



Kostenstudie 2021 (KS21)

*Ermittlung der Entsorgungskosten –
Geologische Tiefenlagerung*

swissnuclear
Postfach 1663
CH-4601 Olten
T +41 62 205 20 10
F +41 62 205 20 11
info@swissnuclear.ch
www.swissnuclear.ch
30. September 2021

Zusammenfassung

Das Kernenergiegesetz^a verpflichtet die Betreiber von Kernanlagen, einen Stilllegungs- und einen Entsorgungsfonds zu bilden. Diese Fonds müssen bei Ausserbetriebnahme der Kernanlagen über ausreichende finanzielle Mittel verfügen, um die nach diesem Zeitpunkt anfallenden Stilllegungs- und Entsorgungskosten zu decken.

Um dies sicherzustellen, ist eine umfassende Ermittlung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten nötig. Auf Basis dieser Kostenermittlungen lassen sich die Beiträge bemessen, welche die Betreiber der Kernanlagen für die Stilllegung und die nukleare Entsorgung zurückstellen sowie in den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds einzahlen müssen. Diese Kostenermittlung hat gemäss der Verordnung^b über den Stilllegungs- und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen alle fünf Jahre zu erfolgen.

Die letzte Ermittlung der Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten erfolgte im Jahr 2016. Sie wurde durch das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat, durch unabhängige Kostenprüfer sowie durch die Eidgenössische Finanzkontrolle geprüft. Die Verwaltungskommission des Stilllegungs- und des Entsorgungsfonds für Kernanlagen, im Folgenden kurz Verwaltungskommission genannt, erliess anschliessend Verfügungen zur Kostenstudie 2016 (KS16). Sie bilden die Grundlage für die Bemessung der Rückstellungen und Fondsbeiträge für die Jahre 2017 bis 2021.

Im Jahr 2018 beauftragten die Betreiber der Schweizer Kernanlagen swissnuclear, die neue Kostenstudie in Zusammenarbeit mit den für die Stilllegung und die Entsorgung in der Schweiz verantwortlichen Organisationen wie gesetzlich vorgeschrieben zu aktualisieren und bis Ende 2021 fertigzustellen. Dabei sind die von der Verwaltungskommission festgelegten Vorgaben für die Erstellung der Kostenstudie zu berücksichtigen. Die Dokumentation zur Kostenstudie 2021 (KS21) besteht aus dem Mantelbericht [1], dem Bericht zu den Stilllegungskosten [2], den Berichten zu den Entsorgungskosten mit dem hier vorliegenden Bericht zur geologischen Tiefenlagerung (dieser Bericht) und den Entsorgungskosten für Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung [3] sowie dem Bericht zu den Nachbetriebskosten [4]. Diese Berichte berücksichtigen auch die Empfehlungen aus der Überprüfung der KS16. Die Details dazu sind dem Anhang des Mantelberichts [1] zu entnehmen. Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat und unabhängige Kostenprüfer im Auftrag der Verwaltungskommission werden die KS21 wiederum prüfen.

Die für die KS16 neu definierten Kostenstrukturen sind weiterhin gültig und werden in allen Phasen der Kostenplanung und -feststellung angewendet. Verbindliche Kostenstrukturen schaffen die Voraussetzungen für eine transparente Kostenplanung, aussagekräftige Kostenvergleiche, ein effektives Kostencontrolling sowie einen effizienten Abwicklungsprozess zur Inanspruchnahme von Fondsmitteln.

Die Vorgaben für die Erstellung der KS21 beinhalten auch Weisungen, wie mit Ungenauigkeiten und Risiken umzugehen ist. Dazu wurde wiederum die mit der KS16 eingeführte Kostengliederung vorgegeben, die bei der Ermittlung und der Darstellung der Kosten angewendet wird.

Die beiden Begriffe Kostengliederung und Kostenstruktur sind voneinander abzugrenzen:

- Die Kostenstruktur ordnet die Gesamtkosten den einzelnen Aktivitäten und Organisationseinheiten von Nachbetrieb, Stilllegung und Entsorgung zu.
- Die Kostengliederung betrachtet die Kostenermittlung hinsichtlich ihres Risikocharakters. Sie unterscheidet neben den berechneten Ausgangskosten und den Kosten für risikomindernde Massnahmen auch Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten und Gefahren, Kostenabzüge für Chancen sowie einen zusätzlichen generellen Sicherheitszuschlag.

Die Kostenermittlungen basieren auf dem rechtlichen und regulatorischen Rahmen per 1. Januar 2020.

^aArt. 77 des Kernenergiegesetzes [7].

^bArt. 4 der Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung [9].

Die Entsorgungskosten umfassen alle vergangenen und zukünftigen Kosten für Planung, Bau und Betrieb von Entsorgungsanlagen (zentrales Zwischenlager, Zwischenlager des Kernkraftwerks Beznau, Nasslager des Kernkraftwerks Gösgen, Behandlungsanlagen für radioaktive Materialien, Verpackungsanlage für abgebrannte Brennelemente sowie geologische Tiefenlager), die Anschaffungskosten von Transport- und Lagerbehältern sowie die Kosten der Inanspruchnahme von Dienstleistungen Dritter (Wiederaufarbeitung, Transporte usw.). Die Kosten umfassen auch die Stilllegung der Verpackungs- und der Oberflächenanlagen sowie den Verschluss der geologischen Tiefenlager. Diese Kostenelemente wurden durch die Nagra, Zwiilag und die Kernkraftwerke ermittelt.

Kostenstudien werden jeweils zum Geldwert des Berechnungsjahres durchgeführt («Overnight»-Kosten).

Das Ergebnis der im Jahr 2021 vorgenommenen Ermittlung der Kosten für die geologische Tiefenlagerung ist in Tabelle 1 dargestellt. Aufgeführt sind die Gesamtkosten für die Einzellager und das Kombilager. Als Grundlage für die Ableitung der Bemessungsgrundlage für die Fondsbeiträge sind zusätzlich die Gesamtkosten basierend auf den Kosten der Einzellager mit Abzug der wahrscheinlichsten Chance der Realisierung eines Kombilagere aufgeführt.

Die nächste Kostenermittlung ist für 2026 vorgesehen.

Tabelle 1: Gesamtkosten der Kostenstudie 2021 inkl. Aufteilung auf die Entsorgungspflichtigen für die Varianten ohne bzw. mit Berücksichtigung der Chance des Kombilagere.

Kosten der geologischen Tiefenlager	KKB	KKM	KKG	KKL	Bund	Total
Gesamtkosten Einzellager ohne Chance Kombilager gemäss KS21	2'634	1'306	3'231	4'123	1'056	12'350
zukünftige Gesamtkosten ab 2021	2'272	1'134	2'764	3'568	911	10'650
Aufgelaufene Kosten bis 2020 (mit GNW)	361	172	467	555	145	1'700
Gesamtkosten Kombilager gemäss KS21	2'281	1'135	2'796	3'586	918	10'715
zukünftige Gesamtkosten ab 2021	1'920	963	2'329	3'031	773	9'015
Aufgelaufene Kosten bis 2020 (mit GNW)	361	172	467	555	145	1'700
Gesamtkosten Einzellager mit Chance Kombilager (75%) gemäss KS21	2'369	1'178	2'905	3'720	952	11'124
zukünftige Gesamtkosten ab 2021	2'008	1'006	2'438	3'165	807	9'424
Aufgelaufene Kosten bis 2020 (mit GNW)	361	172	467	555	145	1'700

Angaben in Millionen Franken, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

Für eine 47-jährige Betriebszeit von KKM und eine 50-jährige Betriebszeit von KKB, KKG und KKL.

Kernkraftwerke Beznau (KKB), Mühleberg (KKM), Gösgen (KKG) und Leibstadt (KKL).

Kostenstudie 2021 (KS21), Genossenschaft für nukleare Entsorgung Wellenberg (GNW).

In den Zahlen sind die Grenzkosten für die Einlagerung der Stilllegungsabfälle in der Höhe von 119 Millionen Franken (Gesamtkosten Einzellager) bzw. 147 Millionen Franken (Gesamtkosten Kombilager) nicht enthalten. Der Unterschied der Kosten der Stilllegungsabfälle kommt dadurch zustande, dass die Transportierbarkeit auf öffentlichen Verkehrswegen der Endlagerbehälter LC1 bisher nicht gesichert ist. Daher muss für den Fall eines SMA-/Kombilagere ausserhalb des Standorts Jura Ost (JO) für solche Abfälle auf kleinere Behälter zurückgegriffen werden, welche zu Mehrkosten führen könnten. Bei den aufgelaufenen Kosten bis Ende 2020 ist ein Beitrag für GNW in der Höhe von 90 Millionen Franken ausgewiesen (65 Millionen CHF durch Nagra, 25 Millionen CHF durch KKW).

Das Kombilager ist eine vorteilhafte, wahrscheinliche Variante (vgl. Entsorgungsprogramm 2021 [16]), da ein Kombilager genauso sicher gebaut und betrieben werden kann wie zwei Einzellager, in allen Standortregionen ein ausreichendes Platzangebot für ein Kombilager vorhanden ist, ein Kombilager ökologisch und raumplanerisch vorteilhaft ist sowie im Bewusstsein der Öffentlichkeit ein Kombilager als wahrscheinliche Lagervariante gilt. Aus diesen Gründen wird die Chance Kombilager mit einer Gewichtung von 75 Prozent berücksichtigt.

Für den Vergleich zwischen den Ergebnissen der KS21 und jenen der KS16 wird auf Kapitel 5.10.2 verwiesen.

Inhalt

1 Ausgangslage und Randbedingungen	1
1.1 Einleitung	1
1.2 Sicherstellung der Finanzierung von Nachbetrieb, Stilllegung und Entsorgung	1
1.2.1 Verursacherprinzip	1
1.2.2 Finanzierung der Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten	2
1.2.3 Rückstellungen für Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten	4
1.2.4 Kostenstudien der Stilllegungs- und Entsorgungspflichtigen	4
1.3 Mit der Entsorgung betraute Organisationen	4
1.3.1 Die Betreiber der Kernanlagen	4
1.3.2 Die Zwiilag	5
1.3.3 Die Nagra	5
1.3.4 Swissnuclear	5
1.3.5 Der Bund	6
1.4 Das Entsorgungsprogramm	6
1.5 Radioaktive Abfälle nach Abfallsorten	8
1.6 Berücksichtigung der Kosten für die Tiefenlagerung von Stilllegungsabfällen	10
1.7 Realisierungsprogramm der Entsorgung und zeitliche Gliederung	10
2 Vorgaben und Annahmen	11
2.1 Rechtliche und behördliche Vorgaben	11
2.1.1 Gesetze und Verordnungen	11
2.1.2 Richtlinien und Empfehlungen	12
2.1.3 Normen und Regeln	13
2.2 Annahmen aus dem Entsorgungsprogramm und aus dem Vorhaben «Geologische Tiefenlager»	13
3 Methodik der Kostenermittlung	15
3.1 Kostenstruktur	15
3.2 Kostengliederung	16
3.2.1 Vorgaben zur Kostengliederung	16
3.2.2 Umsetzung der Kostengliederung	18
3.3 Behandlung von Ungenauigkeiten und Risiken	19
3.4 Risikomanagement	21
3.4.1 Umgang mit Abweichungen vom Basisvorhaben	21
3.4.2 Strategische Massnahmen	22
3.4.3 Organisatorische Massnahmen	22
3.4.4 Technische und weitere Massnahmen	22
4 Das Vorhaben «Geologische Tiefenlager»	23
4.1 Übersicht	23
4.2 Das HAA-Lager	29
4.3 Das SMA-Lager	34
4.4 Das Kombilager	41
4.5 Die Hauptaktivitäten	42
4.6 Bewertung der Unterlagen für die Kostenermittlung	43
5 Resultate der Ermittlung der Entsorgungskosten für die geologischen Tiefenlager	45
5.1 Überblick	45
5.2 Ausgangskosten	45
5.3 Kosten zur Risikominderung	47
5.4 Basiskosten	48
5.5 Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten	49
5.6 Kostenzuschläge für Gefahren	50
5.7 Kostenabzüge für Chancen	52
5.8 Nicht berücksichtigte Chancen und Gefahren	53
5.9 Genereller Sicherheitszuschlag	55

5.10	Gesamtkosten	55
5.10.1	Überblick	55
5.10.2	Vergleich der Kostenstudie 2021 mit der Kostenstudie 2016	56
5.10.3	Aufteilung der Gesamtkosten auf die Entsorgungspflichtigen	58
5.10.4	Bisherige und zukünftige Kosten	61
A	Anhänge	63
A.1	Referenzen	63
A.2	Verwendete Abkürzungen	66
A.3	Ergänzende Informationen zu den Gesamtkosten	68

Abbildungen

1	Übergeordnete Elemente der Entsorgung in der Schweiz.	7
2	Betriebszeiten der wichtigsten Anlagen des Entsorgungspfades bei einer Betriebsdauer der Kernkraftwerke von 50 Jahren (vereinfachte Darstellung).	10
3	Kostengliederung für die KS21.	17
4	Lagerperimeter im HAA Standortgebiet Zürich Nordost (ZNO).	25
5	Lagerperimeter SMA im Standortgebiet Jura Ost (JO).	26
6	Realisierungsplan für das HAA-, SMA- und Kombilager.	28
7	Schematisches modellhaftes Anlagenkonzept der untertägigen Anlagen und Bauten für das Basisprojekt HAA-Lager.	29
8	Situationsplan und Grundriss mit der für die KS21 angenommenen modellhaften Anordnung der Anlagen und Bauten für ein HAA-Lager im Standortgebiet Zürich Nordost (ZNO). . .	30
9	Übersichtsplan mit der für die KS21 angenommenen modellhaften Anordnung und Ausgestaltung der Oberflächeninfrastruktur für das HAA-Lager.	31
10	Geologisches Längensprofil im Standortgebiet Zürich Nordost (ZNO).	33
11	Schematisches modellhaftes Anlagenkonzept der untertägigen Anlagen und Bauten für das Basisprojekt SMA-Lager.	34
12	Situationsplan und Grundriss mit der für die KS21 angenommenen modellhaften Anordnung der Anlagen für ein SMA-Lager im Standortgebiet Jura Ost (JO).	35
13a	Oberflächeninfrastruktur mit dem Areal der Zwiilag (SMA-Verpackungsanlage) und Aare-übergang und Tunnelverbindung zum geologischen Tiefenlager.	36
13b	Nebenzugangsanlage Betrieb der Oberflächeninfrastruktur.	37
13c	Nebenzugangsanlage Lüftung der Oberflächeninfrastruktur.	38
14a	Geologisches Längensprofil des Zugangstunnels im Standortgebiet Jura Ost (JO).	39
14b	Geologisches Längensprofil des Lüftungsschachts im Standortgebiet Jura Ost (JO).	40
15	Situationsplan und Grundriss mit der für die KS21 angenommenen modellhaften Anordnung der Anlagen und Bauten für ein Kombilager im Standortgebiet Zürich Nordost (ZNO). . .	41

Tabellen

1	Gesamtkosten für die geologischen Tiefenlager der Kostenstudie 2021.	IV
2	Abfallmengen für 50 Jahre Betrieb (für KKB, KKG, KKL) sowie 47 Jahre (für KKM).	9
3	Basisprojekt und wichtigste in der Kostenstudie 2021 berücksichtigte Varianten.	24
4	Geometrische Kennzahlen für die Oberflächeninfrastruktur des HAA-Lagers.	32
5	Geometrische Kennzahlen für den Zugang nach Untertag und für die Bauwerke auf Lagerebene des HAA-Lagers.	33
6	Geometrische Kennzahlen zur Oberflächeninfrastruktur des SMA-Lagers.	38
7	Geometrische Kenndaten für den Zugang nach Untertag und die Bauwerke auf Lagerebene des SMA-Lagers in den verschiedenen Phasen der Lagerrealisierung.	40
8	Gesamtkosten für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager.	45
9	Ausgangskosten für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager.	46
10	Kosten zur Risikominderung für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager.	47
11	Basiskosten für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager.	48
12	Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager.	49
13	Risikowerte für die in der Kostenstudie 2021 berücksichtigten Gefahren für das SMA- und HAA-Lager sowie für die Variante Kombilager.	50
14	Kostenzuschläge für Gefahren für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager.	51
15	Risikowerte für die in der Kostenstudie 2021 berücksichtigten Chancen für das SMA- und HAA-Lager sowie für die Variante Kombilager.	52
16	Kostenabzüge für Chancen für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager.	53
17	Gesamtkosten für das HAA-Lager, das SMA-Lager und die Variante Kombilager sowie Gesamtkosten mit Berücksichtigung der Variante Kombilager als Chance.	57
18	Vergleich der Gesamtkosten der Kostenstudie 2021 und Kostenstudie 2016 für das HAA-Lager, das SMA-Lager und die Variante Kombilager sowie Vergleich der Gesamtkosten mit Berücksichtigung der Variante Kombilager als Chance.	58
19	Die durch die verschiedenen Entsorgungspflichten zu tragenden Anteile an den zukünftigen Fixkosten des SMA- und HAA-Lagers.	59
20	Gesamtkosten für die geologischen Tiefenlager und Vergleich mit den Gesamtkosten der Kostenstudie 2016 inkl. Aufteilung auf die Entsorgungspflichtigen für die Varianten ohne bzw. mit Berücksichtigung der Chance des Kombilagers.	60
21	Gesamtkosten für das HAA-Lager, das SMA-Lager und die Variante Kombilager sowie Gesamtkosten mit Berücksichtigung der Variante Kombilager als Chance für eine 47-jährige Betriebszeit von KKM und eine 60-jährige Betriebszeit von KKB, KKG und KKL.	68
22	Gesamtkosten für das HAA-Lager, das SMA-Lager und die Variante Kombilager sowie Gesamtkosten mit Berücksichtigung der Variante Kombilager als Chance.	69

1 Ausgangslage und Randbedingungen

1.1 Einleitung

Mit den Kostenstudien kommen die Betreiber der Schweizer Kernkraftwerke – Beznau (KKB), Mühleberg (KKM), Gösgen (KKG) und Leibstadt (KKL) – ihrer gesetzlichen Verpflichtung zur Ermittlung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten nach.

Die KS21 ist im Mantelbericht [1] zusammengefasst und umfasst vier Teilberichte:

- Ermittlung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen [2].
- Ermittlung der Entsorgungskosten – Geologische Tiefenlagerung (dieser Bericht).
- Ermittlung der Entsorgungskosten – Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung [3].
- Ermittlung der Nachbetriebskosten der Schweizer Kernkraftwerke [4].

Der Mantelbericht [1] erläutert die Rahmenbedingungen der KS21 und fasst die wichtigsten Resultate der vier Teilberichte zusammen. Der vorliegende Bericht der KS21 ist der Teilbericht «Ermittlung der Entsorgungskosten – geologische Tiefenlagerung». Er nimmt Bezug auf die im Mantelbericht gegebenen Erläuterungen der Rahmenbedingungen und Neuerungen im Vergleich zur KS16 und präzisiert diese Angaben hinsichtlich der spezifischen Aspekte der geologischen Tiefenlager. Die Ermittlung der Kosten der geologischen Tiefenlagerung wird gemäss den neuen Kostenstrukturen vorgenommen und entsprechend der Kostengliederung dargestellt.

Die Ausgangslage für die Stilllegung von Kernanlagen einschliesslich des Nachbetriebs, der Entsorgung der radioaktiven Abfälle sowie der Bereitstellung der finanziellen Mittel sind in Kapitel 1 dargelegt. In Kapitel 2 sind die Annahmen und Randbedingungen für die geologischen Tiefenlager beschrieben und in Kapitel 3 die Methodik der Kostenermittlung. Kapitel 4 beschreibt das Vorhaben¹ der geologischen Tiefenlager. Das Resultat der Ermittlung der Kosten der geologischen Tiefenlager ist in Kapitel 5 dargestellt. Die Berichte zur KS21 enthalten zahlreiche Fachbegriffe. Diese wurden in einem Glossar [6] zusammengestellt und erläutert. Das Glossar ist Bestandteil der Kostenstudie.

1.2 Sicherstellung der Finanzierung von Nachbetrieb, Stilllegung und Entsorgung

Das Kernenergiegesetz [7], die Kernenergieverordnung [8], die Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung [9], das Strahlenschutzgesetz [10] und die Strahlenschutzverordnung [11] formulieren zentrale Anforderungen an die Stilllegung von Kernanlagen und die Entsorgung von radioaktiven Abfällen und deren Finanzierung.

1.2.1 Verursacherprinzip

Die kommerzielle Nutzung der Kernenergie zur Stromproduktion und auch radiologische Anwendungen in Medizin, Industrie und Forschung verursachen radioaktive Abfälle. Im Kernenergiegesetz² ist das Verursacherprinzip verankert: «Wer eine Kernanlage betreibt oder stilllegt, ist verpflichtet, die aus der Anlage stammenden radioaktiven Abfälle auf eigene Kosten sicher zu entsorgen.» Abfälle, die nicht in Kernkraftwerken anfallen, sondern aus Medizin, Industrie und Forschung stammen, müssen gemäss Strahlenschutzgesetz³ dem Bund abgeliefert werden. Der Abfallverursacher muss für die Kosten der Entsorgung aufkommen.

¹Das Vorhaben «Geologische Tiefenlager» umfasst die beiden Basisprojekte SMA-Lager und HAA-Lager (zusammen das Basisvorhaben) sowie die Varianten inklusive des Kombilagers.

²Art. 31 Abs. 1 KEG [7].

³Art. 27 StSG [10].

Die für den Bau und den Betrieb von Infrastrukturanlagen zur Lagerung radioaktiver Abfälle in der Pflicht stehenden Abfallverursacher sind somit der Bund, der die radioaktiven Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung gegen eine Gebühr zu übernehmen hat, und die Betreiber der Kernkraftwerke. Die Entsorgungspflicht ist dann erfüllt⁴, wenn «die Abfälle in ein geologisches Tiefenlager verbracht worden sind und die finanziellen Mittel für die Beobachtungsphase und den allfälligen Verschluss sichergestellt sind».

Das Verursacherprinzip und die Entsorgungspflicht gelten uneingeschränkt auch für die während der Stilllegung der Kernkraftwerke anfallenden radioaktiven Abfälle.

1.2.2 Finanzierung der Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten

Die Finanzierung der Stilllegung von Kernanlagen und der Entsorgung der von diesen verursachten radioaktiven Abfälle ist in der Schweiz gesetzlich geregelt; einerseits durch staatlich kontrollierte Fonds und andererseits durch die Verpflichtung der Betreiber zu eigener Vorsorge.

Staatlich kontrollierte Fonds

Die Betreiber der Kernanlagen sind dazu verpflichtet, einen Stilllegungs- und einen Entsorgungsfonds zu bilden sowie an diese Fonds Beiträge zu leisten⁵.

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

Der Entsorgungsfonds deckt die Kosten für die Entsorgung der radioaktiven Betriebsabfälle und der abgebrannten Brennelemente nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs eines Kernkraftwerks. Der Entsorgungsfonds wurde im Jahr 2000 gegründet.

Die beiden Fonds stellen sicher, dass genügend finanzielle Mittel vorhanden sind, um sämtliche Stilllegungskosten und alle nach endgültiger Ausserbetriebnahme⁶ der Kernkraftwerke anfallenden Entsorgungskosten zu decken. Die Bemessung der in den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds zu leistenden Beiträge sowie der Rückstellungen der Betreiber für die Stilllegung und die Entsorgung erfolgt auf Basis einer umfassenden Berechnung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten. Diese Kosten müssen gemäss Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung⁷ alle fünf Jahre neu ermittelt werden. Als Berechnungsgrundlage für die Höhe der Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten wird entsprechend den Vorgaben für die Erstellung der KS21 für die Kernkraftwerke eine Betriebsdauer von 50 Jahren angenommen⁸. Für das Kernkraftwerk Mühleberg wird die effektiv erreichte Betriebsdauer von 47 Jahren zugrunde gelegt. Für die Bemessung der Fondsbeiträge und deren Einzahlungen gilt, unabhängig von der tatsächlichen Laufzeit, für alle Kernkraftwerke, einschliesslich des Kernkraftwerks Mühleberg, eine Laufzeit von 50 Jahren⁹.

⁴Art. 31 Abs. 2 Bst. a KEG [7].

⁵Art. 77 KEG [7].

⁶Gemäss Art. 8 Abs. 2 Bst. a SEFV [9] ist unter endgültiger Ausserbetriebnahme eines Kernkraftwerks die endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs zu verstehen. Für die Kostenstudie 2021 wird daher die endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs als Startzeitpunkt für die Inanspruchnahme der Mittel dem Entsorgungsfonds angenommen. Der Stilllegungsfonds stellt zudem die Stilllegungskosten vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs sicher.

⁷Art. 4 Abs.1 SEFV [9].

⁸Art. 4 Abs. 3 SEFV [9].

⁹Art. 8 Abs. 3 SEFV [9].

Jeder Beitragspflichtige hat gegenüber den Fonds einen Anspruch im Umfang seiner geleisteten Beiträge, einschliesslich des Kapitalertrags und abzüglich der Verwaltungskosten. Zusätzlich zur Einzahlungspflicht sieht das Kernenergiegesetz eine Nachschusspflicht der Betreiber vor¹⁰. Reicht der Anspruch¹¹ eines Beitragspflichtigen an einen der Fonds zur Deckung der Kosten nicht aus, deckt der Beitragspflichtige die verbleibenden Kosten aus eigenen Mitteln¹². Weist der Beitragspflichtige nach, dass seine Mittel nicht ausreichen, deckt der Stilllegungs- beziehungsweise der Entsorgungsfonds die verbleibenden Kosten mit seinen gesamten Mitteln¹³. Übersteigen die Zahlungen eines Fonds zu Gunsten eines Berechtigten dessen Anspruch⁸, muss er dem Fonds den Differenzbetrag samt einem marktüblichen Zins zurückbezahlen¹⁴. Kann der Berechtigte die Rückerstattung nicht leisten, so müssen die übrigen Beitragspflichtigen und Anspruchsberechtigten des entsprechenden Fonds für den Differenzbetrag aufkommen¹⁵. Ist die Deckung des Differenzbetrags für die Nachschusspflichtigen wirtschaftlich nicht tragbar, beschliesst die Bundesversammlung, ob und in welchem Ausmass sich der Bund an den nicht gedeckten Kosten beteiligt¹⁶.

Die beiden Fonds stehen unter der Aufsicht des Bundesrats¹⁷. Eine von diesem ernannte Verwaltungskommission¹⁸ ist das Leitungsorgan der Fonds¹⁹. Sie setzt zur fachlichen Unterstützung zwei Ausschüsse ein, den Anlageausschuss als Steuerungs-, Koordinations- und Überwachungsorgan für die Vermögensbewirtschaftung sowie den Kostenausschuss für die Kostenberechnung und die Auszahlungen. Die Leitungsgremien der Fonds sind mehrheitlich mit Mitgliedern besetzt, die von den Betreibern der Kernanlagen unabhängig sind²⁰.

Mit der Einrichtung des Stilllegungs- und des Entsorgungsfonds besteht zusätzlich zur gesetzlichen Kostentragungspflicht der Betreiber der Kernanlagen ein Sicherungsinstrument zur Gewährleistung, dass dem Verursacherprinzip konsequent Rechnung getragen wird. Es ist nicht nur sichergestellt, dass die Kosten zur nachhaltigen Beseitigung der Kernanlagen und der von diesen verursachten radioaktiven Abfälle von den Betreibern getragen werden, sondern auch, dass die nach der Ausserbetriebnahme der Kernanlagen benötigten finanziellen Mittel tatsächlich verfügbar sind.

Eigene Vorsorge der Betreiber

Vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs anfallende Entsorgungskosten werden durch die Betreiber direkt bezahlt.

Die mit dem Nachbetrieb verbundenen Aufwendungen – sie entsprechen weder der Definition von Entsorgungskosten²¹ noch der von Stilllegungskosten²² – sind als (letzter) Teil der Betriebskosten zu betrachten. Auch sie sind, entsprechend dem im Kernenergiegesetz²³ verankerten Verursacherprinzip, durch die Betreiber zu tragen. Der Nachbetrieb wird von den Betreibern direkt finanziert.

¹⁰Art. 80 KEG [7].

¹¹Gemäss Art. 78 Abs. 1 KEG [7] hat jeder Beitragspflichtige gegenüber den Fonds einen Anspruch im Umfang seiner geleisteten Beiträge, einschliesslich des Kapitalertrags und abzüglich des Aufwands.

¹²Art. 79 Abs. 1 KEG [7].

¹³Art. 79 Abs. 2 KEG [7].

¹⁴Art. 80 Abs. 1 KEG [7].

¹⁵Art. 80 Abs. 2 KEG [7].

¹⁶Art. 80 Abs. 4 KEG [7].

¹⁷Art. 29a Abs. 1 SEFV [9].

¹⁸Art. 81 Abs. 2 KEG [7] und Art. 23 SEFV [9].

¹⁹Der Bundesrat hat für den Stilllegungs- und den Entsorgungsfonds ein und dieselbe Verwaltungskommission eingesetzt.

²⁰Art. 21 Abs. 2, Art. 21a Abs. 1 und Art. 22 Abs. 1^{bis} SEFV [9].

²¹Art. 3 SEFV [9].

²²Art. 2 SEFV [9].

²³Art. 31 Abs. 1 KEG [9].

1.2.3 Rückstellungen für Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten

Die Betreiber bilden in ihren Bilanzen sämtliche Verpflichtungen für zukünftige Aufwendungen zur Stilllegung der Kernanlagen und zur Entsorgung der von diesen verursachten, radioaktiven Abfälle ab. Sie bilden dazu auf Basis der jeweiligen Kostenstudien und gemäss den anzuwendenden Rechnungslegungsvorschriften²⁴ Rückstellungen für den Nachbetrieb, die Stilllegung und die Entsorgung. In Zusammenhang mit der Prüfung der Jahresrechnung werden die Rückstellungen von einer externen Revisionsstelle testiert. Während die Festsetzung der Höhe der Fondsbeiträge durch die Verwaltungskommission erfolgt²⁵, sind die Betreiber verantwortlich für die Festlegung der Höhe der Rückstellungen gemäss den entsprechenden Rechnungslegungsvorschriften.

Die externe Revisionsstelle prüft, ob die Betreiber Rückstellungen für Entsorgungskosten vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs mindestens in Höhe des von der Verwaltungskommission genehmigten Rückstellungsplans gebildet und zweckgebunden verwendet haben²⁶. Die Höhe und die zweckgebundene Verwendung der Rückstellungen werden jährlich durch die jeweilige Revisionsstelle geprüft²⁷. Die Betreiber legen der Verwaltungskommission diesen Prüfbericht vor.²⁸

1.2.4 Kostenstudien der Stilllegungs- und Entsorgungspflichtigen

Zur Berechnung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten werden umfassende Kostenstudien erstellt. Mit der Aktualisierung der Stilllegungs- und Entsorgungskostenstudien werden jeweils auch die Kosten für den Nachbetrieb neu ermittelt.

Die letzte Ermittlung der Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten erfolgte im Jahr 2016. Sie wurde vom Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) und durch unabhängige Kostenprüfer sowie durch die Eidgenössische Finanzkontrolle geprüft und hinsichtlich Stilllegungs- und Entsorgungskosten durch die Verwaltungskommission genehmigt. Sie bildet die Grundlage für die Bemessung der Rückstellungen und Fondsbeiträge der Stilllegungs- und Entsorgungspflichtigen in den Jahren 2017 – 2021.

