblätter der Etappe 2 für mindestens je 2 Standorte	Konzept SGT (BFE 2008)
Vorbereitung Rahmenbewilligungsgesuch (RBG)	Bewilligung Feldarbeiten (erdwissenschaftliche Untersuchungen) im Hinblick auf das RBG	KEG Art. 35 – 36
	Ausnahme von der Bewilligungspflicht Allfällige weitere erforderliche Bewilligungen nach kantonalem oder Bundesrecht	KEV Art. 61 Abs. 1 KEV Art. 61 Abs. 2
SGT Etappe 3 (Vorbereitung, Genehmigung)	Genehmigung Objektblatt der Etappe 3 (Stufe Festsetzung) für gewählten Standort SMA sowie HAA (zeitgleich mit Erteilung Rahmenbewilligung durch Bundesrat)	Konzept SGT (BFE 2008)
<b>Rahmenbewilligung:</b>		
RBG (Vorbereitung, Prüfung, Bewilligungsprozess)	Rahmenbewilligung	KEG Art. 12 – 14
Vorbereitung und Beginn der erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag (EUU)	Bewilligung von erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag zur Erarbeitung der Grundlagen für das nukleare Baugesuch)	KEG Art. 35 – 36
	Allfällige weitere erforderliche Bewilligungen nach kantonalem oder Bundesrecht	KEV Art. 61 Abs. 2
	Freigabe der Untersuchungen gemäss Bewilligung für erdwissenschaftliche Untersuchungen	KEG Art. 36 Abs. 1b

Tab. A.1-2: (Fortsetzung)

<b>Phase / Meilenstein</b>	<b>Genehmigungen, Bewilligungen und Freigaben</b>	<b>Referenz</b>
<b>Bau Lager:</b>		
Nukleares Baugesuch (Vorbereitung, Prüfung, Bewilligung)	Nukleare Baubewilligung	KEG Art. 15 – 17
Bau Lager	Freigabe für Bauten und Anlagenteile gemäss Baubewilligung	KEV Art. 26 & Anhang 4
<b>Betrieb Lager:</b>		
Nukleares Betriebsgesuch (Vorbereitung, Prüfung, Bewilligung)	Nukleare Betriebsbewilligung	KEG Art. 19 – 21 & Art. 37
Betrieb Lager	Freigaben verschiedener Stufen der Inbetriebnahme gemäss Betriebsbewilligung  Ggf. Freigabe von freigabepflichtigen Änderungen in der Anlage	KEV Art. 29 & Anhang 4  KEV Art. 40
Vorbereitung Beobachtungsphase	Anordnungen des Departements für die Beobachtungsphase	KEG Art. 39 KEV Art. 68
<b>Verschluss:</b>		
Vorbereitung Verschluss Gesamtanlage	Bewilligung für den Verschluss der Gesamtanlage	KEG Art. 39 und 63
Periodische Aktualisierungen	Anpassung Entsorgungsprogramm  Berechnung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten  Berichte zur Beurteilung des Zustands und des Betriebs der Anlage	KEV Art. 52 Abs. 2 SEFV Art. 4  KEV Art. 37 & Anhang 5

Tab. A.1-3: Einzureichende Unterlagen für die in Tab. A.1-2 aufgeführten Genehmigungen und Bewilligungen für die Realisierung der geologischen Tiefenlager.

<b>Genehmigungen, Bewilligungen</b>	<b>Einzureichende Unterlagen</b>	<b>Referenz</b>
Genehmigung Objektblätter SGT Etappe 2	Dokumentation der vorgeschlagenen Standorte und deren Begründung, inklusive provisorische Sicherheitsanalysen und Bewertung von raumplanerischen Aspekten und Aspekten der Umweltverträglichkeit  (erfolgte im Dezember 2014)	Konzept SGT
Bewilligung Feldarbeiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Untersuchungsprogramm</li> <li>b. Geologischer Bericht</li> <li>c. Bericht über mögliche Auswirkungen der Untersuchungen auf Geologie und Umwelt</li> <li>d. Übersichtskarten und -pläne</li> <li>e. Gewünschte Dauer der Bewilligung</li> </ul>	KEV Art. 58
Genehmigung Objektblatt SGT Etappe 3 (Festsetzung)	<p>Bericht zur Begründung des gewählten Standorts SMA bzw. HAA</p> <p>Bericht über die Abstimmung mit der Raumplanung</p> <p>(Die obigen zwei Berichte sind identisch mit denjenigen für die Rahmenbewilligungsgesuche)</p>	Konzept SGT
Rahmenbewilligung	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Sicherheits- und Sicherungsbericht, aus denen hervorgehen: 1. die Standorteigenschaften; 2. der Zweck und die Grundzüge des Projektes; 3. die voraussichtliche Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage; 4. die wichtigen personellen und organisatorischen Angaben; 5. die Langzeitsicherheit</li> <li>b. Umweltverträglichkeitsbericht (UVP Stufe 1)</li> <li>c. Bericht über die Abstimmung mit der Raumplanung</li> <li>d. Konzept für die Beobachtungsphase und den Verschluss.</li> <li>e. Zusatzberichte mit Angaben über: 1. Vergleich der zur Auswahl stehenden Optionen hinsichtlich der Sicherheit des geplanten Tiefenlagers; 2. Bewertung der für die Auswahl des Standorts ausschlaggebenden Eigenschaften; 3. Höhe der Kosten.</li> </ul>	<p>a, d: KEV Art. 23</p> <p>b: USG Art. 10b, UVPV Art. 9 &amp; Anhang, 40.1 &amp; 40.2</p> <p>e: KEV Art. 62</p>
Bewilligung für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Untersuchungsprogramm</li> <li>b. Geologischer Bericht</li> <li>c. Bericht über mögliche Auswirkungen der Untersuchungen auf Geologie und Umwelt</li> <li>d. Übersichtskarten und -pläne</li> <li>e. Gewünschte Dauer der Bewilligung</li> </ul>	KEV Art. 58

Tab. A.1-3: (Fortsetzung)

<b>Genehmigungen, Bewilligungen</b>	<b>Einzureichende Unterlagen</b>	<b>Referenz</b>
Nukleare Bau-bewilligung	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Anlagenkonzepte / Auslegungsgrundlagen gemäss KEV Art. 7 – 12</li> <li>b. Umweltverträglichkeitsbericht (UVP Stufe 2)</li> <li>c. Bericht über die Abstimmung mit der Raumplanung</li> <li>d. Qualitätsmanagementprogramm für die Projektierungs- und die Bauphase</li> <li>e. Notfallschutzkonzept</li> <li>f. Projekt für die Beobachtungsphase und Plan für den Verschluss</li> <li>g. Bericht zur Übereinstimmung des Projekts mit der Rahmenbewilligung</li> </ul>	<p>a – g: KEV Art. 24 Abs. 2 &amp; Anhang 4</p> <p>b: USG Art. 10b, UVPV Art. 9 &amp; Anhang, 40.1 und 40.2</p>
Nukleare Betriebs-bewilligung	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Organisatorische und technische Dokumente (inklusive Sicherheits- und Sicherungsbericht)</li> <li>b. Diverse Unterlagen für die Betriebsbewilligung</li> <li>c. Nachweis für den Versicherungsschutz</li> <li>d. Bericht zur Übereinstimmung der Anlage mit der Rahmen- und der Baubewilligung</li> </ul>	KEV Art. 28 Abs. 1 & Anhänge 3 und 4
Anordnungen für Beobachtungs-phase	<p>Aktualisiertes Projekt für die Beobachtungsphase mit:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Umschreibung der nach Abschluss der Einlagerungen vorgesehenen Massnahmen zur Überwachung des Tiefenlagers</li> <li>– Vorschlag für die Dauer der Beobachtungsphase</li> </ul>	KEV Art. 68 Abs. 1
Bewilligung Verschluss Gesamtlager	<p>Projekt für den Verschluss mit folgenden Umschreibungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– das Verfüllen und Versiegeln der Zugänge zu den Lagerräumen</li> <li>– die Überführung des Pilotlagers in einen langfristig sicheren Zustand</li> <li>– das Verfüllen und Versiegeln der Zugänge zum Tiefenlager</li> <li>– die Gewährleistung der Langzeitsicherheit</li> </ul>	KEV Art. 69 Abs. 2
Entlassung des Tiefenlagers aus der Kernenergie-gesetzgebung	Sicherheitsanalyse, in der die effektive Ausführung des Verschlusses berücksichtigt wird	ENSI-G03, Abs. 5.3.1
Periodische Aktualisierungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Angepasstes Entsorgungsprogramm</li> <li>– Berichte zur Berechnung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten</li> <li>– Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsplan (RD&amp;D-Plan)</li> <li>– Berichte zur Beurteilung des Zustands und des Betriebs der Anlage (ab Betriebsphase)</li> </ul>	<p>KEV Art. 52</p> <p>SEFV Art. 4</p> <p>KEV Art. 37 &amp; Anhang 5</p>

## A.2 Ausgangslage, Handlungsspielraum und Flexibilität

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

Dargestellt wird jeweils zu ausgewählten Themen die Ausgangslage (1. Spalte), der vorhandener Handlungsspielraum zur Optimierung der Anlagen sowie der Umgang mit der vorhandenen resp. der erforderlichen Flexibilität zur Berücksichtigung möglicher zukünftiger Entwicklungen (2. Spalte), sowie Angaben zu Entscheidungspunkten, bei denen die Flexibilität bezüglich zukünftiger Entwicklungen bzw. der Handlungsspielraum zur Optimierung der Anlagen genutzt wird (3. Spalte). Den folgenden Angaben wird das Szenario 2b zugrunde gelegt. Dieses führt zum grösstmöglichen in die geologischen Tiefenlager einzubringenden radiologischen Inventar und umfasst die grössten zu erwartenden Abfallmengen (s. Kap. 2).

Tab. A.2-1: Ausgangslage, Handlungsspielraum und Flexibilität.

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

Tab. A.2-1: (Fortsetzung)

<b>Konditionierung, Charakterisierung und Inventarisierung der Abfälle</b>		
<b>Ausgangslage</b>	<b>Vorhandener Handlungsspielraum, erforderliche Flexibilität</b>	<b>Entscheidungspunkte, bei denen die Flexibilität bezüglich zukünftiger Entwicklungen bzw. der Handlungsspielraum zur Optimierung der Anlagen genutzt wird</b>
Die Konditionierung, Charakterisierung und Inventarisierung der heute anfallenden Abfälle gemäss heutigen Verfahren bzw. der zukünftig anfallenden Abfälle gemäss heute vorgesehenen Konzepten sind sichergestellt.	Es ist Handlungsspielraum vorhanden, um Konditionierverfahren zukünftig anfallender Abfälle an neue Erkenntnisse anzupassen (z.B. infolge Aktualisierung Stilllegungsstudien). Es ist Handlungsspielraum vorhanden, um bei Bedarf die Konditionierverfahren heute anfallender Abfälle zu verbessern bzw. falls notwendig bestehende Abfälle nachzubehandeln.	Zu jedem Zeitpunkt bis zur nuklearen Betriebsbewilligung der geologischen Tiefenlager können bei Bedarf die bestehenden bzw. geplanten Konditionierverfahren modifiziert respektive ergänzt werden. Falls erforderlich, können auch Umkonditionierungen erfolgen. Für beides sind die Bewilligungsverfahren definiert und die Methodik und Instrumente zur Beurteilung der Endlagerfähigkeit vorhanden.
<b>Lagerkapazität und Art der Abfälle</b>		
<b>Ausgangslage</b>	<b>Vorhandener Handlungsspielraum, erforderliche Flexibilität</b>	<b>Entscheidungspunkte, bei denen die Flexibilität bezüglich zukünftiger Entwicklungen bzw. der Handlungsspielraum zur Optimierung der Anlagen genutzt wird</b>
Auch im Szenario 2b (vgl. Kap. 2.1) ist eine ausreichende Lagerkapazität für alle Arten von Abfällen gemäss heutigen Konzepten vorhanden.	Das Lager ist so ausgelegt, dass eine ausreichende Flexibilität zur Anpassung der Lagerkapazität und zur Berücksichtigung neuer Abfallarten besteht.	Die Rahmenbewilligung legt die Lagerkapazität fest; es sind die dann absehbaren Abfälle einzuplanen. Die Lager werden so konzipiert, dass auch nach der Rahmenbewilligung die Flexibilität zur Anpassung der Lagerkapazität und zur Berücksichtigung neuer Abfallarten besteht; je nach Art und Umfang der Erweiterung bzw. Änderung ist entweder eine Ergänzung der Rahmen-, Bau- oder Betriebsbewilligung oder eine Behördenfreigabe notwendig.

Tab. A.2-1: (Fortsetzung)

<b>Abfallzuteilung</b>		
<b>Ausgangslage</b>	<b>Vorhandener Handlungsspielraum, erforderliche Flexibilität</b>	<b>Entscheidungspunkte, bei denen die Flexibilität bezüglich zukünftiger Entwicklungen bzw. der Handlungsspielraum zur Optimierung der Anlagen genutzt wird</b>
Die Abfallzuteilung erfolgt abgestimmt auf die an den verschiedenen Tiefenlager-Standorten vorherrschende Geologie (Wirtgestein, Langzeitstabilität) gemäss heutigen Konzepten.	Hinsichtlich der Abfallzuteilung auf die verschiedenen geologischen Tiefenlager ist im Ablauf Handlungsspielraum vorhanden, um auf Basis der effektiv vorgefundenen Verhältnisse die Abfallzuteilung bzw. Anforderungen an die einzulagernden Abfälle entsprechend dem Optimierungsgebot zu regeln.	Die Abfallzuteilung erfolgte konzeptuell im Rahmen der Standortwahl (SGT Etappe 1). Die Kategorien des Lagerguts sowie die maximale Lagerkapazität werden in der Rahmenbewilligung festgelegt. Die detaillierten Anforderungen an einzulagernde Abfälle werden in der nuklearen Bau- bzw. Betriebsbewilligung festgelegt unter Berücksichtigung der detaillierten Gegebenheiten (Standorteigenschaften nach vollständiger Exploration, detaillierte Auslegung des Lagers und der technischen Barrieren) und den dannzumal für die Einlagerung vorgesehenen Abfällen.
<b>Abfallinventar (Menge, Art) – Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung (MIF)</b>		
<b>Ausgangslage</b>	<b>Vorhandener Handlungsspielraum, erforderliche Flexibilität</b>	<b>Entscheidungspunkte, bei denen die Flexibilität bezüglich zukünftiger Entwicklungen bzw. der Handlungsspielraum zur Optimierung der Anlagen genutzt wird</b>
Das Inventar der MIF-Abfälle umfasst die Sammelperiode bis 2065; dies umfasst auch MIF-Abfälle die in ähnlicher Art wie heute in Zukunft anfallen.	Im Rahmen des mehrstufigen Bewilligungsverfahrens wird dem Erhalt genügender Flexibilität zum Umgang mit zusätzlichen MIF-Abfällen wegen Verlängerung der Sammelperiode der MIF-Abfälle (Übernahme der Lager durch den Bund etc.) Rechnung getragen. Es besteht Flexibilität in Anlagen und Konzepten bzgl. des Umgangs mit Abfällen aus anderen Quellen (neue Arten von MIF-Abfällen).	Der Bund entscheidet zu gegebener Zeit, ob, wann und in welchem Umfang MIF-Abfälle über die heute geplanten Mengen hinaus zu berücksichtigen sind. Für die Berücksichtigung neuer Abfallarten sind die Bewilligungsverfahren definiert und die Methodik und Instrumente zur Beurteilung ihrer Endlagerfähigkeit vorhanden. Grundsätzlich sind auch andersartige Abfälle lagerbar.

Tab. A.2-1: (Fortsetzung)

<b>Transporte</b>		
<b>Ausgangslage</b>	<b>Vorhandener Handlungsspielraum, erforderliche Flexibilität</b>	<b>Entscheidungspunkte, bei denen die Flexibilität bezüglich zukünftiger Entwicklungen bzw. der Handlungsspielraum zur Optimierung der Anlagen genutzt wird</b>
Die in Zusammenhang mit der Behandlung der Abfälle bzw. der Zwischenlagerung notwendigen Transporte werden routinemässig durchgeführt; für die zukünftig notwendigen Transporte zu den geologischen Tiefenlagern und für die Infrastruktur zur Be- und Entladung der Transportbehälter sind Konzepte vorhanden.	Die Flexibilität zur Berücksichtigung von neuen Erfahrungen, technischen Neuerungen und neuen Vorschriften (Infrastruktur, Transportbehälter, Fahrzeuge) ist vorhanden.	Bei jedem Transport werden mit der Transportbewilligung die detaillierten Bedingungen festgelegt. Zum Zeitpunkt der Bau- bzw. Betriebsbewilligung der geologischen Tiefenlager ist die für das Be- und Entladen sowie für den Transport notwendige Infrastruktur definitiv festzulegen (inkl. Massnahmen beim Absender).
<b>Sicherheits- und Lagerkonzepte, Auslegung Lagerkomponenten (technische Barrieren, Lagerkammern, Verfüllung, Endlagerbehälter, Versiegelung und Verschluss)</b>		
<b>Ausgangslage</b>	<b>Vorhandener Handlungsspielraum, erforderliche Flexibilität</b>	<b>Entscheidungspunkte, bei denen die Flexibilität bezüglich zukünftiger Entwicklungen bzw. der Handlungsspielraum zur Optimierung der Anlagen genutzt wird</b>
Die Auslegung der geologischen Tiefenlager gemäss heutigen Konzepten beruht auf einem Multibarrierenkonzept.	Handlungsspielraum ist im Ablauf vorhanden, um die Anordnung und Auslegung der Lagerkomponenten (inkl. Technologie) an neue Erkenntnisse (Fortschritt Standorterkundung, Erfahrungen in anderen Programmen) anzupassen.	Das Sicherheits- und Lagerkonzept wurde in den Grundzügen bei der Standortwahl festgelegt (Etappe 1 bzw. Etappe 2 des SGT) und ist wichtiger Bestandteil der Unterlagen zum Rahmenbewilligungsgesuch. Dieses enthält Konzepte für alle Elemente der technischen Barrieren, z. T. werden verschiedene Varianten offen gehalten. Die detaillierte Anordnung der einzelnen Lagerkammern und die Auslegung der Lagerkomponenten (technische Barrieren) erfolgt unter Berücksichtigung der standortspezifischen Gegebenheiten (z. T. basierend auf Exploration untertag) und den effektiv erwarteten Abfällen für das nukleare Baubewilligungsgesuch.

