

# Technischer Bericht 08-01

**Entsorgungsprogramm 2008  
der Entsorgungspflichtigen**

Oktober 2008

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 08-01

**Entsorgungsprogramm 2008  
der Entsorgungspflichtigen**

Oktober 2008

**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 an verschiedenen Sitzungen ausführlich diskutiert und von ihnen an der Sitzung der Verwaltung der Nagra vom 24. Juni 2008 freigegeben.

**ISSN 1015-2636**

"Copyright © 2008 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

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. Bei der Vorbereitung der geologischen Tiefenlager wurde ein guter 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. Die Kenntnisse sind vorhanden, um für die geologischen Tiefenlager die geologischen Standortgebiete für die weiteren Schritte festzulegen. 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 am 2. April 2008 genehmigte Konzept Sachplan geologische Tiefenlager, welches das in den nächsten Jahren durchzuführende Standortwahlverfahren im Detail regelt.

Vorliegender Bericht dokumentiert das Entsorgungsprogramm der Entsorgungspflichtigen, wie es gesetzlich verlangt wird (Kernenergiegesetz, Art. 32 und Kernenergieverordnung, Art. 52). Der Bericht wurde von der Nagra im Auftrag der Entsorgungspflichtigen erstellt und deckt alle gesetzlich geforderten Aspekte ab. Dies betrifft die folgenden Themenbereiche:

- **Herkunft, Art und Menge der radioaktiven Abfälle:** Die Herkunft, die Art und die Menge der in der Schweiz zu entsorgenden radioaktiven Abfälle sind bekannt. Als Referenzfall wird im Entsorgungsprogramm von den bestehenden Kernkraftwerken mit einer Betriebszeit von 50 Jahren ausgegangen sowie von den radioaktiven Abfällen aus Medizin, Industrie und Forschung, die während einer Sammelperiode bis ca. 2050 anfallen (Periode, bis im Referenzfall die Einlagerung der von den Kernkraftwerken herrührenden schwach- und mittelaktiven Abfälle in das SMA-Lager abgeschlossen ist). Im Hinblick auf zukünftige Entwicklungen ist eine genügende Flexibilität notwendig. Deshalb werden zu Planungszwecken auch die Art und Menge der radioaktiven Abfälle ausgewiesen, die bei einer Verlängerung der Betriebszeit der bestehenden Kernkraftwerke und der Sammelperiode der Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung je um weitere 10 Jahre entstehen würden. Weiter wird aufgezeigt, mit welchen Abfällen zu rechnen wäre bei einer zusätzlichen Produktion von 5 GW<sub>e</sub> während 60 Jahren als Ersatz der bestehenden Kernkraftwerke, der schrittweise auslaufenden Lieferverträge mit Frankreich und zur Berücksichtigung einer moderaten Zunahme des Stromverbrauchs.

Die entstehenden Abfälle werden laufend konditioniert, charakterisiert und inventarisiert. Vor Beginn der Konditionierung eines Abfallstroms wird das vorgeschlagene Konditionierverfahren auch durch die Nagra bezüglich der Endlagerfähigkeit der fertigen Abfallgebände beurteilt. Dies ist Voraussetzung für die behördliche Freigabe der routinemässigen Konditionierung. Auch im Rahmen der für die verschiedenen Entscheidungspunkte zu erstellenden Sicherheitsberichte werden die konditionierten Abfälle evaluiert, und es ist grundsätzlich möglich, dass gewisse 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. Damit ist 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, das SMA-Lager (Lager für die schwach- und mittelaktiven Abfälle) und das HAA-Lager (Lager für die abgebrannten Brennelemente, die verglasten hochaktiven

Abfälle aus der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente und für die langlebigen mittelaktiven Abfälle). Das SMA- und das HAA-Lager können an zwei verschiedenen Standorten, bei einer entsprechenden geologischen Situation aber auch am gleichen Standort (mit den Lagerkammern für beide Lager entweder in der gleichen oder aber in unterschiedlichen geologischen Schichten) erstellt werden, ein sogenanntes 'Kombilager'. Unter Beachtung der gesetzlichen und behördlichen Vorgaben wurden für die verschiedenen Lager die zu berücksichtigenden konzeptuellen Vorgaben und Annahmen definiert, die modellhaft in verschiedenen Projekten umgesetzt wurden. Die vorgeschlagenen 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 Alternativen zur Ausgestaltung, bei welchen die standort-spezifischen Gegebenheiten berücksichtigt werden. 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. Bei der Planung sind auch die Abfälle infolge zukünftiger Entwicklungen bezüglich Kernenergie und bezüglich Verwendung radioaktiver Materialien in Medizin, Industrie und Forschung zu berücksichtigen; deshalb ist bei der Planung auf eine Erweiterungsfähigkeit der Lagerkapazität der geologischen Tiefenlager zu achten.

- **Zuteilung der Abfälle zu den geologischen Tiefenlagern:** Die Standortwahl und die Lagerauslegung haben die Zuteilung der Abfälle auf die verschiedenen Lager zu berücksichtigen. Für die Erarbeitung von Vorschlägen für die geologischen Standortgebiete wurde eine solche Zuteilung vorgenommen, welche die spezifischen Eigenschaften der Abfälle berücksichtigt. Die Abfallzuteilung wurde bei der Ableitung der Anforderungen an die Geologie als Grundlage für die Erarbeitung von Vorschlägen für die geologischen Standortgebiete mit einbezogen. Die Abfallzuteilung wird im Rahmen der verschiedenen nuklearen Bewilligungsverfahren schrittweise verfeinert.
- **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. Nach Abschätzung des Zeitbedarfs für die Abwicklung der technischen Arbeiten und für die behördlichen Verfahren kann der Realisierungsplan definiert werden. Dieser geht von einer rechtsgültigen Rahmenbewilligung in 2018 und in Anlehnung an die Kostenstudie von einer Betriebsaufnahme für das SMA-Lager in 2035 und für das HAA-Lager in 2050 aus. Dabei wird angenommen, dass es zu keinen zeitaufwendigen Rekursen kommt, und dass die technischen Arbeiten zügig abgewickelt werden können.

Der Realisierungsplan berücksichtigt die standortbezogenen Arbeiten für das SMA- und HAA-Lager sowie die standortunabhängigen, eher generischen Arbeiten, welche im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsprogramms abgewickelt werden. Die im Realisierungsplan vorgesehenen Arbeiten berücksichtigen die Empfehlungen der Behörden und ihrer Experten in ihren Gutachten und Stellungnahmen zu den bisherigen Nagra-Arbeiten. Die Nagra hat bzgl. Umsetzung der Hinweise und Empfehlungen in den Gutachten und Stellungnahmen zum Entsorgungsnachweis HAA einen separaten Bericht verfasst.

Das im Gesetz vorgesehene schrittweise Bewilligungsverfahren lässt es zu, den notwendigen Handlungsspielraum zur optimalen Gestaltung der Lageranlagen zu erhalten. Ebenso ist es gemäss Gesetz möglich, die bei jedem Bewilligungsschritt absehbaren Abfälle infolge zukünftiger Entwicklungen in der Kernenergie und bei der Verwendung radioaktiver

Materialien in Medizin, Industrie und Forschung zu berücksichtigen. 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, und auch eine allfällige sich aufdrängende Erweiterung der Lagerkapazität der geologischen Tiefenlager kann berücksichtigt werden. Ebenso ist die schrittweise Verfeinerung der Abfallzuteilung möglich.

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 hochqualifizierte Mitarbeiter und neben den auf dem Markt erhältlichen qualifizierten Auftragnehmern teilweise auch auf über mehrjährige Verträge abgesicherte Kompetenzzentren, auf Institute im In- und Ausland und auf Partnerprojekte.

- **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. Für das SMA-Lager ist dies gemäss Realisierungsplan ca. 2035, für die abgebrannten Brennelemente, für die verglasten hochaktiven Abfälle und die langlebigen mittelaktiven Abfälle ist dies unter Berücksichtigung der notwendigen Abkühlzeiten der einzulagernden Abfälle ca. 2050 möglich. Für die bestehenden Kernkraftwerke und für die bis 2050 erwarteten Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung kann 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 weiter nach hinten schieben 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.
- **Finanzplan für die Entsorgungsarbeiten bis zur Ausserbetriebnahme der Kernanlagen:** Zur Festlegung der Beiträge für den Stilllegungs- und Entsorgungsfonds und der tätigen Rückstellungen der Eigentümer der Kernanlagen werden die Kosten der Entsorgung und der Stilllegung periodisch geschätzt. Die letzte Kostenstudie wurde 2006 durchgeführt; diese wurde von den Behörden (HSK) geprüft und am 6. Dezember 2007 von der Verwaltungskommission des Stilllegungs- und Entsorgungsfonds genehmigt. Die Kostenstudie 2006 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 Stilllegungsfonds für die Kosten der Stilllegung der Kernanlagen und über den Entsorgungsfonds für die Kosten der Entsorgungsaufgaben nach Ausserbetriebnahme der Kernkraftwerke. Das Berechnungsmodell für die Rückstellungen basiert auf der aktuellen Kostenstudie, und es wird dadurch sichergestellt, dass die gebildeten und die zukünftig noch zu tätigen Rückstellungen sämtliche erwarteten Kosten abdecken unter Berücksichtigung der Kapitalerträge (Annahme einer Anlagerendite von 5 % und einer Teuerungsrate von 3 %).
- **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 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 beziehen. Die Aufsichtsbehörden (insbesondere die HSK bzw. 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 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, 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. Der Schweizer Öffentlichkeit werden die Gründe transparent dargelegt, warum die radioaktiven Abfälle in geologischen Tiefenlagern eingeschlossen werden sollen. Die Bevölkerung und die Politiker sollen in die Lage versetzt werden, den Handlungsbedarf zu erkennen und sich zu den konkreten Projekten im Sachplanverfahren 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.

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, jedoch ohne dem Sachplanverfahren vorzugreifen. Das Entsorgungsprogramm enthält auch einen Vorschlag der Entsorgungspflichtigen, wie die Lager auf konzeptueller Ebene auszulegen sind (inkl. vorhandener Alternativen), 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.

Für die nahe Zukunft ist das Arbeitsprogramm klar definiert. Bis zur nächsten Aktualisierung des Entsorgungsprogramms in etwa fünf Jahren werden bedeutende Fortschritte erwartet, insbesondere die Festlegung von möglichen geologischen Standortgebieten bzw. Standorten in den vom Bundesrat zu genehmigenden Objektblättern für die Etappe 1 (Vororientierung) und für die Etappe 2 (Zwischenergebnis) gemäss Sachplan geologische Tiefenlager.

## Résumé

Des étapes décisives ont été franchies en matière d'évacuation des déchets radioactifs en Suisse et l'on dispose aujourd'hui d'une expérience considérable dans les domaines nécessaires à sa réalisation. C'est vrai pour le traitement et le conditionnement des déchets, pour leur caractérisation et leur inventaire ainsi que pour leur stockage intermédiaire et leur transport. S'agissant de la préparation 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 reconnue par le Conseil fédéral. Nous disposons des connaissances requises pour mener à bien les prochaines étapes de la sélection des sites pour les dépôts en profondeur. Le cadre légal et organisationnel est en place, de manière à ce que les travaux nécessaires puissent être réalisés au cours des prochaines années. Il s'agit en particulier de mettre en œuvre la "conception générale" du plan sectoriel "Dépôts en couches géologiques profondes", approuvé par le Conseil fédéral le 2 avril 2008 et régissant en détail la procédure de sélection des sites.

Le programme d'évacuation des producteurs de déchets requis par la législation en vigueur (art. 32, Loi sur l'énergie nucléaire; art. 52, Ordonnance sur l'énergie nucléaire) constitue l'objet du présent rapport. Il a été établi par la Nagra, sur mandat des producteurs de déchets, et inclut tous les aspects énumérés dans la législation, à savoir:

- **Origine, typologie et quantité des déchets radioactifs:** l'origine, la typologie et la quantité de déchets radioactifs produits en Suisse est connue. Le programme d'évacuation se base sur un cas de référence qui postule une durée d'exploitation de 50 ans pour les centrales nucléaires existantes, ainsi qu'une période de collecte allant jusqu'en 2050 pour les déchets radioactifs émanant de la médecine, de l'industrie et de la recherche (c'est-à-dire jusqu'au moment où les déchets de faible et de moyenne activité provenant des centrales nucléaires auront tous été stockés dans le dépôt pour DFMA). Il faut prévoir suffisamment de marge pour d'éventuels développements futurs. C'est pourquoi il est également tenu compte du type et des quantités de déchets radioactifs à évacuer dans le cas d'une prolongation de 10 ans de la durée d'exploitation des actuelles centrales nucléaires et de la collecte des déchets produits par la médecine, l'industrie et la recherche. Le programme envisage en outre la possibilité d'une production additionnelle de 5 GW<sub>e</sub> pendant 60 ans, en remplacement des actuelles centrales nucléaires, compte tenu de l'expiration progressive des contrats de livraison passés avec la France et d'une augmentation modérée de la consommation d'électricité.

Les déchets produits sont conditionnés, caractérisés et inventoriés au fur et à mesure. Avant le conditionnement d'un type de déchets, le procédé proposé est évalué par la Nagra afin de s'assurer que les colis se prêteront au stockage profond. C'est là une condition pour que les autorités donnent le feu vert pour un conditionnement routinier. Les déchets conditionnés sont en outre évalués dans les divers rapports de sûreté établis lors des étapes successives de la procédure; d'une manière générale, il n'est pas exclu que certains procédés de conditionnement soient modifiés sur la base de connaissances nouvelles. En sus des informations enregistrées au sujet des déchets existants, un inventaire-type est tenu pour les déchets qui seront produits à l'avenir. Nous disposons par conséquent d'une base solide pour la planification et la réalisation des dépôts en couches géologiques profondes ainsi que pour la gestion de site de stockage intermédiaire actuel.

- **Dépôts en couches géologiques profondes requis, y compris dimensionnement des ouvrages:** le concept de gestion des déchets nucléaires en Suisse prévoit le stockage dans deux dépôts géologiques profonds distincts, l'un pour les DFMA (déchets de faible et de

moyenne activité), l'autre pour les DHA (qui englobent les assemblages combustibles usés, les déchets hautement radioactifs vitrifiés résultant du retraitement de tels assemblages et les déchets de moyenne activité à vie longue). Ces deux installations peuvent être réalisées sur des sites différents, mais, selon la situation géologique, elles peuvent aussi l'être au même endroit (dépôt dit "mixte", avec des emplacements de stockage situés dans la même ou dans différentes couches géologiques). Les exigences conceptuelles à respecter pour ces divers dépôts, sur la base des impératifs fixés par la loi et par les autorités, ont été définies, tout comme diverses hypothèses ont été formulées, qui ont ensuite été appliquées dans plusieurs projets-types. Les concepts de dimensionnement proposés 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 de dimensionnement ont été envisagées pour un certain nombre d'éléments, afin de pouvoir tenir compte de la situation spécifique sur le site choisi. Il est important de s'assurer la marge de manœuvre nécessaire dans les procédures à venir de sorte que les informations et les connaissances nouvelles (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 planification doit également prendre en considération des déchets issus de futurs développements de l'énergie nucléaire et de l'utilisation de matières radioactives dans la médecine, l'industrie et la recherche. C'est pourquoi il faut prévoir la possibilité d'augmenter la capacité de stockage des dépôts en couches géologiques profondes.

- **Attribution des déchets aux différents dépôts en couches profondes:** la sélection des sites et le dimensionnement des dépôts doivent tenir compte de l'attribution des déchets aux diverses installations. Une telle répartition, fondée sur les propriétés des déchets, a été faite en vue de l'élaboration de propositions pour des domaines d'implantation géologiques. Les spécificités des déchets dictent en effet les exigences auxquelles doit satisfaire la configuration géologique des régions retenues. Cette attribution sera affinée progressivement, au fil des diverses procédures d'autorisation nucléaires.
- **Plan pour la réalisation des dépôts en couches géologiques profondes:** le plan de réalisation pour les dépôts destinés à recevoir les DFMA et les DHA respectivement repose sur les exigences légales et les conditions fixées par les autorités ainsi que sur d'autres hypothèses et critères conceptuels. Ces critères et hypothèses permettent de déterminer le déroulement général des opérations et de dresser la liste des travaux nécessaires. Le plan de réalisation peut être défini dès que le temps requis pour les travaux techniques et les procédures officielles a été estimé. Il table sur l'octroi en 2018 d'une autorisation générale ayant force de droit et, se basant sur l'évaluation des coûts 2006, sur la mise en exploitation des dépôts pour DFMA et DHA en 2035 et 2050 respectivement. Ce calendrier part de l'hypothèse qu'il n'y aura pas de longues procédures de recours et que les travaux techniques pourront être accomplis rapidement.

Le plan de réalisation tient compte des études spécifiques des sites menées pour les dépôts DFMA et DHA ainsi que de travaux généraux effectués dans le cadre du programme de recherche et de développement. Ce plan respecte les recommandations formulées par les autorités et leurs experts dans diverses expertises et prises de position concernant les travaux accomplis jusqu'ici par la Nagra. Cette dernière a rédigé un rapport spécifique consacré à la mise en œuvre des remarques et recommandations émises au sujet de la démonstration de faisabilité pour le stockage des DHA ("Entsorgungsnachweis").

La procédure d'autorisation par étapes prévue par la loi permet de conserver la marge de manœuvre nécessaire pour optimiser encore l'aménagement des dépôts. Les dispositions légales admettent également, à chaque étape de la procédure, l'intégration de déchets prévisibles sur la base de futurs développements de l'énergie nucléaire ou de l'utilisation de

substances radioactives dans la médecine, l'industrie et la recherche. Si les requêtes ou les autorisations sont gérées en conséquence, il restera possible d'exploiter au mieux les informations nouvelles (résultats de l'exploration détaillée des sites ou connaissances issues de la recherche et du développement) et d'envisager au besoin une augmentation de la capacité de stockage des dépôts en profondeur. En outre, l'attribution des déchets pourra être affinée progressivement.

La responsabilité de l'évacuation incombe aux producteurs des déchets. Ceux-ci ont confié à la Nagra toutes les tâches en rapport avec la réalisation des dépôts en couches géologiques profondes. La Nagra s'est dotée d'un système de gestion de la qualité formel, axé sur ces exigences spécifiques et au sein duquel se déroulent tous ses travaux. Pour ces derniers, elle peut compter sur une équipe de collaborateurs hautement qualifiés, secondés par des mandataires chevronnés, et en partie aussi sur des centres de compétence avec lesquels elle a passé des contrats pluriannuels, sur des instituts en Suisse et à l'étranger et sur des projets partenaires.

- **Durée de l'entreposage, central et décentralisé, et capacité requise:** les déchets radioactifs produits doivent être entreposés avant de pouvoir être évacués vers les dépôts en couches géologiques profondes. Pour les DFMA, le plan de réalisation envisage un stockage final dès 2035; pour les assemblages combustibles usés, les déchets hautement radioactifs vitrifiés et les déchets de moyenne activité à vie longue, cette évacuation ne sera pas possible avant 2050 environ, en raison du temps de refroidissement nécessaire. La capacité d'entreposage à disposition est suffisante pour accueillir les déchets provenant des centrales nucléaires existantes et ceux que la médecine, l'industrie et la recherche produiront d'ici à 2050, c'est-à-dire jusqu'à leur stockage dans les dépôts en couches géologiques profondes. Si la mise en service de ces derniers devait être retardée, les sites de stockage intermédiaire pourraient être exploités plus longtemps. L'infrastructure et la technologie nécessaires pour le transport des déchets existent et elles ont été éprouvées; des projets ont été élaborés pour les infrastructures qui seront requises à l'avenir.
- **Plan financier pour les travaux d'évacuation jusqu'à la mise hors service des installations nucléaires:** les coûts de l'évacuation des déchets et de la désaffectation des installations nucléaires sont estimés à intervalles réguliers afin de fixer les contributions que les propriétaires doivent verser au fonds pour l'évacuation et la fermeture ainsi que les provisions qu'ils doivent faire. La dernière estimation des coûts a été réalisée en 2006; elle a été vérifiée par les autorités (DSN) et approuvée le 6 décembre 2007 par la commission de gestion du fonds. C'est sur elle que sont fondés les coûts figurant dans le présent programme d'évacuation. Les futures dépenses seront financées, d'un côté, directement par les propriétaires (coûts avant la mise hors service des centrales nucléaires) et, de l'autre, par le biais du fonds de désaffectation (coûts liés à la fermeture des installations nucléaires) et du fonds d'évacuation (coûts des tâches d'évacuation après la désaffectation des centrales). Le modèle de calcul appliqué pour définir le montant des provisions repose sur la dernière estimation des coûts. Il est ainsi garanti que les provisions devant encore être faites à l'avenir couvriront effectivement tous les coûts escomptés, en prenant en compte des revenus du capital calculés sur la base d'un rendement de 5 % et d'un taux de renchérissement de 3 %.
- **Stratégie d'information:** dans la perspective de la réalisation des dépôts en profondeur nécessaires, il est essentiel de mener un dialogue avec les intéressés et d'informer le public sur toutes les questions ayant trait à l'évacuation des déchets nucléaires. La population doit être en mesure de comprendre les rôles des divers acteurs. La responsabilité pour le plan sectoriel "Dépôts en couches géologiques profondes" et les procédures d'autorisation consécutives selon la loi sur l'énergie nucléaire relève des autorités concédantes (en premier lieu l'OFEN); celles-ci sont par conséquent aussi chargées d'informer la population sur ces étapes et de lui garantir une participation adéquate. Elles peuvent consulter les autorités de

surveillance, ou dans certains cas la Nagra, pour des questions pointues. En qualité d'organes indépendants, les autorités de surveillance (en particulier la DSN ou plus tard l'IFSN) examinent les requêtes et l'exploitation d'installations nucléaires sur le plan de la sûreté, garantissant ainsi le respect des dispositions sécuritaires. Elles informent également le public sur les résultats de leurs activités et jouent le rôle d'interlocuteurs 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 préparer la construction et l'exploitation des dépôts en couches géologiques profondes. À ce titre, elle renseigne sur ses travaux, les résultats d'études, les projets et ultérieurement au sujet de la réalisation et de la gestion des installations. Elle entretient un dialogue actif avec les personnes intéressées.

La Nagra informe le plus tôt possible sur l'état de ses travaux et sur ses projets, de manière régulière et sans réserve. Ses activités de communication ont pour but de connaître les préoccupations des divers intéressés, de les renseigner sur l'évacuation des déchets nucléaires en général et sur les travaux 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 population et les politiques doivent être en mesure de reconnaître la nécessité d'agir et se faire une opinion objective sur les projets concrets s'inscrivant dans la procédure du plan sectoriel. Les instruments d'information et de communication sont mis à jour au fur et à mesure par du personnel qualifié, afin qu'ils soient toujours adaptés aux groupes cibles et aux étapes de procédure en cours.

Le présent programme d'évacuation documente les conditions cadres et la démarche générale proposées pour réaliser en temps voulu et 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 empiéter 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. Lorsque le programme d'évacuation aura été examiné et approuvé, il est important que tous les intéressés participent activement et résolument à sa mise en œuvre afin que les travaux en vue de la réalisation des dépôts en profondeur puissent progresser rapidement.

Le programme d'activité pour l'avenir proche est clairement défini. D'ici à la prochaine actualisation du programme d'évacuation, à savoir dans cinq ans environ, on escompte des progrès notables, en particulier la définition de domaines d'implantation géologiques possibles ou de sites dans les fiches d'objet que le Conseil fédéral doit approuver pour la première étape ("information préalable") et la deuxième étape ("coordination en cours") en vertu du plan sectoriel "Dépôts en couches géologiques profondes".

## Abstract

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 waste, waste characterisation and compiling of inventories and interim storage and the associated waste transport. In terms of preparing for deep geological disposal, the necessary scientific and technical work is well advanced and the feasibility of implementing geological repositories that provide the required long-term safety has been successfully demonstrated for all wastes arising in Switzerland; these feasibility demonstrations have also been approved by the Federal Council. Sufficient knowledge is available to allow the next steps in the selection of repository sites to be performed. The legal framework and organisational measures are also in place that will allow the prescribed steps to be performed in the coming years to be implemented efficiently. The conceptual part of the Sectoral Plan for Deep Geological Repositories that was approved by the Federal Council on 2<sup>nd</sup> April 2008 plays a major role, as it regulates the details of the site selection process to be conducted over the next years.

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). The report was prepared by Nagra on behalf of the waste producers and covers all aspects as required by law. The following areas are addressed:

- **Origin, type and volumes of radioactive waste:** The origin, types and volumes of radioactive waste to be disposed of in Switzerland are known. The reference case for the waste management programme assumes operation of the existing nuclear power plants for a period of 50 years and a collection period up to around 2050 for radioactive waste from medicine, industry and research (the time by which, in the reference case, emplacement in the repository of the low- and intermediate-level waste from the power plants will have been completed). Sufficient flexibility in dealing with future developments has to be retained. For this reason, the types and volumes of radioactive waste that would arise in the case of extension of the operating lifetime of the existing power plants and the collection period for waste from medicine, industry and research by 10 years are included for planning purposes. Also considered are the wastes to be expected in the case of an additional production of 5 GW<sub>e</sub> for a period of 60 years by way of replacing the existing power plants and the stepwise expiry of the electricity supply contracts with France, while assuming a moderate increase in electricity consumption.

The resulting 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 for disposal of the resulting waste packages. This is a prerequisite for clearance by the authorities of routine conditioning procedures. Conditioned waste will also be evaluated when preparing the safety reports in support of the programme milestones 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 waste that will arise in the future has also been compiled. This provides a reliable basis for planning and implementing geological repositories and managing available interim storage capacity.

- **Geological repositories, including design concepts:** The Swiss waste management concept assumes two deep geological repositories, one for low- and intermediate-level waste (L/ILW repository) and one for spent fuel, vitrified high-level waste from reprocessing and long-lived intermediate-level waste (HLW repository). These two repositories could be implemented at different sites or at the same site if the geological

situation is suitable. For the latter possibility of a combined repository, the disposal chambers of the two facilities could be constructed in the same or in different geological formations. Against the background of the legal and regulatory framework, the conceptual requirements and assumptions to be taken into consideration for the different repositories are defined and corresponding projects have been developed. The proposed design concepts are based on the requirement in the nuclear energy legislation that long-term safety is to be assured by a system of multiple passive safety barriers. For repository implementation, a range of design alternatives exist for individual components that allow consideration of the site-specific situation. In order to ensure optimum configuration of the repository installations, there must be sufficient flexibility to allow information and experience arising in the future (results of site explorations, improvement of knowledge through research and development) to be taken into account. Planning must also account for waste arising as a result of future developments in the areas of nuclear energy and application of radioactive materials in medicine, industry and research. With this in mind, the possibility of increasing the disposal capacity of the repositories has to be considered when planning the facilities.

- **Allocation of the waste to the geological repositories:** Site selection and design of the repositories have to consider the allocation of the waste to the different repositories. An allocation of the waste taking into account specific waste properties was undertaken in the context of preparing proposals for geological siting regions in order to derive the requirements on the geology. The waste allocation will gradually be refined in the course of the different licensing steps.
- **Implementation plan for the geological repositories:** The legal and regulatory framework and the definition of other conceptual requirements and assumptions form the starting-point for deriving an implementation plan for the L/ILW and HLW repositories. The requirements and assumptions allow the basic procedure to be defined and the necessary work to be specified. After estimating the time required for performing the technical work and for the regulatory procedures, the implementation time plan can be defined. It assumes that the general licences will be granted for both repositories in 2018 and, in accordance with the most recent cost study, start of operation of the L/ILW repository in 2035 and the HLW repository in 2050. This assumes that there will be no time-consuming appeal procedures and that the technical work can be performed efficiently and without delay.

The time plan takes into account site-specific studies for the L/ILW and HLW repositories, as well as the more generic, non-site-specific work that forms part of the research and development programme. The work foreseen in the plan also considers the recommendations made by the federal authorities and their experts when reviewing Nagra's work. Nagra has prepared a separate report that addresses implementation of the recommendations made in the various reviews of the HLW "Entsorgungsnachweis" feasibility demonstration project.

The stepwise licensing procedure set out by the legislation ensures that the necessary flexibility is maintained in terms of achieving optimum design of the disposal facilities. According to the law, it is also possible to take into account the waste arisings foreseeable in each licensing step that will result from future developments in nuclear energy and in the use of radioactive materials in medicine, industry and research. Handling future licensing steps appropriately will allow optimum use to be made of information that becomes available in the future (results of detailed site explorations, increase in knowledge through research and development); it will also allow any required expansion of repository capacity to be taken into account and the stepwise refinement of the waste allocation will also be possible.

The responsibility for the safe waste management lies with the waste producers, who have entrusted Nagra with performing all the tasks associated with implementation of 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. To implement its work activities, Nagra relies on highly qualified staff and contractors, 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 must be held in interim storage until such time as it can be emplaced in geological repositories. For L/ILW, this will be around 2035 and for spent fuel, vitrified high-level waste and long-lived intermediate-level waste around 2050, taking into account the required cooling time for the spent fuel and the high-level waste. For the existing power plants and waste from medicine, industry and research collected up to 2050, sufficient interim storage capacity can be made available to hold the waste safely until it can be emplaced in the repositories. If the start of operation of the repositories should be delayed, the interim storage facilities can also be operated for a longer period of time. Tried-and-tested infrastructure and technology for transporting the waste is already in place and concepts have been prepared for any infrastructure that will be required in the future.
- **Financing the waste management activities up to shutdown of nuclear installations:** The costs of waste management and decommissioning are estimated periodically in order to specify the contributions to be made to the decommissioning and waste management funds and the reserves to be put aside by the owners of the nuclear installations. The last cost study was carried out in 2006, reviewed by the authorities (HSK) and approved in December 2007 by the administrative commission of the decommissioning and waste management funds. The 2006 study forms the basis for the information on costs presented in the waste management programme. Financing of future costs is done either directly by the facility owners (costs arising before shutdown) or through the decommissioning fund for the costs of decommissioning nuclear installations and the waste management fund for waste management activities after shutdown of the power plants. The model used for calculating the reserves is based on the current cost estimates, and ensures that the reserves already set aside and to be made in the future will cover all expected costs, taking into account capital yields (assuming a rate of return of 5 % and a rate of price increases of 3 %).
- **Information concept:** Decisive in terms of implementing the required repositories are active dialogue with interested audiences and the provision of comprehensive information to the public on all aspects of nuclear waste management. The public should be in a position to understand the roles played by the different participants in the process. With the Sectoral Plan process that is now in place and the licensing requirements specified by the nuclear energy legislation, the lead, and hence the responsibility for providing information, lies with the federal authorities (in particular the Federal Office of Energy). They are in particular responsible for ensuring appropriate participation and involvement of the public in the site selection process. They can call for the involvement of the regulatory authorities and, if necessary, of Nagra, who then bring their technical know-how to the process. The regulatory authorities (particularly HSK/ENSI) prepare reviews of licence applications and supervise the operation of nuclear installations from the viewpoint of safety and, in their position as an independent evaluator, ensure that safety requirements are met. They inform the public about the results of their supervisory activities and function as contacts for questions on safety. Nagra has been entrusted by the waste producers with the task of preparing for the construction and operation of deep geological repositories. In this capacity, Nagra provides comprehensive information on its work, the results of its investigations, its ongoing projects and later on the construction and operation of the facilities, seeking active dialogue throughout with interested parties.

Nagra openly 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 understand the concerns of the different groups and to inform them openly about nuclear waste management in general and the activities of Nagra in particular. The public is informed in a transparent way about why radioactive waste should be disposed of in geological repositories. The public and elected representatives should be able to recognise the need for action in achieving this goal and to form objective opinions on the concrete projects outlined in the Sectoral Plan procedure. 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 general conditions and the fundamental procedures for the timely implementation of repositories that provide the required long-term safety. It provides information on all the topics specified in the Nuclear Energy Ordinance. The programme contains proposals by the waste producers regarding how the repositories are to be designed on a conceptual level (including alternatives), how the individual steps in implementing repositories are to be developed, how the time plan for implementation looks and what financial means are required. Once the waste management programme has been reviewed and approved, a phase of active and committed cooperation among all parties involved will be required in the coming years to achieve the desired progress in implementing the repositories.

The work programme for the immediate future is clearly defined. Until the next update of the waste management programme in approximately five years, it is expected that significant progress will be made, particularly in identifying potential geological siting regions and sites to be approved by the Federal Council in stage 1 (preliminary orientation) and stage 2 (interim result) of the Sectoral Plan process.

## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	I
Résumé .....	V
Abstract .....	IX
Tabellenverzeichnis.....	XVII
Figurenverzeichnis .....	XIX
<b>1 Einleitung und Zielsetzung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Hintergrund und Vorgaben zum Entsorgungsprogramm.....	1
1.2 Übersicht über den Stand der Entsorgung .....	1
1.3 Inhalt und Aufbau des Entsorgungsprogramms.....	4
<b>2 Herkunft, Art und Menge der radioaktiven Abfälle .....</b>	<b>7</b>
2.1 Beschreibung der radioaktiven Abfälle .....	7
2.2 Konditionierung, Charakterisierung und Inventarisierung der radioaktiven Abfälle .....	12
2.3 Zusammenfassung .....	15
<b>3 Die geologischen Tiefenlager .....</b>	<b>17</b>
3.1 Einleitung und Übersicht .....	17
3.1.1 Lagerkonzepte: Eine Übersicht.....	18
3.1.2 Lagerkonzepte: Die verschiedenen Aspekte.....	20
3.1.3 Geologie.....	21
3.1.4 Sicherheit.....	23
3.1.5 Raumnutzung und Umweltverträglichkeit.....	23
3.2 Auslegungskonzept des HAA-Lagers.....	24
3.2.1 Konzeptuelle Vorgaben und Annahmen für das HAA-Lager.....	24
3.2.2 Möglichkeiten zur Auslegung des HAA-Lagers .....	30
3.3 Auslegungskonzept des SMA-Lagers.....	35
3.3.1 Konzeptuelle Vorgaben und Annahmen für das SMA-Lager.....	35
3.3.2 Möglichkeiten zur Auslegung des SMA-Lagers .....	38
3.4 Auslegungskonzept des Kombilagers .....	42
3.4.1 Konzeptuelle Vorgaben und Annahmen für das Kombilager.....	42
3.4.2 Möglichkeiten zur Auslegung des Kombilagers.....	42
3.5 Zusammenfassung .....	43
<b>4 Zuteilung der Abfälle zu den geologischen Tiefenlagern .....</b>	<b>45</b>
4.1 Art der Abfälle und Abfallzuteilung.....	45
4.2 Menge der Abfälle und mögliche Entwicklungen .....	46
4.3 Zusammenfassung .....	47

<b>5</b>	<b>Realisierungsplan für die geologischen Tiefenlager</b> .....	49
5.1	Gesetzliche Grundlagen und behördliche Vorgaben für den Realisierungsplan.....	49
5.2	Weitere Vorgaben und Annahmen für die Festlegung des Realisierungsplans .....	50
5.3	Realisierungsplan für die geologischen Tiefenlager.....	51
5.4	Vorgehen bei der Realisierung des HAA-Lagers .....	57
5.4.1	Standortwahl gemäss Sachplan geologische Tiefenlager und Rahmenbewilligung.....	57
5.4.2	Arbeiten nach der Rahmenbewilligung .....	59
5.5	Vorgehen bei der Realisierung des SMA-Lagers .....	60
5.5.1	Standortwahl gemäss Sachplan geologische Tiefenlager und Rahmenbewilligung.....	60
5.5.2	Arbeiten nach der Rahmenbewilligung .....	60
5.6	Standortunabhängige Arbeiten sowie Forschung und Entwicklung .....	61
5.6.1	Einleitung und Ausgangslage .....	61
5.6.2	Forschungsthemen und ihre Dringlichkeit.....	61
5.7	Abwicklung der Arbeiten .....	62
5.8	Zusammenfassung .....	62
<b>6</b>	<b>Zwischenlagerung</b> .....	65
6.1	Ausgestaltung, Dauer und Kapazität der Zwischenlagerung.....	65
6.2	Zusammenfassung .....	67
<b>7</b>	<b>Kosten und Finanzierung der Entsorgung</b> .....	69
7.1	Gesetzliche Vorgaben.....	69
7.2	Geschätzte Kosten .....	69
7.3	Finanzierung .....	70
7.4	Zusammenfassung .....	73
<b>8</b>	<b>Informationskonzept</b> .....	75
8.1	Klare Rollenteilung zwischen Bewilligungs- und Aufsichtsbehörden sowie der Nagra.....	75
8.2	Informationsverständnis der Nagra.....	76
8.3	Zielsetzung und Inhalte der Öffentlichkeitsarbeit der Nagra.....	77
8.4	Kommunikationsinstrumente.....	78
8.5	Planung und Durchführung der Öffentlichkeitsarbeit der Nagra.....	79
8.6	Zusammenfassung .....	80
<b>9</b>	<b>Schlussfolgerungen</b> .....	81
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	83

<b>Anhang A.1: Zusammenstellung der Vorgaben in Gesetzen, Verordnungen und behördlichen Dokumenten für die Ausgestaltung und Realisierung der geologischen Tiefenlager in der Schweiz .....</b>	<b>91</b>
<b>Anhang A.2: Ausgangslage, Handlungsspielraum und Flexibilität .....</b>	<b>101</b>
<b>Anhang A.3: Bei der Vorbereitung und Realisierung der geologischen Tiefenlager zu bearbeitende Themen.....</b>	<b>113</b>
<b>Anhang A.4: Phasen, Zeitperioden und vorgesehene Aktivitäten für das HAA- und SMA-Programm gemäss Kostenstudie 2006.....</b>	<b>127</b>
<b>Anhang A.5: Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen.....</b>	<b>133</b>



## Tabellenverzeichnis

Tab. 1-1:	Vorgaben zum Entsorgungsprogramm: Zitate aus KEG 2003 und KEV 2004.....	2
Tab. 2-1a:	Abfallmengen in Kubikmeter (gerundet) bei 50 Jahren Betriebszeit der bestehenden KKW und einer Sammelperiode der Abfälle aus dem MIF-Bereich bis 2050.....	9
Tab. 2-1b:	Zusätzlich erwartete Abfallmengen in Kubikmeter (gerundet) bei einer Verlängerung der Betriebsdauer der bestehenden KKW um 10 Jahre und der Sammelperiode für die Abfälle aus dem MIF-Bereich um 10 Jahre (bis 2060).....	10
Tab. 2-1c:	Zusätzliche Abfallmengen in Kubikmeter (gerundet) bei einer optionalen Elektrizitätsproduktion von zusätzlich 5 GW <sub>e</sub> während 60 Jahren durch neue KKW und einer entsprechenden Verlängerung der Sammelperiode für die MIF-Abfälle.....	10
Tab. 2-2:	Zusammenstellung der verwendeten und vorgesehenen Konditioniermethoden.....	13
Tab. 3-1:	Information zu ausgewählten Endlagern und Endlagerprojekten im Ausland.....	18
Tab. 4-1:	Abfallzuteilung auf das SMA- und das HAA-Lager (Nagra 2008d).....	46
Tab. 5-1:	Wichtigste Aktivitäten in den verschiedenen Phasen gemäss Fig. 5-1a bzw. Fig. 5-1b.....	54
Tab. 6-1:	Zwischenlager: Betriebszeiten (gemäss Kostenstudie 2006), Kapazitäten und erwartete maximal eingelagerte Abfallmengen für 50 Jahre Betrieb der bestehenden KKW und einer Sammelperiode für MIF-Abfälle bis 2050.....	66
Tab. 7-1:	Gesamtkosten der Entsorgung (in Mio. CHF, Preisbasis 2006, ohne Kosten für die Entsorgung der MIF-Abfälle).....	71
Tab. 7-2:	Detaillierte Aufstellung der Kosten für die geologischen Tiefenlager gemäss Kostenstudie 2006 (in Mio. CHF, Preisbasis 2006).....	72
Tab. 7-3:	Übersicht über die Entsorgungskosten (in Mio. CHF) und deren Barwert sowie über den Stand der Rückstellungen für Kosten vor der Ausserbetriebnahme und des Stilllegungs- und Entsorgungsfonds (ohne Kosten für die Entsorgung der MIF-Abfälle).....	73
Tab. A.1-1:	Vorgaben und Hinweise in Gesetzen sowie in behördlichen Dokumenten.....	91
Tab. A.1-2:	Entscheidungspunkte: Erforderliche Genehmigungen und Bewilligungen für die schrittweise Realisierung der geologischen Tiefenlager in der Schweiz.....	96
Tab. A.1-3:	Einzureichende Unterlagen für die in Tab. A.1-2 aufgeführten Genehmigungen und Bewilligungen für die Realisierung der geologischen Tiefenlager.....	98
Tab. A.2-1:	Elemente des Entsorgungskonzepts.....	101
Tab. A.2-2:	Umgang mit bestehendem Handlungsspielraum und mit vorhandener Flexibilität.....	106
Tab. A.3-1:	Für die Umsetzung des Realisierungsplans aus heutiger Sicht zu bearbeitende Themen.....	113

Tab. A.3-2: Beschreibung der Arbeitsschwerpunkte der nächsten Jahre (Übersicht).....	115
Tab. A.3-3: Arbeiten gemäss Realisierungsplan mit direktem Standortbezug aus heutiger Sicht (Übersicht).....	120
Tab. A.3-4: Themen, die gemäss Realisierungsplan aus heutiger Sicht im Rahmen der standortunabhängigen Arbeiten (F+E-Programm) behandelt werden (Übersicht). ....	121
Tab. A.3-5: Im Hinblick auf die Rahmenbewilligungsgesuche im Rahmen der standortunabhängigen Arbeiten (F+E-Programm) geplante Arbeiten.....	122
Tab. A.3-6: Arbeiten im Rahmen des F+E-Programms nach Erteilung der Rahmenbewilligung im Hinblick auf das nukleare Baugesuch. ....	124
Tab. A.3-7: Die bis Betriebsaufnahme der standortspezifischen Felslabors in den verschiedenen Felslabors bearbeiteten Themen. ....	125
Tab. A.4-1: Wichtigste Aktivitäten in den verschiedenen Phasen (HAA-Lager) gemäss Kostenstudie 2006 (aktualisiert bzgl. Nomenklatur gemäss BFE 2008). ....	127
Tab. A.4-2: Wichtigste Aktivitäten in den verschiedenen Phasen (SMA-Lager) gemäss Kostenstudie 2006 (aktualisiert bzgl. Nomenklatur gemäss BFE 2008). ....	129
Tab. A.4-3: Betriebs- und Stilllegungszeiten der KKW und Zwischenlager gemäss Referenzfall Kostenstudie 2006.....	131

## Figurenverzeichnis

Fig. 1-1:	Die im Entsorgungsprogramm zu behandelnden Elemente.....	3
Fig. 2-1:	Zeitlicher Anfall der radioaktiven Abfälle der Schweiz (in Kubikmeter) der bestehenden Kernkraftwerke bei einer Betriebsdauer von 50 Jahren und aus dem MIF-Bereich für eine Sammelperiode bis 2050.....	11
Fig. 3-1:	Informationsquellen geologischer Daten in der Schweiz. ....	22
Fig. 3-2:	Konzeptionelle Darstellung des HAA-Lagers für abgebrannte Brennelemente (BE), verglaste hochaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (HAA) und langlebige mittelaktive Abfälle (LMA). ....	26
Fig. 3-3a:	Auslegungskonzept für das HAA-Lager mit gestaffelten passiven Sicherheitsbarrieren für die abgebrannten Brennelemente (BE). ....	27
Fig. 3-3b:	Auslegungskonzept für das HAA-Lager mit gestaffelten passiven Sicherheitsbarrieren für die verglasten hochaktiven Abfälle (HAA). ....	28
Fig. 3-3c:	Auslegungskonzept für das HAA-Lager mit gestaffelten passiven Sicherheitsbarrieren für die langlebigen mittelaktiven Abfälle (LMA). ....	29
Fig. 3-4:	Modellhafte Auslegung des HAA-Lagers für das Referenzszenarium.....	31
Fig. 3-5:	Modellhafter Grundriss zur Darstellung der Erweiterungsfähigkeit der Lagerkapazität des HAA-Lagers (60 Jahre Betrieb der bestehenden KKW und zusätzlich Produktion von 5 GW <sub>e</sub> während 60 Jahren). ....	32
Fig. 3-6:	Mögliche funktionale Anordnung der verschiedenen Module der Oberflächenanlage für das HAA-Lager gemäss heutiger Planung. ....	33
Fig. 3-7:	Modellhafte Darstellung (3D-Ansicht) einer Auswahl von Alternativen zur Gestaltung bzw. der Anordnung der Module der Oberflächenanlage für das HAA-Lager. ....	34
Fig. 3-8:	Konzeptionelle Darstellung des SMA-Lagers. ....	36
Fig. 3-9:	Auslegungskonzept für das SMA-Lager mit gestaffelten passiven Sicherheitsbarrieren. ....	37
Fig. 3-10:	Modellhafte Auslegung des SMA-Lagers für das Referenzszenarium.....	39
Fig. 3-11:	Modellhafter Grundriss zur Darstellung der Erweiterungsfähigkeit des SMA-Lagers (60 Jahre Betrieb der bestehenden KKW und zusätzlich Produktion von 5 GW <sub>e</sub> während 60 Jahren). ....	40
Fig. 3-12:	Funktionale Anordnung der verschiedenen Module der Oberflächenanlage für das SMA-Lager gemäss heutiger Planung. ....	41
Fig. 3-13:	Konzeptionelle Darstellung der untertägigen Lagerbauten für das Kombilager. ....	42
Fig. 5-1a:	Realisierungsplan für das HAA-Lager gemäss heutiger Planung.....	52
Fig. 5-1b:	Realisierungsplan für das SMA-Lager gemäss heutiger Planung.....	53
Fig. 8-1:	Darstellung der verschiedenen Akteure im Sachplanverfahren geologische Tiefenlager.....	76



# 1 Einleitung und Zielsetzung

## 1.1 Hintergrund und Vorgaben zum Entsorgungsprogramm

Mit der am 1. Februar 2005 in Kraft getretenen neuen Kernenergiegesetzgebung (Kernenergiegesetz, KEG 2003 und Kernenergieverordnung, KEV 2004) übernimmt der Bund eine verstärkte 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 (BFE 2008), der Entsorgungs- und Stilllegungsfonds zur Sicherstellung der Finanzierung und das Entsorgungsprogramm. Damit sollen die für die erfolgreiche Realisierung der Entsorgung notwendigen Rahmenbedingungen geschaffen werden (BFE 2004).