Die Betreiber der Schweizer Kernanlagen beauftragten swissnuclear im Jahr 2018, zusammen mit den für die nukleare Entsorgung in der Schweiz verantwortlichen Organisationen, die gesetzlich vorgeschriebene Aktualisierung der Kostenstudien erneut vorzunehmen und bis Oktober 2021 fertigzustellen, sowie dabei insbesondere die von der Verwaltungskommission festgelegten Vorgaben für die Erstellung der KS21 zu berücksichtigen. Wie bisher hat swissnuclear gleichzeitig auch die Nachbetriebskosten neu berechnet. Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat und Kostenprüfer im Auftrag der Verwaltungskommission werden wiederum die KS21 eingehend überprüfen.

1.3 Mit der Entsorgung betraute Organisationen

1.3.1 Die Betreiber der Kernanlagen

Die Betreiber der Kernanlagen tragen die Gesamtverantwortung der Entsorgung. Operationell übernehmen sie die Verantwortung für die Konditionierung der Betriebsabfälle und deren Zwischenlagerung, für den Brennstoffkreislauf (inkl. Beschaffung der Transport- und Lagerbehälter) und sind beteiligt an der Planung und Projektierung, am Bau und Betrieb sowie am Verschluss der geologischen Tiefenlager.

Die Entsorgungspflicht der Betreiber der Schweizer Kernanlagen endet, sobald die Abfälle in ein geologisches Tiefenlager verbracht worden und die finanziellen Mittel für die Beobachtungsphase und den allfälligen Verschluss sichergestellt sind²⁹. Darüber hinaus ist der Betreiber eines geologischen Tiefenlagers verpflichtet, beim Verschluss alle offenen Teile des Tiefenlagers zu verfüllen und die für die Langzeitsicherheit und die Sicherung massgebenden Teile zu versiegeln³⁰.

²⁴ Art. 960e OR [12], IFRS [13] bzw. Swiss GAAP FER[14].

²⁵ Art. 23 Bst. c SEFV [9].

²⁶ Art. 82 Abs. 2 Bst. c KEG [7].

²⁷ Vgl. Art. 82 Abs. 3 KEG [7].

²⁸ Art. 19 Abs. 2 SEFV [9].

²⁹ Art. 31 Abs. 2 KEG [7].

³⁰ Art. 69 KEV [8].

Für die Bearbeitung spezifischer Themen haben die Betreiber Organisationen gegründet: Dazu gehören die Zwiilag, die Nagra und swissnuclear. Deren Aufgaben sind weiter unten beschrieben.

1.3.2 Die Zwiilag

Die Zwiilag Zwischenlager Würenlingen AG, im Folgenden Zwiilag genannt, wurde 1990 von den Kernkraftwerk-Betreibergesellschaften gegründet und handelt in deren Auftrag. Der Zweck der Gesellschaft ist der Betrieb von Entsorgungsanlagen und die Bereitstellung von Zwischenlagerkapazitäten für alle Kategorien von radioaktiven Abfällen. Die Zwiilag nimmt alle Arten von radioaktiven Abfällen der Schweiz entgegen. Diese stammen aus den Kernkraftwerken (Betriebsabfälle und abgebrannte Brennelemente), aus der Wiederaufarbeitung, sowie aus Medizin, Industrie und Forschung. Die Zwiilag konditioniert die Abfälle oder führt sie direkt der Zwischenlagerung zu.

Die Abfälle können am Standort der Zwiilag dank der Kombination von Abfallbehandlungsanlagen und Zwischenlager optimal zusammengeführt, verarbeitet, verpackt und überwacht werden. Die Zwiilag betreibt Abfallbehandlungsanlagen (Plasma-Anlage, Konditionierungsanlage), eine Umladestation Schiene-Strasse, eine Lagerhalle für Behälter mit abgebrannten Brennelemente und hochaktive Abfälle, ein Lager für die Lagerung von Abfällen, die aufgrund ihrer Strahlung einer dickwandigen Abschirmung bedürfen, eine Lagerhalle für Abfälle, die keiner solchen Abschirmung bedürfen, sowie eine heisse Zelle, in der Lagerbehälter überprüft und repariert werden können, die aber auch für Inspektionen oder für das Umladen von Brennelementen benötigt wird.

Die Zwiilag sorgt für, durch ihre vorhandenen Lagermöglichkeiten und Verarbeitungskapazitäten, die sichere Entsorgung von anfallenden Betriebsabfällen der Kernkraftwerke sowie abgebrannten Brennelemente bis zur Einlagerung der Abfälle in die geologischen Tiefenlager.

1.3.3 Die Nagra

Die Verursacher von radioaktiven Abfällen in der Schweiz, d. h. der Bund und die Betreiber der Schweizer Kernkraftwerke, haben 1972 die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) gegründet und diese mit der Realisierung der geologischen Tiefenlager beauftragt. Der Auftrag der Nagra umfasst die Vorbereitung der geologischen Tiefenlager. Der Bau und Betrieb der geologischen Tiefenlager erfolgt entweder durch die Nagra oder eine noch zu gründende Nachfolgeorganisation. Die Vorbereitung der geologischen Tiefenlager umfasst neben der Planung und Projektierung der notwendigen Anlagen auch die Durchführung von erdwissenschaftlichen Untersuchungen sowie der erforderlichen Forschung und Entwicklung, die Erarbeitung der notwendigen Sicherheitsnachweise und weiterer Unterlagen für die verschiedenen Bewilligungsverfahren sowie die Begleitung dieser Verfahren (Beantwortung von Behördenanfragen usw.) und die transparente Information der Öffentlichkeit.

Weiter ist die Nagra mit der Inventarisierung der radioaktiven Abfälle der Schweiz aus Kernkraftwerken, aus Medizin, Industrie und Forschung sowie der abgebrannten Brennelemente betraut und erarbeitet auch das modellhafte Inventar für die in Zukunft einzulagernden radioaktiven Abfälle ins geologische Tiefenlager.

1.3.4 Swissnuclear

Swissnuclear wahrt, koordiniert und vertritt die gemeinsamen Interessen der Betreiber der Kernanlagen in nuklearen Belangen (betreffend Politik, Kommunikation, Entsorgung, Forschung und Ausbildung) sowie in weiteren technischen Belangen gegenüber nationalen und internationalen Behörden, Organisationen und Verbänden sowie der Politik und der Öffentlichkeit. Zu den Aufgaben gehört auch die Ermittlung der Kosten für die Stilllegung der Kernanlagen am Ende ihrer Betriebszeit und die Entsorgung der in der Schweiz anfallenden bzw. von Schweizer Unternehmen verursachten radioaktiven Abfälle. Swissnuclear erstellt dazu im Auftrag der Betreiber der Kernanlagen alle fünf Jahre eine Kostenstudie. Dies erfolgt in Zusammenarbeit mit den für die nukleare Entsorgung in der Schweiz verantwortlichen Organisationen und unter Berücksichtigung der von der Verwaltungskommission des Stilllegungs- und des Entsorgungsfonds festgelegten Vorgaben.

1.3.5 Der Bund

Die Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung (MIF) gehen nach der gebührenpflichtigen Abgabe in das Eigentum des Bundes über, der damit die Entsorgungspflicht für diese Abfälle übernimmt. Weiter ist der Bund Eigentümer der in seinen Organisationen anfallenden Abfälle (zum Beispiel Forschungsanlagen). Der Bund ist verantwortlich für die Konditionierung, die Zwischenlagerung und das Verbringen der eigenen und der übernommenen Abfälle in die geologischen Tiefenlager. Der Bund ist deshalb auch Genossenschafter der Nagra.

1.4 Das Entsorgungsprogramm

Die Entsorgungspflichtigen müssen gemäss KEG ein Entsorgungsprogramm erstellen³¹. Dieses wird von den zuständigen Bundesbehörden geprüft und auf Antrag des Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) vom Bundesrat genehmigt. Im Entsorgungsprogramm haben die Entsorgungspflichtigen Angaben zu machen über die Menge und Art der radioaktiven Abfälle, die benötigten geologischen Tiefenlager einschliesslich ihres Auslegungskonzepts, die Zuteilung der radioaktiven Abfälle auf die geologischen Tiefenlager, das Realisierungsprogramm zur Erstellung, zum Betrieb und Verschluss der geologischen Tiefenlager, die Dauer und die benötigte Kapazität der zentralen und dezentralen Zwischenlager, die Finanzierung der Entsorgung sowie das Informationskonzept im Hinblick auf die Realisierung der benötigten geologischen Tiefenlager.

Das Entsorgungsprogramm wird periodisch an die sich ändernden Gegebenheiten angepasst. Die Einhaltung des Entsorgungsprogramms wird von den Bundesbehörden überwacht.

Die KS21 und das Entsorgungsprogramm 2021 (EP21) [15] wurden 2021 inhaltlich aufeinander abgestimmt und im gleichen Zeitraum beim Bund eingereicht. Damit sind die inhaltliche Koordination und die konsistente Darstellung der Informationen zur Entsorgung gewährleistet. EP21 bildet den gegenwärtigen Stand der Planung zur geologischen Tiefenlagerung ab, berücksichtigt aber Handlungsoptionen für die Realisierung der geologischen Tiefenlager in ergebnisoffener Form, ohne Vorentscheide zu Standorten oder zur detaillierten Anordnung und technischen Auslegung der geologischen Tiefenlager zu treffen.

Demgegenüber geht die Kostenstudie von einem modellhaften, aber konkreten Basisvorhaben³² aus, das die Vorgaben der Kommission der Fonds bezüglich Modellstandorten umsetzt (vgl. Kapitel 4) und einen Detaillierungsgrad aufweist, der die Nachvollziehbarkeit der Kostenermittlung unter Berücksichtigung von Chancen und Gefahren ermöglicht. Die Kostenstudie trifft zu diesem Zweck modellhafte Annahmen, die mit dem Entsorgungsprogramm vereinbar sind, aber keine vorzeitigen Festlegungen zu späteren Entscheidungen auf dem Weg zur geologischen Tiefenlagerung bedeuten.

Das im Entsorgungsprogramm abgehandelte Entsorgungskonzept ist in Abbildung 1 dargestellt und wird nachfolgend kurz beschrieben. Abgebrannte Brennelemente wurden bis 2006 teilweise in die Wiederaufarbeitung gegeben, entweder nach Frankreich (La Hague) oder nach England (Sellafield). Alle Abfälle aus der Wiederaufarbeitung wurden in die Schweiz zurückgeführt und in den Anlagen der Zwiilag zwischengelagert. Aufgrund eines Moratoriums zur Wiederaufarbeitung werden seit 2006 die abgebrannten Brennelemente ohne Vorbehandlung in Transport- und Lagerbehälter geladen und in den Anlagen des zentralen Zwischenlagers (Zwiilag) beziehungsweise im Zwischenlager Beznau zwischengelagert, nachdem sie in den Brennelement-Becken der Kernkraftwerke bzw. im Nasslager des Kernkraftwerks Gösgen genügend abgekühlt worden sind. Das Kernenergiegesetz untersagt seit 2018 die Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente.

Die während des Betriebs der Kernkraftwerke anfallenden radioaktiven Betriebsabfälle werden entweder bei den Werken konditioniert und im Falle des Zwischenlagers Beznau auch dort zwischengelagert oder aber am Standort der Zwiilag konditioniert und dann dort zwischengelagert.

Die aus dem Bereich Medizin, Industrie und Forschung anfallenden Abfälle werden ans PSI abgeliefert, dort konditioniert³³ und dann im Bundeszwischenlager (auf dem Gelände des PSI) zwischengelagert. Das PSI führt diese Aufgabe im Auftrag des Bundes durch.

³¹Art. 32 Abs. 1 KEG [7].

³²Das Basisvorhaben umfasst die beiden Basisprojekte SMA-Lager und HAA-Lager (ohne Varianten).

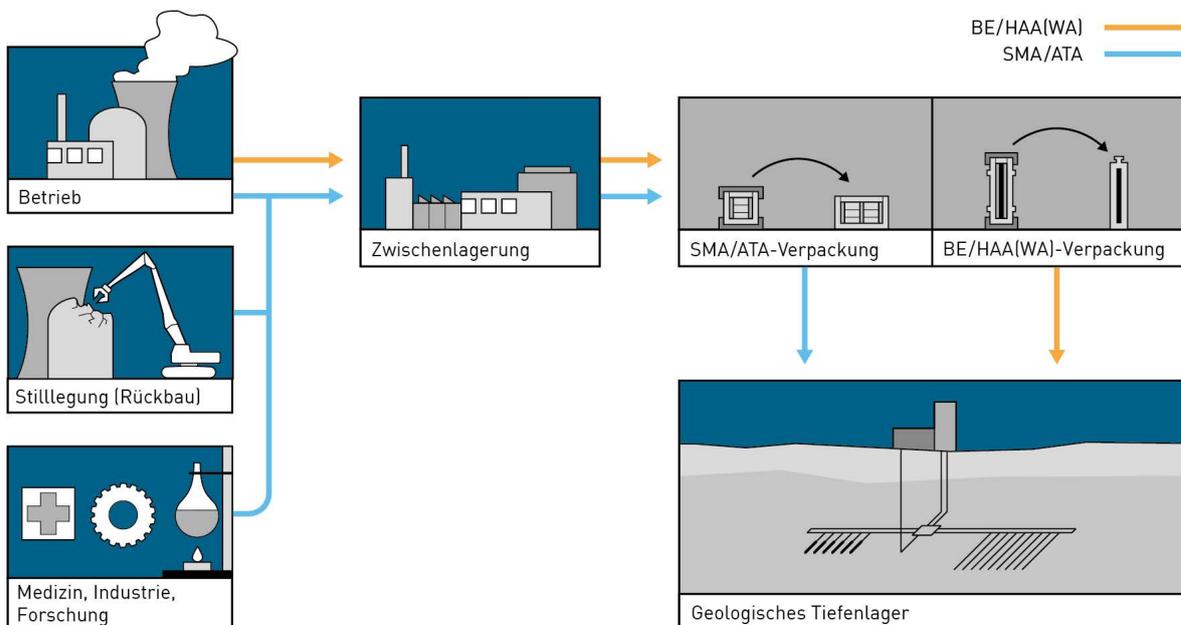
³³Gewisse Abfälle werden im Auftrag des Bundes beim Zwiilag konditioniert.

Die Kernkraftwerke, Forschungsanlagen und Infrastrukturanlagen werden nach endgültiger Einstellung des Leistungsbetriebs zurückgebaut und die anfallenden radioaktiven Abfälle konditioniert und zwischengelagert oder – wenn dies mit dem Realisierungsplan der geologischen Tiefenlager kompatibel ist – direkt in ein geologisches Tiefenlager verbracht.

Nach der Betriebsaufnahme der geologischen Tiefenlager werden die radioaktiven Abfälle aus den Zwischenlagern oder direkt vom Anlagenstandort in die geologischen Tiefenlager verbracht. Nach Abschluss der Einlagerung der radioaktiven Abfälle folgt eine Beobachtungsphase und anschliessend werden die geologischen Tiefenlager vollständig verschlossen. Der Verschluss der geologischen Tiefenlager erfolgt in Schritten: Während der Betriebsphase werden volle Lagerkammern sofort verschlossen, nach einigen Jahren der Beobachtungsphase (Annahme: 10 Jahre) werden die Hauptzugänge zu den Lagerkammern verschlossen und nach Abschluss der Beobachtungsphase (Annahme: Gesamtdauer 50 Jahre) erfolgen die vollständige Stilllegung und der Rückbau der Anlage sowie der Gesamtverschluss.

Während der gesamten Betriebs- und Beobachtungsphase werden das Pilotlager und falls angezeigt spezifische Langzeitexperimente in Testbereichen weiter betrieben und die Beobachtungen Untertag und an der Oberfläche fortgeführt.

Die im Entsorgungsprogramm definierten Auslegungskonzepte für die geologischen Tiefenlager berücksichtigen die rechtlichen und behördlichen Vorgaben und setzen insbesondere das gesetzlich verankerte Konzept der geologischen Tiefenlager um (Hauptlager, Pilotlager, Testlager; mit einer Beobachtungsphase im Anschluss an den Einlagerungsbetrieb).



Gem. Entsorgungsprogramm 2021 [15].

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

Abbildung 1: Übergeordnete Elemente der Entsorgung in der Schweiz.

1.5 Radioaktive Abfälle nach Abfallsorten

Herkunft, Art und Menge der in der Schweiz zu entsorgenden radioaktiven Abfälle sind bekannt. Die entstehenden Abfälle werden laufend charakterisiert, konditioniert und in einer Datenbank inventarisiert. Bei der Datenbank handelt es sich um das Informationssystem für radioaktive Materialien (ISRAM), das von allen Schweizer Kernkraftwerken, dem Paul Scherrer Institut (PSI), der Zwiilag und der Nagra verwendet wird. Es enthält die Daten zu sämtlichen konditionierten radioaktiven Abfällen der Schweiz und damit das Inventar der heute bereits vorhandenen, künftig einmal in ein geologisches Tiefenlager zu verbringenden Abfälle. Die erst in Zukunft anfallenden, tiefenzulagernden radioaktiven Abfälle werden in einem modellhaften Inventar (MIRAM) geführt. Damit ist eine zuverlässige Basis für die Planung und Realisierung der benötigten Infrastruktur sowie deren Finanzierung vorhanden.

Laut Kernenergieverordnung³⁴ werden die radioaktiven Abfälle³⁵ in der Schweiz in folgende, am Gefährdungspotenzial orientierte Abfallkategorien eingeteilt:

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

Bei einem 50-jährigen Betrieb aller Kernkraftwerke (KKM 47 Jahre) ergibt sich das in Tabelle 2 aufgeführte Abfallmengengerüst, gegliedert nach Abfallkategorien gemäss KEV und nach Herkunft der Abfälle.

Die oben aufgeführten Abfallsorten lassen sich diesen Abfallkategorien zuordnen. Als hochaktive Abfälle gelten ein Teil der Wiederaufarbeitungsabfälle³⁶ sowie die abgebrannten Brennelemente. Der Kategorie alphatoxische Abfälle können, je nach Gehalt an Alphastrahlern, grundsätzlich Abfälle aus allen Abfallsorten zuzuordnen sein. Alphatoxische Abfälle finden sich unter den Abfällen aus Medizin, Industrie und Forschung sowie bei der Wiederaufarbeitung der Brennelemente und zu einem kleinen Teil unter den Stilllegungsabfällen. Alle radioaktiven Abfälle, die weder hochaktiv noch alphatoxisch sind, zählen zu den schwach- und mittelaktiven Abfällen. Dies ist der Hauptteil des radioaktiven Abfallvolumens in der Schweiz.

Das Kernenergiegesetz verankert die Entsorgungspflicht nicht nur über das Verursacherprinzip, sondern gibt auch konkret vor, dass radioaktive Abfälle in einem sogenannten geologischen Tiefenlager entsorgt werden müssen.

Der Gesetzgeber und das EP21 legen im Sinne der ergebnisoffenen Planung noch nicht fest, ob sämtliche Abfälle in zwei Einzellagern (HAA- und SMA-Lager) an getrennten Standorten eingelagert werden sollen oder am selben Standort ein geologisches Tiefenlager mit getrennten Lagern für HAA und SMA (Kombilager) gebaut werden soll und wo die Lager erstellt werden. Für das Basisvorhaben der KS21 wird gemäss Vorgaben der Verwaltungskommission und in Übereinstimmung mit der Kostenstudie 2016 angenommen, dass die HAA (abgebrannte Brennelemente, verglaste Spaltproduktlösungen aus der Wiederaufarbeitung) im HAA-Lager eingelagert werden, während die weiteren schwach- und mittelaktiven Abfälle (SMA) sowie die alphatoxischen Abfälle (ATA) im SMA-Lager eingelagert werden. Das sich im Rahmen des Sachplanverfahrens abzeichnende Kombilager wird als wichtigste Chance in die KS21 integriert.

³⁴ Art. 51 KEV [8].

³⁵ Es ist zu beachten, dass gemäss Strahlenschutzverordnung [11] (StSV Anhang 1) Stoffe nur dann als radioaktive Stoffe zu betrachten sind, wenn sie Radionuklide enthalten, deren Aktivität die in der StSV festgesetzten Freigrenzen übersteigt.

³⁶ Die in die Schweiz zurückgelieferten hochaktiven Wiederaufarbeitungsabfälle bestehen nach der Substitution der bituminierten Abfälle ausschliesslich aus verglasten Spaltproduktlösungen.

Wie Tabelle 2 zeigt, fallen während einer 50- bzw. 47-jährigen Betriebsdauer der fünf Schweizer Kernkraftwerke 3'546 Tonnen Brennelemente an (vgl. Fussnoten 1 und 2 der Tabelle). Davon wurden aufgrund bestehender Verträge 1'139 Tonnen wiederaufgearbeitet. Dies resultiert in einem Volumen von 7'168 m³ für die in Endlagerbehälter verpackten hochaktiven Abfälle und abgebrannten Brennelemente (HAA)³⁷. Weiter fallen 923 m³ an für die in Endlagerbehälter verpackten alphanotoxischen Abfälle (ATA) sowie 68'135 m³ für die in Endlagerbehälter verpackten schwach- und mittelaktiven Abfälle (SMA).

Für die Kernkraftwerke und die Oberflächenanlage (OFA) fallen dabei insgesamt 60'287 m³ in Endlagerbehälter verpackte Abfälle an. Für die Abfälle aus dem Bereich Medizin, Industrie und Forschung (MIF) wird für eine Sammelperiode bis 2063 von einem Volumen für die in Endlagerbehälter verpackten Abfälle von 15'939 m³ ausgegangen.

Das Volumen der in Endlagerbehälter verpackten Abfälle ist zum Teil erheblich höher als das Volumen der zur Verpackung angelieferten radioaktiven Abfälle (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: Abfallmengen für 50 Jahre Betrieb (für KKB, KKG, KKL) sowie 47 Jahre (für KKM).

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

Angaben in m³. Abweichungen sind rundungsbedingt.

HAA = Hochaktive Abfälle, ATA = Alphanotoxische Abfälle, SMA = Schwach- und mittelaktive Abfälle, BE = abgebrannte Brennelemente, WA = Wiederaufarbeitungsabfälle, BA = Betriebsabfälle, RA = Reaktorabfälle, SA = Stilllegungsabfälle, MIF = Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung, OFA = Abfälle aus dem Betrieb und der Stilllegung der Oberflächenanlagen.

Volumen der angelieferten bzw. konditionierten Abfälle und das in Endlagerbehälter verpackte Volumen in Klammern. Die Angaben sind gegliedert nach Kategorien der Kernenergieverordnung mit zusätzlicher Gliederung nach Herkunft der Abfälle. Abgebrannte Brennelemente (BE) werden vor ihrer Einlagerung in die Lagerstollen des HAA-Lagers ohne weitere Behandlung in Endlagerbehälter verpackt. Die Angabe in Klammern ist das verpackte Volumen, wobei wegen der Begrenzung der maximal zulässigen Wärmeleistung der Behälter z. T. Leerstellen zu berücksichtigen sind.

^{a)} Entspricht 2'407 Tonnen Uran.

^{b)} Diese Abfälle resultieren aus der Wiederaufarbeitung von 1'139 Tonnen Uran.

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

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

^{e)} Brennelemente des DIORIT-Forschungsreaktors und Pressbüchsen aus dem PSI Hotlabor.

^{f)} Hier sind auch 2'399 m³ Abfälle aus dem CERN enthalten.

³⁷⁾ Bei der Berechnung der notwendigen Anzahl Endlagerbehälter wird berücksichtigt, dass gemäss heutigem Stand des Wissens ein BE-/HAA-Endlagerbehälter zum Zeitpunkt der Einlagerung eine maximale Wärmeleistung von 1'500 Watt pro Behälter aufweisen darf. Dies führt dazu, dass ein kleiner Teil der BE-/HAA-Endlagerbehälter nicht vollständig beladen werden kann.

1.6 Berücksichtigung der Kosten für die Tiefenlagerung von Stilllegungsabfällen

Stilllegungsabfälle fallen im Rahmen der Stilllegung der Kernkraftwerke und des zentralen Zwischenlagers Zwiilag an. Die Kosten für die Stilllegung der Kernanlagen sowie für die Einlagerung der Stilllegungsabfälle im geologischen Tiefenlager für SMA inklusive Transporte werden separat und unabhängig von der in diesem Bericht beschriebenen Kostenermittlung bestimmt und sind durch Beitragszahlungen der Betreiber an den Stilllegungsfonds sicherzustellen. Die im Rahmen der KS21 durchgeführte Berechnung der Stilllegungskosten [2] enthält somit auch die Kosten der Entsorgung der Stilllegungsabfälle im SMA-Lager. Diese Kosten werden wie bis anhin auf Basis der Grenzkosten für das SMA-Lager ermittelt. Es wird dabei angenommen, dass den Stilllegungskosten nur die für die Einlagerung der Stilllegungsabfälle zusätzlich erforderlichen Aufwendungen, wie zum Beispiel für das Auffahren von weiteren Lagerkavernen und für die Verfüllung und Versiegelung dieser Lagerkavernen, zugerechnet werden. Alle anderen Kosten des SMA-Lagers hingegen werden den Entsorgungskosten zugeordnet.

Bei den in diesem Bericht aufgeführten Zahlen handelt es sich um die Kosten für die geologischen Tiefenlager ohne die Grenzkosten der Stilllegungsabfälle für die geologische Tiefenlagerung. Die Grenzkosten für die Stilllegungsabfälle werden jedoch in den Erläuterungen der Tabellen aufgeführt.

1.7 Realisierungsprogramm der Entsorgung und zeitliche Gliederung

Die Kosten für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle werden seit der Gründung der Nagra im Jahr 1972 erfasst. Die Zeitdauer, über die sich die Zahlungen erstrecken, hängt hauptsächlich von der Betriebsdauer der Kernkraftwerke und von der zeitlichen Ausdehnung des Entsorgungspfades³⁸ ab.

Abbildung 2 zeigt die angenommenen Betriebszeiten der wichtigsten Anlagen auf dem Entsorgungspfad. Die detaillierten Bau-, Betriebs- und Stilllegungszeiten der Kernkraftwerke und Tiefenlager lassen sich dem Bericht «Kostenstudie 2021, Ermittlung der Stilllegungskosten» entnehmen. Die zeitliche Gliederung des Etappenplans der geologischen Tiefenlager sind in Kapitel 4 dargestellt. Bei den Betriebszeiten für das geologische Tiefenlager SMA und HAA wird jeweils eine Betriebsbereitschaft von 15 Jahren angegeben.

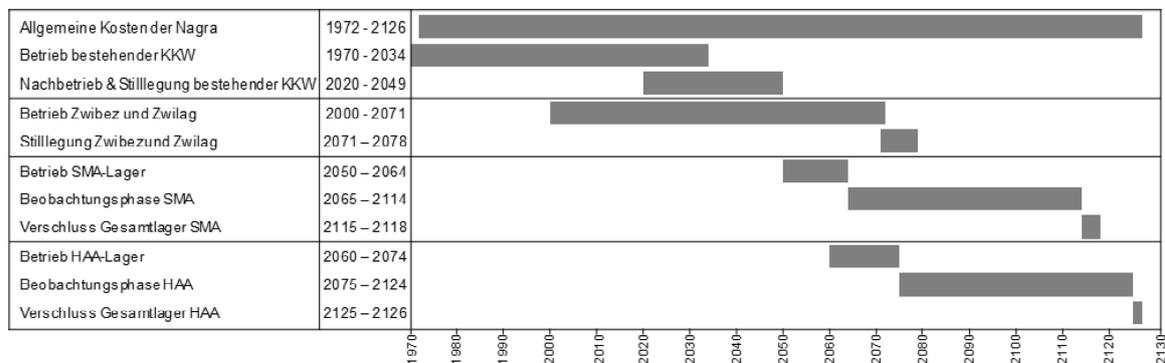


Abbildung 2: Betriebszeiten der wichtigsten Anlagen des Entsorgungspfades bei einer Betriebsdauer der Kernkraftwerke von 50 Jahren (vereinfachte Darstellung).

³⁸Die Realisierungszeiträume von der Festlegung eines Standorts für die geologische Tiefenlagerung, über den Beginn der Einlagerung der Abfälle bis zum Verschluss des geologischen Tiefenlagers wurden im Sachplan Geologische Tiefenlager (SGT) festgelegt. Aufgrund von längeren Abläufen, von beabsichtigten oder nicht beabsichtigten Wartezeiten, von gerichtlichen Auseinandersetzungen, von Änderungen im Prozessablauf bis hin zu Planänderungen und Rücksprüngen usw. können die Zeitspannen von der aktuellen Planung abweichen.

2 Vorgaben und Annahmen

Für die Ermittlung der voraussichtlichen Kosten von komplexen Infrastrukturprojekten müssen Annahmen getroffen und Randbedingungen festgelegt werden. Darüber hinaus hängt das Ergebnis der Berechnungen auch von den gültigen Gesetzen und Verordnungen, den zu beachtenden Vorschriften, Normen und Richtlinien ab. In den nachstehenden Kapiteln 2.1 und 2.2 werden die Prämissen für die vorliegende Kostenstudie dargelegt.

Gemäss Art. 4 der Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung (SEFV) [9] werden die Kosten für die geologischen Tiefenlager gestützt auf die Angaben im Entsorgungsprogramm der Entsorgungspflichtigen, auf die aktuellen technisch-wissenschaftlichen Erkenntnisse sowie auf die im Zeitpunkt der Berechnung gültigen Preise ermittelt.

Bezüglich Finanzierung und Ermittlung der Kosten sowie für die Erarbeitung der Projekte sind die gesetzlichen und behördlichen Vorgaben zu berücksichtigen. Wichtige Gesetze und behördliche Vorgaben sowie Normen und Regeln sind in Kapitel 2.2 aufgeführt.

Bei der Ermittlung der Kosten sind neben den im Entsorgungsprogramm enthaltenen Angaben auch die Vorgaben der Verwaltungskommission der Fonds für die KS21 umzusetzen. Diese betreffen die Darstellung der Kosten gemäss einer vorgegebenen Kostenstruktur (Kapitel 3.1), die Berücksichtigung und detaillierte Darstellung von Ungenauigkeiten und Risiken (Gefahren und Chancen) und eines Sicherheitszuschlags im Rahmen der Umsetzung der vorgegebenen Kostengliederung (Kapitel 3.2) sowie weitere Vorgaben der Verwaltungskommission für die Kostenermittlung (Kapitel 2.2). Weitere Angaben zum gegenwärtigen Stand der Standortwahl, die für die Berechnung der Kosten relevant sind, und weitere für die Kostenermittlung wichtige Grundlagen und Annahmen werden dem Entsorgungsprogramm entnommen; auf diese wird in Kapitel 2.2 verwiesen. Die aus dem Vorhaben «Geologische Tiefenlager» und dem zugrunde liegenden Entsorgungsprogramm resultierenden Anforderungen an die Methode der Kostenermittlung werden in Kapitel 2.2 aufgeführt.

2.1 Rechtliche und behördliche Vorgaben

Als Grundlage für die vorliegende Ermittlung der Entsorgungskosten für die Schweizer Kernanlagen dienen die aufgeführten und per 1. Januar 2020 rechtsgültigen Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Vorschriften, Normen und Regeln.

2.1.1 Gesetze und Verordnungen

Bezüglich Kosten und Finanzierung:

- Kernenergiegesetz (KEG) [7].
- Kernenergieverordnung (KEV) [8].
- Strahlenschutzgesetz (StSG) [10].
- Stilllegungsfonds- und Entsorgungsfondsverordnung (SEFV) [9].