Tab. A.2-1: (Fortsetzung)

<b>Technologie für den Bau, Betrieb und Verschluss der Lager (über- und untertägige Anlagen)</b>		
<b>Ausgangslage</b>	<b>Vorhandener Handlungsspielraum, erforderliche Flexibilität</b>	<b>Entscheidungspunkte, bei denen die Flexibilität bezüglich zukünftiger Entwicklungen bzw. der Handlungsspielraum zur Optimierung der Anlagen genutzt wird</b>
Konzepte zur Technologie für den Bau, Betrieb und Verschluss der Lager (über- und untertägige Anlagen) sind vorhanden.	Bei der Technologie für den Bau, Betrieb und Verschluss ist im Ablauf ein ausreichender Handlungsspielraum vorhanden, damit bei Bedarf die Auslegung der Anlagen an neue Erkenntnisse (z.B. auch aus ausländischen Programmen) angepasst werden kann.	Die notwendige Technologie wird auf Stufe Konzept für das Rahmenbewilligungsgesuch festgelegt. Auf Stufe Rahmenbewilligung können für ausgewählte Elemente alternative Konzepte offen gehalten werden. Die detaillierte Festlegung der Technologie erfolgt für das nukleare Baubewilligungsgesuch basierend auf dem dann aktuellen Kenntnisstand.
<b>Rückholbarkeit und Überwachung</b>		
<b>Ausgangslage</b>	<b>Vorhandener Handlungsspielraum, erforderliche Flexibilität</b>	<b>Entscheidungspunkte, bei denen die Flexibilität bezüglich zukünftiger Entwicklungen bzw. der Handlungsspielraum zur Optimierung der Anlagen genutzt wird</b>
Rückholbarkeit und Überwachung sind integrale Bestandteile der Lagerkonzepte; entsprechende stufengerechte Konzepte zur Technologie sind vorhanden. Die detaillierte Auslegung erfolgt für das nukleare Baugesuch.	Für die Auslegung der Geräte zur Rückholung der Abfälle, Ausgestaltung des Pilotlagers (inkl. Instrumentierung) und der weiteren Elemente der Überwachung ist im Ablauf Handlungsspielraum vorhanden, um den Erkenntniszuwachs zu berücksichtigen und für das nukleare Baugesuch die Technologie zur Rückholung gemäss dem Stand der Technik auszulegen und die Überwachung mit aktueller Technologie auf die dann zumal als relevant beurteilten Phänomene zu fokussieren.	Im Rahmenbewilligungsgesuch werden die Konzepte dargestellt die auch Alternativen umfassen können, die detaillierte Auslegung erfolgt für das nukleare Baubewilligungsgesuch.

Tab. A.2-1: (Fortsetzung)

<b>Standort – Anordnung der untertägigen Lagerbauten</b>		
<b>Ausgangslage</b>	<b>Vorhandener Handlungsspielraum, erforderliche Flexibilität</b>	<b>Entscheidungspunkte, bei denen die Flexibilität bezüglich zukünftiger Entwicklungen bzw. der Handlungsspielraum zur Optimierung der Anlagen genutzt wird</b>
Die Anordnung und detaillierte Auslegung der untertägigen Lagerbauten berücksichtigt das effektiv einzulagernde Abfallinventar und die standortspezifischen Gegebenheiten gemäss den standortspezifischen Felduntersuchungen.	Für die detaillierte Anordnung der untertägigen Lagerbauten ist im Ablauf genügend Handlungsspielraum vorhanden, um die detaillierte Auslegung der Lagerbauten (inkl. Technologie) an neue Erkenntnisse (Fortschritt Standorterkundung, Erfahrungen in anderen Programmen) und an das effektiv einzulagernde Abfallinventar anzupassen.	Der Vorschlag und die Genehmigung der Standorte erfolgt in SGT Etappe 2, die ungefähre Anordnung der untertägigen Lagerbauten mit der Rahmenbewilligung (untertägiger Perimeter). Die detaillierte Anordnung der untertägigen Lagerbauten erfolgt unter Berücksichtigung der standortspezifischen Gegebenheiten (z.B. basierend auf Exploration untertag) für das nukleare Baubewilligungsgesuch.

Tab. A.2-1: (Fortsetzung)

<b>Standort – Anordnung und Gestaltung der Oberflächeninfrastruktur (inkl. Zufahrt und Erschliessung), inklusive Auslegung</b>		
<b>Ausgangslage</b>	<b>Vorhandener Handlungsspielraum, erforderliche Flexibilität</b>	<b>Entscheidungspunkte, bei denen die Flexibilität bezüglich zukünftiger Entwicklungen bzw. der Handlungsspielraum zur Optimierung der Anlagen genutzt wird</b>
<p>Anordnung und räumliche Gestaltung der Oberflächeninfrastruktur:</p> <p>Der Platzbedarf für die Oberflächeninfrastruktur ist beschränkt; in der Regel existieren unter Einbezug von Aspekten der Raumnutzung und Umweltverträglichkeit verschiedene Möglichkeiten zur Anordnung und räumlichen Gestaltung der Oberflächeninfrastruktur. Die behördlichen Verfahren führen zu einer Abstimmung mit der Raumplanung und stellen stufengerecht die Umweltverträglichkeit des Vorhabens sicher.</p>	<p>Mit der Festlegung von mindestens einem Standortareal für die Oberflächenanlage pro Standortgebiet im Rahmen von SGT Etappe 2, ist stufengerecht eine erste Festlegung erfolgt.</p> <p>Eine weitere Festlegung hinsichtlich der Anordnung und räumlichen Gestaltung der Oberflächeninfrastruktur erfolgt in SGT Etappe 3 im Rahmen der Platzierung der Schachtkopfanlagen. Zudem besteht in Etappe 3 eine ausreichende Flexibilität zur Optimierung der Oberflächeninfrastruktur hinsichtlich der Anordnung und räumlichen Gestaltung; dies betrifft u.a. die definitive Bezeichnung von Standortarealen für die Oberflächenanlage als Aspekte der Erschliessung.</p>	<p>In SGT Etappe 2 wurden die Möglichkeiten zur Anordnung und Gestaltung der Oberflächeninfrastruktur identifiziert, evaluiert und als Ergebnis einer intensiven Zusammenarbeit mit den Standortregionen Standortareale für die Oberflächenanlage bezeichnet; in SGT Etappe 3 können diese Festlegungen nochmals überprüft werden.</p> <p>Die Anlagen werden im Rahmenbewilligungsgesuch in ihren Grundzügen gemäss Vorgaben der Kernenergiegesetzgebung beschrieben und der Perimeter gemäss SGT festgelegt.</p> <p>Die detaillierte Ausgestaltung wird für das nukleare Baubewilligungsgesuch ausgearbeitet. Dies umfasst auch die mit dem Bau und dem Betrieb zusammenhängenden Erschliessungsanlagen und Installationsplätze. Zum geologischen Tiefenlager gehören zudem die Standorte für die Verwertung und Ablagerung von Ausbruch-, Aushub- oder Abbruchmaterial, die in einem engen räumlichen und funktionalen Zusammenhang mit dem Projekt stehen.</p>
<p>Auslegung der Oberflächeninfrastruktur gemäss heutigen Konzepten</p>	<p>Für die Auslegung der Oberflächeninfrastruktur ist genügend Handlungsspielraum vorhanden, um stufengerecht die Auslegung der Oberflächeninfrastruktur an neue Erkenntnisse (insbesondere Fortschritt in der Technologie und neue Erfahrungen in anderen Programmen) anzupassen.</p>	<p>Die Auslegung der Oberflächeninfrastruktur wird im Rahmenbewilligungsgesuch in ihren Grundzügen gemäss Vorgaben der Kernenergiegesetzgebung beschrieben.</p> <p>Eine detaillierte Auslegung der Oberflächeninfrastruktur erfolgt mit dem nuklearen Baubewilligungsgesuch.</p>

Tab. A.2-1: (Fortsetzung)

<b>Standort – Nachweis der Sicherheit</b>		
<b>Ausgangslage</b>	<b>Vorhandener Handlungsspielraum, erforderliche Flexibilität</b>	<b>Entscheidungspunkte, bei denen die Flexibilität bezüglich zukünftiger Entwicklungen bzw. der Handlungsspielraum zur Optimierung der Anlagen genutzt wird</b>
<p><i>Langzeitsicherheit:</i> In SGT Etappe 2 wurden der Kenntnisstand aus SGT Etappe 1 weiter vertieft und unter Berücksichtigung der Resultate aus dem RD&amp;D-Programm und den standortbezogenen Daten stufengerechte Analysen erstellt.</p> <p><i>Betriebssicherheit:</i> Es ist grosse Erfahrung bzgl. Analyse der Sicherheit des Betriebs von Kernanlagen vorhanden. Zudem sind stufengerechte Analysen hinsichtlich des Baus und des Betriebs der geologischen Tiefenlager erfolgt.</p>	<p>Bei jeder Bewilligung werden die Langzeit- und Betriebssicherheit unter Berücksichtigung der neu angefallenen Erkenntnisse im Rahmen von periodischen Sicherheitsberichten neu evaluiert. Es ist genügend Handlungsspielraum zu erhalten für allfällig notwendige Anpassungen der Anlage und Änderungen im RD&amp;D-Plan aufgrund der Resultate der Sicherheitsanalyse.</p>	<p>Für die verschiedenen Entscheidungspunkte sind die Sicherheitsberichte zu aktualisieren und an die neuen Erkenntnisse und getroffenen Entscheidungen (Abfälle, Lagerauslegung) anzupassen. Das sicherheitsbezogene RD&amp;D-Programm und die Lagerauslegung haben die Erkenntnisse aus den Sicherheitsberichten und ihrer Begutachtungen zu berücksichtigen im Hinblick auf eine optimale Auslegung der Anlagen.</p>
<b>Standort – Geologie: Grossräume und ihre Konfiguration (Standort)</b>		
<b>Ausgangslage</b>	<b>Vorhandener Handlungsspielraum, erforderliche Flexibilität</b>	<b>Entscheidungspunkte, bei denen die Flexibilität bezüglich zukünftiger Entwicklungen bzw. der Handlungsspielraum zur Optimierung der Anlagen genutzt wird</b>
<p>Sowohl für SMA als auch HAA verbleiben in SGT Etappe 3 verschiedene mögliche Konfigurationen (Tiefenlage, Ausdehnung etc.) im Opalinuston.</p>	<p>Bei der Standortwahl ist genügend Handlungsspielraum im Platzangebot vorzusehen um dem Erkenntnisgewinn hinsichtlich standortspezifischen Gegebenheiten (u.a. Tektonik, Zustandsparameter, Langzeitentwicklung) im Rahmen der weiteren Realisierung Rechnung zu tragen.</p>	<p>Die Festlegung des Standorts (inkl. Definition des Raums im Untergrund, in welchem Eingriffe die Sicherheit des Lagers beeinträchtigen könnten) erfolgt über die Rahmenbewilligung und führt zur raumplanerischen Sicherung eines vorläufigen Schutzbereichs. Die Betriebsbewilligung legt den definitiven Schutzbereich des geologischen Tiefenlagers fest.</p>

### A.3 Bei der Vorbereitung und Realisierung der geologischen Tiefenlager zu bearbeitende Themen

Tab. A.3-1: Für die Umsetzung des Realisierungsplans aus heutiger Sicht zu bearbeitende Themen.

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Geologische Untersuchungen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Standortuntersuchungen (Geometrie und Eigenschaften relevanter Gesteinsschichten, Zustandparameter, standortspezifische Langzeitentwicklung etc.)</li> <li>– Regionale geologische Untersuchungen (Langzeitentwicklung, allgemeine Geologie etc.)</li> <li>– Vertiefung des Prozessverständnisses (Transportmechanismen, Gasfreisetzung, Selbstabdichtung, gekoppelte Phänomene, Felsmechanik etc.)</li> <li>– Synthesen und Berichterstattung, inklusive geologische Datensätze für den Bau der Lageranlagen und für die Beurteilung der Sicherheit</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Sicherheit und Abklärung sicherheitsrelevanter Phänomene</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Sicherheits-, Barrieren- und Strahlenschutzkonzepte, Methodik der Sicherheits- und Systemanalysen</li> <li>– Charakterisierung der Immobilisierungs-, Retardierungs- und Transportphänomene für Radionuklide (insbesondere bzgl. Geochemie) in den technischen und geologischen Barrieren nach Verschluss der Tiefenlager und deren Berücksichtigung in den Modellen der Sicherheitsanalyse</li> <li>– Sicherheitsbezogene Eigenschaften der technischen Barrieren und des Nahfelds, inklusive Interaktion mit der umgebenden Geologie sowie Vertiefung des Prozessverständnisses für die technischen Barrieren und das Nahfeld</li> <li>– Modellierungen zur Berechnung von Personendosen aus Radionuklidfreisetzungsraten nach Verschluss der Tiefenlager</li> <li>– Dosisberechnungen und Störfallanalysen für die Betriebsphase</li> <li>– Berichte zur Langzeitsicherheit und zur Sicherheit während der Betriebsphase</li> </ul> </li> </ul>

Tab. A.3-1: (Fortsetzung)

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Radioaktive Materialien und Abfälle</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Kontinuierliche Verbesserung der Methoden zur Charakterisierung und Inventarisierung der radioaktiven Abfälle in der Schweiz, sowohl für bereits existierende, aber insbesondere für künftige Abfallströme (z.B. aus KKW-Stilllegungsprojekten)</li> <li>– Kontinuierlicher Abbau von vermeidbaren Ungewissheiten und Konservativitäten bei der Inventarisierung des radioaktiven Abfalls als Basis für die radiologischen Datenbanken ISRAM und MIRAM</li> <li>– Bereitstellung der kompletten Abfalllogistik (Abfall- und Transportmengengerüste) für jedes relevante Tiefenlager-Szenario</li> <li>– Beratung der Abfallverursacher, insbesondere im Hinblick auf künftige Stilllegungsprojekte (ELFB-Pionierprojekte, Erstellung neuer Abfallspezifikationen, SMA/LMA-Behälterentwicklungen)</li> <li>– Überprüfung der verwendeten bzw. vorgesehenen Konditioniermethoden, inklusive Evaluation neuer Konditionierverfahren</li> <li>– Evaluation der sicherheitsbezogenen Eigenschaften der Abfälle (BE-Integritätsfragestellungen, Verwertung, resp. allfällige Entsorgung der Transportbehälter, Gebinde-Handhabungsfragestellungen in der Oberflächenanlage)</li> <li>– Ausschluss von Kritikalität sowohl für Handhabungsvorgänge als auch für Langzeit-Tiefenlagerung mittels fortgeschrittener Methoden ("Burn-up Credit")</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Auslegung und späterer Bau, Betrieb, Überwachung und Verschluss der geologischen Tiefenlager</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Standortspezifische Auslegungskonzepte und Projekte zu Modulen des Lagers, inklusive baulicher Gestaltung und betrieblicher Abläufe</li> <li>– Konzepte und Projekte zu den technischen Barrieren (inkl. Materialien) und Entwicklung der notwendigen Technologie zu deren Herstellung und Einbringen: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Endlagerbehälter</li> <li>- Verfüllmaterial</li> <li>- Versiegelung</li> </ul> </li> <li>– Technologien und Methodik für: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Einlagerung der Abfälle</li> <li>- Überwachung des Lagers</li> <li>- Rückholung der Abfälle</li> <li>- Verschluss des Lagers, inkl. Markierung und Langzeitarchivierung</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Weitere Aspekte, inklusive Organisation (Management und Planung)</b></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Information gemäss Informationskonzept</b></li> </ul>

Tab. A.3-2: Kurzbeschreibung der Arbeitsschwerpunkte der nächsten Jahre (exklusive RD&amp;D).

Die aufgelisteten Themen werden ausgehend von den vorhandenen Grundlagen und Erfahrungen (z.B. Entsorgungsnachweis HAA, Rahmenbewilligungsgesuch SMA, Berichterstattung SGT Etappe 1 und 2) stufengerecht vertieft. Themen aus dem RD&D-Programm sind in Tab. A.3-3 aufgeführt.

- **Geologische Untersuchungen**

- **Standortuntersuchungen für SGT Etappe 3:** Die teilweise bewilligungspflichtigen Feldarbeiten umfassen insbesondere ergänzende Kartierungen, Sondierbohrungen, Seismik, Quartäruntersuchungen und weitere geophysikalische Messungen. Die Resultate der Feldarbeiten werden in entsprechenden Berichten dokumentiert. Die Feldarbeiten liefern Erkenntnisse zur Geometrie und Bestimmung bzw. Bestätigung standortspezifischer Eigenschaften relevanter Gesteinsschichten (z.B. Wirtgestein und Rahmengesteine), zur geologischen Langzeitentwicklung und zur Bestimmung relevanter Zustandsparameter (hydraulische Potenziale, Gebirgsspannungen, Temperaturen etc.).
- **Weiterführung der regionalen geologischen Untersuchungen zur allgemeinen Geologie und Tektonik, zur Hydrogeologie und zur geologischen Langzeitentwicklung (Studien, Messkampagnen):** Dies umfasst die Sammlung und Auswertung von neuen Daten aus tieferen Bohrungen und weiteren Berichten Dritter sowie von neuen geologischen Kartierungen. Zudem sind geplant: hydrogeologische Modellrechnungen, die Fortführung der Zusammenarbeit mit dem Schweizerischen Erdbebendienst (Messnetz Mikro-Seismizität), die Beteiligung an periodischen geodätischen Messungen (Präzisions-Nivellements), der Betrieb eines geodätischen Präzisionsmessnetzes (auf Basis von GNSS-Permanentstationen) sowie Feldarbeiten, Studien und Modellierrechnungen zur geologischen Langzeitentwicklung (Klima-Entwicklung, Erosion, Neotektonik).
- **Synthesen und Berichterstattung zur Geologie der Standorte für SGT Etappe 3 sowie für die Rahmenbewilligungsgesuche:** Die für die verschiedenen Standortgebiete vorgenommenen Synthesen werden in entsprechenden Berichten dokumentiert.

- **Sicherheit und Abklärung sicherheitsrelevanter Phänomene**

- **Verfeinerung der Sicherheits-, Barrieren- und Strahlenschutzkonzepte und Durchführung von Systemanalysen** als Input für die Auslegungskonzepte (s.u.) und die sicherheitsgerichtete Optimierung der geologischen Tiefenlager (insbesondere Beiträge zur Standortwahl und zur Abgrenzung der untertägigen Lagerbereiche).
- **Berichte zur Langzeitsicherheit** unter Berücksichtigung des aktuellen Kenntnisstands (Stand der Anlagenplanung, Geosynthesen, Erkenntnisse aus dem RD&D-Programm): Für SGT Etappe 3 sind die Sicherheitsberichte für die Rahmenbewilligungsgesuche gemäss dem Stand von Wissenschaft und Technik zu erarbeiten. Hierzu sind bestehende Sicherheitsanalysen so anzupassen, dass ein konsistenter Umgang mit Ungewissheiten sowohl für probabilistische, als auch für deterministische Analysen sichergestellt ist.
- **Berichte zur Sicherheit während der Betriebsphase** unter Berücksichtigung des aktuellen Kenntnisstands (Stand der Anlagenplanung, Erkenntnisse aus dem RD&D-Programm): Für die Rahmenbewilligungsgesuche sind Berichte zur Sicherheit während der Betriebsphase gemäss dem Stand von Wissenschaft und Technik zu erstellen. Hierzu sind spezifische Dosisberechnungen und deterministische Störfallanalysen durchzuführen.