Das Entsorgungsprogramm ist von den Entsorgungspflichtigen zu erstellen und wird von den Aufsichtsbehörden (Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK)<sup>1</sup>) und vom Bundesamt für Energie (BFE) geprüft und vom Bundesrat genehmigt. Bei seiner Entscheidung zum Konzept SGT vom 2. April 2008 hat der Bundesrat festgelegt, dass das Entsorgungsprogramm zeitgleich mit den Vorschlägen der Entsorgungspflichtigen zu geologischen Standortgebieten für die erste Etappe (Vororientierung) des SGT einzureichen sei. Mit dem vorliegenden Bericht wird den Behörden ein entsprechendes Programm unterbreitet. Das Entsorgungsprogramm wird von den Entsorgungspflichtigen alle fünf Jahre an die Neuerungen angepasst. Diese Anpassung wird insbesondere auch die Kommentare der mit Überprüfung beauftragten Behörden berücksichtigt; dazu ist auch eine Interaktion mit den Behörden bei der Vorbereitung der anstehenden Arbeiten vorgesehen.

Das Kernenergiegesetz (Art. 32) und die Kernenergieverordnung (Art. 52) enthalten die Vorgaben für die Erstellung des Entsorgungsprogramms; Tab. 1-1 gibt eine Übersicht über die diesbezüglichen Vorgaben. 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.

## 1.2 Übersicht über den Stand der Entsorgung

Die übergeordneten Elemente der Entsorgung<sup>2</sup> sind schematisch in Fig. 1-1 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 60er-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 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.

---

<sup>1</sup> Die Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) wird per 1.1.2009 zum Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI). Im Text werden, soweit anwendbar, beide Organisationen erwähnt.

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

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 Entsorgungspflichtigen haben das Programm alle fünf Jahre anzupassen (KEV Art. 52 Abs. 2).
- Die vom Bundesrat bezeichnete Behörde überprüft das Programm. Das Departement unterbreitet es dem Bundesrat zur Genehmigung (KEG Art. 32 Abs. 2).
- Zuständig für die Überprüfung und für die Überwachung der Einhaltung des Programms sind die HSK und das Bundesamt (KEV Art. 52 Abs. 3).
- Der Bundesrat erstattet der Bundesversammlung regelmässig Bericht über das Programm (KEG Art. 32 Abs. 5).
- 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 aktuelle Gesetzgebung (KEG 2003, KEV 2004) regelt die Entsorgung umfassend und bildet eine wichtige Grundlage für das hier beschriebene Entsorgungsprogramm.
- Die seit ca. 30 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<sup>3</sup> (erbracht am Beispiel Oberbauenstock, Nagra 1985a) und für die hochaktiven Abfälle<sup>4</sup> (erbracht am Beispiel Opalinuston im Zürcher Weinland, Nagra 2002a, 2002b, 2002c), 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), inkl. Wahl des Opalinustons und des Zürcher Weinlands für den Entsorgungsnachweis HAA (Nagra 1988, Nagra 1991, Nagra 1994a, Nagra 1994c, AkEnd 2002, HSK 2002, HSK 2005a)). Für das SMA-Lager wurde mit dem

<sup>3</sup> Schwach- und mittelaktive Abfälle werden abgekürzt als SMA.

<sup>4</sup> Im Lager für die hochaktiven Abfälle (kurz: HAA-Lager) werden – neben den verglasten hochaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung der abgebrannten Brennelemente – auch abgebrannte Brennelemente und langlebige mittelaktive Abfälle eingelagert.

Der Begriff 'langlebige mittelaktive Abfälle' (Abkürzung LMA) wird für diejenigen Abfälle verwendet, welche neben den abgebrannten Brennelementen (Abkürzung BE) und den hochaktiven Abfällen (Abkürzung HAA) im HAA-Lager eingelagert werden. Die LMA umfassen die alphatoxischen Abfälle (Abkürzung ATA) und einen Teil der SMA (vgl. dazu die Erläuterungen in Kap. 4).

Projekt Wellenberg Rahmenbewilligungsreife erreicht (GNW 1994, Nagra 1994b, HSK 1996). Nach zwei ablehnenden kantonalen Abstimmungen wurde das Projekt zurückgezogen.

- Heute sind die technisch-wissenschaftlichen Grundlagen für die Wahl von geologischen Standortgebieten für die weiteren Arbeiten im Hinblick auf die Realisierung der geologischen Tiefenlager für SMA bzw. HAA vorhanden. Das vom Bundesrat verabschiedete Konzept SGT (BFE 2008) legt dazu das Vorgehen fest. Ein erster Schritt zur Umsetzung wurde durch die Nagra im Auftrag der Entsorgungspflichtigen unternommen und Vorschläge für geologische Standortgebiete eingereicht (Nagra 2008b).

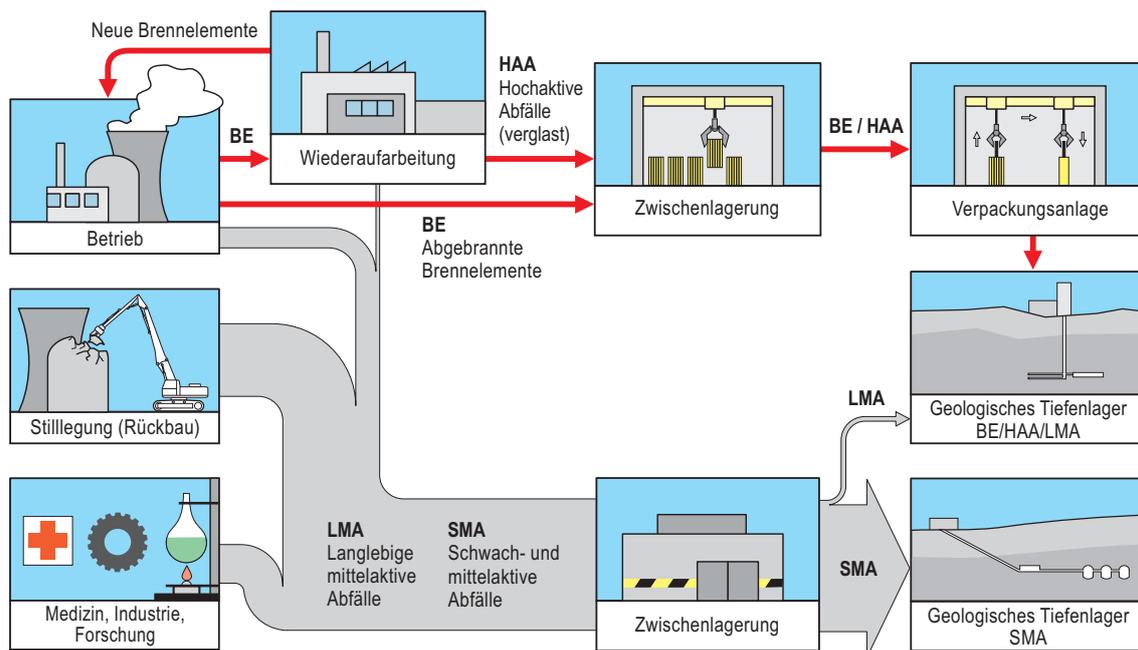


Fig. 1-1: Die im Entsorgungsprogramm zu behandelnden Elemente.

(i) alle in der Schweiz anfallenden radioaktiven Abfälle und deren Behandlung, (ii) die Zwischenlagerung und (iii) die geologischen Tiefenlager (inkl. Verpackungsanlagen für die Abfälle), eines für die schwach- und mittelaktiven Abfälle (SMA), das sogenannte SMA-Lager und eines für die abgebrannten Brennelemente (BE), die hochaktiven Abfälle (HAA) und die langlebigen mittelaktiven Abfälle (LMA), das sogenannte HAA-Lager (inkl. Verpackungsanlage).

### 1.3 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 Realisierungsprogramm soll auch als Basis dienen für die periodische Aktualisierung der Kostenstudien zur Entsorgung für die Festlegung der entsprechenden Rückstellungen (SEFV 2007). 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>5</sup> sind,
- *wie* bei der Realisierung der noch ausstehenden Teile der Entsorgung (insbesondere der geologischen Tiefenlager) vorgegangen werden soll (der sogenannte Realisierungsplan), *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<sup>6</sup>,
- *welche* Unterlagen für die verschiedenen Verfahren erforderlich sind,
- und *welche* übergeordneten Aktivitäten für die Realisierung der noch ausstehenden Anlagen – die geologischen Tiefenlager – und zur Erstellung der dazu benötigten Unterlagen notwendig sind und *welche* Ressourcen (Zeit, Kosten) dazu benötigt werden.

Das Entsorgungsprogramm nimmt keine Festlegungen oder Entscheide vorweg, die in einem anderen Zusammenhang zu fällen sind. Dies betrifft insbesondere:

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

Der vorliegende Bericht ist wie folgt aufgebaut: Kap. 1 gibt eine Einleitung zum Entsorgungsprogramm und beschreibt dessen Zielsetzungen und Aufbau. Kap. 2 beschreibt die Herkunft, Art und Menge der radioaktiven Abfälle sowie ihre Konditionierung, Charakterisierung und Inventarisierung. Kap. 3 behandelt die benötigten geologischen Tiefenlager einschliesslich ihres Auslegungskonzeptes, Kap. 4 diskutiert die Zuteilung der Abfälle zu den geologischen Tiefen-

---

<sup>5</sup> Deshalb werden im Entsorgungsprogramm für die verschiedenen Aspekte neben einem Referenzfall auch Alternativen diskutiert, um aufzuzeigen, welcher Handlungsbedarf für die optimale Gestaltung der Lageranlagen erforderlich ist (Berücksichtigung Projekt-bezogener technisch-wissenschaftlicher Erkenntnisse und Fortschritte), und welche Flexibilität zur Berücksichtigung geänderter externer Vorgaben (z.B. bzgl. einzulagernder Abfälle) notwendig ist.

<sup>6</sup> Die diesbezüglichen im Text dokumentierten Überlegungen sind zur besseren Übersicht auch tabellarisch im Anhang zusammenfassend dargestellt (Tab. A.2-1 und A-2.2).

lagern und Kap. 5 umfasst den Realisierungsplan für die Erstellung der geologischen Tiefenlager einschliesslich des dazu notwendigen Forschungs- und Entwicklungsprogramms. 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.

Die nach KEV Art. 52 Abs. 1 geforderten Angaben im Entsorgungsprogramm (vgl. Tab. 1-1) werden alle im vorliegenden Bericht abgehandelt und umfassen:

- Herkunft, Art und Menge der radioaktiven Abfälle in Kap. 2
- die benötigten geologischen Tiefenlager einschliesslich ihres Auslegungskonzepts in Kap. 3
- die Zuteilung der Abfälle zu den geologischen Tiefenlagern in Kap. 4
- den Realisierungsplan für die Erstellung der geologischen Tiefenlager in Kap. 5
- die Dauer und die benötigte Kapazität der zentralen und der dezentralen Zwischenlagerung in Kap. 6
- den Finanzplan für die Entsorgungsarbeiten bis zur Ausserbetriebnahme der Kernanlagen in Kap. 7
- das Informationskonzept in Kap. 8

Zeitgleich mit dem Entsorgungsprogramm wird auch ein Bericht der Nagra zum Umgang mit den Hinweisen und Empfehlungen der Behörden und des internationalen Reviewteams zum Entsorgungsnachweis eingereicht (Nagra 2008a), dessen Schlussfolgerungen in vorliegendem Bericht berücksichtigt wurden.



## 2 Herkunft, Art und Menge der radioaktiven Abfälle

### 2.1 Beschreibung der radioaktiven Abfälle

In der Schweiz fallen radioaktive Abfälle und Materialien<sup>7</sup> bei der Nutzung der Kernenergie und bei der Verwendung radioaktiver Materialien in Medizin, Industrie und Forschung (MIF) an.

Im Entsorgungsprogramm wird in Übereinstimmung mit der Kostenstudie 2006<sup>8</sup> (vgl. Lundmark 2007) von den Abfällen aus den bestehenden Kernkraftwerken bei einer Betriebsdauer von 50 Jahren ausgegangen; dies bildet den sogenannten Referenzfall. Bezüglich des Brennstoffkreislaufs berücksichtigt das schweizerische Entsorgungskonzept sowohl die Wiederaufarbeitung als auch die direkte Endlagerung: Mehr als 1'100 t Brennstoff (Uran/Schwermetall, kurz tU) wurden der Wiederaufarbeitung zugeführt, für den restlichen Brennstoff (ca. 2'435 tU) wird im Referenzfall von der direkten Endlagerung (ohne Wiederaufarbeitung) ausgegangen. Neben den Abfällen aus den Kernkraftwerken (KKW) werden im Referenzfall auch die Abfälle aus den Bereichen Medizin, Industrie und Forschung berücksichtigt für eine Sammelperiode bis Ende der Einlagerung der Abfälle aus den bestehenden KKW in das SMA-Lager (bis 2050, vgl. Kap. 5.3). Dies umfasst die Abfälle der Kleinproduzenten sowie Abfälle von grossen Forschungsanlagen (z.B. Paul Scherrer Institut (PSI), CERN) und Stilllegungsabfälle von Forschungsreaktoren und -einrichtungen verschiedener Hochschulen und Universitäten.

Für die Beschreibung der Abfälle werden die Kategorien gemäss KEV Art. 51 verwendet<sup>9</sup>: hochaktive Abfälle (HAA), alphatoxische Abfälle (ATA) und schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA). Die der Planung zugrunde gelegten Abfallmengen (Referenzfall) sind in Tab. 2-1a aufgeführt. Diese Tabelle zeigt das Volumen für die konditionierten Abfälle. Da die Abfälle in der Regel vor ihrer Einlagerung in die Lagerkammern der geologischen Tiefenlager in Endlagerbehälter verpackt werden (vgl. Kap. 3.2 und 3.3), ist das Volumen auch für die in Endlagerbehälter verpackten Abfälle ausgewiesen. Die detaillierten Eigenschaften der Abfälle sind in Nagra 2008e gegeben. Der zeitliche Anfall der Abfälle (konditioniert bzw. zusätzlich in Endlagerbehälter verpackt) ist in Fig. 2-1a und Fig. 2-1b als Summenkurve dargestellt, gegliedert nach Herkunft der Abfälle. In den Figuren ist die Stilllegung der Kernkraftwerke und der Forschungseinrichtungen (Zeitpunkt der Stilllegung der Forschungseinrichtungen: Annahme der Nagra) durch das stärkere Ansteigen der Kurven nach 2030 und 2040 klar ersichtlich. Ende 2007 lagen folgende Mengen an Abfällen bzw. radioaktiven Materialien vor (gerundete Zahlen)<sup>10</sup>: Betriebsabfälle der KKW und Abfälle aus dem MIF-Bereich: 5'720 m<sup>3</sup>; im Zwischenlager eingelagerte Brennelemente: ca. 280 tU; der Wiederaufarbeitung wird gegenwärtig etwas mehr als 1'100 tU Brennstoff zugeordnet.

<sup>7</sup> Für gewisse radioaktive Materialien besteht grundsätzlich die Möglichkeit der Rezyklierung (z.B. abgebrannte Brennelemente). Diese sind deshalb bis zur Entscheidung, sie nicht wieder zu verwenden und in ein geologisches Tiefenlager zu verbringen, im engeren Sinn keine radioaktiven Abfälle. In vorliegendem Bericht wird diese Unterscheidung im Folgenden nicht mehr gemacht.

<sup>8</sup> Berichterstattung der Entsorgungspflichtigen zuhanden des Stilllegungs- und Entsorgungsfonds; die Kosten-schätzung wurde 2006 das letzte Mal aktualisiert.

<sup>9</sup> Definition gemäss KEV Art. 51: Hochaktive Abfälle: abgebrannte Brennelemente und verglaste Spaltprodukt-lösungen aus der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente; alphatoxische Abfälle: Abfälle, deren Gehalt an Alphastrahlern den Wert von 20'000 Bq/g konditionierter Abfall übersteigt; schwach- und mittelaktive Abfälle: alle anderen radioaktiven Abfälle.

<sup>10</sup> Weitere Informationen zu den heute vorhandenen Abfällen können der einschlägigen Berichterstattung ent-nommen werden (z.B. Jahresbericht der AGNEB (AGNEB 2008), Berichte zur IAEA-'Joint Convention' (UVEK 2005 bzw. UVEK 2008)).

Gemäss SGT (BFE 2008) soll das Sachplanverfahren zu geologischen Tiefenlagern führen, welche die Abfälle aus den bestehenden und allfällig neuen KKW, aus deren Stilllegung und Abbruch sowie die Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung (inkl. Stilllegung und Abbruch von Forschungseinrichtungen) aufnehmen können. Die maximalen Lagerkapazitäten der geologischen Tiefenlager werden mit den Rahmenbewilligungen verbindlich festgelegt. Für die Standortwahl muss bereits in der Etappe 1 des Sachplanverfahrens aufgezeigt werden, ob resp. welche Reserven bei den betrachteten geologischen Standortgebieten vorhanden sind. Zur Illustration möglicher zusätzlicher Abfallmengen werden folgende zukünftige Entwicklungen betrachtet: Es besteht die Möglichkeit, dass es zumindest für einen Teil der bestehenden KKW zu einer 60-jährigen Betriebsdauer kommt. Ausserdem ist es möglich, dass in Zukunft zusätzlich neue KKW gebaut werden<sup>11</sup> – das KEG beschränkt die Laufzeit der KKW nicht und hält die Option Kernenergie offen. Weiter hat neben der Elektrizitätswirtschaft (z.B. Axpo 2006) auch der Bundesrat in seinen Energieperspektiven (BFE 2007) auf die Notwendigkeit zukünftiger KKW hingewiesen. Diese zukünftige Entwicklung würde zu einem grösseren Abfallinventar führen, das sich aber in seinen grundsätzlichen Eigenschaften nicht von den jetzigen Abfällen unterscheidet. Weiter besteht auch die Möglichkeit, dass die Wiederaufarbeitung von abgebranntem Brennstoff nach Ablauf des Moratoriums<sup>12</sup> wieder zur Anwendung kommt. Schliesslich ist im Zusammenhang mit der Entsorgung bzw. Wiederaufarbeitung auch die Transmutation für abgebrannte Brennelemente (inkl. Accelerator Driven Systems) zu erwähnen, die zwar für die Energieerzeugung in einigen zehn Jahren einen Einfluss auf die dabei zu entsorgenden Abfälle haben kann, aber die geologischen Tiefenlager nicht überflüssig macht und auch für die bestehenden und die mittelfristig absehbaren Abfälle keine wesentlichen Änderungen ergibt (vgl. z.B. NEA 2006 bzw. SKB 2007a). Für die MIF-Abfälle ist von einer Verlängerung ihrer Anlieferung über die Einlagerungsperiode der KKW-Abfälle hinaus auszugehen. Zudem ist es auch möglich, dass im MIF-Bereich aktivierte Materialien und Komponenten aus der Stilllegung von Forschungseinrichtungen wiederverwendet und später, nach Abklingen der Radioaktivität, konventionell entsorgt werden. Es kann auch sein, dass in Zukunft im MIF-Bereich andere Anwendungsbereiche für radioaktive Materialien dazu kommen. Beides kann in der Zukunft zu anderen Inventaren und anderen Arten von Abfällen führen.

Für die Beurteilung der Erweiterungsfähigkeit der geologischen Tiefenlager wird in Tab. 2-1b und c aufgezeigt, welche zusätzlichen Abfallmengen bei einer Verlängerung der Betriebsdauer der bestehenden KKW um 10 Jahre bzw. bei einer zusätzlichen Elektrizitätsproduktion von 5 GW<sub>e</sub><sup>13</sup> während 60 Jahren<sup>14</sup> durch neue KKW zu erwarten wären. Tab. 2-1b dokumentiert auch die Annahmen bezüglich zusätzlicher Abfälle aus dem MIF-Bereich bei Verlängerung der Sammelperiode um 10 Jahre. Die Tabelle zeigt, dass eine Verlängerung des Betriebs der KKW bzw. der Sammelperiode der MIF-Abfälle gegenüber dem Referenzfall bei den ATA/SMA nur eine kleine Zunahme der Abfallmengen ergibt; bei den HAA ist die Zunahme der Abfallmengen überproportional, vgl. Nagra 2008e (in Endlagerbehälter verpackte Abfallmengen HAA:

---

<sup>11</sup> Die Kernkraftwerk Niederamt AG (KKN), eine Tochtergesellschaft der Atel Holding AG, hat am 9. Juni 2008 das Rahmenbewilligungsgesuch für ein neues Kernkraftwerk im solothurnischen Niederamt eingereicht.

Axpo und BKW haben im Dezember 2007 angekündigt, dass sie 2008 Rahmenbewilligungsgesuche für zwei neue KKW einreichen wollen im Zusammenhang der sich abzeichnenden Produktionslücke in der Höhe von ca. 3'200 MW<sub>e</sub>.

<sup>12</sup> Das KEG (Art. 106 Abs. 4) enthält ein Moratorium für die Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennelementen während 10 Jahren ab 1. Juli 2006.

<sup>13</sup> GW<sub>e</sub> bedeutet GW elektrische Leistung (im Gegensatz zu thermischer Leistung).

<sup>14</sup> Dies entspricht einem Betrachtungszeitraum von etwa 100 Jahren und würde den Ersatz der heute bestehenden KKW und der auslaufenden Lieferverträge mit Frankreich unter Berücksichtigung einer moderaten Zunahme des Strombedarfs abdecken (vgl. Nuklearforum 2007).

+29 %<sup>15</sup>, ATA/SMA: +6 %). Bei einer zusätzlichen Elektrizitätsproduktion von 5 GW<sub>e</sub> während 60 Jahren (Zunahme der Produktion um ca. 185 %) ergibt sich eine Zunahme der in Endlagerbehälter verpackten Abfälle gegenüber dem Referenzfall um rund 140 % für HAA und um rund 100 % für ATA/SMA (ohne MIF-Abfälle). In Tab. 2-1c sind auch die wegen Verlängerung der Sammelperiode zusätzlich anfallenden MIF-Abfälle aufgeführt<sup>16</sup>, die auch zusätzlich 25'000 m<sup>3</sup> Abfälle aus der Stilllegung von angenommenen neuen, noch nicht geplanten Forschungseinrichtungen einschliessen.

Tab. 2-1a: Abfallmengen in Kubikmeter (gerundet) bei 50 Jahren Betriebszeit der bestehenden KKW und einer Sammelperiode der Abfälle aus dem MIF-Bereich bis 2050.

Erläuterung: 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 gemäss KEV Art. 51 (HAA: hochaktive Abfälle, ATA: alphanoxische Abfälle, SMA: schwach- und mittelaktive Abfälle) und bezüglich Herkunft (BE: abgebrannte Brennelemente; HAA: verglaste hochaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung; WA-MA: mittelaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung; BA: Betriebsabfälle der KKW (inkl. austauschbarer Kernkomponenten der KKW (RA)); SA: Stilllegungsabfälle der KKW; MIF: Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung; BEVA: Abfälle aus dem Betrieb und der Stilllegung der Verpackungsanlage für BE und HAA).

		Herkunft						Total	
		BE	HAA	WA-MA	BA	SA	MIF <sup>3)</sup>		BEVA
Kategorie nach KEV	HAA	1'135 <sup>1)</sup> (6'595)	115 <sup>2)</sup> (730)				0.2 (2)	1'250 (7'325)	
	ATA			200 <sup>2)</sup> (1'320)	10 (40)		325 (920)	535 (2'280)	
	SMA				7'645 (26'100)	28'885 (28'920)	27'270 (32'170)	2'220 (2'220)	66'020 (89'410)
	<b>Total</b>	1'135 (6'595)	115 (730)	200 (1'320)	7'655 (26'140)	28'885 (28'920)	27'595 (33'090)	2'220 (2'220)	67'805 (99'015)

1) Entspricht 2'435 tU.

2) Diese Abfälle resultieren aus der Wiederaufarbeitung von 1'140 tU.

3) Darin enthalten sind auch die Abfälle aus der Stilllegung von Forschungseinrichtungen sowie für die Planung eine Reserve von 12'000 m<sup>3</sup> für heute noch nicht im Detail spezifizierte SMA-Abfälle, z.B. aus dem CERN und dem PSI. Es ist zu erwarten, dass es sich dabei ausschliesslich um SMA-Abfälle handelt.

<sup>15</sup> Die relativ grosse Zunahme der HAA-Volumina kommt zustande, weil für die zukünftigen KKW keine Wiederaufarbeitung mehr angenommen wird. Für die bestehenden KKW bei 50 Jahren Betrieb wird ca. 1/3 des Brennstoffs der Wiederaufarbeitung zugeführt, was zu einer erheblichen Volumenreduktion führt.

<sup>16</sup> Sammelperiode bis Ende Einlagerung der Abfälle aus den neuen KKW in das SMA-Lager (modellhafte Annahme: bis 2120).

Tab. 2-1b: Zusätzlich erwartete Abfallmengen in Kubikmeter (gerundet) bei einer Verlängerung der Betriebsdauer der bestehenden KKW um 10 Jahre und der Sammelperiode für die Abfälle aus dem MIF-Bereich um 10 Jahre (bis 2060).

Die angegebenen Abfallmengen werden verwendet zur Beurteilung des erforderlichen Platzbedarfs infolge möglicher zusätzlicher Abfallmengen. Erläuterungen: vgl. Tab. 2-1a.

		Herkunft						Total	
		BE	HAA	WA-MA	BA	SA	MIF		BEVA
Kategorie nach KEV	HAA	270 <sup>1)</sup> (2'130)	–				–		270 (2'130)
	ATA			–	5 (5)		40 (120)		45 (125)
	SMA				1'085 (3'700)	–	445 (985)	280 (280)	1'810 (4'965)
	<b>Total</b>	270 (2'130)	–	–	1'090 (3'705)	–	485 (1'105)	280 (280)	2'125 (7'220)

<sup>1)</sup> Entspricht 575 tU.

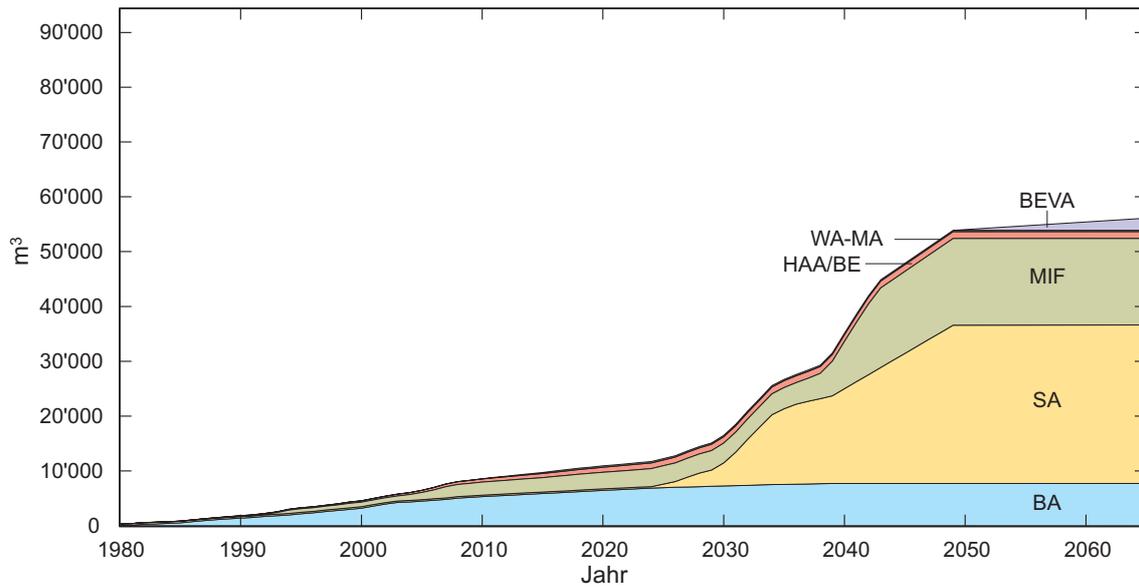
Tab. 2-1c: Zusätzliche Abfallmengen in Kubikmeter (gerundet) bei einer optionalen Elektrizitätsproduktion von zusätzlich 5 GW<sub>e</sub> während 60 Jahren durch neue KKW und einer entsprechenden Verlängerung der Sammelperiode für die MIF-Abfälle.

Für die neuen KKW wird konservativ angenommen, dass die abgebrannten Brennelemente nicht der Wiederaufarbeitung zugeführt werden. Für die MIF-Abfälle werden die zusätzlichen Abfälle wegen Verlängerung der Sammelperiode bis Ende der Einlagerung der SMA-Abfälle der neuen KKW (bis 2120) und zusätzlich 25'000 m<sup>3</sup> Abfälle aus der Stilllegung von angenommenen neuen, noch nicht geplanten Forschungseinrichtungen aufgeführt.

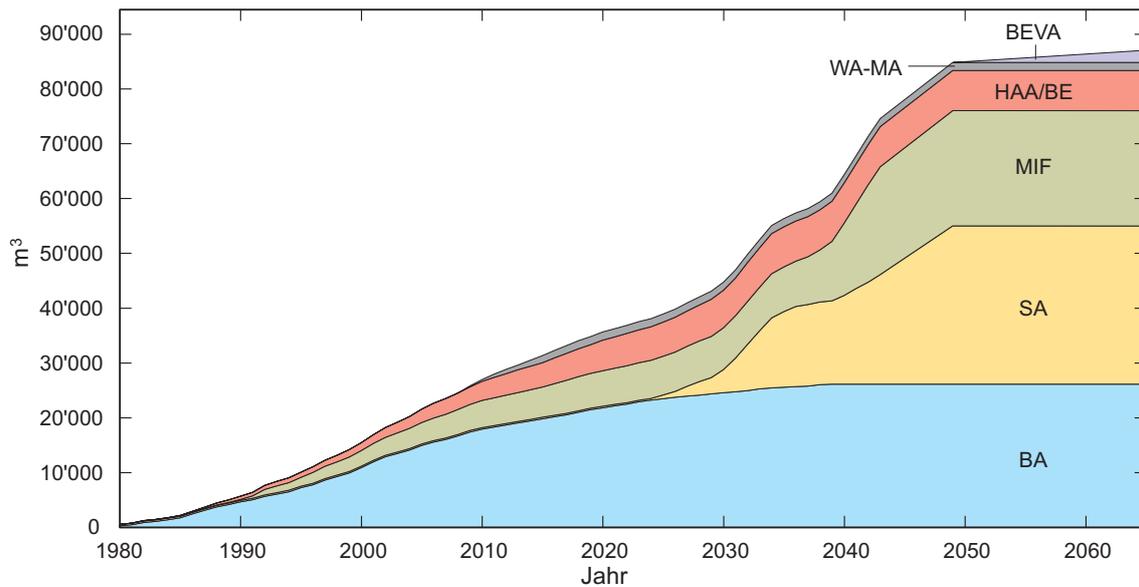
Die angegebenen Abfallmengen werden verwendet zur Beurteilung des erforderlichen Platzbedarfs infolge möglicher zusätzlicher Abfallmengen. Erläuterungen: vgl. Tab. 2-1a.

		Herkunft					Total	
		BE	HAA/WA	BA	SA	MIF		BEVA
Kategorie nach KEV	HAA	2'000 <sup>1)</sup> (10'265)	–					2'000 (10'265)
	ATA		–	125 (500)		280 (840)		405 (1'340)
	SMA		–	11'385 (38'785)	16'740 (16'740)	28'115 (31'895)	3'430 (3'430)	59'670 (90'850)
	<b>Total</b>	2000 (10'265)	–	11'510 (39'285)	16'740 (16'740)	28'395 (32'735)	3'430 (3'430)	62'075 (102'455)

<sup>1)</sup> Entspricht 4'800 tU.



a) Volumen der konditionierten Abfälle



b) Volumen der konditionierten Abfälle zusätzlich in Endlagerbehälter verpackt

Fig. 2-1: Zeitlicher Anfall der radioaktiven Abfälle der Schweiz (in Kubikmeter) der bestehenden Kernkraftwerke bei einer Betriebsdauer von 50 Jahren und aus dem MIF-Bereich für eine Sammelperiode bis 2050.

Abfälle gegliedert nach ihrer Herkunft (Abkürzungen: vgl. Legende zu Tab. 2-1a)

Der Zuwachs der Abfallmengen nach 2050 ist infolge Betrieb und Abbruch der Verpackungsanlage für BE/HAA, (BEVA); ohne die Reserve von 12'000 m<sup>3</sup> für MIF-Abfälle.

## 2.2 Konditionierung, Charakterisierung und Inventarisierung der radioaktiven Abfälle

Die heute anfallenden radioaktiven Abfälle werden laufend konditioniert<sup>17</sup>, charakterisiert und inventarisiert:

- Bei den KKW-Betriebsabfällen (inkl. austauschbare Reaktorkomponenten) sind für praktisch alle 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.
- Die Abfälle aus der Wiederaufarbeitung von abgebranntem Brennstoff in England (Sellafield Ltd) und Frankreich (AREVA NC) werden in eine Form gebracht, welche die schweizerischen Anforderungen bezüglich Transporte, Zwischenlagerung und geologischer Tiefenlagerung erfüllt. Die resultierenden Abfälle werden zurück in die Schweiz gebracht, wobei gemäss heutigem Stand der Planung für den in England aufgearbeiteten Brennstoff die schwach- und mittelaktiven Abfälle durch zusätzliche HAA substituiert werden.
- Die nicht in die Wiederaufarbeitung verbrachten BE werden vor Einlagerung in die Lagerstollen des HAA-Lagers ohne weitere Behandlung in Endlagerbehälter verpackt, vgl. Kap. 3.2.
- 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), und 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 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 vor.

Tab. 2-2 enthält eine Zusammenstellung der verwendeten bzw. vorgesehenen Konditioniermethoden. Die im 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 mit speziellen Transportbehältern durchgeführt.

---

<sup>17</sup> Gemäss KEG Art 3d ist Konditionierung definiert als die Gesamtheit der Operationen, mit welchen radioaktive Abfälle für die Zwischenlagerung oder für die Lagerung in einem geologischen Tiefenlager vorbereitet werden; insbesondere die mechanische Verkleinerung, die Dekontamination, die Verpressung, die Verbrennung, die Einbettung in Abfallmatrizen und die Verpackung.

Tab. 2-2: 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	Aufkonzentration	Bitumen	Extruder
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).

Durch behördlich geregelte Verfahren wird sichergestellt (vgl. HSK-B-05, HSK 2007), dass die konditionierten Abfälle für die weitere Entsorgung geeignete Eigenschaften haben, und dass alle in Zukunft benötigten Informationen vorhanden und in geeigneter Form dokumentiert sind. Dazu kommt das Endlagerfähigkeitsbescheinigungs- bzw. Übernahmeverfahren zur Anwendung: Vor Freigabe eines Konditionierverfahrens durch die zuständige Behörde (HSK bzw. ENSI) werden das vom jeweiligen Abfallverursacher vorgeschlagene Konditionierverfahren und insbesondere die damit herzustellenden Abfallgebinde 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 haben (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 wie die Spezifikationen bei den Abfallverursachern und zentral bei der Nagra abgelegt. Die HSK (bzw. ENSI) überwacht und überprüft im Rahmen ihrer Aufsicht die Vorbereitung und Durchführung der Konditionierung aller radioaktiven Abfälle und gibt wichtige Schritte frei.

Die für die Planung der Entsorgung notwendigen Kenntnisse zu den Abfällen werden im Rahmen von Charakterisierungsprogrammen erhoben und zentral erfasst. Für die Dokumentation der Information zu vorhandenen Abfällen wird das Informationssystem für Radioaktive Materialien (ISRAM) verwendet. Das modellhafte Inventar der radioaktiven Abfälle und Materialien (MIRAM) enthält eine Gesamtübersicht sowohl über die vorhandenen als auch über die zukünftig erwarteten Abfälle. Mit den Informationen in den beiden Datenbanken steht eine zuverlässige und umfassende Beschreibung der Eigenschaften aller einzulagernden Abfälle für die Abwicklung bzw. 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. Die notwendigen technischen Arbeiten berücksichtigen die Behördenrichtlinien (HSK-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 (vgl. Zuidema et al. 1996a-b, Zuidema et al. 1997).

Die Abfalleigenschaften werden von der Nagra zusätzlich zur Endlagerfähigkeitsbeurteilung auch im Rahmen der für die verschiedenen Entscheidungspunkte erstellten Sicherheitsanalysen evaluiert. Neben dem Radionuklid-Inventar (Radiotoxizität, radiogene Wärme, Radiolyse) werden auch die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Rohabfälle und ihre Behandlung bzw. Verfestigung sowie ihre Verpackung beurteilt. Zusätzlich wird die Auswirkung der Gasbildung (anoxische Metallkorrosion, Degradation organischer Materialien), die Degradation allenfalls vorhandener organischer Materialien (insbesondere die mögliche Ent-

stehung von Komplexbildnern<sup>18</sup>) und die Auswirkung chemischer Prozesse (z.B. Auswirkung von Zementporenwässern auf das umgebende Wirtgestein, die sogenannte pH-Fahne) evaluiert. Insbesondere wegen der potenziellen Auswirkung von Komplexbildnern 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; hier liegt seit vielen Jahren der Fokus auf der Reduktion des Gehalts an organischen Materialien und der Möglichkeit des Einschmelzens von Metallen, was für einen Teil der Abfälle mit der Plasmaanlage am ZWILAG erreicht wird. Es ist nicht auszuschliessen, dass die periodische Neubeurteilung zu einer Anpassung bestehender Konditionierverfahren oder sogar zur Nachbehandlung ausgewählter Abfälle führt.

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.

### 2.3 Zusammenfassung

Die Herkunft, die Art und die Menge der in der Schweiz zu entsorgenden radioaktiven Abfälle sind bekannt. Als Referenzfall wird im Entsorgungsprogramm von den bestehenden KKW mit einer Betriebszeit von 50 Jahren ausgegangen sowie von den radioaktiven Abfällen und Materialien aus Medizin, Industrie und Forschung, die während einer Sammelperiode bis ca. 2050 anfallen (Periode, bis im Referenzfall die Einlagerung der von den KKW herrührenden schwach- und mittelaktiven Abfälle in das SMA-Lager abgeschlossen ist). Im Hinblick auf zukünftige Entwicklungen ist eine genügende Flexibilität notwendig. Deshalb werden zu Planungszwecken auch die Art und Menge der radioaktiven Abfälle ausgewiesen, die bei einer Verlängerung der Betriebszeit der bestehenden KKW und der Sammelperiode der MIF-Abfälle je um weitere 10 Jahre entstehen würden. Weiter wird aufgezeigt, mit welchen Abfällen zu rechnen wäre bei einer zusätzlichen Produktion von 5 GW<sub>e</sub> während 60 Jahren als Ersatz der bestehenden KKW, der schrittweise auslaufenden Lieferverträge mit Frankreich und zur Berücksichtigung einer moderaten Zunahme des Stromverbrauchs.

Die entstehenden Abfälle werden laufend konditioniert, charakterisiert und inventarisiert. Vor Beginn der Konditionierung eines Abfallstroms wird das vorgeschlagene Konditionierverfahren auch durch die Nagra bezüglich der Endlagerfähigkeit der fertigen Abfallgebände beurteilt. Dies ist Voraussetzung für die behördliche Freigabe der routinemässigen Konditionierung. Auch im Rahmen der für die verschiedenen Entscheidungspunkte zu erstellenden Sicherheitsberichte werden die konditionierten Abfälle evaluiert, und es ist grundsätzlich möglich, dass gewisse 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. Damit ist eine zuverlässige Basis vorhanden für die Planung und Realisierung der geologischen Tiefenlager und für die Bewirtschaftung der vorhandenen Zwischenlager.

---

<sup>18</sup> Komplexbildner können die Mobilität von Radionukliden erhöhen, vgl. z.B. Van Loon & Kopajtic 1990, Van Loon & Glaus 1998, Glaus & Van Loon 2004.



## 3 Die geologischen Tiefenlager

### 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>19</sup> wird durch folgende Elemente 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
- den gewählten Standort mit:
  - einer geeigneten geologischen Situation mit
    - genügender Langzeitstabilität (geeigneter geologischer Grossraum und günstige lokale Situation)
    - einem Wirtgestein mit geeigneten Barrieren-Eigenschaften 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 ober-tägigen Infrastruktur des geologischen Tiefenlagers (Empfangsanlage, Erschliessung, etc.) so erlaubt, dass mögliche Raumnutzungs- und Umweltkonflikte bei Exploration, Bau, Betrieb, Überwachung und 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.

---

<sup>19</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.

In den nachfolgenden Abschnitten wird auf die wichtigsten Aspekte der geologischen Tiefenlager – das Lagerkonzept, die Geologie, die Sicherheit sowie die Raumnutzung und Umweltverträglichkeit – eingegangen. Anschliessend werden die Auslegungskonzepte des HAA-, des SMA- und des Kombilagers<sup>20</sup> beschrieben (Kap. 3.2, 3.3 und 3.4). Die Zuteilung der Abfälle auf die geologischen Tiefenlager wird in Kap. 4 beschrieben.

### 3.1.1 Lagerkonzepte: Eine Übersicht

In praktisch allen Ländern mit Abfällen aus der Kernenergie erfolgt die Entsorgung der radioaktiven Abfälle in Endlagern, wobei zur Berücksichtigung der Verschiedenartigkeit der Abfälle in der Regel mehr als ein Lager vorgesehen ist. Für die schwach- und mittelaktiven Abfälle sind in zahlreichen Ländern Lager in Betrieb (viele davon oberirdisch oder oberflächennah), für die hochaktiven Abfälle (inkl. abgebrannte Brennelemente) ist in verschiedenen Ländern die Realisierung der geologischen Tiefenlager fortgeschritten, vgl. Tab. 3-1 (siehe auch NEA 2005).

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

#### a) Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle

Land	Endlager	Stand
Belgien	Dessel (oberirdisch)	Gemeinde hat dem Bau zugestimmt Betrieb ab ca. 2016
Deutschland	Konrad (ehem. Eisenerzbergwerk)	Betrieb frühestens ab 2013
	Morsleben (ehem. Salzbergwerk)	Betrieb abgeschlossen, wird stillgelegt
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	Bewilligungsgesuch in Vorbereitung
	Port Hope – "Historic Waste" (oberirdisch)	UVP im Gange, Betrieb ab 2017
Schweden	SFR1	Seit 1988 in Betrieb
Spanien	El Cabril (oberirdisch)	Seit 1992 in Betrieb
Südkorea	Gyeong-Ju, Wolsong	Betrieb ab Ende 2009
Tschechische Republik	Richard (oberflächennah)	Seit 1964 in Betrieb
	Dukovany (oberflächennah)	Seit 1995 in Betrieb
Ungarn	Püspökszilágy (oberirdisch)	Seit 1976 in Betrieb
	Bátaapáti	Im Bau, Betrieb ab 2009
USA	Zahlreiche oberirdische Lager	Erste Lager ab 1963 in Betrieb

<sup>20</sup> Definition: vgl. Text in Kap. 3.1.1.

- 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 (Tongestein)	In Planung
Deutschland	Gorleben (Salz)	Evtl. neue Standortsuche
Finnland	Olkiluoto (Granit)	Standortwahl durch Parlament 2001 bestätigt Felslabor am Standort im Bau, Betriebsbeginn ab 2020
Frankreich	Region Bure (Tongestein)	Felslabor in Standortregion in Betrieb Betriebsbeginn Lager ab 2025
Schweden	Oskarshamn oder Östhammar (Granit)	Standortwahl: 2009 Betriebsbeginn ab 2018 (Pilotbetrieb)
USA	Yucca Mountain (Tuff)	Bewilligungsgesuch: 2008 Betriebsbeginn frühestens ab 2017
	WIPP, für langlebige mittelaktive Abfälle (Salz)	Seit 1999 in Betrieb

In Übereinstimmung mit der internationalen Praxis geht das schweizerische Entsorgungskonzept ebenfalls von zwei Lagern aus: eines für die schwach- und mittelaktiven Abfälle und eines für die hochaktiven (inkl. abgebrannte Brennelemente) und die langlebigen mittelaktiven Abfälle. Die Auslegung der Lager (inkl. Festlegung des Standorts) hat die spezifischen Eigenschaften der einzulagernden Abfälle (Radiotoxizität, Grösse und Gewicht der Abfallgebände, chemische und physikalische Eigenschaften) zu berücksichtigen. Wegen der Verschiedenartigkeit der Abfälle ergibt dies zwei Lager, die sich in ihrer Auslegung und in ihren Anforderungen an die Geologie stark unterscheiden. In gewissen geologischen Situationen kann es möglich sein, dass sowohl das Lager für die hochaktiven als auch das für die schwach- und mittelaktiven Abfälle am gleichen Standort angeordnet werden können, evtl. in verschiedenen Gesteinsschichten. Diese Möglichkeit wird in der Schweiz unter dem Begriff 'Kombilager' evaluiert.

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 Ausland wurde vor allem für die HAA diskutiert (z.B. Schlussbericht des EU-Projektes SAPIERR I, Stefula 2006). Weil sich aber zurzeit keine Lösung im Ausland abzeichnet, wird die Entsorgung in der Schweiz von den Entsorgungspflichtigen aktiv und mit Nachdruck verfolgt. Der Entscheid, ob ein Teil der Abfälle im Ausland entsorgt werden soll, muss spätestens bei Baubeginn des entsprechenden geologischen Tiefenlagers gefällt werden.