Bezüglich nuklearer Aspekte und des Strahlenschutzes:

- Kernenergiegesetz (KEG) [7].
- Kernenergieverordnung (KEV) [8].
- Strahlenschutzgesetz (StSG) [10].
- Strahlenschutzverordnung (StSV) [11].
- Verordnung über die Anforderung an das Personal von Kernanlagen (VAPK) [29].
- Safeguardsverordnung (SafGV) [16].
- Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und Sicherungsmassnahmen für Kernanlagen und Kernmaterialien (UVEK-VO Sicherung) [17].

- Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen (UVEK-VO Störfälle) [18].

Bezüglich Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz:

- Bundesgesetz über die Arbeit in Industrie, Gewerbe und Handel (Arbeitsgesetz, ArG) mit zugehörigen Verordnungen (ArGV 1 bis 4) [19], [20], [21], [22], [23].
- Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten (Verordnung über die Unfallverhütung [VUV]) [24].
- Bundesgesetz über die Unfallversicherung (UVG) [25].
- Verordnung über die Unfallversicherung (UVV) [26].
- Verordnung über die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer bei Bauarbeiten (Bauarbeitenverordnung, BauAV) [27].
- Verordnung über die Sicherheit von Maschinen (Maschinenverordnung, MaschV) [28].

Bezüglich Umwelt und Raumplanung und weitere diesbezüglich relevanter Gebiete:

- Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG) [30].
- Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPV) [31].
- Verordnung über den Schutz vor Störfällen (Störfallverordnung, StFV) [32].
- Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG) [33].
- Verordnung über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzverordnung, GSchV) [34].
- Bundesgesetz über Bauprodukte (Bauproduktegesetz, BauPG) [35].
- Verordnung über Bauprodukte (Bauprodukteverordnung, BauPV) [36].
- Bundesgesetz über die Raumplanung (Raumplanungsgesetz, RPG) [37].
- Raumplanungsverordnung (RPV) [38].
- Bundesgesetz über den Natur- und Heimatschutz (NHG) [39].
- Verordnung über den Natur- und Heimatschutz (NHV) [40].

Bezüglich Haftpflicht und Gebühren:

- Kernenergiehaftpflichtgesetz (KHG) [41].
- Kernenergiehaftpflichtverordnung (KHV) [42].
- Gebührenverordnung des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats (Gebührenverordnung ENSI) [43].
- Verordnung über die Gebühren des Bundesamtes für Umwelt (Gebührenverordnung BAFU, GebV-BAFU) [44].
- Verordnung über Gebühren und Aufsichtsabgaben im Energiebereich (GebV-En) [45].
- Verordnung über die Gebühren im Strahlenschutz (GStsV) [46].

2.1.2 Richtlinien und Empfehlungen

Für die geologischen Tiefenlager sind insbesondere folgende Richtlinien des ENSI für die nukleare Sicherheit und den Strahlenschutz zu beachten:

- ENSI-B04 Freimessen von Materialien und Bereichen aus kontrollierten Zonen [47].
- ENSI-B05 Anforderungen an die Konditionierung radioaktiver Abfälle [48].
- ENSI-B12 Notfallschutz in Kernanlagen [49].
- ENSI-B17 Betrieb von Zwischenlagern für radioaktive Abfälle [50].

- ENSI-G03 Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis [51].
- ENSI-G05 Transport- und Lagerbehälter für die Zwischenlagerung [52].
- ENSI-G14 Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung aufgrund von Emissionen radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen [53].
- ENSI-G15 Strahlenschutzziele für Kernanlagen [54].
- ENSI-G17 Stilllegung von Kernanlagen [55].
- HSK-R-07 Richtlinie für den überwachten Bereich der Kernanlagen und des Paul Scherrer Instituts [56].
- HSK-R-50 Sicherheitstechnische Anforderung an den Brandschutz in Kernanlagen [57].
- HSK-R-102 Auslegungskriterien für den Schutz von sicherheitsrelevanten Ausrüstungen in Kernkraftwerken gegen die Folgen von Flugzeugabsturz [58].

Zudem werden weitere für die Auslegung und für Sicherheitsanalysen relevante Richtlinien und Empfehlungen für Kernkraftwerke (hier nicht weiter aufgezählt) konsultiert und für die geologische Tiefenlagerung sinngemäss angewandt.

2.1.3 Normen und Regeln

Für die Studie zu den Entsorgungskosten werden unter anderem berücksichtigt:

- Normen des Schweizerischen Ingenieur- und Architekten-Vereins (SIA).
- Technische Normen des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV).
- Sicherheitstechnische Regeln des Kerntechnischen Ausschusses (KTA).
- Brandschutzrichtlinien der Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen (VKF).

2.2 Annahmen aus dem Entsorgungsprogramm und aus dem Vorhaben «Geologische Tiefenlager»

Gemäss Art. 4 SEFV [9] sind für die Ermittlung der Kosten die Angaben im Entsorgungsprogramm der Entsorgungspflichtigen [15] zu berücksichtigen. Das Entsorgungsprogramm bildet den gegenwärtigen Stand der Planung zur Realisierung der geologischen Tiefenlager ab. Es enthält eine Planung mit teilweise noch ausstehenden Entscheiden und einen vereinfachten Realisierungsplan mit den wichtigsten Entscheidungspunkten und den übergeordneten Aktivitäten. Es macht keine Angaben zum Ausgang der noch offenen Entscheide.

Die für die KS21 von der Verwaltungskommission gemachten Vorgaben bzgl. Modellstandorte (gleiche Modellstandorte wie in der Kostenstudie 2016, d. h.: SMA-Lager in Jura Ost (kurz: JO), HAA-Lager in Zürich Nordost (kurz: ZNO) sind kompatibel mit dem gegenwärtigen Stand der Standortwahl der geologischen Tiefenlager gemäss Entsorgungsprogramm und dem Standortauswahlverfahren gemäss Sachplan. Das Entsorgungsprogramm macht jedoch keine Angaben, für welche Standorte schliesslich Rahmenbewilligungsgesuche erarbeitet und eingereicht werden sollen. Das Entsorgungsprogramm legt im Sinne der ergebnisoffenen Planung noch nicht fest, ob ein Kombilager oder zwei Einzellager gebaut werden sollen und wo die Lager erstellt werden.

Das Entsorgungsprogramm [15] enthält zu den Standortgebieten noch weitere Informationen, nämlich die Angabe der von der Nagra basierend auf der Zusammenarbeit mit der Region / dem Kanton bezeichneten Standortareale für die Oberflächenanlage (JO-3+ für das SMA-Lager in JO; ZNO-6b für das HAA-Lager in ZNO) und modellhafte Annahmen für den Zugang nach Untertag. Die im Entsorgungsprogramm enthaltenen Informationen werden soweit sinnvoll für die KS21 genutzt. Dies betrifft insbesondere den Realisierungsplan, die Standortareale und die Zugänge nach Untertag.

Das Entsorgungsprogramm und die dort referenzierten Unterlagen enthalten Angaben zu folgenden, für die Ermittlung der Kosten wichtigen Themen, die für die KS21 genutzt werden:

- Das modellhafte Inventar der radioaktiven Abfälle (Mengengerüst, detaillierte Angaben zu den Eigenschaften).
- Die verwendeten Lager- und Barrierenkonzepte.
- Angaben zu den in der KS21 für die geologischen Tiefenlager zu verwendenden Modellstandorte und Hinweise zu den in der KS21 zu betrachtenden Projektvarianten.
- Das Realisierungsprogramm mit den wichtigen Entscheidungspunkten und übergeordneten Aktivitäten, ohne aber Angaben zum Ausgang der zukünftigen, gegenwärtig noch offenen Entscheide zu machen.

Für die transparente und nachvollziehbare Berechnung der Kosten muss die Kostenstudie von konkreten, aber modellhaften Projekten ausgehen (modellhafte Standortgebiete gemäss Vorgabe der Verwaltungskommission, modellhafte Konzepte für die Auslegung, den Betrieb und den Verschluss der geologischen Tiefenlager, modellhafte detaillierte Realisierungsprogramme für die modellhaften Projekte). Diese Projekte sind in einem Detaillierungsgrad darzustellen, welcher eine nachvollziehbare Kostenermittlung erlaubt. Dazu müssen für die im Entsorgungsprogramm aufgeführten, heute noch offenen Entscheide für die Kostenstudie modellhafte Annahmen getroffen werden, ohne jedoch diese Entscheide damit vorwegzunehmen. Um die Ungewissheiten bei der zukünftigen Realisierung in den Kosten zu berücksichtigen, werden für die Kostenberechnung auch plausible Varianten zu diesen Entscheiden als Gefahren bzw. Chancen berücksichtigt.

Die Kostenstudie berücksichtigt also ausgehend vom Entsorgungsprogramm 2021 [15] modellhafte Annahmen, um den Nachvollzug der Kosten zu ermöglichen. Sie enthält modellhafte Unterlagen, um die Ermittlung der Kosten zu ermöglichen. Die Beschreibung des Vorhabens der geologischen Tiefenlager folgt in Kapitel 4.

Aus dem Entsorgungsprogramm [15] und der Beschreibung des Vorhabens der geologischen Tiefenlager in Kapitel 4 ergeben sich für das Vorgehen bei der Ermittlung der Kosten der geologischen Tiefenlager die folgenden Schlussfolgerungen:

- Der Kenntnisstand, die Erfahrungen und die Belastbarkeit der vorhandenen Informationen zu den vorgeschlagenen Standortgebieten, zu den verwendeten Konzepten und Auslegungen sowie zu den mit der Realisierung verbundenen Tätigkeiten zeigen, dass ein modellhaftes sicheres und machbares Basisvorhaben festgelegt und für die KS21 genügend detailliert spezifiziert werden kann, um mit einem «Bottom-up»-Verfahren die Basiskosten und die notwendigen Zuschläge und Abzüge abzuleiten.
- Die Methodik soll bei der Berechnung der Gesamtkosten neben dem modellhaften Basisprojekt auch in geeigneter Weise Varianten berücksichtigen können. Dabei sind Lagervarianten (zwei Einzellager oder ein Kombilager und Auslegungsvarianten für die Lager zu berücksichtigen. Die Kosten für die verschiedenen Varianten sind entsprechend den Grundsätzen der Kostengliederung zur Ableitung der Bemessungsgrundlage für die Festlegung der Fondsbeiträge zu berücksichtigen.
- Parallel zum Betrieb der geologischen Tiefenlager wird auch das Zwiilag mit seinen Anlagen noch in Betrieb sein. Dies ermöglicht es, Synergien beim Basisvorhaben und bei den Varianten einzubeziehen.

3 Methodik der Kostenermittlung

In der KS16 wurden gemäss Vorgaben der Verwaltungskommission eine Kostenstruktur eingeführt und die Kostenermittlung in Form einer Kostengliederung dargestellt. Die Verwendung dieser Kostenstruktur und Kostengliederung wurde für die KS21 weitestgehend beibehalten und ist nachfolgend erläutert.

3.1 Kostenstruktur

Die für die KS21 verwendeten Kostenstrukturen basieren auf den Vorgaben für die Erstellung der KS16, welche die Voraussetzungen für eine transparente Kostenplanung, aussagekräftige Kostenvergleiche, ein effektives Kostencontrolling sowie einen effizienten Abwicklungsprozess zur Inanspruchnahme von Fondsmitteln schaffen. Sie basieren zudem auf generellen Anforderungen an die Kostenstrukturen von komplexen Infrastrukturprojekten sowie auf spezifischen Anforderungen für Schweizer Kernanlagen und können durchgängig in allen Phasen der Kostenplanung und -feststellung angewendet werden.

Für die geologischen Tiefenlager bilden die Vorhaben «SMA-Lager» und «HAA-Lager» in der Kostenstruktur die oberste Ebene. Das Vorhaben «Kombilager» bildet auf oberster Ebene gemäss Vorgaben der Verwaltungskommission eine Variante zum Basisvorhaben mit zwei Einzellagern.

Die Kosten für die geologischen Tiefenlager sind gemäss folgender Hierarchie in einzelne Kostenebenen zu gliedern:

1. Gesamtkosten für das jeweilige Vorhaben. Dies umfasst die Kosten für die Vorbereitung, den Bau, den Betrieb und den Verschluss des jeweiligen Lagers mit allen zugehörigen Aktivitäten.
2. Für jedes Vorhaben sind die Kosten der erforderlichen Hauptaktivitäten separat aufzuführen. Es sind die folgenden Hauptaktivitäten zu berücksichtigen (mit Positions-Nummer in Klammern):
 - 2.1 Erdwissenschaftliche Arbeiten (Pos. 1000),
 - 2.2 Sicherheit und Systemanalysen (Pos. 2000),
 - 2.3 Radioaktive Materialien (Pos. 3000),
 - 2.4 Anlagenplanung und -bau (Pos. 4000),
 - 2.5 Anlagenbetrieb (Pos. 5000),
 - 2.6 Forschung und Entwicklung (Pos. 6000),
 - 2.7 Stilllegung, Rückbau und Verschluss der Anlagen (Pos. 7000),
 - 2.8 Allgemeine Kosten, insbesondere die Aufwendungen für die Geschäftsstelle (Pos. 8000),
 - 2.9 Behördentätigkeiten, Gebühren und Abgeltungen (Pos. 9000).
3. Objektgruppen: Für die Hauptaktivitäten «Anlagenplanung und -bau» (Pos. 4000), «Anlagenbetrieb» (Pos. 5000) und «Stilllegung, Rückbau und Verschluss der Anlagen» (Pos. 7000) kann zumindest ein Teil der Kosten spezifischen Objekten zugeordnet werden. Diese Objekte werden in Objektgruppen zusammengefasst. Folgende Objektgruppen werden verwendet:
 - 3.1 Oberflächeninfrastruktur,
 - 3.2 Zugang nach Untertag,
 - 3.3 Bauwerke auf Lagerebene.

Die Objekte der verschiedenen Objektgruppen sind nicht festgeschrieben. Die Objekte wiederum können aus mehreren Elementen bestehen.

3.2 Kostengliederung

Die Kostengliederung soll die bei Kostenermittlungen unvermeidlichen Risiken und Ungewissheiten berücksichtigen. Die Kostengliederung ist vom Begriff der Kostenstruktur abzugrenzen. Während die Kostenstrukturen aus dem modellhaften Projektstrukturplan abgeleitet werden, der den berechneten Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten zugrunde liegt, bezieht sich die Kostengliederung auf die Zusammensetzung der Gesamtkosten und beinhaltet neben den berechneten Ausgangskosten auch die Kosten für risikomindernde Massnahmen, die Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten, die Kostenzuschläge zur Berücksichtigung von Gefahren, die Kostenabzüge für Chancen sowie einen generellen Sicherheitszuschlag.

3.2.1 Vorgaben zur Kostengliederung

Neben den zu erwartenden Projektkosten sind auch die beinhalteten Zuschläge für projektinhärente Unsicherheiten transparent darzulegen und zu quantifizieren. Die Verwaltungskommission hat für die KS16 die in Kapitel 3.2.1 dargestellte Kostengliederung weiterentwickelt. Diese ist auch Bestandteil der Vorgaben für die KS21. Die einzelnen Kostenelemente, die aufsummiert zu Kostenniveaus führen und in den Kostenstudien abzubilden sind, wurden von der Verwaltungskommission wie folgt definiert³⁹:

Ausgangskosten (1)

In den Ausgangskosten sind ausnahmslos sämtliche Kosten enthalten, die für die Planung, Genehmigung, Durchführung und den Abschluss der vorgesehene Stilllegungs- und Entsorgungsprojekte inkl. Nachbetriebsphase vorhersehbar sind. Dazu gehören auch die Kosten für das allgemeine Management, die Projektierung, die Bewilligungsverfahren, sämtliche Gebühren und Abgaben, die Öffentlichkeitsarbeit, den Landerwerb, alle Vorarbeiten usw.

Die Ausgangskosten können auf der Grundlage von ermittelten Mengen (Material, Maschinen und Geräte, Arbeitsstunden usw.), aktuellen Richtpreisen (Einheitspreise oder Pauschalen) und Erfahrungswerten oder prozentual zu relevanten Bezugskosten ermittelt werden.

Bei den Ausgangskosten handelt es sich um die wahrscheinlichen Kosten; sie enthalten keine Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten, Risiken und Ungewissheiten.

Kosten zur Risikominderung (2)

Die Kosten bereits ausgeführter oder geplanter Massnahmen zur Risikominderung werden analog wie die Ausgangskosten - ohne jegliche Zuschläge - ermittelt. Solche risikomindernden Massnahmen können Gefahren eindämmen oder Chancen unterstützen und sind mit der Erarbeitung des Chancen- und Gefahrenkatalogs abzustimmen.

Basiskosten (3)

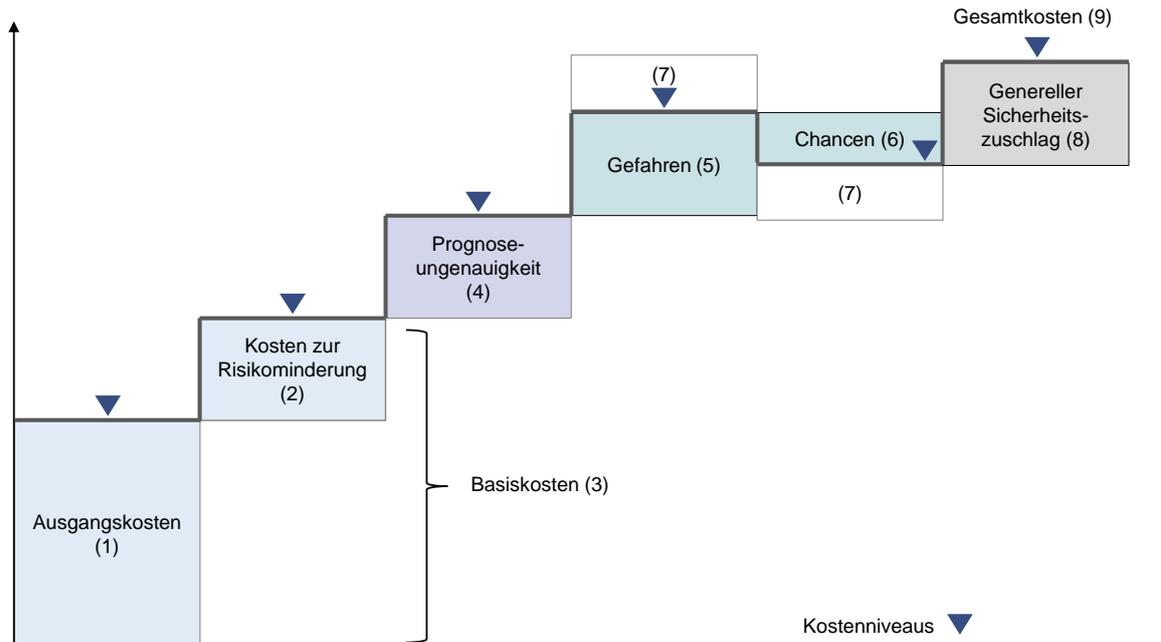
Ausgangskosten (Kosten Nr. 1) plus Kosten zur Risikominderung (Kosten Nr. 2, ohne jegliche Zuschläge).

Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten (4)

Alle Kostenermittlungen, insbesondere in den frühen Phasen eines Projekts, sind mit Ungenauigkeiten verbunden. Dies betrifft den Leistungsumfang (Scope) sowie die angenommenen Mengen und Preise. Da bei der KS21 nicht mit Vertrauensintervallen gearbeitet wird, müssen diese Ungenauigkeiten mit Zuschlägen berücksichtigt werden. Diese Zuschläge werden «Bottom-up» für jedes Element des Projektstrukturplans in Prozent der Ausgangskosten beziehungsweise der Kosten für die risikomindernden Massnahmen ermittelt. Diese Zuschläge sind spezifisch für jede Kostenposition zu beziffern in Abhängigkeit von der jeweils vorhandenen Schätzgenauigkeit; sie sind in der Regel jedoch kleiner als die theoretische Genauigkeitsspanne. Diese Einzelwerte werden einzeln ausgewiesen und begründet und auf das Niveau der Gesamtkosten aggregiert.

Zuschläge für Preissteigerungen und für Veränderungen bei externen Faktoren (zum Beispiel regulatorisches Umfeld, Inflation) sind hier nicht enthalten.

³⁹Die Definitionen sind im Wortlaut der Verwaltungskommission unter Verwendung deren Nomenklatur gegeben.



(7) Auflistung von nicht berücksichtigten Gefahren / Chancen

Abbildung 3: Kostengliederung für die KS21.

Kostenzuschläge für Gefahren (5)

Kostenzuschläge infolge der Berücksichtigung von absehbaren Gefahrenpotenzialen, zum Beispiel:

- Abweichungen, die im Rahmen der Projektabwicklung eintreten können und die nicht bereits als Prognoseungenauigkeit berücksichtigt sind.
- Wesentliche Änderung des Leistungsbeschreibs oder des Realisierungsprogrammes infolge veränderter Rahmenbedingungen.

Die Kostenzuschläge für Gefahren wurden «Top-down» auf der Basis einer quantitativen Risikoanalyse ermittelt. Dazu musste für jede relevante Gefahr deren Eintrittswahrscheinlichkeit und Kostenfolge aufgrund von Expertenwissen ermittelt werden. Als Kostenzuschlag wird der entsprechende Erwartungswert (Risikowert) in die Gesamtkosten eingerechnet.

Kostenabzüge für Chancen (6)

Kostenreduktionen infolge der Berücksichtigung von absehbaren Chancenpotenzialen, zum Beispiel:

- Neue Technologien.
- Alternative Konzepte.
- Mögliche Projektoptimierungen.

Kostenabzüge für Chancen sind analog wie die Kostenzuschläge für Gefahren zu ermitteln, darzulegen und bei den Gesamtkosten zu berücksichtigen.

Auflistung von nicht berücksichtigten Gefahren/Chancen (7)

Aussergewöhnliche Ereignisse (Gefahren und Chancen) mit sehr niedriger, meist unbekannter Eintrittshäufigkeit und sehr grossen Auswirkungen (so genannte High-Impact-/Low-Frequency-Ereignisse) werden in den Gesamtkosten nicht berücksichtigt, jedoch identifiziert, separat erfasst und – wo möglich mit geschätzten absoluten Kosten und Eintretenswahrscheinlichkeiten beziffert. Zudem ist zu begründen, wieso diese bei der KS21 nicht berücksichtigt werden.

Genereller Sicherheitszuschlag (8)

Ein genereller Sicherheitszuschlag («Optimism Bias», Erkenntnisse aus Benchmarking, etc.) ist so zu berechnen, dass nach Einschätzung zum Zeitpunkt der Fertigstellung der KS21 das Toleranz-Niveau gegenüber allfälligen Kostenüberschreitungen auf maximal 20 Prozent beschränkt wird.

Gesamtkosten (9)

Das Ergebnis der KS21 ist eine Zahl in Franken, die gemäss «Best Practice» von Experten auf der Basis des vereinbarten Leistungsumfangs («Scope»), des zugehörigen Projektstrukturplans («Work Breakdown Structure») und eines Zeitplans («Schedule and Milestones») «Bottom-up» ermittelt wird. Den immer vorhandenen Prognoseungenauigkeiten und Unsicherheiten (Risiken und Ungewissheiten) wird mit entsprechenden Zuschlägen Rechnung getragen, die jedoch auf dem jeweiligen Kostenniveau transparent und nachvollziehbar darzulegen und zu begründen sind.

Die Gesamtkosten der KS21 sind so zu berechnen, dass ein Toleranz-Niveau von 20 Prozent gegenüber allfälligen Kostenüberschreitungen (P20) erreicht wird.

3.2.2 Umsetzung der Kostengliederung

Die Kostengliederung wird auf sämtliche Bereiche der Kostenstudie angewendet. Die Herangehensweisen für die drei Teilbereiche Nachbetrieb, Stilllegung und Entsorgung sind vergleichbar und erfüllen die in Kapitel 3.2.1 dargestellten Vorgaben.

Ausgangspunkt für die Berechnung der Gesamtkosten ist das Basisvorhaben für die geologischen Tiefenlager. Das Basisvorhaben umfasst die technisch-wissenschaftliche Vorbereitung, die bauliche Realisierung der Anlagen, den Betrieb und den Verschluss der Anlagen sowie die diversen Aktivitäten, die sich aus den gegebenen Randbedingungen im technischen/planerischen, gesellschaftlichen und politischen Umfeld des aktuellen Planungsstands ergeben.

Ausgangskosten, Kosten zur Risikominderung und Basiskosten

Den Basiskosten [Kostenniveau 3] liegen demzufolge definierte Annahmen für das «Bausoll» des Basisvorhabens (Qualitätsziele), den Projektablauf (Zeitziele), die Marktverhältnisse sowie das gesetzliche und regulatorische Umfeld zugrunde. Die Basiskosten sind aufgrund ihrer Abhängigkeit vom Markt und vom politischen und gesellschaftlichen Geschehen an einen Zeitpunkt gebunden, ebenso an den zu diesem Zeitpunkt vorhandenen Kenntnis- und Projektstand. Die Basiskosten setzen sich aus den Kosten für das genannte Vorhaben (Ausgangskosten [Kostenblock 1]) und den Kosten, welche durch Massnahmen zur Minderung der Kostenrisiken anfallen [Kostenblock 2], zusammen. Risikomindernde Massnahmen sind Leistungen für Vorsichtsmassnahmen, die einen planmässigen Projektablauf gewährleisten sollen. Die Basiskosten umfassen die zukünftigen Kosten für alle notwendigen Objekte und Aktivitäten gemäss dem aktuellen Kenntnisstand des Projekts. Dabei wird der planmässige Ablauf des Projekts unter den erwarteten Bedingungen vorausgesetzt.

Abweichungen (erkannte Ungenauigkeiten und erkannte Gefahren und Chancen) können zu voraussehbaren Kostenänderungen (Zuschläge bzw. Abzüge) führen.

Kostenzuschlag für Prognoseungenauigkeiten

Die erkannten Ungenauigkeiten können verschiedene Ursachen haben: Einerseits können die zu erbringenden Leistungen nicht alle ganz genau erfasst und/oder ihre Kosten dafür nicht genau berechnet werden. Die Kostenermittlungen unterliegen einer Streuung (positiv oder negativ). Andererseits sind die erfahrungsgemäss bei der Leistungserbringung zu erwartenden kleineren Gefahren (zum Beispiel erschwerte technische Bedingungen, ungeplante Maschinenausfälle, Abweichungen bei der Beschaffung) Folgen von Ungenauigkeiten bei der Prognose der zukünftigen Abläufe und Bedingungen. Diese kleineren Gefahren sind wegen Ungewissheiten nicht im Detail bekannt und werden deshalb über einen generellen Zuschlag bei der entsprechenden Leistung erfasst. Die Ungenauigkeiten bei der Prognose sind kleine, jedoch häufige Abweichungen von der aktuellen Planung, die im jetzigen frühen Projektstand noch erhebliche Zusatzkosten zur Folge haben können. Prognoseungenauigkeiten sind im optimalen Fall vernachlässigbar klein, werden aber immer als kostentreibend angenommen. Die Kosten infolge Schätzungenauigkeit und Prognoseungenauigkeit werden als Zuschlag für Ungenauigkeiten [Kostenblock 4] ausgewiesen.

Kostenzuschläge für Gefahren und Kostenabzüge für Chancen

Die erkannten Gefahren [Kostenblock 5] und Chancen [Kostenblock 6] haben im Gegensatz zu den vorangehenden Kostenpositionen eine Eintrittswahrscheinlichkeit kleiner oder gleich 1. In der Kostenberechnung sind somit sowohl die Kosten für jedes dieser Ereignisse als auch dessen Eintrittswahrscheinlichkeit explizit zu berücksichtigen. Der Risikowert einer Gefahr oder Chance ist das Produkt aus deren Folgekosten und der Eintrittswahrscheinlichkeit. Ist der Betrag relevant in Bezug auf die zu erwartenden Gesamtkosten, wird die entsprechende Gefahr oder Chance mit einem Zuschlag bzw. Abzug bei der Kostenberechnung berücksichtigt.

Kostenfolgen von nicht berücksichtigten Gefahren und Chancen

Gefahren und Chancen mit sehr geringer Eintrittswahrscheinlichkeit [Kostenblock 7] (zum Beispiel sehr seltene Naturereignisse) werden bei der Ermittlung der Kosten nicht berücksichtigt. Sie werden jedoch ausgewiesen und soweit möglich bezüglich des Ausmasses ihrer Kosten und ihrer Relevanz charakterisiert. Zu den nicht berücksichtigten Chancen gehören auch mögliche Projektoptimierungen, bei welchen die heutige Projektreife noch nicht ausreicht, um sie in der jetzigen Kostenstudie zu berücksichtigen, die aber in zukünftigen Studien durchaus zum Tragen kommen könnten.

Genereller Sicherheitszuschlag

Entsprechend den Vorgaben für die Erstellung der KS21 ist der generelle Sicherheitszuschlag [Kostenblock 8] so zu berechnen, dass nach Einschätzung zum Zeitpunkt der Fertigstellung der KS21 die Wahrscheinlichkeit einer allfälligen Kostenüberschreitung auf maximal 20 Prozent beschränkt wird.

Gesamtkosten

Die Gesamtkosten [Kostenblock 9] setzen sich zusammen aus den Basiskosten, den Zuschlägen für Ungenauigkeiten, Zuschlägen für Gefahren und Abzügen für Chancen sowie dem generellen Sicherheitszuschlag.

3.3 Behandlung von Ungenauigkeiten und Risiken

Ausgangspunkt für die durchzuführende Kostenermittlung ist die Wahl einer geeigneten Methodik, welche die Vorgaben und die Randbedingungen abbildet. Eine der wichtigsten Anforderungen an die Methodik ist die zuverlässige Ermittlung der Gesamtkosten mit stufengerechter Berücksichtigung der Ungenauigkeiten und Risiken. Mit einer deterministischen Aufrechnung allein können die Auswirkungen der Ungenauigkeiten für geplante Leistungen nicht in angemessener Weise abgebildet werden. In Ergänzung zu den Vorgaben der Verwaltungskommission werden deshalb orientierende Rechnungen mit probabilistischen Methoden durchgeführt. Diese Methoden berücksichtigen auch die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Eingangsgrössen. Im vorliegenden Fall sind die Kostenelemente die Eingangsgrössen.

In Kostenelementen werden Kostenpositionen für geplante Leistungen zusammengefasst, welche bezüglich wichtiger Abweichungen vom gleichen Ereignis bzw. Phänomen ausgelöst werden und deshalb hinsichtlich Kostenfolgen korreliert sind. Die einzelnen Kostenpositionen der Basiskosten werden deterministisch aufsummiert. Allenfalls wird ein Teil dieser Kosten den risikomindernden Massnahmen zugeordnet. Ein Kostenelement der Basiskosten deckt eine in sich abgerundete oder gar abgeschlossene Leistungseinheit ab. Zuschläge, welche die Ungenauigkeiten in der Prognose der Basiskosten abdecken, sind separate Kostenelemente. Es gibt im vorliegenden Fall drei Gruppen von Kostenelementen. Die erste betrifft die Basiskosten, die zweite die Kostenzuschläge für die Ungenauigkeit in der Prognose und die dritte die Kostenzuschläge für Gefahren bzw. Kostenabzüge für Chancen. Die Anzahl der Kostenelemente der Basiskosten entspricht der Anzahl der Kostenelemente für die Ungenauigkeit in der Prognose für die Positionen der Basiskosten.