Tab. A.3-2: (Fortsetzung)

- **Radioaktive Materialien und Abfälle**
  - **Kontinuierliche Verbesserung der Methoden zur Charakterisierung und Inventarisierung der radioaktiven Abfälle in der Schweiz:** Die Methoden der Abfallcharakterisierung fassen einerseits auf der Erhebung von spezifischen Messdaten für die unterschiedlichen Abfallströme. Diese Messdatenbasis ist Gegenstand kontinuierlicher Aktualisierungsaktivitäten. Daneben gilt es, die unterstützenden rechnerischen Methoden auf dem jeweiligen Stand von Wissenschaft und Technik zu halten. Insbesondere erfolgt dies mit Blick auf die erst künftig anfallenden Stilllegungsabfälle der Schweizer KKW.
  - **Kontinuierlicher Abbau von vermeidbaren Ungewissheiten und Konservativitäten:** Sämtliche bestehenden Ungewissheiten und Konservativitäten in den Nagra-Datenbanken für die nachfolgenden Sicherheitsstudien etc. (ISRAM für bestehende Abfallgebinde, MIRAM für das modellhafte Abfallinventar) unterliegen einer ständigen, kritischen Überprüfung. Sobald mittels neuer Verfahren oder aktualisierter Messwerte und Informationen ein Abbau von Ungewissheiten und Konservativitäten erfolgen kann, werden die zugrunde liegenden Datenbanken entsprechend aktualisiert – dies ist ein kontinuierlicher Prozess (Wartung/Aufdatierung der Datenbanken).
  - **Bereitstellung der kompletten Abfalllogistik:** Aktualisierte Abfall- und Transportmengenengerüste sind eminent für jegliche logistische Planung der Abfallströme zwischen Produzenten (KKW/Forschungseinrichtungen), Zwischenlagern, Abfallbehandlungszentren und Tiefenlager-Oberflächenanlagen. Hierfür müssen je nach Szenario alle logistischen Einflussgrößen bereitgestellt werden – jeweils auf Grundlage der aktuellen Abfallmengen- und Transportbehälter-Konfigurationen.
  - **Beratung der Abfallverursacher:** Insbesondere im Hinblick auf künftige Stilllegungsprojekte gilt es, neue, bisher noch nicht angefallene Abfallströme zu charakterisieren und begleitend adäquate Verpackungskonzepte auszulegen. In diesem Rahmen müssen neue Abfallspezifikationen mit pionierartigen ELFB-Projekten erstellt und durchgeführt sowie gegebenenfalls optimierte SMA/LMA-Behältertypen für Stilllegungsabfälle entwickelt werden. Die Nagra arbeitet hier eng mit den Produzenten in beratender Weise zusammen, nicht zuletzt um auch Synergieeffekte für die Tiefenlagerung sicherstellen zu können.
  - **Überprüfung der Konditioniermethoden:** Die verwendeten bzw. vorgesehenen Konditioniermethoden werden kontinuierlich überprüft, neue Konditionierverfahren werden evaluiert. Weiter werden im Rahmen der Sicherheitsanalysen die kritischen Abfalleigenschaften (Gasbildung, Komplexbildner etc.) evaluiert.
  - **Evaluation sicherheitsbezogener Abfall-Eigenschaften:** Insbesondere BE-Integritätsfragestellungen im Rahmen der geplanten Umladung der BE von Transportbehältern in die Endlagerbehälter stehen derzeit im Fokus und müssen zufriedenstellend beantwortet werden. Fragen bzgl. der künftigen Entsorgung von BE/HAA-Transportbehältern sowie der Handhabung aller Abfallgebinde in den Oberflächenanlagen der Tiefenlagerstandorte sind abschliessend zu klären. Stufengerechte Sicherheitsfragestellungen sind zügig zu beantworten.
  - **Ausschluss von Kritikalität:** Kritikalität ist jederzeit – sowohl während der Handhabung radioaktiver Abfallgebinde als auch während der Langzeit-Tiefenlagerung – auszuschliessen. Hierzu werden moderne Kritikalitätsrechenverfahren verwendet, deren Methoden und Datengrundlagen kontinuierlicher, internationaler Verbesserungsaktivitäten unterliegen.

Tab. A.3-2: (Fortsetzung)

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Auslegung der geologischen Tiefenlager (Bau, Betrieb, Überwachung und Verschluss)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>Anpassung der generischen Konzepte an die spezifischen Standortbedingungen:</b> Im Rahmen der Vertiefung der Projekte in SGT Etappe 3 und für die Rahmenbewilligungsgesuche sind auf Basis der generischen Konzepte standortspezifische Konzepte auszuarbeiten, welche insbesondere die Anordnung und die Gestaltung der Oberflächenanlagen umfassen. Dazu sind auch die raumplanerischen Aspekte und Fragen des Umweltschutzes zu berücksichtigen. Diese Arbeiten werden gemäss SGT teilweise unter Einbezug der betroffenen Standortregionen und -kantone durchgeführt ("Partizipation").</li> <li>– <b>Vertiefung der Konzepte für verschiedene Lagermodule und für die Betriebsabläufe:</b> Dazu gehören Studien zur Oberflächeninfrastruktur bestehend aus der Oberflächenanlage, den notwendigen Schachtkopfanlagen und der versorgungs- und verkehrstechnischen Erschliessung. Ebenso werden Konzepte zu den Zugängen nach Untertag, den Lagerkammern, dem Test- und Pilotlager etc. unter Berücksichtigung der Lüftung und der möglichen Baumethoden ausgearbeitet. Neben dem Konzept zur Rückholung werden auch die Konzepte zum Bauablauf und zu den Betriebsabläufen unter Berücksichtigung der Betriebssicherheit und des Strahlenschutzes analysiert. In der Regel umfassen die Konzepte eine Zusammenstellung der Grundlagen und Vorgaben, die Prüfung verschiedener Lösungsansätze sowie stufengerecht eine Vertiefung geeigneter Varianten.</li> <li>– <b>Vertiefung der Konzepte für die Überwachung des Lagers und für die Markierung und Langzeitarchivierung:</b> Dazu gehört insbesondere ein Konzept für das Pilotlager und für weitere Beobachtungen im geologischen Tiefenlager (Monitoringkonzept). Weiter sind erste Konzepte bzgl. Überlieferung von Informationen an künftige Generationen zu entwerfen, insbesondere in Bezug auf die langfristige Markierung der geologischen Tiefenlager und die langfristige Archivierung von Unterlagen. Dazu sind verschiedene Studien geplant. Als Teil der Gesuchsunterlagen für die Rahmenbewilligungsgesuche wird ein Konzept für die Beobachtungsphase erarbeitet.</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Weitere Aspekte, inklusive Organisation (Management und Planung)</b> Für die Abwicklung der Arbeiten wird ein geeignetes Management-System unterhalten (inkl. zertifiziertes QM-System), in welchem die Planung einen grossen Stellenwert hat.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Information gemäss Informationskonzept</b> Die verschiedenen Elemente des Informationskonzepts sind in Kap. 8 beschrieben. Die effektiven Informationstätigkeiten werden an die Bedürfnisse der Interessensgruppen angepasst.</li> </ul>

Tab. A.3-3: Themen, die gemäss Realisierungsplan aus heutiger Sicht im Rahmen der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten (RD&D-Programm) in den nächsten 10 Jahren behandelt werden (für Details s. Nagra 2016a).

- **Geologische Untersuchungen**

- *Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Hinblick auf die Charakterisierung der Geosphäre für die ausgewählten Standortgebiete.* Methoden, welche zur Beschreibung der geologischen Situation beitragen, sollen bedarfsspezifisch weiter entwickelt werden. Dabei geht es um Modelle (litho-stratigraphische Schichtmodelle, Störungsmodelle), um die Beschreibung der relevanten Eigenschaften und ihrer Variabilität (z.B. Mineralogie, Porosität, hydraulische Leitfähigkeit, geomechanische Eigenschaften, Gastransporteigenschaften) sowie um dynamische Modelle zur Definition und Vorhersage der In situ-Zustandsbedingungen (Porendruck, Wassersättigung, chemische Zusammensetzung der Wässer, Temperatur, Spannungszustand, Beanspruchung/Verformung).
- *Geologische Langzeitentwicklung (Neotektonik, Klimaentwicklung, Erosion).* Hinsichtlich Neotektonik soll die Charakterisierung der tektonischen Aktivität im Quartär verbessert und die instrumentelle Aufzeichnung der rezenten Krustenbewegungen erweitert werden. Es werden mögliche zukünftige neotektonische Szenarien untersucht, wobei die mögliche Reaktivierung regionaler Störungen im Grundgebirge und eine anhaltende Deformation des Jura-Falten- und Überschiebungsgürtels im Vordergrund stehen. Zudem werden die Auswirkungen von neotektonischen Bewegungen und Seismizität auf die verschiedenen Elemente eines Tiefenlagers sowie die geologischen und technischen Barrieren analysiert. Bezüglich der Klimaentwicklung soll das Verständnis des lokalen Klimas in den Zentralalpen und ihres nördlichen Vorlands über einen Glazial-/Interglazialzyklus untersucht werden, um beurteilen zu können, wie das globale Klimasystem die lokalen Bedingungen beeinflusst. Im Hinblick auf zukünftige Erosion sind Methodentests zur Datierung quartärer Sedimente vorgesehen. Das Verhalten und die Ausdehnung der Eisstromsysteme (Rhein-, Aare- und Rhonegletscher) sollen durch Eisstrommodellierungen unter verschiedenen klimatischen Bedingungen untersucht werden. Gekoppelte numerische Simulationen von Eisstrom, glazialer Hydrologie und glaziofluvialer Erosion sollen helfen, die Faktoren, welche die Tiefe der glazialen Übertiefung kontrollieren, einzugrenzen und besser zu verstehen.
- *Verbesserung des Prozessverständnisses sicherheitsrelevanter Schlüsselphänomene im Wirtgestein (und einschlusswirksamen Gebirgsbereich), die zur entscheidenden Rolle des Wirtgesteins im Multibarrierenkonzept beitragen.* Die Thematik des Radionuklidtransports weist einen fortgeschrittenen Bearbeitungsstand auf und wird in Zukunft punktuell weiter verfeinert. Das grundlegende Verständnis des Gastransports im gering durchlässigen Wirtgestein wird weiter vertieft. Das Verständnis der Selbstabdichtung wird angesichts ihrer Bedeutung und wie sie sich auf Wasser- und Gastransport auch in der EDZ auswirkt, weiter verfeinert. Das grundsätzliche Verständnis der thermischen Auswirkungen auf das Wirtgestein, auch in grösserem Massstab, wird insbesondere durch die Überwachung (Monitoring) von grossmassstäblichen Experimenten beurteilt. Im Bereich der Geomechanik ist geplant, robustere Testprotokolle und eine umfangreichere Datenbasis zu entwickeln, was zu verbesserten konstitutiven Modellen führt. Der Einfluss von Mikroorganismen unter Tiefenlagerrelevanten Bedingungen soll vertieft beurteilt werden.

Tab. A.3-3: (Fortsetzung)

- **Charakterisierung der radioaktiven Abfälle und deren Eigenschaften**
  - Die Verbesserung der Kenntnisse über die Inventare und Eigenschaften der Abfallgebindetypen erfolgt im Hinblick auf die Handhabung abgebrannter Brennelemente und Beladung der Endlagerbehälter, die Inventarisierung von schwachaktiven, für die Planung des Rückbaus von Kernkraftwerken relevanten Stilllegungsabfällen sowie deren Verpackung und damit zusammenhängende Logistikfragen, wie auch die Inventare der aus der Forschung stammenden, schwachaktiven Abfälle.
  - Eine Charakterisierung des spontan freigesetzten Anteils von besonders mobilen Radionukliden ("Instant Release Fraction") und der Auflösungsrate abgebrannter Brennelemente unter reduzierenden Bedingungen (mit Schwerpunkt auf Mischoxid-BE, MOX) ist vorgesehen wie auch die Abschätzung der geochemischen Auswirkungen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich zum Zeitpunkt der Freisetzung, um die vorhandene Datenbasis diesbezüglich zu erweitern. Im Rahmen der internationalen Aktivitäten wird in den nächsten Jahren die Freisetzungsrates von  $^{14}\text{C}$  in die gasförmige und flüssige Phase mit gezielten Versuchen bestimmt und bewertet. Die Entwicklung einer Methodik zur Bewertung der Kritikalität unter Einbezug des Brennstoff-Abbrands ("Burn-up Credit") wird in den kommenden Jahren abgeschlossen sein.
  - Langzeitexperimente zur Gasproduktion aus organischen Materialien in SMA werden fortgesetzt zusammen mit Experimenten zur Korrosion und Gasbildung von und aus Metallen.
  - Die langfristige Integrität der abgebrannten Brennelemente bei der Zwischenlagerung sowie das Langzeitverhalten der Hüllrohre soll besser untersucht werden. Neben der Teilnahme an internationalen Projekten wurden Experimente mit abgebrannten Brennelementen aus der Schweiz lanciert. Diese werden erheblich zum Wissen über oben genannte Prozesse beitragen.

Tab. A.3-3: (Fortsetzung)

- **Auslegung und Technologieentwicklung der Oberflächen- und Untertagbauten für die geologischen Tiefenlager und für die technischen Barrieren**
  - Das Rahmenbewilligungsgesuch erfordert ein Auslegungskonzept. Zudem sind konzeptionelle Studien betreffend Rückholbarkeit geplant, die mögliche In-situ-Bedingungen zu verschiedenen Rückholzeiten bis zum Verschluss des Gesamtlagers abdecken.
  - Vorstudien zu bedarfsgerechten technischen Einrichtungen für den Tunnelvortrieb werden zusammen mit den Tunnelausbaukonzepten erstellt.
  - Nachdem die Verfüllung eines modellhaften BE/HAA-Lagerstollens im 1:1-Massstab erfolgreich demonstriert worden ist (Full Emplacement-Experiment im Felslabor Mont Terri, FE), sind im Hinblick auf die Einbringtechnik in naher Zukunft keine grösseren Aktivitäten vorgesehen.
  - Da die Materialwahl nicht in naher Zukunft erfolgen wird, sollen bei der Entwicklung der Endlagerbehälter für BE/HAA mögliche Alternativen offen bleiben; hierbei liegt der Fokus der Arbeiten auf kupferbeschichteten Lagerbehältern.
  - Die Entwicklung und Produktion von Prototypen der Lagercontainer für SMA, die in enger Zusammenarbeit mit den Abfallerzeugern erfolgt, wird demnächst abgeschlossen sein.
  - Für das Rahmenbewilligungsgesuch wird ein umfassendes Verschlusskonzept (Versiegelungen und Verfüllungen) benötigt, welches auf dem Layout des Tiefenlagers und den Sicherheitsanforderungen basiert. Wichtige technische Grundlagen dazu wurden bereits entwickelt und in den letzten Jahren in Experimenten mit Erfolg getestet. Nebst dem Monitoring und der Interpretation der weiterlaufenden 1:1-Experimente werden die Arbeiten zum Verschlusskonzept bis zum Rahmenbewilligungsgesuch vorwiegend analytisch-konzeptioneller Art sein.
  - Spezifische Aspekte zum Auslegungskonzept der Verpackungsanlagen sollen untersucht werden. Dazu gehören Themen wie Transport- und Abfallgebände-Management, Handhabung von Brennelementen und Behälterbeladung.

Tab. A.3-3: (Fortsetzung)

- **Entwicklung der sicherheitsrelevanten Eigenschaften und Prozesse im Nahfeld**
  - Das Ziel ist eine belastbare Beschreibung der Entwicklung des BE/HAA- und SMA-Nahfelds.
  - Um das Prozessverständnis zur Behälterentwicklung zu verbessern und die Referenzwerte der Korrosionsraten zu verfeinern, werden die laufenden Labor- und In-situ-Versuche unter anoxischen Bedingungen bei erhöhter Temperatur fortgeführt.
  - Die Wirksamkeit von Bentonit ist eingehend untersucht und charakterisiert worden. Die verbleibenden RD&D-Aktivitäten beziehen sich auf spezifische Themen, wie die Fähigkeit, mikrobielles Wachstum bei bestimmten Quelldrücken zu unterbinden. Es sind Untersuchungen geplant, um in Zukunft das gegenwärtige Verständnis zur Wirksamkeit von Bentonit bei Temperaturen  $> 100^{\circ}\text{C}$  weiter zu verbessern. Zudem sollen die Folgen der Variabilität der Trockendichte als Folge des Einbauverfahrens oder der späteren Auswirkung von thermischen und hydraulischen Prozessen im Hinblick auf die Barrierenwirksamkeit untersucht werden.
  - Um die Bedeutung der Auflockerungszone (AUZ) für die Langzeitsicherheit weiter zu untersuchen, werden AUZ-relevante Daten aus dem Felslabor Mont Terri und anderen Forschungslabors kompiliert. Dies ermöglicht, Folgen der tektonischen Überprägung und mineralogischen Variabilität auf die Entwicklung der AUZ zu evaluieren. Dies ermöglicht zudem eine robuste Einschätzung des felsmechanischen Gesteinsverhaltens auf künftige Lagerbauten, welche in die Modellierung der Lagerauslegung einfließt.
  - Die Gasfreisetzung aus einem HAA-Lager und die induzierten thermischen Überdrücke werden vertieft untersucht. Sensitivitätsanalysen umfassen sowohl den Gas-transfer innerhalb der einzelnen Lagerkomponenten als auch das Verhalten des Gesamtsystems. Dies ermöglicht eine nochmals verbesserte Einschätzung des maximalen Gasdruckaufbaus in den verfüllten Lagerbauten und der thermischen Überdrücke im Nahfeld.
  - Messwerte aus der Langzeitüberwachung während der Wiederaufsättigung der technischen Barrieren aus Schlüsselexperimenten im Felslabor Mont Terri (FE, HE-E) liefern Erkenntnisse hinsichtlich der Entwicklung des HAA-Nahfelds in der Übergangsphase. Diese Daten werden im Rahmen von internationalen Arbeitsgruppen für die Prozessmodellierung eingesetzt. Dies ermöglicht eine weitere Modellentwicklung und -validierung.
  - Weltweit sind zahlreiche SMA-Lager in Betrieb. Dadurch ist die Notwendigkeit für RD&D-Aktivitäten im Hinblick auf das SMA-Lager im Vergleich zum HAA-Lager gering. Viele Aktivitäten sind allerdings für beide Lagertypen relevant. Die kontrollierte Ableitung von Gasen entlang den Zugangsbauwerken (EGTS, "Engineered Gas Transport System") wird weiter untersucht in Zusammenhang mit der Fortführung des GAST-Experiments (Gas-Permeable Seal Test) im Felslabor Grimsel. Dabei wird die Funktionstüchtigkeit der Sand/Bentonit-Versiegelung im Massstab 1:1 untersucht. Dies trägt zum Verständnis des Gas/Wasser-Flusses unter Tiefenlager-relevanten Bedingungen bei.
  - Die verfügbaren Daten hinsichtlich des Transports von Radionukliden im Nahfeld, des bestehenden Prozessverständnisses sowie des Kenntnisstands von kompaktierten Ton-systemen sind ausgereift. Die verbleibenden Ungewissheiten beschränken sich auf die Übertragbarkeit von den in dispergierten Tonystemen gemessenen Daten auf kompaktierte Systeme. Ebenso sind Aspekte der Sorption, Radionuklidspeziation, das Verhalten redoxsensitiver Radionuklide und die Speziation, Stabilität und Rückhaltung von  $^{14}\text{C}$  zu beachten.