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, Nagra 1985c – d, Nagra 1994b, Nagra 1994c, Nagra 2002c), die von den Behörden und ihren Experten beurteilt wurden (HSK 1986, HSK 1996, HSK 2004, NEA 2004, HSK 2005b, KNE 2005, KSA 2005). Dazu gehört insbesondere auch der Entsorgungsnachweis für SMA und für HAA. Weiter kann auch die breite Erfahrung im Ausland genutzt werden; dies betrifft insbesondere Frankreich mit einem Wirtgestein für sein geplantes HAA-Lager, das dem

Opalinuston – dem von der Nagra für das HAA-Lager bevorzugten Wirtgestein – sehr ähnlich ist (z.B. ANDRA 2005). Bezüglich der technischen Barrieren für das HAA-Lager aber auch bezüglich der Erfahrungen mit Kristallin als Wirtgestein sind die Erfahrungen in Schweden und Finnland, die in der Realisierung schon weit fortgeschritten sind, sehr relevant (z.B. SKB 2006, 2007, Posiva 2006a-b). Schliesslich werden auch die breiten Erfahrungen aus dem Untertagbau genutzt.

### 3.1.2 Lagerkonzepte: Die verschiedenen Aspekte

Das Lagerkonzept wird definiert durch das gewählte Sicherheitskonzept und die daraus resultierenden Anforderungen an die Geologie und an die Auslegung des Lagers, die für den Bau, den Betrieb und den Verschluss benötigte Technologie sowie die für die Überwachung und allfällige Rückholung getroffenen Massnahmen. Diese werden nachfolgend kurz beschrieben und Hinweise auf den erforderlichen Handlungsspielraum für eine optimierte zukünftige Lagergestaltung gegeben.

**Sicherheitskonzept:** Die weltweiten Erfahrungen zeigen, dass es für die Ausgestaltung des Sicherheitskonzepts der geologischen Tiefenlager verschiedene Möglichkeiten gibt, die zu verschiedenen Auslegungen der Lager (insbesondere Auslegung der technischen Barrieren unter Berücksichtigung der geologischen Randbedingungen) führen, die alle eine genügende Sicherheit gewährleisten. Die Unterschiede sind zumindest teilweise auf die verschiedenartigen geologischen Randbedingungen zurückzuführen. In der Schweiz wird ein Sicherheitskonzept verfolgt, bei welchem die Geologie neben der Gewährleistung der langfristigen Stabilität auch einen erheblichen Beitrag zur Barrierenwirkung (Radionuklid-Rückhaltung) erbringen soll. Im Standortwahlverfahren gemäss Sachplan geologische Tiefenlager wird eine sicherheitsorientierte Bewertung der Standorte verfolgt, welche auch die Berücksichtigung der in der Schweiz vorhandenen Diversität in der Geologie zulässt.

**Lagerauslegung:** Es bestehen Konzepte für verschiedene Alternativen der Auslegung der technischen Barrieren und für die grundsätzliche Anordnung der Lagerkammern. Mit fortschreitender Konkretisierung der Projekte (insbesondere nach der Standortwahl) muss die Auslegung verfeinert und an die lokalen Bedingungen angepasst und die Eignung der verschiedenen Alternativen geprüft werden. Die abschliessende Auslegung der Lager (detaillierte Anordnung der untertägigen Lagerkammern, detaillierte Ausgestaltung der technischen Barrieren) ist auf die detaillierten Befunde der untertägigen Standortuntersuchungen abzustimmen. Dabei sind auch die in Zukunft anfallenden Resultate aus dem Forschungs- und Entwicklungs-Programm (vgl. Kap. 5.6) 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:** Es sind Konzepte zur Technologie für den Bau, den Betrieb und den Verschluss der geologischen Tiefenlager vorhanden (Infrastruktur und Technologie zur Handhabung der Abfälle und zum Einbau der technischen Barrieren sowie für den Verschluss der Anlage), welche auf der heute vorhandenen Technik aufbauen. Auf dem Gebiet der Technik allgemein (Robotik, Steuerungen, etc.) werden bis Baubeginn noch erhebliche Entwicklungen stattfinden, welche in die definitive Auslegung der Lagertechnologie einfließen sollen. Endlager-spezifische Entwicklungsprogramme laufen, an welchen die Nagra beteiligt ist (z.B. EU-Projekt ESDRED). Weiter sind die in ausländischen Programmen anfallenden Erfahrungen zu berücksichtigen. Deshalb ist auch für die definitive Auslegung der 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 die Rückholbarkeit integraler Bestandteil der geologischen Tiefenlager. Für die Überwachung und Rückholung bestehen Konzepte, die periodisch an die neuesten Erkenntnisse angepasst werden. Bezüglich Überwachung kann vor allem auf die Resultate und Erfahrungen in entsprechenden Felslabor-Experimenten zurückgegriffen werden, wo sicherheitsbezogene Phänomene In-situ beobachtet werden. Im Rahmen der Felslaborprogramme wird auch viel Erfahrung mit der Auswertung und Interpretation der Beobachtungen, aber auch operationell mit Sensoren (inkl. Energieversorgung, Datenübertragung, Datenmanagement) gesammelt. Wie genau das Überwachungsprogramm ausgestaltet werden soll, hängt neben dem technischen Fortschritt mit operationellen Aspekten vor allem von der Beurteilung ab, welches die relevanten zu beobachtenden Phänomene darstellen. Die diesbezüglich definitive Festlegung erfolgt erst nach Abschluss der untertägigen Standorterkundungen und bei Vorliegen der Resultate aus den In-situ-Felslabors.

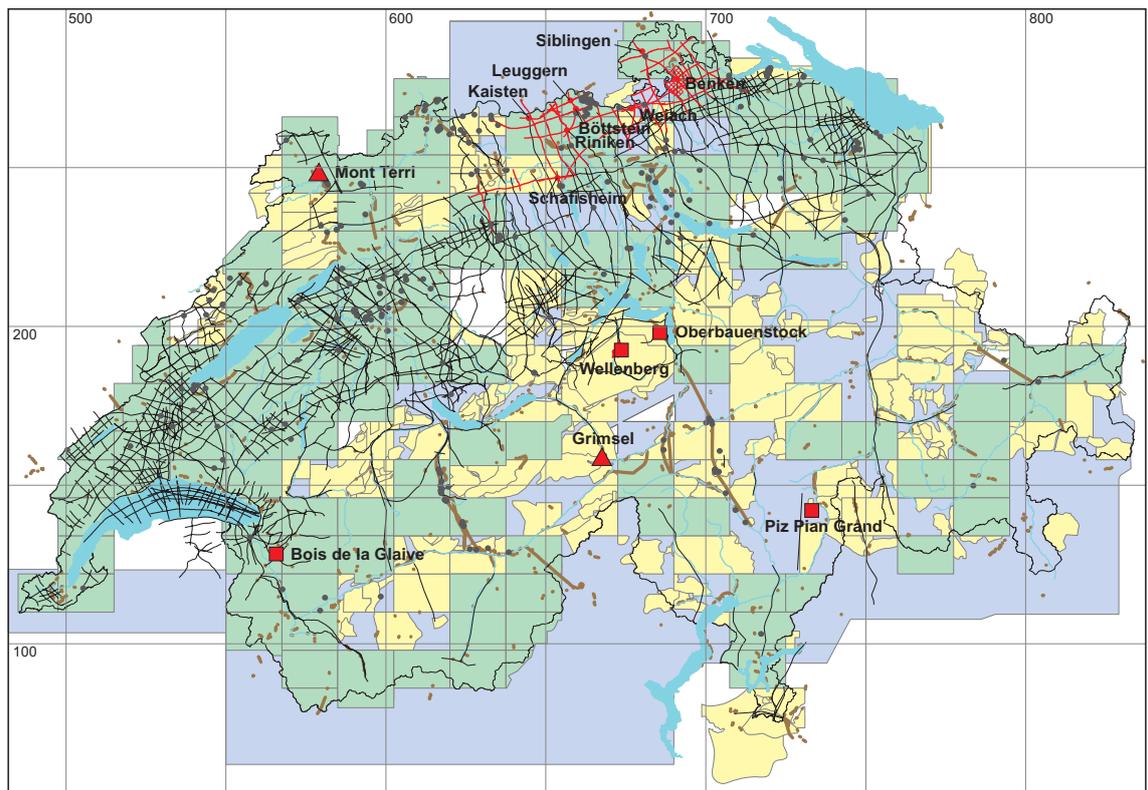
Zur Rückholung wurden Konzepte auf der Grundlage bestehender Technik entwickelt. Auch hier wird bis zum nuklearen Baugesuch noch eine erhebliche Entwicklung der Technik (z.B. im Untertagbau) erwartet, und auch in den ausländischen Programmen wird Erfahrung anfallen. Der Fortschritt soll bei der definitiven Auslegung für das nukleare Baugesuch genutzt werden.

### 3.1.3 Geologie

In der Schweiz aber auch im Ausland wurden breite Kenntnisse erarbeitet bezüglich endlagerrelevanter Aspekte der Geologie (vgl. z.B. Nagra 1983, 1985c-d, 1988, 1994a, 1998, GNW 1994, Nagra 2002b, 2002c, Untersuchungsprogramme in den Felslabors Grimsel (z.B. Vomvoris 2007) und Mont Terri (z.B. Bossart & Thury 2008) und z.B. SKB 2000). Die Kenntnisse sind vorhanden, um die Anforderungen an die Geologie in Abhängigkeit vom zugeteilten Abfallinventar und dem gewählten Sicherheitskonzept festzulegen. Für die Erarbeitung von Vorschlägen von geologischen Standortgebieten für die Etappe 1 gemäss SGT (Vororientierung) wurden die Anforderungen an die Geologie systematisch abgeleitet (Nagra 2008d). Dazu konnte auch auf Erfahrungen von früheren Arbeiten zurückgegriffen werden: Für das HAA-Lager wurden Anforderungen an die Geologie im Zusammenhang mit der Synthese Kristallin-I formuliert (vgl. Kapitel 7.4 in Nagra 1994c), und für das SMA-Lager wurden für das Projekt Wellenberg sogenannte Ausschlusskriterien abgeleitet (vgl. HSK 2000). Im Zusammenhang mit der Evaluation der Standortmöglichkeiten für ein HAA-Lager wurden 2005 im sogenannten Optionenbericht (Nagra 2005) Anforderungen an die Geologie für die Evaluation definiert.

Die in der Schweiz vorhandenen Kenntnisse zur Geologie sind breit und genügen, um mit dem Standortwahlverfahren zu beginnen und geologische Standortgebiete für die weiteren Arbeiten festzulegen. Die Kenntnisse resultieren aus der allgemeinen geologischen Forschung, der Kohlenwasserstoff-Exploration, aus Tunnelbauten und den seit etwa 30 Jahren durchgeführten fokussierten Untersuchungen der Nagra (vgl. Fig. 3-1).

Die Geologie der Schweiz ist sehr vielfältig und bietet grundsätzlich verschiedene Möglichkeiten für die geologische Tiefenlagerung, die sich jedoch teilweise in ihren sicherheitsbezogenen Merkmalen deutlich unterscheiden. Für die Lagerung der HAA wurden die Möglichkeiten 2005 im HAA-Optionenbericht (Nagra 2005) dargestellt; zu inhaltlich ähnlichen Aussagen kommen auch die für die erste Etappe des SGT (Vororientierung) erarbeiteten Vorschläge für geologische Standortgebiete (Nagra 2008b).

**Felslabors**

- ▲ Felslabor Grimsel und Mont Terri

**Untersuchte SMA-Standorte**

- nach NTB 93-02

**Tiefbohrungen (>300 m)**

- Tiefbohrungen der Nagra
- Tiefbohrungen Dritter

**Seismische Daten**

- Seismische Linien der Nagra
- Seismische Linien Dritter
- 3D Seismik OPA97, Nagra

**Tunnelstrecken**

- nach Swisstopo (Vektor 200), ergänzt

**Geologische Karten****Geologischer Atlas 1:25'000**

- erstellt
- Originalkarten (Archiv Landesgeologie)

**weitere Karten**

- Geologische Spezialkarten
- nur geologische Übersichtskarten (1:200'000 und 1:500'000)

Fig. 3-1: Informationsquellen geologischer Daten in der Schweiz.

Für SMA sind wegen der gegenüber HAA reduzierten Anforderungen an die Geologie die Standortmöglichkeiten breiter, und insbesondere steht auch der Alpenraum grundsätzlich zur Verfügung. Aufgrund der Fortschritte in der Technik (Förderung schwerer Lasten über Schacht oder Zugangstunnel) sind heute auch Lagerkammern unter der Talsohle möglich<sup>21</sup>. Dies ergibt gegenüber den Standortevaluationen in den frühen 80er Jahren (vgl. Nagra 1981, 1983) deutlich erweiterte Möglichkeiten; neu kann auch das Mittelland in Betracht gezogen werden, vergleiche dazu die für die Etappe 1 SGT (Vororientierung) gemachten Vorschläge zu Standortgebieten für ein SMA-Lager (Nagra 2008b).

Weiter zeigen die durchgeführten Abklärungen, dass sich gewisse geologische Standortgebiete sowohl für HAA als auch für SMA eignen können. Für diese Standortgebiete wird auch die Option 'Kombilager' offen gehalten, wo im selben geologischen Standortgebiet beide Lager erstellt würden (vgl. Nagra 2008b).

<sup>21</sup> Wegen der schweren Lasten (Stilllegungsabfälle) wurde zu Beginn der 80er Jahre für die Förderung der schweren Lasten nur ein horizontaler Zugang zu den Lagerkammern in Betracht gezogen, sodass für das SMA-Lager mit den damals geplanten sehr schweren Behältern mit Stilllegungsabfällen nur Standorte mit entsprechender Topographie (Hügel, Berge) berücksichtigt wurden (vgl. Nagra 1988, Kapitel 2.3.2).

Im weiteren Verfahren (SGT) soll der Handlungsspielraum, der sich durch die verschiedenen Standortmöglichkeiten ergibt, möglichst gut genutzt werden mit Priorität bei Sicherheit und Robustheit, aber unter Berücksichtigung raumplanerischer und sozioökonomischer Aspekte. Weiter ist bei der Wahl der Standorte auch auf die Erweiterungsfähigkeit der Lagerkapazität zur Berücksichtigung zusätzlicher Abfälle zu achten.

#### **3.1.4 Sicherheit**

Das Verständnis zu den standortunabhängigen sicherheitsbezogenen Phänomenen (Transportmechanismen, geochemische Immobilisierungs- und Retardationsmechanismen in den geologischen und technischen Barrieren, Langzeitentwicklung der Barrieren, etc.) baut auf umfangreichen Resultaten aus einer langjährigen Forschung auf, die teilweise im Rahmen der internationalen Zusammenarbeit erarbeitet wurden, und deren Verfeinerung weiterhin von der guten internationalen Vernetzung profitiert. Neben den standortunabhängigen Forschungsarbeiten werden auch umfangreiche standortspezifische Untersuchungen durchgeführt. In der Schweiz bilden die langjährigen Forschungsprogramme am PSI und an den Hochschulen (ETHZ, EPFL) und Universitäten (Bern) sowie den Forschungsprogrammen in den Felslabors Mont Terri und Grimsel wichtige Beiträge, die auch auf internationaler Ebene anerkannt sind (vgl. NEA 2004, S. 15). Weiter wurden in der Schweiz auch bei der Entwicklung der Methodik der Sicherheitsanalysen wichtige Beiträge geliefert (vgl. NEA 2004, S. 39-53). Die Methodik wurde periodisch angewandt für die verschiedenen projekt-spezifischen Sicherheitsberichte, die jeweils auch durch die Behörden beurteilt wurden (vgl. diverse HSK-Gutachten, HSK 1986, HSK 1996, HSK 2004, HSK 2005b). Wie z.B. die Gutachten und Stellungnahmen zum Entsorgungsnachweis zeigen, wurde bei den Sicherheitsanalysen ein guter Stand erreicht (NEA 2004, HSK 2005b, KSA 2005). In Zukunft werden die Untersuchungen zur Vertiefung des Verständnisses und – sobald eine Standorteinengung stattgefunden hat – zur Berücksichtigung standort-spezifischer Gegebenheiten weitergeführt. Die Sicherheit wird auch in Zukunft für die verschiedenen behördlichen Verfahren jeweils neu beurteilt. Um die resultierenden Erkenntnisse aus den Sicherheitsanalysen bei der Auslegung der Anlagen und bei der Ausgestaltung des zukünftigen Forschungs- und Entwicklungs-Programms berücksichtigen zu können, ist der erforderliche Handlungsspielraum aufrecht zu erhalten.

Die Bewertung der Sicherheit ist bei den nuklearen Bewilligungen auch für die Betriebsphase durchzuführen. Auch deren Resultate werden bei der Anlagenprojektierung berücksichtigt. Bezüglich Betriebssicherheit besteht eine sehr breite Kenntnis- und Erfahrungsbasis aus Kernanlagen, und deshalb kann auf eine etablierte Methodik gemäss vorhandenem Stand der Technik abgestützt werden.

#### **3.1.5 Raumnutzung und Umweltverträglichkeit**

Der nutzbare Raum in der Schweiz ist stark begrenzt. Die Koordination der Raumnutzung ist deshalb eine Daueraufgabe. Mit dem Raumplanungsgesetz bzw. den Sachplanverfahren stehen für diese Aufgabe etablierte Verfahren zur Verfügung. Für die Planung der raumwirksamen Aspekte der geologischen Tiefenlager sind die notwendigen Unterlagen (Konzepte und Sachpläne des Bundes, kantonale Richtpläne, Nutzungspläne, etc.) vorhanden.

Die räumliche Wirksamkeit des geologischen Tiefenlagers ist in den verschiedenen Phasen (Exploration, Bau, Betrieb, Verschluss, Nachverschluss) unterschiedlich. Die Projektunterlagen sind vorhanden, um die Raumwirkung aufzuzeigen und ihre Relevanz grundsätzlich abzuschätzen. Diese Unterlagen (insbesondere bzgl. vorhandenen raumwirksamen Elementen) werden laufend nachgeführt und vertieft, um im Standortwahlverfahren die Raumwirkung

stufengerecht unter Berücksichtigung des Inputs der verschiedenen Interessensgruppen immer detaillierter beurteilen zu können und so zu optimierten Lagerprojekten zu kommen. Die Koordination und Abstimmung der Raumnutzung durch ein geologisches Tiefenlager mit der Nutzung für andere Zwecke ist im SGT geregelt, vgl. BFE 2008.

Die räumliche Dimension der Oberflächenanlagen eines geologischen Tiefenlagers ist verglichen mit grossen Industrieanlagen beschränkt (vgl. Fig. 3-6, 3-7 und 3-12), und es gibt deshalb in den verschiedenen Planungssperimetern (vgl. BFE 2008, S. 23) voraussichtlich verschiedene Alternativen bei der räumlichen Gestaltung der Oberflächeninfrastruktur (Gebäudeform) sowie der Anordnung der Oberflächeninfrastruktur. Auch bei der Verkehrserschliessung (mit oder ohne direkten Schienenanschluss, allfällige Umladestation) gibt es verschiedene Möglichkeiten. In den gewählten Standortgebieten werden in Etappe 2 des SGT die vorhandenen Alternativen zur Anordnung und räumlichen Gestaltung der Oberflächeninfrastruktur unter Beizug der betroffenen Region evaluiert.

Neben der Koordination der Raumnutzung wird auch die Umweltverträglichkeit geprüft, und das Projekt ist diesbezüglich so zu gestalten, dass Umweltkonflikte so weit wie möglich vermieden werden. Die vorhandenen Projektunterlagen erlauben es, die Auswirkungen grundsätzlich zu beurteilen. Auch hier gilt es, die umweltrelevanten Grundlagen laufend nachzuführen, um ausgewogene Lagerprojekte ausarbeiten zu können.

## **3.2 Auslegungskonzept des HAA-Lagers**

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

Das Auslegungskonzept für das Lager für BE/HAA/LMA (kurz: HAA-Lager, vgl. Fig. 3-2 und 3-3a, b und c) berücksichtigt die gesetzlichen und behördlichen Vorgaben (vgl. Tab. A.1-1). Nachfolgend wird das Anlagenkonzept, wie es heute geplant ist, kurz charakterisiert:

- Das für BE/HAA und LMA gewählte Auslegungskonzept mit gestaffelten passiven Sicherheitsbarrieren (Multibarrierenkonzept, bestehend aus Abfallmatrix, Endlagerbehälter, Verfüllung/Versiegelung und geologische Barrieren) ist in Fig. 3-3a, b, c dargestellt und beschrieben.
- Das Lager umfasst ein Hauptlager, ein Pilotlager und Testbereiche und basiert auf dem Konzept des kontrollierten geologischen Langzeitlagers gemäss EKRA (EKRA 2000), wie es auch in KEG 2003 und KEV 2004 eingeflossen ist.
  - Im Hauptlager BE/HAA (Stollen) und LMA (Tunnels) werden die Abfälle eingelagert. Dabei ist darauf zu achten, dass die eingelagerten BE-/HAA-Endlagerbehälter einen oberen Wert der Wärmeleistung nicht übersteigen, damit die Barrierenwirkung der Bentonit-Verfüllung erhalten bleibt. Beim LMA-Lager werden die Abfälle gemäss heutiger Planung entsprechend ihrer chemischen Eigenschaften in zwei Gruppen eingeteilt und in separate Tunnels eingelagert (vgl. Nagra 2002c).
  - Das Pilotlager dient zur Überwachung des Verhaltens des Barrierensystems anhand einer kleinen repräsentativen Abfallmenge. Eine mögliche Ausgestaltung ist in Nagra 2002a illustriert. Das Pilotlager für BE/HAA entspricht in seiner Auslegung dem Hauptlager BE/HAA. Bei den LMA erfolgt die Überwachung an einem Tunnel des Hauptlagers; dies, weil die Menge an LMA gemäss heutiger Planung zu klein ist für ein separates Pilotlager.

- Die Testbereiche werden in einem Felslabor zusammengefasst, in welchem die Untersuchungen im Hinblick auf den Bau und Betrieb des Lagers durchgeführt werden. Neben dem Felslabor sind auch verschiedene Testnischen vorgesehen. Ein Teil der Versuche wird auch während des Betriebs und in der nachfolgenden Beobachtungsphase weiter geführt.
- Die untertägigen Lagerbereiche werden durch einen Zugangstunnel und/oder Schächte erschlossen. Die Empfangsanlage muss nicht direkt über bzw. nicht in unmittelbarer Nähe des untertägigen Lagers angeordnet werden. Die Erschliessung der Lagerebene über einen Zugangstunnel erlaubt eine gewisse Entkoppelung des untertägigen Lagerbereichs vom Standort der Empfangsanlage an der Oberfläche.
- Die untertägigen Anlagenteile im Wirtgestein werden in ihrer Ausdehnung und Anzahl auf das notwendige Minimum beschränkt, um die laterale Ausdehnung des Wirtgesteins möglichst gut zu nutzen.
- Die Rückholbarkeit ohne grossen Aufwand bis zum vollständigen Verschluss des Lagers wird durch folgende Merkmale gewährleistet:
  - Die Auslegung der Sicherheitsbarrieren (Verwendung massiver Endlagerbehälter, Verfüllung der Lagerstollen mit Bentonit) ermöglicht eine einfache Rückholung der BE und HAA. Wie diese Rückholung erfolgen kann, ist in Nagra 2002a illustriert.
  - Die LMA werden in geeignete und einfach handhabbare Endlagerbehälter (Grosscontainer) verpackt, die dann in die Lagertunnels eingelagert werden. Zur Verfüllung der Hohlräume wird ein spezieller Zementmörtel verwendet, der einfach entfernt werden kann. Eine Möglichkeit zur Ausgestaltung der Rückholung von Endlagerbehältern aus einer Lagerkammer ist konzeptionell in Nagra 1998 dargestellt.
- Der Verschluss des Lagers erfolgt mit verschiedenen Versiegelungsbauwerken (vgl. Nagra 2002a). Er erfolgt stufenweise in mehreren Etappen; zuerst die einzelnen Lagerkammern, dann die Zugänge zu den Hauptlagern und nach Abschluss der Beobachtungsphase auch die Zugänge zum Pilotlager, zu den noch verwendeten Testbereichen sowie zu allen weiteren noch offenen Untertagebauwerken.
- Das zum Auslegungskonzept gehörige Betriebskonzept hat gemäss heutiger Planung folgende Merkmale:
  - Die Verpackung der angelieferten Abfallgebinde in Endlagerbehälter erfolgt in der BE/HAA-Verpackungsanlage. Zur Einhaltung der vorgegebenen Wärmeleistung der BE-/HAA-Endlagerbehälter ist für eine geeignete Zuteilung der angelieferten BE/HAA auf die Endlagerbehälter zu sorgen. Dies wird durch eine entsprechende Auslegung der BE-/HAA-Verpackungsanlage und die Verwendung einer geeigneten Verpackungsstrategie sichergestellt. Die Verpackung der LMA erfolgt in einer separaten Anlage.
  - Innerhalb der erschlossenen Lagerfelder erfolgt der Bau der jeweils benötigten BE-/HAA-Lagerstollen parallel zum Einlagerungsbetrieb. Dies bedingt eine entsprechende Auslegung des Lagers, damit die im Bau befindlichen Anlagenteile von den Anlagen teilen in Betrieb getrennt sind.
  - Der Lagerstollen im Bereich eines eingelagerten BE-/HAA-Endlagerbehälters wird jeweils sofort verfüllt (Bentonit), bevor der nächste Behälter eingelagert wird. Die vollständig gefüllten BE-/HAA-Lagerstollen und LMA-Lagertunnels werden jeweils verschlossen.

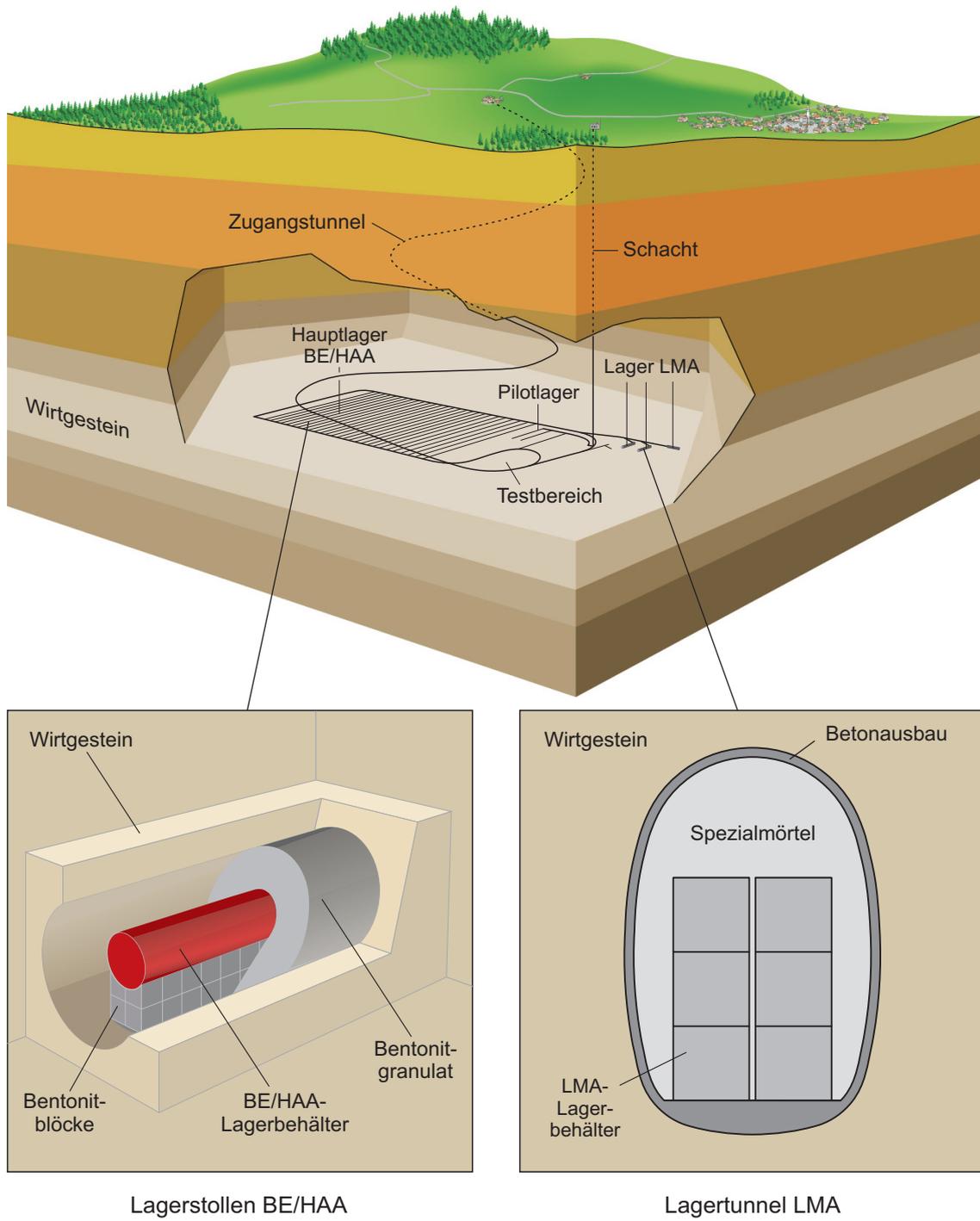


Fig. 3-2: Konzeptionelle Darstellung des HAA-Lagers für abgebrannte Brennelemente (BE), verglaste hochaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (HAA) und langlebige mittelaktive Abfälle (LMA).

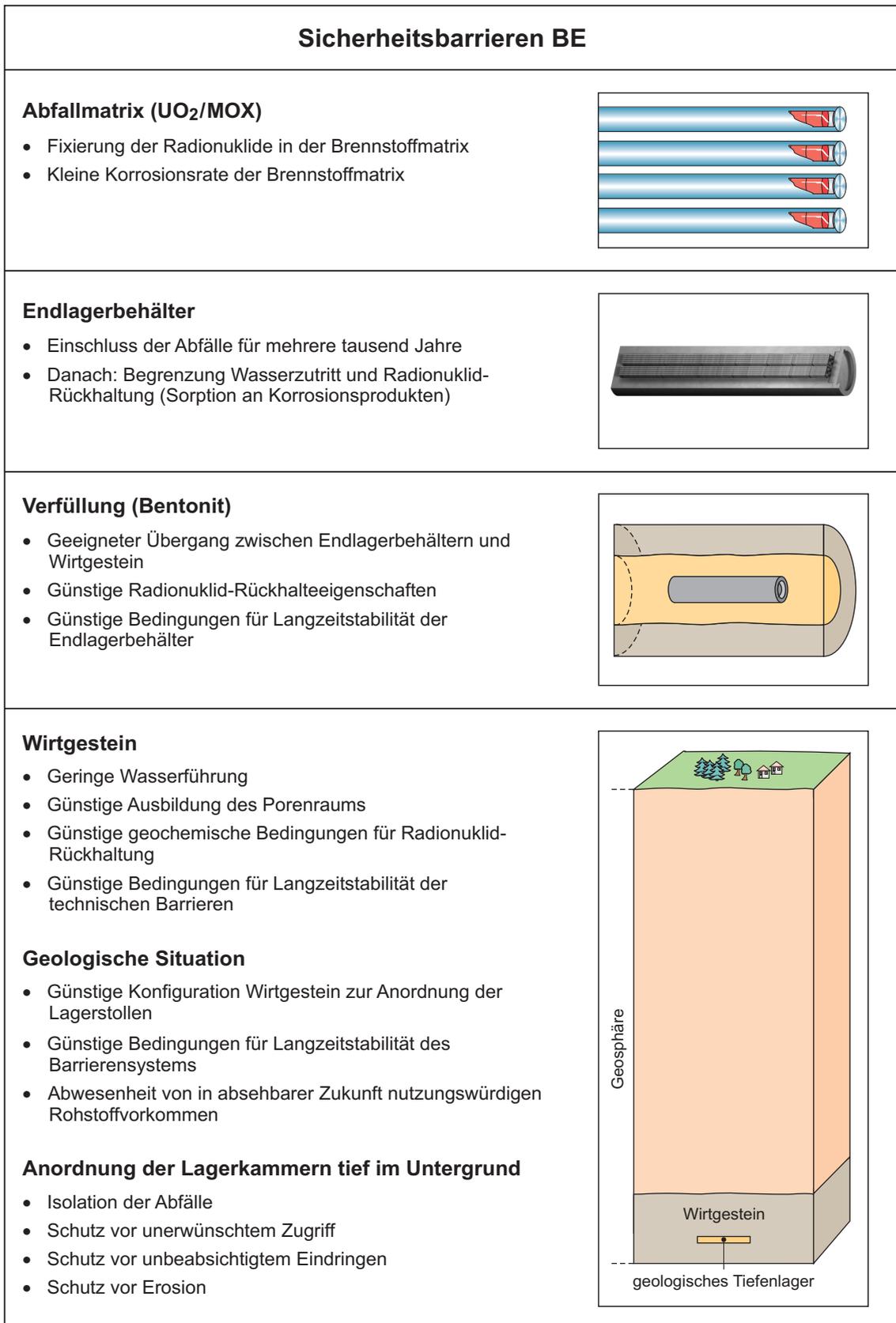


Fig. 3-3a: Auslegungskonzept für das HAA-Lager mit gestaffelten passiven Sicherheitsbarrieren für die abgebrannten Brennelemente (BE).

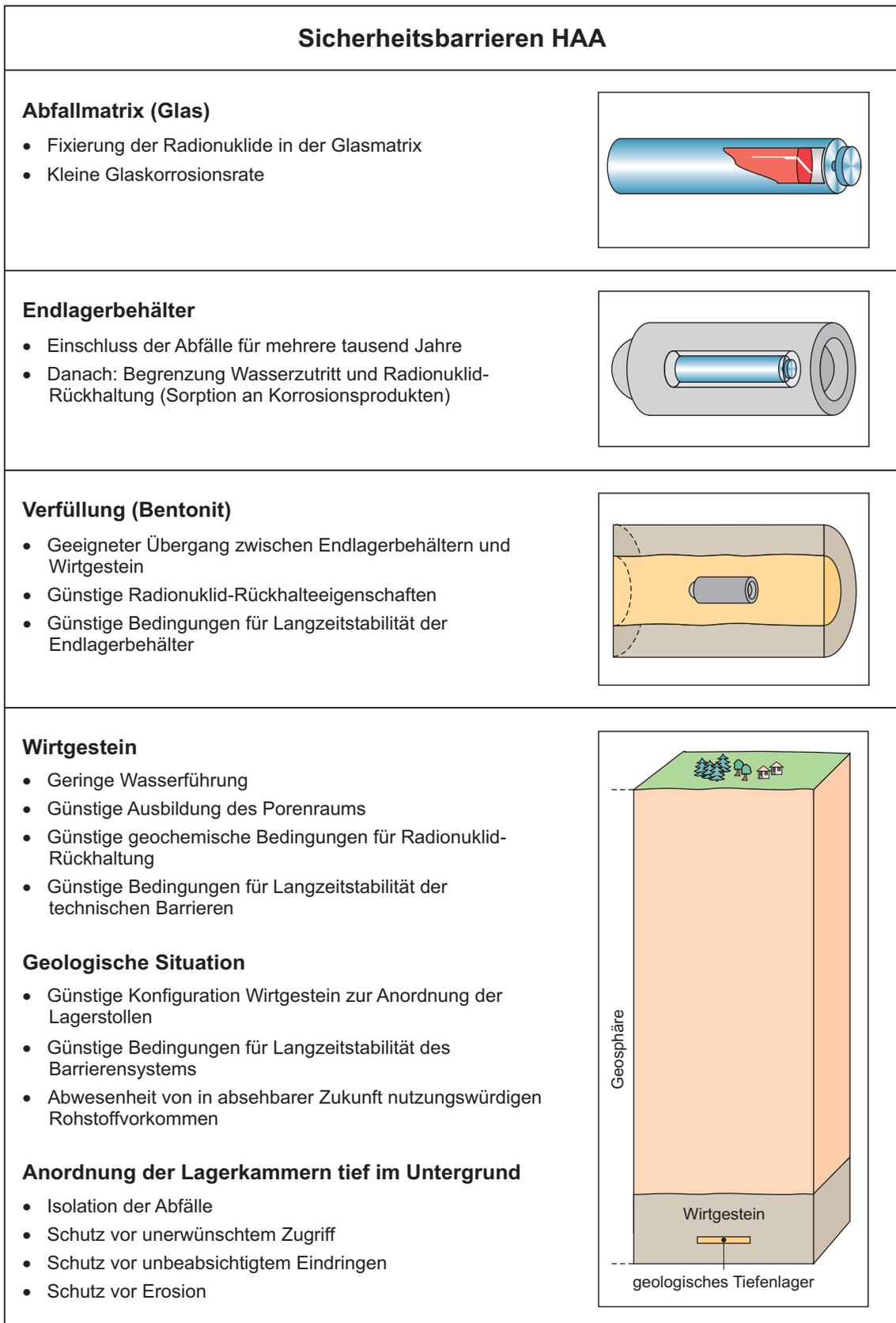


Fig. 3-3b: Auslegungskonzept für das HAA-Lager mit gestaffelten passiven Sicherheitsbarrieren für die verglasten hochaktiven Abfälle (HAA).

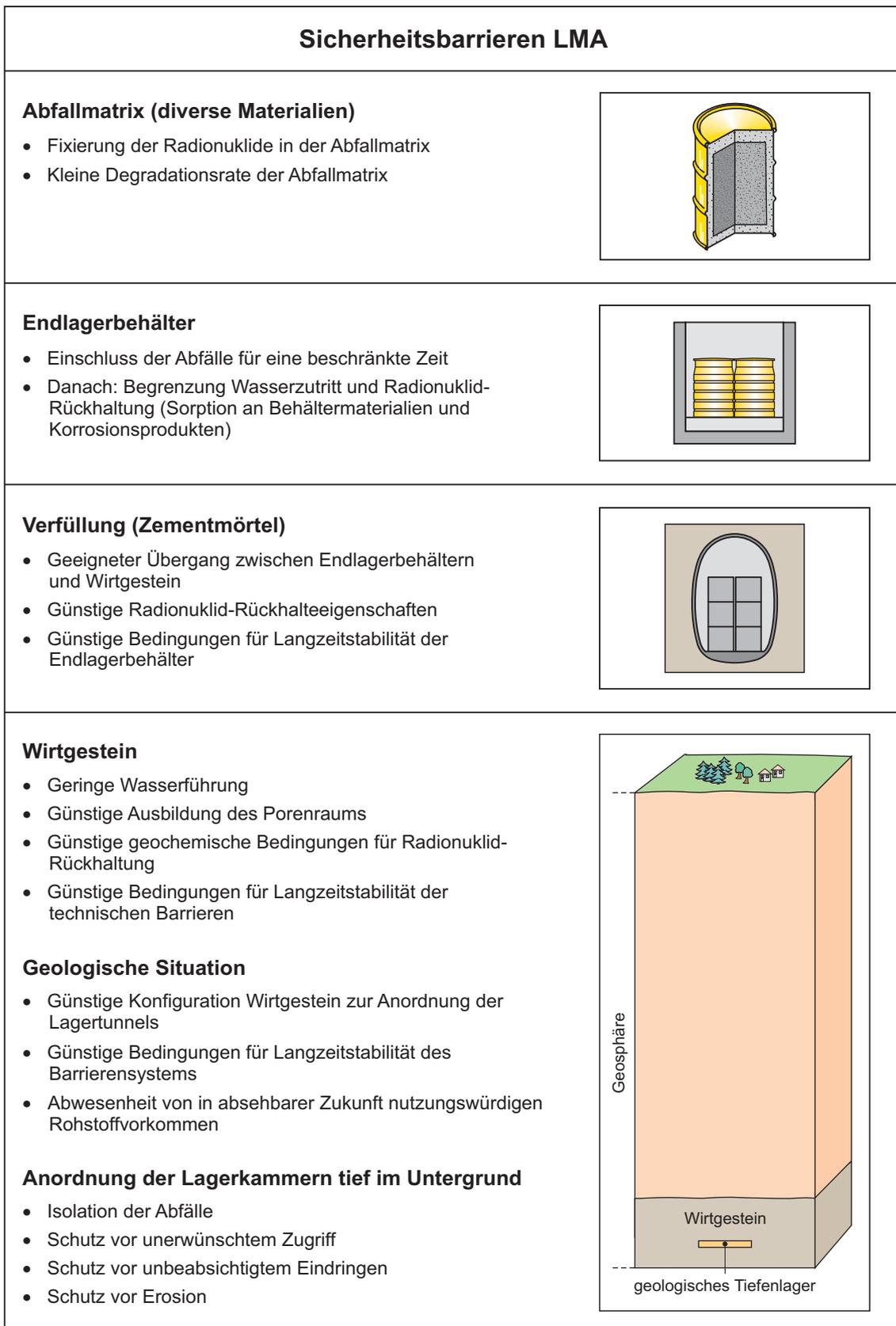


Fig. 3-3c: Auslegungskonzept für das HAA-Lager mit gestaffelten passiven Sicherheitsbarrieren für die langlebigen mittelaktiven Abfälle (LMA).

### 3.2.2 Möglichkeiten zur Auslegung des HAA-Lagers

Eine Möglichkeit, wie die in Kap. 3.2.1 diskutierten konzeptuellen Vorgaben und Annahmen umgesetzt werden können, zeigt das im Rahmen des Entsorgungsnachweises BE/HAA/LMA ausgearbeitete Projekt (Nagra 2002a), welches unter Berücksichtigung der Empfehlungen der Behörden in gewissen Teilen modifiziert wurde (Anpassung Standort Schacht bezüglich Linienführung Zugangstunnel, Querschnitte ausgewählter Tunnels). Das resultierende Projekt dient hier der Illustration; es wird im Laufe der weiteren Projektarbeiten verfeinert und neuen Erkenntnissen und später insbesondere den standortspezifischen Gegebenheiten angepasst. Der Grundriss der untertägigen Anlagen sowie modellhafte Stollen- und Tunnelquerschnitte sind in Fig. 3-4 dargestellt. Der Zugang zu den untertägigen Lagerstollen und -tunnels erfolgt über Zugangstunnel und Schacht. Um den Handlungsspielraum zur Optimierung zu erhalten, werden für gewisse Elemente verschiedene Alternativen offen gelassen, insbesondere:

- die Behälter für BE und HAA, wo neben dem Stahlbehälter auch alternative Behältermaterialien (z.B. Behälter mit Kupfermantel, vgl. Johnson & King 2003) betrachtet werden;
- der Bentonit als Verfüllmaterial, wo neben reinem Bentonit auch Bentonit-Zuschlagstoff-Mischungen oder andere Ton-Materialien betrachtet werden, und wo das im Entsorgungsnachweis vorgeschlagene Granulat durch Bentonitblöcke ersetzt werden könnte;
- die felsmechanische Sicherung der Lagerstollen für BE und HAA, wo im Projekt für den Entsorgungsnachweis keine Aussenschale notwendig war. Dies müsste aber in Zukunft je nach Standort in Betracht gezogen werden;
- die Ausgestaltung der Verschlussbauwerke der LMA-Lagertunnels derart, dass das im Lager durch Korrosion bzw. Degradation gebildete Gas bei Erreichen eines definierten Druckes entlang der Verschlussbauwerke in darüber liegende Gesteinsschichten abgeleitet werden kann (Verwendung eines dazu spezifisch ausgelegten Versiegelungsmaterials) anstelle der vollständigen Ableitung des gebildeten Gases über das Wirtgestein. Dieses Gas enthält nur kleinste Mengen an Radioaktivität;
- Auslegungsvarianten der untertägigen Erschliessung (Verwendung von Zugangstunnels und/oder Schächten, Länge der Zugangstunnel(s), parallele Zugangstunnels, Lage von Zugangstunnels und Schächten, Trassierung von Bau- und Betriebstunnel, Umfahrung der Lagerzone, etc.);
- der Transport der Endlagerbehälter, der auf pneubetriebenen Fahrzeugen anstatt schienengebunden erfolgt.

Das Lager ist so konzipiert, dass eine Erweiterung der Lagerkapazität möglich ist. In Fig. 3-5 wird modellhaft aufgezeigt, wie weitere Lagerfelder zur Aufnahme zusätzlicher Abfälle angeordnet werden könnten. Die effektive räumliche Anordnung hängt von den standortspezifischen Gegebenheiten ab. Weiter ist das Lager so ausgelegt, dass die Betriebszeiten verlängert werden können. Für gewisse Bauteile und Komponenten sind dazu Revisionen und Ersatz bzw. Erneuerungen vorzusehen, was in den Konzepten eingeplant ist.