Jedem Kostenelement werden zur Berücksichtigung der Schätzungenauigkeit ein minimaler Wert, ein Erwartungswert, ein maximaler Wert und eine Verteilung der Werte zwischen den beiden Extrema zugeordnet. Mittels Monte-Carlo-Simulation werden die Kostenelemente stufenweise zu Gesamtkosten mit einer zugehörigen Wahrscheinlichkeitsverteilung zusammengeführt. Die resultierende Kurve erlaubt die Ermittlung des wahrscheinlichsten Werts für die Gesamtkosten. Um einen bestimmten Vertrauensbereich abzudecken, in welchen die Kosten mit entsprechender Wahrscheinlichkeit zu liegen kommen, sind Zusatzkosten vorzusehen.

Die erwarteten Zusatzkosten zu den Basiskosten ergeben sich als Folge von Schätzungenauigkeiten und wegen Ungenauigkeiten in der Prognose zukünftiger kleiner Abweichungen (Erschwernisse). Sie werden als Zuschlag für Ungenauigkeiten in der Berechnung der Gesamtkosten berücksichtigt. Aus der Zusammenführung der Kostenelemente aus Gefahren und Chancen resultiert der Zuschlag (evtl. Abzug) für Einzelrisiken.

Die Aufsummierung der Basiskosten und der Zuschläge (evtl. Abzüge) für Ungenauigkeiten und Risiken führt zusammen mit den bereits aufgelaufenen Kosten zu den voraussichtlichen Kosten des Vorhabens auf der Basis des aktuellen Planungsstands. Dazu wird der generelle Sicherheitszuschlag [Kostenblock 8] addiert, für dessen Bewertung u. a. die nachfolgenden Annahmen und Randbedingungen gelten.

Hier ist der Zuschlag für das «Unbekannte» zu beachten, wie er heute teilweise bei Kostenberechnungen für Grossprojekte verwendet wird. Die Notwendigkeit bzw. der Umfang eines solchen Zuschlags hängt von den Eigenschaften der einzelnen Kostenelemente des Projekts (Kenntnisstand, Komplexität usw.) und von den für diese Kostenelemente schon eingerechneten Zuschlägen für Ungenauigkeiten und Gefahren ab. Weiter sind auch der Stand des Projekts (Standortwahl: SGT Etappe 3; Projektierung Oberflächeninfrastruktur: Stufe Vorstudie; Projektierung Untertageanlagen: Stufe Vorprojekt) und die Finanzierung des Projekts zu beachten, insbesondere die Möglichkeit zur Korrektur der Finanzierung, inklusive Nachfinanzierung durch die Entsorgungspflichtigen. Im Rahmen der periodischen Aktualisierung der Kostenstudie (alle fünf Jahre) werden die Zuschläge für Ungenauigkeiten und Gefahren bzw. die Abzüge für Chancen jeweils umfassend neu beurteilt und bewertet, und es wird auch geprüft, ob es neue Erkenntnisse gibt, welche es erfordern, die Zuschläge bzw. Abzüge anzupassen. Die zum Zeitpunkt der jeweiligen Kostenberechnung bestehende Planungssituation (Fortschritt der Projektentwicklung, Kostenentwicklung und Risikosituation) wird für die Festlegung der Zuschläge für Ungenauigkeiten und Gefahren bzw. der Abzüge für Chancen herangezogen. Dort wird auch geprüft, ob es Erkenntnisse gibt, welche Zuschläge für weitere Elemente erfordern.

Schliesslich ist zu beachten, dass unbekannt seltene Ereignisse mit grossen Kostenfolgen (sogenannte «Black-Swan»-Ereignisse) gemäss Vorgabe der Verwaltungskommission bei der Ermittlung der Gesamtkosten nicht zu berücksichtigen sind.

3.4 Risikomanagement

3.4.1 Umgang mit Abweichungen vom Basisvorhaben

Die für die Kosten relevanten Abweichungen zum Basisvorhaben⁴⁰ sind bei der Realisierung der geologischen Tiefenlager ein wichtiges Element für die Höhe der Gesamtkosten und müssen aktiv überwacht und – wo möglich – positiv beeinflusst werden.

Zu den für die Kosten relevanten Abweichungen gehören sowohl Gefahren und Chancen als auch Schätz- und Prognoseungenauigkeiten, sofern diese über ein übliches, anerkanntes Mass hinausgehen. In diesem Fall sind bei den Schätzungenauigkeiten grössere Streubreiten und bei den Prognoseungenauigkeiten höhere Zuschläge vorzusehen. Gefahren und Chancen sind vermutete, eher selten ($P \leq 50$ Prozent) auftretende Einzelrisiken (mit Ausnahme der Lagervariante Kombilager). Ihre Eintrittswahrscheinlichkeit ist in der Regel nicht genau bekannt und muss (mit geeigneten Hilfsmitteln) ermittelt werden. Ihre Realisation hat ebenfalls Kosten zur Folge (negative oder positive).

Zu den für die Kosten relevanten Abweichungen gehören auch Projektvarianten zum Basisprojekt. Diese werden in der KS21 wie Chancen (Kosteneinsparung im Vergleich zum Basisprojekt) oder Gefahren (Mehrkosten im Vergleich zum Basisprojekt) behandelt, sind aber eigentlich keine Risiken, da ihre Realisation das Ergebnis eines geplanten Entscheidungsprozesses ist. Die Standortvarianten eines HAA-Lagers am Standort Jura Ost, eines SMA-Lagers am Standort Zürich Nordost sowie die Lagervariante Kombilager für den Standort Nördliche Lägern wurden abgeschätzt. Die Differenzkosten zum Basisvorhaben respektive dem Kombilager am Standort ZNO sind jeweils kleiner 2 Prozent. Darum wird auf eine vollständige Kostenermittlung der Standortvarianten verzichtet.

Die Differenzierung in Bezug auf Auftreten, Anzahl, Kostenfolgen und Behandlung (Vermeidung/Förderung) von kostenrelevanten Abweichungen verlangt eine systematische Identifikation der diesbezüglich relevanten Projektrisiken. In einem Risikoregister werden ausgehend vom Basisvorhaben für die geologischen Tiefenlager die möglichen kostenwirksamen Abweichungen möglichst umfassend erfasst und der Umgang mit diesen Abweichungen aufgezeigt.

Die Kostenfolgen werden im Rahmen der Berechnung der Basiskosten in einem separaten Prozess ermittelt und ebenso wie das Risikoregister laufend dem aktuellen Projektstand angepasst.

Die Verwendung eines systematischen und zielführenden Risikomanagements ist eine wichtige Voraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung des Projekts geologische Tiefenlager im gegebenen Kostenrahmen. Es regelt den Umgang mit den Abweichungen. Dazu wird eine Reihe von Massnahmen umgesetzt mit dem Ziel, Gefahren zu vermeiden oder zu reduzieren und Chancen zu fördern und zu nutzen. Für gewisse Aspekte müssen die Massnahmen so systematisch eingesetzt werden und zuverlässig wirksam sein, dass sie bezüglich ihrer Wirkung zu eigentlichen Voraussetzungen für die Abwicklung des Projekts werden.

Die vorgesehenen Massnahmen gehen davon aus, dass das Projekt in einem gesellschaftlich, politisch und planerisch stabilen Umfeld und mit dem entsprechenden gesellschaftlichen Willen zur Entsorgung mittels Tiefenlagerung realisiert wird. Für die Massnahmen sind die von Dritten (Behörde bzw. Politik) vorgegebenen generellen Randbedingungen (rechtliche und behördliche Vorgaben) und deren geeignete Anwendung (Sachplanverfahren und Rahmenbewilligungsverfahren sowie weitere Bewilligungsschritte), welche die Realisierung sicherstellen, Voraussetzung.

Vor diesem Hintergrund lässt sich stufengerecht eine Reihe von Massnahmen definieren, welche in den nachfolgenden Abschnitten erläutert werden.

Ein Teil dieser Massnahmen ist mit Kosten verbunden. Diese Kosten sind Aufwendungen für die Sicherstellung einer erfolgreichen Projektrealisation und im Folgenden als Kosten zur Risikominderung bezeichnet. Sie werden in Kapitel 5.3 eingehender spezifiziert und in die KS21 eingerechnet.

⁴⁰Das Basisvorhaben umfasst die beiden Basisprojekte SMA-Lager und HAA-Lager. Im Gegensatz zum Vorhaben «Geologische Tiefenlagerung» umfasst das Basisvorhaben nicht die Varianten.

3.4.2 Strategische Massnahmen

Die strategischen Massnahmen betreffen den übergeordneten Umgang mit dem politischen und planerischen Umfeld des Vorhabens. Dazu gehört ein geeigneter, mit den relevanten Stellen abgestimmter Realisierungsplan. Dadurch wird sichergestellt, dass Gefahren bzw. Chancen frühzeitig erkannt, die Entscheide und Bewilligungen schrittweise erarbeitet und die Bevölkerung und die Interessensgruppen angemessen einbezogen werden. Das Standortwahlverfahren gemäss Sachplan sowie die weiteren Bewilligungsschritte erfolgen in einem geeigneten technischen/planerischen Ablauf, wofür auch technische und weitere Massnahmen vorzusehen sind (vgl. Kapitel 3.4.4).

3.4.3 Organisatorische Massnahmen

Organisatorische Massnahmen schaffen für die Nagra die notwendigen Voraussetzungen, um das Vorhaben «Geologische Tiefenlagerung» in geeigneter Art unter den gegebenen Randbedingungen und gemäss der vorgesehenen Strategie umzusetzen. Sie zielen auf geeignete Rahmenbedingungen in Bezug auf personelle und finanzielle Mittel. Dafür wird genügend Personal mit der erforderlichen Fachkenntnis und -kompetenz eingestellt, welches die notwendigen Abklärungen, Projektentwicklungen und Bewilligungsverfahren gemäss dem Stand von Wissenschaft und Technik durchführt, entsprechende Aufträge in geeigneter Form und zeitgerecht vergibt und begleitet sowie die dazu notwendigen Kosten realistisch ermittelt. Organisatorische Massnahmen stellen sicher, dass die erforderlichen Voruntersuchungen, Bewilligungsverfahren und Leistungen für Bau, Betrieb, Überwachung und Verschluss der geologischen Tiefenlager und die dazu notwendigen Arbeitspakete (Beschaffung, Abwicklung) in der vorgegebenen Qualität, zeitgerecht und kosteneffizient abgewickelt werden. Ebenso ist gewährleistet, dass die relevanten Interessensgruppen (Behörden, Politik, Öffentlichkeit) so begleitet werden, dass ihnen wichtige Informationen und der Gesamtkontext in verständlicher Weise zugänglich sind.

3.4.4 Technische und weitere Massnahmen

Die Nagra sieht eine Reihe von technischen und weiteren Massnahmen vor, um die Kostenrisiken für die Realisierung der erarbeiteten Lagerkonzepte klein zu halten. Die technischen Massnahmen sehen vielfach Tätigkeiten vor, die teilweise auch aus anderen Gründen durchgeführt werden müssen. Der Umfang und teilweise auch die detaillierte Ausgestaltung hingegen werden zwecks Minderung von Risiken angepasst. So sind die regionalen Untersuchungen in Zusammenhang mit dem Entsorgungsnachweis und das Standortwahlverfahren gemäss Sachplan breiter angelegt, als dies zwingend notwendig gewesen wäre. Dies hat zu einer breit abgestützten Informationsbasis geführt, welche es erlaubt, die Standorte für die Realisierung der Lager fundiert zu wählen und damit auch die Kostenrisiken genügend klein zu halten.

Weitere Massnahmen dienen vorwiegend der Zusammenarbeit, des Erfahrungsgewinns und der Interaktion mit Interessensgruppen. Kontakte zu nationalen und internationalen Fachgremien und zu Schwesterorganisationen werden aktiv gesucht und gepflegt. Zum Aufbau und Erhalt des Verständnisses für das Projekt informiert die Nagra die Öffentlichkeit umfassend.

Das hier diskutierte Risikomanagement ist primär auf die Erfassung von Informationen zu Risiken mit Kostenfolgen ausgerichtet. Risiken bzgl. Strahlenschutz, nuklearer Sicherheit, Personensicherheit und Schutz der Umwelt während Vorbereitung, Bau, Betrieb und Verschluss der geologischen Tiefenlager werden in separaten spezifischen Analysen ausserhalb der Kostenstudien beurteilt. Deren Kosten sowie die Kosten für die geeignete Auslegung der Anlagen und Abläufe sind in den Basiskosten enthalten.

4 Das Vorhaben «Geologische Tiefenlager»

4.1 Übersicht

In Übereinstimmung mit den gesetzlichen Vorgaben werden in der Schweiz alle radioaktiven Abfälle in geologischen Tiefenlagern entsorgt. Dazu sind im Rahmen der KS21 gemäss den Vorgaben zwei Einzellager vorgesehen, das HAA-Lager und das SMA-Lager. Im Entsorgungsprogramm und in der KS21 wird neben der Entsorgung der Abfälle in zwei Einzellagern an verschiedenen Standorten auch die sich aufgrund des aktuellen Wissensstands abzeichnende Möglichkeit aufgeführt, das HAA- und das SMA-Lager im gleichen Standortgebiet anzuordnen und dabei die Oberflächeninfrastruktur und zumindest einen Teil der Zugangsbauwerke nach Untertag für die Lagerung der SMA und HAA gemeinsam zu nutzen. Diese wahrscheinliche Variante wird als «Kombilager» bezeichnet.

Die Arbeiten zum Vorhaben «Geologische Tiefenlager» laufen seit Ende der 1970er-Jahre. Das Forschungs- und Entwicklungsprogramm hat zu einer soliden technisch-wissenschaftlichen Basis geführt. Der gemäss Kernenergiegesetz geforderte Nachweis der Machbarkeit der sicheren Entsorgung (Entsorgungsnachweis gemäss Art. 106 KEG) wurde für das SMA-Lager 1988 und für das HAA-Lager 2006 basierend auf den Unterlagen der Nagra und den umfangreichen Überprüfungen durch die Behörden vom Bundesrat als erbracht anerkannt.

Das Standortauswahlverfahren gemäss Sachplan «Geologische Tiefenlager» (SGT) [59] ist seit 2008 im Gang. In Etappe 1 des Sachplanverfahrens wurden ausgehend von einer «weissen Karte Schweiz» (d. h. es wurde die ganze Schweiz in die Beurteilung der Standortmöglichkeiten einbezogen) mit Priorität auf die Sicherheit von der Nagra drei Standortgebiete für das HAA-Lager bzw. sechs Standortgebiete für das SMA-Lager für die weiteren Untersuchungen vorgeschlagen. Im November 2011 hat der Bundesrat basierend auf einer umfangreichen Begutachtung durch die Behörden und einer ausführlichen Anhörung entschieden, diesen Vorschlägen zuzustimmen.

Ausgehend von den in SGT Etappe 1 festgelegten Standortgebieten wurde im Rahmen der Etappe 2 von der Nagra in Zusammenarbeit mit den betroffenen Regionen und den Standortkantonen in jedem Standortgebiet ein breites Spektrum von Standortarealen für die Oberflächenanlage evaluiert. Basierend auf der Zusammenarbeit hat die Nagra in jedem Standortgebiet ein bzw. zwei Standortareale bezeichnet und für diese Planungsstudien ausgearbeitet. Parallel dazu hat die Nagra die geologischen Unterlagen vertieft und basierend darauf eine weitere Einengung vorgenommen. Der Bundesrat hat im November 2018 als Abschluss von SGT Etappe 2 der Fokussierung auf Opalinuston als Wirtgestein zugestimmt. Gleichzeitig hat der Bundesrat entschieden, dass die geologischen Standortgebiete Jura Ost (JO), Nördlich Lägern (NL) und Zürich Nordost (ZNO) in SGT Etappe 3 weiter zu untersuchen sind. Alle drei Standortgebiete wurden für ein SMA-, ein HAA- oder ein Kombilager vertieft untersucht. Die für den Sachplan und die vorangehenden Phasen durchgeführten umfangreichen Studien und Abklärungen haben zu einem guten Kenntnisstand geführt, welcher es erlaubt, die Standortmöglichkeiten in der Schweiz für geologische Tiefenlager umfassend zu beurteilen.

Die Verwaltungskommission hat vorgegeben, dass für die KS21 die gleichen Modellstandorte zu verwenden sind wie in der KS16. Es sind dies das Standortgebiet ZNO für das HAA-Lager und das Standortgebiet JO für das SMA-Lager. Das sich abzeichnende Kombilager wird daher nur als wichtigste Chance dargestellt.

Die Vorhaben für die geologischen Tiefenlager befinden sich bezüglich Realisierung immer noch in einer frühen Phase; viele der notwendigen Entscheide bis zum Bau der Lager sind noch ausstehend. In Tabelle 3 werden die wichtigsten zukünftig noch zu treffenden Entscheide bis Baubeginn aufgeführt. In der Tabelle werden auch die für die KS21 getroffenen modellhaften Annahmen zum Ausgang dieser Entscheide aufgeführt (Basisprojekt), welche die Vorgaben der Verwaltungskommission umsetzen.

Weiter wird auch aufgelistet, welche alternativen Entscheide möglich wären, die als Varianten zum Basisprojekt in der KS21 berücksichtigt werden. Die hier für die KS21 aufgeführten Annahmen haben modellhaften Charakter und nehmen keine zukünftigen Entscheide vorweg. Tabelle 3 zeigt, dass Varianten zum Basisprojekt ein wichtiges Merkmal der Vorhaben für die geologischen Tiefenlager darstellen. Diese Varianten werden bei der Berechnung der Kosten berücksichtigt. Die wichtigsten in dieser Tabelle aufgeführten Elemente werden nachfolgend beschrieben.

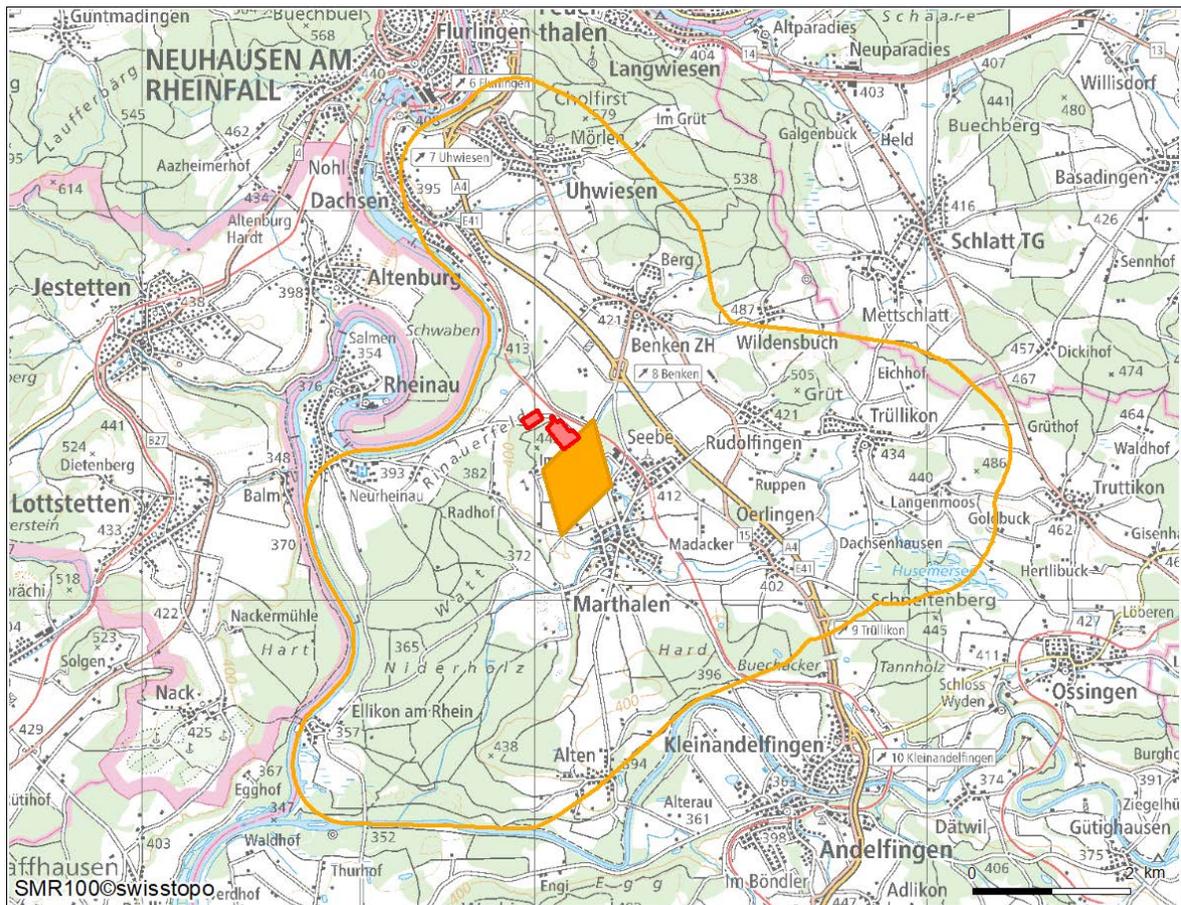
Tabelle 3: Basisprojekt und wichtigste in der Kostenstudie 2016 berücksichtigte Varianten.

Entscheidungspunkt	Kalkulatorische Annahme (Basisvorhaben)	Zusätzlich betrachtete Varianten
Entscheide bei der Rahmenbewilligung	SMA in JO, HAA-Lager in ZNO ^{a)}	Kombilager in ZNO
	Einlagerung der ATA im SMA-Lager	-
	Synergien der Oberflächenanlage für SMA-Lager in JO mit Zwiilag vollständig genutzt (insbesondere SMA-Verpackungsanlage)	SMA-Verpackungsanlage in ZNO (für Kombilager)
Entscheide bei der nuklearen Baubewilligung	Zugänge nach Untertag für HAA-Lager mit Schächten	Zugänge nach Untertag für HAA-Lager mit Schächten und Rampe
	Zugang nach Untertag für SMA-Lager mit Einfachröhre und Schacht	Zugang nach Untertag mit Doppelröhre und Schacht

Grundlage für die Kostenermittlung in der Kostenstudie 2021 ist das Basisprojekt, die aufgeführten Varianten werden bei der Berechnung der Kosten als Gefahren oder Chancen dargestellt. Neben diesen wichtigsten Varianten gibt es noch weitere Auslegungsvarianten.

^{a)} Vorgabe Verwaltungskommission, dass Einzellager in JO (SMA-Lager) und in ZNO (HAA-Lager) zu betrachten sind. Weitere Standort- oder Lagervarianten (Kombilager, Nördlich Lägern, usw.) sind gemäss Vorgaben der Verwaltungskommission separat abzubilden.

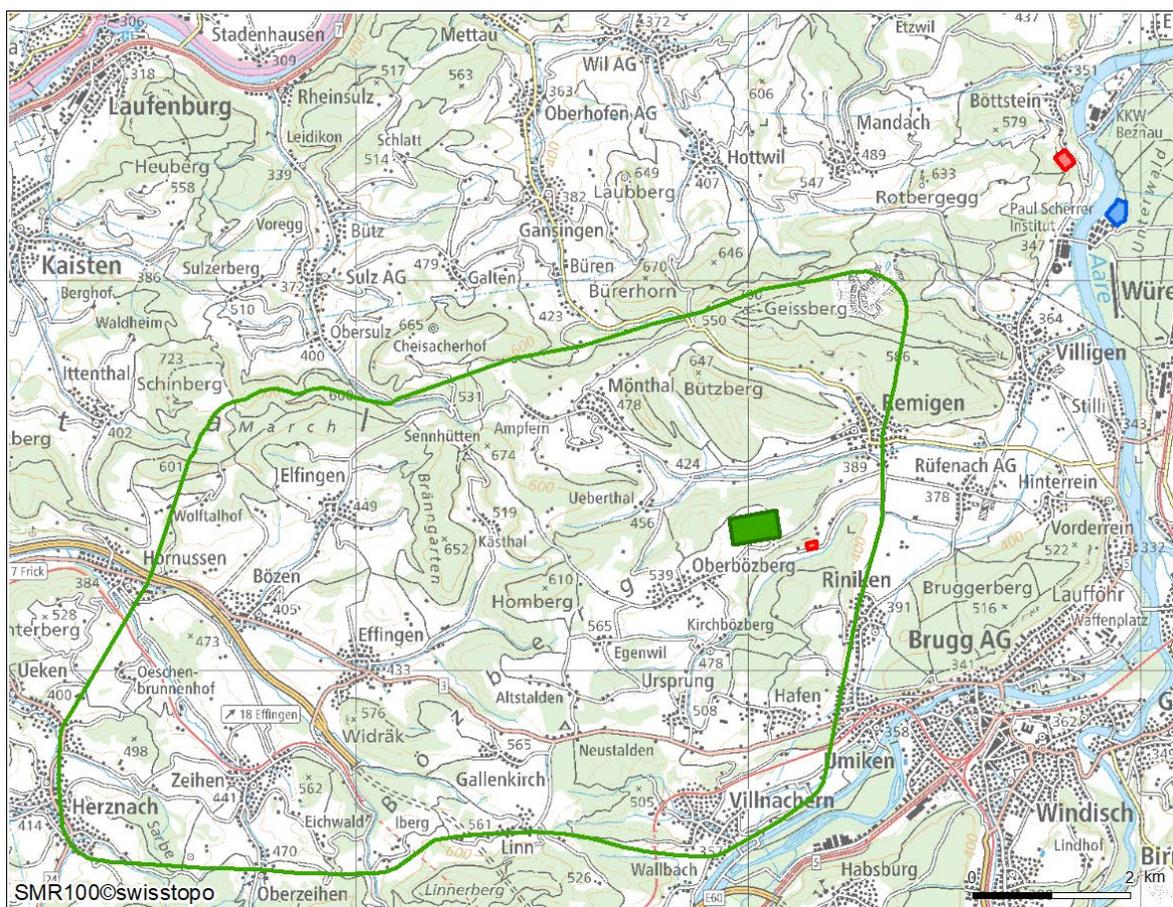
Gemäss Vorgabe geht das Basisvorhaben noch von zwei Einzellagern aus. Auf oberster Stufe der Kostenstruktur wird als Variante das sich abzeichnende Kombilager anstelle der Einzellager betrachtet. Aus Sicht der Nagra kommen die in SGT Etappe 3 weiter zu untersuchenden Standortgebiete JO, NL und ZNO jeweils für ein SMA-Lager, ein HAA-Lager oder ein Kombilager in Frage. Voraussichtlich 2022 wird die Nagra ankündigen, ob sie zwei Einzellager oder ein Kombilager realisieren will und in welchem Standortgebiet zukünftig die Lager gebaut werden sollen. Der abschliessende Entscheid fällt bei der Rahmenbewilligung. Eine ausführliche Beschreibung der Fortschritte im Standortwahlverfahren und des Vergleichs Kombilager/Einzellager findet sich im Entsorgungsprogramm 2021 [15]. Auch bezüglich der Auslegung der Lager gibt es Varianten, die entweder mit der Rahmenbewilligung oder mit der nuklearen Baubewilligung festgelegt werden.



Standortgebiet HAA
 Oberflächeninfrastruktur
 Lagerfläche HAA KS21

Abbildung 4: Lagerperimeter im HAA Standortgebiet Zürich Nordost (ZNO).

Der von der Nagra für die weitere Untersuchung in SGT Etappe 3 vorgeschlagene Lagerperimeter erlaubt es, in diesem Standortgebiet ein SMA-Lager, ein HAA-Lager oder ein Kombilager anzuordnen, vgl. [60].



- Standortgebiet SMA
- Oberflächeninfrastruktur
- Lagerfläche SMA KS21
- Bereich ZWILAG

Abbildung 5: Lagerperimeter SMA im Standortgebiet Jura Ost (JO).
 Der von der Nagra für die weitere Untersuchung in SGT Etappe 3 vorgeschlagene Lagerperimeter erlaubt es, in diesem Standortgebiet ein SMA-Lager, ein HAA-Lager oder ein Kombilager anzuordnen, vgl. [60].

Für die KS21 wird angenommen, dass auch der Entscheid bezüglich der grundsätzlichen Nutzung der Synergien mit der Zwilag mit der Rahmenbewilligung gefällt wird. Weitere Auslegungsvarianten, für deren Entscheid auch die Ergebnisse aus den erdwissenschaftlichen Untersuchungen Untertag verwendet werden, werden gemäss Annahmen mit der nuklearen Baubewilligung festgelegt.

In Abbildung 6 ist der Realisierungsplan für die geologischen Tiefenlager als Einzellager gemäss Anhang des Entsorgungsprogramms 2021 [15] als Balkendiagramm dargestellt. Die Zeiten im Realisierungsplan gehen davon aus, dass es zu keinen relevanten Verzögerungen im Bewilligungsverfahren oder aus technischen Gründen kommt. Allfällige Verzögerungen werden jedoch als Gefahr bei der Ermittlung der Gesamtkosten berücksichtigt.

Die Realisierung der geologischen Tiefenlager erfolgt in Übereinstimmung mit den gesetzlichen und behördlichen Vorgaben in mehreren Schritten. Die Standortwahl gemäss Sachplanverfahren endet mit dem Rahmenbewilligungsverfahren. Nach Erteilung der Rahmenbewilligung für die Tiefenlager folgen die erdwissenschaftlichen Untersuchungen Untertag (EUU), zu denen auch Versuche in den Sondierbauwerken auf Lagerebene gehören. Unter Berücksichtigung der dort erhobenen Daten werden die noch offenen Entscheide zu den Auslegungsvarianten gefällt und die nuklearen Baugesuche vorbereitet. Nach Erteilung der nuklearen Baubewilligungen folgt der Bau der Anlagen für jedes Lager. Anschliessend an das Verfahren für die nuklearen Betriebsbewilligungen beginnt jeweils der Betrieb mit der Einlagerungsphase. Beim HAA-Lager bzw. beim Kombilager werden parallel zur Einlagerung der Endlagerbehälter weitere Lagerstollen für die BE/HAA erstellt. Nach Abschluss der Einlagerung folgt die Beobachtungsphase. Nach Abschluss der Beobachtungsphase wird jedes Tiefenlager stillgelegt, verfüllt und verschlossen. Der Verschluss der Anlagen wird durch den Bundesrat angeordnet.