Tab. A.3-3: (Fortsetzung)

<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Sicherheitsanalyse</b><ul style="list-style-type: none"><li>– Die vorgesehenen Entwicklungsarbeiten für die Bewertung der Sicherheit nach dem Verschluss des Lagers umfassen im Wesentlichen die folgenden Aspekte: Behandlung von Eigenschaften, Ereignissen und Prozessen (FEP: "features, events and processes"), Entwicklung von Szenarien sowie Methoden und Werkzeugen für probabilistische Sicherheits- und Sensitivitätsanalysen. Dabei wird insbesondere auf die konsistente Behandlung von Ungewissheiten und Risiken fokussiert. Folgende Aktivitäten sind ausserdem vorgesehen: Verbesserung der Methoden zur Abschätzung der Folgen von menschlichem Eindringen; Darlegung von Konsequenzen einer allfälligen eiszeitlichen Erosion und Freilegung des Lagers sowie verbesserte Biosphärenmodellierung.</li><li>– Für die Bewertung der Betriebssicherheit sind mit dem allgemeinen Ziel, die Methodik und die damit verbundenen Bewertungs- und Arbeitsmittel weiter zu entwickeln, folgende Aktivitäten geplant: Entwicklung eines auf die Bedürfnisse der betrieblichen Sicherheitsbeurteilung zugeschnittenen Klassifikationskonzepts für die radioaktiven Abfälle sowie die Weiterentwicklung von Sicherheitskonzepten und damit verbundenen Anforderungen im Hinblick auf die Minimierung resp. Vermeidung von Betriebsstörungen und Störfällen.</li></ul></li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Entwicklung eines Konzepts zur Tiefenlagerüberwachung (Monitoring)</b><ul style="list-style-type: none"><li>– Auf strategischer Ebene ist auch weiterhin die Beteiligung der Nagra an internationalen Forschungsprojekten wichtig; dies betrifft insbesondere Projekte mit Beteiligung von internationalen Partnern von Ländern mit einem weit fortgeschrittenen Entsorgungsprogramm. Dies ermöglicht die Berücksichtigung deren Erfahrungen im nationalen Programm.</li><li>– Laufende respektive geplante Experimente in den beiden schweizerischen Felslabors führen zu Fortschritten bei der Lagerüberwachung (Monitoring) hinsichtlich technologischer und methodischer Fragestellungen.</li><li>– Für die Oberflächenbeobachtung von Bodenbewegungen und Seismizität sind in den Standortgebieten GNSS- und seismische Stationen installiert. Bei Bedarf können diese an ausgewählten Standorten durch weitere Fernerkundungsstationen ergänzt werden.</li></ul></li></ul>

Tab. A.3-4: Arbeiten im Rahmen des RD&D-Programms und der Einreichung der Rahmenbewilligung im Hinblick auf das nukleare Bau- und Betriebsgesuch (für Details s. Nagra 2016a).

<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Baubewilligung</b><ul style="list-style-type: none"><li>– Weitere Verfeinerung des Sicherheitsnachweises hinsichtlich folgender Aspekte: geologische Charakterisierung, Charakterisierung der radioaktiven Abfälle und ihrer Eigenschaften, lagerbedingte Einflüsse, Radionuklidtransport, Methoden zur Beurteilung der Langzeitsicherheit.</li><li>– Weitere Verbesserung der Tunnelauslegungskonzepte und Demonstration der Lagerauslegung einschliesslich des Lagerausbaus in realistischem Massstab auf Basis der In situ-Charakterisierung der erforderlichen Wirtgesteinseigenschaften.</li><li>– Auswahl der Behälterauslegung; die ausgewählten Materialien und entwickelten Prototypen werden in realistischem Massstab getestet.</li><li>– Prüfung, endgültige Auswahl und Optimierung von Verfüllungsmaterialien einschliesslich deren detaillierten Charakterisierung.</li><li>– Anpassung der Einlagerungs- und Verfüllungstechnologie für die industrielle Anwendung.</li><li>– Entwicklung geeigneter Werkzeuge für die Behälterhandhabung in den Oberflächen- und Untertaganlagen.</li><li>– Auslegung von Technologien zur Einlagerung der HAA-Endlagerbehälter und zum automatisierten Einbau der technischen Barrieren.</li><li>– Überwachungskonzept und Weiterentwicklung entsprechender Technologien.</li></ul></li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Betriebsbewilligung</b><ul style="list-style-type: none"><li>– Weitere Verfeinerung des Sicherheitsnachweises hinsichtlich folgender Aspekte: geologische Charakterisierung, Charakterisierung der radioaktiven Abfälle und ihrer Eigenschaften, Auswirkungen lagerinduzierter Effekte, Radionuklidtransport, Methoden zur Beurteilung der Langzeitsicherheit.</li><li>– Demonstration der Einlagerung und Rückholbarkeit in Lagertiefe, Nachweis der bautechnischen Machbarkeit der Verfüllungselemente, Verfolgen der Entwicklung innovativer automatisierter Verfahren mit dem Ziel, die Arbeitssicherheit zu verbessern und den Bau und die Einlagerung zu optimieren.</li></ul></li></ul>

#### A.4 Phasen, Zeitperioden und vorgesehene Aktivitäten für das HAA- und SMA-Programm gemäss Realisierungsplan

Tab. A.4-1: Wichtigste Aktivitäten in den verschiedenen Phasen (HAA-Lager) gemäss dem Realisierungsplan.

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

Phase	Zeitperiode	Ziel	Wichtigste Aktivitäten
Standortwahl	2016 – 2018	SGT Etappe 2: Auswahl von mind. 2 Standorten	Behördliche Prüfung der Unterlagen, Entscheid Bundesrat
	2019 – 2024	SGT Etappe 3: Feldarbeiten, Wahl Standort für RBG, Vorbereitung und Erstellung RBG	Durchführung und Auswertung der Feld- arbeiten, Festlegung Standort für RBG, Erarbeitung der Unterlagen für das Rahmenbewilligungsgesuch
Rahmen- bewilligung	2025 – 2031	Rahmenbewilligung	Behördliche Prüfung der Unterlagen, Entscheid Bundesrat, Genehmigung durch Parlament, fakultatives nationales Referendum
	2027 – 2031	Bewilligung erdwissen- schaftlicher Unter- suchungen untertag	Bewilligungsverfahren für bewilligungs- pflichtige Feldarbeiten (erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag, Ergänzung der Untersuchungen von der Oberfläche)
Vorbereitung und Beginn der erdwissen- schaftlichen Untersuchun- gen untertag (EUU)	2032 – 2037	Vorbereitungsarbeiten und Beginn erdwissen- schaftlicher Unter- suchungen untertag	Vorbereitungsarbeiten und Beginn erdwissenschaftlicher Untersuchungen untertag (begleitende Charakterisierung bei der Erstellung Sondierzugänge untertag, Beginn erster Experimente untertag); Ergänzung der Untersuchungen von der Oberfläche
Weiterführung der erdwissen- schaftlichen Untersuchun- gen untertag (EUU)	2038 – 2048 (– 2124)	Weiterführung erdwissenschaftlicher Untersuchungen untertag	Aufbau und Durchführung von Experi- menten untertag und Beobachtung, Syn- thesen, Vorbereitung Unterlagen nukleares Baubewilligungsverfahren
	2045 – 2048	Nukleare Baubewilligung	Behördliche Prüfung nukleares Bau- bewilligungsgesuch, Entscheid UVEK
Bau Lager	2049 – 2059	Bau Lager	Bau Oberflächenanlage (inkl. Ver- packungsanlage) / untertägige Bauten, inklusive Ausrüstung, Vorbereitung Unter- lagen nukleares Betriebsbewilligungs- verfahren
	2056 – 2059	Nukleare Betriebsbewilligung	Behördliche Prüfung der Unterlagen, Entscheid UVEK
Einlagerungs- betrieb	2060 – 2074	Betrieb Lager	Antransport der Abfallgebinde, Ver- packung / Einlagerung in Pilot- und Haupt- lager, Verfüllung und Verschluss der Lagerkammern, fortlaufende Erstellung neuer Lagerstollen BE/HAA, periodische Sicherheitsanalysen / Berichterstattung

Tab. A.4-1: (Fortsetzung)

<b>Phase</b>	<b>Zeitperiode</b>	<b>Ziel</b>	<b>Wichtigste Aktivitäten</b>
Beobachtungsphase	2075 – 2124	Beobachtungsphase	Messungen Pilotlager, weitere Überwachungsaktivitäten, periodische Berichterstattung
	2075 – 2080	Stilllegung / Rückbau der nuklearen Elemente der Oberflächenanlage	Stilllegung und Rückbau Verpackungsanlage
	2085 – 2090	Verschluss Hauptlager / teilweise Rückbau der Oberflächenanlage	Verschluss Haupt- und Pilotlager inkl. nicht mehr benötigter Zugänge von der Oberfläche nach Untertag, Weiterführung Rückbau Oberflächenanlage (konventionell)
Verschluss Gesamtlager	2125 – 2126	Ordnungsgemässer Verschluss Gesamtlager	Vorbereitungsarbeiten, Verfüllung und Versiegelung noch verwendeter Testbereiche und offener Zugänge, der untertägigen Anlagen  Markierung des Tiefenlagers, vollständiger Rückbau der Oberflächenanlagen, allfällige Renaturierung
Langzeitüberwachung	> 2126	Umweltüberwachung	Allfällige Durchführung von Massnahmen zur Umweltüberwachung bis Entlassung des verschlossenen Tiefenlagers aus der Kernenergiegesetzgebung

Tab. A.4-2: Wichtigste Aktivitäten in den verschiedenen Phasen (SMA-Lager) gemäss dem Realisierungsplan.

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

Phase	Zeitperiode	Ziel	Wichtigste Aktivitäten
Standortwahl	2016 – 2018	SGT Etappe 2: Auswahl von mind. 2 Standorten	Behördliche Prüfung der Unterlagen, Entscheid Bundesrat
	2019 – 2024	SGT Etappe 3: Feldarbeiten, Wahl Standort für RBG, Vorbereitung und Erstellung RBG	Durchführung und Auswertung der Feld- arbeiten, Festlegung Standort für RBG, Erarbeitung der Unterlagen für das Rahmenbewilligungsgesuch
Rahmen- bewilligung	2025 – 2031	Rahmenbewilligung	Behördliche Prüfung der Unterlagen, Entscheid Bundesrat, Genehmigung durch Parlament, fakultatives nationales Referendum
	2027 – 2031	Bewilligung erdwissen- schaftlicher Unter- suchungen untertag	Bewilligungsverfahren für bewilligungs- pflichtige Feldarbeiten (erdwissenschaft- liche Untersuchungen untertag, Ergänzung der Untersuchungen von der Oberfläche)
Vorbereitung und Beginn der erdwissen- schaftlichen Untersuchun- gen untertag (EUU)	2032 – 2035	Vorbereitungsarbeiten und Beginn erdwissen- schaftlicher Unter- suchungen untertag	Vorbereitungsarbeiten und Beginn erd- wissenschaftlicher Untersuchungen unter- tag (begleitende Charakterisierung bei der Erstellung Sondierzugänge untertag, Beginn erster Experimente untertag); Ergänzung der Untersuchungen von der Oberfläche
Weiterführung der erdwissen- schaftlichen Untersuchun- gen untertag (EUU)	2036 – 2044 (– 2114)	Weiterführung erd- wissenschaftlicher Untersuchungen untertag	Aufbau und Durchführung von Experi- menten untertag und Beobachtung, Synthe- sen, Vorbereitung Unterlagen nukleares Baubewilligungsverfahren
	2041 – 2044	Nukleare Baubewilligung	behördliche Prüfung nukleares Baubewilli- gungsgesuch, Entscheid UVEK
Bau Lager	2045 – 2049	Bau Lager	Bau Oberflächenanlage (inkl. Ver- packungsanlage) / untertägige Bauten, inklusive Ausrüstung, Vorbereitung Unter- lagen nukleares Betriebsbewilligungs- verfahren
	2046 – 2049	Nukleare Betriebsbewilligung	Behördliche Prüfung der Unterlagen, Entscheid UVEK
Einlagerungs- betrieb	2050 – 2064	Betrieb Lager	Antransport der Abfallgebände, Ver- packung / Einlagerung in Pilot- und Haupt- lager, Verfüllung und Verschluss der Lagerkammern, periodische Sicherheits- analysen / Berichterstattung

Tab. A.4-2: (Fortsetzung)

<b>Phase</b>	<b>Zeitperiode</b>	<b>Ziel</b>	<b>Wichtigste Aktivitäten</b>
Beobachtungsphase	2065 – 2114	Beobachtungsphase	Messungen Pilotlager, weitere Überwachungsaktivitäten, periodische Berichterstattung
	2065 – 2070	Stilllegung / Rückbau der nuklearen Elemente der Oberflächenanlage	Stilllegung und Rückbau Verpackungsanlage
	2075 – 2080	Verschluss Hauptlager / teilw. Rückbau der Oberflächenanlage	Verschluss Haupt- und Pilotlager inkl. nicht mehr benötigter Zugänge von der Oberfläche nach Untertag, Weiterführung Rückbau Oberflächenanlage (konventionell)
Verschluss Gesamtlager	2115 – 2118	Ordnungsgemässer Verschluss Gesamtlager	Verfüllung und Versiegelung noch verwendeter Testbereiche und offener Zugänge, Markierung des Tiefenlagers, vollständiger Rückbau der Oberflächenanlagen, allfällige Renaturierung
Langzeitüberwachung	> 2118	Umweltüberwachung	Allfällige Durchführung von Massnahmen zur Umweltüberwachung bis Entlassung des verschlossenen Tiefenlagers aus der Kernenergiegesetzgebung

Tab. A.4-3: Darlegung eines möglichen Programms HAA für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag gemäss Kapitel 9 im RD&D-Plan (Nagra 2016a).

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

Dabei werden folgende Bedingungen angenommen: Die Erstellung der Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen erfolgt gestaffelt und ohne relevante geologische Überraschungen; damit kann bereits ab 2035 mit ersten Experimenten begonnen werden. Ab 2038 werden diese Experimente durch weitere spezifische Untersuchungen im Hinblick auf die nukleare Baubewilligung sowie Langzeitexperimente ergänzt. Ab 2049 erfolgt die Erprobung sicherheitsrelevanter Techniken und der Nachweis deren Funktionstüchtigkeit im Hinblick auf die Inbetriebnahme des geologischen Tiefenlagers. Zudem werden die Langzeitexperimente im Rahmen von Testbereichen bei Bedarf weitergeführt. Es wird davon ausgegangen, dass die Untersuchungen in den Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen resp. den Testbereichen repräsentativ sind für das geologische Tiefenlager und die Experimente keine Überraschungen zeigen, welche die Eignung des Standorts in Frage stellen.

Phase	Zeitperiode	Tätigkeit	Wichtigste Aktivitäten mit zugehörigen Zielen (C, B, Ü, D) (C) Charakterisierung der geologischen Situation (B) Eignungsbestätigung hinsichtlich vorgängiger Annahmen und Parameter (Ü) Überwachung (D) Demonstration
Vorbereitung und Beginn der erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag (EUU)	2032 – 2037	Begleitende Charakterisierung bei der Erstellung Zugang untertag	<ul style="list-style-type: none"> <li>Charakterisierung während Bau Sondierschacht und Sondiertunnel (Kartierung und Beprobung): Darin eingeschlossen sind geotechnische, hydrogeologische und hydrogeochemische Aspekte (C)</li> <li>Überwachung unter In-situ-Bedingungen (Ü)</li> </ul>
	2035 <sup>87</sup>	Beginn erster Experimente im Rahmen erster Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag	<ul style="list-style-type: none"> <li>Charakterisierung der geologischen Situation untertag auf Lagerebene inklusive räumlich Variabilität (C)</li> <li>Beginn von Experimenten zur Bestätigung felsmechanischer Parameter (Orientierung im Spannungsfeld) und Eignung technischer Elemente (z.B. Stützmittel) im Hinblick auf den Bau des Lagers (B)</li> <li>Überwachung unter In-situ-Bedingungen (Ü)</li> <li>Gasfreisetzung über das Wirtgestein (Gastest) (B)</li> <li>Migrationsexperimente (Diffusionsversuche) (B, D)</li> </ul>
Weiterführung der erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag (EUU)	2038 – 2048	Weiterführung von Experimenten in Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag im Hinblick auf die nukleare Baubewilligung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Überwachung unter In-situ-Bedingungen (Ü)</li> <li>Selbstabdichtung (Entwicklung, Geometrie und hydraulische Eigenschaften der Auflockerungszone) (B)</li> <li>Auswirkungen Wärmeeintrag auf Wirtgestein und Verfüllmaterial (Heatertest) (B)</li> <li>(Kleinmassstäbliche) Erprobung der Versiegelung (B, D)</li> </ul>

<sup>87</sup> Der Beginn von Experimenten in Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag ist aufgrund unterschiedlicher Bauzeiten für den benötigten Zugang nach Untertag (Sondierschacht/Sondiertunnel) standortabhängig. Es wird davon ausgegangen, dass 2035 mit ersten Experimenten in Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag begonnen werden kann.

Tab. A.4-3: (Fortsetzung)

Phase	Zeitperiode	Tätigkeit	<b>Wichtigste Aktivitäten mit zugehörigen Zielen (C, B, Ü, D)</b> (C) Charakterisierung der geologischen Situation (B) Eignungsbestätigung hinsichtlich vorgängiger Annahmen und Parameter (Ü) Überwachung (D) Demonstration
Bau Lager	2049 – 2059	Weiterführung von Langzeitexperimenten sowie Erprobung sicherheitsrelevanter Techniken und Nachweis deren Funktionstüchtigkeit im Hinblick auf die Inbetriebnahme	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Demonstrationsversuche zur Einlagerung (inkl. Einbringen des Verfüllmaterials) und Rückholung der Abfallgebinde (D)</li> <li>• Überwachung unter In-situ-Bedingungen (Ü)</li> <li>• Evtl. Fortführung von Langzeitexperimenten</li> </ul>

Tab. A.4-4: Darlegung eines möglichen Programms SMA für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag gemäss Kapitel 9 im RD&D-Plan (Nagra 2016a).

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

Dabei werden folgende Bedingungen angenommen: Die Erstellung der Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen erfolgt gestaffelt und ohne relevante geologische Überraschungen; damit kann bereits ab 2035 mit ersten Experimenten begonnen werden. Ab 2036 werden diese Experimente durch weitere spezifische Untersuchungen im Hinblick auf die nukleare Baubewilligung sowie Langzeitexperimente ergänzt. Ab 2045 erfolgt die Erprobung sicherheitsrelevanter Techniken und der Nachweis deren Funktionstüchtigkeit im Hinblick auf die Inbetriebnahme des geologischen Tiefenlagers. Zudem werden die Langzeitexperimente im Rahmen von Testbereichen bei Bedarf weitergeführt. Es wird davon ausgegangen, dass die Untersuchungen in den Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen resp. den Testbereichen repräsentativ sind für das geologische Tiefenlager und die Experimente keine Überraschungen zeigen, welche die Eignung des Standorts in Frage stellen.