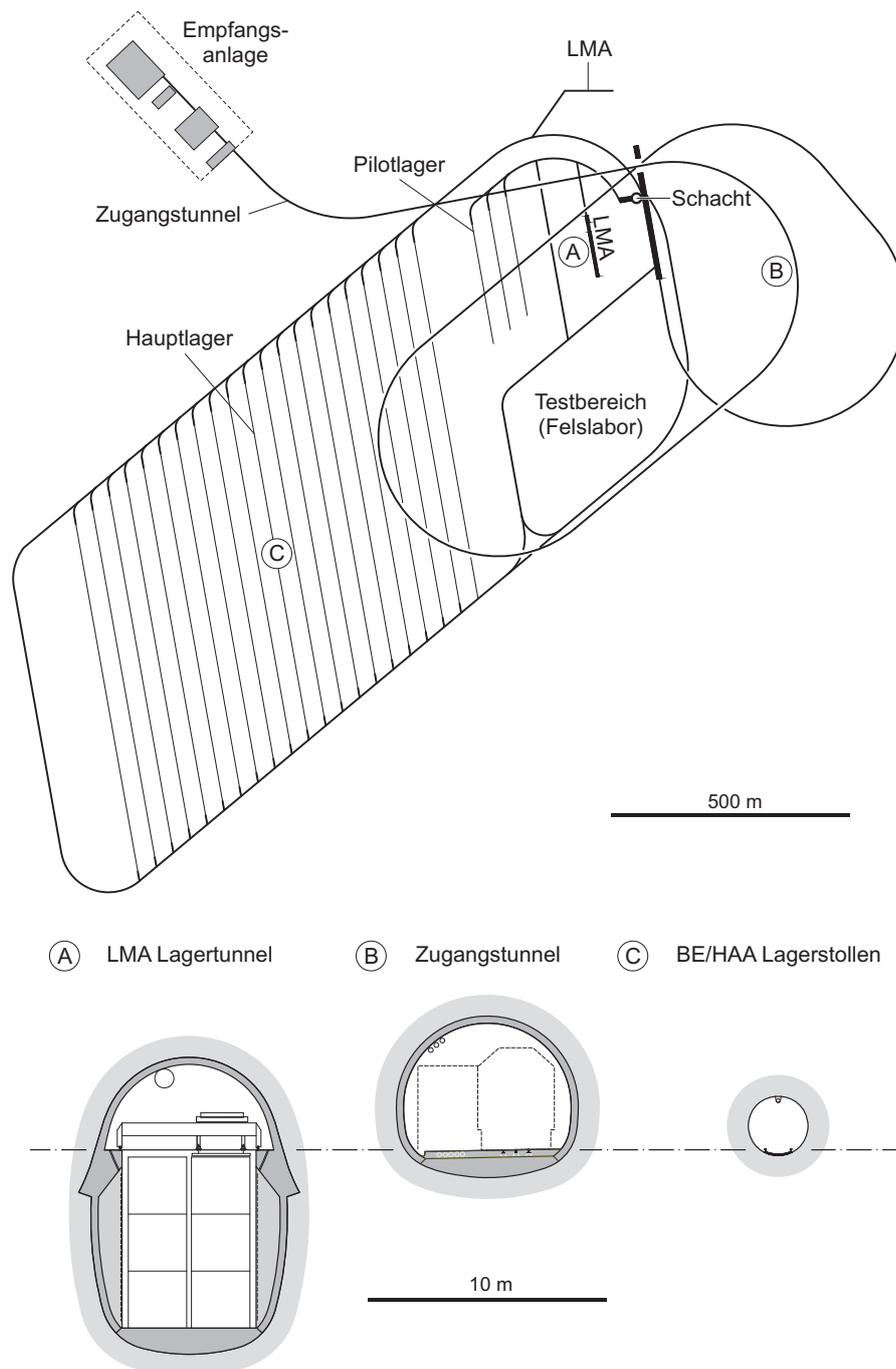


Fig. 3-4: Modellhafte Auslegung des HAA-Lagers für das Referenzszenarium.

Modellhafter Grundriss mit modellhaften Querschnitten; mit Angabe der Bezugskote 'Sohle Fahrbahn' bzw. 'Zugang Lagertunnel' bzw. 'Zugang Lagerstollen'.

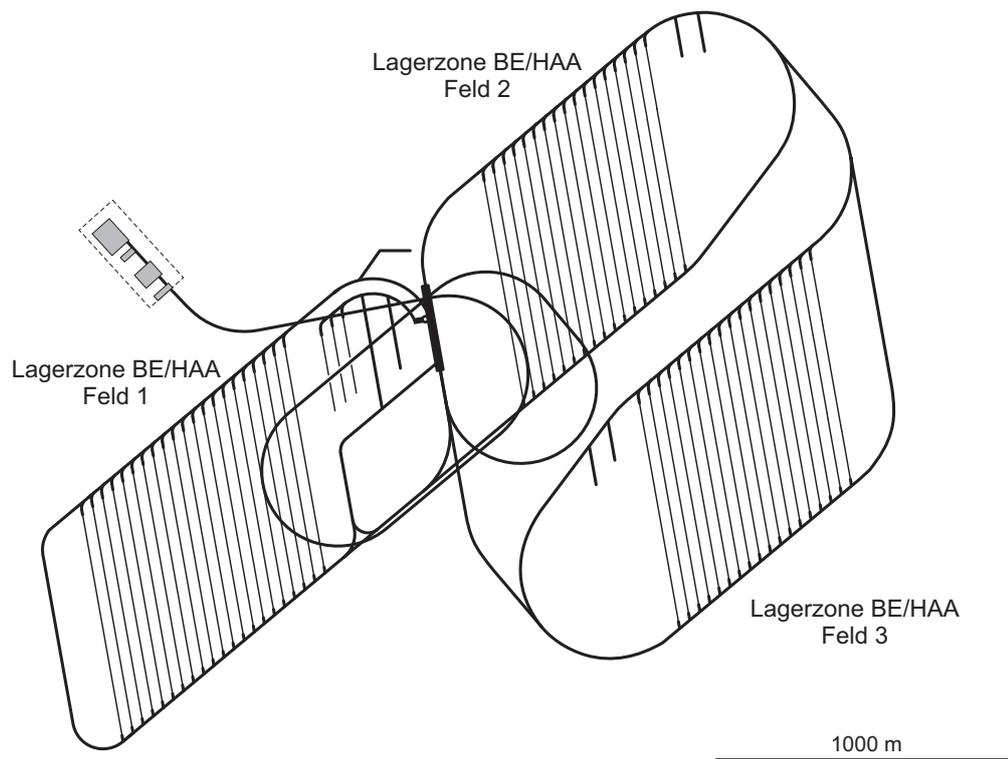


Fig. 3-5: Modellhafter Grundriss zur Darstellung der Erweiterungsfähigkeit der Lagerkapazität des HAA-Lagers (60 Jahre Betrieb der bestehenden KKW und zusätzlich Produktion von 5 GW<sub>e</sub> während 60 Jahren).

Die Oberflächeninfrastruktur eines HAA-Lagers umfasst gemäss heutiger Planung folgende Elemente:

- Die Empfangsanlage mit:
  - Administrationsgebäude mit Eingangskontrolle
  - Betriebsgebäude mit Verpackungsanlage für die LMA, inkl. Pufferlager
  - Verpackungsanlage für BE/HAA, inkl. Pufferlager
  - Nebengebäude mit Einrichtungen zur Ver- und Entsorgung sowie für den Unterhalt der Anlagen (Lüftung, Strom, Wasser, Abwasser, Werkstätten und Garagen, etc.)
  - Geräteschleuse, Personenschleuse
  - Bahn- und Strassenzufahrt oder Strassenzufahrt mit Umladestation bei nahegelegendem Anschlusspunkt an das Bahnnetz, inkl. interne Transportwege/-logistik und allfällige Umladestation
  - Zugangstunnel inkl. Portalkonstruktion, über welchen die untertägigen Anlagen erschlossen werden und der Transport der Endlagergebinde erfolgt
  - Sicherungsanlagen (Sicherungszaun, etc.)
- Der Schachtkopf mit:
  - Förderturm mit Abluftöffnungen und Material- und Personenzugang
  - Lüftungs- und Rettungseinrichtungen

- Baustelleneinrichtungen (Baubüro, Mannschaftsräume, Werkstatt, Trafoanlage, etc.), die für die Bauarbeiten zur Erstellung der BE/HAA-Lagerstollen während des Betriebs notwendig sind
- Zwischendepot für Ausbruchsmaterial, das während der Erstellung der BE/HAA-Lagerstollen während des Einlagerungsbetriebs anfällt und bis zu seinem Weitertransport zwischengelagert wird
- Geräte- und Materialhalle für die Erstellung der BE/HAA-Lagerstollen während des Betriebs
- Sicherungsanlagen (Sicherungszaun, etc.)

Der Antransport der Abfälle erfolgt in speziellen Transportbehältern. Die Verpackung der angelieferten abgebrannten Brennelemente und verglasten HAA in Endlagerbehälter erfolgt in der BE-/HAA-Verpackungsanlage (BEVA) so, dass die Wärmeleistung der Behälter unterhalb einer vorgegebenen Limite liegt. Dazu müssen die Endlagerbehälter mit warmen und kalten Brennelementen beladen werden können. Dies verlangt, dass gleichzeitig der Zugriff auf mehrere Transport- und Lagerbehälter (kurz: TLB) möglich ist. Deshalb sind gemäss heutiger Planung in der BE-/HAA-Verpackungsanlage mehrere Andock-Stationen für die TLB und die Endlagerbehälter vorgesehen.

Fig. 3-6 zeigt eine mögliche funktionale Anordnung der verschiedenen Module der Empfangsanlage. Die Figur zeigt, dass gemäss heutiger Planung von einem Platzbedarf von ca. 200 m × 400 m auszugehen ist (je nach Anordnung der Module, vgl. Fig. 3-7); der Schachtkopf beansprucht eine Fläche von ca. 100 m × 200 m.

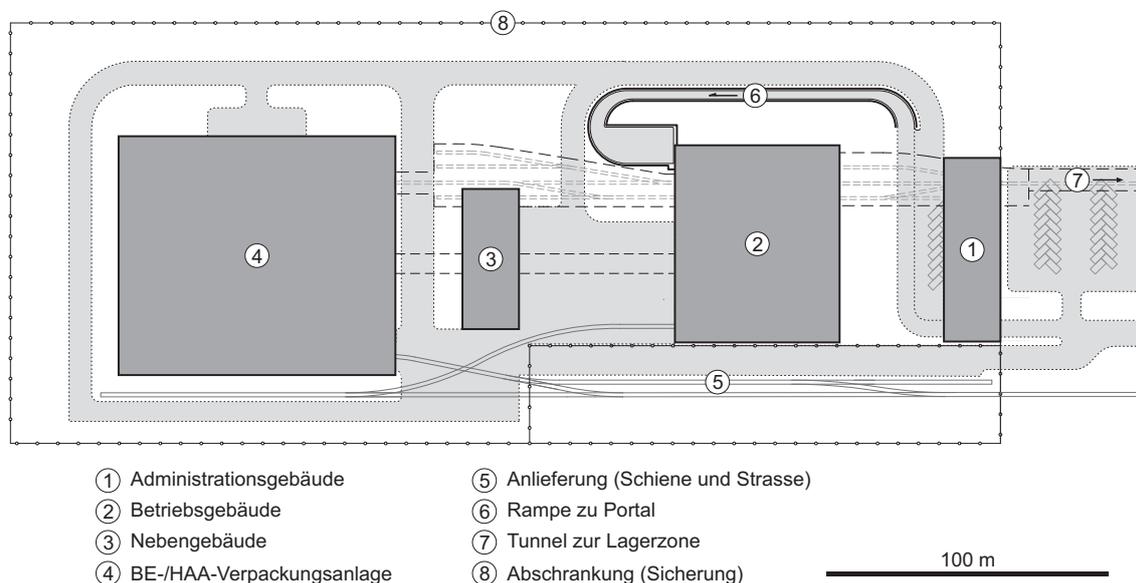


Fig. 3-6: Mögliche funktionale Anordnung der verschiedenen Module der Oberflächenanlage für das HAA-Lager gemäss heutiger Planung.

Die effektive Anordnung und detaillierte Ausgestaltung der einzelnen Module erfolgt unter Berücksichtigung der standort-spezifischen Gegebenheiten, vergleiche dazu die beispielhaften Möglichkeiten in Fig. 3-7. Diese zeigt, dass nicht alle Module zwingend nebeneinander liegen müssen.

Die Herstellung der BE-/HAA-Endlagerbehälter bedingt voraussichtlich eine spezielle Anlage; diese könnte in der Region des Lagers erstellt und evtl. sogar in die Oberflächeninfrastruktur des geologischen Tiefenlagers integriert werden. Neben den BE-/HAA-Endlagerbehältern sind auch vorfabrizierte Fertigbetonelemente (z.B. Endlagerbehälter LMA) sowie Bentonitgranulat und vormontierte Auflager für BE-/HAA-Endlagerbehälter aus kompaktiertem Bentonit durch Dritte herzustellen und anzuliefern. Alternativ können die Anlagen zu deren Herstellung in die Oberflächeninfrastruktur des geologischen Tiefenlagers integriert werden; dies ist jedoch im oben genannten Platzbedarf nicht eingeschlossen.

Fig. 3-7 zeigt beispielhaft, wie die verschiedenen Module der Oberflächenanlage (ohne BE-/HAA-Behälterfabrik und andere Produktionsanlagen) angeordnet bzw. ausgestaltet werden können (Auswahl von Möglichkeiten bzgl. Ausgestaltung der Form der Module und Möglichkeiten ihrer Einordnung in die Landschaft).

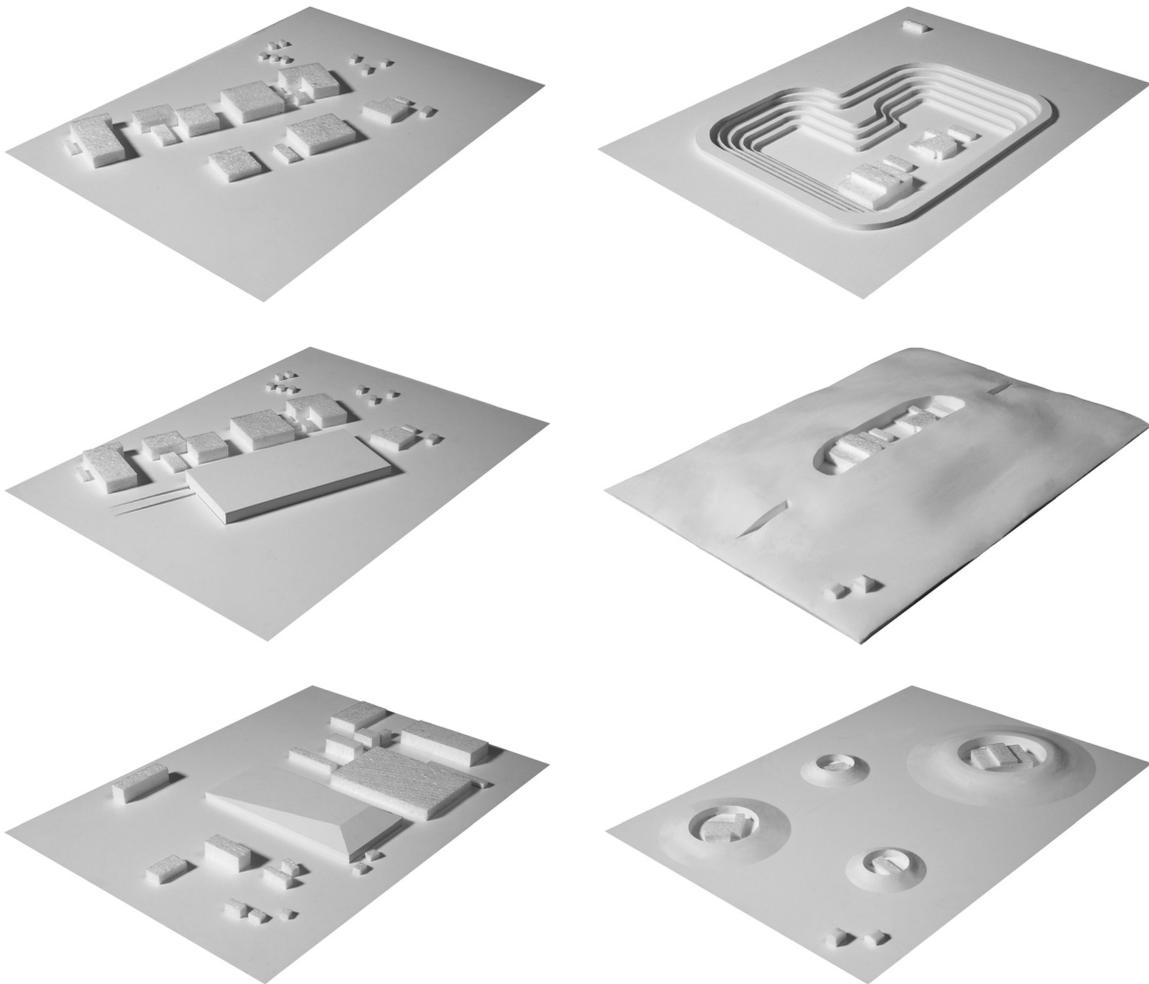


Fig. 3-7: Modellhafte Darstellung (3D-Ansicht) einer Auswahl von Alternativen zur Gestaltung (Bilderreihe links) bzw. der Anordnung (Bilderreihe rechts) der Module der Oberflächenanlage für das HAA-Lager.

Die effektive Gestaltung wird die standortspezifischen Gegebenheiten (urbaner Raum (Industriegebiet), ländlicher Raum (offene Flächen, Wald)) und die Vorstellungen der Region berücksichtigen.

### 3.3 Auslegungskonzept des SMA-Lagers

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

Das Auslegungskonzept für das SMA-Lager (vgl. Fig. 3-8 und 3-9) berücksichtigt die gesetzlichen und behördlichen Vorgaben (vgl. Tab. A.1-1). Das Anlagenkonzept gemäss heutiger Planung ist wie folgt charakterisiert:

- Das für SMA gewählte Auslegungskonzept mit gestaffelten passiven Sicherheitsbarrieren (Multibarrierenkonzept, bestehend aus Abfallmatrix, Endlagerbehälter, Verfüllung/Versiegelung und geologische Barrieren) ist in Fig. 3-9 dargestellt und beschrieben.
- Das Lager umfasst ein Hauptlager, ein Pilotlager und Testbereiche und basiert auf dem Konzept des kontrollierten geologischen Langzeitlagers gemäss EKRA (EKRA 2000), wie es auch in KEG 2003 und KEV 2004 eingeflossen ist:
  - Im Hauptlager SMA (Kavernen) werden die Abfälle eingelagert. Die Abfälle werden gemäss heutiger Planung entsprechend ihrer chemischen Eigenschaften in zwei Gruppen eingeteilt und in separate Kavernen eingelagert.
  - Das Pilotlager dient zur Überwachung des Verhaltens des Barrierensystems. Das Pilotlager entspricht in seiner Auslegung dem Hauptlager.
  - Die Testbereiche werden in einem Felslabor zusammengefasst, in welchem die im Hinblick auf den Bau und Betrieb notwendigen Untersuchungen durchgeführt werden. Neben dem Felslabor sind auch verschiedene Testnischen vorgesehen. Ein Teil der Versuche wird auch während des Betriebs und in der nachfolgenden Beobachtungsphase weiter geführt.
  - Die untertägigen Lagerbereiche werden durch einen Zugangstunnel und/oder Schächte erschlossen. Die Empfangsanlage muss sich nicht direkt über bzw. in unmittelbarer Nähe des untertägigen Lagers befinden; die Erschliessung der Lagerebene über einen Zugangstunnel erlaubt eine gewisse Entkoppelung des untertägigen Lagerbereichs vom Standort der Empfangsanlage an der Oberfläche.
- Alle Abfälle werden in Endlagerbehälter eingelagert; d.h. entweder werden die konditionierten Abfälle vor ihrer Einlagerung in Endlagerbehälter verpackt (z.B. Betriebs- und Reaktorabfälle) oder schon bei der Konditionierung werden Endlagerbehälter verwendet (gewisse Stilllegungsabfälle).
- Die Rückholbarkeit ohne grossen Aufwand bis zum Verschluss des Lagers wird durch folgende Merkmale gewährleistet:
  - Die SMA werden in geeignete Endlagerbehälter (Grosscontainer) verpackt, die dann in die Lagerkavernen eingelagert werden.
  - Zur Verfüllung der Hohlräume wird ein spezieller Mörtel verwendet, welcher einfach entfernt werden kann. Eine Möglichkeit zur Ausgestaltung der Rückholung ist in Nagra 1998 dargestellt.
- Der Verschluss des Lagers erfolgt mit verschiedenen Versiegelungsbauwerken. Er erfolgt stufenweise; zuerst das Hauptlager und nach Abschluss der Beobachtungsphase auch die Zugänge zum Pilotlager und den noch verwendeten Testbereichen sowie die weiteren noch offenen Untertagebauwerke.
- Das zum Auslegungskonzept gehörige Betriebskonzept hat gemäss heutiger Planung folgende Merkmale:

- Die Verpackung der konditionierten Abfallgebilde in Endlagerbehälter erfolgt am Standort des geologischen Tiefenlagers oder es werden schon in Endlagerbehälter verpackte Abfälle angeliefert.
- Die Einlagerung beginnt erst, wenn die Lagerkavernen fertig gebaut sind. Durch diese zeitliche Staffelung werden Bau- und Betriebsaktivitäten klar getrennt.
- Sobald eine Lagerkaverne vollständig mit Endlagerbehältern gefüllt ist, wird sie verfüllt und verschlossen.
- Die Endlagerbehälter sind in Bezug auf Oberflächendosisleistung (Abschirmung) so ausgelegt, dass im Falle einer Betriebsstörung eine Intervention ohne grosse Zusatzmassnahmen möglich ist.
- Das Lager wird so ausgelegt, dass der schienengebundene Transport möglichst durchgehend realisiert werden kann.

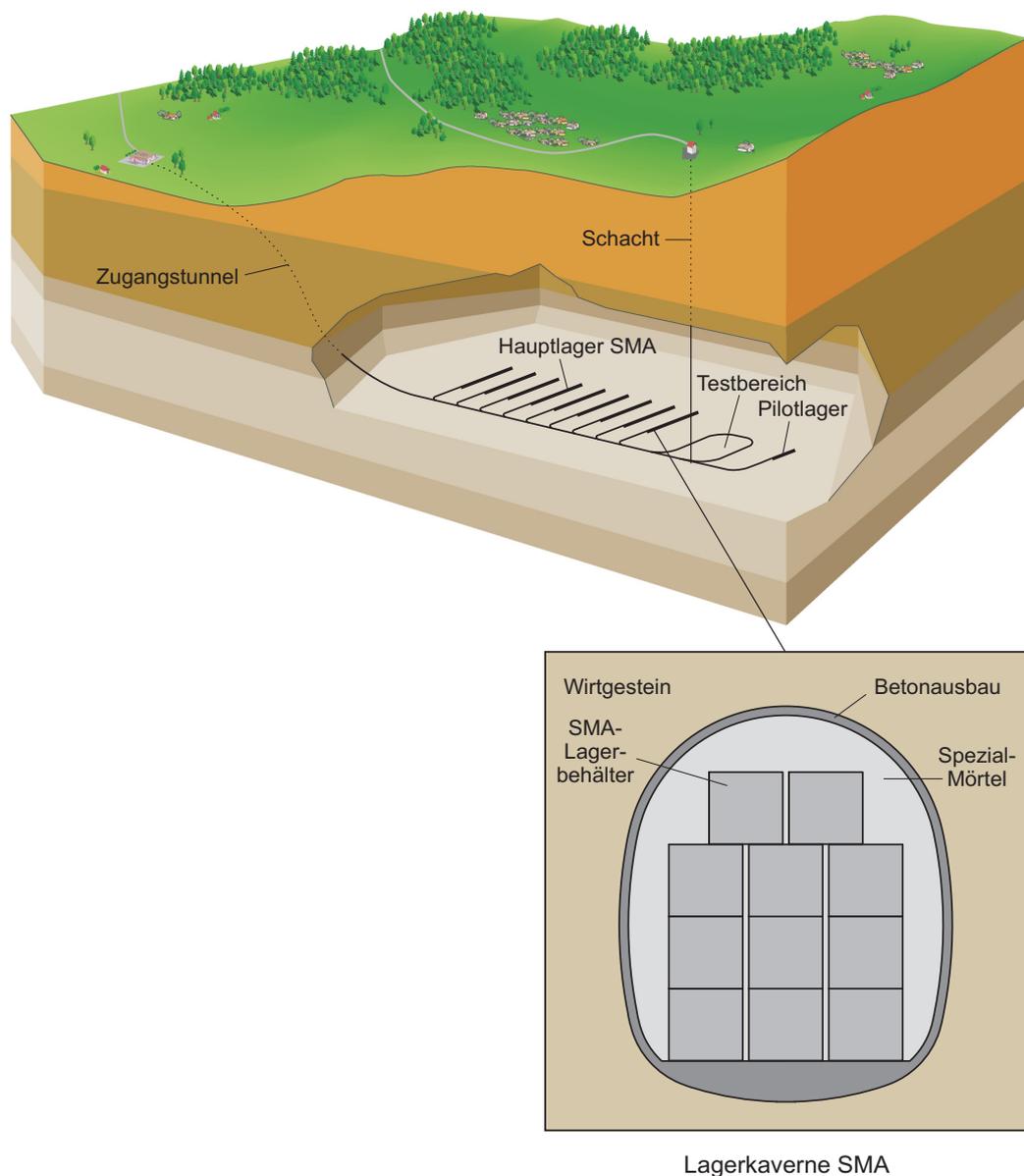


Fig. 3-8: Konzeptionelle Darstellung des SMA-Lagers.

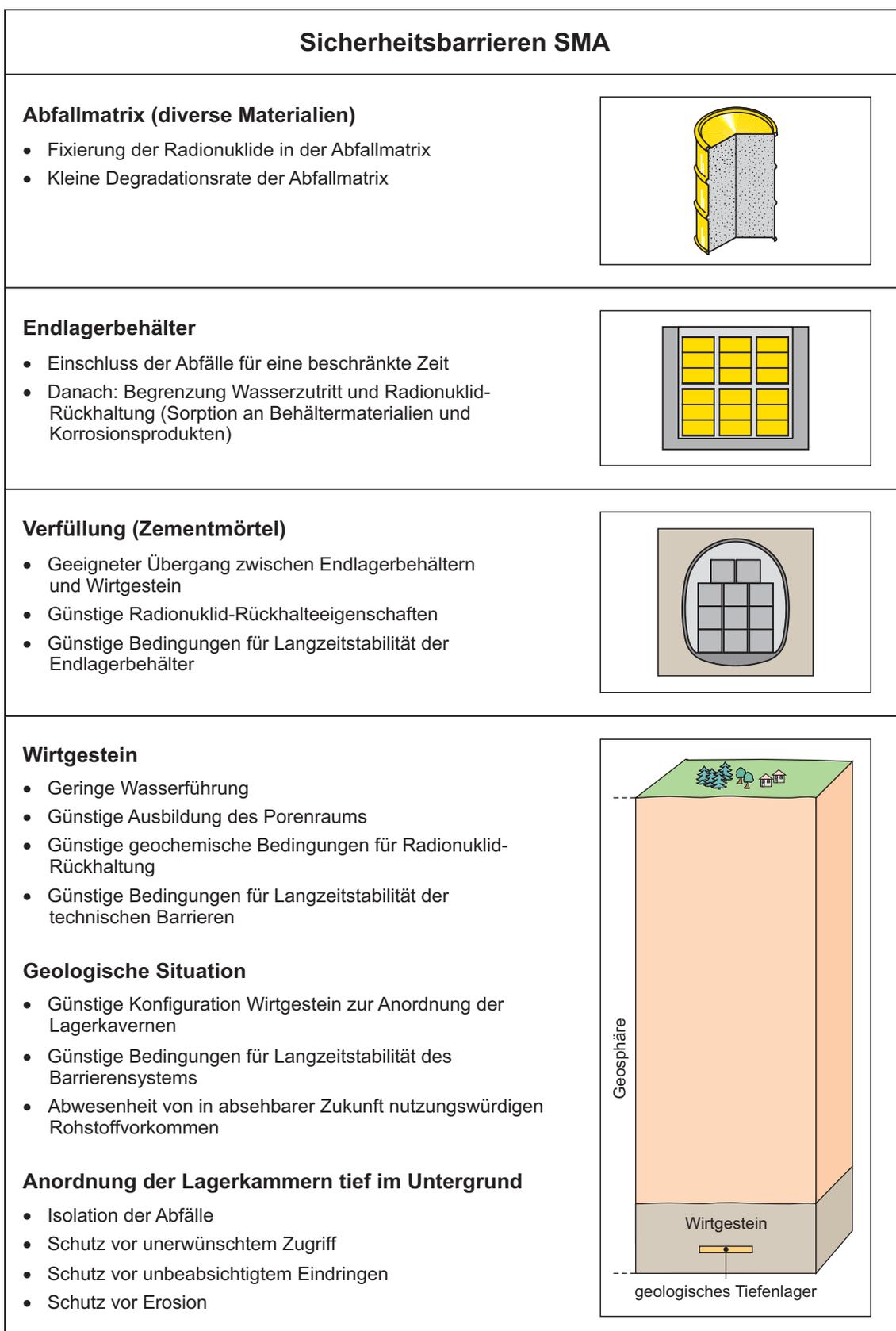


Fig. 3-9: Auslegungskonzept für das SMA-Lager mit gestaffelten passiven Sicherheitsbarrieren.

### 3.3.2 Möglichkeiten zur Auslegung des SMA-Lagers

Ausgehend vom Projekt Wellenberg wurde im Rahmen der Planung eine standortunabhängige modellhafte Auslegung des Lagers erarbeitet, welches die im Kap. 3.3.1 diskutierten Vorgaben und Annahmen berücksichtigt. Dieses Projekt dient der Illustration und wird im Laufe der weiteren Projektarbeiten verfeinert und neuen Erkenntnissen und später insbesondere den standortspezifischen Gegebenheiten angepasst. Der modellhafte Grundriss sowie modellhafte Stollen-/Kavernenquerschnitte sind in Fig. 3-10 dargestellt. Der Zugang zu den untertägigen Lagerkavernen erfolgt über Zugangstunnel und Schacht.

Zum Erhalt des Handlungsspielraums zur Optimierung des SMA-Lagers werden folgende Alternativen bezüglich Auslegung offen gehalten:

- Anpassung der Stollen- und Kavernenquerschnitte sowie der Kavernenlängen an die effektiven Standortbedingungen
- Verwendung verstärkter technischer Barrieren, evtl. teilweise kombiniert mit Silo-artigen Lagerkammern (vgl. dazu die Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle in Finnland (VLJ-Lager in Olkiluoto, Vieno et al. 1998) und Schweden (SFR in Forsmark, SKI 2003))
- Ausgestaltung der Verschlussbauwerke derart, dass das im Lager durch Korrosion bzw. Degradation gebildete Gas bei Übersteigen eines definierten Drucks entlang der Verschlussbauwerke in oberliegende Gesteinsschichten abgeleitet werden kann (Verwendung eines dazu spezifisch ausgelegten Versiegelungsmaterials) anstelle der vollständigen Ableitung des gebildeten Gases über das Wirtgestein; dieses Gas enthält nur kleinste Mengen an Radioaktivität
- Auslegungsvarianten der untertägigen Erschliessung (Verwendung von Zugangstunnels und/oder Schächten, Länge der Zugangstunnel(s), parallele Zugangstunnels, Lage von Zugangstunnels und Schächten, Anpassung Trassierungselemente, Umfahrung der Lagerzone, etc.)
- der Transport der Endlagerbehälter, der auf pneubetriebenen Fahrzeugen anstatt schienengebunden erfolgt

Das Lager ist so konzipiert, dass eine Erweiterung der Lagerkapazität möglich ist. In Fig. 3-11 wird modellhaft aufgezeigt, wie weitere Lagerkavernen zur Aufnahme zusätzlicher Abfälle angeordnet werden könnten. Die effektive räumliche Gestaltung hängt von den standortspezifischen Gegebenheiten ab. Weiter ist das Lager so ausgelegt, dass die Betriebszeiten verlängert werden können. Für gewisse Bauteile und Komponenten sind dazu Revisionen und Ersatz bzw. Erneuerungen vorzusehen, was in den Konzepten eingeplant ist.

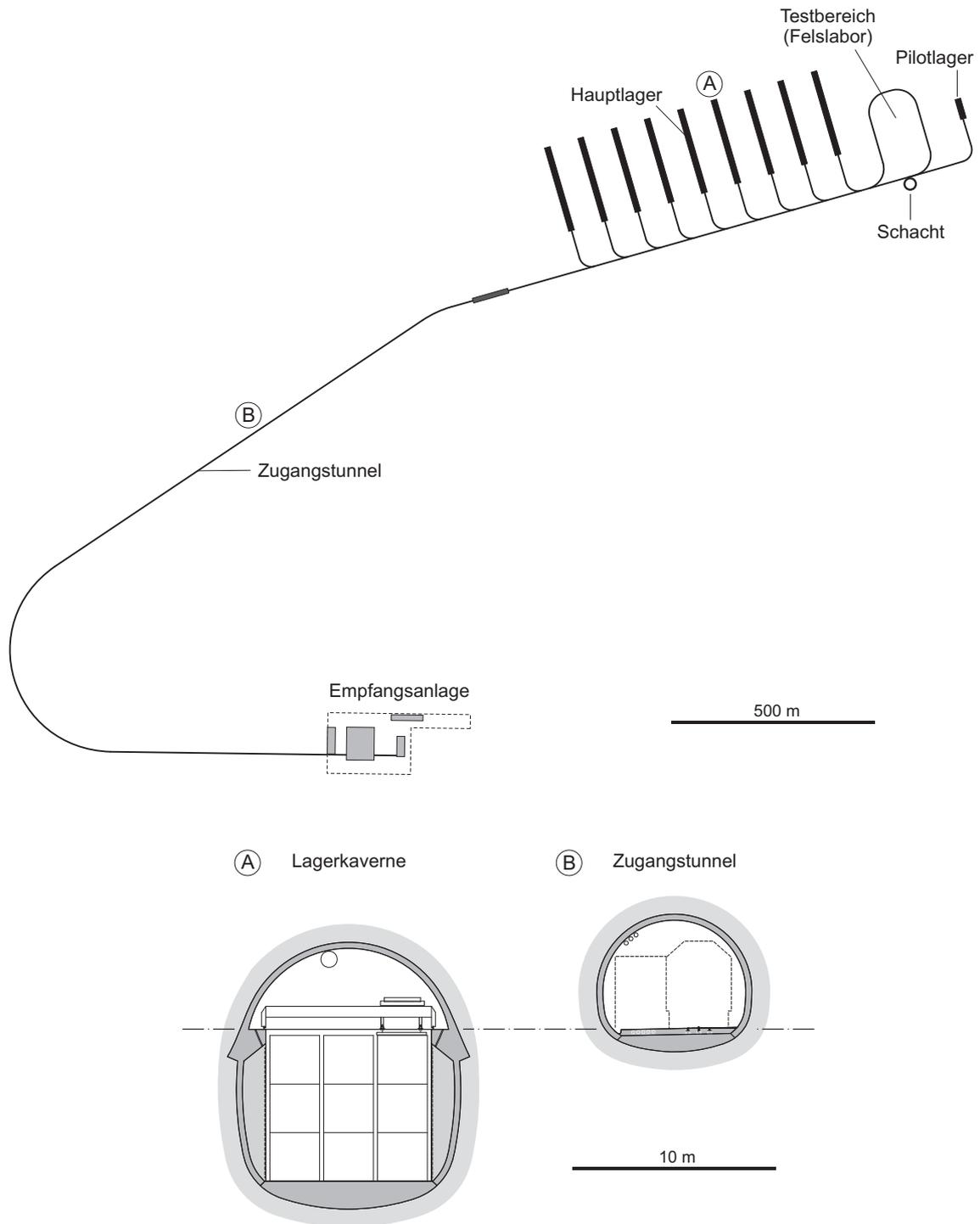


Fig. 3-10: Modellhafte Auslegung des SMA-Lagers für das Referenzszenarium.

Modellhafter Grundriss mit modellhaften Querschnitten; mit Angabe der Bezugskote 'Sohle Fahrbahn' bzw. 'Zugang Lagerkaverne'.

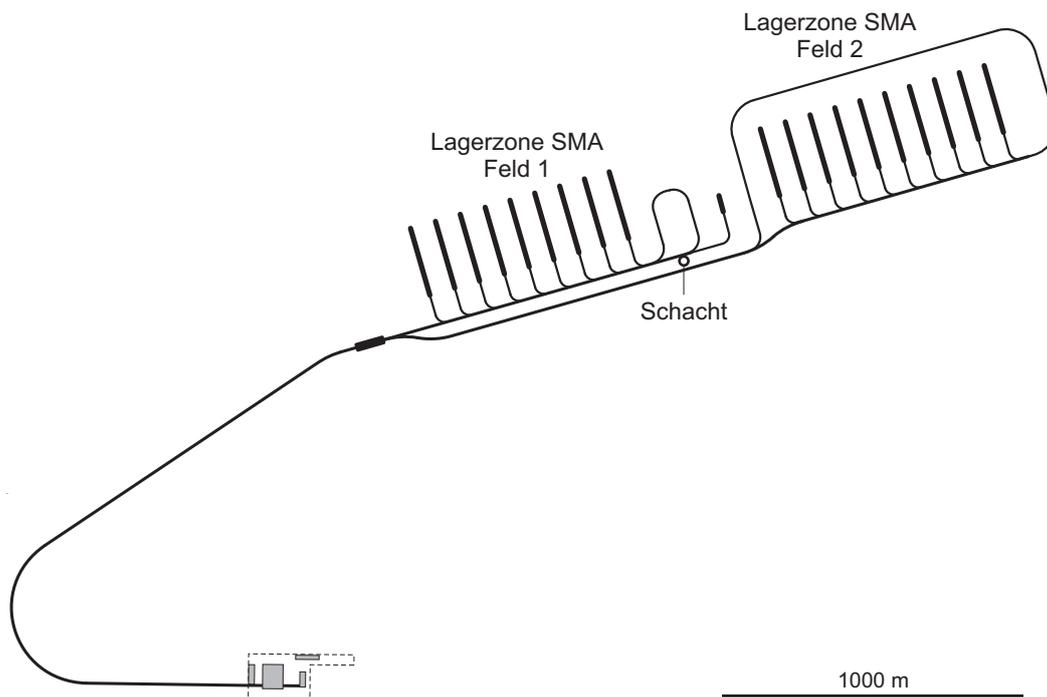


Fig. 3-11: Modellhafter Grundriss zur Darstellung der Erweiterungsfähigkeit des SMA-Lagers (60 Jahre Betrieb der bestehenden KKW und zusätzlich Produktion von 5 GW<sub>e</sub> während 60 Jahren).

Die Oberflächeninfrastruktur eines SMA-Lagers umfasst gemäss heutiger Planung folgende Elemente:

- Die Empfangsanlage mit
  - Administrationsgebäude mit Eingangskontrolle
  - Betriebsgebäude mit Verpackungsanlage für die angelieferten Abfallgebinde, inkl. Pufferlager
  - Nebengebäude mit Einrichtungen zur Ver- und Entsorgung sowie für den Unterhalt der Anlagen (Lüftung, Strom, Wasser, Abwasser, Werkstätten und Garagen, etc.)
  - Geräteschleuse, Personenschleuse
  - Bahn- und Strassenzufahrt oder Strassenzufahrt mit Umladestation bei nahegelegendem Anschlusspunkt an das Bahnnetz, inkl. interne Transportwege/-logistik und allfällige Umladestation
  - Zugangstunnel inkl. Portalkonstruktion, über welchen die untertägigen Anlagen erschlossen werden und der Transport der Endlagerbehälter erfolgt
  - Sicherungsanlagen (z.B. Sicherheitszaun)
- Der Schachtkopf mit
  - Förderturm mit Abluftöffnungen und Personenzugang
  - Lüftungs- und Rettungseinrichtungen
  - Sicherungsanlagen (z.B. Sicherheitszaun)

Bezüglich der Anordnung und räumlichen Gestaltung der Empfangsanlage besteht Flexibilität; gewisse Teile können je nach Standort auch unterirdisch angeordnet werden, sofern die baulichen Randbedingungen (Baugrund, etc.) dies zulassen. Fig. 3-12 zeigt eine mögliche funktionale Anordnung der verschiedenen Module der Empfangsanlage (alle Anlagenteile oberirdisch); die Figur zeigt, dass gemäss heutiger Planung von einem Platzbedarf von ca. 150 m × 350 m auszugehen ist (je nach Anordnung der Module); der Schachtkopf verlangt eine Fläche von ca. 100 m × 100 m.

Der Antransport der konditionierten Abfälle erfolgt in speziellen Transportbehältern. Es besteht aber grundsätzlich auch die Möglichkeit, die Abfälle bei den Absendern mit einer mobilen / temporären Anlage in Endlagerbehälter zu verpacken und diese zum Lager zu transportieren<sup>22</sup> und dort direkt einzulagern.

Vorfabrizierte Fertigbetonelemente (z.B. Endlagerbehälter SMA) sind durch Dritte herzustellen und anzuliefern oder deren Herstellung ist in die Oberflächeninfrastruktur des geologischen Tiefenlagers zu integrieren; dies ist im oben genannten Platzbedarf jedoch nicht eingeschlossen.

Die in Fig. 3-7 für HAA aufgeführte Auswahl von Möglichkeiten für die Ausgestaltung und Anordnung der Module der Oberflächenanlage gelten sinngemäss auch für das SMA-Lager.

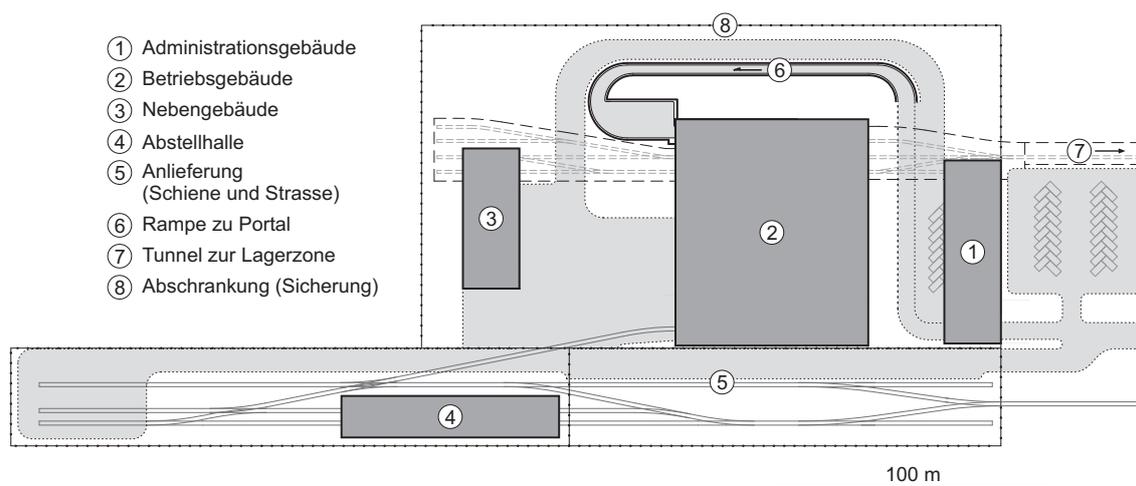


Fig. 3-12: Funktionale Anordnung der verschiedenen Module der Oberflächenanlage für das SMA-Lager gemäss heutiger Planung.

Die effektive Anordnung und detaillierte Ausgestaltung der einzelnen Module erfolgt unter Berücksichtigung der standortspezifischen Gegebenheiten, vergleiche dazu die für das HAA-Lager aufgeführten beispielhaften Möglichkeiten in Fig. 3-7, die sinngemäss auch für das SMA-Lager gelten. Diese zeigt, dass nicht alle Module zwingend nebeneinander liegen müssen.

<sup>22</sup> Dazu sind entweder die Endlagerbehälter für den Transport zu qualifizieren, oder die Endlagerbehälter sind für den Transport in geeignete Transportbehälter zu verpacken.

### 3.4 Auslegungskonzept des Kombilagers

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

Unter dem Begriff 'Kombilager' wird das Konzept beschrieben, wo das HAA- und das SMA-Lager beide am gleichen Standort, die Lagerkammern aber räumlich getrennt angeordnet werden, entweder in der gleichen oder in verschiedenen Gesteinsschichten.

Grundsätzlich gelten für das Kombilager jeweils die gleichen konzeptuellen Vorgaben und Annahmen wie für das HAA- und das SMA-Lager. Zusätzlich ist im Hinblick auf die Langzeitsicherheit aber die mögliche gegenseitige Beeinflussung der zwei Lager zu beachten.

#### 3.4.2 Möglichkeiten zur Auslegung des Kombilagers

Die Auslegung der Lagerbereiche (BE/HAA, LMA, SMA) entspricht grundsätzlich den Angaben in Kap. 3.2 bzw. 3.3, wobei für die räumliche Anordnung speziell auf die mögliche gegenseitige Beeinflussung zu achten ist. Auch die Oberflächenanlagen werden grundsätzlich gleich ausgestaltet, wobei aber für SMA und LMA gewisse Anlagenteile gemeinsam genutzt werden können. Fig. 3-13 zeigt schematisch eine Möglichkeit, wie die verschiedenen untertägigen Anlagenteile angeordnet werden können.

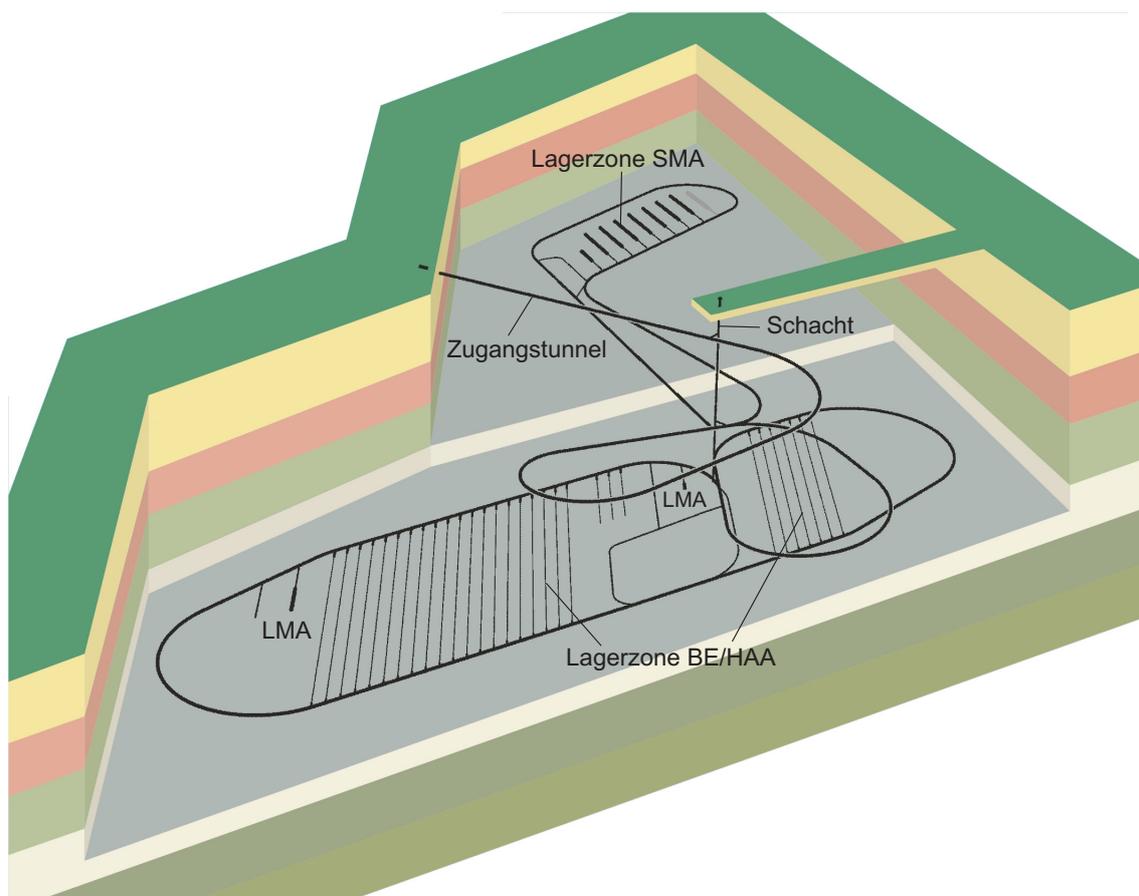


Fig. 3-13: Konzeptionelle Darstellung der untertägigen Lagerbauten für das Kombilager.