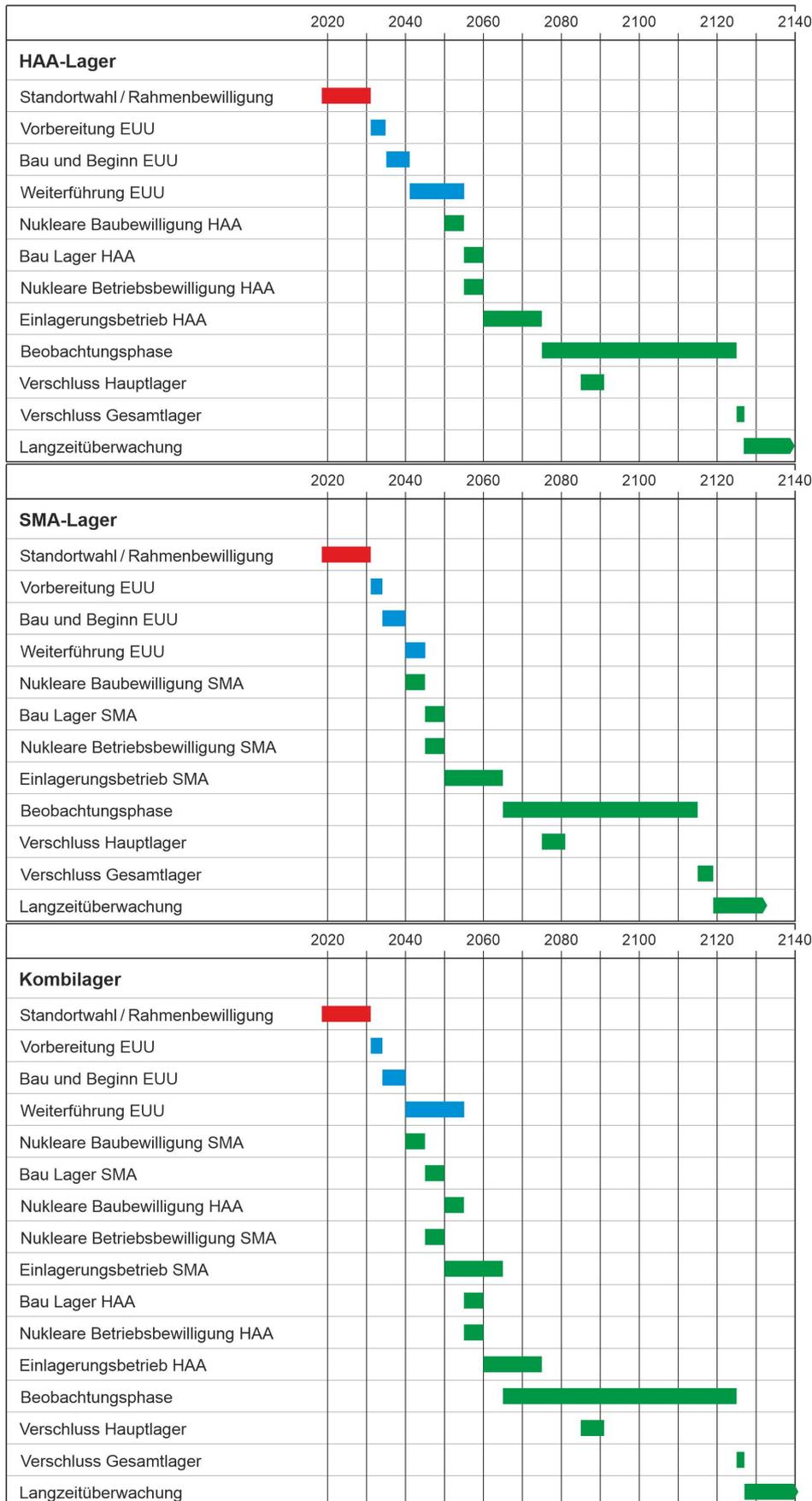
Das schrittweise Vorgehen bei der Realisierung der geologischen Tiefenlager bedeutet, dass auch die Anlagen ihre Funktion und ihren Charakter im Laufe der Realisierung ändern. An den mit den Rahmenbewilligungen festgelegten Standorten werden im Basisprojekt in einer ersten Phase Bauten für die erdwissenschaftlichen Untersuchungen Untertag erstellt. Dazu gehören auch einige wenige Bauten an der Oberfläche. Nach der jeweiligen nuklearen Baubewilligung werden die Oberflächenanlagen, die zusätzlich benötigten Zugänge nach Untertag und die Bauwerke auf Lagerebene erstellt. Soweit dies möglich ist, werden die von den erdwissenschaftlichen Untersuchungen Untertag her vorhandenen Anlagen genutzt (z. B. Schächte in ZNO bzw. Schacht und Rampe in JO). Dann folgt die Einlagerung der Abfälle. Nach Abschluss der Einlagerungsphase werden die in der Beobachtungsphase nicht mehr benötigten Anlagen stillgelegt und rückgebaut (Teile der Oberflächenanlagen) bzw. verfüllt und versiegelt (gewisse Bauwerke auf Lagerebene und Zugänge nach Untertag). In der Beobachtungsphase sind für Überwachungszwecke noch das Pilotlager und die Testbereiche zugänglich. Nach Abschluss der Beobachtungsphase werden die verbleibenden untertägigen Bauwerke verfüllt und versiegelt und die noch vorhandene Oberflächeninfrastruktur rückgebaut.

Wie dem Realisierungsplan entnommen werden kann, wird bis Ende des Einlagerungsbetriebs für das HAA-Lager das ZwiLag mit seinen Hilfssystemen zur Verfügung stehen. Dies bedeutet, dass Synergien mit dem ZwiLag genutzt werden können und dass auch bei Verzögerungen bei der Realisierung der geologischen Tiefenlager die Sicherheit der radioaktiven Abfälle ohne grossen Mehraufwand gewährleistet ist; die Abfälle können weiterhin sicher im Zwischenlager⁴¹ gelagert werden.

Wie aus dem Realisierungsplan ersichtlich ist, sind Bau- und Betriebsbeginn der geologischen Tiefenlager zeitlich noch relativ weit entfernt. Dies bedeutet, dass es grundsätzlich bis zum Bau bzw. bis zum Betrieb der geologischen Tiefenlager zu technologischen Neuentwicklungen kommen kann, auch wenn die dazumal zu verwendenden Technologien schon heute relativ weit entwickelt sind. Diese technologische Entwicklung kann auch Auswirkungen auf die Kosten haben. Für die Berechnung der Basiskosten wird davon ausgegangen, dass das Basisvorhaben mit heute vorhandener Technologie realisiert wird; damit wird vermieden, sich auf allfällige Spekulationen einzulassen. Wo absehbar, kann eine technologische Entwicklung als Chance qualitativ diskutiert werden. Ähnliches gilt für die Entwicklung der gesetzlichen und behördlichen Vorgaben. Gemäss Vorgabe der Verwaltungskommission sind die heute in Kraft befindlichen Vorgaben zu berücksichtigen.

Die grundsätzlichen Auslegungskonzepte für das HAA-Lager, das SMA-Lager und das Kombilager sind im Entsorgungsprogramm [15] beschrieben. In den nachfolgenden Unterkapiteln werden die dazu für die KS21 getroffenen modellhaften Annahmen bezüglich Anordnung und Ausgestaltung der verschiedenen Elemente der geologischen Tiefenlager detaillierter beschrieben.

⁴¹Ein Teil der radioaktiven Abfälle des KKB wird im Zwischenlager Beznau (Zwibez) zwischengelagert.



1) EEU – Erdwissenschaftliche Untersuchungen Untertag

Abbildung 6: Realisierungsplan für das HAA-, SMA- und Kombilager. Gemäss EP21 [15].

4.2 Das HAA-Lager

Übersicht

Das für die KS21 gemäss Vorgaben modellhaft im Standortgebiet ZNO angenommene Basisprojekt HAA-Lager besteht aus der Infrastruktur an der Oberfläche (Objektgruppe Oberflächeninfrastruktur) mit der Oberflächenanlage und der Schachtkopfanlage und der zugehörigen Erschliessung. Diese Anlagen dienen auch dem Zugang nach Untertag (Objektgruppe Zugang nach Untertag) zu den Bauwerken auf Lagerebene (Objektgruppe Bauwerke auf Lagerebene). Die Bauwerke auf Lagerebene umfassen das Hauptlager für die BE und HAA, das Pilotlager mit dem Kontrollstollen, die Testbereiche sowie die für den Bau, Betrieb und Verschluss notwendigen weiteren Bauwerke (zum Beispiel der Bau- und Betriebstunnel). Diese Bauwerke sind gemäss aktueller Planung etwa mittig im Opalinuston angeordnet.

Abbildung 7 enthält eine schematische Darstellung der Gesamtanlage für das HAA-Lager. Das Schema zeigt die Zugänge nach Untertag sowie die Bauwerke auf Lagerebene.

Abbildung 8 zeigt eine für die KS21 getroffene modellhafte Anordnung der Gesamtanlagen des HAA-Lagers im Standortgebiet ZNO mit dem Standortareal ZNO-6b für die Oberflächenanlage.

Legende

— Lüftungstunnel HAA wird nur als Gefahr in der KS21 berücksichtigt

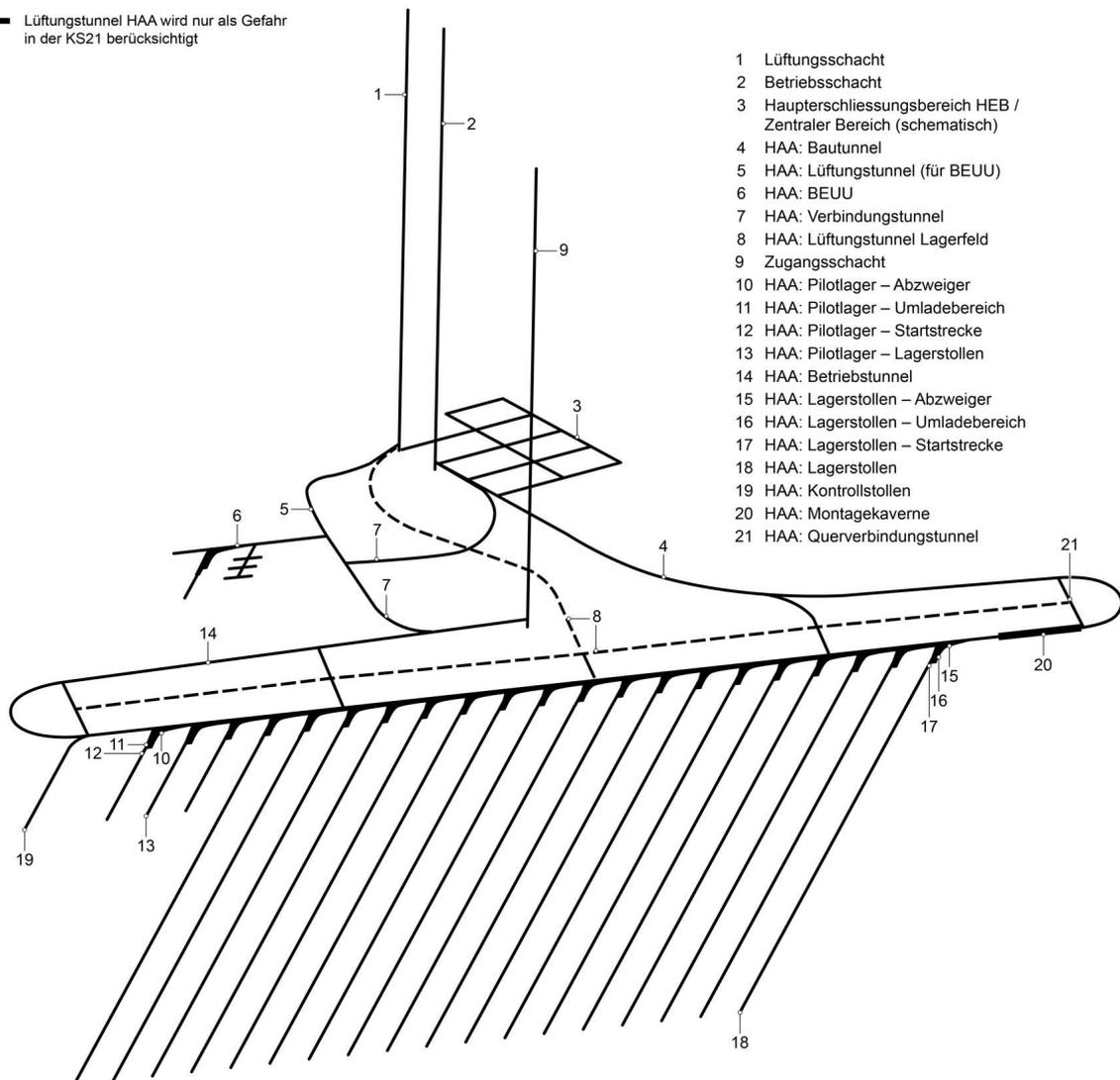


Abbildung 7: Schematisches modellhaftes Anlagenkonzept der untertägigen Anlagen und Bauten für das Basisprojekt HAA-Lager.

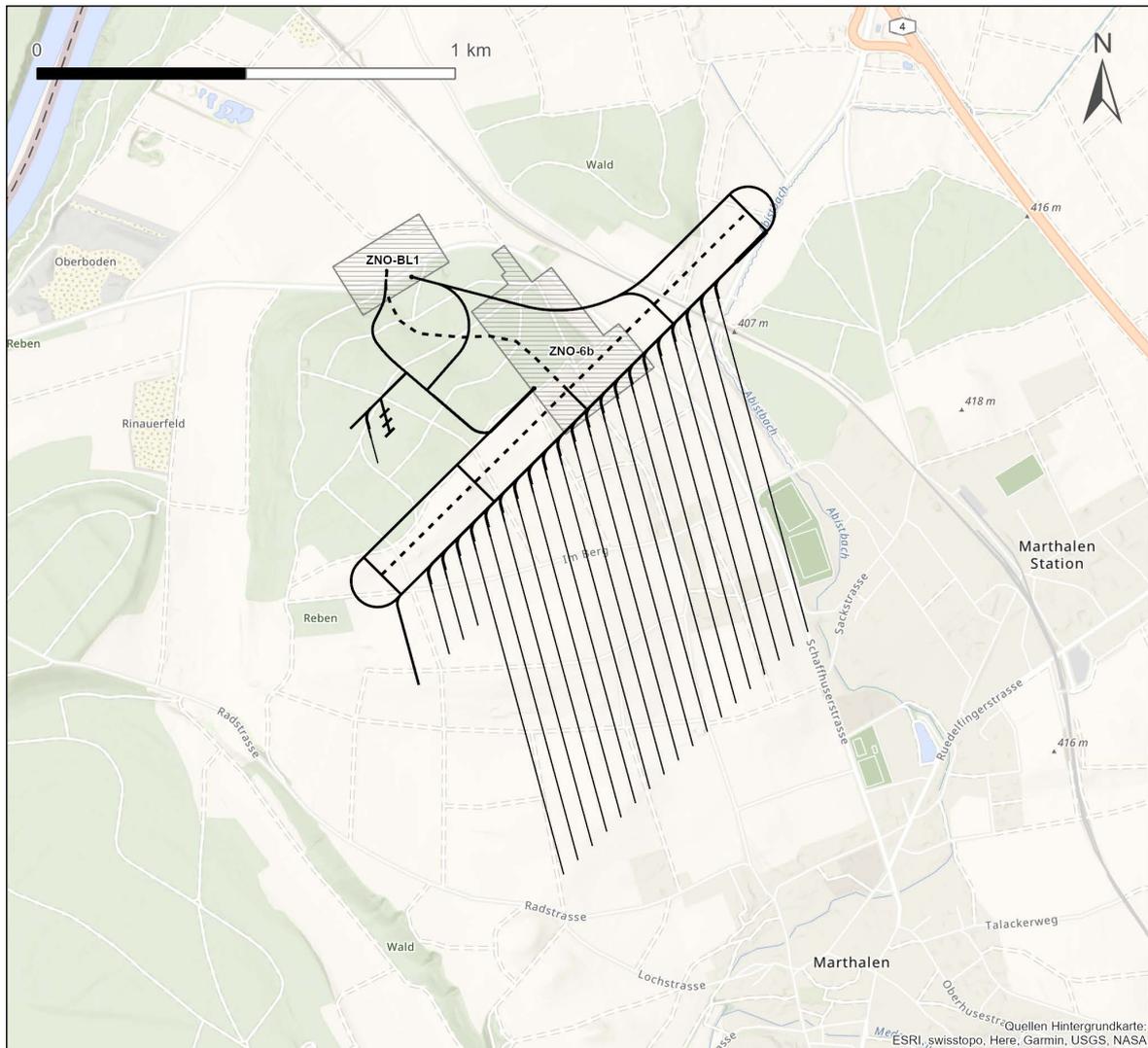


Abbildung 8: Situationsplan und Grundriss mit der für die KS21 angenommenen modellhaften Anordnung der Anlagen und Bauten für ein HAA-Lager im Standortgebiet Zürich Nordost (ZNO).
Oberflächeninfrastruktur mit der für die KS21 angenommenen modellhaften Anordnung der Oberflächenanlage und Nebenzugangsanlage (beide schraffiert).

Oberflächeninfrastruktur

Die Oberflächeninfrastruktur des HAA-Lagers besteht aus dem Standortareal mit der Oberflächenanlage, dem Schachtkopfareal mit den Schachtkopfanlagen sowie den Erschliessungsbauwerken, vgl. Abbildung 10. In Tabelle 4 finden sich Angaben zu geometrischen Kennzahlen der Oberflächeninfrastruktur, die für die Kosten direkt relevant sind. Es sind dies Angaben zu den Flächen der Areale, den bebauten Flächen und der umbauten Kubatur in den verschiedenen Phasen der Realisierung (Erdwissenschaftliche Untersuchungen Untertag, Einlagerungsbetrieb, Beobachtungsphase). Bei der Oberflächenanlage wird wegen den unterschiedlichen Anforderungen unterschieden zwischen den Verpackungsanlagen und den restlichen Bauwerken der Oberflächenanlage. Aus diesen Zahlen wird ersichtlich, dass die unterschiedlichen Funktionen der Phasen einen direkten Einfluss auf die Grösse der Oberflächeninfrastruktur haben und sich je nach Phase ändern.



Abbildung 9: Übersichtsplan mit der für die KS21 angenommenen modellhaften Anordnung und Ausgestaltung der Oberflächeninfrastruktur für das HAA-Lager. Standortareal ZNO-6b mit der Oberflächenanlage und Nebenzugangsanlage mit dem Betriebs- und Lüftungsschacht in der Phase Einlagerungsbetrieb.

Tabelle 4: Geometrische Kennzahlen für die Oberflächeninfrastruktur des HAA-Lagers.

Phasen und Hauptfunktionen	Erdwissenschaftliche Untersuchungen Untertag	Phase Einlagerungsbetrieb	Beobachtungsphase (nach Verschluss Hauptlager)
Umbauter Raum [m³]	43'100	400'800	43'100
Verpackungsanlage BE/HAA	0	256'000	0
Übrige Objekte OFA	0	101'700	0
Objekte NZA-BL	43'100	43'100	43'100
Fläche [m²]	12'100	64'000	12'100
Standortareal (OFA)	0	51'900	0
NZA-BL	12'100	12'100	12'100
Baugruben [m³]	63'900	286'400	63'900
Standortareal (OFA)	0	222'500	0
NZA-BL	63'900	63'900	63'900
Erschliessung [m]	600	1'165	100
Strasse (OFA)	0	40	0
Strasse (NZA-BL)	100	100	100
Schiene	500	1'025	0

Zugang nach Untertag und Bauwerke auf Lagerebene

Der Zugang nach Untertag und die Bauwerke auf Lagerebene sind in Abbildung 7 schematisch dargestellt. In Abbildung 10 findet sich ein Profil mit dem räumlichen Verlauf der Achse der Schächte. Das Profil zeigt, dass die Schächte zuerst die Untere Süsswassermolasse und anschliessend die Malmkalke sowie den «Braunen Dogger» durchfahren, bevor sie etwa mittig im Opalinuston auf der Lagerebene enden, wo sich die Lagerbauten befinden. Die zu durchfahrende Geologie wurde und wird bezüglich des Baus der Zugänge nach Untertag und Betrieb im Rahmen der Etappen 2 und 3 des Sachplans beurteilt.

Die für die Kosten relevanten geometrischen Kennzahlen zum Zugang nach Untertag und zu den Bauwerken auf Lagerebene finden sich in Tabelle 5. Die Zahlen zeigen, dass die Stollenlänge der BE/HAA-Lagerstollen viel grösser ist als die Länge aller anderen Bauwerke. Nach der Einlagerung und der Verfüllung und dem Verschluss der Lagerkammern und der Zugänge sind die während der Beobachtungsphase noch offenen Hohlräume relativ klein.

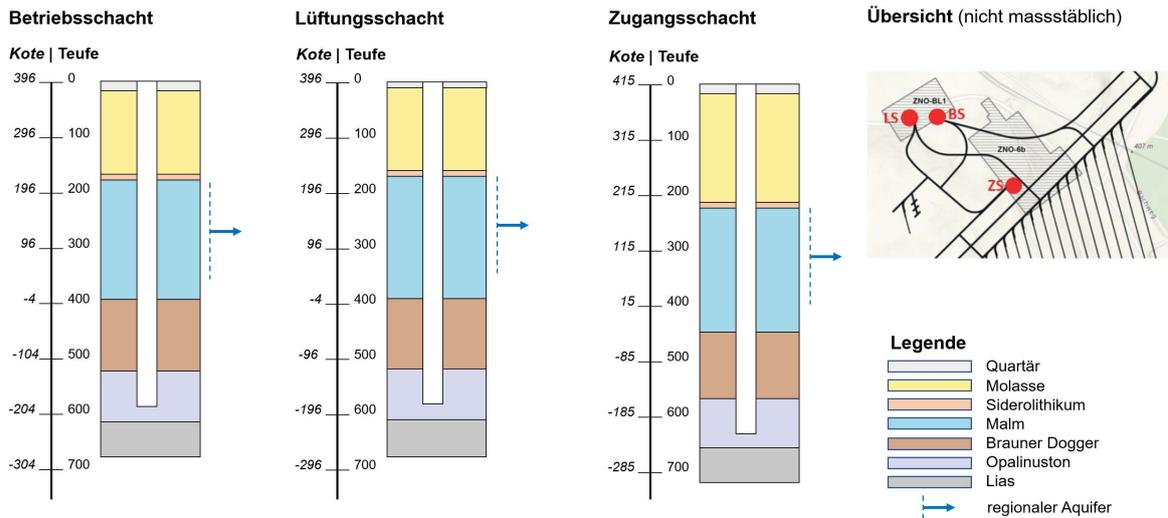


Abbildung 10: Geologisches Längenprofil im Standortgebiet Zürich Nordost (ZNO).
 Geologisches Längenprofil entlang den Zugängen nach Untertag (Betriebs-, Lüftungs- und Zugangsschacht) mit der für die für KS21 angenommenen modellhaften Anordnung der Anlagen für ein HAA-Lager im Standortgebiet Zürich Nordost (ZNO) mit dem Standortareal ZNO-6b für die Oberflächenanlage.
 Die Bauwerke auf Lagerebene sind gemäss aktueller Planung ungefähr in der Mittellage des Opalinustons angeordnet.

Tabelle 5: Geometrische Kennzahlen für den Zugang nach Untertag und für die Bauwerke auf Lagerebene des HAA-Lagers.

a) Kennzahlen für den Zugang nach Untertag (HAA).

Phasen und Hauptfunktionen	Erdwissenschaftliche Untersuchungen Untertag	Phase Einlagerungsbetrieb	Beobachtungsphase (nach Verschluss Hauptlager)
Längen / Teufen [m]	1'180	1'810	1'180
Schächte	1'180	1'810	1'180
Ausbruchvolumen [m ³]	81'840	140'400	81'840
Schächte	81'840	140'400	81'840

b) Kennzahlen für die Bauwerke auf Lagerebene (HAA).

Phasen und Hauptfunktionen	Erdwissenschaftliche Untersuchungen Untertag	Phase Einlagerungsbetrieb	Beobachtungsphase (nach Verschluss Hauptlager)
Länge [m]	2'590	24'020	3'110
Lagerstollen BE/HAA	0	14'300	0
Übrige Bauwerke	2'590	9'720	3'110
Ausbruchvolumen [m ³]	88'390	479'350	102'200
Lagerstollen BE/HAA	0	137'520	0
Übrige Bauwerke	88'390	341'830	102'200

4.3 Das SMA-Lager

Übersicht

Das für die KS21 gemäss Vorgaben modellhaft im Standortgebiet JO angenommene Basisprojekt SMA-Lager besteht aus der Infrastruktur an der Oberfläche (Objektgruppe Oberflächeninfrastruktur) mit den Nebenzuganganlagen sowie dem Areal der Zwiilag und der Schachtkopfanlage mit der zugehörigen Erschliessung. Diese Anlagen dienen auch dem Zugang nach Untertag (Objektgruppe Zugang nach Untertag) zu den Bauwerken auf Lagerebene (Objektgruppe Bauwerke auf Lagerebene). Die Bauwerke auf Lagerebene umfassen das Hauptlager für die SMA, das Pilotlager mit dem Kontrollstollen, die Testbereiche sowie die für den Bau, Betrieb und Verschluss notwendigen weiteren Bauwerke (zum Beispiel der Bau- und Lüftungstunnel). Diese Bauwerke sind gemäss aktueller Planung etwa mittig im Opalinuston angeordnet.

Abbildung 11 enthält eine schematische Darstellung der untertägigen Anlagen für das SMA-Lager. Das Schema zeigt die Zugänge nach Untertag sowie die Bauwerke auf Lagerebene.

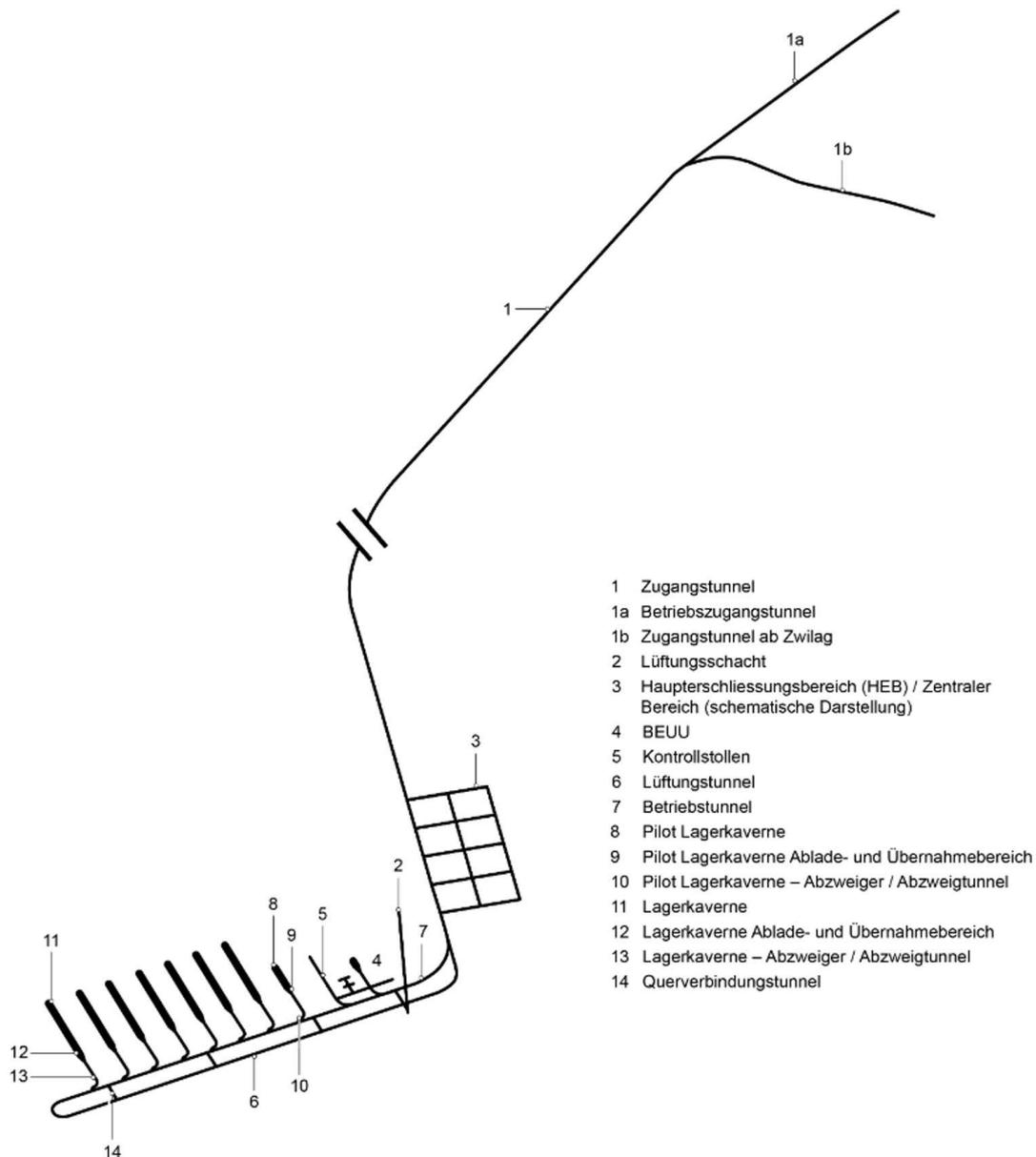


Abbildung 11: Schematisches modellhaftes Anlagenkonzept der untertägigen Anlagen und Bauten für das Basisprojekt SMA-Lager.

Abbildung 12 zeigt eine für die KS21 getroffene modellhafte Anordnung der Gesamtanlagen des SMA-Lagers im Standortgebiet JO mit den untertägigen Anlagen, den Nebenzugangsarealen und dem Areal der Zwiilag.

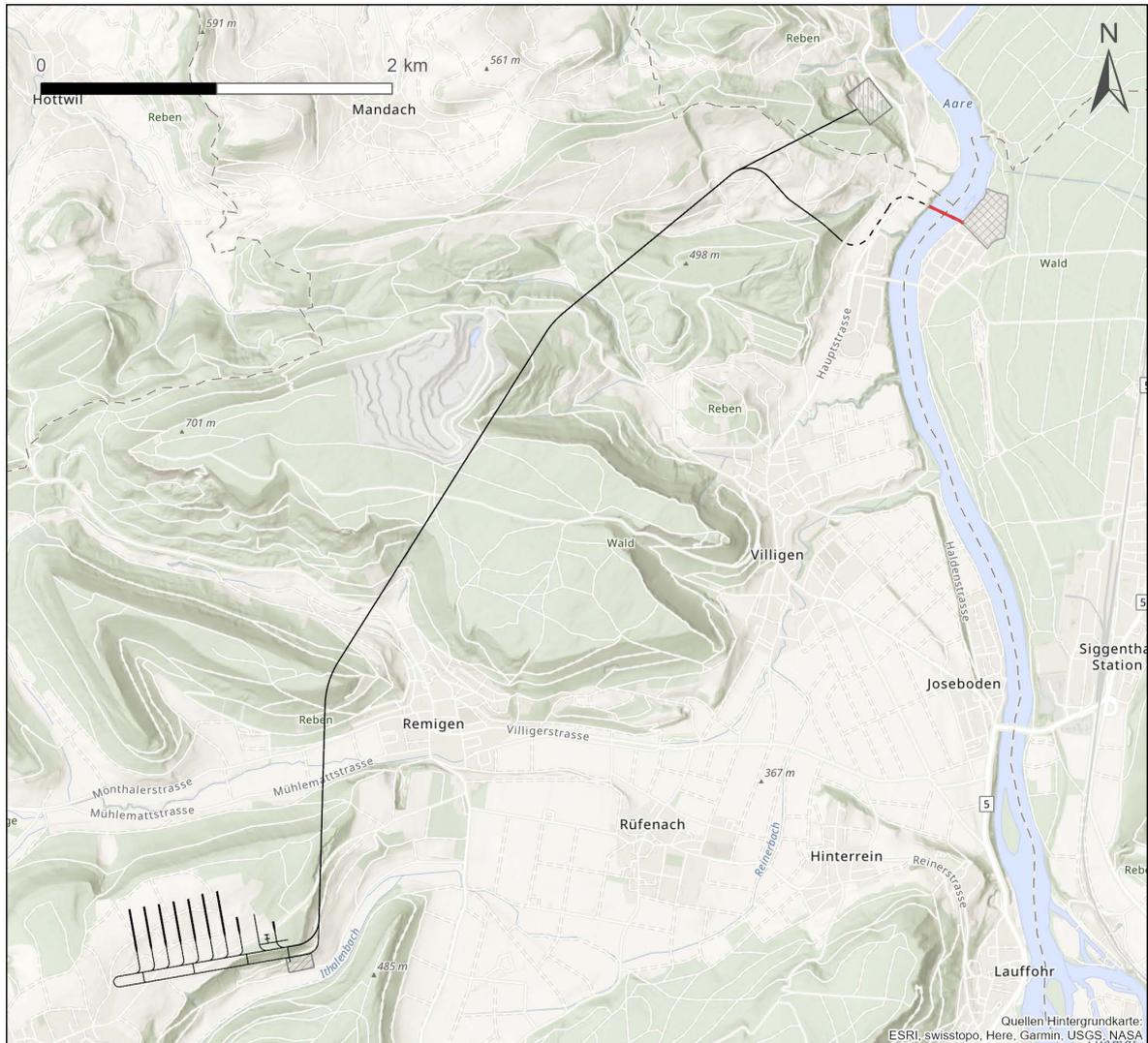


Abbildung 12: Situationsplan und Grundriss mit der für die KS21 angenommenen modellhaften Anordnung der Anlagen und Bauten für ein SMA-Lager im Standortgebiet Jura Ost (JO). Oberflächeninfrastruktur mit der für die KS21 angenommenen modellhaften Anordnung der Nebenzugangsanlagen (beide schraffiert). Das Areal der Zwiilag mit der Verpackungsanlage (karierte Fläche) wird über eine Aarebrücke (rot) und einen Tagbautunnel (gestrichelt) erschlossen.