Phase	Zeitperiode	Tätigkeit	Wichtigste Aktivitäten mit zugehörigen Zielen (C, B, Ü, D) (C) Charakterisierung der geologischen Situation (B) Eignungsbestätigung hinsichtlich vorgängiger Annahmen und Parameter (Ü) Überwachung (D) Demonstration
Vorbereitung und Beginn Erhebung Daten untertag	2032 – 2035	Begleitende Charakterisierung bei der Erstellung Zugang untertag	<ul style="list-style-type: none"> <li>Charakterisierung während Bau Sondierschacht und Sondiertunnel (Kartierung und Beprobung): Darin eingeschlossen sind geotechnische, hydrogeologische und hydrogeochemische Aspekte (C)</li> <li>Überwachung unter In-situ-Bedingungen (Ü)</li> </ul>
	2035 <sup>88</sup>	Beginn erster Experimente im Rahmen erster Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag	<ul style="list-style-type: none"> <li>Charakterisierung der geologischen Situation untertag auf Lagerebene inklusive räumliche Variabilität (C)</li> <li>Initiierung von Experimenten zur Bestätigung von felsmechanischen Parametern (Orientierung im Spannungsfeld) und Eignung technischer Elemente (z.B. Stützmittel) im Hinblick auf den Bau des Lagers (B)</li> <li>Überwachung unter In-situ-Bedingungen (Ü)</li> <li>Gasfreisetzung über das Wirtgestein (Gastest) (B)</li> </ul>
Weiterführung Erhebung Daten untertag	2036 – 2044	Weiterführung von Experimenten in Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag im Hinblick auf die nukleare Baubewilligung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Überwachung unter In-situ-Bedingungen (Ü)</li> <li>Selbstabdichtung (Entwicklung, Geometrie und hydraulische Eigenschaften der Auflockerungszone) (B)</li> <li>(Kleinmassstäbliche) Erprobung der Versiegelung (B, D)</li> </ul>

<sup>88</sup> Der Beginn von Experimenten in Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag ist aufgrund unterschiedlicher Bauzeiten für den benötigten Zugang nach Untertag (Sondierschacht/Sondiertunnel) standortabhängig. Es wird davon ausgegangen, dass 2035 mit ersten Experimenten in Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag begonnen werden kann.

Tab. A.4-4: (Fortsetzung)

Phase	Zeitperiode	Tätigkeit	<b>Wichtigste Aktivitäten mit zugehörigen Zielen (C, B, Ü, D)</b> (C) Charakterisierung der geologischen Situation (B) Eignungsbestätigung hinsichtlich vorgängiger Annahmen und Parameter (Ü) Überwachung (D) Demonstration
Bau Lager	2045 – 2049	Weiterführung von Langzeitexperimenten sowie Erprobung sicherheitsrelevanter Techniken und Nachweis deren Funktionstüchtigkeit im Hinblick auf die Inbetriebnahme	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Demonstrationsversuche zur Einlagerung (inkl. Einbringen des Verfüllmaterials) und Rückholung der Abfallgebinde (D)</li> <li>• Überwachung unter In situ-Bedingungen (Ü)</li> <li>• Evt. Fortführung von Langzeitexperimenten</li> </ul>

Tab. A.4-5: Betriebs- und Stilllegungszeiten der KKW und Zwischenlager gemäss Szenario 2b.

	<b>KKB</b>	<b>KKM</b>	<b>KKG</b>	<b>KKL</b>	<b>ZWILAG</b>	<b>ZWIBEZ</b> <sup>1)</sup>	<b>BZL/OSPA</b>
Kommerzieller Betrieb von/bis	24.12.1969 <sup>2)</sup> – 2030	06.11.1972 – 2019 <sup>3)</sup>	01.11.1979 – 2039	15.12.1984 – 2044	2000 – mind. 2074	2008 – 2074	1992 – 2064
Nachbetrieb von/bis	2031 – 2034	2020 – 2024	2040 – 2042	2045 – 2048			
Rückbau von/bis <sup>4)</sup>	2035 – 2044	2020 – 2031	2043 – 2050	2049 – 2059	2060 <sup>5)</sup> – 2079	2075	
Dezentrale SMA-Zwischenlager von/bis <sup>6)</sup>	1970 – 2034	1972 – 2024	1979 – 2042	1984 – 2048			
ZWILAG Halle S von/bis					2020 <sup>7)</sup> – 2064		
ZWILAG Halle M von/bis					2000 – 2074		
ZWILAG Halle H von/bis					2000 – 2074		
ZWIBEZ Halle S von/bis						2008 – 2064	
ZWIBEZ Halle H von/bis						2008 – 2074	
KKG Nasslager von/bis			2008 – 2046				

<sup>1)</sup> BZL, ZWIBEZ und ZWILAG verfügen über eigenständige Bewilligungen gemäss der Kernenergiegesetzgebung; das ZWIBEZ wird auch nach erfolgter Stilllegung des KKB vor Ort autonom weiterbetrieben.

<sup>2)</sup> Datum für KKB I: 24.12.1969, KKB II: 15.03.1972; bei den weiteren Zeitangaben wird für beide Blöcke jeweils ein "mittleres" Jahr verwendet.

<sup>3)</sup> Für KKM wird in Übereinstimmung mit den Ankündigungen der Kraftwerksbetreiber und in der Kostenstudie 2016 von 47 Jahren Betrieb ausgegangen.

<sup>4)</sup> Dies beinhaltet den Rückbau bis Abschluss Stilllegung.

<sup>5)</sup> Stilllegung Konditionieranlagen / Plasmaofen (spätestens) im Jahr nach dem letzten Anfallen von KKW-Stilllegungsabfällen (2059), Rückbau ab 2075.

<sup>6)</sup> Das Ende der Betriebszeit des jeweiligen SMA-Zwischenlagers entspricht dem Ende des Nachbetriebs des betreffenden KKW.

<sup>7)</sup> Die Einlagerung erster Stilllegungsabfälle wird ab 2021 erwartet.

## A.5 Bundesratsverfügungen und -auflagen für das Entsorgungsprogramm 2016 und ihre Anwendung im vorliegenden Bericht

Verfügung	
1. Die Nagra hat mit dem Entsorgungsprogramm 2008 (NTB 08-01) den gesetzlichen Auftrag der Entsorgungspflichtigen gemäss KEG Art. 32 sowie KEV Art. 52 und gemäss Ziffer 3 des Bundesratsbeschlusses vom 2. April 2008 zum Sachplan geologische Tiefenlager – Konzeptteil erfüllt.	
2. Vom Bericht zum Umgang mit den Empfehlungen in den Gutachten und Stellungnahmen zum Entsorgungsnachweis (NTB 08-02) wird Kenntnis genommen. Damit hat die Nagra im Namen der Kernkraftwerkgesellschaften Ziffer 3 der Verfügung des Bundesrats zum Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive Abfälle und langlebige mittelaktive Abfälle vom 28. Juni 2006 erfüllt.	
3. Das nächste Entsorgungsprogramm ist im Jahr 2016 gleichzeitig mit den Kostenstudien 2016 einzureichen.	
4. Die Nagra hat zusammen mit dem Baugesuch für ein geologisches Tiefenlager dem UVEK einen Bericht einzureichen, in dem die Kosten für die Rückholung der Abfälle aus einem SMA- und HAA- oder einem Kombilager während der Beobachtungsphase und die Kosten für die Rückholung nach dem Verschluss geschätzt werden. In beiden Fällen sind auch die Kosten für die Verbringung dieser Abfälle in ein Zwischenlager abzuschätzen.	
<b>5. Auflagen für das Entsorgungsprogramm 2016</b>	<b>Behandelt in:</b>
<p><b>5.1 Baugesuch geologisches Tiefenlager:</b> Die Nagra hat bei der Aktualisierung des Entsorgungsprogramms zu erläutern, wie die Ergebnisse der Felslaboruntersuchungen (<i>im EPI6 als erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag bezeichnet</i>) im nuklearen Baugesuch zeitlich berücksichtigt werden können.</p> <p><i>Im EPI6 ist nunmehr dargestellt, wie die Ergebnisse aus den erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag (EUU) in das nukleare Baubewilligungsgesuch für das SMA- und HAA-Lager einfließen. So wird darauf hingewiesen, dass bereits bei der Erstellung von Bauten für die erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag mit den zugehörigen Zugängen (Sondierschacht/Sondiertunnel) eine begleitende Charakterisierung stattfindet</i></p>	<p>Kap. 5.4.2 Kap. 5.5.2 Anhang A.4, Tab. A.4-3 &amp; A.4-4 RD&amp;D-Plan</p>
<p><b>5.2 Erdwissenschaftliche Untersuchungen SMA:</b> Die Planung der Bauten für das untertägige Felslabor des SMA-Lagers (<i>im EPI6 als erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag bezeichnet</i>) und die dort geplanten Experimente sind zu konkretisieren und darzulegen.</p> <p><i>Im RD&amp;D Plan sind die geplanten Experimente in den Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag des SMA-Lagers im Detail konkretisiert. Das EPI6 beschränkt sich auf eine zusammenfassende Darlegung eines möglichen experimentellen Programms SMA im Rahmen von erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag.</i></p>	<p>Kap. 5.4.2 Kap. 5.5.2 Anhang A.4, Tab. A.4-4 RD&amp;D-Plan</p>

6. Auflagen für das Entsorgungsprogramm 2016 und folgende	Behandelt in:
<p><b>6.1 Forschungsprogramm:</b> Die Nagra hat zusammen mit dem Entsorgungsprogramm einen Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsplan (RD&amp;D-Plan) einzureichen. Darin sind Zweck, Umfang, Art und zeitliche Abfolge der zukünftigen RD&amp;D-Aktivitäten sowie der Umgang mit bestehenden offenen Fragen zu dokumentieren. Es sind zusätzlich die Arbeiten zur Untersuchung der Langzeitstabilität von abgebrannten Brennelementen während der Zwischenlagerung, der Stand von Wissenschaft und Technik bezüglich Langzeitverhalten der Brennelement-Hüllrohre und die sich daraus ergebenden Konsequenzen auszuweisen. In den RD&amp;D-Plan 2016 sind das Verständnis der geologisch-tektonischen Entwicklung des Hegau-Bodensee-Grabens und die Rolle der Zementminerale bei der Speziierung und Stabilisierung von Fe(II) und Fe(III) zu integrieren.</p> <p><i>Im RD&amp;D Plan sind Zweck, Umfang, Art und zeitliche Abfolge der zukünftigen RD&amp;D-Aktivitäten sowie der Umgang mit bestehenden offenen Fragen im Detail dokumentiert. So wird neben vielen anderen Themen auch auf das Verständnis der geologisch-tektonischen Entwicklung des Hegau-Bodensee-Grabens und die Rolle der Zementminerale bei der Speziierung und Stabilisierung von Fe(II) und Fe(III) eingegangen.</i></p> <p><i>Hinsichtlich der Langzeitstabilität von abgebrannten Brennelementen während der Zwischenlagerung sowie dem Stand von Wissenschaft und Technik bzgl. Langzeitverhalten der Brennelement-Hüllrohre wird auf Anhang A6.1 sowie einen spezifischen Bericht (Axp0 2015) verwiesen.</i></p> <p><i>Das EP16 beschränkt sich auf eine Darstellung der wichtigsten RD&amp;D-Aktivitäten und ihre zeitliche Verknüpfung zum Realisierungsplan und verweist für vertiefte Angaben auf den RD&amp;D Plan sowie weitere relevante Berichte.</i></p>	<p>Kap. 5.7 RD&amp;D-Plan (Nagra 2016a) Anhang A.6.1 Axp0 (2015)</p>
<p><b>6.2 Gesamtsystem Tiefenlager:</b> In den zukünftigen Entsorgungsprogrammen ist 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 setzt. Für sicherheitsrelevante Entscheidungen sind verschiedene Alternativen zu betrachten und ein insgesamt für die Sicherheit günstiges Vorgehen zu wählen.</p> <p><i>Im EP 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.</i></p> <p><i>Diese Vorgaben aus dem EP stellen insofern eine wichtige Basis für RD&amp;D-Arbeiten dar, als dass dadurch ersichtlich wird, wann welcher Erkenntnis- oder Entwicklungsstand zu erreichen ist. Die im EP16 aufgeführten RD&amp;D-Aktivitäten sind deshalb eng mit dem Realisierungsplan abgestimmt.</i></p>	<p>Kap. 5 Anhang A.2, Tab.A.2-1 Anhang A.3, Tab. A.3-1 – A.3-7 Anhang A.4, Tab. A.4-1 – A.4-4 RD&amp;D-Plan (Nagra 2016a) Anhang A.6.2</p>
<p><b>6.3 Abfallmengen:</b> Die Entsorgungspflichtigen müssen 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.</p> <p><i>Für die Beurteilung der Zwischenlagerkapazität und die in die geologischen Tiefenlager einzubringenden radiologischen Inventare und die Abfallvolumina greift das Entsorgungsprogramm auf Annahmen zurück, die zum grössten Inventar und zu den grössten Volumina führen<sup>89</sup>. Für eine Darlegung der Methodik zur Prognose der Abfallmengen wird im EP16 auf die entsprechende Dokumentation verwiesen.</i></p>	<p>Kap. 2 Kap. 4 Kap. 6 Anhang A.2, Tab. A.2-1 Anhang A.6.2 MIRAM; NTB 14-04</p>

<sup>89</sup> Siehe Kap. 2.1, Szenario 2b.

Auflagen für das Entsorgungsprogramm 2016 und folgende (Fortsetzung)	Behandelt in:
<p><b>6.4 Realisierungsplan:</b> In zukünftigen Entsorgungsprogrammen ist 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.</p> <p><i>Das EP16 beinhaltet Angaben zur Langzeitarchivierung der Dokumentation und zur Markierung des Lagers und legt die laufenden Arbeiten hinsichtlich der Überlieferung von Informationen an künftige Generationen dar.</i></p> <p><i>Zudem sind QM-Massnahmen und die Umsetzung sämtlicher Projektphasen bis zum Verschluss des Gesamtlagers im EP16 dargestellt.</i></p> <p><i>Vorbereitende Arbeiten im Hinblick auf eine allfällige Rückholung sind im RD&amp;D-Plan illustriert.</i></p>	<p>Kap. 5.1 Kap. 5.7 Kap. 5.8 Kap. 5.9 Kap. 6</p> <p>Anhang A.3, Tab. A.3-2</p> <p>RD&amp;D-Plan (Nagra 2016a)</p>
<p><b>6.5 Berücksichtigung von Erfahrung und des Stands von Wissenschaft und Technik:</b> Die Nagra hat in den nächsten Entsorgungsprogrammen aufzuzeigen, dass sie nach aktueller Erfahrung und dem Stand von Wissenschaft und Technik alle notwendigen Vorkehrungen getroffen hat, 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 bzgl. Betriebssicherheit, Langzeitsicherheit, Transportsicherheit, Personendosen, Anfall neuer Abfälle etc.).</p> <p><i>Im EP16 wird der vorhandene Handlungsspielraum zur Optimierung der Anlagen und die erforderliche Flexibilität zur Berücksichtigung möglicher zukünftiger Entwicklungen dargelegt. Somit wird sichergestellt, dass alle notwendigen Vorkehrungen getroffen werden, damit die gesetzlich festgelegten Schutzziele beim Bau, Betrieb und nach dem Verschluss eines geologischen Tiefenlagers erreicht werden.</i></p> <p><i>Im RD&amp;D-Plan wird detailliert auf die Berücksichtigung von Erfahrung und des Stands von Wissenschaft und Technik eingegangen</i></p> <p><i>Für spezifische Optimierungsmassnahmen im Zusammenhang mit dieser Auflage (z.B. Konditionierung, alternative Materialien bei der Herstellung von Lagerbehältern) wird auf die Projektempfehlungen "Abfallbewirtschaftung im Vergleich" verwiesen (Anhang A.6.2).</i></p>	<p>Kap. 1 Kap. 2 Anhang A.2, Tab. A.2-1</p> <p>Anhang A.6.2</p> <p>RD&amp;D-Plan (Nagra 2016a)</p>

## **A.6 Spezifische Empfehlungen für das Entsorgungsprogramm 2016**

Anhang A.6 bezweckt eine übergeordnete Darlegung, wie die Entsorgungspflichtigen auf spezifische Empfehlungen zum Entsorgungsprogramm 2008 eingetreten sind. Für eine detaillierte Darlegung wird auf die im Anhang angegebenen Referenzen verwiesen.

### **A.6.1 Empfehlungen zur Langzeitstabilität von abgebrannten Brennelementen**

Im Rahmen der Bundesratsaufgabe 6.1 werden die Entsorgungspflichtigen aufgefordert, im EP16 die Arbeiten zur Untersuchung der Langzeitstabilität von abgebrannten Brennelementen während der Zwischenlagerung, der Stand von Wissenschaft und Technik bezüglich Langzeitverhalten der Brennelement-Hüllrohre und die sich daraus ergebenden Konsequenzen auszuweisen.

Bei den abgebrannten BE soll durch geeignete Rahmenbedingungen sichergestellt werden (vgl. dazu die Vorgaben in der ENSI- bzw. HSK-Richtlinie G05: HSK 2008), dass die Hüllrohre während der Zwischenlagerung nicht beschädigt werden. Es kann indessen a priori nicht vollständig ausgeschlossen werden, dass durch eine Schädigung einzelner Hüllrohre eine Freisetzung von Radioaktivität aus dem Brennstoff oder allenfalls von Bestandteilen der Strukturmaterialien (sogenannter "Debris") in der Umladezelle der Brennelementverpackungsanlage<sup>90</sup> erfolgt. Das Verhalten von Brennelementen während der Langzeittrockenlagerung ist Gegenstand eigener Untersuchungen, verschiedener internationaler Programme und Studien (z.B. SPAR II-III der IAEA; IAEA 2012) sowie behördlicher Arbeitsgruppen (z.B. WENRA-West European Nuclear Regulators Association).

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

Unabhängig von dieser Studie hat die Nagra ein eigenes experimentelles Programm initiiert, an welchem auch internationale Experten (EU, Deutschland, USA) beteiligt sind (Nagra 2016a). In diesem experimentellen Programm werden reale (hoch-) abgebrannte Brennstäbe auf ihre Integrität unter verschiedenen Belastungen geprüft. Im Programm der Nagra wird zudem untersucht, wie allfällige, bei Beschädigungen des Brennstoffs entstandene Bruchstücke (Debris) aus einem Transportlagerbehälter entfernt werden können. Letztlich wird die Dekontamination der entladenen Transportlagerbehälter sowie deren Freigabe und Wiederverwertung (z.T. nur bei Teilkomponenten) nach entsprechender Abklinglagerung untersucht.

---

<sup>90</sup> In der Brennelementverpackungsanlage (vgl. Kap. 3.2) können auch Brennelemente mit beschädigten Hüllrohren gehandhabt werden. Für die Langzeitsicherheit sind intakte Hüllrohre keine Voraussetzung; ihre Barrierenwirkung wurde in den bisherigen Langzeitsicherheitsanalysen nicht berücksichtigt.