### 3.5 Zusammenfassung

Das schweizerische Entsorgungskonzept geht von zwei verschiedenen geologischen Tiefenlagern aus, das SMA-Lager (Lager für die schwach- und mittelaktiven Abfälle) und das HAA-Lager (Lager für die abgebrannten Brennelemente, die verglasten hochaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente und für die langlebigen mittelaktiven Abfälle). Das SMA- und das HAA-Lager können an zwei verschiedenen Standorten, bei einer entsprechenden geologischen Situation aber auch am gleichen Standort (mit den Lagerkammern für beide Lager entweder in der gleichen oder aber in unterschiedlichen geologischen Schichten) erstellt werden, ein sogenanntes 'Kombilager'. Unter Berücksichtigung der gesetzlichen und behördlichen Vorgaben wurden für die verschiedenen Lager die zu berücksichtigenden konzeptuellen Vorgaben und Annahmen definiert, die modellhaft in verschiedenen Projekten umgesetzt wurden. Die vorgeschlagenen 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 Alternativen zur Ausgestaltung, bei welchen die standortspezifischen Gegebenheiten berücksichtigt werden. 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. Bei der Planung sind auch die Abfälle infolge zukünftiger Entwicklungen bezüglich Kernenergie und bezüglich Verwendung radioaktiver Materialien in Medizin, Industrie und Forschung zu berücksichtigen; deshalb ist bei der Planung auf eine Erweiterungsfähigkeit der Lagerkapazität der geologischen Tiefenlager zu achten.



## 4 Zuteilung der Abfälle zu den geologischen Tiefenlagern

### 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. WIPP in den USA), vgl. auch die Übersicht in NEA 2005. Diese Lager unterscheiden sich stark in der Art des zugeteilten Abfallinventars.

Die in der Schweiz verfolgte Abfallzuteilung orientiert sich an den Abfallkategorien gemäss KEV 2004 (KEV Art. 51). Wie im SGT aufgezeigt (BFE 2008), ist aber die Abfallzuteilung nicht fest an diese Kategorien gebunden; es ist durchaus möglich, z.B. die SMA auf das SMA- und das HAA-Lager aufzuteilen. In Übereinstimmung mit früheren Vorschlägen der Entsorgungspflichtigen (Nagra 2001b) ist geplant, einige wenige der SMA dem HAA-Lager zuzuteilen. In Anlehnung an die bisherigen Bezeichnungen werden die dem HAA-Lager zugeteilten SMA und die auch dort zu entsorgenden ATA als langlebige mittelaktive Abfälle (kurz: LMA) bezeichnet. Die für die Erarbeitung von Vorschlägen für geologische Standortgebiete gemachte Zuteilung ist in Tab. 4-1 dokumentiert. Sie basiert auf sicherheitsbezogenen Überlegungen (vgl. Nagra 2008d) unter Berücksichtigung der Vorgaben im SGT-Konzept (BFE 2008). Bei den dem HAA-Lager zugeteilten SMA (gemäss KEV) handelt es sich insbesondere um austauschbare Reaktorkomponenten (stark aktivierte Teile von Steuerstäben und Messlanzen, stark aktivierte Kleinteile) der KKW sowie um gewisse Abfälle aus dem MIF-Bereich (Uran-haltige Forschungsabfälle).

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 2008e.

Die formelle Festlegung der Kategorien des Lagerguts und der maximalen Lagerkapazität für das SMA- bzw. das HAA-Lager erfolgt mit der Rahmenbewilligung. Die detaillierten Bedingungen für die Einlagerung der Abfälle werden erst in der Bau- bzw. Betriebsbewilligung festgelegt, wenn alle dazu notwendigen Informationen (Resultate der detaillierten Standortabklärungen und der detaillierten Auslegung der technischen Barrieren, effektiv vorliegende Abfälle) verfügbar sind; dies kann noch zu kleineren Verschiebungen in der Abfallzuteilung führen.

Tab. 4-1: Abfallzuteilung auf das SMA- und das HAA-Lager (Nagra 2008d).

Abfälle der bestehenden KKW bei 50 Jahren Betrieb und einer Sammelperiode der Abfälle aus dem MIF-Bereich bis 2050 (in Kubikmeter konditionierter und zusätzlich in Endlagerbehältern verpackter Abfälle, Zahlen gerundet). Die Zahlen enthalten für das SMA-Lager Reserven von 12'000 m<sup>3</sup> für Abfälle aus dem MIF-Bereich (vgl. Tab. 2-1a).

		HAA-Lager		SMA-Lager	Total
		in BE/HAA-Stollen	in LMA-Tunnels	in SMA-Kavernen	
Kategorien gemäss KEV	HAA	7'325 <sup>1)</sup>	–	–	7'325
	ATA	–	2'280	–	2'280
	SMA	–	430	88'980	89'410
	Total	7'325 <sup>1)</sup>	2'710	88'980 <sup>2)</sup>	99'015

<sup>1)</sup> Entspricht 1'955 Behältern.

<sup>2)</sup> Da die dem SMA-Lager zugeteilten Abfälle der BE-/HAA-Verpackungsanlage (2'220 m<sup>3</sup>) erst nach Verschluss des SMA-Lagers anfallen, werden diese im Realisierungsplan (Kap. 5) in Abweichung zu den Zahlen in dieser Tabelle im HAA-Lager in den LMA-Tunnels entsorgt; dies ergibt 4'930 m<sup>3</sup> Abfälle, welche im Referenzfall in den LMA-Tunnels entsorgt werden.

## 4.2 Menge der Abfälle und mögliche Entwicklungen

Die schweizerischen Lagerkonzepte berücksichtigen die Abfälle der bestehenden KKW<sup>23</sup> sowie die Abfälle aus dem MIF-Bereich, inkl. Reserven für MIF, vgl. Kap. 2.1. Gemäss SGT sind bei der Standortwahl auch die Abfälle aus allfälligen neuen KKW einzubeziehen. In den Lagerkonzepten und bei der Standortwahl ist deshalb eine genügende Flexibilität beizubehalten für eine mögliche Erweiterung der Lagerkapazität auf Grund zukünftiger Kernkraftwerke und zusätzlicher Abfälle aus dem Bereich Medizin, Industrie und Forschung (vgl. dazu auch die Angaben in Tab. 2-1b und c). Die Erweiterungen sind voraussichtlich auch mit einer Verlängerung der Betriebszeiten des geologischen Tiefenlagers verbunden. Schon in verschiedenen früheren Projekten wurden auch die Abfälle aus möglichen zukünftigen KKW (Kapazität quantifiziert über elektrische Produktion) berücksichtigt (Projekt Gewähr: 240 GW<sub>e</sub> a (Nagra 1985b), Entsorgungsnachweis: 192 GW<sub>e</sub> a<sup>24</sup> bzw. 300 GW<sub>e</sub> a (Nagra 2002c)).

In den bisherigen Konzepten, Projekten und Analysen wurden bezüglich des Brennstoff-Kreislaufs sowohl die aus der Wiederaufarbeitung resultierenden Abfälle wie auch die direkte Endlagerung der abgebrannten BE berücksichtigt (vgl. Nagra 2002a und c); Konzepte für beide Pfade sind vorhanden und sicher machbar. Aus Sicht der geologischen Tiefenlagerung sprechen keine Gründe gegen eine Wiederaufarbeitung weiterer abgebrannter Brennelemente nach Ablauf des Moratoriums gemäss KEG Art. 106 Abs. 4.

Die Konzepte der geologischen Tiefenlager berücksichtigen ein breites Spektrum an Abfällen. Deshalb besteht Flexibilität bezüglich neuer Abfallarten aus dem MIF-Bereich, und auch zur Berücksichtigung allfälliger zukünftiger Anpassungen der Konditionierverfahren ist Handlungsspielraum vorhanden (vgl. Kap. 2.2).

<sup>23</sup> Bei einer Betriebszeit von 50 Jahren ergibt dies eine Stromproduktion von 161 GW<sub>e</sub> a.

<sup>24</sup> Entspricht der Stromproduktion der fünf bestehenden KKW bei 60 Jahren Betrieb.

### **4.3 Zusammenfassung**

Die Standortwahl und die Lagerauslegung haben die Zuteilung der Abfälle auf die verschiedenen Lager zu berücksichtigen. Für die Erarbeitung von Vorschlägen für die geologischen Standortgebiete wurde eine solche Zuteilung vorgenommen, welche die spezifischen Eigenschaften der Abfälle berücksichtigt. Die Abfallzuteilung wurde bei der Ableitung der Anforderungen an die Geologie als Grundlage für die Erarbeitung von Vorschlägen für die geologischen Standortgebiete berücksichtigt. Die Abfallzuteilung wird im Rahmen der verschiedenen nuklearen Bewilligungsverfahren schrittweise verfeinert (vgl. Kap. 5).



## 5 Realisierungsplan für die geologischen Tiefenlager

### 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 / KEV und im Konzept SGT 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 führt *Etappe 1* (Vororientierung) zu geologischen Standortgebieten für das SMA- und das HAA-Lager, welche in Objektblättern festgehalten werden. *Etappe 2* des SGT (Zwischenergebnis) führt zu mindestens je zwei Standorten für das SMA- bzw. das HAA-Lager, wiederum festgehalten in entsprechenden Objektblättern. Anschliessend sind für das SMA- und das HAA-Lager je mindestens zwei Standorte auf einen für den abschliessenden Vergleich genügenden Kenntnisstand zu bringen. Dazu sind bewilligungspflichtige Feldarbeiten durchzuführen. Der Vergleich führt zur Wahl von je einem Standort (bzw. einem Standort für ein 'Kombilager') für die Vorbereitung der Rahmenbewilligungsgesuche und der Festsetzungen gemäss Sachplan für das SMA- und das HAA-Lager (oder das Kombilager). Nach Prüfung der Rahmenbewilligungsgesuche durch die Behörden werden diese durch den Bundesrat erteilt und die Festsetzungen gemäss Sachplan bzw. Raumplanungsgesetz genehmigt und in Objektblättern festgehalten. Die Rahmenbewilligungen sind durch das Parlament zu bestätigen und unterliegen dem fakultativen nationalen Referendum. Die in *Etappe 3* zurückgestellten Standorte für HAA bzw. SMA sind gemäss SGT Reserveoptionen und bleiben bis zur Erteilung der Betriebsbewilligung des entsprechenden Lagers als Zwischenergebnis im Sachplan gesichert. Beim Standortwahlprozess (alle drei Etappen des SGT) wird gemäss SGT (BFE 2008) der Sicherheit erste Priorität eingeräumt, raumplanerische und sozioökonomische Aspekte sind nachrangig.

Nach Festlegung des Standortes durch die Rahmenbewilligung und die Festsetzung gemäss SGT folgen schrittweise weitere nukleare Bewilligungsverfahren gemäss KEG/KEV: Die Baubewilligung, die Betriebsbewilligung und – nach Abschluss der Betriebs- und Beobachtungsphase – die Anordnung des Verschlusses durch den Bundesrat. Diese Bewilligungsverfahren berücksichtigen auch die Aspekte aus anderen Bereichen, insbesondere die Raumplanung und die Prüfung der Umweltverträglichkeit. Die wichtigsten Merkmale der einzelnen nuklearen Bewilligungen<sup>25</sup> sind nachfolgend aufgelistet:

- Rahmenbewilligung (vgl. KEG Art. 12-14): Mit der Rahmenbewilligung werden insbesondere der Standort und die Grundzüge des Projektes festgelegt. Zu diesen Grundzügen gehören die ungefähre Grösse und Lage der wichtigsten Bauten sowie die Kategorien des Lagergutes und die maximale Lagerkapazität (KEG Art. 14 Abs. 2). In der Rahmenbewilligung werden auch die Eignungskriterien definiert, die bei der weiteren Lagerrealisierung einzuhalten sind sowie Konzepte für die Beobachtungsphase und den Verschluss. Weiter wird auch der vorläufige Schutzbereich festgelegt.

<sup>25</sup> Auch für einen Teil der für die verschiedenen Entscheidungspunkte notwendigen Feldarbeiten (Bohrungen in potenziellen Standortgebieten/Standorten, untertägige Exploration) ist eine Bewilligung des UVEK notwendig.

- Nukleare Baubewilligung<sup>26</sup> (vgl. KEG Art. 15-18): Die Baubewilligung legt insbesondere die Kapazität der Anlage und die wesentlichen Elemente der technischen Verwirklichung fest. Sie enthält weiter ein Projekt für die Beobachtungsphase und einen Plan für den Verschluss.
- Nukleare Betriebsbewilligung (vgl. KEG Art. 19-25): Die nukleare Betriebsbewilligung legt insbesondere folgende Punkte fest: Die Kapazität der Anlage, die Massnahmen zur Überwachung der Umgebung und die Stufen der Inbetriebnahme, deren Beginn einer vorläufigen Freigabe durch die Aufsichtsbehörden bedarf (KEG Art. 21 Abs. 1). Weiter legt die Betriebsbewilligung die Anforderungen an die Abfälle und insbesondere die Grenzwerte für die Aktivität der einzulagernden Abfälle fest (KEG Art. 37).
- Verschluss 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).

## **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 Lagerung im Ausland kann ausnahmsweise eine Bewilligung erteilt werden (KEG Art. 34 Abs. 4). Der abschliessende Entscheid, ob die Entsorgung im Ausland erfolgen soll, wird spätestens direkt vor Baubeginn des jeweiligen geologischen Tiefenlagers getroffen. Die Entsorgung im Ausland kommt am ehesten für abgebrannte Brennelemente bzw. Abfälle aus dem Brennstoffkreislauf in Frage.
- 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 Bericht zur Begründung der Standortwahl kann deshalb auf die Arbeiten im Rahmen des SGT abstützen, und die Unterlagen zur Festsetzung gemäss SGT bilden den für das Rahmenbewilligungsgesuch verlangten Bericht 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).
- Im Hinblick auf die Abfallzuteilung und zur Berücksichtigung der Option Kombilager ist für SMA und HAA bis zur Festlegung der Standorte durch die Rahmenbewilligung ein paralleles Vorgehen vorzusehen. Damit ist sichergestellt, dass für alle erwarteten Abfälle ein Entsorgungspfad vorbereitet wird.
- Es wird eine zügige Lösung der Entsorgung angestrebt, bei welcher die Zeitpläne der geologischen Tiefenlager den Anfall der einlagerbaren Abfälle möglichst gut berücksichtigen. Insbesondere wird angestrebt, dass bei Beginn der Stilllegung der KKW die entsprechenden

---

<sup>26</sup> Während Bau und Betrieb der geologischen Tiefenlager wird in Ergänzung zu den nuklearen Bewilligungen auch ein behördliches Freigabeverfahren zur Anwendung kommen (KEG Art. 17 Abs. 1f und Art. 37 Abs. 3).

Zwischenlager der KKW geleert und die Stilllegungsabfälle direkt ins SMA-Lager verbracht werden können. Beim HAA-Lager ist die notwendige Abklingzeit wegen der anfänglich hohen Wärmeleistung der BE/HAA zu berücksichtigen. In der heutigen Planung wurde jedoch schon berücksichtigt, dass die Betriebsaufnahme des SMA-Lagers später erfolgt als die Stilllegung der ältesten Werke (bei Annahme einer 50-jährigen Betriebszeit). Dies, sowie allfällige Verzögerungen bei der Realisierung der geologischen Tiefenlager können aber aufgefangen werden: Die bei der Stilllegung der ersten Werke anfallenden Abfälle können auch im ZWILAG (Halle S) gelagert werden, bis das SMA-Lager zur Verfügung steht (vgl. dazu die Aussagen zur Zwischenlagerkapazität in Kap. 6).

- Für die Optimierung der Gestaltung der Entsorgung (insbesondere die Auslegung der geologischen Tiefenlager und bei Bedarf Optimierung der Konditionierverfahren) ist genügend grosser Handlungsspielraum notwendig; ebenso braucht es Flexibilität zur Berücksichtigung zukünftiger möglicher Entwicklungen bzgl. 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 bzgl. einzulagernder Abfälle sollen deshalb so lange erhalten werden, wie es das schrittweise Bewilligungsverfahren gemäss KEG zulässt.
- Die Konkretisierung der Konzepte bzw. Projekte (die Auslegung der Lager; die für 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. Für die Standortwahl ist dies durch das SGT-Verfahren bestimmt (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 Planung ist – wie in den Figuren dargestellt – mit Unsicherheiten von mehreren Jahren verbunden. Der Inhalt der einzelnen Phasen ist in Tab. 5-1 erläutert. Die Angaben im Sachplan (Betriebsaufnahme des SMA-Lagers ab 2030 (Bandbreite 2030 bis 2038) bzw. des HAA-Lagers ab 2040 (Bandbreite 2040 bis 2048, Berücksichtigung weiterer Kriterien)) können nur eingehalten werden, wenn sich alle beteiligten Stellen (Entsorgungspflichtige, Bewilligungs- und Aufsichtsbehörden) aktiv für eine verzugslose Abwicklung der Arbeiten einsetzen. Der Realisierungsplan basiert zudem auf der Annahme, dass die Rechtsmittel in den kommenden Bewilligungsverfahren nicht ausgeschöpft werden. Der in der Kostenstudie 2006 verwendete Zeitplan (Betriebsaufnahme des SMA-Lagers 2035 bzw. 2050 für das HAA-Lager), welcher den Angaben in Kap. 6 (Betriebszeiten der Zwischenlager) und in Kap. 7 (Kosten und Finanzierung) zugrunde liegt, ist in Tab. A.4-1 und Tab. A.4-2 in Anhang A.4 aufgelistet und ist kompatibel mit den Balkendiagrammen in Fig. 5-1a und Fig. 5-1b.

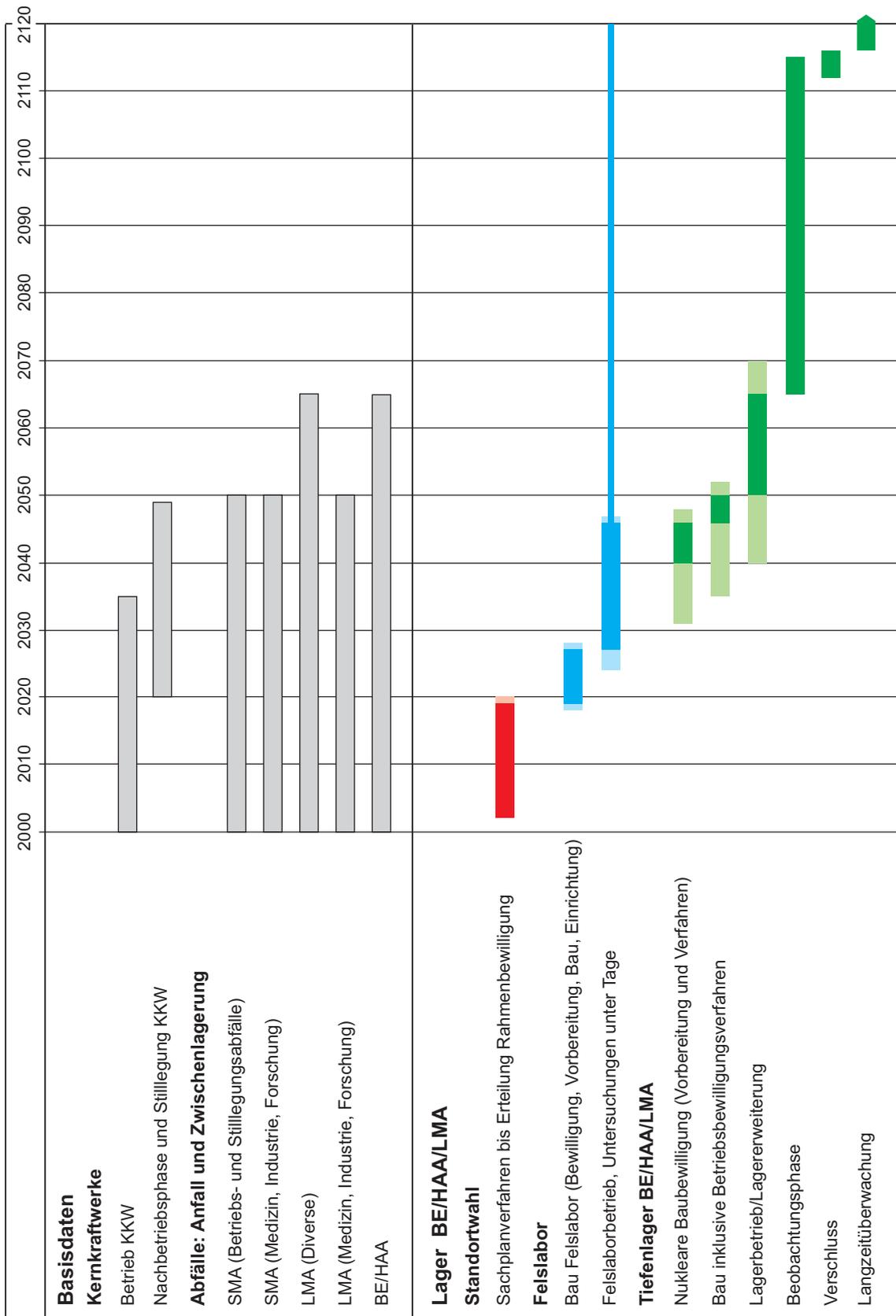


Fig. 5-1a: Realisierungsplan für das HAA-Lager gemäss heutiger Planung (inkl. Darstellung der Bandbreiten).

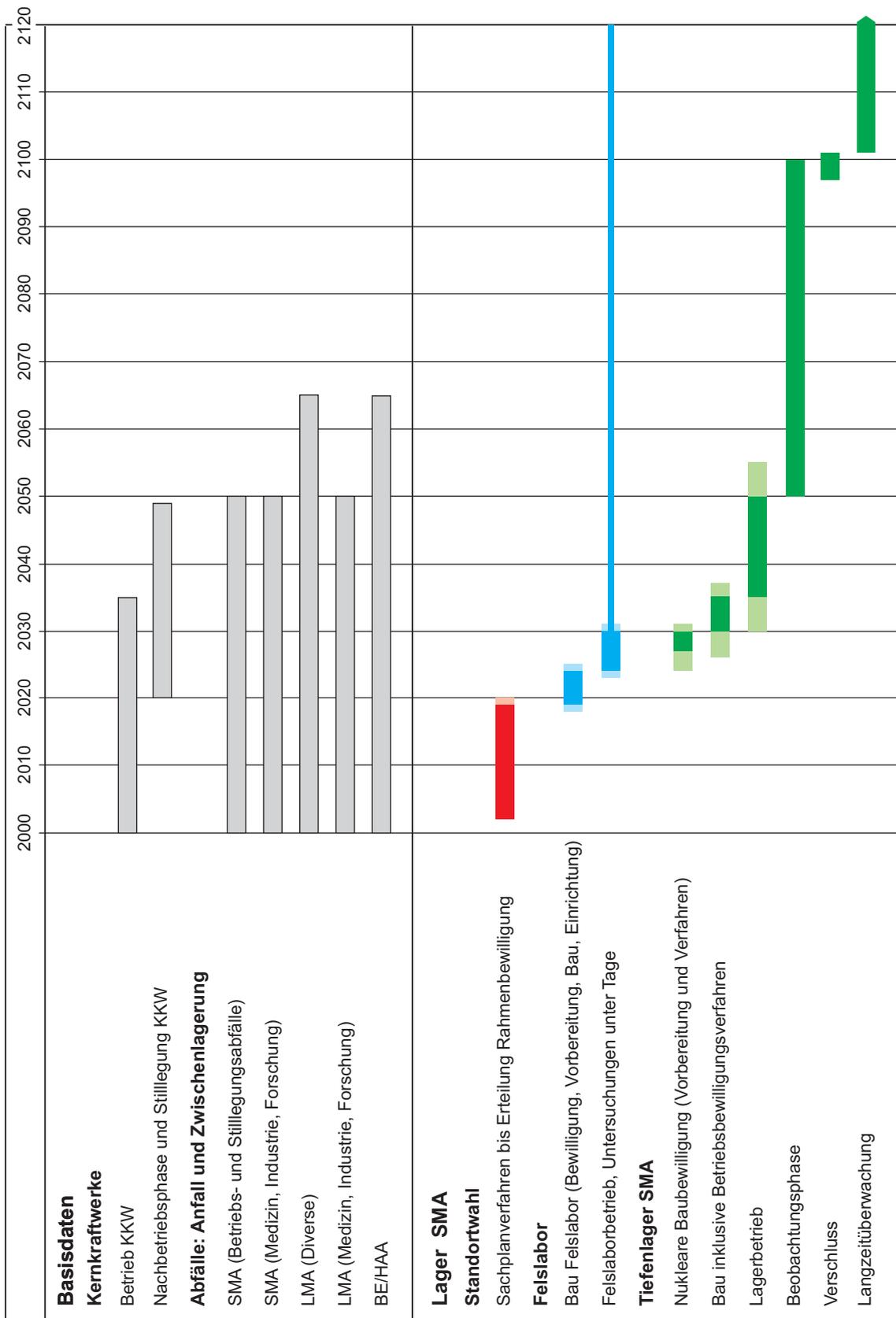


Fig. 5-1b: Realisierungsplan für das SMA-Lager gemäss heutiger Planung (inkl. Darstellung der Bandbreiten).

Tab. 5-1: Wichtigste Aktivitäten in den verschiedenen Phasen gemäss Fig. 5-1a bzw. Fig. 5-1b.

Phase	Ziel	Kurzbeschreibung
Standortwahl (Sachplanverfahren bis Erteilung Rahmenbewilligung)	SGT-Etappe 1: Genehmigung Objektblätter für geologische Standortgebiete und Planungsperimeter	Vorbereitung von Unterlagen und Vorschlägen, behördliche Beurteilung Sicherheit, raumplanerische Bestandesaufnahme, behördliches Verfahren
	SGT-Etappe 2: Genehmigung Objektblätter für mind. 2 Standorte	Erarbeitung von Standort-bezogenen Projekten unter Berücksichtigung der Anliegen der Kantone und Regionen, Durchführung provisorischer Sicherheitsanalysen, Prozess der Auswahl von mindestens 2 Standorten, behördliches Verfahren
	SGT-Etappe 3: Feldarbeiten, Wahl Standort für Rahmenbewilligungsgesuch, Vorbereitung Rahmenbewilligungsgesuch, Festsetzung Standort, Rahmenbewilligung	Bewilligungsverfahren für bewilligungspflichtige Feldarbeiten, Durchführung und Auswertung der Feldarbeiten, Erarbeitung der Unterlagen für Rahmenbewilligungsgesuch, behördliche Prüfung der Unterlagen, Entscheid Bundesrat, Genehmigung durch Parlament, fakultatives nationales Referendum
Felslabor	Bewilligung Felslabor	Bewilligungsverfahren für bewilligungspflichtige Feldarbeiten (Ergänzung der Untersuchungen von der Oberfläche, Felslabor)
	Bau Felslabor	Ergänzung der Untersuchungen von der Oberfläche, Bau Felslabor (Zugangstunnel, Tunnels, Stollen), baubegleitende Charakterisierung, untertägige Erkundung
	Betrieb Felslabor	Aufbau der Versuche, Durchführung der Versuche und Monitoring, Synthesen, Vorbereitung der Unterlagen für nukleares Baubewilligungsverfahren
Bau Lager	Nukleare Baubewilligung	Behördliche Prüfung der Unterlagen, Entscheid UVEK
	Bau Lager	Bau der Oberflächenanlagen und der untertägigen Bauten, inkl. Ausrüstung, Vorbereitung Unterlagen für nukleares Betriebsbewilligungsverfahren
	Nukleare Betriebsbewilligung	Behördliche Prüfung der Unterlagen, Entscheid UVEK
Betrieb Lager bis Verschluss	Betrieb Lager	Einrichtung des Pilotlagers & Messungen, Verpackung / Einlagerung der Abfälle, laufende Verfüllung der BE/HAA-Stollen, Verfüllung der vollen SMA-/LMA-Lagerkammern, Versiegelung der vollen Lagerkammern, für BE/HAA Erstellung neuer Lagerstollen, periodische Sicherheitsanalysen & Berichterstattung
	Verschluss Hauptlager / (Teil)Abbruch Empfangsanlage	Verfüllung Bau-/Betriebsstollen, Erstellung Versiegelungsbauwerke
	Beobachtungsphase	Weiterführung Messungen im Pilotlager, weitere Monitoring-Aktivitäten, periodische Berichterstattung
	Verschluss und Stilllegung Gesamtlager	Verfüllung der Stollen, Erstellung der Versiegelungsbauwerke, Abbruch der Oberflächenanlagen
	Überwachung nach Verschluss der Gesamtanlage	Weiterführung der Überwachung an der Oberfläche

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 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 die BE/HAA notwendige Abklingzeit, vgl. z.B. AGNEB 2006)

Der vorgeschlagene Realisierungsplan und die zugehörigen Entscheidungspunkte bieten genügend Handlungsspielraum zur Optimierung der Entsorgung und geben die erforderliche Flexibilität für die Berücksichtigung zukünftiger Entwicklungen bzgl. einzulagernder Abfälle. Das diesbezügliche Vorgehen ist in Tab. A.2-2 dargestellt, in welcher aufgezeigt ist, wie die Hinweise in Tab. A.2-1 umgesetzt werden.

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

- Für die Rahmenbewilligung müssen genügend Kenntnisse für robuste Aussagen zu Sicherheit und Machbarkeit vorliegen; dies betrifft die Wirtgesteins-Eigenschaften (teilweise aus standortunabhängigen Untersuchungen, vgl. Kap. 5.6) und die Platzverhältnisse sowie die Auslegung der Anlage in ihren Grundzügen. Diese Informationen können mit Untersuchungen von der Oberfläche (Seismik, Bohrung) ergänzt durch standortunabhängige Arbeiten gewonnen werden. Auf Stufe Rahmenbewilligung können für die Konzepte ausgewählter Elemente der Lagerauslegung noch verschiedene Alternativen vorhanden sein (Auslegung der technischen Barrieren und der Technologie für den Bau, Betrieb und Verschluss der Anlage).
- Im Rahmen des nuklearen Baugesuchs – das nach erfolgter untertägiger Erkundung eingereicht wird – wird die detaillierte Anordnung der untertägigen Lagerbauten und die detaillierte Auslegung der Lagerkammern und der technischen Barrieren sowie der Infrastruktur und Technologie für den Bau, Betrieb und Verschluss des Lagers festgelegt.

Mit diesem Realisierungsplan lassen sich auch die Erfahrungen, die in den für die Schweiz relevanten ausländischen Programmen (insbesondere Frankreich, Schweden, Finnland) gemacht werden, mit berücksichtigen (vgl. dazu die Terminangaben in Tab. 3-1).

Die wichtigsten Merkmale des Realisierungsplans sind:

- Die Wahl der Standorte für das SMA- und HAA-Lager erfolgt im SGT-Verfahren, welches bis Erteilung der Rahmenbewilligung für SMA und HAA parallel geführt wird.
- Das SGT-Verfahren führt auch zur Festlegung von Reservestandorten für das SMA- bzw. das HAA-Lager, welche bis zur Erteilung der jeweiligen Betriebsbewilligung verfügbar bleiben.
- Mit der Rahmenbewilligung wird die Anlage in ihren Grundzügen festgelegt; die detaillierte Auslegung der Anlage erfolgt erst für die nukleare Baubewilligung. Die nukleare Baubewilligung berücksichtigt die Resultate der untertägigen Erkundung und die Resultate aus den standortspezifischen Felslabors.

- Der Bau der Anlage erfolgt so weit, wie dies für die Aufnahme des Betriebs notwendig ist. Der Bau zusätzlicher Lagerstollen innerhalb der erschlossenen Lagerzone ist für das HAA-Lager während der Betriebsphase vorgesehen.
- Eine grundsätzliche Erweiterung der Lagerkapazität für das SMA- und das HAA-Lager ist möglich. Dazu wäre während der Errichtung der Lagerzone bzw. der Lagerkavernen (SMA-Lager) voraussichtlich der Einlagerungsbetrieb zu unterbrechen.
- Nach Abschluss der Einlagerung in jeder Lagerkammer erfolgt ihr Verschluss; nach Einlagerung aller Abfälle erfolgt die Verfüllung der direkten Zugänge zu den Lagerkammern sowie die Stilllegung und der Rückbau eines Teils der Oberflächenanlagen, und die Beobachtungsphase beginnt.
- Nach Abschluss der Beobachtungsphase erfolgen der Verschluss bzw. die Stilllegung und der Rückbau der Gesamtanlage (Zugänge, restliche Teile der Oberflächenanlage), anschliessend kann die Überwachung von der Oberfläche weitergeführt werden.

Der hier dargelegte Realisierungsplan (Fig. 5-1 a, b) geht bezüglich der Verfahren davon aus, dass die Rechtsmittel nicht ausgeschöpft werden. Abweichungen bis zur Betriebsaufnahme des SMA- bzw. HAA- Lagers sind deshalb denkbar. Weiter sind auch folgende Punkte zu beachten:

- Falls im Sachplanprozess nicht von allen Beteiligten sehr zielstrebig mit gearbeitet wird, ist es möglich, dass 2015 die Rahmenbewilligungsgesuche noch nicht eingereicht werden können.
- Damit die Rahmenbewilligungen 2018 rechtskräftig vorliegen, muss neben einem technisch-wissenschaftlich einwandfreien und gesellschaftlich tragfähigen Projekt die Begutachtung der Unterlagen durch die Behörden zügig ablaufen, der Bundesrat-Entscheidung und dessen Bestätigung in kurzer Zeit erfolgen und ein allfälliges nationales Referendum in kurzer Zeit abgewickelt werden und zu einem positivem Ausgang führen. Verzögerungen sind möglich.
- Damit nach rechtskräftiger Rahmenbewilligung innerhalb der aufgeführten Zeiten eine rechtskräftige nukleare Baubewilligung vorliegt, ist es notwendig, dass
  - die Baugesuche für die weiteren erdwissenschaftlichen Untersuchungen (inkl. untertägige Exploration und Felslabor) schon während des Rahmenbewilligungsverfahrens von den Behörden geprüft und die Bewilligungen direkt bei Vorliegen einer rechtsgültigen Rahmenbewilligung erteilt werden. Weiter darf es zu keinen Rekursen mit längeren Verzögerungen kommen
  - die Feldarbeiten und der Vortrieb des Zugangstunnels sowie der Bau des Felslabors und der Aufbau und Betrieb der Experimente sich ohne relevante Überraschungen abwickeln lassen. Für SMA sind einige wenige Jahre geplant, um die für das nukleare Baugesuch notwendigen Daten zu erheben; für HAA steht etwas mehr Zeit zur Verfügung
  - die Unterlagen zum nuklearen Baubewilligungsgesuch technisch-wissenschaftlich einwandfrei eingereicht und dann durch die Behörden zügig geprüft werden, damit die Bewilligung umgehend erteilt werden kann. Weiter sind keine Rekurse mit längeren Verzögerungen eingerechnet
- Bei Vorliegen der Baubewilligungen wird der Bau der Anlagen umgehend in Angriff genommen. Kommt es beim Betriebsbewilligungsverfahren zu keinen Rekursen mit längeren Verzögerungen, so ist eine Betriebsaufnahme für SMA ca. 2035 und für HAA ca. 2050 möglich.

Die oben diskutierten Punkte beschreiben 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. Für HAA werden dabei auch die von den Behörden und ihren Experten in ihren Gutachten und Stellungnahmen zum Entsorgungsnachweis aufgeführten Hinweise zu zukünftigen Arbeiten berücksichtigt, vgl. dazu auch den diesbezüglichen Bericht der Nagra (Nagra 2008a). Die Arbeitsschwerpunkte der nächsten Jahre sind in Tab. A.3-2 aufgeführt.

Ein Teil der Themen ist nur untergeordnet von den gewählten Standorten abhängig. Diese Arbeiten haben einen eher generischen Charakter und werden deshalb unter dem Titel 'Forschung und Entwicklung' (kurz: F+E-Programm) abgehandelt; sie sind in Kap. 5.6 dokumentiert. Die anderen Arbeiten mit direktem Standortbezug (Themen, vgl. Tab. A.3-3 in Anhang A.3) werden in Kap. 5.4 (HAA-Lager) und Kap. 5.5 (SMA-Lager) beschrieben.

Für die Abwicklung der in den nächsten Jahren anstehenden Arbeiten mit direktem Standortbezug kann auf langjährige Erfahrungen zurückgegriffen werden; auf eine Beschreibung ihrer Durchführung wird in den nachfolgenden Abschnitten verzichtet, da ihre Abwicklung bekannt und in verschiedenen Berichten dokumentiert ist. Es sind dies insbesondere die 2D- bzw. 3D-Seismik (z.B. Naef et al. 1995, Birkhäuser et al. 2001), Tiefbohrungen (z.B. Nagra 2001a), Auswertungen und Synthesen (z.B. Nagra 2002b), Langzeitbeobachtungen (Mälzer et al. 1988, Deichmann et al. 2000, Wiget et al. 2006), Sicherheitsberichte (Nagra 1994b, Nagra 2002c) und die Anlagenprojektierung (GNW 1994, Nagra 2002a).

## **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 dem F+E-Programm sind in Kap. 5.6 beschrieben.

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

**Etappe 1** (Vororientierung): Im Rahmen der behördlichen Prüfung werden die von der Nagra vorgeschlagenen geologischen Standortgebiete geprüft; die Resultate werden in Objektblättern festgehalten. Das Vorgehen ist im Konzeptteil Sachplan beschrieben (vgl. BFE 2008).

**Etappe 2** (Zwischenergebnis): Es werden mögliche Standorte zur Anordnung der Oberflächeninfrastruktur identifiziert. Dabei kann die bestehende Flexibilität in der Ausgestaltung der Oberflächeninfrastruktur genutzt werden. Eine vergleichende Bewertung mit Priorität auf der Sicherheit führt schliesslich zu mindestens zwei Standorten für das HAA-Lager, wobei auch Standorte für ein 'Kombilager' dabei sein können. Das Vorgehen ist im Konzeptteil Sachplan beschrieben (vgl. BFE 2008). Etappe 2 umfasst insbesondere die Bearbeitung folgender technisch-wissenschaftlicher Themen: Anlagenplanung (inkl. Arbeiten bezüglich Raumplanung und Umweltverträglichkeit), Ergänzung der geologischen Unterlagen, Durchführung von sicherheitstechnischen Bewertungen (provisorische Sicherheitsanalysen).

**Etappe 3 (Festsetzung) und Rahmenbewilligung:** Nach Genehmigung der Objektblätter (Stufe Zwischenergebnis) werden in SGT-Etappe 3 mindestens 2 Standorte ausgewählt, an denen der Kenntnisstand auf einen genügenden Stand gebracht wird für einen fundierten Vergleich und die Auswahl eines Standortes zur Vorbereitung des Rahmenbewilligungsgesuchs. Dazu werden Felduntersuchungen durchgeführt, welche voraussichtlich 2D- bzw. 3D-Seismik und Bohrungen umfassen. Die Bohrungen dienen insbesondere der Eichung der Seismik, der Bestätigung und Verfeinerung des Datensatzes zu den Wirtgesteinseigenschaften und der Ermittlung der Zustandsparameter. Für die bewilligungspflichtigen Feldarbeiten (Bohrungen) ist ein Gesuch einzureichen. Falls für SMA und HAA die gleichen Standortgebiete für die weitere Evaluation ausgewählt werden, werden die notwendigen Feldarbeiten koordiniert durchgeführt. Anschließend wird der Standort für die Vorbereitung des Rahmenbewilligungsgesuchs ausgewählt.

Für das Rahmenbewilligungsgesuch sind am gewählten Standort insbesondere folgende Untersuchungen und Arbeiten durchzuführen:

- Konsolidierung der geologischen Unterlagen; Auswertung und Analyse aller geologischen Unterlagen und Erarbeitung einer geologischen Synthese mit geologischen Datensätzen für die Langzeitsicherheit und die Anlagenprojektierung
- Vertiefung der Projekte zur Anlage (inkl. Betrieb und Verschluss). Dazu ist die Anlage in ihren Grundzügen festzulegen. Für die obertägigen Anlagen sind ihre Anordnung und die Konzepte festzulegen, für die untertägigen Anlagen ist der untertägige Perimeter zur Anordnung der Lagerkammern sowie das Barrierenkonzept anzugeben
- Bewertung der Sicherheit (Sicherheitsbericht) und Vergleich der zur Auswahl stehenden Optionen
- Abklärungen zur Umweltverträglichkeit (UVP, 1. Stufe)
- Raumplanerische Abstimmung im Zusammenhang mit der Konzipierung der Oberflächeninfrastruktur
- Erarbeitung eines Monitoringkonzepts
- Erstellung eines Sicherheitsberichts (Konzept)

Die im Rahmen des F+E-Programms im Hinblick auf das Rahmenbewilligungsgesuch durchzuführenden Arbeiten (vgl. Kap. 5.6) werden gegenüber dem Entsorgungsnachweis nochmals zu einem verbesserten Verständnis von Schlüsselphänomenen führen. Es betrifft dies insbesondere:

- Die Gasfreisetzung durch das Wirtgestein und den Bentonit (inkl. Abklärung von Möglichkeiten zur Reduktion der Gasbildung (z.B. alternative Behältermaterialien))
- Auslegung und Verhalten der technischen Barrieren
- Die Auswirkung der pH-Fahne auf das Wirtgestein
- Monitoring (Untersuchungskonzepte, Erfahrungen mit operativen Randbedingungen)

Zum Zeitpunkt der Rahmenbewilligung werden für die Lagerauslegung noch verschiedene Alternativen offen gehalten. Damit soll es ermöglicht werden, neue Erkenntnisse aus den erst nach der Rahmenbewilligung durchzuführenden Untersuchungen Untertag und Erkenntnisse und Erfahrungen aus dem F+E-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:

- Alternative Materialien und Auslegungskonzepte für die BE-/HAA-Endlagerbehälter
- Alternativen zum Verfüllmaterial BE/HAA basierend auf Bentonit
- Alternativen für die Auslegung der Felssicherung der BE-/HAA-Lagerstollen
- Alternativen zur Gestaltung des Verschlusses der LMA-Lagertunnels bezüglich Gasfreisetzung

#### 5.4.2 Arbeiten nach der Rahmenbewilligung

**Untersuchungen Untertag:** Parallel zum Rahmenbewilligungsverfahren werden die Projekte und Gesuche im Hinblick auf die untertägige Exploration vorbereitet. Die Gesuche umfassen ergänzende Untersuchungen von der Oberfläche aus und insbesondere den Bau und Betrieb eines Felslabors, welches mit einem Zugangstunnel (evtl. mit Schacht) erschlossen wird. Es wird davon ausgegangen, dass die technische Prüfung der Gesuche durch die Behörden erfolgen kann, bevor die Rahmenbewilligung abschliessend vorliegt, so dass bei Vorliegen der Rahmenbewilligung nach kurzer Zeit mit den Untersuchungen von der Oberfläche und dem Bau des Zugangs zum Felslabor begonnen werden kann. Der Bau des Zugangstunnels wird durch eine vortriebsbegleitende Charakterisierung ergänzt. Diese wird nach Abschluss des Vortriebs ausgewertet und die Befunde aus Sicht der Langzeitsicherheit beurteilt, und die Versuche im Felslabor werden aufgebaut. Aus heutiger Sicht sind Versuche zu folgenden Themen vorgesehen:

- Felsmechanik (Teststollen)
- Radionuklidmigration (Diffusionsversuch)
- Gasfreisetzung über das Wirtgestein (Gastest)
- Auswirkungen Wärmeeintrag (Heatertest)
- Versiegelungsversuch, inkl. Verhalten der Auflockerungszone
- Demonstrationsversuche zur Einlagerung (inkl. Einbringen des Verfüllmaterials) und Rückholung der Abfallgebinde

**Nukleares Baugesuch:** Basierend auf den aktualisierten Unterlagen zur Geologie (inkl. Resultate der Untersuchungen im Felslabor und Resultate aus dem F+E-Programm sowie Erkenntnisse 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. Weiter werden die benötigten Berichte zur Langzeitsicherheit, zur Betriebssicherheit, zu den technischen Barrieren (inkl. Versiegelung), etc. erstellt, vgl. Tab. A.1-3. Die behördliche Beurteilung der Unterlagen führt zur nuklearen Baubewilligung durch das zuständige Departement (UVEK). Parallel zum nuklearen Baubewilligungsverfahren werden die Untersuchungen im Felslabor weitergeführt.