Oberflächeninfrastruktur

Die Oberflächeninfrastruktur des SMA-Lagers besteht aus dem Standortareal mit dem Areal der Zwiilag (Nutzung der Synergien mit der Zwiilag) und den Nebenzugängen (Abbildung 13a, 13b und 13c) sowie dem Schachtkopfareal mit den Schachtkopfanlagen. In Tabelle 6 finden sich Angaben zu geometrischen Kennzahlen der Oberflächeninfrastruktur. Es sind dies Angaben zu den Flächen der Areale, den bebauten Flächen und der umbauten Kubatur in den verschiedenen Phasen der Realisierung (erdwissenschaftliche Untersuchungen Untertag, Einlagerungsbetrieb, Beobachtungsphase). Bei der Oberflächeninfrastruktur wird wegen den unterschiedlichen Anforderungen unterschieden zwischen den Verpackungsanlagen und den restlichen Bauwerken der Oberflächeninfrastruktur. Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass die unterschiedlichen Funktionen der Phasen einen direkten Einfluss auf die Grösse der Oberflächeninfrastruktur haben und sich je nach Phase ändern.

Abbildung 13: Übersichtsplan mit der für KS21 angenommenen modellhaften Anordnung und Ausgestaltung der Oberflächeninfrastruktur für das SMA-Lager.

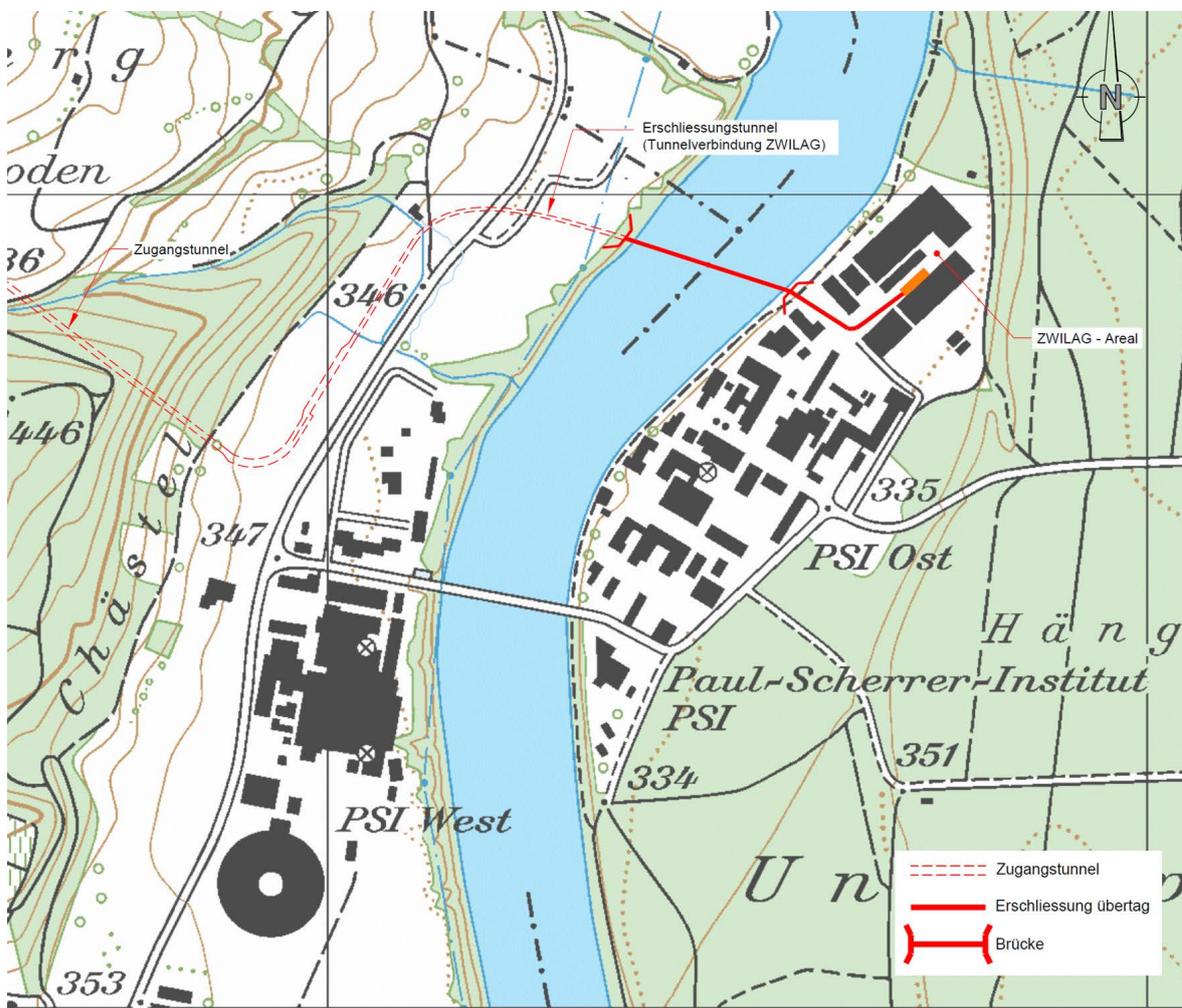


Abbildung 13a: Oberflächeninfrastruktur mit dem Areal der Zwiilag (SMA-Verpackungsanlage) und Aareübergang und Tunnelverbindung zum geologischen Tiefenlager.

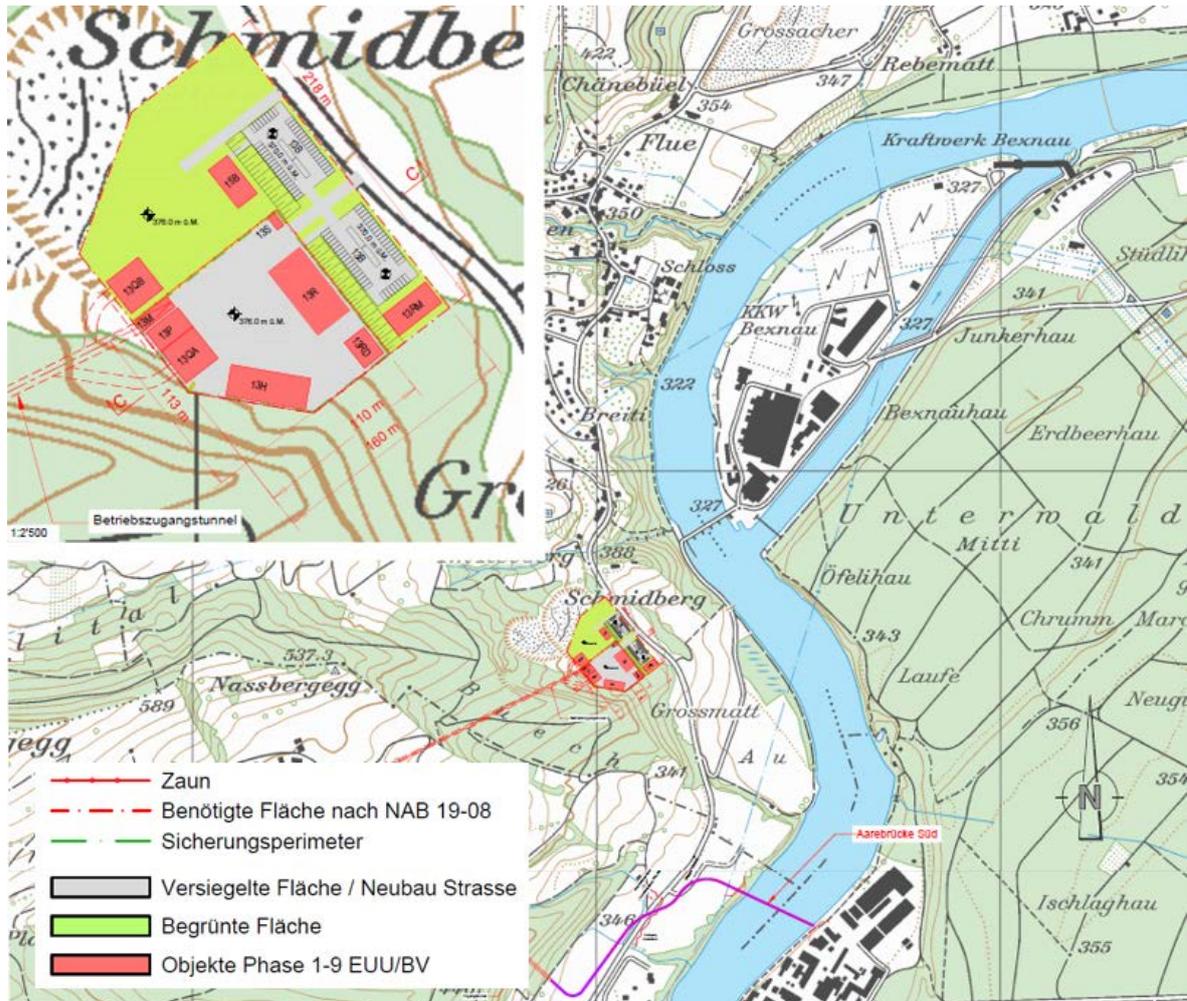


Abbildung 13b: Nebenzugangsanlage Betrieb der Oberflächeninfrastruktur.

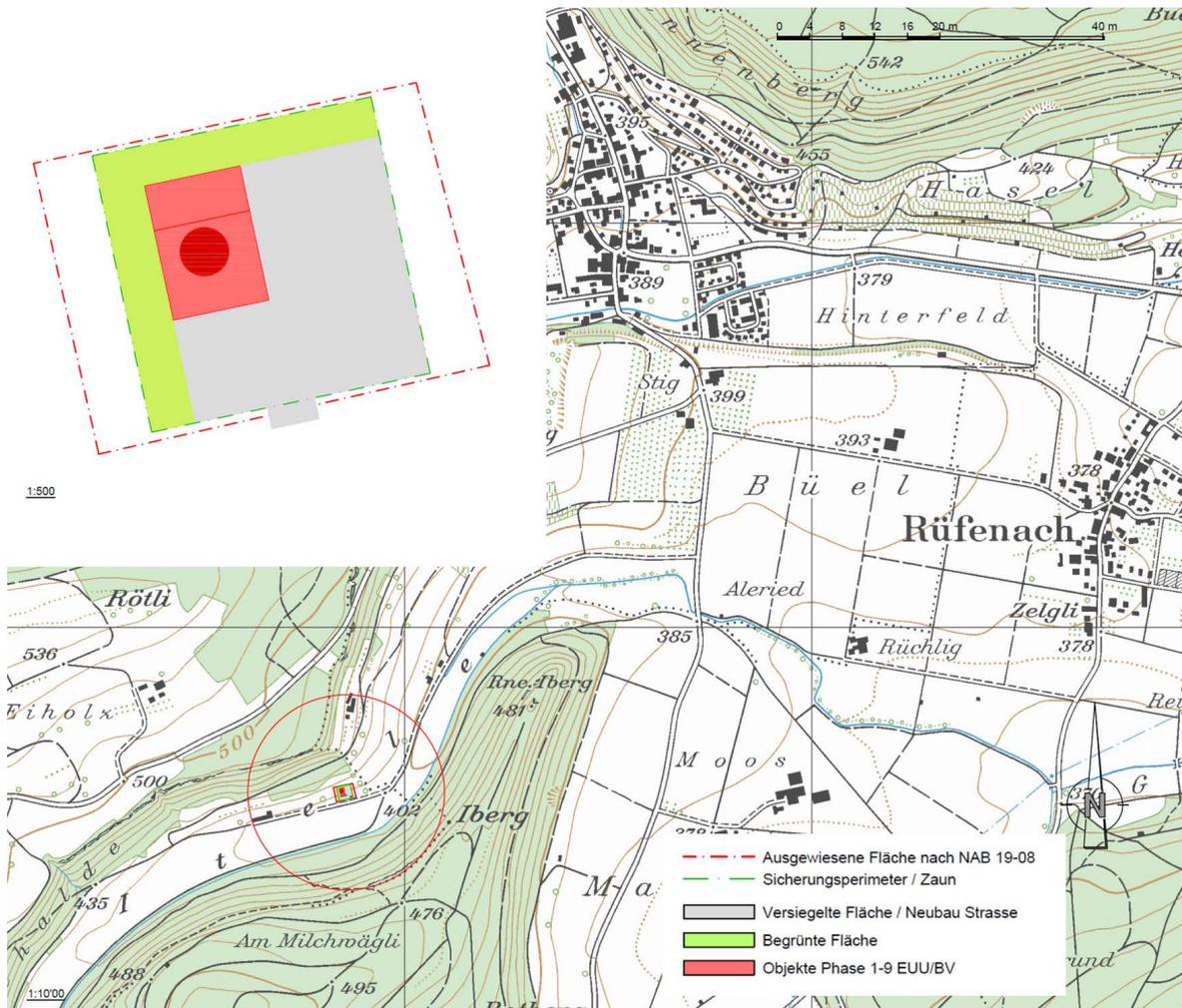


Abbildung 13c: Nebenzugangsanlage Lüftung der Oberflächeninfrastruktur.

Tabelle 6: Geometrische Kennzahlen zur Oberflächeninfrastruktur des SMA-Lagers.

Phasen und Hauptfunktionen	Erdwissenschaftliche Untersuchungen Untertag	Phase Einlagerungsbetrieb	Beobachtungsphase (nach Verschluss Hauptlager)
Umbauter Raum [m ³]	30'800	44'300	26'900
Verpackungsanlage SMA	0	4'900	0
Übrige Objekte OFA	0	0	0
Objekte NZA-BL	30'800	39'400	26'900
Fläche [m ²]	20'400	20'400	20'400
Standortareal (OFA)	0	0	0
NZA-BL	20'400	20'400	20'400
Baugruben [m ³]	103'500	104'300	103'500
Standortareal (OFA)	0	800	
NZA-BL	103'500	103'500	103'500
Erschliessung [m]	70	220	70
Strasse (OFA=Zwilag)	0	150	0
Strasse (NZA-BL)	70	70	70

Zugang nach Untertag und Bauwerke auf Lagerebene

Der Zugang nach Untertag und die Bauwerke auf Lagerebene sind in Abbildung 11 schematisch dargestellt. In Abbildung 14 findet sich ein Profil mit dem räumlichen Verlauf der Achse des Zugangstunnels / Rampe bzw. der Schächte. Das Profil zeigt, dass mit der Rampe in den ersten rund 500 m die Abfolge von Ifenthal- bis Passwang-Formation (inkl. Hauptrogenstein-Formation bzw. tonige Äquivalente der Übergangsfazies) durchfahren wird, dann verläuft der Zugangstunnel im Opalinuston und endet im Lagerbereich, wo die Lagerebene mit den Lagerbauten etwa mittig im Opalinuston liegt. Der Schacht durchfährt zuerst den Malm (vorwiegend Mergel) und dann die Hauptrogenstein- und Passwang-Formation und endet im Opalinuston auf der Lagerebene. Die Bauwerke auf Lagerebene liegen gemäss aktueller Planung etwa mittig im Opalinuston. Die zu durchzufahrende Geologie wurde und wird bezüglich dem Bau der Zugänge nach Untertag und des Betriebs im Rahmen der Etappen 2 und 3 des Sachplans beurteilt.

Die für die Kosten relevanten geometrischen Kennzahlen zum Zugang nach Untertag und zu den Bauwerken auf Lagerebene finden sich in Tabelle 7. Die Zahlen zeigen, dass beim SMA-Lager der Zugangstunnel bezüglich Länge und Ausbruchsabmessungen sehr bedeutend ist.

Abbildung 14: Geologisches Längenprofil im Standortgebiet Jura Ost (JO).

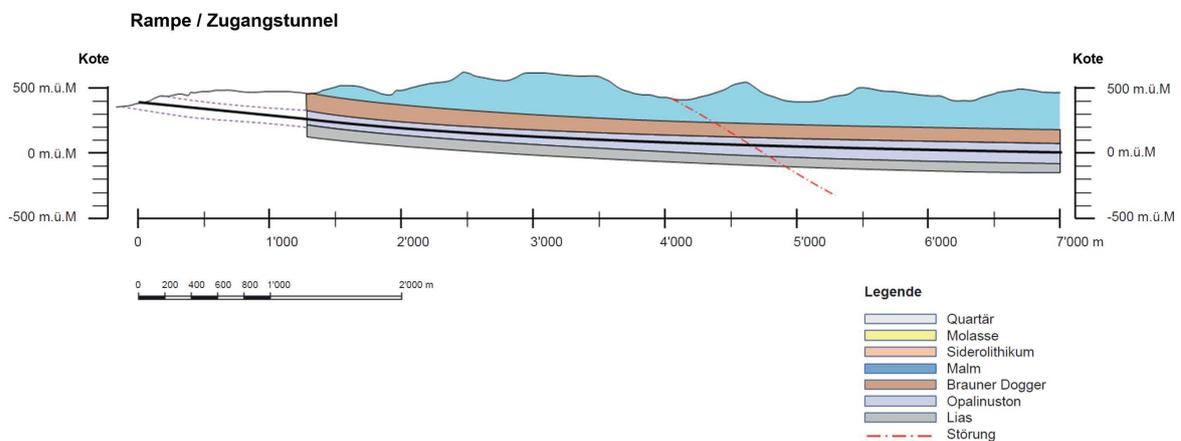


Abbildung 14a: Geologisches Längenprofil des Zugangstunnels im Standortgebiet Jura Ost (JO). Geologisches Längenprofil entlang der Zugängen nach Untertag (Zugangstunnel, Lüftungsschacht) für die für KS21 getroffene modellhafte Anordnung der Anlagen für ein SMA-Lager im Standortgebiet Jura Ost (JO). Die Bauwerke auf Lagerebene sind gemäss aktueller Planung ungefähr in der Mittellage des Opalinustons angeordnet.

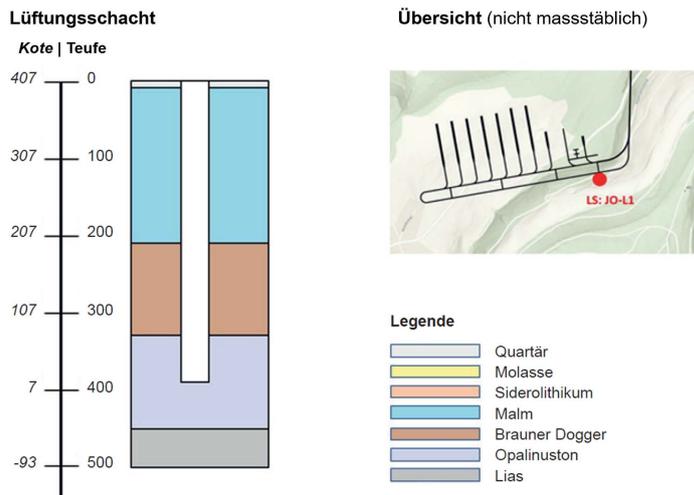


Abbildung 14b: Geologisches Längenprofil des Lüftungsschachts im Standortgebiet Jura Ost (JO).

Tabelle 7: Geometrische Kenndaten für den Zugang nach Untertag und die Bauwerke auf Lagerebene des SMA-Lagers in den verschiedenen Phasen der Lagerrealisierung.

a) Kennzahlen für den Zugang nach Untertag (SMA).

Phasen und Hauptfunktionen	Erdwissenschaftliche Untersuchungen Untertag	Phase Einlagerungsbetrieb	Beobachtungsphase (nach Verschluss Hauptlager)
Längen / Teufen [m]	6'340	7'090	6'340
Zugangstunnel	5'950	6'700	5'950
Schacht	390	390	390
Ausbruchvolumen [m ³]	351'550	391'390	351'550
Zugangstunnel	333'440	373'280	333'440
Schacht	18'110	18'110	18'110

b) Kennzahlen für den Zugang nach Lagerebene (SMA).

Phasen und Hauptfunktionen	Erdwissenschaftliche Untersuchungen Untertag	Phase Einlagerungsbetrieb	Beobachtungsphase (nach Verschluss Hauptlager)
Länge [m]	1'940	7'530	1'380
Lagerkammern SMA	0	1'720	0
Übrige Bauwerke	1'940	5'810	1'380
Ausbruchvolumen [m ³]	77'810	477'820	52'020
Lagerkammern SMA	0	267'620	0
Übrige Bauwerke	77'810	210'200	52'020

4.4 Das Kombilager

Abbildung 15 zeigt die für die KS21 angenommene modellhafte Anordnung der Anlagen für ein Kombilager im Standortgebiet ZNO mit dem Standortareal ZNO-6b für die Oberflächenanlage. Das geologische Längensprofil für den Zugang nach Untertag ist vergleichbar mit dem Basisprojekt HAA-Lager (Abbildung 8).

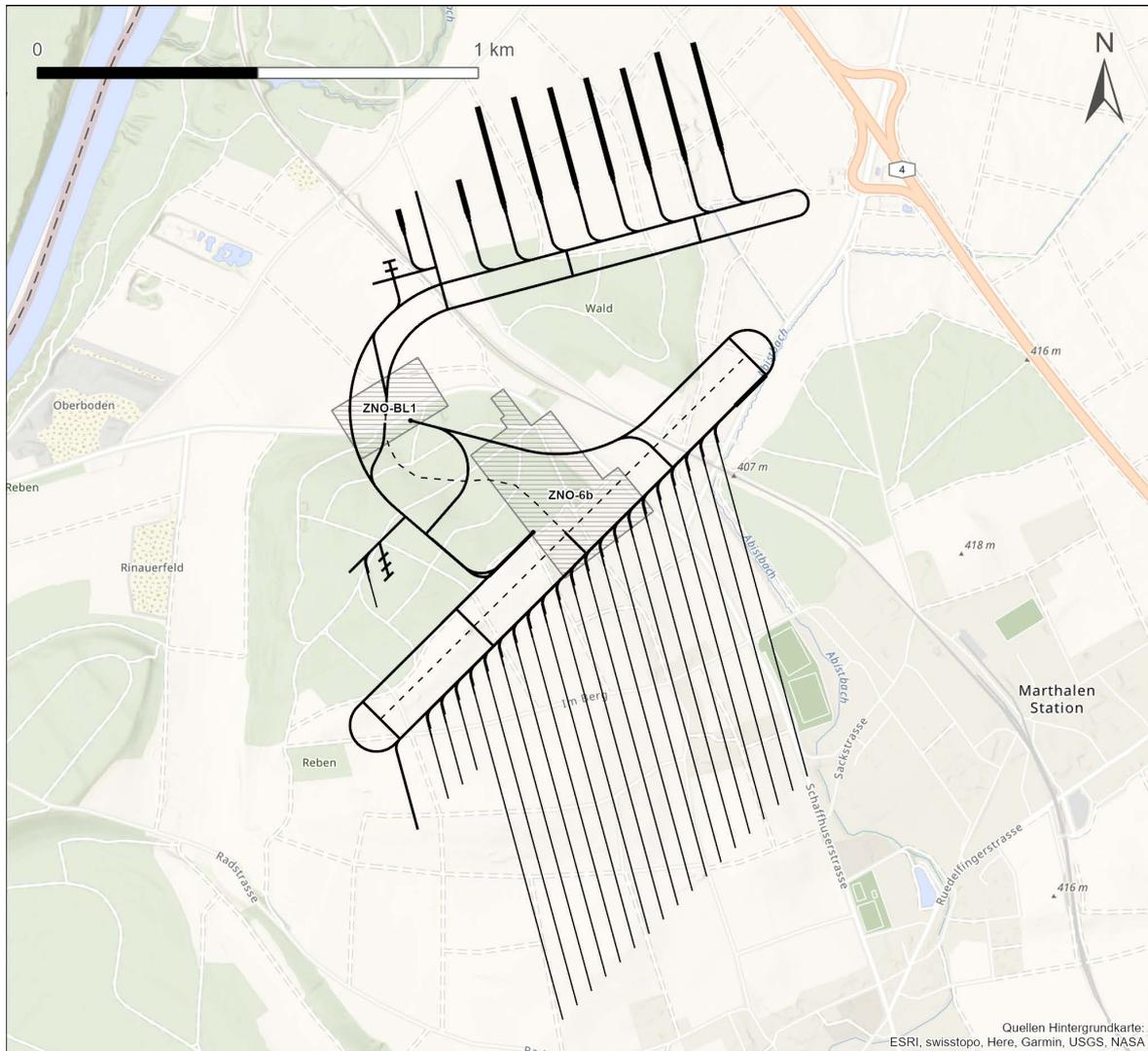


Abbildung 15: Situationsplan und Grundriss mit der für die KS21 angenommenen modellhaften Anordnung der Anlagen und Bauten für ein Kombilager im Standortgebiet Zürich Nordost (ZNO). Oberflächeninfrastruktur mit der für die KS21 angenommenen modellhaften Anordnung der Oberflächenanlage und Nebenzugangsanlage (beide schraffiert).

Der Aufbau des Kombilagerns mit den Teilagern für HAA und SMA ist grundsätzlich gleich wie der Aufbau der entsprechenden Einzellager – die in Abbildung 7 und 11 gezeigten Schemata sind grundsätzlich auch für das Kombilager gültig. Bezüglich der Oberflächeninfrastruktur ist das Kombilager praktisch identisch mit dem HAA-Lager – die Verpackung der SMA erfolgt in der SMA-Verpackungsanlage bei der Zwilag. Bezüglich der kostenrelevanten Informationen sind die Unterlagen für das HAA- und SMA-Lager für eine Orientierung direkt anwendbar.

4.5 Die Hauptaktivitäten

Ein weiteres wichtiges Element des Basisvorhabens der geologischen Tiefenlager und seiner Varianten sind die für die Realisierung der geologischen Tiefenlager notwendigen Hauptaktivitäten. Diese Hauptaktivitäten werden nachfolgend stichwortartig beschrieben.

- Erdwissenschaftliche Arbeiten: Erarbeitung von Studien, Durchführung von Feldarbeiten (inkl. baubegleitende Charakterisierung und Baugrundüberwachung) sowie der zugehörigen Auswertungen; Synthesen und Vorbereitung von Gesuchsunterlagen; Monitoring (Experimente und Standortmonitoring, Erdbebenüberwachung, Geodäsie, Umweltmonitoring, Pilotlager und Versuche Testbereiche usw.); Geodaten-Management usw.
- Sicherheit und Systemanalysen: Erstellung von Sicherheitsberichten zur periodischen Überprüfung der Sicherheit; Beiträge zur Entscheidungsfindung im Rahmen der Realisierung der Lager; Vorbereitung von Gesuchsunterlagen usw.
- Radioaktive Materialien: Beratung der Abfallverursacher bezüglich Abfallkonditionierung und Charakterisierung; Nachführung der Dokumentation der radioaktiven Abfälle; Prüfung der Endlagerfähigkeit und bei Bedarf Initialisierung von Korrekturmassnahmen; Führung des Abfallinventars (inkl. Angaben zu erst in Zukunft anfallenden Abfällen), inkl. zugehörige Berichterstattung; Vorbereitung von Gesuchsunterlagen, Planung der Abfallanlieferung usw.
- Anlagenplanung und -bau: stufengerechte Planung (inkl. raumplanerische Abstimmung, Umweltverträglichkeitsprüfung und Umweltbaubegleitung), Projektierung und Ausführungsbegleitung der Bauwerke unter Berücksichtigung der damit verbundenen Abläufe (Erstellung, Betrieb, Verschluss), inkl. Vorbereitung von Gesuchsunterlagen; Erstellung der Bauwerke (Rohbauten Untertag und an der Oberfläche mit den notwendigen Installationen und Ausrüstung), inkl. Erstellung der Ausschreibungsunterlagen und der Auftragsbegleitung bis und mit Inbetriebnahme usw.
- Anlagenbetrieb: Betrieb der Anlagen in allen Phasen; Eingangskontrolle und Verpackung der Abfälle in Endlagerbehälter, Einlagerung der Endlagerbehälter, inkl. Verfüllung der Lagerkammern und deren Verschluss in der Einlagerungsphase, Entgegennahme und Vorbereitung der Endlagerbehälter sowie von Verfüll- und Versiegelungsmaterial, Unterhalt und Erhaltungsmaßnahmen (Unterhalt und Erneuerung); Anlagensicherung und Überwachung usw.
- Stilllegung, Rückbau und Verschluss der Anlagen: stufengerechte Planung, Projektierung und Ausführungsbegleitung der Stilllegungs- und Rückbauarbeiten; Stilllegung und Demontage von Installationen; Abbruch von Bauwerken und Entsorgung der Abbruchmaterialien; Verfüllung und Versiegelung von untertägigen Bauten; Rekultivierung der Umgebung usw.
- Forschung und Entwicklung: Studien und Experimente sowie Versuche in Forschungsfelslabors; Planung von Versuchen in Sondierbauwerken und (Langzeit-)Versuchen in Testbereichen usw.
- Allgemeine Kosten, insbesondere Aufwendungen für die Führung der Geschäftsstelle: Management, Öffentlichkeitsarbeiten, Versicherungen usw.
- Behördentätigkeiten, Gebühren und Abgeltungen: Begutachtung von Gesuchen, Bewilligungsverfahren, Begleitung der Arbeiten, Gebühren, Abgeltungen (Bundesbehörden, Kantone, Gemeinden).

4.6 Bewertung der Unterlagen für die Kostenermittlung

Die Nagra arbeitet seit 50 Jahren auf dem Gebiet der geologischen Tiefenlagerung und hat seit Anfang der 1980er-Jahre regelmässig Kostenberechnungen für die geologischen Tiefenlager durchgeführt. Diese Kostenberechnungen wurden jeweils von unabhängiger Stelle geprüft.

Die verschiedenen Kostenelemente für die Vorbereitung und Realisierung der geologischen Tiefenlager sind gut bekannt. Für alle Kostenelemente gibt es Erfahrungszahlen, die entweder direkt anwendbar sind oder aber zumindest gute Grundlagen für die zu erwartenden Kosten geben.