## **A.6.2 Empfehlungen für das Entsorgungsprogramm 2016 aus dem Projekt "Abfallbewirtschaftung im Vergleich"**

Anhang A.6.2 bezweckt eine übergeordnete Darlegung, wie die Entsorgungspflichtigen Empfehlungen aus dem im Rahmen des Forschungsprogramms "Radioaktive Abfälle" der Arbeitsgruppe des Bundes für die nukleare Entsorgung (Agneb 2014) durchgeführten Projekt "Abfallbewirtschaftung im Vergleich" (ENSI 2015a) in ihren Arbeiten berücksichtigt haben und weiter berücksichtigen werden.

Die Empfehlungen des Projekts "Abfallbewirtschaftung im Vergleich" beziehen sich schwerpunktmässig auf das Thema Gasbildung in einem geologischen Tiefenlager nach dessen Verschluss. Eine ausführliche Analyse dieser Thematik sowie der zu erwartenden Konsequenzen für die Langzeitsicherheit eines Tiefenlagers in Diomidis et al. (2016) zeigt, dass die relevanten Sicherheitskriterien bezüglich Gasdruckaufbau und Gas-induzierter Wasserflüsse selbst bei relativ pessimistischen Annahmen für die Gasbildung, für die Gastransportkapazität der technischen und geologischen Barrieren (Wirtgestein mit sehr kleiner Permeabilität) und für den möglichen Beitrag von Gassenken mit genügender Sicherheitsmarge eingehalten werden. Darüber hinaus stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung, mit welchen die Gasproduktion und der resultierende Gasdruck weiter vermindert werden könnten.

### **Organische Abfälle**

#### *Empfehlungen des ENSI zu organischen Abfällen*

Gemäss ENSI (2015a) sind die Arbeiten der Entsorgungspflichtigen im Hinblick auf eine vertiefte Auswertung und sicherheitstechnische Beurteilung von heute verfügbaren technischen Verfahren zur Vermeidung bzw. Reduktion von organischen Stoffen in schwach- und mittelaktiven Abfällen weiter zu führen. Die Vorgaben des schweizerischen Entsorgungskonzepts sind dabei angemessen zu berücksichtigen. Ein allfälliges Optimierungspotenzial ist auch im Hinblick auf bereits konditionierte Abfälle zu bewerten. Eine erweiterte Nutzung der bestehenden Plasmaanlage (ZWILAG) zur Elimination bzw. Mineralisierung von organischen Stoffen ist zu prüfen.

#### *Arbeiten und Resultate zu organischen Abfällen*

Hinsichtlich der Empfehlungen des ENSI wurden verschiedene Optionen zur Behandlung organischer Abfälle betrachtet, begleitet von inzwischen abgeschlossenen und noch laufenden experimentellen Programmen. Die dominierenden Ströme organischer Abfälle sind Ionentauscherharze und Konzentrate (massgeblich mit Bor beladene Konzentrate der Druckwasserreaktoren), daneben diverse Abfälle mit PVC.

Zunächst wurde für die Behandlung organischer Abfälle der Einsatz der Plasmaanlage der ZWILAG evaluiert. Für die oben genannten Borkonzentrate wurden eigens Versuche durchgeführt mit dem Resultat, dass diese in der Plasmaanlage nicht behandelt werden können (ZWILAG 2016). Für die grossmasstäbliche Behandlung der höher aktiven Harze ist die Anlage aus radiologischen und strahlenschutztechnischen Gründen nicht ausgelegt und grundsätzlich nicht geeignet. Eine Umrüstung ist aufgrund der Auslegung der Anlage und der limitierten Infrastruktur undenkbar. Somit scheidet die Plasmaanlage der ZWILAG für die grossmasstäbliche Behandlung der dominierenden Ströme organischer Abfälle aus.

Unabhängig vom Nutzen bzw. der Notwendigkeit einer Reduktion organischer Materialien wurden diverse Methoden zu deren Mineralisierung evaluiert (Matzner 2008). Es wurde festgestellt, dass die Pyrolyse als Verfahren der Wahl anzusehen ist. Diese Festlegung wurde von den Behörden geteilt (KNS 2009). Im Rahmen der vertieften Analyse zum Thema Gasbildung in Diomidis et al. (2016) wurde die grundsätzliche Machbarkeit der Pyrolyse organischer Abfälle geprüft. Aus Pyrolyseversuchen mit simulierten (inaktiven) Ionenauscherharzen in einer Pilotanlage resultierte eine ca. 90 %-ige Massenreduktion, was bei tatsächlich eingesetzten und radiologisch belasteten Abfällen eine ca. 10-fache Erhöhung der spezifischen Aktivität im Abfallprodukt zur Folge hätte. Ferner wurde von der Nagra am ZWILAG ein Versuchsaufbau realisiert, bei dem in vier 200-l-Fässern – die auch für die Konditionierung radioaktiver Abfälle verwendet werden – inaktive, aber entsprechend dem tatsächlichen Einsatz in den KKW simulierte organische Abfälle eingebracht wurden. Mit diesen Versuchen mit inaktiven Proben im 1:1-Massstab sollen über mehrere Jahre allfällige Gasproduktions- bzw. Degradationsraten gemessen werden, um belastbare bzw. weniger konservative Grundlagendaten für die Gasproduktionsrechnungen des geologischen Tiefenlagers zu erhalten.

Zur Behandlung bereits konditionierter Abfälle (massgeblich Ionenauscherharze und Konzentrate, s. oben) muss unterschieden werden zwischen den zementierten (bei KKL und KKM) und den ebenfalls mit einem organischen Bindemittel (Bitumen bei KKG, Polystyrol bei KKB) verfestigten Abfällen. Das Verhältnis von konditionierten Abfällen mit Bindemittel "Zement:Organisch" beträgt ca. 6:4 (Stand Ende 2016) bzw. erwartete 7:3 (Weiterkonditionierung gemäss Szenarien 2a/b). Absolut liegen bereits heute nahezu 10'000 200-l-Gebinde mit zementierten Harzen/Konzentraten vor. Für die Behandlung in einer Pyrolyse- oder sonstigen "Mineralisierungsanlage" müsste von allen konditionierten Abfallgebinden mit Zement, Bitumen und Polystyrol als Verfestigungsmaterial die metallische Gebindehülle entfernt werden. Da die Gebindehüllen kontaminiert sind, müssten sie entweder dekontaminiert oder ebenso wie im Fall ohne Pyrolyse, als metallischer radioaktiver Abfall entsorgt werden. In Anbetracht des Aktivitätsinhalts würden diese Tätigkeiten zu einer nicht gerechtfertigten Dosisbelastung des Personals führen.

Bei dem überwiegenden Anteil der zementierten Abfälle müsste zusätzlich der Rohabfall aus der Zementmatrix extrahiert werden, für eine Behandlung von Zement (erschwerend ist noch die grosse Menge zu beachten) sind Pyrolyseanlagen nicht ausgelegt. Unabhängig davon, dass eine solche Trennung schon rein technologisch extrem schwierig (für Harze) bzw. unmöglich (für Konzentrate) wäre, würde sich ein solches Vorhaben aus strahlenschutztechnischen Gründen wegen der zusätzlichen Dosisbelastung und aufgrund zu erwartender Sekundärabfälle verbieten. Diesbezügliche kurz- mittelfristige Massnahmen wären ohnehin nicht indiziert. Die heutige Konditionierung führt zu Abfallgebinden, die gemäss den behördlichen Richtlinien zulässig und optimal für die sichere Zwischenlagerung sind. Sollte eine Umkonditionierung mit dem Ziel der beschriebenen Behandlung als notwendig erachtet werden, wäre dies erst unmittelbar vor bzw. im Rahmen der Einlagerung der Abfälle in das geologische Tiefenlager sinnvoll; in diesem Fall würde zudem dem radioaktiven Zerfall Rechnung getragen, wodurch die nachteiligen strahlenschutztechnischen Hindernisse zumindest reduziert würden. Im Sinne der Empfehlung des ENSI kann die Behandlung bereits konditionierter organischer Abfälle in einer Pyrolyseanlage als nicht angemessen taxiert werden.

Zur Behandlung unkonditionierter Abfälle ist zu beachten, dass der dominierende Abfallstrom organischer Ionenauscherharze eine hohe Aktivitätsbelastung aufweist. Der hohe Reduktionsfaktor bei der Pyrolyse verbunden mit der vervielfachten Aktivitätskonzentration (s.oben) würde bei der "Standardkonditionierung" in 200-l-Gebinden zu inakzeptabel hohen Aktivitätseinträgen, resp. Dosisleistungen führen. Dadurch wäre deren strahlenschutzbezogene sichere Handhabung sowie Transportfähigkeit in Frage gestellt. Als einzig sinnvolle Alternative käme nur die

Verpackung von pyrolysierten Abfallprodukten in dickwandige Gussbehälter, z.B. des Typs "Mosaik-II" in Frage, die dann auch im geologischen Tiefenlager eingelagert würden. Rechnungen haben gezeigt, dass dieser zusätzliche Metalleintrag dem "Gewinn" aufgrund der reduzierten Organika weitgehend wieder aufheben könnte.

Für eine sicherheitstechnische Beurteilung wurden basierend auf den Betrachtungen zur Machbarkeit der Pyrolyse ein aus heutiger Sicht realistisches Abfallinventar sowie ein stark hypothetisches Abfallinventar für das Szenario 'Pyrolyse' abgeleitet. Die Analyse dieser Inventare im Rahmen der Untersuchungen zum Thema Gasbildung in Diomidis et al. (2016) zeigt, dass das sicherheitstechnische Optimierungspotenzial gering ist, weil sowohl (i) der Beitrag der Gasbildung aus dem Abbau von organischen Stoffen zur Gesamtgasbildung (Raten und kumulierte Volumina) als auch (ii) der Einfluss der Degradation von organischen Stoffen auf die chemischen Bedingungen (pH-Erniedrigung) und somit auf die Korrosion von Metallen klein sind. Pyrolyse stellt somit zwar eine grundsätzlich machbare Option dar, die aber aufgrund der geringen Relevanz von organischen Stoffen in einem geologischen Tiefenlager und einer Gesamtbetrachtung auf Basis des aktuellen Kenntnisstands nicht angemessen ist.

## **Metallische Abfälle**

### *Empfehlungen des ENSI zu metallischen Abfällen (ENSI 2015a)*

Die Arbeiten der Entsorgungspflichtigen im Hinblick auf eine vertiefte Auswertung und sicherheitstechnische Beurteilung von heute verfügbaren technischen Verfahren zur Vermeidung bzw. Reduktion von metallischen Materialien in schwach- und mittelaktiven Abfällen sind weiterzuführen. Die Entsorgungspflichtigen haben bei der Aktualisierung ihrer Stilllegungspläne eine konsequente Ausnutzung der gesetzlich zulässigen maximalen Abklingzeiten für die Freimessung zu berücksichtigen. Auch im Falle zukünftiger, weiterer Anpassungen der einschlägigen Grenzwerte sind deren Auswirkungen bei der nächstfolgenden Aufdatierung zu berücksichtigen.

### *Arbeiten und Resultate zu metallischen Abfällen*

Grundsätzlich ist bereits in KEV Art. 50 festgehalten, dass radioaktive Abfälle, darunter auch metallische Abfälle, zu minimieren sind. Dies wird bereits im Betrieb von Kernanlagen u.a. durch Dekontamination geeigneter Materialien gewährleistet. Auch in den Stilllegungsplanungen der Werke liegt ein Schwerpunkt auf Dekontaminationsarbeiten mit dem Ziel der Freimessung oder zumindest der Abklinglagerung (s. Kap. 6.1). Die zu erwartenden neuen Freigrenzen, kombiniert mit der konsequenten Nutzung der maximal zulässigen Abklinglagerung, werden in den Stilllegungsplanungen und im modellhaften Inventar für radioaktive Materialien (MIRAM) der Nagra berücksichtigt (s. Szenarien 1b/2b).

Eine weitere Option für die Reduktion metallischer Abfälle oder zumindest der für die potenzielle Gasproduktion im geologischen Tiefenlager relevanten Parameter ist das Einschmelzen primär kontaminierter Metallkomponenten. Dazu gibt es langjährig erprobte und bewährte Technologien zur Behandlung (z.B. Ferrière & Kluth 2013). Für kontaminierte Metalle besteht durch den Schmelzprozess Dekontaminationspotenzial, in jedem Fall wird das für eine korrosive Gasbildung relevante Oberflächen/Massen-Verhältnis des Abfallprodukts minimiert. Im Rahmen der vertieften Analyse zum Thema Gasbildung wurden die Möglichkeiten zum Einschmelzen von Metallen in schwach- und mittelaktiven Abfällen und deren Auswirkungen auf das Abfallinventar und die resultierenden Korrosions- bzw. Gasbildungsraten im Tiefenlager untersucht (Diomidis et al. 2016).

Eine Analyse realistischer Abfallinventare im Rahmen der Untersuchungen zum Thema Gasbildung in Diomidis et al. (2016) zeigt, dass das Einschmelzen von Metallen durch die oben beschriebenen Effekte eine deutliche Verringerung der Gasbildungsrate zur Folge hat, weil die Gasbildung im Tiefenlager massgeblich von den Mengen und den geometrischen Eigenschaften der eingelagerten Metalle (insbesondere Stahl) bestimmt wird.

Periodisch wird der Stand der Technik bezüglich Abfallbehandlung neu beurteilt; dies beinhaltet auch eine Beurteilung hinsichtlich der Möglichkeit des Einschmelzens von Metallen aufgrund des zukünftigen Kenntnisstands. Das Verfahren kann bei Bedarf zu jedem Zeitpunkt bis zur nuklearen Betriebsbewilligung der geologischen Tiefenlager zur Anwendung kommen.

## **Hochaktive Abfälle**

### *Empfehlungen des ENSI zu hochaktiven Abfällen (ENSI 2015a)*

Die Arbeiten der Entsorgungspflichtigen im Hinblick auf eine vertiefte Auswertung und sicherheitstechnische Beurteilung in Bezug auf die Verwendung von alternativen Materialien bei der Herstellung von Lagerbehältern für verbrauchte Brennelemente und verglaste hochaktive Abfälle sind weiterzuführen. Die Bedingungen des schweizerischen Entsorgungskonzepts sind dabei angemessen zu berücksichtigen.

### *Arbeiten und Resultate zu hochaktiven Abfällen*

Als Material für die Endlagerbehälter für verbrauchte Brennelemente und verglaste hochaktive Abfälle werden neben Stahl auch alternative Behältermaterialien vertieft untersucht. Eine vor kurzem veröffentlichte Studie evaluiert eine Vielzahl an Materialien, namentlich Karbonstahl, Gusseisen, Kupfer, Titanlegierungen, Nickellegierungen sowie verschiedene Keramiktypen in Zusammenhang mit relevanten Möglichkeiten zur geometrischen und funktionellen Auslegung der Endlagerbehälter (Holdsworth et al. 2014). Die Evaluation basiert auf zahlreichen Anforderungen und Kriterien zu folgenden übergeordneten Gesichtspunkten: Mechanische Integrität unter Tiefenlagerbedingungen, chemische Stabilität und Wechselwirkungen mit den übrigen Sicherheitsbarrieren eines Tiefenlagers, Methoden und Erfahrung bezüglich Herstellung sowie Kosten. Gestützt auf die Ergebnisse wurden die Entwicklung und vertiefte Evaluierung von Endlagerbehältern aus Karbonstahl oder Gusseisen mit der Option einer Kupferbeschichtung fortgeführt. Zudem wurden Arbeiten zur Untersuchung der Machbarkeit von weiteren Beschichtungen (z.B. nickel-, titan- und keramikbasiert) für Endlagerbehälter aus Karbonstahl oder Gusseisen initiiert.

Für eine sicherheitstechnische Beurteilung im Rahmen der Untersuchungen zum Thema Gasbildung in Diomidis et al. (2016) wurde neben einem Endlagerbehälter aus Karbonstahl (Patel et al. 2012) ein modellhafter Endlagerbehälter mit vergleichbarer Auslegungslebensdauer (10'000 Jahre) untersucht. Das Behältermaterial dieses Endlagerbehälters besteht aus korrosionsresistentem Material (z.B. Kupfer-beschichteter Behälter) und trägt so vernachlässigbar zur Gasproduktion bei. Die Ergebnisse zeigen, dass die Gasbildungsrate und auch die kumulativ gebildeten Gasmengen gegenüber dem Endlagerbehälter aus Karbonstahl erheblich niedriger sind. In diesem Fall würden relevante Gasmengen aus hochaktiven Abfällen erst nach Versagen der Behälterintegrität aus der Korrosion der Einbaukörbe für die abgebrannten Brennelemente und der Brennelemente selbst, bzw. nur aus der Korrosion der Stahlkokillen mit den verglasten hochaktiven Abfällen entstehen. Zudem würde die Gasbildung zu einem Zeitpunkt einsetzen, zu welchem die Gasbildung, die durch die Korrosion von Metallbestandteilen der Tunnelausbauten gemäss aktuellem Ausbaukonzept entsteht, bereits abklingt.

Die definitive Festlegung der Endlagerbehälter für verbrauchte Brennelemente und verglaste hochaktive Abfälle erfolgt im Rahmen des nuklearen Baubewilligungsgesuchs für das HAA-Lager oder für ein allfälliges Kombilager (vgl. Anhang A.2). Bis zu diesem Zeitpunkt werden die gegenwärtigen Untersuchungen und sicherheitstechnischen Beurteilungen zur Auslegung der Endlagerbehälter unter Berücksichtigung von zukünftigen technologischen Entwicklungen in anderen Ländern und in anderen technischen Bereichen kontinuierlich fortgeführt.

### **Zusammenfassung**

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Gasproduktion sowohl im HAA- als auch im SMA-Lager die Sicherheitsfunktionen des Wirtgesteins und der technischen Barrieren nach dem Verschluss des Lagers nicht beeinträchtigt.

## A.7 Zwischenlagerkapazitäten für radioaktive Abfälle

In diesem Anhang werden das Konzept der Zwischenlagerung von Abfallgebinden und die Ausnutzung der vorhandenen Kapazität dargelegt.

### Schwach- und mittelaktive Abfälle

Zunächst wird die Zwischenlagerung der schwach- und mittelaktiven Abfälle der KKW betrachtet. Fig. A.7-1 zeigt das entsprechende Spektrum der von den KKW konditionierten und zwischenzulagernden Abfallgebinde.



Fig. A.7-1: Abfallgebinde der KKW für die Konditionierung und Zwischenlagerung der schwach- und mittelaktiven Abfälle.

Abbildungen sind nicht massstäblich. LC-84 und LC-86 stellen geplante Container dar, die für die Verpackung von Stilllegungsabfällen vorgesehen sind.

Für die Zwischenlagerung werden die Abfallgebände (ausser den Containern LC-84/86) in Lagercontainer (sogenannte Gitterboxen) mit den Massen von ca. 6.10 m × 2.44 m (20 ft × 8 ft) und Höhen von ca. 2.05 m (Gitterboxen-1) bzw. ca. 2.60 m (Gitterboxen-2) eingestellt. Die gebändespezifische Verpackungsvorschrift ist in Tab. A.7-1 dargestellt.