**Bau, Betrieb, Überwachung und Verschluss der Anlage:** Im Anschluss an die Baubewilligung werden die für die Aufnahme des Einlagerungsbetriebs notwendigen Anlagen erstellt und das Gesuch für die nukleare Betriebsbewilligung ausgearbeitet und zur Bewilligung eingereicht. Nach Erhalt der Betriebsbewilligung beginnt der Einlagerungsbetrieb. Zuerst werden die Abfälle des Pilotlagers eingelagert, dann diejenigen des LMA-Lagers. Dann beginnt die Einlagerung der BE und HAA. Parallel zur Einlagerung werden weitere BE/HAA-Lagerstollen erstellt. Nach Abschluss der Einlagerung beginnt die Beobachtungsphase. Für Planungszwecke wird gemäss SEFV Art. 3 von einer Beobachtungsphase von 50 Jahren ausgegangen; deren Dauer kann aber bei Bedarf angepasst werden. Während der ganzen Beobachtungsphase müssen das Pilotlager zugänglich und die Rückholung der Abfälle mit vertretbarem Aufwand möglich sein. Nach Abschluss der Beobachtungsphase wird nach Anordnung des Verschlusses durch den Bundesrat die Anlage vollständig verschlossen und versiegelt; anschliessend wird voraussichtlich die Überwachung von der Oberfläche weitergeführt.

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

Die Basis für diesen Abschnitt bildet der in Kap. 5.3 vorgestellte Realisierungsplan. In vorliegendem Kapitel werden nur die Arbeiten mit direktem Standortbezug erläutert, die Arbeiten bezüglich F+E-Programm sind in Kap. 5.6 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 wird ein Felslabor gebaut. Mögliche Versuche im Felslabor betreffen aus heutiger Sicht insbesondere:

- Felsmechanik (Teststollen)
- Gasfreisetzung über das Wirtgestein (Gastest)
- Versiegelungsversuch, inkl. Verhalten der Auflockerungszone
- Demonstrationsversuche zur Einlagerung und Rückholung der Abfallbinde

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

## **5.6 Standortunabhängige Arbeiten sowie Forschung und Entwicklung**

### **5.6.1 Einleitung und Ausgangslage**

Die standortunabhängigen Arbeiten haben zum Ziel, das Verständnis sicherheitsbezogener standortunabhängiger Phänomene zu verbessern und die diesbezüglich noch vorhandenen Ungewissheiten zu reduzieren. Die Arbeiten betreffen die geologischen und die technischen Barrieren. Die Resultate dieser Arbeiten ergänzen die standortspezifischen Informationen und Daten für die Standortevaluation und die Beurteilung der Sicherheit (vgl. Kap. 5.4 und 5.5).

Im Rahmen der standortunabhängigen Arbeiten 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 der Lager-Implementierung – wo erforderlich – an die standortbezogenen Verhältnisse angepasst werden (vgl. Kap. 5.4 und 5.5).

In den verschiedenen weltweit durchgeführten Entsorgungsprojekten sind seit vielen Jahren F+E-Programme im Gange, welche teilweise im Rahmen der internationalen Zusammenarbeit durchgeführt werden. Dies umfasst Arbeiten in Felslabors, Laborprogramme, Feldprogramme (z.B. im Zusammenhang mit natürlichen Analoga) und Studien. Auch in der Schweiz wird seit ca. 30 Jahren ein Forschungs- und Entwicklungsprogramm durchgeführt (insbesondere in den Felslabors Grimsel und Mont Terri, F+E-Programme am PSI und an Universitäten und Hochschulen (Labors, Modellentwicklungen, etc.)), welches die im Ausland durchgeführten Arbeiten ergänzt und vertieft. Dabei wurde ein guter Kenntnisstand erreicht, vgl. dazu z.B. die Dokumentation zum Entsorgungsnachweis HAA (Nagra 2002a, b, c).

### **5.6.2 Forschungsthemen und ihre Dringlichkeit**

Die standortunabhängigen Arbeiten decken ein breites Spektrum von Themen ab, vgl. dazu Tab. A.3-4 im Anhang A.3. Dazu gehören Fragen zur Geologie, zur Sicherheit und zu sicherheitsrelevanten Phänomenen und Prozessen, zu den radioaktiven Abfällen sowie zum Lagerkonzept und zur Auslegung von Modulen der Lager, zu den technischen Barrieren sowie zum Verschluss der geologischen Tiefenlager.

Die Beurteilung der Dringlichkeit und des für die verschiedenen Meilensteine erforderlichen Tiefgangs der Bearbeitung dieser Themen berücksichtigt den Stand der Kenntnisse (vgl. für HAA z.B. die Berichte zum Entsorgungsnachweis und für SMA – neben den für die SMA repräsentativen Kenntnissen zu LMA aus dem Entsorgungsnachweis – auch die Synthesarbeiten zu Wellenberg sowie den weltweiten Stand der Kenntnisse) sowie die Beurteilungen durch die Behörden und ihre Experten (HSK 1996, NEA 2004, HSK 2005b, KNE 2005, KSA 2005, Nagra 2008a). Sie orientiert sich auch an den Vorgaben in Tab. A.1-3 und den Festlegungen in Tab. A.2-2. Die im Hinblick auf die Rahmenbewilligungsgesuche geplanten Arbeiten sind in Tab. A.3-5 in Anhang A.3 aufgeführt. Dabei spielen für einige der Themen die Felslabors eine zentrale Rolle, insbesondere die Felslabors Mont Terri (CH), Bure (F), Grimsel (CH) und Aspö (S). Die über die nächsten Jahre (für das Rahmenbewilligungsgesuch und auch für die Zeit, bis standortbezogene Felslabors in Betrieb gehen) in den verschiedenen Felslabor-Programmen zu untersuchenden Themen sind in Tab. A.3-7 in Anhang A.3 aufgelistet.

In der Phase nach Vorbereitung des Rahmenbewilligungsgesuchs werden wo nötig die in Tab. A.3-5 aufgeführten Themen stufengerecht weiter vertieft, und zusätzlich werden die in Tab. A.3-6 aufgeführten detaillierten Fragestellungen im Hinblick auf das nukleare Baugesuch in das F+E-Programm aufgenommen. Dies betrifft insbesondere die Entwicklung der Behälter für BE/HAA bzw. SMA/LMA, die Überprüfung und Demonstration der Einlagerung und Rückholung der Abfallbinde, die Verfüllung und Versiegelung und das Monitoring.

## 5.7 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 F+E-Arbeiten), auf die im Rahmen einer langjährigen Zusammenarbeit etablierten Kompetenzzentren (z.B. PSI oder Universität Bern)<sup>27</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. Gewisse Themen werden im Rahmen gemeinsamer Projekte mit Partnerorganisationen abgewickelt, teilweise im Zusammenhang mit den Forschungs-Rahmenprogrammen der Europäischen Kommission, teilweise im Rahmen anderer vertraglicher Vereinbarungen. Dazu gehören insbesondere die Forschungsprogramme in den Felslabors. Die Nagra selber übernimmt die Planung der Arbeiten, erstellt die Syntheseberichte und vertritt die Resultate und Schlussfolgerungen nach aussen (bei Bedarf unter Beizug von Schlüsselauftragnehmern). Die Abwicklung der Arbeiten erfolgt innerhalb eines klar definierten Management-Systems, welches 2005 als Qualitätsmanagement-System gemäss ISO 9001 zertifiziert wurde. Innerhalb dieses Systems spielen Reviews eine zentrale Rolle.

## 5.8 Zusammenfassung

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. Nach Abschätzung des Zeitbedarfs für die Abwicklung der technischen Arbeiten und für die behördlichen Verfahren kann der Realisierungsplan definiert werden. Dieser geht von einer rechtsgültigen Rahmenbewilligung in 2018 und in Anlehnung an die Kostenstudie von einer Betriebsaufnahme für das SMA-Lager in 2035 und für das HAA-Lager in 2050 aus (vgl. Fig. 5-1a, b). Dabei wird angenommen, dass es zu keinen zeitaufwendigen Rekursen kommt, und dass die technischen Arbeiten zügig abgewickelt werden können.

---

<sup>27</sup> Mit Langfristverträgen wird über Kompetenzzentren sicher gestellt, dass ein erfahrener Mitarbeiter-Pool und 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 wissenschaftlich als neutral anerkannt sind.

Der Realisierungsplan berücksichtigt die standortbezogenen Arbeiten für das SMA- und HAA-Lager sowie die standortunabhängigen, eher generischen Arbeiten, welche im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsprogramms abgewickelt werden. Die im Realisierungsplan vorgesehenen Arbeiten berücksichtigen die Empfehlungen der Behörden und ihrer Experten in ihren Gutachten und Stellungnahmen zu den bisherigen Nagra-Arbeiten. Die Nagra hat bzgl. der Umsetzung der Hinweise und Empfehlungen in den Gutachten und Stellungnahmen zum Entsorgungsnachweis HAA einen separaten Bericht verfasst.

Das im Gesetz vorgesehene schrittweise Bewilligungsverfahren lässt es zu, den notwendigen Handlungsspielraum zur optimalen Gestaltung der Lageranlagen zu erhalten. Ebenso ist es gemäss Gesetz möglich, die bei jedem Bewilligungsschritt absehbaren Abfälle infolge zukünftiger Entwicklungen in der Kernenergie und bei Verwendung radioaktiver Materialien in Medizin, Industrie und Forschung zu berücksichtigen. Werden die Gesuche bzw. die Bewilligungen entsprechend gehandhabt, so kann die zukünftig anfallende Information (Resultate der detaillierten Exploration der Standorte, Kenntnisszuwachs durch Forschung und Entwicklung) optimal genutzt werden, und auch eine allfällige sich aufdrängende Erweiterung der Lagerkapazität der geologischen Tiefenlager kann berücksichtigt werden. Ebenso ist die schrittweise Verfeinerung der Abfallzuteilung möglich.

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 hochqualifizierte Mitarbeiter und neben den auf dem Markt erhältlichen qualifizierten Auftragnehmern teilweise auch auf über mehrjährige Verträge abgesicherte Kompetenzzentren, auf Institute im In- und Ausland und auf Partnerprojekte ab.



## 6 Zwischenlagerung

### 6.1 Ausgestaltung, Dauer und Kapazität der Zwischenlagerung

Die heute anfallenden Abfälle aus den KKW (Betriebsabfälle, inkl. Reaktorabfälle) und die für die geologische Tiefenlagerung vorgesehenen Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung (kurz: MIF) werden in Zwischenlagern gelagert; die Betriebs- und Reaktorabfälle der KKW werden in den Zwischenlagern vor Ort oder im ZWILAG gelagert (vor allem diejenigen Abfälle, die zur Behandlung ins ZWILAG transportiert wurden), die Abfälle aus dem MIF-Bereich in den Anlagen des Bundeszwischenlagers (BZL) auf dem Gelände des PSI.

Die abgebrannten BE werden ohne Vorbehandlung in Transport- und Lagerbehälter (TLBs) eingebracht und im ZWILAG bzw. im ZWIBEZ (Zwischenlager des KKB) zwischengelagert, nachdem sie in den Brennelement-Becken der KKW bzw. im KKG-Nasslager genügend abgekühlt sind. Auch die Abfälle aus der Wiederaufarbeitung werden im ZWILAG bzw. ZWIBEZ zwischengelagert; die verglasten HAA werden in TLBs, die anderen Abfälle aus der Wiederaufarbeitung in Containern in der Halle M im ZWILAG gelagert. Auch für die Stilllegungsabfälle ist eine gewisse Zwischenlagerkapazität eingeplant; die Halle S im ZWILAG kann mehr als 90 % der Stilllegungsabfälle der bestehenden KKW, in jedem Fall aber die Stilllegungsabfälle der älteren Werke aufnehmen.

Die Abfälle bleiben solange in den Zwischenlagern, bis die geologischen Tiefenlager in Betrieb sind bzw. bis die Wärmeleistung der BE/HAA durch radioaktiven Zerfall genügend abgeklungen ist für ihre Einlagerung.

Die Zwischenlagerung erfolgt so, dass die Abfälle ohne weitere Eingriffe in Endlagerbehälter verpackt und anschliessend in das geologische Tiefenlager verbracht werden können. Bei einigen Gebinden mit Betriebsabfällen ist es in der Vergangenheit zu Innenkorrosion gekommen, und dies ist auch in Zukunft bei einigen dieser Gebinde möglich. Diese Gebinde werden saniert. Bei den abgebrannten BE wird durch Einhaltung geeigneter Rahmenbedingungen (vgl. dazu die Vorgaben in den HSK-Richtlinien R-52 (HSK 2003b) bzw. G05 (HSK 2008)) sichergestellt, dass die Hüllrohre während der Zwischenlagerung nicht beschädigt werden<sup>28</sup>. Bei den TLB selber kann eine Schädigung (z.B. Leckage) aufgrund der Auslegung und Überwachung ausgeschlossen werden.

Eine Analyse der Abfälle (Mengen und zeitlicher Anfall) zeigt, dass für die bestehenden KKW genügend Zwischenlagerkapazität vorhanden ist. Die Zwischenlagerkapazität muss für die in Kap. 5.3 aufgezeigten Zeiträume aufrecht erhalten werden. Dies ergibt die in Tab. 6-1 aufgeführten Betriebszeiten<sup>29</sup> für die einzelnen Anlagen bei 50-jährigem Betrieb der bestehenden KKW, was mit entsprechendem Unterhalt sichergestellt wird.

---

<sup>28</sup> In der Brennelementverpackungsanlage (vgl. Kapitel 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.

<sup>29</sup> Dazu wird der Zeitplan gemäss Kostenstudie 2006 verwendet mit Betriebsaufnahme des SMA-Lagers in 2035 und des HAA-Lagers in 2050.

Die heutigen Zwischenlager sind auf den Bedarf der bestehenden KKW ausgelegt; für neue KKW können teilweise die vorhandenen Zwischenlager genutzt werden, und die zusätzlich benötigte Zwischenlagerkapazität kann neu erstellt werden. Auch das bestehende Zwischenlager für die Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung kann bei Bedarf erweitert werden. Die notwendige Flexibilität für zusätzliche Lagerkapazität ist also vorhanden. Wegen ihrer sehr vorläufigen Natur sind für die in Tab. 2-1a erwähnten Reservevolumen für MIF-Abfälle aus grossen Forschungsanlagen (z.B. CERN) in Tab. 6-1 keine Zwischenlager ausgewiesen.

Die Betriebszeiten der bestehenden Zwischenlager sind grundsätzlich flexibel und können mit administrativen und technischen Massnahmen (Verträge, Unterhalt, evtl. Nachrüstungen, Ersatz oder Erneuerung von ausgewählten Komponenten) verlängert und den Bedürfnissen der KKW und den Zeitplänen der Realisierung der geologischen Tiefenlager (z.B. bei Verzögerungen) angepasst werden.

Tab. 6-1: Zwischenlager: Betriebszeiten (gemäss Kostenstudie 2006), Kapazitäten und erwartete maximal eingelagerte Abfallmengen für 50 Jahre Betrieb der bestehenden KKW und einer Sammelperiode für MIF-Abfälle bis 2050 (ohne Zwischenlager für Reservevolumen für MIF-Abfälle, vgl. Text).

	<b>Betriebszeit der Zwischen- lager</b>	<b>Kapazität</b> [in m <sup>3</sup> ]	<b>Erwartete maximal eingelagerte Abfallmenge</b> [in m <sup>3</sup> ]	<b>Belegungs- grad</b> [in %]
BZL	1992 – 2050	4'200	4'105	98
KKB/ZWIBEZ	1970 – 2025 <sup>1)</sup>	12'980	12'975	100
KKG	1979 – 2034 <sup>1)</sup>	590	510	87
KKL	1984 – 2039 <sup>1)</sup>	2'515	2'315	92
KKM	1972 – 2027 <sup>1)</sup>	1'350	1'345	100
ZWILAG-M	2000 – 2065	11'000	7'410	68
ZWILAG-S	2005 – 2065	27'000	4'055	15
ZWILAG-H <sup>2)</sup>	2000 – 2065	200 (236) <sup>3)</sup>	176	88 (75)
ZWIBEZ-H <sup>2)</sup>	2008 – 2062	48	46	96
KKG-H	2008 – 2047	1'008 <sup>4)</sup>	–	< 100

<sup>1)</sup> Das Ende der Betriebszeit des Zwischenlagers entspricht dem Ende der Nachbetriebsphase des jeweiligen KKW.

<sup>2)</sup> Zwischenlager für BE und HAA, Angabe der Anzahl Stellplätze für TLB.

<sup>3)</sup> 200 Stellplätze für TLB gemäss gegenwärtiger Bewilligung; bei Optimierung der Belegung sind bis zu 236 Stellplätze möglich.

<sup>4)</sup> Anzahl Brennelemente.

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. Dies verlangt jedoch, dass die Re-Zertifizierung der Behälter machbar ist;

andernfalls müssen die abgebrannten BE und HAA für den Transport in geeignete Behälter umgeladen werden. Die TLB werden nach ihrer Verwendung verwertet; falls dies nicht möglich ist, werden sie 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.

## **6.2 Zusammenfassung**

Die anfallenden radioaktiven Abfälle müssen zwischengelagert werden, bis sie in die entsprechenden geologischen Tiefenlager verbracht werden können. Für das SMA-Lager ist dies gemäss Realisierungsplan ca. 2035, für die abgebrannten Brennelemente, für die verglasten hochaktiven Abfälle und die langlebigen mittelaktiven Abfälle ist dies unter Berücksichtigung der notwendigen Abkühlzeiten der einzulagernden Abfälle ca. 2050 möglich. Für die bestehenden KKW und für die bis 2050 erwarteten Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung kann genügend Zwischenlagerkapazität zur Verfügung gestellt werden, um die anfallenden Abfälle bis zu ihrer Einlagerung in die geologischen Tiefenlager sicher zwischen zu lagern. Falls sich die Inbetriebnahme der geologischen Tiefenlager weiter nach hinten schieben 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**

### **7.1 Gesetzliche Vorgaben**

Gemäss den gesetzlichen Regelungen sind die Verursacher verantwortlich für die Entsorgung und müssen auch deren Kosten vollumfänglich tragen (Verursacherprinzip). Zur Deckung der Kosten nach Ausserbetriebnahme der Kernanlagen müssen die Eigentümer die notwendigen Beiträge an den Stilllegungs- und den Entsorgungsfonds leisten (KEG Art. 77). Der Stilllegungsfonds deckt die Kosten für die Stilllegung, den Abbruch und die Entsorgung der dabei entstehenden Abfälle, der Entsorgungsfonds insbesondere die Kosten für die Entsorgung der radioaktiven Betriebsabfälle, der Wiederaufarbeitung bzw. Entsorgung der abgebrannten Brennelemente, die Vorbereitung sowie den Betrieb, den Rückbau und die Überwachung der notwendigen Entsorgungsanlagen. Die vor der Ausserbetriebnahme der Kernanlagen anfallenden Entsorgungskosten sind durch die Eigentümer direkt zu tragen und zurückzustellen (KEG Art. 82). Für die Bestimmung der Beiträge an den Stilllegungs- und Entsorgungsfonds und für die Festlegung der Höhe der Rückstellungen werden alle fünf Jahre die voraussichtlichen Stilllegungs- und Entsorgungskosten neu berechnet (SEFV Art. 4). Die Eigentümer liefern die notwendigen Angaben. Die Nagra ermittelt dazu die Kosten für die geologischen Tiefenlager. Die Angaben der Eigentümer werden im Auftrag der Kommission für den Stilllegungs- und Entsorgungsfonds für Kernanlagen (SEFV Art. 23) von der HSK geprüft.

### **7.2 Geschätzte Kosten**

Die letzte Schätzung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten wurde 2006 durchgeführt. Die Schätzung wurde von der HSK geprüft und am 6. Dezember 2007 von der Verwaltungskommission des Stilllegungs- und Entsorgungsfonds genehmigt. Die Kostenstudie 2006 ist die Basis für die nachfolgend aufgeführten Zahlen. Die Kostenstudie beruht auf:

- den Vorgaben bezüglich der zu entsorgenden Abfälle. Die dazu verwendeten Annahmen basieren auf den Angaben in Kap. 2 (Tab. 2-1a)
- der Beschreibung der Entsorgungsanlagen und Infrastruktur (für geologische Tiefenlager, vgl. Kap. 3.2 und 3.3; für die Zwischenlager, vgl. Kap. 6.1)
- dem Realisierungsplan, insbesondere:
  - der Betriebszeiten der KKW und der Entsorgungsanlagen (für die geologischen Tiefenlager, vgl. die Tabellen in Anhang A.4 und die Beschreibung in Kap. 5.3; für die Zwischenlager, vgl. Tab. 6-1 in Kap. 6.1)
  - der 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)
  - der wichtigsten Aktivitäten (für geologische Tiefenlager, vgl. Kap. 5.3 und die Tabellen in Anhang A.4)

Die gesamten Kosten werden aufgeteilt in Kosten für:

- die Wiederaufarbeitung
- die Zwischenlagerung
- die Beschaffung der Transport- und Lagerbehälter für die BE/HAA
- die Transporte

- die Vorbereitung<sup>30</sup>, den Bau, den Betrieb, die Überwachung und den Verschluss des SMA-Lagers
- die Vorbereitung, den Bau, den Betrieb, die Überwachung und den Verschluss des HAA-Lagers
- die Vorbereitung, den Bau, den Betrieb, die Stilllegung und den Rückbau der Verpackungsanlage für BE/HAA
- die Stilllegung und den Rückbau der Kernanlagen

Die Gesamtkosten (inkl. aufgelaufene Kosten) sind in Tab. 7-1 aufgeführt. Für die geologischen Tiefenlager enthält Tab. 7-2 eine detaillierte Gliederung, in der die Kosten der verschiedenen Phasen separat ausgewiesen sind. Die Kosten sind – entsprechend der Projektstufe – mit Ungewissheiten behaftet<sup>31</sup>; daraus resultierende Veränderungen in der Schätzung der Kosten werden in den periodischen Aktualisierungen der Kostenstudie und der Rückstellungsberechnungen berücksichtigt.

### 7.3 Finanzierung

Die Finanzierung der Kosten für die Entsorgung erfolgt entsprechend den gesetzlichen Vorgaben (vgl. Kap. 7.1). Bei der Festlegung der Beiträge an den Stilllegungs- und Entsorgungsfonds und für die Festlegung der Höhe der Rückstellungen werden die erwarteten Kapitalerträge berücksichtigt (Annahme einer Anlagerendite von 5 % und einer Teuerungsrate von 3 %, vgl. SEFV Art. 8 Abs. 5). Die Gesamtkosten und ihr Barwert, der Stand des Stilllegungs- und Entsorgungsfonds, der Stand der Rückstellungen für die bis zur Ausserbetriebnahme zu tätigen Kosten und die bisher getätigten Ausgaben sind in Tab. 7-3 zusammenfassend dargestellt. Die Tabelle zeigt, dass von den gesamten Kosten für die Entsorgung (ohne MIF-Abfälle) von 15'542 Mio. CHF bis Ende 2005 4'212 Mio. CHF getätigt wurden. Von den nach 2005 zu tätigen Ausgaben sind bei Annahme einer 50-jährigen Betriebszeit der KKW gemäss Kostenstudie 2006 bis Ausserbetriebnahme der KKW 2'830 Mio. CHF (Barwert: 2'289 Mio. CHF) direkt durch die Eigentümer zu begleichen (Rückstellungsverwendung); der restliche Teil wird durch den Stilllegungs- und Entsorgungsfonds abgedeckt.

---

<sup>30</sup> Inklusiv der dazu benötigten Forschung und Entwicklung.

<sup>31</sup> Aus Gründen der Nachvollziehbarkeit werden die Zahlen in einer Genauigkeit angegeben, welche die dem Projektstand entsprechend vorhandenen Ungewissheiten nicht zum Ausdruck bringt.

Tab. 7-1: Gesamtkosten der Entsorgung (in Mio. CHF, Preisbasis 2006, ohne Kosten für die Entsorgung der MIF-Abfälle<sup>32</sup>).

Kosten aufgeteilt auf die verschiedenen übergeordneten Positionen. Die Kosten umfassen die bereits getätigten Ausgaben (per Ende 2005) sowie die zukünftigen durch die Eigentümer direkt sowie über den Stilllegungs- bzw. Entsorgungsfonds zu tätigen Ausgaben. Für eine Beurteilung der Finanzierung sind der Zeitpunkt des Anfalls der Kosten und der entsprechende Realzins (d.h. der Barwert der Kosten) zu berücksichtigen.

<b>Position</b>	<b>Kosten</b>
Wiederaufarbeitung	2'740
Zwischenlagerung (ZWILAG; ZWIBEZ-H, KKG-Nasslager), inkl. zentrale Abfallbehandlung	2'245
Beschaffung Transport- und Lagerbehälter für BE/HAA	760
Transporte	388
SMA-Lager	2'110 <sup>1)</sup>
HAA-Lager, inkl. Verpackungsanlage für BE/HAA	5'107 <sup>2)</sup>
Total Entsorgung (ohne MIF-Abfälle)	13'350
Stilllegung der Kernkraftwerke und Zwischenlager (ohne MIF-Abfälle)	2'192 <sup>3)</sup>
<b>Gesamttotal</b>	<b>15'542</b>

<sup>1)</sup> Ohne Kosten für die Stilllegungsabfälle (Grenzkosten in der Höhe von 70 Mio. CHF) und Kosten für die MIF-Abfälle in der Höhe von 335 Mio. CHF. Die Gesamtkosten für das SMA-Lager (inkl. Stilllegungsabfälle und MIF-Abfälle) belaufen sich auf 2'515 Mio. CHF (vgl. Tab. 7-2).

<sup>2)</sup> Ohne Kosten für die MIF-Abfälle in der Höhe von 2 Mio. CHF. Die Gesamtkosten für das HAA-Lager (inkl. Verpackungsanlage für BE/HAA) belaufen sich auf 5'109 Mio. CHF (vgl. Tab. 7-2).

Die in der Berichterstattung der Eigentümer zuhanden des Entsorgungsfonds verwendete Aufteilung der aufgelaufenen Kosten auf das SMA- bzw. HAA-Lager unterscheidet sich von der Aufteilung gemäss Nagra-Rechnung; dies ergibt leicht abweichende Gesamtkosten für das SMA- bzw. HAA-Lager (vgl. auch Tab. 7-2).

<sup>3)</sup> Inklusive Kosten für die Entsorgung der Stilllegungsabfälle in der Höhe von 70 Mio. CHF.

<sup>32</sup> Der Bund ist verantwortlich für die Entsorgung der MIF-Abfälle. Für die diesbezüglichen Kosten werden keine Beiträge an den Stilllegungs- und 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. Bei den Berechnungen für den Entsorgungsfonds wird davon ausgegangen, dass der Bund beim SMA-Lager die direkt verursachten Kosten (Grenzkosten für die einzulagernden MIF-Abfälle) und 15 % der Fixkosten übernimmt (nach beanspruchtem Volumen wäre der Anteil mehr als 15 %); für das HAA-Lager wird der Beitrag des Bundes wegen der sehr kleinen Menge an MIF-Abfällen auf nur 2 Mio. CHF geschätzt. Gemäss KEG Art. 38 haben die Inhaber der geologischen Tiefenlager Anrecht auf eine kostendeckende Entschädigung für einzulagernde Abfälle Dritter.

Tab. 7-2: Detaillierte Aufstellung der Kosten für die geologischen Tiefenlager gemäss Kostenstudie 2006 (in Mio. CHF, Preisbasis 2006).

Im Gegensatz zu den Zahlen in Tab. 7-1 sind hier beim SMA- und HAA-Lager die Gesamtkosten (inkl. Kosten für die Stilllegungsabfälle und für die MIF-Abfälle) aufgeführt. Aus Gründen der Nachvollziehbarkeit werden die Zahlen in einer Genauigkeit angegeben, welche die dem Projektstand entsprechend vorhandenen Ungewissheiten nicht zum Ausdruck bringt.

Periode	SMA-Lager		HAA-Lager		BEVA
	Zeit	Kosten	Zeit	Kosten	Kosten <sup>1)</sup>
Erarbeitung Grundlagen <sup>2)</sup>	bis 2005	381.5	bis 2005	492.8	47.6
Herbeiführung Standortentscheid	2006 – 2014	220.6	2006 – 2014	226.0	
Erteilung Rahmenbewilligung	2015 – 2018	54.9	2015 – 2018	66.0	
Untersuchungen Untertag, Vorbereitung Bau	2019 – 2030	481.5	2019 – 2044	939.0	
Bau Lageranlagen	2031 – 2034	447.3	2045 – 2049	494.7	492.5
Einlagerungsbetrieb	2035 – 2049	359.6	2050 – 2064	610.3 <sup>3)</sup>	668.6 <sup>4)</sup>
Beobachtungsphase	2050 – 2099	380.6	2065 – 2114	555.2	
Vorbereitung & Verschluss Hauptlager	2058 – 2061	95.3	2073 – 2078	221.3	
Vorbereitung & Stilllegung / Verschluss Gesamtanlage	2097 – 2101	93.2	2112 – 2116	227.8	67.0 <sup>5)</sup>
<b>Total</b>	<b>1972 – 2101</b>	<b>2'514.5</b>	<b>1978 – 2116</b>	<b>3'833.1</b>	<b>1'275.8</b>

<sup>1)</sup> Zeiten wie HAA-Lager.

<sup>2)</sup> Die Aufteilung der aufgelaufenen Kosten für die Erarbeitung der Grundlagen auf das SMA- und HAA-Lager unterscheidet sich von der Berichterstattung der Eigentümer zuhanden des Entsorgungsfonds; dies ergibt kleine Unterschiede im Total der beiden Lager.

<sup>3)</sup> Inklusive Bau von zusätzlichen Lagerstollen für BE/HAA.

<sup>4)</sup> Kosten für die Beschaffung der BE-/HAA-Endlagerbehälter sowie für die Beladung und den Verschluss der Behälter.  
In der Berichterstattung der Eigentümer zuhanden des Entsorgungsfonds werden die Kosten für die Verpackung der HAA aus Gründen der Vergleichbarkeit mit früheren Studien unter der Position 'HAA-Lager' aufgeführt.

<sup>5)</sup> Stilllegung und Abbruch der Verpackungsanlage für BE/HAA nach Betriebsende ab 2065.

Tab. 7-3: Übersicht über die Entsorgungskosten (in Mio. CHF) und deren Barwert sowie über den Stand der Rückstellungen für Kosten vor der Ausserbetriebnahme und des Stilllegungs- und Entsorgungsfonds (ohne Kosten für die Entsorgung der MIF-Abfälle).

<b>Position</b>	<b>Kosten (Preisbasis 2006)</b>	<b>Barwert (per Ende 2006)</b>	<b>Stand Fonds (per Ende 2006)</b>	<b>Stand Rück- stellungen für Kosten vor Ausser- betriebnahme</b>
Entsorgungskosten	13'350		-	
- Getätigte Ausgaben <sup>1)</sup> (Ende 2005)	4'212	-		
- Ab 2006 bis Ausser- betriebnahme	2'830	2'289		1'597
- Nach Ausserbetrieb- nahme	6'308	2'583	3'028	
Stilllegungskosten	2'192	1'255	1'324	
<b>Total</b>	<b>15'542</b>	<b>6'127</b>	<b>4'352</b>	<b>1'597<sup>2)</sup></b>

<sup>1)</sup> Dies umfasst Kosten für die Wiederaufarbeitung, Zwischenlagerung, Beschaffung von Transport- und Lagerbehältern, Transporte und die Vorbereitung der SMA- und HAA-Lager.

<sup>2)</sup> Die Rückstellung wird bis zur Ausserbetriebnahme eines Werks jährlich geöffnet und verzinst und stellt die Deckung der bis zur Ausserbetriebnahme anfallenden Entsorgungskosten sicher.

#### **7.4 Zusammenfassung**

Zur Festlegung der Beiträge für den Stilllegungs- und Entsorgungsfonds und der zu tätigen Rückstellungen der Eigentümer der Kernanlagen werden die Kosten der Entsorgung und der Stilllegung periodisch geschätzt. Die letzte Kostenstudie wurde 2006 durchgeführt; diese wurde von den Behörden (HSK) geprüft und am 6. Dezember 2007 von der Verwaltungskommission des Stilllegungs- und Entsorgungsfonds genehmigt. Die Kostenstudie 2006 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 Stilllegungsfonds für die Kosten der Stilllegung der Kernanlagen sowie über den Entsorgungsfonds für die Kosten der Entsorgungsaufgaben nach Ausserbetriebnahme der Kernkraftwerke. Das Berechnungsmodell für die Rückstellungen basiert auf der aktuellen Kostenstudie, und es wird dadurch sichergestellt, dass die gebildeten und die zukünftig noch zu tätigen Rückstellungen sämtliche erwarteten Kosten abdecken unter Berücksichtigung der Kapitalerträge (Annahme einer Anlagerendite von 5 % und einer Teuerungsrate von 3 %).



## 8 Informationskonzept

Die Entsorgung radioaktiver Abfälle ist ein Thema, das in der Schweiz oft kontrovers diskutiert wird. Gleichzeitig hat es im Rahmen der Diskussionen um die Nutzung der Kernenergie eine eminent politische Dimension. Im Hinblick auf die Realisierung der benötigten Tiefenlager sind daher ein aktiver Dialog mit den Interessierten und eine umfassende Information der Öffentlichkeit zu allen Fragen der nuklearen Entsorgung entscheidend.

Das gemeinsame 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 in den kommenden Jahren im Bereich Entsorgung, insbesondere im Sachplanverfahren und danach bei den Bewilligungsverfahren nach KEG 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 werden.

### 8.1 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.

**Bewilligungsbehörden:** Im Rahmen des Sachplans geologische Tiefenlager und der nachfolgenden Bewilligungsverfahren nach KEG 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 ziehen dazu in der Regel die Aufsichtsbehörden und fallweise die Nagra mit ihrem Expertenwissen bei.

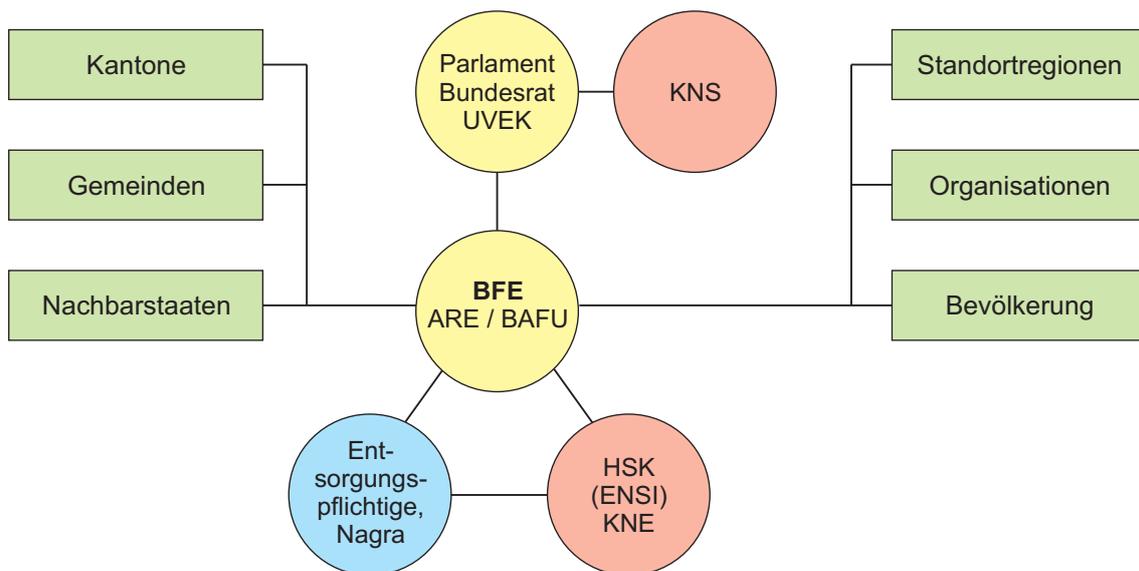


Fig. 8-1: Darstellung der verschiedenen Akteure im Sachplanverfahren geologische Tiefenlager.

Die Federführung liegt beim BFE (Bundesamt für Energie).

**Aufsichtsbehörden:** Die Aufsichtsbehörden (insbesondere die HSK bzw. das ENSI) nehmen zu Gesuchen und dem Betrieb von Kernanlagen betreffend Sicherheit Stellung und gewährleisten unabhängig gegenüber der Bevölkerung die Einhaltung der Sicherheitsbestimmungen. Sie informieren die Öffentlichkeit über ihre Ergebnisse und sind Ansprechpartner für Sicherheitsfragen.

**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.

## 8.2 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."

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 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.

### 8.3 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 Schweizer 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 klare Vorschriften zur dauerhaften Entsorgung erlassen. Die vorgeschriebene geologische Tiefenlagerung gewährt für alle radioaktiven Abfälle langfristig einen sicheren Einschluss. Mit der Genehmigung der Entsorgungsnachweise wurde vom Bundesrat bestätigt, dass die für die anfallenden Abfälle benötigten Tiefenlager in der Schweiz sicher erstellt werden können.
- 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 Bundes in einem transparenten, ergebnisoffenen Sachplanverfahren 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 bereit gestellt 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 Öffentlichkeitsarbeit der Nagra trägt diesem Umstand durch entsprechende Schwerpunktsetzung Rechnung. Die Nagra ist bestrebt, ein verlässlicher, dialogorientierter Partner für Behörden und Bevölkerung in diesen Regionen zu sein. In den nächsten Jahren sind folgende Informationsinhalte wichtig:

- Begründung der vorgeschlagenen geologischen Standortgebiete
- Darlegung des Abfallinventars und der vorgeschlagenen Zuteilung auf die Tiefenlager
- Darlegung des Tiefenlagerkonzepts SMA und HAA und deren Auswirkungen auf die Regionen
- Generell: Informationen zu weiteren Fragen aus der Bevölkerung

#### 8.4 Kommunikationsinstrumente

Neben der wissenschaftlich-technischen Berichterstattung in Nagra Technischen Berichten (NTB), welche sowohl online als auch als Papierkopie erhältlich sind, nutzt die Nagra verschiedene weitere Kanäle, 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 sollen die Instrumente auf aktuellem Stand gehalten werden. Dazu werden projektspezifisch auch verschiedene externe Spezialisten beigezogen.

**Medienverbund:** Die Informationsmittel werden künftig stärker zu einem Medienverbund integriert. In der heutigen Informationsgesellschaft kommt dem Internet dabei eine zentrale Bedeutung als schnelle Informationsplattform zu. Grosse Teile der Bevölkerung verfügen heute über einen leistungsfähigen Internetzugang. Diese Entwicklung wird sich weiter verstärken. Die Nagra betreibt schon lange eine eigene Homepage, die sie laufend weiter entwickelt. So wurde beispielsweise 2007 ein elektronischer Newsletter eingeführt, die Homepage ein weiteres Mal überarbeitet und mit audiovisuellen Mitteln angereichert.

Ergänzt werden die Internet-basierten Informationsmittel durch verschiedene Printprodukte. Aktuelle Informationen werden mit einem gedruckten Newsletter weitergegeben. Mit einzelnen Themenbroschüren werden ausgewählte aktuelle Fragen aufgearbeitet. Mit einem ausführlichen Geschäftsbericht informiert die Nagra jeweils über das vergangene Geschäftsjahr und den Fortschritt ihrer Arbeiten. Gedruckte Informationen werden auch über Internet zur Verfügung gestellt.

Bei besonderen Anlässen wird mittels Medienmitteilungen informiert.

**Besichtigung von Anlagen:** 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 ZWILAG oder über die Nagra organisiert werden. Weiter besteht die Möglichkeit der Besichtigung der Kernkraftwerke, insbesondere ihrer Informationspavillons.

Die Nagra bietet für Gruppen Besichtigungen ihres Felslabors auf der Grimsel oder im internationalen Felslabor Mont Terri an. Interessierte können sich vor Ort ein Bild über die laufenden Entwicklungsarbeiten machen und mit den Mitarbeitern ihre Fragen diskutieren. Zukünftig ist geplant, während des Sachplanverfahrens vermehrt Tage der offenen Tür für die Bevölkerung aus Standortregionen zu organisieren.

Bei grösseren Feldarbeiten wie Tiefbohrungen oder umfangreichen Seismikarbeiten bietet die Nagra jeweils Tage der offenen Tür für die Bevölkerung an.

Seit vielen Jahren organisiert die Nagra für Entscheidungsträger aus Wirtschaft, Politik und Behörden Informationsreisen zu Entsorgungsanlagen im Ausland. Den Teilnehmern aus dem gesamten politischen Spektrum wird Gelegenheit gegeben, sich über die Konzepte 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.

Die Nagra sieht vor, während der schrittweisen Realisierung der benötigten Tiefenlager in der Schweiz, die im Bau befindlichen oder erstellten Anlagen für Besichtigungen zugänglich zu machen. Nach der Erteilung einer Rahmenbewilligung wird zuerst die Möglichkeit bestehen, die an den Standorten der zukünftigen Tiefenlager erstellten Felslabors zu besichtigen. An den Standorten sind ab Baubeginn der Lageranlagen permanente Informationsausstellungen vorgesehen. Bei den Lagerprojekten sind Besucherkonzepte geplant, welche die Besichtigung der in Betrieb befindlichen Anlagen erlauben.

**Vorträge, Informations- und Diskussionsveranstaltungen:** Auf Anfrage orientieren Mitarbeiter der Nagra in Vorträgen interessierte Organisationen, Parteien, Verbände oder die breitere Öffentlichkeit über die nukleare Entsorgung sowie die Arbeiten und Projekte der Nagra. Die Nagra beteiligt sich aktiv an Podiums- und Diskussionsveranstaltungen. Bei Bedarf unterstützt sie die Behörden bei Informationsveranstaltungen; beispielsweise zu laufenden Verfahren. Die Nagra besucht 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:** Seit mehreren Jahren ist die Nagra im Sommer mit einer eigenen Informationstour auf öffentlichen Plätzen in Schweizer Städten präsent. Damit wird die Öffentlichkeit an die Notwendigkeit einer sicheren Entsorgung radioaktiver Abfälle erinnert. Nagra-Mitarbeiter suchen das direkte Gespräch mit den Passanten und beantworten Fragen. In Zukunft sollen ähnliche Aktivitäten, aber mit stärker lokalem Bezug, weitergeführt werden.

Die Nagra beteiligt sich an verschiedenen Publikumsmessen aktiv und regelmässig mit einem Ausstellungsstand.

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

## 8.5 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-Projektleitern. Die kontinuierliche Schulung und Weiterbildung der Mitarbeitenden hat zum Ziel, den sich ändernden Dialog- und Informationsansprüchen gerecht zu werden und aktuelle, laufend weiterentwickelte 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. Zurzeit ist sie im 'Forum on Stakeholder Confidence (FSC)' der Nuclear Energy Agency der OECD (OECD/NEA) vertreten.

## **8.6 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 die HSK bzw. 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 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, 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. Der Schweizer Öffentlichkeit werden die Gründe transparent dargelegt, warum die radioaktiven Abfälle in geologischen Tiefenlagern eingeschlossen werden sollen. Die Bevölkerung und die Politiker sollen in die Lage versetzt werden, den Handlungsbedarf zu erkennen und sich zu den konkreten Projekten im Sachplanverfahren 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 guter 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. Die Kenntnisse sind vorhanden, um für die geologischen Tiefenlager die geologischen Standortgebiete für die weiteren Schritte festzulegen. 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 am 2. April 2008 genehmigte Konzept Sachplan geologische Tiefenlager, welches das in den nächsten Jahren durchzuführende Standortwahlverfahren im Detail regelt.

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, jedoch ohne dem Sachplanverfahren vorzugreifen. Das Entsorgungsprogramm enthält auch einen Vorschlag der Entsorgungspflichtigen, wie die Lager auf konzeptueller Ebene auszulegen sind (inkl. vorhandene Alternativen), 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.

Für die nahe Zukunft ist das Arbeitsprogramm klar definiert. Bis zur nächsten Aktualisierung des Entsorgungsprogramms in etwa fünf Jahren werden bedeutende Fortschritte erwartet, insbesondere die Festlegung von möglichen geologischen Standortgebieten bzw. Standorten in den vom Bundesrat zu genehmigenden Objektblättern für die Etappe 1 (Vororientierung) und für die Etappe 2 (Zwischenergebnis) gemäss Sachplan geologische Tiefenlager.



## 10 Literaturverzeichnis

- AGNEB (2006): Bericht der Arbeitsgruppe Zeitplan zuhanden der AGNEB: Zeitplan der Tiefenlagerung: Einflussgrössen und Randbedingungen bei der Tiefenlagerung abgebrannter Brennelemente (BE), verglaster hochaktiver Abfälle (HAA) und langlebiger mittelaktiver Abfälle (LMA) in der Schweiz. – In: Der Weg zur Entsorgung radioaktiver Abfälle in der Schweiz: Jahresbericht 2005 der Arbeitsgruppe des Bundes für die nukleare Entsorgung AGNEB. Bundesamt für Energie, Bern, Schweiz.
- AGNEB (2008): Jahresbericht 2007 Arbeitsgruppe des Bundes für die nukleare Entsorgung AGNEB / Rapport annuel 2007 Groupe de travail de la Confédération pour la gestion des déchets nucléaires (AGNEB). Bundesamt für Energie BFE, Bern, Schweiz.
- 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.
- 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.
- Axpo (2006): Strom für heute und morgen: Axpo-Studie 'Stromperspektiven 2020'. Axpo, Baden, Schweiz.
- BFE (2004): Kernenergieverordnung; Erläuternder Bericht zum Vernehmlassungsentwurf vom 12. Mai 2004, Bern, Schweiz.
- BFE (2007): Die Energieperspektiven 2035. Bundesamt für Energie BFE, Bern, Schweiz.
- BFE (2008): Sachplan geologische Tiefenlager: Konzeptteil. 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 Technischer Bericht NTB 00-03. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Bossart, P. & Thury, M. (2008): Mont Terri rock laboratory: Project, Programme 1996-2007 and Results. Report of Swiss Geological Survey 1/2008. Swisstopo, Wabern, Switzerland.
- Deichmann, N., Ballarin Dolfin, D. & Kastrup, U. (2000): Seismizität der Nord- und Zentralschweiz. Nagra Technischer Bericht NTB 00-05. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- 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.
- ESDRED: Engineering Studies and Demonstration of Repository Designs: Annual Project Executive Summaries (ab 2005). Erhältlich unter [www.esdred.info](http://www.esdred.info).