Bezüglich Erstellung der geologischen Tiefenlager kann auf breite Erfahrungen mit vergleichbaren Bauten abgestützt werden. Die Bauwerke der Oberflächenanlagen der geologischen Tiefenlager sind direkt vergleichbar mit bestehenden Bauten, wie zum Beispiel dem Zwiilag. Die Verpackungsanlage für die BE/HAA kann direkt mit der Umladezelle im Zwiilag verglichen werden, die Verpackungsanlagen für SMA sind grob vergleichbar mit entsprechenden Anlagen zum Beispiel bei Kernkraftwerken. Die Anlagen zur Behandlung von Betriebsabfällen können direkt verglichen werden mit entsprechenden bestehenden Anlagen. Das Elektrogebäude (Energieversorgung, Ersatzstrom, Schaltanlagen) ist direkt vergleichbar mit solchen Anlagen für konventionelle Bauten. Für die konventionellen Gebäude (Administrationsgebäude, Besucherzentrum, Garagen, Betriebsfeuerwehr usw.) bestehen viele Beispiele. Für die Ermittlung der diesbezüglichen Kosten wird auf Erfahrungen bezüglich entsprechender Bauten und Ausrüstungen abgestützt.

Auch die Objekte der Untertageanlagen der geologischen Tiefenlager sind direkt vergleichbar mit bestehenden Bauten. Der Zugangstunnel, die Bau-/Betriebstunnel sowie die Lagerstollen, -tunnel und -kavernen können direkt verglichen werden mit Tunnel und Lüftungskavernen für Verkehrsbauten bzw. mit Stollen und Kavernen für Wasserkraftanlagen. Das gleiche gilt auch für Schächte (Lüftungsschächte für Verkehrsbauten, Schacht Sedrun für Alptransit Gotthard usw.). Zusätzlich bestehen breite Erfahrungen aus dem Bergbau. Für die Ermittlung der diesbezüglichen Kosten für die geologischen Tiefenlager wird auf Erfahrungen mit entsprechenden Bauwerken abgestützt. Beim Vergleich ist jedoch zu beachten, dass die Untertagbauten im Opalinuston und die Anforderungen eines geologischen Tiefenlagers spezielle Herausforderungen bieten. Punktuell werden auch Unternehmungen für Berechnungen beigezogen. Damit ist sichergestellt, dass die bestehenden breiten Erfahrungen genutzt werden.

Bei den Betriebskosten für die geologischen Tiefenlager wird unterschieden zwischen Personalkosten, Kosten für Produktionsmaterial (Endlagerbehälter, Verfüllmaterial), Kosten für Betriebsmittel (Energie, Wasser/Abwasser usw.) sowie Unterhalts- und Erneuerungskosten. Der notwendige Personalbestand lässt sich vergleichen mit dem Personalbestand für vergleichbare Prozesse (zum Beispiel Umladung von BE, Konditionierung usw.). Die Kosten für Produktionsmaterial lassen sich vergleichen mit Offerten bzw. Abrechnungen für entsprechende Materialien und Bauteile. Auch für Betriebsmittel gibt es Vergleichswerte. Für den Unterhalt und die Erneuerung wird von einem Prozentsatz der Investitionskosten ausgegangen. Auch dazu gibt es genügende Erfahrungszahlen.

Die Verschlusskosten setzen sich zusammen aus den Kosten für die Stilllegung und den Abbruch der Oberflächenanlagen und Demontage der Ausrüstung Untertag, Kosten für Produktionsmittel (Verfüll- und Versiegelungsmaterial) und Kosten für das Einbringen der Verfüll- und Versiegelungsmaterialien. Für alle Elemente kann auf Vergleichszahlen (Stilllegung von Zwischenlager, Umlade- und Konditionieranlagen), Offerten (Produktionsmittel) oder Erfahrungswerte (Einbringen von Verfüll- und Versiegelungsmaterial zum Beispiel im Bergbau) abgestützt werden.

Die Tätigkeiten zur Vorbereitung der geologischen Tiefenlager sind von ihrer Natur her ähnlich zu den jetzt laufenden Arbeiten der Nagra:

- Geologische Untersuchungen: geologische Standortcharakterisierung (insbesondere Seismik, Bohrungen), geologische Charakterisierung von Untertagbauten (vergleichbar mit entsprechenden Arbeiten in Felslabors), regionale Überwachung, Untersuchungen in Felslabors usw.
- Durchführung von Systemanalysen zur Bewertung der Sicherheit, Erstellung von Sicherheitsberichten (inkl. Erarbeitung der dazu notwendigen Grundlagen).
- Charakterisierung der radioaktiven Abfälle und Führung des Inventars der radioaktiven Abfälle.
- Vorbereitung der Lagerprojekte (Projektierung).
- Forschung und Entwicklung: Studien, Laboruntersuchungen, Versuche in Felslabors, Herstellung von Prototypen und Durchführung von Demonstrationsversuchen (Behälter, Einlagerungsvorgang, Rückholung) usw.
- Führung einer Geschäftsstelle mit Kommunikationsaufgaben, Management/Administration, Versicherungen usw.

Ein Teil dieser Aktivitäten läuft auch in den Phasen des Lagerbaus, des Lagerbetriebs und des Lagerverchlusses weiter.

Für die Abschätzung des Umfangs an benötigtem Personal für die Realisierung und den Betrieb der Tiefenlager kann auf die bei der Nagra vorhandenen Erfahrungen (Vergleich mit heutigem Personalbestand und Abschätzung der zeitlichen Entwicklung), bei anderen mit Grossprojekten betrauten Organisationen sowie auf die Erfahrungen bei in Betrieb stehenden Anlagen abgestützt werden. Die Kosten für Dritteleistungen können für alle oben aufgeführten Aufgaben direkt mit Erfahrungszahlen der Nagra (Offerten, Abrechnungen durchgeführter Projekte) verglichen werden.

5 Resultate der Ermittlung der Entsorgungskosten für die geologischen Tiefenlager

5.1 Überblick

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Ermittlung der Entsorgungskosten für die geologischen Tiefenlager dargestellt. Die Entsorgungskosten umfassen alle vergangenen und zukünftigen Kosten für Planung, Bau, Betrieb (Einlagerungsphase, Beobachtungsphase) und Stilllegung/Verschluss der geologischen Tiefenlager. Die Entsorgungskosten für die Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung werden in einem separaten Teilbericht dargestellt [3]. Die Entsorgungskosten werden auch im Mantelbericht zusammenfassend präsentiert [1].

Für die Darstellung der Ergebnisse werden die von der Verwaltungskommission verbindlich vorgegebene Kostenstruktur und Kostengliederung verwendet. Dabei werden die Kosten für die Basisvorhaben SMA-Lager, HAA-Lager und für die Variante Kombilager auf Stufe der Hauptaktivitäten (Ebene 2 der Kostenstruktur) und – wo zutreffend – auf Stufe der Objektgruppen (Ebene 3 der Kostenstruktur) dargestellt. Die Gliederung der Kosten für die Vorhaben umfasst die verschiedenen Kostenblöcke gemäss Abbildung 3.

Die Ergebnisse in diesem Kapitel basieren auf der Annahme eines 47-jährigen Leistungsbetriebs des KKM sowie eines 50-jährigen Leistungsbetriebs für KKB, KKG und KKL. Die Ergebnisse für einen 60-jährigen Leistungsbetrieb finden sich in Anhang A.3. In den angegebenen Kosten werden die Kosten für die Stilllegungsabfälle nicht berücksichtigt, weil diese in den Stilllegungskosten enthalten sind.

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Ermittlung der Kosten der KS21 für die geologischen Tiefenlager entsprechend der Kostengliederung dargestellt.

Tabelle 8: Gesamtkosten für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager.

	HAA-Lager		SMA-Lager		Total Einzellager		Kombilager	
	[MCHF]		[MCHF]		[MCHF]		[MCHF]	
Aufgelaufene Kosten	954		747		1'700		1'700	
Zukünftige Kosten	6'705		3'945		10'650		9'015	
Ausgangskosten (1)	4'291		2'426		6'717		5'693	
Kosten zur Risikominderung (2)	172		117		289		264	
Basiskosten (3)	4'463		2'543		7'006		5'957	
Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten (4) ^{a)}	19.8%	885	19.7%	501	19.8%	1'386	19.3%	1'150
Zuschläge für Gefahren (5) ^{a)}	19.2%	857	23.4%	596	20.7%	1'452	20.7%	1'234
Abzüge für Chance (6) ^{a)}	-1.3%	-58	-0.5%	-13	-1.0%	-71	-1.2%	-71
Genereller Sicherheitszuschlag (8) ^{a)}	12.5%	558	12.5%	318	12.5%	876	12.5%	745
Total Zuschläge auf Basiskosten ^{a)}	50.2%	2'242	55.1%	1'402	52.0%	3'644	51.3%	3'058
Gesamtkosten	7'659		4'692		12'350		10'715	

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

In den Zahlen sind die Kosten für die Einlagerung der Stilllegungsabfälle in der Höhe von 119 Millionen Franken (Gesamtkosten, Einzellager) bzw. 147 Millionen Franken (Gesamtkosten, Kombilager) nicht enthalten.

^{a)} in Prozent der zukünftigen Basiskosten.

5.2 Ausgangskosten

Ausgangspunkt für die Ermittlung der Kosten ist das Basisvorhaben mit den beiden Einzellagern für HAA und SMA sowie für die Variante eines Kombilagern mit Teillager für HAA und SMA. Die Kosten für die beiden Einzellager bzw. für das Kombilager umfassen die technisch-wissenschaftliche Vorbereitung, die bauliche Realisierung der Anlagen, den Betrieb und den Verschluss der Anlagen sowie die diversen Aktivitäten, die sich aus den Randbedingungen im Umfeld ergeben.

Die Ausgangskosten setzen sich aus den Kosten für die genannten Vorhaben zusammen. Dabei wird der planmässige Ablauf der Projekte unter den erwarteten Bedingungen vorausgesetzt. Gemäss Vorgabe der Verwaltungskommission enthalten die Ausgangskosten keine Zuschläge für Ungenauigkeiten, Risiken und Ungewissheiten.

Tabelle 9 enthält die Ausgangskosten für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager, aufgeschlüsselt nach den Hauptaktivitäten und – für die Hauptaktivitäten «Anlagenplanung und -bau», «Anlagenbetrieb» sowie «Stilllegung, Rückbau und Verschluss» – zusätzlich auch nach den Objektgruppen «Oberflächeninfrastruktur», «Zugang nach Untertag» und «Bauwerke auf Lagerebene». Wie Tabelle 8 zeigt, tragen die Ausgangskosten mit rund 63 Prozent zu den zukünftigen Kosten bei. Der Hauptbeitrag zu den Ausgangskosten kommt vom Anlagenbau, dem Betrieb und der Stilllegung, dem Rückbau und dem Verschluss der Anlagen. Die gesamten Zuschläge auf die zukünftigen Basiskosten betragen gut 50 Prozent.

Tabelle 9: Ausgangskosten für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager.

Hauptaktivitäten / Objektgruppen	HAA-Lager		SMA-Lager		Total Einzellager		Kombilager	
	[in %]	[MCHF]	[in %]	[MCHF]	[in %]	[MCHF]	[in %]	[MCHF]
Ausgangskosten								
Erdwissenschaftliche Arbeiten	8%	328	9%	218	8%	547	8%	455
Sicherheit und Systemanalysen	2%	102	3%	71	3%	173	3%	161
Radioaktive Materialien	1%	43	2%	46	1%	89	2%	95
Anlagenplanung und -bau	41%	1'773	39%	934	40%	2'708	38%	2'144
<i>Oberflächeninfrastruktur</i>		769		281		1'050		854
<i>Zugang nach Untertag</i>		421		365		786		415
<i>Bauwerke auf Lagerebene</i>		473		214		687		702
<i>Andere</i>		111		75		185		173
Anlagenbetrieb	27%	1'149	23%	558	25%	1'707	27%	1'535
<i>Oberflächeninfrastruktur</i>		258		145		404		573
<i>Zugang nach Untertag^{a)}</i>		234		108		342		0
<i>Bauwerke auf Lagerebene^{a)}</i>		346		94		440		831
<i>Andere</i>		310		211		521		131
Forschung und Entwicklung	3%	127	2%	58	3%	186	3%	177
Stilllegung, Rückbau und Verschluss	8%	332	9%	229	8%	560	7%	412
<i>Oberflächeninfrastruktur</i>		129		59		188		165
<i>Zugang nach Untertag</i>		90		124		215		102
<i>Bauwerke auf Lagerebene</i>		112		46		158		143
<i>Andere</i>		0		0		0		1
Allgemeine Kosten	6%	240	7%	164	6%	404	7%	412
Behörden­tätigkeit, Gebühren	5%	196	6%	147	5%	343	5%	303
Total Ausgangskosten	100%	4'291	100%	2'426	100%	6'717	100%	5'693

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

In den Zahlen sind die Ausgangskosten für die Einlagerung der Stilllegungsabfälle nicht enthalten.

Ausgangskosten für Objektgruppen in kursiver Schrift.

^{a)} Im Kombilager wurden die Anlagenbetriebskosten der beiden Objektgruppen «Zugang nach Untertag» und «Bauwerke auf Lagerebene» gesamthaft der Objektgruppe «Bauwerke auf Lagerebene» zugeordnet.

5.3 Kosten zur Risikominderung

Risikomindernde Massnahmen haben das Ziel, Gefahren zu vermeiden oder zu reduzieren sowie Chancen zu erkennen und zu nutzen. Das dazu eingesetzte Risikomanagement sieht verschiedene Massnahmen vor, um Abweichungen klein zu halten oder zu verhindern. Dazu gehören strategische Massnahmen, organisatorische Massnahmen sowie technische und weitere Massnahmen (vgl. Kapitel 3.4). Die strategischen Massnahmen betreffen den geeigneten Umgang mit dem technischen, planerischen und politischen Umfeld. Sie führen insbesondere zu einem zielführenden, mit den relevanten Stellen abgestimmten Realisierungsplan, welcher es erlaubt, die relevanten Gefahren und Chancen frühzeitig zu erkennen und zu berücksichtigen sowie die technischen Entscheide stufengerecht zu fällen und umzusetzen. Die organisatorischen Massnahmen stellen sicher, dass das Projekt unter den gegebenen Randbedingungen in geeigneter Art umgesetzt wird. Dazu braucht es die notwendigen personellen Ressourcen, um die erforderlichen Leistungen im Kostenrahmen und zeitgerecht zu erbringen. Zudem sind spezifische technische und weitere Massnahmen erforderlich. Meistens betreffen die Massnahmen Themen, die auch aus anderen Gründen bearbeitet werden. Für die Risikominderung werden die dort vorgesehenen Tätigkeiten in ihrem Umfang erweitert oder abgeändert (vgl. Kapitel 3.4).

Tabelle 10 enthält die Kosten zur Risikominderung für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager, aufgeschlüsselt nach den Hauptaktivitäten.

Wie aus Tabelle 10 ersichtlich ist, ergeben sich Kosten zur Risikominderung für die Hauptaktivitäten «Erdwissenschaftliche Arbeiten», «Sicherheit und Systemanalysen», «Forschung und Entwicklung» und «Allgemeine Kosten» (Kosten der Geschäftsstelle zur technisch-wissenschaftlichen und administrativen Führung des Vorhabens, inkl. Kommunikation).

Tabelle 10: Kosten zur Risikominderung für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager.

Hauptaktivitäten / Objektgruppen	HAA-Lager		SMA-Lager		Total Einzellager		Kombilager	
	[in %]	[MCHF]	[in %]	[MCHF]	[in %]	[MCHF]	[in %]	[MCHF]
Kosten zur Risikominderung								
Erdwissenschaftliche Arbeiten	33%	56	35%	41	34%	97	30%	79
Sicherheit und Systemanalysen	7%	12	6%	7	6%	19	7%	18
Radioaktive Materialien	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
Anlagenplanung und -bau	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
Anlagenbetrieb	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
Forschung und Entwicklung	27%	47	19%	23	24%	70	25%	66
Stilllegung, Rückbau und Verschluss	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
Allgemeine Kosten	33%	56	40%	47	36%	104	38%	100
Behördentätigkeit, Gebühren	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
Total Kosten zur Risikominderung	100%	172	100%	117	100%	289	100%	263

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

In den Zahlen sind die Kosten zur Risikominderung für die Einlagerung der Stilllegungsabfälle nicht enthalten.

5.4 Basiskosten

Die Basiskosten setzen sich zusammen aus den Ausgangskosten und den Kosten zur Risikominderung. Die zukünftigen Basiskosten umfassen rund 65 Prozent der zukünftigen Kosten (vgl. Tabelle 8). Innerhalb der Basiskosten (vgl. Tabelle 11) bilden Ausgaben für die Anlagen (Objektgruppen bei Bau, Betrieb und Stilllegung/Verschluss und zugehörige Arbeiten) den Schwerpunkt (zusammen rund 70 Prozent der Basiskosten).

Tabelle 11: Basiskosten für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager.

Hauptaktivitäten / Objektgruppen	HAA-Lager		SMA-Lager		Total Einzellager		Kombilager	
	[in %]	[MCHF]	[in %]	[MCHF]	[in %]	[MCHF]	[in %]	[MCHF]
Basiskosten								
Erdwissenschaftliche Arbeiten	9%	384	10%	259	9%	643	9%	534
Sicherheit und Systemanalysen	3%	115	3%	77	3%	192	3%	179
Radioaktive Materialien	1%	43	2%	46	1%	89	2%	95
Anlagenplanung und -bau	40%	1'773	37%	934	39%	2'708	36%	2'144
<i>Oberflächeninfrastruktur</i>		769		281		1'050		854
<i>Zugang nach Untertag</i>		421		365		786		415
<i>Bauwerke auf Lagerebene</i>		473		214		687		702
<i>Andere</i>		111		75		185		173
Anlagenbetrieb	26%	1'149	22%	558	24%	1'707	26%	1'535
<i>Oberflächeninfrastruktur</i>		258		145		404		573
<i>Zugang nach Untertag^{a)}</i>		234		108		342		0
<i>Bauwerke auf Lagerebene^{a)}</i>		346		94		440		831
<i>Andere</i>		310		211		521		131
Forschung und Entwicklung	4%	175	3%	81	4%	256	4%	243
Stilllegung, Rückbau und Verschluss	7%	332	9%	229	8%	560	7%	412
<i>Oberflächeninfrastruktur</i>		129		59		188		165
<i>Zugang nach Untertag</i>		90		124		215		102
<i>Bauwerke auf Lagerebene</i>		112		46		158		143
<i>Andere</i>		0		0		0		1
Allgemeine Kosten	7%	297	8%	211	7%	508	9%	512
Behörden­tätigkeit, Gebühren	4%	196	6%	147	5%	343	5%	303
Total Basiskosten	100%	4'463	100%	2'543	100%	7'006	100%	5'957

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

In den Zahlen sind die Basiskosten für die Einlagerung der Stilllegungsabfälle nicht enthalten.

Basiskosten für Objektgruppen in kursiver Schrift.

^{a)} Im Kombilager wurden die Anlagenbetriebskosten der beiden Objektgruppen «Zugang nach Untertag» und «Bauwerke auf Lagerebene» gesamthaft der Objektgruppe «Bauwerke auf Lagerebene» zugeordnet.

5.5 Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten

Tabelle 12 enthält die Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager, aufgeschlüsselt nach den Hauptaktivitäten. Ihr Beitrag zu den zukünftigen Kosten beträgt etwa 20 Prozent der Basiskosten (vgl. Tabelle 8). Innerhalb der Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten bilden Ausgaben für die Anlagen (Objektgruppen bei Bau, Betrieb und Stilllegung/Verschluss und zugehörige Arbeiten) den Schwerpunkt (zusammen rund 70 Prozent der Kostenzuschläge).

Tabelle 12: Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager.

Hauptaktivitäten / Objektgruppen	HAA-Lager		SMA-Lager		Total Einzellager		Kombilager	
	[in %]	[MCHF]	[in %]	[MCHF]	[in %]	[MCHF]	[in %]	[MCHF]
Erdwissenschaftliche Arbeiten	9%	76	11%	55	9%	131	9%	105
Sicherheit und Systemanalysen	2%	18	3%	13	2%	31	2%	29
Radioaktive Materialien	1%	5	1%	5	1%	10	1%	11
Anlagenplanung und -bau	45%	400	47%	237	46%	637	43%	489
<i>Oberflächeninfrastruktur</i>		139		53		192		155
<i>Zugang nach Untertag</i>		112		113		225		110
<i>Bauwerke auf Lagerebene</i>		138		63		200		206
<i>Andere</i>		12		8		20		18
Anlagenbetrieb	21%	186	14%	70	18%	256	20%	235
<i>Oberflächeninfrastruktur</i>		34		16		50		102
<i>Zugang nach Untertag^{a)}</i>		37		16		53		0
<i>Bauwerke auf Lagerebene^{a)}</i>		83		15		98		119
<i>Andere</i>		33		22		55		14
Forschung und Entwicklung	5%	48	4%	19	5%	67	6%	64
Stilllegung, Rückbau und Verschluss	8%	74	9%	45	9%	119	8%	91
<i>Oberflächeninfrastruktur</i>		21		7		28		25
<i>Zugang nach Untertag</i>		24		27		51		27
<i>Bauwerke auf Lagerebene</i>		30		10		40		38
<i>Andere</i>		0		0		0		0
Allgemeine Kosten	4%	36	5%	26	4%	62	5%	61
Behördentätigkeit, Gebühren	5%	42	6%	32	5%	74	6%	65
Total	100%	885	100%	501	100%	1'386	100%	1'150

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

In den Zahlen sind die Zuschläge für die Einlagerung der Stilllegungsabfälle nicht enthalten.

Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten für Objektgruppen in kursiver Schrift.

^{a)} Im Kombilager wurden die Anlagenbetriebskosten der beiden Objektgruppen «Zugang nach Untertag» und «Bauwerke auf Lagerebene» gesamthaft der Objektgruppe «Bauwerke auf Lagerebene» zugeordnet.

5.6 Kostenzuschläge für Gefahren

Die Kostenzuschläge für Gefahren betragen ca. 20 Prozent der Basiskosten (vgl. Tabelle 8). In Tabelle 13 sind die Risikowerte für die berücksichtigten Gefahren aufgeführt. Diese kommen bei den verschiedenen Typen von betrachteten Varianten (Auslegungsvarianten, Änderungen von Dimensionen, Änderungen beim Aufwand) zum Tragen (Tabelle 13a). Für die verschiedenen Gefahren gibt es unterschiedliche Gründe für die Abweichungen beziehungsweise Änderungen; diese sind Tabelle 13b aufgeführt. Tabelle 13a zeigt, dass der Hauptbeitrag der Gefahren aus Abweichungen beim Aufwand stammt; die Gründe der Abweichungen sind verschiedenartig (Tabelle 13b).

Tabelle 13: Risikowerte für die in der Kostenstudie 2021 berücksichtigten Gefahren für das SMA- und HAA-Lager sowie für die Variante Kombilager.

a) Gefahren für die verschiedenen Typen von betrachteten Varianten.

Gefahren	HAA-Lager		SMA-Lager		Total Einzellager		Kombilager	
	[%]	[MCHF]	[%]	[MCHF]	[%]	[MCHF]	[%]	[MCHF]
Auslegungsvarianten	5%	42	12%	72	8%	114	4%	49
Änderung Dimensionen von (Teil-)Objekten	5%	45	7%	40	6%	85	6%	75
Änderung Aufwand	90%	769	81%	484	86%	1'253	90%	1'110
Total	100%	857	100%	596	100%	1'452	100%	1'234

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.
In den Zahlen sind die Zuschläge für die Einlagerung der Stilllegungsabfälle nicht enthalten.

b) Gefahren für die verschiedenen Abweichungsbegründungen.

Gefahren	HAA-Lager		SMA-Lager		Total Einzellager		Kombilager	
	[%]	[MCHF]	[%]	[MCHF]	[%]	[MCHF]	[%]	[MCHF]
Technische Abläufe, behördliche Verfahren	16%	138	15%	89	16%	227	17%	206
Standards und Gesetze	5%	41	10%	60	7%	101	4%	51
Geologie / Technologie	17%	143	11%	64	14%	207	14%	172
Gesellschaftliches Umfeld, Markt	32%	276	33%	196	33%	472	37%	455
Technologie und Wissenschaft	13%	112	15%	89	14%	201	12%	143
Markt	7%	56	2%	14	5%	70	5%	67
Organisation und Schnittstellen	11%	91	14%	83	12%	174	11%	140
Total	100%	857	100%	596	100%	1'452	100%	1'234

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.
In den Zahlen sind die Zuschläge für die Einlagerung der Stilllegungsabfälle nicht enthalten.

In Tabelle 14 sind die Kostenzuschläge für Gefahren für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager nach den Hauptaktivitäten aufgeschlüsselt. Wie aus Tabelle 14 ersichtlich ist, werden bei fast allen Hauptaktivitäten Gefahren identifiziert; ausgenommen sind die Hauptaktivitäten «Sicherheit und Systemanalysen» und «Radioaktive Materialien», bei denen die Ungewissheiten durch die Kostenzuschläge für Ungenauigkeiten ausreichend abgedeckt sind.

Tabelle 14: Kostenzuschläge für Gefahren für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager.

Hauptaktivitäten / Objektgruppen	HAA-Lager		SMA-Lager		Total Einzellager		Kombilager	
	[in %]	[MCHF]	[in %]	[MCHF]	[in %]	[MCHF]	[in %]	[MCHF]
Erdwissenschaftliche Arbeiten	2%	18	1%	8	2%	26	2%	27
Sicherheit und Systemanalysen	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
Radioaktive Materialien	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
Anlagenplanung und -bau	33%	280	38%	224	35%	505	33%	378
Anlagenbetrieb	8%	66	4%	24	6%	90	7%	72
Forschung und Entwicklung	0%	1	0%	0	0%	2	0%	2
Stilllegung, Rückbau und Verschluss	13%	108	16%	93	14%	202	14%	146
Allgemeine Kosten	3%	28	5%	27	4%	55	3%	50
Behörden­tätigkeit, Gebühren und Abgeltungen	29%	252	25%	151	28%	404	28%	403
Übergreifende Gefahren	12%	103	11%	68	12%	171	12%	156
Total	100%	857	100%	596	100%	1'452	100%	1'234

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.
In den Zahlen sind die Zuschläge für die Einlagerung der Stilllegungsabfälle nicht enthalten.

5.7 Kostenabzüge für Chancen

In Tabelle 15 sind die Risikowerte für die berücksichtigten Chancen aufgeführt. Diese sind mit Ausnahme der wichtigsten Chance «Kombilager» im Vergleich zu den Gesamtkosten vergleichsweise klein (rund 1 Prozent), vgl. Tabelle 8. Die Chancen kommen nur bei einigen der Typen von betrachteten Varianten (Auslegungsvarianten, Änderungen von Dimensionen, Änderungen beim Aufwand) zum Tragen (Tabelle 15a). Für die verschiedenen Chancen gibt es unterschiedliche Gründe für die Abweichungen: diese sind Tabelle 15b aufgeführt.

Tabelle 15: Risikowerte für die in der Kostenstudie 2021 berücksichtigten Chancen für das SMA- und HAA-Lager sowie für die Variante Kombilager.

a) Chancen für die verschiedenen Typen von betrachteten Fällen.

Chancen	HAA-Lager		SMA-Lager		Total Einzellager		Kombilager	
	[%]	[MCHF]	[%]	[MCHF]	[%]	[MCHF]	[%]	[MCHF]
Auslegungsvarianten	52%	-30	0%	0	42%	-30	96%	-34
Änderung Dimensionen von (Teil-)Objekten	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
Änderung Aufwand	48%	-28	100%	-13	58%	-41	4%	-37
Total	100%	-58	100%	-13	100%	-71	100%	-71

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.
In den Zahlen sind die Zuschläge für die Einlagerung der Stilllegungsabfälle nicht enthalten.

b) Chancen für die verschiedenen Abweichungsbegründungen.

Chancen	HAA-Lager		SMA-Lager		Total Einzellager		Kombilager	
	[%]	[MCHF]	[%]	[MCHF]	[%]	[MCHF]	[%]	[MCHF]
Technische Abläufe, behördliche Verfahren	31%	-18	69%	-9	38%	-27	33%	-23
Standards und Gesetze	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
Geologie / Technologie	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
Gesellschaftliches Umfeld, Markt	21%	-12	0%	0	17%	-12	23%	-16
Technologie und Wissenschaft	14%	-8	23%	-3	16%	-11	16%	-11
Markt	34%	-19	8%	-1	29%	-20	28%	-20
Geologie (Standortvarianten)	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
Total	100%	-58	100%	-13	100%	-71	100%	-71

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.
In den Zahlen sind die Zuschläge für die Einlagerung der Stilllegungsabfälle nicht enthalten.

In Tabelle 16 finden sich die Abzüge für Chancen zugeordnet zu den Hauptaktivitäten. Die Tabelle zeigt, dass die Chancen grösstenteils beim Anlagenbau und dem späteren Rückbau bzw. Verschluss anfallen.

Tabelle 16: Kostenabzüge für Chancen für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager.

Hauptaktivitäten / Objektgruppen	HAA-Lager		SMA-Lager		Total Einzellager		Kombilager	
	[in %]	[MCHF]	[in %]	[MCHF]	[in %]	[MCHF]	[in %]	[MCHF]
Erdwissenschaftliche Arbeiten	0%	0	1%	0	0%	0	0%	0
Sicherheit und Systemanalysen	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
Radioaktive Materialien	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
Anlagenplanung und –bau	69%	-40	0%	0	56%	-40	61%	-43
Anlagenbetrieb	-26%	15	0%	0	-21%	15	-22%	15
Forschung und Entwicklung	14%	-8	24%	-3	16%	-11	16%	-11
Stilllegung, Rückbau und Verschluss	9%	-5	0%	0	7%	-5	8%	-6
Allgemeine Kosten	4%	-2	5%	-1	4%	-3	3%	-2
Behörden­tätigkeit, Gebühren und Abgeltungen	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
Übergreifende Chancen	31%	-18	69%	-9	38%	-27	33%	-23
Total	100%	-58	100%	-13	100%	-71	100%	-71

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

Bei den Zahlen ist zu beachten, dass bei einer Chance die Summe aller dazu beitragenden Positionen zu Minderkosten führt; die Kosten einzelner Positionen können auch Mehrkosten ergeben.

In den Zahlen sind die Abzüge für die Einlagerung der Stilllegungsabfälle nicht enthalten.

Der positive Wert in der Hauptaktivität «Anlagenbetrieb» für das HAA-Lager und das Kombilager ist Teil einer Abweichung, die sich über mehrere Hauptaktivitäten und Phasen verteilt ist. Insgesamt resultiert die Abweichung in einer Kostenreduktion (Chance), der Anteil davon in der Hauptaktivität «Anlagenbetrieb» hingegen erzeugt Mehrkosten.

5.8 Nicht berücksichtigte Chancen und Gefahren

Nachfolgend werden die relevanten nicht berücksichtigten Gefahren und Chancen diskutiert. Neben einer kurzen Beschreibung (inkl. Einschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit) wird auch ein Hinweis auf die möglichen Kostenfolgen gegeben. Die Gefahren sind in der Reihenfolge ihres möglichen zeitlichen Eintretens aufgelistet.

Gefahren

- Das Parlament bzw. das Volk (fakultatives nationales Referendum) lehnen die Erteilung der Rahmenbewilligung ab. Dies wird wegen des sehr breit abgestützten Standortwahlverfahrens als sehr unwahrscheinlich eingestuft.
- Bei Ablehnung der Rahmenbewilligung ist das weitere Vorgehen offen. Wird angenommen, dass es nach einer längeren Phase der Standortbestimmung und der Diskussion des weiteren Vorgehens trotzdem zur Realisierung eines mit der heutigen Planung vergleichbaren geologischen Tiefenlagers kommen würde, wären die Kostenfolgen beschränkt und vor allem durch die Wartezeit bestimmt (einige 100 Millionen Franken; einige Prozent der Gesamtkosten). Die nicht nutzbaren getätigten Ausgaben sind in dieser Projektphase noch vergleichsweise klein und die bis zu diesem Zeitpunkt erarbeiteten Vorkenntnisse bezüglich Standortmöglichkeiten können für die zukünftigen Arbeiten genutzt werden.
- Unter Berücksichtigung, dass die grossen Investitionen nach hinten geschoben werden und während dieser Zeit Zinserträge des geäußerten Fonds anfallen, zeigt sich, dass dies keine höheren Rückstellungen verlangt.