Tab. A.7-1: Gebäudespezifische Verpackungsvorschrift für SMA/ATA.

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

Abfallgebände	Anzahl der Gebäude pro Gitterbox	Einstellung in Gitterbox (Typ)	Ungefähre Höhe der Gitterbox [m]
100-l-Fass (KKB-Gebände)	72	Gitterbox-1	2.05
200-l-Fass KKB-Gebände	72	Gitterbox-1	2.05
200-l-Fass (nicht KKB)	68	Gitterbox-1	2.05
180-l-Kokille (WA-ATA)	56	Gitterbox-1	2.05
1 m <sup>3</sup> -BC	11	Gitterbox-1	2.05
Mosaik-II	5	Gitterbox-1	2.05
KC-T12	3	Gitterbox-2	2.60
LC-84	1	-	
LC-86	1	-	

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

Für die jeweiligen Zwischenlager (ZWIBEZ-S, ZWILAG-S, ZWILAG-M) ergeben sich hinsichtlich der **Zwischenlagerung von Gitterboxen** folgende Situationen:

- ZWIBEZ-S:
  - Anzahl verfügbarer 20 ft × 8 ft-Stellplätze für Gitterboxen: 55
  - Maximal zulässige Stapelung für Gitterboxen des Typs Gitterbox-1: 8-fach
  - Theoretische Kapazität von Gitterboxen auf den Stellplätzen bei Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Platzes/Volumens: 440 Gitterboxen des Typs Gitterbox-1
- ZWILAG-S:
  - Anzahl verfügbarer 20 ft × 8 ft-Stellplätze für Gitterboxen: 143
  - Maximal zulässige Stapelung für Gitterboxen des Typs Gitterbox-1: 8-fach (6-fach für Gitterboxen des Typs Gitterbox-2)
  - Theoretische Kapazität von Gitterboxen auf den Stellplätzen bei Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Platzes/Volumens: 1'144 Gitterboxen des Typs Gitterbox-1

- ZWILAG-M:
  - Anzahl verfügbarer 20 ft × 8 ft-Stellplätze für Gitterboxen: 40
    - Die Stellplätze sind als Buchten ausgelegt, die mit Betonplatten abgedeckt sind
  - Maximal zulässige Stapelung für Gitterboxen des Typs Gitterbox-1: 8-fach
  - Theoretische Kapazität von Gitterboxen auf den Stellplätzen bei Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Platzes/Volumens: 384 Gitterboxen des Typs Gitterbox-1
    - 320 Gitterboxen des Typs Gitterbox-1
    - Zusätzlich kann auf den mit Betonplatten abgedeckten Buchten noch eine 2-fach-Stapelung von Gitterboxen erfolgen (entspricht 80 Gitterboxen des Typs Gitterboxen-1). Unter anderem wegen notwendiger Zugänglichkeit der Buchten ist diese Kapazität jedoch auf 64 Gitterboxen limitiert.

Die **Zwischenlagerung von Container LC-84/86** erfolgt direkt ohne Einstellung in Gitterboxen. Die Dimensionen sind so ausgelegt, dass eine Kombination von 5 LC-84 (sogenanntes 5er-Ensemble von LC-84) oder je 2 LC-84 und LC-86 (sogenanntes 2/2 LC-84/86-Ensemble) in einen Stellplatz passt. Bei der Stapelung sind jedoch die maximal zulässigen Gewichtsbelastungen der Bodenplatten, gerechnet für einen Stellplatz, zu beachten.

Für die jeweiligen Zwischenlager (ZWIBEZ-S, ZWILAG-S) ergeben sich somit hinsichtlich der Zwischenlagerung von Container LC-84/86 folgende Situationen:

- ZWIBEZ-S:
  - Maximal zulässige Bodenbelastung: 480 – 500 Mg
  - Resultierende maximale Stapelung bei einer mittleren Gesamtmasse von 20 Mg für einen LC84/86:
    - 5-fach-Stapelung bei einem 5er-Ensemble von LC-84
    - 6-fach-Stapelung bei einem 2/2 LC-84/86-Ensemble
- ZWILAG-S:
  - Maximal zulässige Bodenbelastung: 600 Mg
    - Resultierende maximale Stapelung bei einer mittleren Gesamtmasse von 20 Mg für einen LC84/86: 6-fach-Stapelung bei einem 5er-Ensemble von LC-84
    - 7-fach-Stapelung bei einem 2/2 LC-84/86-Ensemble

Tab. A.7-2 zeigt die Aufteilung der zwischenzulagernden Abfallgebinde auf ZWIBEZ-S, ZWILAG-S und ZWILAG-M unter der Annahme, dass bei ZWILAG-M die vorhandene Lagerkapazität vollständig ausgenutzt wird. Als Randbedingung wird davon ausgegangen, dass alle Abfallgebinde von KKG, KKL, KKM bei ZWILAG-M und ZWILAG-S eingelagert werden. Von KKB müssen potenziell brennbare Abfälle sowie alle Gebinde mit einer Oberflächendosisleistung von mehr als 7.5 mSv/h in ZWILAG-M eingelagert werden. Zudem verbleiben die von der Plasmaanlage produzierten Gebinde aller KKW bei ZWILAG, ebenso die am ZWILAG bereits produzierten KC-T12 und später für die KKW produzierten LC-84.

Tab. A.7-2: Belegung (Zahl der Abfallgebände) von ZWIBEZ-S, ZWILAG-M und ZWILAG-S für die Zwischenlagerung von schwach- und mittelaktiven KKW-Abfällen im Szenario 2b.

Für KKB sind nur die 100-l / 200-l-Gebinde separat ausgewiesen wegen der unterschiedlichen Belegung der Gitterboxen für 100-l/200-l-Gebinde (s. Tab. A.7-1), unter "Rest" sind sämtliche anderen Gebinde von KKB, KKG, KKL, KKM und ZWILAG zusammengefasst.

Abfallgebände	ZWIBEZ-S	ZWILAG-M		ZWILAG-S
	KKB	KKB	Rest	KKB+Rest
100-l / 200-l	4230	4248	21420	15835
1 m <sup>3</sup> -BC	178	-	-	88
Mosaik-II	356	-	-	709
KC-T12	-	-	-	32
LC-84	263	-	-	1144
LC-86	250	-	-	627
180-l-Kokillen (WA-ATA)	-	152	400	-

Mit der Verpackungsvorschrift in Tab. A.7-1, der maximal zulässigen Stapelung und den zu lagernden Abfallgebänden gemäss Tab. A.7-2 ergibt sich die Kapazität/Ausnutzung der Zwischenlager für schwach- und mittelaktive Abfälle nach Tab. A.7-3.

Tab. A.7-3: Vorhandene und erforderliche Zwischenlagerkapazität (Anzahl Stellplätze) sowie Belegungsgrad von ZWILAG-M, ZWILAG-S und ZWIBEZ-S für Szenario 2b.

SP: Stellplätze.

Zwischenlager	Vorhandene Kapazität	Erforderliche Kapazität	Belegungsgrad [%]
ZWILAG-M	48 SP	48 SP	100
ZWILAG-S	143 SP	113 SP	79
ZWIBEZ-S	55 SP	41 SP	75

### Hochaktive Abfälle

Die hochaktiven Abfälle der KKW (verglaste Abfälle aus der Wiederaufarbeitung, nicht wiederaufgearbeitete abgebrannte Brennelemente) werden in Transport- und Lagerbehältern (TLB) zum ZWIBEZ-H und ZWILAG-H transferiert respektive transportiert und dort eingestellt. Jeder TLB benötigt hierzu einen Stellplatz. Bei ZWIBEZ-H und ZWILAG-H stehen aktuell 54 resp. 200 Stellplätze zur Verfügung, d.h. im Verbund existieren somit 254 Stellplätze für TLB. Wie bereits im Entsorgungsprogramm 2008 (Nagra 2008a) ausgewiesen, besteht grundsätzlich die Möglichkeit, die Anzahl der Stellplätze zu optimieren. Damit würden bei ZWIBEZ-H und ZWILAG-H 62 respektive 236 Stellplätze zur Verfügung stehen, d.h. im Verbund von ZWIBEZ-H und ZWILAG-H sind dies 298 Stellplätze für TLB.

Bei den Szenarien mit 50 Jahren Betrieb von KKB, KKG und KKL und 47 Jahren von KKM (Szenarien 1a/b; s. Kap. 2) werden insgesamt 224 Stellplätze benötigt, davon sind 201 Stellplätze für TLB mit verbrauchten Brennelementen und 23 Stellplätze für TLB mit hochaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung. Für diese Szenarien reichen die vorhandenen 254 Stellplätze aus. Bei einer Betrachtung von ZWIBEZ-H und ZWILAG-H im Verbund ergibt sich ein Belegungsgrad von 88 %.

Für die Szenarien mit 60 Jahren Betrieb von KKB, KKG und KKL und 47 Jahren von KKM (Szenarien 2a/b, s. Kap. 2) werden insgesamt 263 Stellplätze benötigt, davon sind 240 Stellplätze für TLB mit verbrauchten Brennelementen vorzusehen. Bei einer Betrachtung von ZWIBEZ-H und ZWILAG-H im Verbund führt dies bei 254 Stellplätzen zu einem Belegungsgrad von 104 %. Wird hingegen die Anzahl der Stellplätze durch eine verbesserte Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Lagerbereichs optimiert, führt dies bei 298 Stellplätzen zu einem Belegungsgrad der Anlagen für die Zwischenlagerung hochaktiver Abfälle von 88 %.

### **Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung (MIF) des Bunds**

Für die Abfälle des Bunds werden mit dem BZL und OSPA zwei Lager zur Verfügung stehen mit einer Gesamtkapazität von ca. 6'300 200-l-Gebinden und 680 KC-T12-Containern (oder insgesamt ca. 9'300 200-l-Gebinde bei entsprechender Umrechnung). Die tatsächlich anfallenden Abfälle umfassen daneben noch 1 m<sup>3</sup>- und 1.2 m<sup>3</sup>--Gebinde, (Klein-)Zylinder mit verschiedenen Dimensionen und wenige 16 m<sup>3</sup>-Grosscontainer. Für die Betrachtung der Zwischenlagerkapazität werden diese in 200-l-Äquivalente umgerechnet. Zusätzlich wird berücksichtigt, dass:

- die Produktion von Abfällen des Bunds für die geologische Tiefenlagerung zwar bis ins Jahr 2065 läuft, diese jedoch ab 2050 ohne Belegung der Zwischenlager (BZL, OSPA) 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, OSPA) führt.

Mit diesen Annahmen ergibt sich ein anfallendes Abfallaufkommen von ca. 9'020 "200-l-Äquivalenten" und somit eine Auslastung der Lager BZL und OSPA von ca. 97 % (9'020/9'300).

Das CERN stellt hinsichtlich der Angaben zur verfügbaren Zwischenlagerkapazität einen Sonderfall dar. Es verfügt über eine eigene Zwischenlagerkapazität; diese ist aufgrund seines internationalen Status nicht im Entsorgungsprogramm auszuweisen. Ein sehr geringer Anteil der radioaktiven MIF-Abfälle des CERN wird am PSI konditioniert. Die Zwischenlagerung dieser Abfälle ist in den Angaben zur Zwischenlagerkapazität des Bundeszwischenlagers (BZL) berücksichtigt.

## A.8 Gesetzlicher Rahmen

### Systematische Rechtssammlung des Bunds

*(alphabetisch, nicht abschliessend)*

- ABCN (2010): Verordnung über die Organisation von Einsätzen bei ABC- und Naturereignissen (ABCN-Einsatzverordnung) vom 20. Oktober 2010, Stand am 1. Februar 2015. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 520.17, Schweiz.
- ADR (1957): Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (ADR). Abgeschlossen in Genf am 30. September 1957. In Kraft getreten für die Schweiz am 20. Juli 1972, Stand am 1. Januar 2015. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 0.741.621, Schweiz.
- AlgV (2001): Verordnung über den Schutz der Amphibienlaichgebiete von nationaler Bedeutung (Amphibienlaichgebiete-Verordnung; AlgV) vom 15. Juni 2001, Stand am 1. Januar 2014. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 451.34, Schweiz.
- AltIV (1998): Verordnung über die Sanierung von belasteten Standorten (Altlasten-Verordnung, AltIV) vom 26. August 1998, Stand am 1. Januar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.680, Schweiz.
- ArG (1964): Bundesgesetz über die Arbeit in Industrie, Gewerbe und Handel (Arbeitsgesetz, ArG) vom 13. März 1964, Stand am 1. Dezember 2013. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 822.11, Schweiz.
- ArGV 1 (2000): Verordnung 1 zum Arbeitsgesetz (ArGV 1) vom 10. Mai 2000, Stand am 1. Januar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 822.111, Schweiz.
- ArGV 2 (2000): Verordnung 2 zum Arbeitsgesetz (ArGV 2) (Sonderbestimmungen für bestimmte Gruppen von Betrieben oder Arbeitnehmern und Arbeitnehmerinnen) vom 10. Mai 2000, Stand am 1. Januar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 822.112, Schweiz.
- ArGV3 (1993): Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz (ArGV 3) (Gesundheitsschutz) vom 18. August 1993, Stand am 1. Oktober 2015. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 822.113, Schweiz.
- ArGV 4 (1993): Verordnung 4 zum Arbeitsgesetz (ArGV 4) (Industrielle Betriebe, Plan- genehmigung und Betriebsbewilligung) vom 18. August 1993, Stand am 1. Mai 2015. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 822.114, Schweiz.
- ArGV 5 (2007): Verordnung 5 zum Arbeitsgesetz (Jugendarbeitsschutzverordnung, ArGV 5) vom 28. September 2007, Stand am 1. August 2014. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 822.115, Schweiz.
- BauAV (2005): Verordnung über die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer bei Bauarbeiten (Bauarbeitenverordnung, BauAV) vom 29. Juni 2005, Stand am 1. November 2011. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 832.311.141, Schweiz.

- BauPG (2014): Bundesgesetz über Bauprodukte (Bauproduktengesetz, BauPG) vom 21. März 2014, Stand am 1. Oktober 2014. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 933.0, Schweiz.
- BauPV (2014): Verordnung über Bauprodukte (Bauprodukteverordnung, BauPV) vom 27. August 2014, Stand am 9. Dezember 2014. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 933.01, Schweiz.
- BGF (1991): Bundesgesetz über die Fischerei (BGF) vom 21. Juni 1991, Stand am 1. Januar 2014. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 923.0, Schweiz.
- Bundesbeschluss betreffend das Übereinkommen zur Erhaltung der wandernden wildlebenden Tierarten vom 14. Dezember 1994, Stand am 1. Juli 1995. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 451.46, Schweiz.
- Bundesbeschluss über zwei Übereinkommen der UNESCO betreffend Schutz des Kultur- und Naturgutes und Erhaltung der Feuchtgebiete vom 19. Juni 1975. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 451.41, Schweiz.
- ChemRRV (2005): Verordnung zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen (Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung, ChemRRV) vom 18. Mai 2005, Stand am 1. Januar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.81, Schweiz.
- Dosimetrieverordnung (1999): Verordnung über die Personendosimetrie (Dosimetrieverordnung) vom 7. Oktober 1999, Stand am 1. Januar 2013. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.501.43, Schweiz.
- EleG (1902): Bundesgesetz betreffend die elektrischen Schwach- und Starkstromanlagen (Elektrizitätsgesetz, EleG) vom 24. Juni 1902, Stand am 1. August 2008. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 734.0, Schweiz.
- EntG (1930): Bundesgesetz über die Enteignung (EntG) vom 20. Juni 1930, Stand am 1. Januar 2012. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 711, Schweiz.
- Gebührenverordnung des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats (Gebührenverordnung ENSI) vom 9. September 2008, Stand am 1. Januar 2009. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.222, Schweiz.
- GebV-BAFU (2005): Verordnung über die Gebühren des Bundesamtes für Umwelt (Gebührenverordnung BAFU, GebV-BAFU) vom 3. Juni 2005, Stand am 1. Januar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.014, Schweiz.
- GebV-En (2006): Verordnung über Gebühren und Aufsichtsabgaben im Energiebereich (GebV-En) vom 22. November 2006, Stand am 1. Juni 2015. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 730.05, Schweiz.
- GebV-swisstopo (2009): Verordnung des VBS über die Gebühren des Bundesamtes für Landestopografie (GebV-swisstopo) vom 20. November 2009, Stand am 1. Januar 2010. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 510.620.2, Schweiz.

- GeoIG (2007): Bundesgesetz über Geoinformation (Geoinformationsgesetz, GeoIG) vom 5. Oktober 2007, Stand am 1. Oktober 2009. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 510.62, Schweiz.
- GeoIV (2008): Verordnung über Geoinformation (Geoinformationsverordnung, GeoIV) vom 21. Mai 2008, Stand am 1. Januar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 510.620, Schweiz.
- GeoIV-swisstopo (2008): Verordnung des Bundesamtes für Landestopografie über Geoinformation (GeoIV-swisstopo) vom 26. Mai 2008, Stand am 1. Mai 2012. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 510.620.1, Schweiz.
- GSchG (1991): Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG) vom 24. Januar 1991, Stand am 1. Januar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.20, Schweiz.
- GSchV (1998): Verordnung über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzverordnung, GSchV) vom 28. Oktober 1998, Stand am 2. Februar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.201, Schweiz.
- GStsV (2006): Verordnung über die Gebühren im Strahlenschutz (GStsV) vom 5. Juli 2006, Stand am 1. Januar 2014. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.56, Schweiz.
- KEG (2003): Kernenergiegesetz (KEG) vom 21. März 2003, Stand am 1. Juli 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.1, Schweiz.
- KEV (2004): Kernenergieverordnung (KEV) vom 10. Dezember 2004, Stand am 1. Mai 2012. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.11, Schweiz.
- KGSV (2014): Verordnung über den Schutz der Kulturgüter bei bewaffneten Konflikten, bei Katastrophen und in Notlagen (KGSV) vom 29. Oktober 2014, Stand am 1. Januar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 520.31, Schweiz.
- KHG (1983): Kernenergiehaftpflichtgesetz (KHG) vom 18. März 1983, Stand am 1. Januar 2011. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.44, Schweiz.
- KHV (1983): Kernenergiehaftpflichtverordnung (KHV) vom 5. Dezember 1983, Stand am 15. Februar 2015. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.441, Schweiz.
- LeV (1994): Verordnung über elektrische Leitungen (Leitungsverordnung, LeV) vom 30. März 1994. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 734.31, Schweiz.
- LRV (1985): Luftreinhalte-Verordnung (LRV) vom 16. Dezember 1985, Stand am 1. Januar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.318.142.1, Schweiz.
- LSV (1986): Lärmschutz-Verordnung (LSV) vom 15. Dezember 1986, Stand am 1. Januar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.41, Schweiz.
- MaschV (2008): Verordnung über die Sicherheit von Maschinen (Maschinenverordnung, MaschV) vom 2. April 2008, Stand am 15. Dezember 2011. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 819.14, Schweiz.