- 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 Technical Report 03-09. Paul Scherrer Institut PSI, Villigen; Nagra, Wettingen, Schweiz.
- GNW (1994): Technischer Bericht zum Gesuch um die Rahmenbewilligung für ein Endlager schwach- und mittelaktiver Abfälle am Wellenberg, Gemeinde Wolfenschiessen, NW. Technischer Bericht 94-01. Genossenschaft für Nukleare Entsorgung Wellenberg GNW, Wettingen, Schweiz.
- HSK (1986): 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 (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. HSK-R-49. Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Villigen, Schweiz.
- HSK (2003b): 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.
- HSK (in Vorb.): Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen HSK-G03. 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.
- Johnson, L.H. & King, F. (2003): Canister options for the direct disposal of spent fuel. Nagra Technical Report NTB 02-11. Nagra, Wettingen, Switzerland.
- KEG (2003): Kernenergiegesetz vom 21. März 2003 (KEG). Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.1, Schweiz.
- KEV (2004): Kernenergieverordnung vom 10. Dezember 2004 (KEV). Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.11, Schweiz.
- 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.
- 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.
- Lundmark, R.J. (2007): Entsorgungs- und Stilllegungskostenschätzung der Schweizer Kernkraftwerke, Aktualisierung 2006. – *In*: Management radioaktiver Rückstände: Vertiefungskurs, 22.-23. November 2007, Zürich. Nuklearforum Schweiz, Bern, 81-85.
- Mälzer, A., Rösch, H., Misselwitz, I., Ebert, M. & Moosman, D. (1988): Höhenänderungen in der Nordschweiz und im Südschwarzwald bis zum Bodensee. Nagra Technischer Bericht NTB 88-05. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Naef, H., Birkhäuser, P. & Roth, P. (1995): Interpretation der Reflexionsseismik im Gebiet nördlich Lägeren – Zürcher Weinland. Nagra Technischer Bericht NTB 94-14. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Nagra (1981): Die Endlagerung schwach- und mittelradioaktiver Abfälle in der Schweiz. Potentielle Standortgebiete für ein Endlager Typ B. Nagra Technischer Bericht NTB 81-04. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Nagra (1983): Die Endlagerung schwach- und mittelradioaktiver Abfälle in der Schweiz: Evaluation der potentiellen Standortgebiete. Nagra Technischer Bericht NTB 83-15. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Nagra (1985a): Nukleare Entsorgung Schweiz: Konzept und Übersicht über das Projekt Gewähr 1985. Nagra Gewähr Bericht NGB 85-01. Nagra, Wettingen, Schweiz.

- Nagra (1985b): Projekt Gewähr 1985: Radioaktive Abfälle: Eigenschaften und Zuteilung auf die Endlager-Typen. Nagra Gewähr Bericht NGB 85-02. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Nagra (1985c): Projekt Gewähr 1985: Endlager für hochaktive Abfälle: Sicherheitsbericht. Nagra Gewähr Bericht NGB 85-05. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Nagra (1985d): Projekt Gewähr 1985: Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle: Sicherheitsbericht. Nagra Gewähr Bericht. Nagra Gewähr Bericht NGB 85-08. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Nagra (1988): Sedimentstudie – Zwischenbericht 1988: Möglichkeiten zur Endlagerung langlebiger radioaktiver Abfälle in den Sedimenten der Schweiz. Nagra Technischer Bericht NTB 88-25. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Nagra (1991): Sedimentstudie – Zwischenbericht 1990: Zusammenfassende Übersicht der Arbeiten von 1988 bis 1990 und Konzept für das weitere Vorgehen. Nagra Technischer Bericht NTB 91-19. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- 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 Technischer Bericht NTB 93-02. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Nagra (1994a): Sedimentstudie – Zwischenbericht 1993: Zusammenfassende Übersicht der Arbeiten von 1990 bis 1994 und Konzept für weitere Untersuchungen. Nagra Technischer Bericht NTB 94-10. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Nagra (1994b): Bericht zur Langzeitsicherheit des Endlagers SMA am Standort Wellenberg (Gemeinde Wolfenschiessen, NW): Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle (Endlager SMA). Nagra Technischer Bericht NTB 94-06. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Nagra (1994c): Kristallin-I safety assessment report. Nagra Technical Report NTB 93-22. Nagra, Wettingen, Switzerland.
- Nagra (1998): Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle am Standort Wellenberg: Etappen auf dem Wege zum Verschluss; präzisierende Darstellung der Kontrollierbarkeit und Rückholbarkeit. Nagra Technischer Bericht NTB 98-04. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Nagra (2001a): Sondierbohrung Benken: Untersuchungsbericht. Nagra Technischer Bericht NTB 00-01. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Nagra (2001b): Optimierungsstudie für ausgewählte Abfalltypen aus Medizin, Industrie und Forschung. Nagra Technischer Bericht NTB 01-06. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- 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 Technischer Bericht NTB 02-02. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Nagra (2002b): Projekt Opalinuston: Synthese der geowissenschaftlichen Untersuchungsergebnisse: Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle. Nagra Technischer Bericht NTB 02-03. Nagra, Wettingen, Schweiz.

- 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 Technical Report NTB 02-05. Nagra, Wettingen, Switzerland.
- 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 Technischer Bericht NTB 05-02. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Nagra (2008a): Bericht zum Umgang mit den Empfehlungen in den Gutachten und Stellungnahmen zum Entsorgungsnachweis. Nagra Technischer Bericht NTB 08-02. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Nagra (2008b): Vorschlag geologischer Standortgebiete für ein SMA- und ein HAA-Lager: Darlegung der Anforderungen, des Verfahrens und der Ergebnisse. Nagra Technischer Bericht NTB 08-03. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Nagra (2008c): Vorschlag geologischer Standortgebiete für ein SMA- und ein HAA-Lager: Geologische Grundlagen. Nagra Technischer Bericht NTB 08-04. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Nagra (2008d): 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 Technischer Bericht NTB 08-05. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Nagra (2008e): Modellhaftes Inventar für radioaktive Materialien MIRAM 08. Nagra Technischer Bericht NTB 08-06. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- 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.
- NEA (2005): Radioactive waste management programmes in OECD/NEA member countries. OECD Nuclear Energy Agency, Issy-les-Moulineaux, France.
- NEA (2006): Advanced nuclear fuel cycles and radioactive waste management. OECD Nuclear Energy Agency, Issy-les-Moulineaux, France.
- Nuklearforum (2007): Kernenergie für die Schweiz, Quellenmaterial mit Texten, Bildern und Grafiken für Präsentationen zur Kernenergiediskussion. Nuklearforum Schweiz, Bern, Schweiz.
- Posiva (2006a): TKS-2006: Nuclear waste management of the Olkiluoto and Loviisa power plants: Programme for research, development and technical design for 2007-2009. Posiva TKS-2006. Posiva Oy, Olkiluoto, Finland.
- Posiva (2006b): Expected evolution of a spent nuclear fuel repository at Olkiluoto. Posiva Report 2006-05. Posiva Oy, Olkiluoto, Finland.
- Safeguardsverordnung vom 18. August 2004. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.12, Schweiz.

- SEFV (2007): Verordnung über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen vom 7. Dezember 2007 (Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung, SEFV). Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.17, Schweiz.
- SKB (1998): RD&D-Programme 98: Treatment and final disposal of nuclear waste: Programme for research, development and demonstration of encapsulation and geological disposal. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management (SKB), Stockholm, Sweden.
- SKB (2000): Geoscientific programme for investigations and evaluation of sites for the deep repository. Technical Report TR 00-20. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management (SKB), Stockholm, Sweden.
- SKB (2006): Long-term safety for KBS-3 repositories at Forsmark and Laxemar – a first evaluation. Main Report of the SR-Can project. Technical Report TR 06-09. SKB, Stockholm. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management (SKB), Stockholm, Sweden.
- SKB (2007a): Ahlström P.-E.; Blomgren J.; Ekberg C. [et al.]: Partitioning and transmutation current developments – 2007. A report from the Swedish reference group for P&T-research. Technical Report TR 07-04. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management (SKB), Stockholm, Sweden.
- SKB (2007b): RD&D-Programme 2007 for research, development and demonstration of methods for the management and disposal of nuclear waste. Technical Report TR 07-12. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management (SKB), Stockholm, Sweden.
- SKI (2003): SSI and SKI's review of SKB's updated final safety report for SFR 1: Review report. SKI Report 2004:47, SSI report 2004:06. Swedish Nuclear Power Inspectorate SKI, Stockholm, Sweden.
- Stefula, V. (2006): SAPIERR Support Action: Pilot Initiative for European regional repositories. European Commission & DECOM Slovakia.
- StSV (1994): Strahlenschutzverordnung vom 22. Juni 1994 (StSV). Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.501, Schweiz.
- USG (1983): Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG) vom 7. Oktober 1983. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.01, Schweiz.
- UVEK (2005): Implementation of the Obligations of the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management: Second National Report of Switzerland in Accordance with Article 32 of the Convention. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bern; Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate (HSK), Villigen, Schweiz.

- UVEK (2008): Implementation of the Obligations of the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management: Third National Report of Switzerland in Accordance with Article 32 of the Convention. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK), Bern; Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate (HSK), Villigen, Schweiz.
- Verordnung über die ablieferungspflichtigen radioaktiven Abfälle vom 3. September 2002. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.557, Schweiz.
- 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 Technical Report NTB 90-18. Nagra, Wettingen, Switzerland.
- 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 Technical Report NTB 97-04. Nagra, Wettingen, Switzerland.
- Vieno, T., Nordman, H. & Taivassalo, V. (1998): VLJ repository safety analysis. TVO Report 1/98. TVO, Helsinki, Finland.
- Vomvoris, S. (2007): Grimsel Test Site – Phase VI: Review of accomplishments and next steps. – In: Proceedings of the 11th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management ICEM2007, September 2-6, 2007, Oud Sint-Jan Hospital Conference Center, Bruges, Belgium. (in print)
- 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 Arbeitsbericht NAB 06-004. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Zuidema, P., Della Casa, A., Maxeiner, H. & Schweingruber, M. (1996a): Konditionieren von radioaktiven Abfällen: Überblick und Diskussion endlagerrelevanter Eigenschaften.– In: Bewirtschaftung radioaktiver Betriebsabfälle aus Kernkraftwerken, SVA-Vertiefungskurs, 27. bis 29. März 1996, Brugg-Windisch: Kursreferate. Schweizerische Vereinigung für Atomenergie, Bern, Schweiz, 5.5-1 – 5.5-10.
- Zuidema, P., Maxeiner, H. & Schweingruber, M. (1996b): Endlagerung von radioaktiven Abfällen in der Schweiz: Ein Überblick über abfallspezifische Aspekte.– In: Bewirtschaftung radioaktiver Betriebsabfälle aus Kernkraftwerken, SVA-Vertiefungskurs, 27. bis 29. März 1996, Brugg-Windisch: Kursreferate. Schweizerische Vereinigung für Atomenergie, Bern, Schweiz, 2.5-1 – 2.5-12.
- Zuidema, P., Maxeiner, H. & Schweingruber, M. (1997): The importance of waste characterisation and quality control in the management of radioactive waste in Switzerland. – In: RADWAP '97: Radioactive waste products 1997: Proceedings of the 3rd international seminar on radioactive waste products in Würzburg (Germany) from 23 to 26 June 1997. Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Energietechnik, Forschungszentrum Jülich, Zentralbibliothek, Deutschland, 1998, 139-147.



## Anhang 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.

Die Vorgaben in KEG 2003 und KEV 2004 werden teilweise in Richtlinien der HSK konkretisiert. Diese sind in der nachfolgenden Zusammenstellung in der Regel nicht aufgeführt, werden aber berücksichtigt.

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
<b>Geologische Tiefenlager: Standort</b>	
Die in der Schweiz anfallenden Abfälle müssen grundsätzlich in der Schweiz entsorgt werden. Ausnahmsweise kann für die Lagerung der Abfälle im Ausland eine Bewilligung erteilt werden, wenn spezifische Voraussetzungen erfüllt sind.	KEG Art. 30 Abs. 2 KEG Art. 34 Abs. 4
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
Beim Standortwahlprozess (alle 3 Etappen des SGT) ist der Sicherheit erste Priorität einzuräumen. Raumplanerische und sozioökonomische Aspekte sind nachrangig.	Konzept SGT (BFE 2008)
Kriterien zur Standortevaluation hinsichtlich Sicherheit und technischer Machbarkeit: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eigenschaften des Wirtgesteins bzw. des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs <ul style="list-style-type: none"> <li>– Räumliche Ausdehnung</li> <li>– Hydraulische Barrierenwirkung</li> <li>– Geochemische Bedingungen</li> <li>– Freisetzungspfade</li> </ul> </li> <li>• Langzeitstabilität <ul style="list-style-type: none"> <li>– Beständigkeit der Standort- und Gesteinseigenschaften</li> <li>– Einfluss Erosion</li> <li>– Lagerbedingte Einflüsse</li> <li>– Nutzungskonflikte</li> </ul> </li> <li>• Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen <ul style="list-style-type: none"> <li>– Charakterisierbarkeit der Gesteine</li> <li>– Explorierbarkeit der räumlichen Verhältnisse</li> <li>– Prognostizierbarkeit der Langzeitveränderungen</li> </ul> </li> <li>• Bautechnische Eignung <ul style="list-style-type: none"> <li>– Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen</li> <li>– Untertägige Erschliessung und Wasserhaltung</li> </ul> </li> </ul>	Konzept SGT, Tabelle 1
Die Ergebnisse der erdwissenschaftlichen Untersuchungen müssen die Eignung des Standortes für ein geologisches Tiefenlager bestätigen	KEG Art. 13

Tab. A.1-1: (Fortsetzung)

Vorgaben	Referenz
<b>Geologische Tiefenlager: Abfallzuteilung</b>	
Radioaktive Abfälle sind im Hinblick auf die Entsorgung in Kategorien einzuteilen.	KEV Art. 51
<p>Für die Zuteilung der Abfälle auf die Lagertypen SMA und HAA sind folgende Abfalleigenschaften massgebend:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inventar und Halbwertszeiten der Radionuklide</li> <li>• Auswahl der sicherheitstechnisch relevanten Nuklide (Wertung der radiologischen Toxizität)</li> <li>• Abfallvolumen</li> <li>• Materialeigenschaften (Abfallmatrix, -behälter) und ihre möglichen Auswirkungen auf das Wirtgestein</li> <li>• Wärmeentwicklung</li> <li>• Gehalt an potenziell Gas produzierenden Bestandteilen (Metalle, Organika)</li> <li>• Gehalt an Komplexbildnern</li> </ul>	Konzept SGT, Anhang 1
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 Auslegungsgrundlagen, inkl. Dispositionspläne und Konzepte für radiologische Zonen.	KEV Anhang 4
<p>Die Betriebsbewilligung legt die Stufen der Inbetriebnahme fest, deren Beginn einer vorgängigen Freigabe durch die Aufsichtsbehörden bedarf.</p> <p>Eine Freigabepflicht besteht u.a. für die erste Einlagerung von Abfallgebinden eines Typs.</p>	KEG Art 21 bzw. KEV Art. 29 Abs. 1 und Art 37 Abs. 3
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>	
Radioaktive Abfälle müssen so entsorgt werden, dass der dauernde Schutz von Mensch und Umwelt gewährleistet ist.	KEG Art. 1, 3, 13, 16, 20 & 30 Abs. 3
Zur Gewährleistung der Sicherheit sind alle Vorkehrungen zu treffen, die nach der Erfahrung und dem Stand der Wissenschaft und Technik notwendig sind.	KEG Art. 4
<p>Für geologische Tiefenlager wird die Betriebsbewilligung erteilt, wenn zusätzlich zu den Voraussetzungen nach KEG Art. 20 Abs. 1:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a. die während des Baus gewonnenen Erkenntnisse die Eignung des Standortes bestätigen</li> <li>b. die Rückholung der radioaktiven Abfälle bis zu einem allfälligen Verschluss ohne grossen Aufwand möglich ist</li> </ol>	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.	KEV Art. 10 Abs. 1

Tab. A.1-1: (Fortsetzung)

Vorgaben	Referenz
<b>Geologische Tiefenlager: Auslegung</b>	
<p>Ein geologisches Tiefenlager ist so auszulegen, dass:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a. die Grundsätze von KEG Art. 10 Abs. 1 [Grundsätze für die Auslegung von Kernkraftwerken, s.o.] sinngemäss erfüllt werden</li> <li>b. die Langzeitsicherheit durch gestaffelte passive Sicherheitsbarrieren gewährleistet wird</li> <li>c. Vorkehrungen zur Erleichterung von Überwachung und Reparaturen des Lagers oder zur Rückholung der Abfälle die passiven Sicherheitsbarrieren nach dem Verschluss des Lagers nicht beeinträchtigen</li> <li>d. 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
Die HSK wird beauftragt, spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager in Richtlinien zu regeln.	KEV Art. 11 Abs. 3
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
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
Die Ergebnisse der Überwachung 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>a. Die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse müssen mit denjenigen des Hauptlagers vergleichbar sein</li> <li>b. Das Pilotlager muss vom Hauptlager räumlich und hydraulisch getrennt sein</li> <li>c. Die Bauweise des Pilotlagers und die Art der Einlagerung der Abfälle und der Verfüllung müssen dem Hauptlager entsprechen</li> <li>d. Das Pilotlager muss eine repräsentative kleine Menge von Abfällen enthalten</li> </ol>	KEV Art. 66 Abs. 3
Während des Betriebs des Tiefenlagers ist die Versiegelung von Kavernen und Stollen zu erproben und deren Funktionstüchtigkeit nachzuweisen.	KEV Art. 65 Abs. 3
Der Eigentümer eines geologischen Tiefenlagers hat nach Einlagerung der Abfallbinde die Lagerkavernen und -stollen zu verfüllen und die für die Langzeitsicherheit und die Sicherung massgebenden Teile zu versiegeln	KEV Art. 67 Abs. 1
<p>Mit dem Verschluss hat [der Eigentümer des geologischen Tiefenlagers] insbesondere zu gewährleisten, dass:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a. keine unzulässige Freisetzung von Radionukliden über die verfüllten Zugänge erfolgt</li> <li>b. die vor der Errichtung des Tiefenlagers bestehende Trennung der wasserführenden Gesteinsschichten langfristig wieder hergestellt wird</li> <li>c. die Markierung des geologischen Tiefenlagers dauerhaft ist</li> </ol>	KEV Art. 69 Abs. 3
Schutzziele und Schutzkriterien für die geologischen Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis (in Vorbereitung)	HSK-G03 (HSK in Vorb.)

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
Allgemeine Pflichten des Betriebsbewilligungsinhabers (inkl. Betriebssicherheit)	KEG Art. 22
<b>Geologische Tiefenlager: Spezifische Vorgaben für die Beobachtungsphase und den Verschluss</b>	
<p>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.</p> <p>Der Bundesrat ordnet nach Ablauf der Beobachtungsphase die Verschlussarbeiten an. Nach ordnungsgemäsem Verschluss kann er eine weitere, befristete Überwachung anordnen. Nach ordnungsgemäsem Verschluss oder nach Ablauf der Überwachungsfrist stellt der Bundesrat fest, dass das Lager nicht mehr der Kernenergiegesetzgebung untersteht. Der Bund kann weitergehende Massnahmen nach diesem Zeitpunkt, insbesondere eine Umweltüberwachung, durchführen.</p>	KEG Art. 39 und KEV Art. 42
Eine Beobachtungsphase von 50 Jahren wird vorausgesetzt.	SEFV Art. 3 und 8
<b>Geologische Tiefenlager: Dokumentation, Markierung und Schutzbereich</b>	
<p>Der Eigentümer eines geologischen Tiefenlagers muss eine Dokumentation erstellen, die für eine langfristige Sicherstellung der Kenntnisse über das geologische Tiefenlager geeignet ist.</p> <p>Die Dokumentation muss enthalten:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Lage und Ausdehnung der Untertagebauten</li> <li>b. Inventar der eingelagerten radioaktiven Abfälle, in Art und Menge aufgeteilt nach den Lagerräumen</li> <li>c. Auslegung der technischen Sicherheitsbarrieren einschliesslich der Versiegelung der Zugänge</li> <li>d. Grundlagen und Ergebnisse der endgültigen Analyse der Langzeitsicherheit</li> </ol>	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
<p>Der Bundesrat legt die Kriterien für den Schutzbereich fest. Ein provisorischer Schutzbereich wird bei der Erteilung der Rahmenbewilligung definiert. Bei der Erteilung der Betriebsbewilligung wird er definitiv festgelegt.</p> <p>Der Bundesrat sorgt dafür, dass die Informationen über das Lager, die eingelagerten Abfälle und den Schutzbereich aufbewahrt werden und die Kenntnisse darüber erhalten bleiben.</p>	KEG Art. 40 bzw. KEV Art. 70
Der Bundesrat schreibt die dauerhafte Markierung des Lagers vor. Mit dem Verschluss hat der Eigentümer des geologischen Tiefenlagers insbesondere zu gewährleisten, dass die Markierung des geologischen Tiefenlagers dauerhaft ist.	KEG Art 40 bzw. KEV Art. 69 Abs. 3

Tab. A.1-1: (Fortsetzung)

Vorgaben	Referenz
<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 Sicherheitsbewertungen 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, inkl. Einteilung der Kernmaterialien und radioaktiven Abfälle	HSK-R-49 (HSK 2003a) sowie KEV Art. 9 und Anhang 2
Der Betriebsbewilligungsinhaber hat für diejenigen Bereiche, in denen sich Kernmaterialien befinden, Materialbilanzzone festzulegen.	Safeguards- verordnung Art. 6 Abs. 1
Der Betriebsbewilligungsinhaber hat eine Materialbilanzzone derart zu begrenzen, dass Bestand und Transporte von Kernmaterialien über die Zonengrenzen jederzeit festgestellt werden können.	Safeguards- verordnung Art. 6 Abs. 2
Der Betriebsbewilligungsinhaber hat über den Bestand von Kernmaterialien in jeder Materialbilanzzone laufend Buch zu führen und dem Bundesamt die relevanten Berichte einzureichen.	Safeguards- verordnung Art. 7 und 8

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

Phase / Meilenstein	Genehmigungen, Bewilligungen und Freigaben	Referenz
<b>Standortwahl:</b>		
SGT-Etappe 1 (Bearbeitung, Genehmigung)	Genehmigung Objektblätter der Etappe 1 (Stufe Vororientierung) für geologische Standortgebiete und Planungspereimeter	Konzept SGT (BFE 2008)
SGT-Etappe 2 (Bearbeitung, Genehmigung)	Genehmigung Objektblätter der Etappe 2 (Stufe Zwischenergebnis) für mindestens je 2 Standorte	Konzept SGT (BFE 2008)
Vorbereitung Rahmen- bewilligungsgesuch (RBG)	Bewilligung Feldarbeiten (erdwissenschaftliche Untersuchungen) im Hinblick auf das RBG	KEG Art. 35-36
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)
RBG (Vorbereitung, Prüfung, Bewilligungs- prozess)	Rahmenbewilligung	KEG Art. 12-14
Untertägige Exploration (Vorbereitung, Durchführung)	Bewilligung für Felslabor (Teil der erdwissenschaftlichen Untersuchungen 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
<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	KEV Art. 29 & Anhang 4
	Ggf. Freigabe von freigabepflichtigen Änderungen in der Anlage	KEV Art. 40
Vorbereitung Beobachtungsphase	Anordnungen des Departements für die Beobachtungsphase	KEG Art. 39 KEV Art. 68

Tab. A.1-2: (Fortsetzung)

<b>Phase / Meilenstein</b>	<b>Genehmigungen, Bewilligungen und Freigaben</b>	<b>Referenz</b>
<b>Verschluss:</b>		
Vorbereitung Verschluss Gesamtanlage	Bewilligung für den Verschluss der Gesamtanlage	KEG Art. 39 und 63
Periodische Aktualisierungen	Anpassung Entsorgungsprogramm	KEV Art. 52 Abs. 2
	Berechnung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten	SEFV Art. 4

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 1 (Vororientierung)	Berichte mit: – Festlegung der Abfallzuteilung auf die geologischen Tiefenlager – Ableitung von Anforderungen an die Geologie (basierend auf orientierenden Sicherheitsbetrachtungen) – Vorschlag von geologischen Standortgebieten und deren Begründung – Grundlagen für die raumplanerische Bestandesaufnahme	Konzept SGT
Genehmigung Objektblätter SGT-Etappe 2 (Zwischenergebnis)	Bericht mit Dokumentation der vorgeschlagenen Standorte und deren Begründung, inkl. provisorische Sicherheitsanalysen und Bewertung von raumplanerischen Aspekten und Aspekten der Umweltverträglichkeit	Konzept SGT
Bewilligung Feldarbeiten	a. Untersuchungsprogramm b. Geologischer Bericht c. Bericht über mögliche Auswirkungen der Untersuchungen auf Geologie und Umwelt d. Übersichtskarten und -pläne e. Gewünschte Dauer der Bewilligung	KEV Art. 58
Genehmigung Objektblatt SGT-Etappe 3 (Festsetzung)	Bericht zur Begründung des gewählten Standortes SMA bzw. HAA  Bericht über die Abstimmung mit der Raumplanung  (Die obigen zwei Berichte sind identisch mit denjenigen für die Rahmenbewilligungsgesuche)	Konzept SGT
Rahmenbewilligung	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 b. Umweltverträglichkeitsbericht (UVP Stufe 1) c. Bericht über die Abstimmung mit der Raumplanung d. Konzept für die Beobachtungsphase und den Verschluss. 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.	a, c – d: KEV Art. 23  b: USG Art. 9, UVPV Art. 6 sowie Anhang, Kapitel 4  e: KEV Art. 62

Tab. A.1-3: (Fortsetzung)

<b>Genehmigungen, Bewilligungen</b>	<b>Einzureichende Unterlagen</b>	<b>Referenz</b>
Bewilligung für Felslabor (erdwissenschaftliche Untersuchungen)	<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
Nukleare Baubewilligung	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Anlagenkonzepte / Auslegungsgrundlagen gem. 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 Projektes mit der Rahmenbewilligung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a – g: KEV Art. 24 Abs. 2</li> <li>b: USG Art. 9, UVPV Art. 6 sowie Anhang, Kapitel 4</li> </ul>
Nukleare Betriebsbewilligung	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Organisatorische und technische Dokumente</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> <li>e. Sicherheits- und Sicherungsbericht</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a – d: KEV Art. 28 Abs. 1</li> <li>e: KEV, Anhang 3</li> </ul>
Anordnungen für Beobachtungsphase	<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
Periodische Aktualisierungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Angepasstes Entsorgungsprogramm</li> <li>– Berichte zur Berechnung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>KEV Art. 52 Abs. 2</li> <li>SEFV Art. 4</li> </ul>



## Anhang A.2: Ausgangslage, Handlungsspielraum und Flexibilität

Tab. A.2-1: Elemente des Entsorgungskonzepts.

Ausgangslage bzw. Referenzfall bezüglich weiterem Vorgehen und vorhandener Handlungsspielraum zur Optimierung der Anlagen sowie erforderliche Flexibilität zur Berücksichtigung möglicher zukünftiger Entwicklungen insbesondere bzgl. einzulagernder Abfälle

	<b>Thema</b>	<b>Ausgangslage bzw. Referenzfall bezüglich weiterem Vorgehen (inkl. Vorgaben und Anforderungen)</b>	<b>Vorhandener Handlungsspielraum, erforderliche Flexibilität</b>
<b>1</b>	<b>Radioaktive Abfälle</b>		
1.1	Abfallinventar (Menge, Art); KKW-Szenarien; Brennstoffkreislauf; Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung (Kap. 2)	<p>Abfälle aus bestehenden KKW bei 50-jähriger Betriebsdauer</p> <p>Brennstoffkreislauf: Wiederaufarbeitung der abgebrannten Brennelemente beschränkt auf die bis Mitte 2006 abgewickelten Verträge</p> <p>MIF-Abfälle aus der Sammelperiode bis 2050; MIF-Abfälle auch in Zukunft in ähnlicher Art, wie sie heute anfallen</p>	<p>Erhalt genügender Flexibilität zum Umgang mit zusätzlichen KKW-Abfällen wegen Verlängerung der Betriebsdauer der bestehenden KKW bzw. wegen absehbarer neuer KKW</p> <p>Flexibilität in Anlagen und Konzepten vorhanden, um nach Ablauf des Moratoriums (Juli 2016) erneut mit der Wiederaufarbeitung zu beginnen</p> <p>Erhalt genügender Flexibilität zum Umgang mit zusätzlichen MIF-Abfällen wegen Verlängerung der Sammelperiode der MIF-Abfälle (alternative KKW-Szenarien, Übernahme der Lager durch den Bund, etc.)</p> <p>Es besteht Flexibilität in Anlagen und Konzepten bezüglich Umgang mit Abfällen aus anderen Quellen (andere Art von Abfällen)</p>
1.2	Konditionierung, Charakterisierung und Inventarisierung der Abfälle (Kap. 2)	Konditionierung, Charakterisierung und Inventarisierung der heute anfallenden Abfälle gemäss heutigen Verfahren bzw. der zukünftig anfallenden Abfälle gemäss heute vorgesehenen Konzepten	<p>Handlungsspielraum vorhanden, um Konditionierverfahren zukünftig anfallender Abfälle an neue Erkenntnisse anzupassen (z.B. infolge Aktualisierung Stilllegungsstudien)</p> <p>Handlungsspielraum vorhanden, um bei Bedarf die Konditionierverfahren heute anfallender Abfälle zu verbessern und bestehende Abfälle nachzubehandeln</p>

Tab. A.2-1: (Fortsetzung)

	Thema	Ausgangslage bzw. Referenzfall bezüglich weiterem Vorgehen (inkl. Vorgaben und Anforderungen)	Vorhandener Handlungsspielraum, erforderliche Flexibilität
<b>2</b>	<b>Zwischenlagerung und Transporte</b>		
2.1	Zwischenlagerung (Kapazität, Betriebszeiten) (Kap. 6)	Die Zwischenlager sind für den Bedarf der heutigen KKW bzw. der heute erwarteten MIF-Abfälle ausgelegt.  Betriebszeiten entsprechend den Zeitplänen der geologischen Tiefenlager gemäss Kostenstudie 2006 (Betriebszeiten SMA: 2035 – 2050; HAA: 2050 – 2064)	Flexibilität grundsätzlich vorhanden, um Zwischenlager bei Bedarf zu erweitern bzw. neue Zwischenlager zu erstellen als Folge einer Änderung der KKW-Szenarien bzw. der Menge an MIF-Abfällen.  Flexibilität vorhanden, um Betriebszeiten an neue Bedürfnisse anzupassen (z.B. bei Verzögerung der Betriebsaufnahme der geologischen Tiefenlager, neue KKW)
2.2	Transporte (Kap. 3, Kap. 6)	Die im 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	Flexibilität vorhanden zur Berücksichtigung von neuen Erfahrungen, technischen Neuerungen und neuen Vorschriften (Infrastruktur, Transportbehälter, Fahrzeuge)
<b>3</b>	<b>Geologische Tiefenlager</b>		
3.1	Entsorgungs- und Lagerkonzept		
3.1.1	Entsorgung im Ausland (Kap. 3, Kap. 5)	Entsorgung aller Abfälle in der Schweiz	Flexibilität bis Baubeginn vorhanden zur gemeinsamen Entsorgung (eines Teils) der Abfälle mit anderen Ländern im Ausland

Tab. A.2-1: (Fortsetzung)

	<b>Thema</b>	<b>Ausgangslage bzw. Referenzfall bezüglich weiterem Vorgehen (inkl. Vorgaben und Anforderungen)</b>	<b>Vorhandener Handlungsspielraum, erforderliche Flexibilität</b>
<b>3</b>	<b>Geologische Tiefenlager</b>		
3.1	Entsorgungs- und Lagerkonzept		
3.1.2	Sicherheits- und Lagerkonzepte; Auslegung Lagerkomponenten (Lagerkammern, Verfüllung, Endlagerbehälter, Versiegelung und Verschluss) (Kap. 3)	Multibarrierenkonzept, mit Lagerauslegung gemäss heutigen Konzepten. Die detaillierte Anordnung der Lagerkammern und Ausgestaltung der technischen Barrieren für das nukleare Baugesuch berücksichtigt die Abfallzuteilung und die standortspezifische geologische Situation	Handlungsspielraum im Ablauf vorhanden, um die Anordnung und Auslegung der Lagerkomponenten (inkl. Technologie) an neue Erkenntnisse (Fortschritt Standorterkundung, Erfahrungen in anderen Programmen) anzupassen
3.1.3	Technologie für den Bau, Betrieb und Verschluss der Lager (Kap. 3)	Konzepte zur Technologie sind vorhanden; die detaillierte Auslegung erfolgt für das nukleare Bau- und Betriebsgesuch unter Berücksichtigung neuer Erfahrungen (auch in ausländischen Programmen)	Handlungsspielraum ist im Ablauf vorhanden, damit bei Bedarf die Auslegung der Anlagen an neue Erkenntnisse angepasst werden kann
3.1.4	Rückholbarkeit und Überwachung (Kap. 3)	Rückholbarkeit und Überwachung sind integraler Bestandteil der Lagerkonzepte: Konzepte zur Technologie sind vorhanden. Die detaillierte Auslegung erfolgt für das nukleare Baugesuch	Handlungsspielraum ist im Ablauf vorhanden, um den Erkenntniszuwachs zu berücksichtigen und für das nukleare Baugesuch die Technologie zur Rückholung gemäss dem Stand der Technik auszulagern und die Überwachung mit aktueller Technologie auf die dazumal als relevant beurteilten Phänomene zu fokussieren
3.1.5	Lagerkapazität und Art der Abfälle (Kap. 3)	Lagerkapazität für Abfälle aus bestehenden KKW bei 50-jähriger Betriebsdauer und MIF-Abfälle aus der Sammelperiode bis 2050 (Ende der Einlagerung der KKW-Abfälle in das SMA-Lager), Art der Abfälle gemäss heutigen Konzepten. Im Platzbedarf für die Standortwahl sind die absehbaren KKW zu berücksichtigen	Erhalt von Flexibilität in den Lagerkonzepten zur bedarfsweisen Erweiterung der Lagerkapazität. Erhalt von Flexibilität in den Lagerkonzepten zur Berücksichtigung neuer Abfallarten

Tab. A.2-1: (Fortsetzung)

	Thema	Ausgangslage bzw. Referenzfall bezüglich weiterem Vorgehen (inkl. Vorgaben und Anforderungen)	Vorhandener Handlungsspielraum, erforderliche Flexibilität
<b>3</b>	<b>Geologische Tiefenlager</b>		
3.1	Entsorgungs- und Lagerkonzept		
3.1.6	Abfallzuteilung (Kap. 4)	Auf die Geologie (Wirtgestein, Langzeitstabilität) abgestimmte Abfallzuteilung gemäss heutigen Konzepten; die detaillierte Regelung der Abfallzuteilung bzw. Anforderungen an die einzulagernden Abfälle erfolgt in der Bau- bzw. Betriebsbewilligung aufgrund der effektiv vorgefundenen Verhältnisse	Handlungsspielraum ist im Ablauf vorhanden für optimales Vorgehen
3.2	Standort – Festlegung des Standorts bezüglich Geologie		
3.2.1	Standort – Geologie: Grossräume, mögliche Wirtgesteine und ihre Konfiguration (Standort) (Kap. 3)	Mögliche Grossräume hängen von der erforderlichen Langzeitstabilität ab (abhängig vom zuteilten Abfallinventar) Für SMA gibt es verschiedene mögliche Wirtgesteine; für HAA ist der Opalinuston das von der Nagra bevorzugte Wirtgestein Für die verschiedenen Wirtgesteine gibt es verschiedene mögliche Konfigurationen (Tiefenlage, Ausdehnung, etc.)	Handlungsspielraum ist vorhanden für sicherheitsbezogene Wahl geeigneter Grossräume und Wirtgesteine  Bei der Standortwahl ist genügend Reserve im Platzangebot vorzusehen zum Erhalt der Flexibilität für die bedarfsweise spätere Erweiterung der Lagerkapazität
3.2.2	Standort – Anordnung der untertägigen Lagerbauten (Kap. 3)	Die Anordnung und detaillierte Auslegung der untertägigen Lagerbauten berücksichtigt das effektiv einzulagernde Abfallinventar und die standort-spezifischen Gegebenheiten gemäss den standort-spezifischen Felduntersuchungen	Erhalt von genügend Handlungsspielraum im Ablauf, um die detaillierte Auslegung der Lagerbauten (inkl. Technologie) an neue Erkenntnisse (Fortschritt Standorterkundung, Erfahrungen in anderen Programmen) und an das effektiv einzulagernde Abfallinventar anzupassen

Tab. A.2-1: (Fortsetzung)

	Thema	Ausgangslage bzw. Referenzfall bezüglich weiterem Vorgehen (inkl. Vorgaben und Anforderungen)	Vorhandener Handlungsspielraum, erforderliche Flexibilität
<b>3</b>	<b>Geologische Tiefenlager</b>		
3.3	Standort – Anordnung und Gestaltung der Oberflächeninfrastruktur (inkl. Zufahrt und Erschliessung), inkl. Auslegung (Kap. 3)	Anordnung und räumliche Gestaltung der Oberflächeninfrastruktur: Der Platzbedarf für die Oberflächeninfrastruktur ist beschränkt, so dass es für die geologisch möglichen Standorte in der Regel auch verschiedene Möglichkeiten der Anordnung gibt. Die raumplanerischen Möglichkeiten und deren Umweltverträglichkeit werden breit evaluiert. Die behördlichen Verfahren führen zu einer Abstimmung mit der Raumplanung und zu einer Umweltverträglichkeitsprüfung	Das Sachplanverfahren gewährleistet genügend Handlungsspielraum für Optimierung bezüglich Raumplanung und Umweltverträglichkeit und untersucht systematisch und breit die möglichen Alternativen
3.4	Standort – Nachweis der Sicherheit (Kap. 3)	Auslegung der Oberflächeninfrastruktur gemäss heutigen Konzepten  Langzeitsicherheit: es wurde ein guter Kenntnisstand erreicht; es folgen weitere stufengerechte Analysen unter Berücksichtigung der Resultate aus den F+E-Programmen und den standortbezogenen Daten  Betriebsicherheit: es ist grosse Erfahrung bzgl. Analyse der Sicherheit des Betriebs von Kernanlagen vorhanden; es folgen stufengerechte Analysen unter Berücksichtigung der weltweit vorhandenen Erfahrungen	Erhalt von genügend Handlungsspielraum, um stufengerecht die Auslegung der Oberflächeninfrastruktur an neue Erkenntnisse (insbesondere Fortschritt in der Technologie und neue Erfahrungen in anderen Programmen) anzupassen  Bei jeder Bewilligung werden die Langzeit- und Betriebssicherheit unter Berücksichtigung der neu angefallenen Erkenntnisse neu evaluiert. Es ist genügend Handlungsspielraum zu erhalten für allfällig notwendige Anpassungen der Anlage und Änderungen im F+E-Programm aufgrund der Resultate der Sicherheitsanalyse

Tab. A.2-2: Umgang mit bestehendem Handlungsspielraum und mit vorhandener Flexibilität zur Berücksichtigung zukünftiger Entwicklungen

Umgang mit bestehendem Handlungsspielraum zur Optimierung der geologischen Tiefenlagerung und Umgang mit vorhandener Flexibilität zur Berücksichtigung zukünftiger Entwicklungen		Entscheidungspunkte, wo die Flexibilität bezüglich zukünftiger Entwicklungen bzw. der Handlungsspielraum zur Optimierung der Anlagen genutzt wird
Thema	Fragestellungen (Alternativen in zukünftiger Entwicklung, Möglichkeiten zur Optimierung)	
<b>1</b>	<b>Radioaktive Abfälle</b>	
1.1	Abfallinventar (Menge, Art): KKW-Szenarien; Brennstoffkreislauf; Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung	<p>Die Energiepolitik und die Industrie werden zu gegebener Zeit entscheiden, ob, wann und in welchem Umfang das jetzige KKW-Szenarium mit den heutigen Werken mit 50 Jahren Betrieb erweitert wird.</p> <p>Der Bund entscheidet zu gegebener Zeit, ob, wann und in welchem Umfang MIF-Abfälle über die heute geplanten Mengen hinaus zu berücksichtigen sind.</p> <p>Nach Ablauf des Moratoriums kann die Wiederaufarbeitung wieder aufgenommen werden; die Auslegung der geologischen Tiefenlager lässt die Lagerung der resultierenden Abfälle zu.</p> <p>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.</p>
1.2	Konditionierung, Charakterisierung und Inventarisierung der Abfälle	<p>Anpassung der erforderlichen Lagerkapazität der geologischen Tiefenlager</p> <p>Erweiterung der Art der in den geologischen Tiefenlager einzulagernden Abfälle (zukünftige Wiederaufarbeitung, neue Arten von MIF-Abfällen)</p> <p>Zu jedem Zeitpunkt können bei Bedarf die bestehenden bzw. geplanten Konditionierverfahren modifiziert werden. Falls erforderlich, können auch Nachkonditionierungen erfolgen. Für beides sind die Bewilligungsverfahren definiert und die Methodik und Instrumente zur Beurteilung der Endlagerfähigkeit vorhanden.</p>

Tab. A.2-2: (Fortsetzung)

	Thema	Fragestellungen (Alternativen in zukünftiger Entwicklung, Möglichkeiten zur Optimierung)	Entscheidungspunkte, wo die Flexibilität bezüglich zukünftiger Entwicklungen bzw. der Handlungsspielraum zur Optimierung der Anlagen genutzt wird
<b>2</b>	<b>Zwischenlagerung und Transporte</b>		
2.1	Zwischenlagerung (Kapazität, Betriebszeiten)	Erweiterung der vorhandenen Zwischenlager-Kapazität  Anpassung der Betriebszeiten der bestehenden Zwischenlager	Bei Bedarf können die Zwischenlager jederzeit erweitert bzw. neue Zwischenlager erstellt werden. Dazu sind die notwendigen Bewilligungsverfahren zu durchlaufen (inkl. Beteiligung der Öffentlichkeit).  Die Betriebszeiten können grundsätzlich jederzeit den Bedürfnissen angepasst werden. Die dazu notwendigen administrativen und technischen Massnahmen müssen frühzeitig eingeleitet werden.
2.2	Transporte	Technologie und Infrastruktur für Transporte sowie für Be- und Entladung der Transportbehälter	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>3</b>	<b>Geologische Tiefenlager</b>		
3.1	Entsorgungs- und Lagerkonzept		
3.1.1	Entsorgung im Ausland		Der abschliessende Entscheid über die Entsorgung (eines Teils) der Abfälle im Ausland muss spätestens direkt vor Baubeginn des entsprechenden geologischen Tiefenlagers erfolgen.

Tab. A.2-2: (Fortsetzung)

	Thema	Fragestellungen (Alternativen in zukünftiger Entwicklung, Möglichkeiten zur Optimierung)	Entscheidungspunkte, wo die Flexibilität bezüglich zukünftiger Entwicklungen bzw. der Handlungsspielraum zur Optimierung der Anlagen genutzt wird
<b>3</b>	<b>Geologische Tiefenlager</b>		
3.1	Entsorgungs- und Lagerkonzept		
3.1.2	Sicherheits- und Lagerkonzepte, Auslegung Lagerkomponenten (technische Barrieren)	Auslegung der geologischen Tiefenlager	<p>Das Sicherheits- und Lagerkonzept wird 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 Alternativen offen gehalten.</p> <p>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.</p>
3.1.3	Technologie für den Bau, Betrieb und Verschluss der Lager (über- und untertägige Anlagen)	Auslegung der Technologie für den Bau, Betrieb und Verschluss	<p>Die notwendige Technologie wird auf Stufe Konzept für das Rahmenbewilligungsgesuch festgelegt. Auf Stufe Rahmenbewilligung können für ausgewählte Elemente alternative Konzepte offen gehalten werden.</p> <p>Die detaillierte Festlegung der Technologie erfolgt für das nukleare Baubewilligungsgesuch basierend auf dem dann aktuellen Kenntnisstand.</p>

Tab. A.2-2: (Fortsetzung)

	Thema	Fragestellungen (Alternativen in zukünftiger Entwicklung, Möglichkeiten zur Optimierung)	Entscheidungspunkte, wo die Flexibilität bezüglich zukünftiger Entwicklungen bzw. der Handlungsspielraum zur Optimierung der Anlagen genutzt wird
<b>3</b>	<b>Geologische Tiefenlager</b>		
3.1	Entsorgungs- und Lagerkonzept		
3.1.4	Rückholbarkeit und Überwachung	Auslegung der Geräte zur Rückholung der Abfälle, Ausgestaltung des Pilotlagers (inkl. Instrumentierung) und der weiteren Elemente der Überwachung	Im Rahmenbewilligungsgesuch werden die Konzepte dargestellt, die detaillierte Auslegung erfolgt für das nukleare Baubewilligungsgesuch.
3.1.5	Lagerkapazität und Art der Abfälle	Lagerkapazität der geologischen Tiefenlager und Auslegung des Lagers	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 Erweiterung 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.
3.1.6	Abfallzuteilung	Abfallzuteilung auf die verschiedenen geologischen Tiefenlager	Die Abfallzuteilung erfolgt konzeptuell im Rahmen der Standortwahl (SGT-Etappe 1). Die Kategorien des Lagergutes 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 (Standortigenschaften nach vollständiger Exploration, detaillierte Auslegung des Lagers und der technischen Barrieren) und den dann zumal für die Einlagerung vorgesehenen Abfällen.

Tab. A.2-2: (Fortsetzung)

	Thema	Fragestellungen (Alternativen in zukünftiger Entwicklung, Möglichkeiten zur Optimierung)	Entscheidungspunkte, wo die Flexibilität bezüglich zukünftiger Entwicklungen bzw. der Handlungsspielraum zur Optimierung der Anlagen genutzt wird
<b>3</b>	<b>Geologische Tiefenlager</b>		
3.2	Standort		
3.2.1	Standort – Geologie: Grossräume, mögliche Wirtgesteine und ihre Konfiguration (Standort)	Für jedes der Lager: Wahl des geologischen Grossraums, des Wirtgesteins, des Standortgebiets und des Lagergebietes (untertägiger Perimeter) zur Anordnung der untertägigen Lagerbauten	In SGT-Etappe 1 werden Grossräume und Wirtgesteine ausgewählt und Standortgebiete vorgeschlagen und in Objektblättern genehmigt. In SGT-Etappe 2 werden innerhalb der Standortgebiete Standorte bezeichnet und evaluiert und daraus mindestens je 2 Standorte ausgewählt bzw. genehmigt. Die Möglichkeiten werden systematisch ausgewertet, wobei der Sicherheit Priorität gegeben wird. Für je einen Standort wird das Rahmenbewilligungsgesuch vorbereitet. Die Festlegung des Standorts (inkl. untertägiger Perimeter zur Anordnung der Lagerkammern) erfolgt über die Rahmenbewilligung.
3.2.2	Standort – Anordnung der untertägigen Lagerbauten	Detaillierte Anordnung der untertägigen Lagerbauten	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.2-2: (Fortsetzung)

	Thema	Fragestellungen (Alternativen in zukünftiger Entwicklung, Möglichkeiten zur Optimierung)	Entscheidungspunkte, wo die Flexibilität bezüglich zukünftiger Entwicklungen bzw. der Handlungsspielraum zur Optimierung der Anlagen genutzt wird
<b>3</b>	<b>Geologische Tiefenlager</b>		
3.3	Standort – Anordnung und räumliche Gestaltung der Oberflächeninfrastruktur, Auslegung der Oberflächeninfrastruktur	Anordnung und räumliche Gestaltung der Oberflächeninfrastruktur	<p>In SGT-Etappe 2 werden die Möglichkeiten zur Anordnung und Gestaltung der Oberflächeninfrastruktur identifiziert, evaluiert und je 2 Standorte (inkl. räumliche Anordnung der Oberflächeninfrastruktur) vorgeschlagen und in Objektblättern genehmigt. Mit der Rahmenbewilligung und der Festsetzung gemäss SGT wird der Perimeter zur Anordnung der Oberflächenanlagen und ihre räumliche Gestaltung in den Grundzügen festgelegt.</p> <p>Konzepte zur Ausgestaltung werden für das Rahmenbewilligungsgesuch, die detaillierte Ausgestaltung wird für das nukleare Baubewilligungsgesuch ausgearbeitet.</p>
3.4	Sicherheit	Umgang mit Erkenntnissen aus periodischen Sicherheitsberichten	<p>Für die verschiedenen Entscheidungspunkte sind die Sicherheitsberichte zu aktualisieren und an die neuen Erkenntnisse und getroffenen Entscheide (Abfälle, Lagerauslegung) anzupassen. Das sicherheitsbezogene F+E-Programm und die Lagerauslegung haben die Erkenntnisse aus den Sicherheitsberichten und ihrer Begutachtungen zu berücksichtigen im Hinblick auf eine optimale Auslegung der Anlagen.</p>



### Anhang 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 interessierender Gesteinsschichten, Zustandsparameter, standortspezifische Langzeitentwicklung, etc.)</li> <li>– Regionale geologische Untersuchungen (Langzeitentwicklung, allgemeine Geologie, etc.; teilweise standortunabhängig)</li> <li>– Vertiefung des Prozessverständnisses (Transportmechanismen, Gasfreisetzung, Selbstabdichtung, gekoppelte Phänomene, Felsmechanik, etc.; teilweise standortunabhängig)</li> <li>– Synthesen und Berichterstattung, inkl. geologische Datensätze für den Bau der Lageranlagen und für die Beurteilung der Sicherheit (teilweise standortbezogen)</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>– Methodik der Sicherheitsanalysen (standortunabhängig)</li> <li>– Evaluation der Immobilisierungs-, Retardierungs- und Transportphänomene für Radionuklide (insbesondere bzgl. Geochemie) in den technischen und geologischen Barrieren und deren Berücksichtigung in den Modellen der Sicherheitsanalyse (teilweise standortunabhängig)</li> <li>– Modellierung der Biosphäre zur Berechnung von Personen-Dosen aus Radionuklidfreisetzungsraten (für Langzeitsicherheit teilweise standortunabhängig)</li> <li>– Berichte zur Langzeitsicherheit (teilweise standortbezogen)</li> <li>– Berichte zur Sicherheit der Betriebsphase (mehrheitlich standortunabhängig, Systembezogen)</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Radioaktive Materialien und Abfälle (standortunabhängig)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Charakterisierung, Konditionierung und Inventarisierung der anfallenden Materialien und Abfälle, inkl. Evaluation der zukünftig anfallenden radioaktiven Materialien und Abfälle (Menge, Eigenschaften)</li> <li>– Erstellung der Unterlagen zur Abfalllogistik (Input zur Planung des Lagerbetriebs)</li> <li>– Beratung der Abfallverursacher, inkl. Aktualisierung der Annahmebedingungen</li> <li>– Überprüfung der verwendeten bzw. vorgesehenen Konditioniermethoden, inkl. Evaluation neuer Konditionierverfahren (inkl. Möglichkeit der Nachkonditionierung)</li> <li>– Evaluation der sicherheitsbezogenen Eigenschaften der Abfälle (inkl. Korrosion der hochaktiven Gläser und Radionuklidfreisetzung aus abgebrannten Brennelementen)</li> </ul> </li> </ul>

Tab. A.3-1: (Fortsetzung)

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Auslegung und späterer Bau, Betrieb und Verschluss der geologischen Tiefenlager,</b> mit folgenden Schwerpunkten der Arbeiten für die nächste Zeit <ul style="list-style-type: none"> <li>– Generische Konzepte und Projekte zu Modulen des Lagers, bestehend aus baulicher Gestaltung und betrieblichen Abläufen (nur bedingt vom Standort abhängig)</li> <li>– Auf die spezifischen Standortbedingungen angepasste Auslegungskonzepte / -projekte, inkl. betriebliche Abläufe (standortbezogen)</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 (standortunabhängig)</li> <li>- Verfüllmaterial (standortunabhängig)</li> <li>- Versiegelung: Material, System (standortunabhängig)</li> </ul> </li> <li>– Sicherheitsbezogene Eigenschaften der technischen Barrieren und des Nahfelds, inkl. Interaktion mit der umgebenden Geologie sowie Vertiefung des Prozessverständnisses für die technischen Barrieren und das Nahfeld (teilweise standortunabhängig)</li> <li>– Technologien und Methodik für: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Einlagerung der Abfälle (standortunabhängig)</li> <li>- Überwachung des Lagers (teilweise standortbezogen)</li> <li>- Rückholung der Abfälle (standortunabhängig)</li> <li>- Verschluss des Lagers, inkl. Markierung und Langzeitarchivierung (teilweise standortbezogen)</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Weitere Aspekte, inkl. 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: Beschreibung der Arbeitsschwerpunkte der nächsten Jahre (Übersicht).

- **Geologische Untersuchungen**

Bezüglich geologischer Untersuchungen sind basierend auf den für die Vororientierung Sachplan geologische Tiefenlager eingereichten Unterlagen (Nagra 2008b, Nagra 2008c) folgende Arbeiten vorgesehen (Kurzbeschreibung):

- **Ergänzung der geologischen Unterlagen für die geologischen Standortgebiete und Standorte für SGT-Etappe 2:** Dazu werden neue Informationen aus Untersuchungen Dritter einbezogen sowie neue Erkenntnisse aus der Forschung berücksichtigt. Teilweise werden auch gezielt neue Auswertungen vorgenommen.
- **Standortuntersuchungen für mindestens je 2 Standorte für SMA und HAA für SGT-Etappe 3 (teilweise bewilligungspflichtig):** Dazu werden Explorationskonzepte entwickelt und Arbeitsprogramme erstellt, welche auch in die Gesuche für erdwissenschaftliche Untersuchungen einfließen. Die Feldarbeiten umfassen insbesondere ergänzende Kartierungen, Bohrungen und Seismik. Die Resultate der Feldarbeiten werden in entsprechenden Berichten dokumentiert.
- **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 Dritter sowie von neuen geologischen Kartierungen (auf GIS-Basis), die Erstellung eines regionalen hydrogeologischen Modells, die Zusammenarbeit mit dem Schweizerischen Erdbebedienst (Messnetz Seismizität, Mikroseismik), die Beteiligung an periodischen geodätischen Messungen (Präzisions-Nivellements, GPS), Studien und Feldarbeiten zur Geomorphologie und zur glazialen Tiefenerosion.
- **Vertiefung des Prozessverständnisses zu geologischen Phänomenen (Studien, Laborarbeiten, Experimente in Felslabors):** Eine grosse Bedeutung kommt den Versuchen im Felslabor Mont Terri zu mit thematischen Schwerpunkten auf dem Transport (Diffusion) von Radionukliden, Gastransport, geomechanischem Gebirgsverhalten, gekoppelten Phänomenen (T-H-M, Selbstabdichtung), Einfluss der pH-Fahne sowie geochemischen Bedingungen (inkl. Mikrobiologie). Dazu werden auch Studien (inkl. Modellierungsarbeiten) und Laborstudien an geeignetem Probenmaterial durchgeführt. Das Prozessverständnis wird themenspezifisch in Synthesberichten dokumentiert.
- **Synthesen und Berichterstattung zur Geologie der Standorte für SGT-Etappe 2 und für SGT-Etappe 3 sowie für die Rahmenbewilligungsgesuche:** Die für die verschiedenen Standortgebiete bzw. Standorte vorgenommenen Synthesen werden in entsprechenden Berichten dokumentiert.

Tab. A.3-2: (Fortsetzung)

- **Beurteilung der Sicherheit und Abklärung sicherheitsrelevanter Phänomene**

Ausgehend von den vorhandenen Grundlagen und Erfahrungen sind folgende Themen zu vertiefen:

  - **Aktualisierung und Verbesserung der Methodik der Sicherheitsanalysen:** Basierend auf den Erfahrungen vor allem beim Entsorgungsnachweis und den entsprechenden Kommentaren in den Gutachten und Stellungnahmen der Behörden sowie aufgrund von Erfahrungen im Ausland wird die generelle Methodik der Sicherheitsanalyse überprüft und bei Bedarf angepasst. Dies betrifft z.B. den Umgang mit Ungewissheiten (FEP-Management, probabilistische Analysen), Festlegung und Begründung von deterministischen Rechenfällen (inkl. 'what-if'-Fälle) und den Aufbau der Dokumentation.
  - **Vertiefung des Verständnisses für Immobilisierungs-, Retardierungs- und Transportphänomene für Radionuklide:** Dazu gehören insbesondere geochemische Phänomene in den technischen und geologischen Barrieren (Sorption, beschränkte Löslichkeiten), in denen einerseits das Grundverständnis mit Studien und Experimenten auf verschiedenen Skalen (Labor, Experimente in Felslabors, natürliche Analoga (Profile Wasserinhaltsstoffe, etc.)) vertieft und andererseits auch die Grunddaten aktualisiert werden.
  - **Einbau neuer Erkenntnisse bzgl. geologischer Phänomene, bzgl. Immobilisierung / Retardierung / Transport und bzgl. Abfalleigenschaften in die Modelle der Sicherheitsanalyse:** Dazu gehört einerseits die Aktualisierung der Datenbasen (Inputparameter); bei Bedarf sind aber auch die Computercodes anzupassen, um die neuen Erkenntnisse besser abbilden zu können.
  - **Verbesserung der Modelle der Biosphäre zur Berechnung von Personen-Dosen aus Radionuklidfreisetzungsraten:** Dazu gehört die Überprüfung bzw. Aktualisierung der konzeptuellen Modelle sowie bei Bedarf die Anpassung der Rechen-codes. Weiter werden die generischen Datensätze (insbesondere Sorptionskoeffizienten sowie Transferfaktoren für die Radionuklidaufnahme in Pflanzen und tierischen Produkten) überprüft, mit dem internationalen Stand verglichen und bei Bedarf aktualisiert. Schliesslich werden auch die stylisierten Biosphärensituationen (Morphologie, Klima, Hydrologie, menschliches Verhalten, inkl. zugehöriger Parametrisierung) überprüft und aktualisiert.
  - **Berichte zur Langzeitsicherheit:** Für SGT-Etappe 2 sind für die verschiedenen Standorte provisorische Sicherheitsanalysen durchzuführen, die auch die Unterlagen für den Vergleich der Standorte liefern müssen (vgl. Anhang III, Kapitel 4 des SGT; BFE 2008). In Etappe 3 sind die Sicherheitsberichte für die Rahmenbewilligungsgesuche zu erarbeiten.
  - **Berichte zur Sicherheit der Betriebsphase:** Für die Rahmenbewilligungsgesuche sind Berichte zur Sicherheit der Betriebsphase zu erstellen. Dazu sind die notwendigen Grundlagen (Codes, Parameter) zu beschaffen. Durch begleitende Modellierungen (inkl. Sensitivitätsstudien) soll Input geliefert werden zur Optimierung der Konzepte zur Lageranlage und zu den Betriebsabläufen.

Tab. A.3-2: (Fortsetzung)

- **Radioaktive Abfälle und Materialien**

Ausgehend von den vorhandenen Grundlagen und Erfahrungen sind folgende Themen zu vertiefen:

- **Laufende Charakterisierung, Konditionierung und Inventarisierung der anfallenden Materialien und Abfälle:** Die anfallenden Abfälle werden dezentral bzw. zentral konditioniert. Die Grundlage für optimale Abfallprodukte sind umfangreiche Entwicklungsarbeiten, die auch künftig weitergeführt werden. Die Konditionierung wird von Produkt- und Qualitätskontrollen der Abfallprodukte und -Gebinde begleitet, wobei die relevanten Daten erfasst werden. Zur Ermittlung der radiologischen Inventare wird die produktionsbegleitende Charakterisierung fortgeführt, die auf einer Kombination von Messprogrammen und rechnerischen Methoden (Aktivierungsrechnungen) basiert.
- **Nachführung und Aktualisierung der Datenbanken zu den radioaktiven Abfällen und Materialien:** Die aus den oben genannten Arbeiten sowie den Endlagerfähigkeitsbeurteilungen gewonnenen Daten werden von der Nagra in die Zentrale Datenbewirtschaftung (ZDB) des Informationssystems für radioaktive Materialien (ISRAM) aufgenommen, die sämtliche in der Schweiz konditionierten Gebinde enthält. Darüber hinaus wird das Modellhafte Inventar für radioaktive Materialien (MIRAM) weitergeführt, welches auch die erst zukünftig anfallenden radioaktiven Materialien und Abfälle mit Kenndaten (Nuklid- und Materialinventare, Mengen, sonstige Eigenschaften) enthält. Sowohl für die existierenden als auch die künftigen Abfälle werden periodisch Auswertungen vorgenommen, z.B. jährlich in Form eines 'Faktenblatts' mit Mengen und Inventaren. MIRAM wird periodisch überarbeitet, spätestens im Hinblick auf die Rahmenbewilligungsgesuche.
- **Beratung der Abfallverursacher:** Im Zusammenhang mit der Konditionierung der radioaktiven Abfälle berät die Nagra bei Bedarf die Abfallverursacher und koordiniert die Entwicklungsarbeiten sowie die Charakterisierungsprogramme für Rohabfälle und Abfallprodukte. Die vor allem im Zusammenhang mit der Endlagerfähigkeitsbeurteilung wichtigen Annahmebedingungen werden bei Bedarf an geänderte Randbedingungen angepasst.
- **Überprüfung der verwendeten bzw. vorgesehenen Konditioniermethoden:** Es wird eine Evaluation neuer Konditionierverfahren durchgeführt. Weiter werden im Rahmen der Sicherheitsanalysen die kritischen Abfalleigenschaften (Gasbildung, Komplexbildner, etc.) evaluiert.
- **Vertiefung des Verständnisses bzgl. sicherheitsbezogener Eigenschaften der Abfälle:** Für ausgewählte Eigenschaften (Brennstoffauflösung, 'instant release fraction', Glaskorrosion, Kritikalität, Burnup-credit, etc.) wird im Rahmen von Studien und durch gezielte Laborarbeiten das Verständnis verbessert.
- **Vertiefung der Unterlagen zur Abfalllogistik:** Als Input für die Auslegung der Empfangsanlagen und für die Planung des späteren Betriebs sowie als Input für die Bewirtschaftung der Zwischenlager sind die Unterlagen zur Abfalllogistik periodisch bzw. bei Bedarf zu aktualisieren (Anlieferung der Abfallgebände, Beladung der Transportbehälter, Beladung von Endlagerbehältern, etc.).

Tab. A.3-2: (Fortsetzung)

- **Auslegung der geologischen Tiefenlager (Bau, Betrieb, Überwachung und Verschluss)**

Ausgehend von den vorhandenen Grundlagen und Erfahrungen (z.B. Entsorgungsnachweis HAA, Rahmenbewilligungsgesuch SMA) sind folgende Themen zu vertiefen:

- **Vertiefung der generischen Konzepte für verschiedene Lagermodule und für die Betriebsabläufe:** Dazu gehören Studien zur lokalen Erschließung der Oberflächenanlagen, zu den Empfangsanlagen, Schachtanlagen und Zugangstunnels, Lagerkammern, Testlager, Pilotlager, etc. unter Berücksichtigung der Lüftung und der möglichen Baumethoden. Weiter werden auch die Konzepte zum Bauablauf und zu den Betriebsabläufen (inkl. Rückholung der Abfälle) analysiert unter Berücksichtigung der Betriebssicherheit und des Strahlenschutzes. Weiter werden auch die Konzepte zur Rückholung vertieft. Diese Studien werden in der Regel in 3 Etappen durchgeführt: (i) Zusammenstellung der Grundlagen und Vorgaben; (ii) Prüfung verschiedener Lösungsansätze; (iii) Vertiefung der gewählten Variante.
- **Anpassung der generischen Konzepte an die spezifischen Standortbedingungen:** Im Rahmen der Vertiefung der Projekte in SGT-Etappe 2 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 teilweise unter Einbezug der betroffenen Regionen durchgeführt ('Partizipation').
- **Vertiefung der Konzepte zu den technischen Barrieren:** Dazu sind Studien und teilweise ergänzende Laborarbeiten und Versuche vorgesehen zu den Endlagerbehältern für BE/HAA und SMA/LMA, zur Verfüllung der Lagerkammern und zur Versiegelung. Dies umfasst die Evaluation der Materialien (inkl. ergänzende Laborstudien), die Überprüfung und ggf. Modifikation der Herstellungs- und Einbringkonzepte (inkl. Konzepte bzgl. der dabei notwendigen Qualitätssicherung).
- **Vertiefung des Verständnisses bzgl. sicherheitsbezogener Eigenschaften und Prozesse der technischen Barrieren und des Nahfeldes:** Dies umfasst ein breites Spektrum von Phänomenen, die teilweise auch gekoppelt sind ('THMC-coupled phenomena'). Das Ziel ist, die zeitliche Entwicklung der Materialeigenschaften besser zu erfassen (insbesondere im Hinblick auf den Zeitpunkt, wo die Radionuklide aus dem Behälter freigesetzt werden) sowie eine verbesserte Quantifizierung der Phänomene, welche die Immobilisierung bzw. den Transport der Radionuklide betreffen. Dazu gehören die Wiederaufsättigung des Verfüllmaterials, die Selbstabdichtung der Auflockerungszone, die Entwicklung der Porenwasserchemie, etc. Dazu sind Studien, Laborarbeiten und Experimente in Felslabors vorgesehen.
- **Vertiefung der Konzepte für die Überwachung des Lagers (Monitoring) und für die Markierung und Langzeitarchivierung:** Dazu gehören insbesondere ein Konzept für das Pilotlager und für weitere Beobachtungen im geologischen Tiefenlager (was soll wie überwacht werden?). Weiter sind erste Konzepte bzgl. der langfristigen Markierung der geologischen Tiefenlager vorzubereiten und Fragen zur langfristigen Archivierung von Unterlagen zu klären. Dazu sind verschiedene Studien geplant. Als Teil der Gesuchsunterlagen für das Rahmenbewilligungsgesuch wird ein Konzept für die Beobachtungsphase erarbeitet.

Tab. A.3-2: (Fortsetzung)

<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Weitere Aspekte, inkl. Organisation (Management und Planung)</b> Für die Abwicklung der Arbeiten wird ein geeignetes Managementsystem 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: Arbeiten gemäss Realisierungsplan mit direktem Standortbezug aus heutiger Sicht (Übersicht).

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Geologische Untersuchungen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Beurteilung der Standortmöglichkeiten</li> <li>– Vertiefte Standortuntersuchungen (Geometrie und Bestimmung bzw. Bestätigung der standortspezifischen Eigenschaften interessierender Gesteinsschichten (inkl. Wirtgestein), Bestimmung Zustandsparameter (hydraulische Potenziale, Gebirgsspannungen, Temperaturen, ...), etc.), inkl. Charakterisierung während des Baus und der Erweiterung der Anlage</li> <li>– Standortspezifische Evaluation der Langzeitentwicklung (Mikroseismik-Netz, periodische geodätische Messungen, ergänzende Feldstudien zur Neotektonik, etc.)</li> <li>– Auswertungen und periodische standortbezogene Synthese (unter Berücksichtigung der Resultate des F+E-Programms und der Resultate und Erfahrungen aus anderen Programmen)</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Periodische standortbezogene Bewertung der Sicherheit (Betrieb, Langzeitsicherheit)</b> unter Berücksichtigung der aktuellen geologischen Kenntnisse (Resultate der geologischen Synthesen), dem aktuellen Stand der Anlagenplanung und der Resultate des standortunabhängigen F+E-Programms</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Anlagenprojektierung:</b> stufengerechte Anpassung der generischen Lagerkonzepte/-projekte (Module) an die standort-spezifischen Bedingungen unter Berücksichtigung von Resultaten des standortunabhängigen F+E-Programms</li> <li>• Bau der Anlagen</li> <li>• Betrieb der Anlagen (Einlagerungsbetrieb, Beobachtungsphase)</li> <li>• Stilllegung und Verschluss der Anlagen, inkl. Vorbereitung Langzeitüberwachung, Markierung (stufengerechte Anpassung generischer Entwicklungen und Berücksichtigung von Resultaten des standortunabhängigen F+E-Programms)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Abklärung weiterer standortbezogener Aspekte</b> (Raumnutzung, Umweltverträglichkeit, etc.)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Information gemäss Informationskonzept</b></li> </ul>

Tab. A.3-4: Themen, die gemäss Realisierungsplan aus heutiger Sicht im Rahmen der standortunabhängigen Arbeiten (F+E-Programm) behandelt werden (Übersicht).

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Geologische Untersuchungen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– sicherheitsbezogene Aspekte der Geologie (v.a. Prozessverständnis), soweit sie standortunabhängig bearbeitet werden können (Transportmechanismen, Gasfreisetzung, Selbstabdichtung, gekoppelte Phänomene, etc.)</li> <li>– Phänomene zur geologischen Langzeitstabilität, soweit diese regional (standortunabhängig) bearbeitet werden können (Geodynamik, inkl. regionale geodätische Messungen, Verständnis zur glazialen Tiefenerosion, regionale Neotektonik, etc.)</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Grundlagen für die Analysen der Langzeitsicherheit:</b> Bereitstellung von Methoden, Codes und generischen Informationen und Datensätzen (FEP-Datenbanken, Löslichkeiten, Sorption, Biosphärendaten, etc.)</li> <li>• <b>Betriebssicherheit:</b> Methoden, Codes, Daten</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Informationen zu den radioaktiven Abfällen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Aktualisierung des Inventars &amp; übergeordnete Aspekte der Abfalllogistik</li> <li>– Sicherheitsbezogenes Langzeitverhalten der Abfälle (Korrosion, Degradation, Gasbildung, Einfluss Chemie, etc.)</li> <li>– Fragen zur Konditionierung von Abfällen</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Barrieren- und Anlagenkonzepte</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Auslegung der technischen Barrieren (Endlagerbehälter, Verfüllung, Versiegelung) und Evaluation ihres Langzeitverhaltens <ul style="list-style-type: none"> <li>- Behälterkonzepte/-projekte BE/HAA/LMA/SMA (inkl. Abklärungen bzgl. Materialien und Herstellungstechnologien)</li> <li>- Weiterentwicklung von Verfüll- und Versiegelungsmaterialien</li> <li>- Interaktion der technischen Barrieren (inkl. Abfälle) mit der umgebenden Geologie (Auflockerungszone, pH-Fahne, Wärmeeintrag, Gas, etc.), inkl. Modellierung gekoppelter Phänomene</li> <li>- Immobilisierung und Rückhaltung der Radionuklide (insbesondere geochemische Phänomene)</li> </ul> </li> <li>– Generische Lager- und Betriebskonzepte/-projekte unter Berücksichtigung der verschiedenen Phasen (Bau, Betrieb, Überwachung, Verschluss, Langzeitüberwachung, Markierung/Langzeitarchivierung) sowie Auslegung einzelner Anlagen-Module <ul style="list-style-type: none"> <li>- Abklärungen zum Bau der BE-/HAA-Lagerstollen: Bauverfahren, Notwendigkeit der Felssicherung und dessen Ausgestaltung</li> <li>- Entwicklung und Erprobung der Technologie zur Einlagerung und Rückholung von Abfallbehältern</li> <li>- Methodische und instrumentelle Aspekte der Anlagenüberwachung (Entwicklung eines Monitoring-Konzeptes), Konzepte für die Langzeitarchivierung und Markierung</li> <li>- Entwicklung und Erprobung der Technologie zum Verschluss der Anlagen bzw. Teilen davon (Verfüllung und Versiegelung)</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Weitere Aspekte, inkl. Organisation (Management und Planung)</b></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Information gemäss Informationskonzept</b></li> </ul>

Tab. A.3-5: Im Hinblick auf die Rahmenbewilligungsgesuche im Rahmen der standort-unabhängigen Arbeiten (F+E-Programm) geplante Arbeiten.

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Wirtgesteinseigenschaften (insbesondere Tongesteine):</b> Vertiefung der Kenntnisse insbesondere bezüglich: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Radionuklid-Transporteigenschaften, inkl. geochemische In-situ Bedingungen (Felslabor, Labor, Studien)</li> <li>– Gasfreisetzung durch das Wirtgestein und die Auflockerungszone (Felslabor, Labor, Studien)</li> <li>– Selbstabdichtung von Klüften und Störungen, inkl. Auflockerungszone (Felslabor, Labor, Studien)</li> <li>– geomechanischem Gebirgsverhalten (Kurzzeit, Langzeit), inkl. Auslegung von Stollen und Tunnels (Felslabor, Labor, Studien)</li> <li>– gekoppelter Phänomene (THMC), unter Berücksichtigung des Nahfelds</li> </ul> </li> <li>• <b>Langzeitstabilität</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Geodynamik (Vertikal- und Horizontalbewegungen): Weiterführung der periodischen Messkampagnen und deren Interpretation, Beteiligung an Studien (Neotektonik, etc.)</li> <li>– glaziale Tiefenerosion (Studien, Erhebung von Felddaten)</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Überprüfung bzw. Verbesserung der Methodik, der Codes und der generischen Datensätze für die Sicherheitsanalysen (Studien)</b></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Abfallinventar, Abfallmatrizen, Abfallcharakterisierung und Abfallkonditionierung<sup>1)</sup></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Aktualisierung des Abfallinventars (Mengen, Eigenschaften), inkl. Abklärungen bzgl. Abfalllogistik</li> <li>– verglaste HAA (Labor, Studien): Weiterführung der Experimente zur Glaskorrosion und deren Evaluation</li> <li>– abgebrannte Brennelemente (Labor, Studien): Ergänzende Messungen zur 'instant release fraction', Verfolgen der Entwicklung zur Modellierung der Brennstoffauflösung</li> <li>– Entwicklungsarbeiten zur Abfallcharakterisierung</li> <li>– Evaluation der bestehenden und von neuen Konditionierverfahren</li> </ul> </li> </ul>

Tab. A.3-5: (Fortsetzung)

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Auslegung der technischen Barrieren:</b> Vertiefung von Schlüsselfragen, insbesondere <ul style="list-style-type: none"> <li>– BE-/HAA-Endlagerbehälter (Studien): Evaluation der Behälter-Materialien, Festlegung der Auslegungskonzepte (inkl. Evaluation der Herstellungs- und Verschluss-Technologie), bei Bedarf ergänzende Korrosionsversuche im Labor</li> <li>– weitere Abklärungen bezüglich Kritikalität</li> <li>– Endlagerbehälter (aus Beton) für SMA und LMA (Studien): Überprüfung der Konzepte</li> <li>– Bentonit bzw. Bentonit-Sand-Gemische (Versuche in Felslabors, Laborarbeiten, Studien): Vertiefung der Kenntnisse zu den Eigenschaften von Bentonit-Granulaten, Weiterführung der Abklärungen bezüglich Wärmeverhalten und Wärmebeständigkeit, Verbesserung des Verständnisses bezüglich Gastransport</li> <li>– zementbasierte Verfüllmörtel für SMA und LMA: Überprüfung der Konzepte und bei Bedarf Anpassung der Rezepturen</li> <li>– Demonstrationsversuche sind für das Rahmenbewilligungsgesuch nicht zwingend notwendig; die Nagra beteiligt sich jedoch an solchen (z.B. im Rahmen von Partnerprojekten), falls sich dazu gute Gelegenheiten bieten</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Radionuklid-Rückhaltung</b>, insbesondere geochemische Phänomene (Labor, Studien): Aktualisierung und Vertiefung der Informationen insbesondere bezüglich: <ul style="list-style-type: none"> <li>– thermodynamische Daten (inkl. Löslichkeiten)</li> <li>– geochemische In-situ-Bedingungen</li> <li>– Sorptionsmechanismen (wichtige Mineralien, Bentonit, Opalinuston)</li> <li>– Datenbasen für Sicherheitsanalysen</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Anlagenplanung (Studien):</b> Überprüfung der vorhandenen Konzepte zu Lagermodulen und Betriebsabläufen sowie bei Bedarf deren Anpassung und Vertiefung</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Überlegungen zu Konzepten zu Langzeitarchivierung und Markierung von geologischen Tiefenlagern</b></li> </ul>

<sup>1)</sup> Die Tätigkeiten bzgl. Abfallcharakterisierung und Beurteilung / Evaluation von Konditioniermethoden sind in Kap. 2 beschrieben.

Tab. A.3-6: Arbeiten im Rahmen des F+E-Programms nach Erteilung der Rahmenbewilligung im Hinblick auf das nukleare Baugesuch.

<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Entwicklung der Behälter für BE/HAA bzw. SMA/LMA:</b> nach Verfeinerung der Konzepte erfolgt die detaillierte Auslegung (inkl. Festlegung des Fabrikations- und Verschlussprozesses), anschliessend Herstellung von Prototypen bzw. einer Kleinserie.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Einlagerung und Rückholung der Abfallgebinde:</b> Überprüfung und Verfeinerung der Konzepte, Entwicklung und Versuche zur Einlagerungs- bzw. Rückholtechnologie, Herstellung der Geräte und (Pilot)versuche.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Verfüllung und Versiegelung:</b> abschliessende Wahl der Materialien und deren detaillierte Charakterisierung, Entwicklung der Einbringtechnologie und Herstellung der Geräte, Durchführung von Versuchen, inkl. Versiegelungsversuch im Felslabor.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Monitoring:</b> Verfeinerung der Monitoringkonzepte zu Monitoringprogrammen, Weiterentwicklung der Instrumente, Versuche (teilweise in Felslabors kombiniert mit anderen Versuchen).</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Wo nötig, stufengerechte <b>Weiterführung der in Tab. A.3-5 aufgeführten Arbeiten</b> (koordiniert mit den Versuchen in den standortspezifischen Felslabors).</li></ul>

Tab. A.3-7: Die bis Betriebsaufnahme der standortspezifischen Felslabors in den verschiedenen Felslabors bearbeiteten Themen.

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Felslabor Mont Terri, Schweiz</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Transportmechanismen (Diffusionsexperimente)</li> <li>– Auswirkungen pH-Fahne</li> <li>– Mikrobiologie</li> <li>– Selbstabdichtung Klüfte, Störungszonen und Auflockerungszone</li> <li>– Entwicklung Auflockerungszone</li> <li>– Gastransport im Wirtgestein und in der Auflockerungszone</li> <li>– Langzeitentwicklung von Bentonitgranulat</li> <li>– Erfahrungen bezüglich Monitoring (inkl. Zuverlässigkeit der Instrumentierung und der Datenübertragung)</li> <li>– Gekoppelte Phänomene</li> <li>– Evtl. ergänzende Korrosionsversuche</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, Frankreich</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Wirtgesteinseigenschaften (Transporteigenschaften, Geomechanik)</li> <li>– Verschluss und Versiegelung</li> <li>– Geochemie</li> <li>– Radionuklid-Migration</li> <li>– Monitoring</li> <li>– Methodik (Charakterisierung Wirtgestein, Monitoring, etc.)</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Felslabor Grimsel, Schweiz</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Untersuchungen an Bentonit (FEBEX): gekoppelte Prozesse (THMC)</li> <li>– Erfahrungen bezüglich Monitoring (inkl. Zuverlässigkeit der Instrumentierung und der Datenübertragung)</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Aspö Hard Rock Laboratory, Schweden</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Untersuchungen an Bentonit (Temperaturbeständigkeit, Eisen-Bentonitinteraktion, etc.)</li> <li>– Überprüfung von Modellen zu gekoppelten Phänomenen für Bentonit</li> <li>– Einbringtechnologie</li> <li>– Rückholung von Abfallgebinden</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>HADES Underground Research Facility, Belgien</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Entwicklung Methodik (Charakterisierung Wirtgestein, Monitoring, etc.)</li> </ul> </li> </ul>



## Anhang A.4: Phasen, Zeitperioden und vorgesehene Aktivitäten für das HAA- und SMA-Programm gemäss Kostenstudie 2006

Tab. A.4-1: Wichtigste Aktivitäten in den verschiedenen Phasen (HAA-Lager) gemäss Kostenstudie 2006 (aktualisiert bzgl. Nomenklatur gemäss BFE 2008).

Phase	Zeitperiode	Ziel	Wichtigste Aktivitäten
Standortwahl	2006 – 2015	SGT-Etappe 1: Genehmigung Objektblätter für geologische Standortgebiete und Planungspereimeter	Vorbereitung von Unterlagen und Vorschlägen, behördliche Beurteilung Sicherheit, raumplanerische Grobprüfung, behördliches Verfahren
		SGT-Etappe 2: Genehmigung Objektblätter für mind. 2 Standorte	Erarbeitung von Standort-bezogenen Projekten unter Berücksichtigung der Anliegen der Kantone und Regionen, Durchführung provisorische Sicherheitsanalysen, Prozess der Auswahl von mindestens 2 Standorten, behördliches Verfahren
		Feldarbeiten, Wahl Standort für RBG, Vorbereitung RBG	Bewilligungsverfahren für bewilligungspflichtige Feldarbeiten, Durchführung und Auswertung der Feldarbeiten, Erarbeitung der Unterlagen für Rahmenbewilligungsgesuch
	2015 – 2018	SGT-Etappe 3: Festsetzung Standort, Rahmenbewilligung	Behördliche Prüfung der Unterlagen, Entscheid Bundesrat, Genehmigung durch Parlament, fakultatives nationales Referendum
Felslabor	2019 – 2020	Bewilligung Felslabor	Bewilligungsverfahren für bewilligungspflichtige Feldarbeiten (Felslabor, Ergänzung der Untersuchungen von der Oberfläche)
	2020 – 2028	Bau Felslabor	Ergänzung der Untersuchungen von der Oberfläche, Bau Felslabor (Zugangstunnel / evtl. Schacht, Tunnels, Stollen), baubegleitende Charakterisierung
	2027 – 2044 (– 2114)	Betrieb Felslabor	Aufbau der Versuche, Durchführung Versuche und Monitoring, Synthesen, Vorbereitung Unterlagen nukleares Baubewilligungsverfahren
Bau Lager	2040 – 2044	Nukleare Baubewilligung	Vorbereitung und behördliche Prüfung der Unterlagen, Entscheid UVEK
	2045 – 2049	Bau Lager	Bau Oberflächenanlagen (inkl. BEVA) / untertägige Bauten, inkl. Ausrüstung, Vorbereitung Unterlagen nukleares Betriebsbewilligungsverfahren
	2045 – 2049	Nukleare Betriebsbewilligung	Behördliche Prüfung der Unterlagen, Entscheid UVEK

Tab. A.4-1: (Fortsetzung)

<b>Phase</b>	<b>Zeitperiode</b>	<b>Ziel</b>	<b>Wichtigste Aktivitäten</b>
Betrieb Lager	2050 – 2064	Betrieb Lager	Antransport der Abfallgebinde, Einlagerung in Pilotlager, Verpackung / Einlagerung der LMA, Verschluss LMA-Tunnels, Verpackung / Einlagerung der BE / HAA, laufende Verfüllung der BE-/HAA-Stollen / Versiegelung der vollen Stollen, Erstellung neuer Lagerstollen BE/HAA, periodische Sicherheitsanalysen / Berichterstattung
	2065 – 2114	Überwachungsphase	Messungen Pilotlager, weitere Monitoring-Aktivitäten, periodische Berichterstattung
Verschluss Lager	2075 – 2078	Verschluss Hauptlager / (Teil-)Abbruch Empfangsanlage	Verfüllung Bau-/Betriebsstollen, Erstellung Versiegelungsbauwerke
	2112 – 2116	Verschluss Gesamtlager	Vorbereitungsarbeiten, Verfüllung Stollen, Erstellung Versiegelungsbauwerke, Abbruch Oberflächenanlagen

Tab. A.4-2: Wichtigste Aktivitäten in den verschiedenen Phasen (SMA-Lager) gemäss Kostenstudie 2006 (aktualisiert bzgl. Nomenklatur gemäss BFE 2008).

Phase	Zeitperiode	Ziel	Wichtigste Aktivitäten
Standortwahl	2006 – 2015	SGT-Etappe 1: Genehmigung Objektblätter für geologische Standortgebiete und Planungspereimeter	Vorbereitung von Unterlagen und Vorschlägen, behördliche Beurteilung Sicherheit, raumplanerische Grobprüfung, behördliches Verfahren
		SGT-Etappe 2: Genehmigung Objektblätter für mind. 2 Standorte	Erarbeitung von Standort-bezogenen Projekten unter Berücksichtigung der Anliegen der Kantone/Regionen, Durchführung provisorischer Sicherheitsanalysen, Prozess der Auswahl von mindestens 2 Standorten, behördliches Verfahren
		Feldarbeiten, Wahl Standort für RBG, Vorbereitung RBG	Bewilligungsverfahren für bewilligungspflichtige Feldarbeiten, Durchführung und Auswertung der Feldarbeiten, Erarbeitung der Unterlagen für Rahmenbewilligungsgesuch
	2015 – 2018	SGT-Etappe 3: Festsetzung Standort, Rahmenbewilligung	Behördliche Prüfung der Unterlagen, Entscheid Bundesrat, Genehmigung durch Parlament, fakultatives nationales Referendum
Felslabor	2019 – 2020	Bewilligung Felslabor	Bewilligungsverfahren für bewilligungspflichtige Feldarbeiten (Felslabor, Ergänzung der Untersuchungen von der Oberfläche)
	2020 – 2025	Bau Felslabor	Ergänzung der Untersuchungen von der Oberfläche, Bau Felslabor (Zugangstunnel / evtl. Schacht, Tunnels, Stollen), baubegleitende Charakterisierung
	2025 – 2034 (– 2099)	Betrieb Felslabor	Aufbau der Versuche, Durchführung Versuche und Monitoring, Synthesen, Vorbereitung Unterlagen nukleare Baubewilligungsverfahren
Bau Lager	2026 – 2030	Nukleare Baubewilligung	Vorbereitung und behördliche Prüfung der Unterlagen, Entscheid UVEK
	2031 – 2034	Bau Lager	Bau Oberflächenanlagen / untertägige Bauten, inkl. Ausrüstung, Vorbereitung Unterlagen nukleares Betriebsbewilligungsverfahren
	2031–2034	Nukleare Betriebsbewilligung	Behördliche Prüfung der Unterlagen, Entscheid UVEK

Tab. A.4-2: (Fortsetzung)

<b>Phase</b>	<b>Zeitperiode</b>	<b>Ziel</b>	<b>Wichtigste Aktivitäten</b>
Betrieb Lager	2035 – 2049	Betrieb Lager	Antransport der Abfallgebinde, Einlagerung in Pilotlager, Einlagerung der Abfallgebinde, Verfüllung / Verschluss Kavernen, periodische Sicherheitsanalysen / Berichterstattung
	2050 – 2099	Überwachungsphase	Messungen Pilotlager, weitere Monitoring-Aktivitäten, periodische Berichterstattung
Verschluss Lager	2060 – 2061	Verschluss Hauptlager / (Teil-)Abbruch Empfangsanlage	Verfüllung Stollen, Erstellung Versiegelungsbauwerke
	2097 – 2101	Verschluss Gesamtlager	Vorbereitungsarbeiten, Verfüllung Stollen, Erstellung Versiegelungsbauwerke, Abbruch Oberflächenanlagen

Tab. A.4-3: Betriebs- und Stilllegungszeiten der KKW und Zwischenlager gemäss Referenzfall Kostenstudie 2006.

	<b>KKB</b>	<b>KKM</b>	<b>KKL</b>	<b>KKG</b>	<b>ZWILAG</b>	<b>BZL</b>
Kommerzieller Betrieb von	24.12.1969 <sup>1)</sup>	06.11.1972	15.12.1984	01.11.1979	2000	1992
Kommerzieller Betrieb bis	2020	2022 (2012) <sup>2)</sup>	2034	2029	2065	2050
Nachbetriebsphase von	2021	2023 (2013)	2035	2030		
Nachbetriebsphase bis	2025	2027 (2017)	2039	2034		
Stilllegung von	2023	2025 (2015)	2037	2032	2049 <sup>3)</sup>	
Stilllegung bis	2034	2034 (2024)	2049	2043	2065 <sup>4)</sup>	
Dezentrale SMA-ZL von	1970	1972	1984	1979		
Dezentrale SMA-ZL bis <sup>5)</sup>	2025	2027 (2016)	2039	2034		
ZWILAG Halle S von					2005	
ZWILAG Halle S bis					2065	
ZWILAG Halle M von					2000	
ZWILAG Halle M bis					2065	
ZWILAG Halle H von					2000	
ZWILAG Halle H bis					2065	
KKG Nasslager von				2008		
KKG Nasslager bis				2047		

<sup>1)</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>2)</sup> Für KKM wurde in der Kostenstudie 2006 bei der Berechnung der Kosten von 50 Jahren Betrieb ausgegangen; Angaben der Zahlen für 40 Jahre Betrieb in Klammern.

<sup>3)</sup> Abbruch Konditionieranlagen / Plasmaofen (spätestens) im Jahr nach letztem Anfallen von KKW-Stilllegungsabfällen (2048).

<sup>4)</sup> Hypothetisch letztes Jahr für Übernahme von ZWILAG-Stilllegungsabfällen (Ende Einlagerungsbetrieb).

<sup>5)</sup> Das Ende der Betriebszeit des SMA-Zwischenlagers entspricht dem Ende der Nachbetriebsphase des jeweiligen KKW.



## Anhang A.5: Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

ARE	Bundesamt für Raumplanung
AREVA	Französischer Nuklearkonzern. Entstand 2001 aus dem Zusammenschluss mehrerer Unternehmen, u.a. COGEMA und Framatome ANP
ATA	Alphatoxische Abfälle
BA	Betriebsabfälle der KKW
BAG	Bundesamt für Gesundheit
BE	Abgebrannte Brennelemente
BEVA	Verpackungsanlage für BE und HAA (Brennelementverpackungsanlage)
BFE	Bundesamt für Energie
BZL	Bundeszwischenlager
EKRA	Expertengruppe Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle
ELFB	Endlagerfähigkeitsbeurteilung
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
ESDRED	Engineering Studies and Demonstration of Repository Designs (EU-Projekt)
F+E- Programm	Forschungs- und Entwicklungsprogramm
FLG	Felslabor Grimsel
FMT	Felslabor Mont Terri
HAA	Hochaktive Abfälle. Das "HAA-Lager" umfasst abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive Abfälle und langlebige mittelaktive Abfälle (BE/HAA/LMA)
HSK	Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (ab 1.1.2009: ENSI)
ISRAM	Informationssystem für Radioaktive Materialien
KEG	Kernenergiegesetz
KEV	Kernenergieverordnung
KKG	Kernkraftwerk Gösgen
KKW	Kernkraftwerk
LMA	Langlebige mittelaktive Abfälle
MIF	Abfälle aus der Medizin, Industrie und Forschung
MIRAM	Modellhaftes Inventar für radioaktive Materialien
PSI	Paul Scherrer Institut
RA	Austauschbare Kernkomponenten der KKW (Reaktorabfälle)
RBG	Rahmenbewilligungsgesuch

(Fortsetzung)

SA	Stilllegungsabfälle
SAPIERR	Support Action: Pilot Initiative for European Regional Repositories (EU-Projekt)
SEFV	Verordnung über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen
Sellafield Ltd	Tochtergesellschaft der Firma BNFL (British Nuclear Fuels plc)
SGT	Konzept Sachplan geologische Tiefenlager
SMA	Schwach- und mittelaktive Abfälle
StSV	Strahlenschutzverordnung
TLB	Transport- und Lagerbehälter
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
WA-MA	Mittelaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung
ZWIBEZ	Zwischenlager des KKW Beznau
ZWILAG	Zentrales Zwischenlager in Würenlingen AG