- NHG (1966): Bundesgesetz über den Natur- und Heimatschutz (NHG) vom 1. Juli 1966, Stand am 12. Oktober 2014. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 451, Schweiz.
- NHV (1991): Verordnung über den Natur- und Heimatschutz (NHV) vom 16. Januar 1991, Stand am 1. März 2015. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 451.1, Schweiz.
- NIV (2001): Verordnung über elektrische Niederspannungsinstallationen (Niederspannungs-Installationsverordnung, NIV) vom 7. November 2001, Stand am 20. April 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 734.27, Schweiz.
- NFSV (2010): Verordnung über den Notfallschutz in der Umgebung von Kernanlagen (Notfallschutzverordnung, NFSV) vom 20. Oktober 2010, Stand am 1. Januar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.33, Schweiz.
- PäV (2007): Verordnung über die Pärke von nationaler Bedeutung (Pärkeverordnung, PäV) vom 7. November 2007, Stand am 1. September 2014. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 451.36, Schweiz.
- PSPVK (2006): Verordnung über die Personensicherheitsprüfungen im Bereich Kernanlagen (PSPVK) vom 9. Juni 2006, Stand am 1. April 2011. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.143.3, Schweiz.
- Reglement des UVEK über die Organisation, die Grundsätze und Ziele der Vermögensanlage sowie über den Anlagerahmen des Stilllegungsfonds und des Entsorgungsfonds für Kernanlagen vom 27. Januar 2016, Stand am 15. Februar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.179, Schweiz.
- RID (1980): Ordnung für die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter (Anlage C zum Übereinkommen über den internationalen Eisenbahnverkehr (COTIF)) vom 9. Mai 1980 (RID), Stand am 8. August 2006. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 0.742.403.1, Schweiz.
- RPG (1979): Bundesgesetz über die Raumplanung (Raumplanungsgesetz, RPG) vom 22. Juni 1979, Stand am 1. Januar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 700, Schweiz.
- RPV (2000): Raumplanungsverordnung (RPV) vom 28. Juni 2000, Stand am 1. Januar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 700.1, Schweiz.
- RSD (2012): Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter mit Eisenbahnen und Seilbahnen (RSD) vom 31. Oktober 2012, Stand am 1. Januar 2015. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 742.412, Schweiz.
- RVOG (1997): Regierungs- und Verwaltungsorganisationsgesetz (RVOG) vom 21. März 1997, Stand am 1. Januar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 172.010, Schweiz.
- Safeguardsverordnung vom 21. März 2012, Stand am 1. Januar 2013. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.12, Schweiz.
- SDR (2002): Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (SDR) vom 29. November 2002, Stand am 1. Januar 2015. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 741.621, Schweiz.

- SEFV (2007): Verordnung über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen (Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung, SEFV) vom 7. Dezember 2007, Stand am 1. Januar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.17, Schweiz.
- SprstG (1977): Bundesgesetz über explosionsgefährliche Stoffe (Sprengstoffgesetz, SprstG) vom 25. März 1977, Stand am 1. Januar 2013. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 941.41, Schweiz.
- StFV (1991): Verordnung über den Schutz vor Störfällen (Störfallverordnung, StFV) vom 27. Februar 1991, Stand am 1. Juni 2015. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.012, Schweiz.
- StMmV (2012): Verordnung des EJPD über Messmittel für ionisierende Strahlung (StMmV) vom 7. Dezember 2012, Stand am 1. Januar 2013. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 941.210.5, Schweiz.
- StSG (1991): Strahlenschutzgesetz (StSG) vom 22. März 1991, Stand am 1. Januar 2007. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.50, Schweiz.
- StSV (1994): Strahlenschutzverordnung (StSV) vom 22. Juni 1994, Stand am 1. Januar 2014. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.501, Schweiz.
- TwvV (2010): Verordnung über den Schutz der Trockenwiesen und -weiden von nationaler Bedeutung (Trockenwiesenverordnung, TwvV) vom 13. Januar 2010, Stand am 1. Januar 2014. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 451.37, Schweiz.
- USG (1983): Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG) vom 7. Oktober 1983, Stand am 1. April 2015. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.01, Schweiz.
- UVG (1981): Bundesgesetz über die Unfallversicherung (UVG) vom 20. März 1981, Stand am 1. Januar 2013. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 832.20, Schweiz.
- UVPV (1988): Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPV) vom 19. Oktober 1988, Stand am 13. Juni 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.011, Schweiz.
- UVV (1982): Verordnung über die Unfallversicherung (UVV) vom 20. Dezember 1982, Stand am 1. Januar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 832.202, Schweiz.
- VAPK (2006): Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen (VAPK) vom 9. Juni 2006, Stand am 1. Januar 2009. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.143.1, Schweiz.
- VBBö (1998): Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBö) vom 1. Juli 1998, Stand am 1. Juni 2015. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.12, Schweiz.
- VBLN (1977): Verordnung über das Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler (VBLN) vom 10. August 1977, Stand am 1. Juli 2010. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 451.11, Schweiz.

- VBRK (2006): Verordnung über sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen in Kernanlagen (VBRK) vom 9. Juni 2006, Stand am 1. Januar 2009. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.13, Schweiz.
- VBWK (2006): Verordnung über die Betriebswachen von Kernanlagen (VBWK) vom 9. Juni 2006, Stand am 1. Januar 2009. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.143.2, Schweiz.
- Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und Sicherungsmassnahmen für Kernanlagen und Kernmaterialien vom 16. April 2008, Stand am 1. Mai 2008. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.112.1, Schweiz.
- Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen vom 17. Juni 2009, Stand am 1. August 2009. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.112.2, Schweiz.
- Verordnung des UVEK über Listen zum Verkehr mit Abfällen vom 18. Oktober 2005, Stand am 1. Januar 2010. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.610.1, Schweiz.
- Verordnung des WBF über gefährliche und beschwerliche Arbeiten bei Schwangerschaft und Mutterschaft (Mutterschutzverordnung) vom 20. März 2001, Stand am 1. Juli 2015. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 822.111.52, Schweiz.
- Verordnung über den Schutz der Auengebiete von nationaler Bedeutung (Auenverordnung) vom 28. Oktober 1992, Stand am 1. Januar 2008. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 451.31, Schweiz.
- Verordnung über den Schutz der Flachmoore von nationaler Bedeutung (Flachmoorverordnung) vom 7. September 1994, Stand am 1. Juli 2015. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 451.33, Schweiz.
- Verordnung über den Schutz der Hoch- und Übergangsmoore von nationaler Bedeutung (Hochmoorverordnung) vom 21. Januar 1991, Stand am 1. Juli 2015. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 451.32, Schweiz.
- Verordnung über den Schutz der Moorlandschaften von besonderer Schönheit und von nationaler Bedeutung (Moorlandschaftsverordnung) vom 1. Mai 1996, Stand am 1. März 2015. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 451.35, Schweiz.
- Verordnung über die ablieferungspflichtigen radioaktiven Abfälle vom 3. September 2002, Stand am 1. Juli 2015. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.557, Schweiz.
- Verordnung über die Ausbildungen und die erlaubten Tätigkeiten im Strahlenschutz (Strahlenschutz-Ausbildungsverordnung) vom 15. September 1998, Stand am 1. Januar 2013. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.501.261, Schweiz.
- Verordnung über elektrische Schwachstromanlagen (Schwachstromverordnung) vom 30. März 1994, Stand am 20. April 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 734.1, Schweiz.
- Verordnung über elektrische Starkstromanlagen (Starkstromverordnung) vom 30. März 1994, Stand am 20. April 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 734.2, Schweiz.

- Verordnung über zusätzliche Vereinbarungen zum Sperrvertrags-Kontrollabkommen vom 23. August 1978. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.91, Schweiz.
- VGG (2005): Bundesgesetz über das Bundesverwaltungsgericht (Verwaltungsgerichtsgesetz, VGG) vom 17. Juni 2005, Stand am 1. November 2015. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 173.32, Schweiz.
- VGSEB (1998): Verordnung über Geräte und Schutzsysteme zur Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen (VGSEB) vom 2. März 1998, Stand am 20. April 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 734.6, Schweiz.
- VISOS (1981): Verordnung über das Bundesinventar der schützenswerten Ortsbilder der Schweiz (VISOS) vom 9. September 1981, Stand am 1. Oktober 2015. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 451.12, Schweiz.
- VIVS (2010): Verordnung über das Bundesinventar der historischen Verkehrswege der Schweiz (VIVS) vom 14. April 2010, Stand am 1. Juli 2010. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 451.13, Schweiz.
- VUV (1983): Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten (Verordnung über die Unfallverhütung, VUV) vom 19. Dezember 1983, Stand am 1. Januar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 832.30, Schweiz.
- VVEA (2015): Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA) vom 4. Dezember 2015, Stand am 1. Januar 2016. Systematische Sammlung des Bundesrechts 814.600, Schweiz.

### **ENSI- bzw. HSK-Richtlinien**

*(geordnet nach Jahr der Inkraftsetzung, nicht abschliessend)*

- HSK (1976): Sicherheit der Bauwerke für Kernanlagen, Prüfverfahren des Bundes für die Bauausführung. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen **HSK-R-08**. HSK, Villigen.
- HSK (1980): Seismische Anlageninstrumentierung. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen **HSK-R-16**. HSK, Villigen.
- HSK (1986): Auslegungskriterien für den Schutz von sicherheitsrelevanten Ausrüstungen in Kernkraftwerken gegen die Folgen von Flugzeugabsturz. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen **HSK-R-102**. HSK, Villigen.
- HSK (1990): Aufsichtsverfahren beim Bau von Kernkraftwerken, Projektierung von Bauwerken. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen **HSK-R-04**. HSK, Villigen.
- HSK (1995): Richtlinie für den überwachten Bereich der Kernanlagen und des Paul Scherrer Institutes. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen **HSK-R-07**. HSK, Villigen.
- HSK (2003): Sicherheitstechnische Anforderungen an die Sicherung von Kernanlagen. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen **HSK-R-49**. HSK, Villigen.
- HSK (2003): Sicherheitstechnische Anforderungen an den Brandschutz in Kernanlagen. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen **HSK-R-50**. HSK, Villigen.

- HSK (2007): Anforderungen an die Konditionierung radioaktiver Abfälle. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen **HSK-B-05**. HSK, Villigen.
- HSK (2008): Transport- und Lagerbehälter für die Zwischenlagerung. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen **HSK-G05**. HSK, Villigen.
- ENSI (2009): Anforderungen an die deterministische Störfallanalyse für Kernanlagen. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen **ENSI-A01**. ENSI, Brugg.
- ENSI (2009): Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung aufgrund von Emissionen radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen **ENSI-G14**. Ausgabe Februar 2008, Revision 1 vom 21. Dezember 2009. ENSI, Brugg.
- ENSI (2009): Freimessung von Materialien und Bereichen aus kontrollierten Zonen. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen in Zusammenarbeit mit dem BAG und der Suva **ENSI-B04**. ENSI, Brugg.
- ENSI (2009): Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen **ENSI-G03**. ENSI, Brugg.
- ENSI (2009): Gesuchsunterlagen für freigabepflichtige Änderungen an Kernanlagen. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen **ENSI-A04**. Ausgabe Juli 2008, Revision 1 vom 24. September 2009. ENSI, Brugg.
- ENSI (2009): Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Qualität und Umfang. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen **ENSI-A05**. ENSI, Brugg.
- ENSI (2010): Instandhaltung sicherheitstechnisch klassierter elektrischer und leittechnischer Ausrüstungen. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen **ENSI-B14**. ENSI, Brugg.
- ENSI (2010): Strahlenschutzziele für Kernanlagen. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen **ENSI-G15**. ENSI, Brugg.
- ENSI (2010): Ausbildung und Fortbildung des Strahlenschutzpersonals. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen **ENSI-B13**. ENSI, Brugg.
- ENSI (2010): Ausbildung, Wiederholungsschulung und Weiterbildung von Personal. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen **ENSI-B10**. ENSI, Brugg.
- ENSI (2010): Quelltermanalyse: Umfang, Methodik und Randbedingungen. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen **ENSI-A08**. ENSI, Brugg.
- ENSI (2011): Alterungsüberwachung. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen **ENSI-B01**. ENSI, Brugg.
- ENSI (2011): Ermittlung und Aufzeichnung der Dosis strahlenexponierter Personen. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen **ENSI-B09**. ENSI, Brugg.
- ENSI (2012): Meldungen der Kernanlagen. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen **ENSI-B03**. Ausgabe September 2008, Revision 3 vom 1. März 2012. ENSI, Brugg.

- ENSI (2013): Notfallübungen. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen **ENSI-B11**. Ausgabe November 2007, Revision 1 vom 1. Januar 2013 Ausgabe November 2007, Revision 1 vom 1. Januar 2013 (geändert am 23. Dezember 2015). ENSI, Brugg.
- ENSI (2013): Organisation von Kernanlagen. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen **ENSI-G07**. ENSI, Brugg.
- ENSI (2014): Betriebsdokumentation. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen **ENSI-G09**. ENSI, Brugg.
- ENSI (2014): Stilllegung von Kernanlagen. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen **ENSI-G17**. ENSI, Brugg.
- ENSI (2015): Auslegung und Betrieb von Lagern für radioaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente. Ausgabe September 2010, Revision 2 vom 30. Juni 2015. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen **ENSI-G04**. ENSI, Brugg.
- ENSI (2015): Notfallschutz in Kernanlagen. Ausgabe April 2009, Revision 1 vom 31. Oktober 2015. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen **ENSI-B12**. ENSI, Brugg.
- ENSI (2015): Messmittel für ionisierende Strahlung. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen **ENSI-G13**. ENSI, Brugg.
- ENSI (2015): Periodische Berichterstattung der Kernanlagen. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen **ENSI-B02**. Ausgabe September 2008, Revision 5 vom 30. Juni 2015. ENSI, Brugg.
- ENSI (2015): Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Anwendungen. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen **ENSI-A06**. ENSI, Brugg.
- ENSI (2015): Reaktorkern, Brennelemente und Steuerelemente: Auslegung und Betrieb. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen **ENSI-G20**. ENSI, Brugg.
- ENSI (2015): Systematische Sicherheitsbewertungen des Betriebs von Kernanlagen. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen **ENSI-G08**. ENSI, Brugg.

## A.9 Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

ARE	Bundesamt für Raumplanung
AREVA NC	AREVA Nuclear Cycle: Französischer Nuklearkonzern, entstand 2001 aus dem Zusammenschluss mehrerer Unternehmen, u.a. COGEMA und Framatome ANP
ATA	Alphatoxische Abfälle
AUZ	Auflockerungszone
BA	Betriebsabfälle der KKW
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BAG	Bundesamt für Gesundheit
BE	Abgebrannte Brennelemente
BFE	Bundesamt für Energie
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	Europäische Organisation für Kernforschung (European Organization for Nuclear Research)
EDRAM	International Association for Environmentally Safe Disposal of Radioactive Materials
EDZ	Excavation Disturbed Zone (Auflockerungszone)
EKRA	Expertengruppe Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle
ELFB	Endlagerfähigkeitsbeurteilung
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
ESDRED	Engineering Studies and Demonstration of Repository Designs (EU-Projekt)
EUU	Erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag
FLG	Felslabor Grimsel
FMT	Felslabor Mont Terri
gTL	Geologisches Tiefenlager
GNSS	Global Navigation Satellite System (satellitengestütztes Präzisionsmessnetz von swisstopo)
HAA	Hochaktive Abfälle. Das "HAA-Lager" umfasst abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive Abfälle und langlebige mittelaktive Abfälle (BE/HAA/LMA)
HE-E	Heater Experiment
HSK	Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (ab 1.1.2009: ENSI)
IAEA	International Atomic Energy Agency

(Fortsetzung)

ISRAM	Informationssystem für Radioaktive Materialien
KEG	Kernenergiegesetz
KEV	Kernenergieverordnung
KKB	Kernkraftwerk Beznau
KKG	Kernkraftwerk Gösgen
KKG-H	Nasslager des KKG für abgebrannte Brennelemente
KKL	Kernkraftwerk Leibstadt
KKM	Kernkraftwerk Mühleberg
KKW	Kernkraftwerk
KNE	Kommission Nukleare Entsorgung), seit 2012 Expertengruppe Geologische Tiefenlagerung (EGT)
KNS	Eidgenössische Kommission für nukleare Sicherheit, seit 2007 (ersetzt Kommission für die Sicherheit von Kernanlagen KSA)
KSA	Kommission für die Sicherheit von Kernanlagen (bis 2007)
KS11	Kostenstudie 2011
KS16	Kostenstudie 2016
LMA	Langlebige mittelaktive Abfälle
MCHF	Millionen Schweizer Franken
MIF	Abfälle aus der Medizin, Industrie und Forschung
MIRAM	Modellhaftes Inventar für radioaktive Materialien
MoDeRn	Monitoring Developments for Safe Repository Operation and Staged Closure (EU-Forschungsprogramm)
Modern 2020	Development & Demonstration of monitoring strategies and technologies for geological disposal (EU-Projekt)
MOX	Mischoxid
NEA	Nuclear Energy Agency der OECD
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development (Organisation für wirtschaftliche Entwicklung und Zusammenarbeit)
OSPA	Geplanter "Stapelplatz Ost OSPA" für die Lagerung von MIF-Abfällen auf dem Gelände des PSI
p.a.	per annum (jährlich)
PB16	Preisbasis 2016 (1. Januar 2016)
PSI	Paul Scherrer Institut
Q	Quartal
RA	Austauschbare Kernkomponenten der KKW (Reaktorabfälle)
RBG	Rahmenbewilligungsgesuch

(Fortsetzung)

RD&D	Research, Development and Demonstration (Forschung, Entwicklung und Demonstration)
R&R	Reversibility and Retrievability
SA	Stilllegungsabfälle
SAPIERR	Support Action: Pilot Initiative for European Regional Repositories (EU-Projekt)
SEFV	Verordnung über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen (Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung)
Sellafield Ltd	Tochtergesellschaft der Firma BNFL (British Nuclear Fuels plc)
SFR	Endlager für kurzlebige radioaktive Abfälle in Forsmark, Schweden
SGT	Sachplan geologische Tiefenlager
SMA	Schwach- und mittelaktive Abfälle
StSV	Strahlenschutzverordnung
TLB	Transport- und Lagerbehälter
UO <sub>2</sub>	Uranoxid
USG	Umweltschutzgesetz
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
VLJ	Seit 1992 in Betrieb stehendes Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle in Olkiluoto, Finnland
WA	Abfälle aus der Wiederaufarbeitung
WA-ATA	Alphatoxische Abfälle aus der Wiederaufarbeitung
WA-HAA	Hochaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung
WA-MA	Mittelaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung
ZWIBEZ	Zwischenlager des KKB
ZWIBEZ-H	Zwischenlager des KKB für hochaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente
ZWIBEZ-S	Zwischenlager des KKB für schwachaktive Abfälle
ZWILAG	Zwischenlager Würenlingen AG
ZWILAG-H	"Halle H" für hochaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente im ZWILAG
ZWILAG-M	"Lager M" für (schwach- und) mittelaktive Abfälle im ZWILAG
ZWILAG-S	"Halle S" für schwachaktive Abfälle im ZWILAG