- Aufgabe des Standorts wegen ungünstiger geologischer Befunde während der Exploration Untertag. Das Lager wird an einem Reservestandort realisiert. Wegen der umfangreichen Untersuchungen vor dem Standortentscheid und entsprechend vor Baubeginn wird dies als sehr unwahrscheinlich eingeschätzt. Wird trotzdem die Aufgabe des Standorts unterstellt, würden die Kostenfolgen die Ausgaben für die nicht nutzbaren Investitionen umfassen. Es wären dies insbesondere die Kosten für die Sondierbauwerke (inkl. Untersuchungen Untertag) und die bis zur Aufgabe des Standorts aufgelaufenen Kosten für den Bau des Lagers sowie die Kosten für Studien und Eigenleistungen für das Projekt (einige 100 Millionen Franken; einige Prozent der Gesamtkosten).
- Extremer Wassereintrich während des Baus oder des Betriebs. Durch eine geeignete Anordnung der Schächte bzw. durch geeignete Linienführung der Tunnel, baubegleitende Vorauserkundung und geeignetem, druckwasserhaltendem Ausbau, vorgängiger geologischer Erkundung sowie einer kontinuierlichen Bauwerksüberwachung und Unterhalt wird ein extremer Wassereintrich als sehr unwahrscheinlich eingeschätzt. Wird trotzdem ein extremer Wassereintrich unterstellt mit nachfolgender Sanierung der Bauwerke, einer Anpassung der Linienführung oder allfälliger Wiederherstellung der Experimente, wären die Kostenfolgen begrenzt (einige 10 Millionen Franken bis ca. 200 Millionen Franken, d. h. kleiner oder gleich 2 Prozent der Gesamtkosten). Bei einem Wassereintrich während des Betriebs ist der Anteil an offenen Bauwerksteilen beschränkt (laufende Verfüllung und Versiegelung der befüllten Lagerkammern).
- Rückholung eines Teils der Endlagerbehälter nach Verschluss der Lagerkammern. Wegen der sehr umfangreichen Abklärungen vor Beginn der Einlagerung und den zahlreichen externen Reviews im Rahmen der Bewilligungen wird dies als sehr unwahrscheinlich eingeschätzt. Gemäss Verfügung zum Entsorgungsprogramm 2016 der Entsorgungspflichtigen hat die Nagra daher erst zusammen mit dem Baugesuch für ein geologisches Tiefenlager dem UVEK einen Bericht einzureichen, in dem die Kosten für die Rückholung der Abfälle aus einem SMA- und HAA-Lager oder einem Kombilager während der Beobachtungsphase und die Kosten für die Rückholung nach dem Verschluss geschätzt werden. In beiden Fällen werden auch die Kosten für die Verbringung dieser Abfälle in ein Zwischenlager abzuschätzen sein.

Chancen

- Aus heutiger Sicht bestehen bei der Anlagenauslegung (inkl. Auslegung der technischen Barrieren) Optimierungsmöglichkeiten. Die diesbezüglichen Abklärungen sind jedoch noch nicht weit genug fortgeschritten, um sie umzusetzen beziehungsweise als Chance in der Kostenermittlung zu berücksichtigen. Dazu gehören zum Beispiel günstigere Verpackungs- bzw. Einlagerungskonzepte bzw. Endlagerbehälter. Dies kann grundsätzlich zu einer reduzierten Anzahl Endlagerbehälter und/oder zu reduzierten Kosten pro Endlagerbehälter führen.
- Grundsätzlich besteht Optimierungspotenzial durch Verwendung neuer Technologien (zum Beispiel Robotik), welche zu einer höheren Effizienz beim Bau, Betrieb bzw. Verschluss der Anlagen führen können.
- Weitere Optimierungsmöglichkeiten bestehen bezüglich gemeinsamer Nutzung von Infrastruktur (inkl. Verpackungsanlagen), die jedoch noch vertieft zu prüfen sind, bevor sie als Chance berücksichtigt werden können.
- Zudem besteht die Möglichkeit durch eine höhere Beladung der BE-Endlagerbehälter (höhere Wärmeleistung) eine geringere Gesamtlänge der BE/HAA-Lagerstollen zu erreichen, was zu einem geringeren «Footprint» des Lagers mit entsprechend geringeren Kosten führt.

5.9 Genereller Sicherheitszuschlag

Die Vorgaben der Verwaltungskommission für die Kostengliederung in der KS21 sehen einen generellen Sicherheitszuschlag bei der Berechnung der Entsorgungskosten vor, sodass nach Einschätzung zum Zeitpunkt der Fertigstellung der KS21 das Toleranzniveau gegenüber allfälligen Kostenüberschreitungen auf maximal 20 Prozent beschränkt wird.

In der KS21 wird ein genereller Sicherheitszuschlag von 12.5 Prozent auf die Basiskosten berücksichtigt und bildet zusammen mit den Kostenzuschlägen für die Prognoseungenauigkeiten und den Kostenzuschlägen bzw. -abzügen für Gefahren und Chancen die Gesamtkosten (siehe Abbildung 2). Die Höhe des generellen Sicherheitszuschlags ist konservativ so angesetzt, dass die Gesamtkosten der KS21 mindestens dem in den Vorgaben der Verwaltungskommission geforderten Toleranzniveau entsprechen.

Der Zuschlag wurde analog KS16 festgelegt, da die Methodik für die Kostenschätzung, d. h. die Kostenstrukturen und die Kostengliederung, gegenüber der KS16 nicht verändert wurde und somit eine Vergleichbarkeit der Zuschlagsniveaus gewährleistet wird. Somit entspricht auch das Toleranzniveau gegenüber allfälligen Kostenüberschreitungen demjenigen, welches für die KS16 zugrunde gelegt wurde. Es haben sich zwischen den Abgabeterminen für die beiden Kostenstudien 2016 und 2021 keine Erkenntnisse ergeben, die für eine abweichende Festlegung des generellen Sicherheitszuschlags sprechen.

5.10 Gesamtkosten

Die Gesamtkosten setzen sich gemäss Abbildung 3 zusammen aus den Basiskosten, bestehend aus den Ausgangskosten und den Kosten zur Risikominderung, den Zuschlägen für Prognoseungenauigkeiten, den Zuschlägen für Gefahren und den Abzügen für Chancen sowie einem zusätzlichen generellen Sicherheitszuschlag (vgl. Kapitel 5.9). Die aufgelaufenen Kosten werden separat ausgewiesen. In den vorangehenden Unterkapiteln wurden für die beiden Einzellager und für das Kombilager die Kosten dieser einzelnen Kostenblöcke und der Kostenniveaus beschrieben; eine Übersicht über ihren Beitrag zu den Gesamtkosten abzüglich der aufgelaufenen Kosten kann Tabelle 8 entnommen werden. Damit liegen die Grundlagen vor, um die Gesamtkosten unter Berücksichtigung der Lagervarianten und ihrer Verteilung auf die Entsorgungspflichtigen zu beurteilen.

5.10.1 Überblick

Tabelle 17 zeigt einen Überblick der Kosten für die geologischen Tiefenlager unter Berücksichtigung der Kostenblöcke und des Kostenniveaus gemäss Kostengliederung für das HAA-Lager, das SMA-Lager sowie für die Summe der Einzellager für eine 47-jährige Betriebszeit für KKM und eine 50-jährige Betriebszeit für die anderen KKW. In der Tabelle sind auch die Kosten für die Lagervariante Kombilager aufgeführt. Weiter werden in Tabelle 17 als Grundlage für die Ableitung der Bemessungsgrundlage für die Fondsbeiträge als zusätzliche Variante auch Gesamtkosten aufgeführt, bei denen die Realisierung eines Kombilagere anstelle von zwei Einzellagern als Chance mit einem Gewicht von 75 Prozent berücksichtigt wird. Das Kombilager ist eine vorteilhafte, wahrscheinliche Variante (vgl. Entsorgungsprogramm 2021), da ein Kombilager genauso sicher gebaut und betrieben werden kann wie zwei Einzellager, in allen Standortregionen ein ausreichendes Platzangebot für ein Kombilager vorhanden ist, ein Kombilager ökologisch und raumplanerisch vorteilhaft ist und im Bewusstsein der Öffentlichkeit ein Kombilager als wahrscheinliche Lagervariante gilt.

Tabelle 17 zeigt, dass die gesamthaft eingerechneten Zuschläge und Abzüge für Ungenauigkeiten, Gefahren und Chancen für die Einzellager rund 50 Prozent der zukünftigen Basiskosten betragen. Die aufgelaufenen Kosten sind rund 15 Prozent der Gesamtkosten.

Die Berücksichtigung der Variante, bei der die Realisierung eines Kombilagere anstelle von zwei Einzellagern als Chance mit einem Gewicht von 75 Prozent berücksichtigt wird (Grundlage für die Ableitung der Bemessungsgrundlage für die Fondsbeiträge), führt zu einer Reduktion der Gesamtkosten um rund 10 Prozent verglichen mit den Kosten Total Einzellager ohne Berücksichtigung der Chance Kombilager.

Tabelle 21 in Anhang A.3 zeigt die gleiche Information wie Tabelle 17 für eine 47-jährige Betriebszeit für KKM und eine 60-jährige Betriebszeit für die anderen KKW.

5.10.2 Vergleich der Kostenstudie 2021 mit der Kostenstudie 2016

Tabelle 18 zeigt einen Vergleich der Gesamtkosten gemäss KS21 mit den Gesamtkosten gemäss KS16. Tabelle 18 enthält neben den Gesamtkosten auch die aufgelaufenen Kosten.

Die Berechnungen werden jeweils zur Preisbasis des Jahres der Kostenermittlung durchgeführt. Für den direkten Vergleich werden die in der KS16 ermittelten Kosten mit der in der Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung (SEFV) verankerten und im Rückstellungsmodell berücksichtigten Teuerungsrate von 0.5 Prozent pro Jahr von der Preisbasis 2016 (PB16) auf die Preisbasis 2021 (PB21) hochgerechnet. Teuerungsbereinigt verringern sich die Gesamtkosten für die Einzellager von der durch den STENFO geprüften KS16 zur KS21 um etwa 12 Prozent (HAA-Lager) bzw. 6 Prozent (SMA-Lager), das Total der Einzellager verringert sich um 10 Prozent. Die Kosten für das Kombilager sind um 11 Prozent vermindert gegenüber den Kosten für das Kombilager der verfügbaren KS16.

Wird die Realisierung eines Kombilagere anstelle von zwei Einzellagern als Chance mit einem Gewicht von 75 Prozent berücksichtigt (Grundlage für die Ableitung der Bemessungsgrundlage für die Fondsbeiträge), vermindern sich die Gesamtkosten im Vergleich mit den Einzellagern in der KS16 (mit analoger Gewichtung der Chance Kombilager von 75 Prozent) um 10 Prozent.

Die Unterschiede in den Kosten zwischen KS16 und KS21 ist auf eine Vielzahl von Faktoren zurückzuführen. Die Wichtigsten werden nachfolgend aufgeführt.

- Die Standorte der Oberflächeninfrastruktur der geologischen Tiefenlager für die in der KS21 vorgegebenen Modellstandorte entsprechen möglichen Vorschlägen zur Konkretisierung der Oberflächeninfrastruktur der geologischen Tiefenlager für die Etappe 3 des Sachplans geologische Tiefenlager.
- Die Lage der Lagerfelder der geologischen Tiefenlager für die in der KS21 vorgegebenen Modellstandorte entspricht dem Wissensstand gemäss Feldarbeiten und der Tiefbohrkampagne im Rahmen der Etappe 3 des Sachplans geologische Tiefenlager von 2019.
- Gegenüber der KS16 werden die alphanoxischen Abfälle (ATA) im Einklang mit den Vorgaben zur KS21 neu dem SMA-Lager zugeordnet. Dadurch entfällt der in der KS16 im HAA-Einzelager enthaltene LMA-Lagerteil.
- Zudem wurden verschiedene Projektoptimierungen an den geologischen Tiefenlagern im Vergleich zur KS16 vorgenommen, welche den aktuellen Planungsstand widerspiegeln. Dies sind im Wesentlichen:
 - Für den in der KS21 betrachteten modellhaften Standort des SMA-Lagers Jura Ost werden die Nutzung der Synergien mit der ZwiLag insbesondere bezüglich der Verpackung der SMA im Basisprojekt berücksichtigt. Dies erlaubt auch die Nutzung grösserer Endlagerbehälter für einen relevanten Teil der SMA.
 - Für den in der KS21 betrachteten Standort des HAA-Lagers Zürich Nordost wird eine geänderte Zugangskonfiguration zum geologischen Tiefenlager im Basisprojekt berücksichtigt. Alle Zugänge nach Untertag sind nun als Schächte ausgestaltet. Dies gilt auch für das Kombilager.
 - Für die Basisprojekte und das Kombilager wurden die Normalprofile und Sicherheitstypen der Zugänge nach Untertag und der Bauwerke auf Lagerebene weiterentwickelt und die Kosten entsprechend neu ermittelt.
 - Die Verpackungsanlage für abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle wurde weiterentwickelt und die Kosten entsprechend neu ermittelt (berücksichtigt im Basisprojekt HAA-Lager sowie im Kombilager).
 - Für die Basisprojekte und das Kombilager wurde das Verschlusskonzept (Verfüllung und Versiegelung der Bauwerke auf Lagerebene sowie der Zugänge nach Untertag) weiterentwickelt und die Kosten entsprechend neu ermittelt.

Die KS16 stützte sich gemäss Vorgabe in der Kernenergieverordnung auf das damals aktuelle EP16 ab.

Weiter werden die Abgeltungen und Kompensationsmassnahmen nicht in den Basiskosten, sondern als Gefahr aufgeführt, um zu berücksichtigen, dass es für die Abgeltungen und Kompensationsmassnahmen keine gesetzliche Grundlage gibt, und die diesbezüglichen Verhandlungen noch nicht begonnen haben – mit dem Verzicht auf feste Zahlen soll eine präjudizierende Wirkung auf die zukünftigen Verhandlungen verhindert werden.

Tabelle 17: Gesamtkosten für das HAA-Lager, das SMA-Lager und die Variante Kombilager sowie Gesamtkosten mit Berücksichtigung der Variante Kombilager als Chance.

	HAA-Lager		SMA-Lager		Total Einzellager		Kombilager	
	[MCHF]		[MCHF]		[MCHF]		[MCHF]	
Aufgelaufene Kosten	954		747		1'700		1'700	
Zukünftige Kosten ab 2021	6'705		3'945		10'650		9'015	
Zukünftige Ausgangskosten (1)	4'291		2'426		6'717		5'693	
Zukünftige Kosten zur Risikominderung (2)	172		117		289		264	
Zukünftige Basiskosten (3)	4'463		2'543		7'006		5'957	
Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten (4) ^{a)}	19.8%	885	19.7%	501	19.8%	1'386	19.3%	1'150
Zuschläge für Gefahren (5) ^{a)}	19.2%	857	23.4%	596	20.7%	1'452	20.7%	1'234
Abzüge für Chance (6) ^{a)}	-1.3%	-58	-0.5%	-13	-1.0%	-71	-1.2%	-71
Genereller Sicherheitszuschlag (8) ^{a)}	12.5%	558	12.5%	318	12.5%	876	12.5%	745
Total Zuschläge auf zukünftige Basiskosten ^{a)}	50.2%	2'242	55.1%	1'402	52.0%	3'644	51.3%	3'058
Gesamtkosten	7'659		4'692		12'350		10'715	
Berücksichtigung Kombilager als Chance ^{b)}	-9.6%	-736	-10.5%	-490	-9.9%	-1'226		
Gesamtkosten bei Berücksichtigung des Kombilagers als Chance (75 % gewichtet)	6'923		4'202		11'124			

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

Kostengliederung gemäss Vorgaben der Verwaltungskommission (Kostenniveaus 1 bis 6, in Klammern).

In den Zahlen sind die Kosten für die Einlagerung der Stilllegungsabfälle in der Höhe von 119 Millionen Franken (Gesamtkosten, Einzellager) bzw. 147 Millionen Franken (Gesamtkosten, Kombilager) nicht enthalten.

^{a)} in Prozent der zukünftigen Basiskosten

^{b)} in Prozent der Gesamtkosten

Tabelle 18: Vergleich der Gesamtkosten der Kostenstudie 2021 und Kostenstudie 2016 für das HAA-Lager, das SMA-Lager und die Variante Kombilager sowie Vergleich der Gesamtkosten mit Berücksichtigung der Variante Kombilager als Chance.

	HAA-Lager		SMA-Lager		Total Einzellager		Kombilager	
	KS16 nach Prüfung STENFO [MCHF] PB 2021	KS21 ohne SA [MCHF] PB 2021	KS16 nach Prüfung STENFO [MCHF] PB 2021	KS21 ohne SA [MCHF] PB 2021	KS16 nach Prüfung STENFO [MCHF] PB 2021	KS21 ohne SA [MCHF] PB 2021	KS16 nach Prüfung STENFO [MCHF] PB 2021	KS21 ohne SA [MCHF] PB 2021
Aufgelaufene Kosten	723	954	573	747	1'296	1'700	1'296	1'700
Zukünftige Kosten Projekt	7'945	6'705	4'411	3'945	12'356	10'650	10'683	9'016
Gesamtkosten	8'668	7'659	4'984	4'692	13'651	12'350	11'979	10'715
Kostenänderung im Vergleich zu KS16 [%]		-11.6%		-5.9%		-9.5%		-10.6%
Berücksichtigung Kombilager als Chance (75 % gewichtet in der KS21 und in der KS16)	-752	-735	-501	-490	-1'253	-1'226		
Gesamtkosten bei Berücksichtigung des Kombilagers als Chance	7'915	6'923	4'482	4'202	12'397	11'124		
Änderung der Gesamtkosten im Vergleich zu KS16 [%]		-12.5%		-6.3%		-10.3%		

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

In den Zahlen sind die Kosten für die Einlagerung der Stilllegungsabfälle in der Höhe von 119 Millionen Franken (Gesamtkosten, Einzellager) bzw. 147 Millionen Franken (Gesamtkosten, Kombilager) nicht enthalten.

Die Vergleichsbasis der KS16 entspricht den durch den STENFO geprüften KS16-Zahlen inkl. dem generellen Sicherheitszuschlag mit Preisbasis 2021.

Die Kombilager-Variante wird mit gleicher Eintrittswahrscheinlichkeit verglichen (Chance Kombilager 75 Prozent).

5.10.3 Aufteilung der Gesamtkosten auf die Entsorgungspflichtigen

Für die Aufteilung der Gesamtkosten der geologischen Tiefenlager auf die Entsorgungspflichtigen werden Kostenverteilungsschlüssel verwendet, welche die Struktur der Kosten berücksichtigen. Dabei wird zwischen Fixkosten und variablen (direkt einem Entsorgungspflichtigen zuweisbaren) Kosten unterschieden. Die variablen Kosten sind durch die jeweiligen Entsorgungspflichtigen zu tragen.

Die Ermittlung des Bundesanteils an den Fixkosten für das SMA- und das HAA-Lager basiert wie bei der Kostenstudie 2016 auf einem Kostenschlüssel, welcher das Volumen und die Radiotoxizität der Abfälle der Entsorgungspflichtigen berücksichtigt. Für die Festlegung des Bundesanteils an den Fixkosten werden die gleichen Berechnungsannahmen verwendet wie in der Kostenstudie 2016, jedoch unter Berücksichtigung des aktualisierten Inventars der radioaktiven Abfälle. Aufgrund des Bundesratsbeschlusses vom 27. September 2019 wurde im Jahr 2020 eine umfassende Ausgleichszahlung initiiert. Insgesamt wurden 137.2 Millionen Franken (plus Mehrwertsteuer) vom Bund für die in der Vergangenheit zu wenig geleisteten Beiträge bis 31. Dezember 2019 nachbezahlt und unter den Werksbetreibern aufgeteilt. Ab 1. Januar 2020 bezahlt der Bund angepasste, höhere Akonto-Beiträge.

Für die Verteilung der Fixkosten zwischen den Kernkraftwerken kommt für die in Zukunft anfallenden Kosten eine Regelung zur Anwendung, die Abfallvolumen, Durchschnittsleistung und laufzeitgewichtete Leistung berücksichtigt. Die Kosten bis Ende 2020 wurden in insgesamt drei Ausgleichszahlungen (inkl. Nachzahlung durch den Bund) unter den Betreibergesellschaften ausgeglichen. Die durch die verschiedenen Entsorgungspflichtigen zu tragenden Anteile an den zukünftigen (Akonto-)Fixkosten sind in Tabelle 19 aufgeführt.

Tabelle 20 zeigt die auf die verschiedenen Entsorgungspflichtigen aufgeteilten Kosten der KS21 für eine 47-jährige Betriebszeit für KKM und eine 50-jährige Betriebszeit für die anderen KKW. In der Tabelle werden auch die Kosten für eine Variante mit Berücksichtigung des Kombilagers als Chance aufgeführt, bei welcher die Festkosten für gemeinsam genutzte Anlagenteile des Kombilagers zu 40 Prozent dem SMA-Teillager und zu 60 Prozent dem HAA-Teillager zugewiesen werden. In Tabelle 20 findet sich zum Vergleich auch eine Darstellung der Zahlen für die Kostenstudie KS16.

Tabelle 22 in Anhang A.3 zeigt die gleiche Information wie Tabelle 19 für eine 47-jährige Betriebszeit für KKM und eine 60-jährige Betriebszeit für die anderen KKW.

Tabelle 19: Die durch die verschiedenen Entsorgungspflichten zu tragenden Anteile an den zukünftigen Fixkosten des SMA- und HAA-Lagers.

50-jähriger KKW-Betrieb								
Bundes-Beteiligung	KKB	KKM	KKG	KKL	Total KKW	Bund	Total	Anzuwenden auf:
mit	23.2484%	10.4696%	30.5007%	35.6030%	99.8217%	0.1783%	100.0000%	Fixkosten BE/HAA
ohne	23.2899%	10.4883%	30.5552%	35.6666%	100.0000%			
mit	17.7447%	11.2586%	18.6760%	29.0637%	76.7430%	23.2570%	100.0000%	Fixkosten SMA
ohne	23.1223%	14.6705%	24.3357%	37.8715%	100.0000%			

60-jähriger KKW-Betrieb								
Bundes-Beteiligung	KKB	KKM	KKG	KKL	Total KKW	Bund	Total	Anzuwenden auf:
mit	23.1617%	9.6941%	30.8396%	36.1647%	99.8601%	0.1399%	100.0000%	Fixkosten BE/HAA
ohne	23.1942%	9.7077%	30.8828%	36.2153%	100.0000%			
mit	18.0020%	10.8868%	19.1744%	29.7304%	77.7937%	22.2063%	100.0000%	Fixkosten SMA
ohne	23.1407%	13.9945%	24.6478%	38.2170%	100.0000%			

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

Die hier verwendeten Kostenverteilungsschlüssel für die Aufteilung der zukünftigen Fixkosten sind auf Basis der getroffenen Vereinbarungen zwischen Bund und KKW sowie zwischen den KKW-Betreibern untereinander ermittelt worden. Für den 50-jährigen KKW-Betrieb wird der 50-jährige SMA-Volumenschlüssel zwischen Bund und KKW der Schlüsselberechnung zugrunde gelegt, für den 60-jährigen KKW-Betrieb wird der 60-jährige Schlüssel verwendet. Bei der Berechnung der zu tragenden Fixkosten-Anteile werden bei den Abfallvolumina auch die Stilllegungsabfälle berücksichtigt.

Tabelle 20: Gesamtkosten für die geologischen Tiefenlager und Vergleich mit den Gesamtkosten der Kostenstudie 2016 inkl. Aufteilung auf die Entsorgungspflichtigen für die Varianten ohne bzw. mit Berücksichtigung der Chance des Kombilagers.

Kosten der geologischen Tiefenlager	KKB	KKM	KKG	KKL	Bund	Total
Gesamtkosten Einzellager ohne Chance Kombilager gemäss KS21	2'634	1'306	3'231	4'123	1'056	12'350
Zukünftige Gesamtkosten ab 2021	2'272	1'134	2'764	3'568	911	10'650
Aufgelaufene Kosten bis 2020 (inkl. GNW)	361	172	467	555	145	1'700
Gesamtkosten Kombilager gemäss KS21	2'281	1'135	2'796	3'586	918	10'715
Zukünftige Gesamtkosten ab 2021	1'920	963	2'329	3'031	773	9'016
Aufgelaufene Kosten bis 2020 (inkl. GNW)	361	172	467	555	145	1'700
Gesamtkosten Einzellager mit 75 % Chance Kombilager gemäss KS21	2'369	1'178	2'905	3'720	952	11'124
Zukünftige Gesamtkosten ab 2021	2'008	1'006	2'438	3'165	807	9'424
Aufgelaufene Kosten bis 2020 (inkl. GNW)	361	172	467	555	145	1'700
Gesamtkosten Einzellager ohne Chance Kombilager gemäss KS16 nach Prüfung STENFO PB2021	2'898	1'479	3'502	4'499	1'272	13'651
Zukünftige Kosten ab 2016	2'627	1'353	3'145	4'085	1'145	12'356
Aufgelaufene Kosten bis 2015 (inkl. GNW)	271	126	357	414	127	1'296
Gesamtkosten Kombilager gemäss KS16 nach Prüfung STENFO PB2021	2'539	1'280	3'097	3'937	1'124	11'979
Zukünftige Kosten ab 2016	2'268	1'154	2'740	3'523	997	10'683
Aufgelaufene Kosten bis 2015 (inkl. GNW)	271	126	357	414	127	1'296
Gesamtkosten Einzellager KS16 mit 75 % Chance Kombilager KS16 nach Prüfung STENFO PB2021	2'629	1'330	3'198	4'078	1'161	12'397
Zukünftige Kosten ab 2016	2'358	1'204	2'841	3'664	1'034	11'101
Aufgelaufene Kosten bis 2015 (inkl. GNW)	271	126	357	414	127	1'296
Differenz KS21 – KS16 nach Prüfung STENFO						
Differenz für Einzellager ohne Chance Kombilager (absolut, PB21)	-264	-174	-270	-376	-216	-1'301
Differenz Einzellager ohne Chance Kombilager (in % von KS16)	-9.1%	-11.7%	-7.7%	-8.4%	-17.0%	-9.5%
Differenz für Kombilager (absolut, PB21)	-258	-145	-301	-351	-206	-1'264
Differenz Kombilager (in % von KS16)	-10.1%	-11.3%	-9.7%	-8.9%	-18.4%	-10.6%
Differenz für Einzellager mit 75 % Chance Kombilager (absolut, PB21)	-260	-152	-293	-358	-209	-1'273
Differenz für Einzellager mit 75 % Chance Kombilager (in % von KS16)	-9.9%	-11.5%	-9.2%	-8.8%	-18.0%	-10.3%

In Millionen Franken, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

In den Zahlen sind die Kosten für die Einlagerung der Stilllegungsabfälle in der Höhe von 119 Millionen Franken (Gesamtkosten, Einzellager) bzw. 147 Millionen Franken (Gesamtkosten, Kombilager) nicht enthalten.

Bei den KS21-Projektkosten bis Ende 2020 ist ein Beitrag Dritter (GNW) in der Höhe von 90 Millionen Franken enthalten.

Die Vergleichsbasis der KS16 entspricht den durch den STENFO geprüften KS16-Zahlen inkl. dem generellen Sicherheitszuschlag mit Preisbasis 2021.

Die Kombilager-Variante wird mit gleicher Eintrittswahrscheinlichkeit verglichen (Chance Kombilager 75 Prozent).

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

5.10.4 Bisherige und zukünftige Kosten

Bereits erfolgte Aufwendungen

Die vorliegende KS21 umfasst wie die vorangegangenen Kostenstudien die gesamten Entsorgungskosten – sowohl die bereits erfolgten als auch die zukünftig zu ermittelnden. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung für einen sinnvollen Vergleich der periodischen Kostenstudien untereinander. Die Aufwendungen für die Entsorgung von den Anfängen bis 31. Dezember 2020 wurden gemäss den bereits erfolgten Zahlungen zu ihrem Zeitwert aus der Buchhaltung der einzelnen Kernkraftwerksbetreiber ermittelt.

Zukünftige Aufwendungen

Unter zukünftigen Aufwendungen werden alle geschätzten Aufwendungen verstanden, die ab dem Aktualisierungsjahr – hier 2021 – bis zum Verschluss des geologischen Tiefenlagers für HAA im Jahr 2126 zu erwarten sind. Ihnen liegen die Planungs- und Projektarbeiten für die Entsorgungsanlagen, Ermittlung der Betriebskosten, werkspezifische Angaben über TLB-Investitionen sowie über Transporte und Wiederaufarbeitung zugrunde, alle entsprechend dem Kenntnisstand in 2021. Die zukünftigen Kosten enthalten einerseits Aufwendungen, welche vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs (EELB) der Kernkraftwerke anfallen und durch die Betreiber direkt gezahlt werden müssen, also nicht fondsrelevant sind und andererseits Aufwendungen, welche nach EELB anfallen und dementsprechend in den Fonds einbezahlt werden müssen. Generell werden die zukünftigen Aufwendungen für jedes Kalenderjahr zu Preisen des Aktualisierungsjahrs ermittelt. Grundlage für die Beitragsberechnung pro Anlage ist ein von einem externen Experten geprüftes und von der Kommission genehmigtes finanzmathematisches Modell. Das Modell basiert auf einer Betriebsdauer von 50 Jahren und auf einer Anlagerendite von 2.1 Prozent (bis 31. Dezember 2019 3.5 Prozent) sowie einer Teuerungsrate von 0.5 Prozent (bis 31. Dezember 2019 1.5 Prozent) pro Jahr (Art. 8a Abs. 4 Anhang 1 SEFV).

A Anhänge

A.1 Referenzen

- [1] swissnuclear, Kostenstudie 2021 (KS21) Mantelbericht, SN-AN-21.194, Olten, Schweiz, 2021.
- [2] swissnuclear, Kostenstudie 2021 (KS21) Ermittlung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen, SN-AN-21.197, Schweiz, 2021.
- [3] swissnuclear, Kostenstudie 2021 (KS21) Ermittlung der Entsorgungskosten – Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung, SN-AN-21.195, Olten, Schweiz, 2021.
- [4] swissnuclear, Kostenstudie 2021 (KS21) Ermittlung der Kosten des Nachbetriebs der Schweizer Kernkraftwerke, SN-AN-21.196, Olten, Schweiz, 2021.
- [5] swissnuclear, Kostenstudie 2021 (KS21) Abkürzungen, Begriffe, Glossar, SN-AN-21.199, Olten, Schweiz, 2021.
- [6] STENFO, Verfügung betreffend Festlegung der voraussichtlichen Höhe der Stilllegungs- und Entsorgungskosten für jede Kernanlage (Art. 4 SEFV) / Festlegung definitive Jahresbeiträge 2017 – 2021 (Art. 8a SEFV), Bern, Schweiz, 2021.
- [7] SR 732.1 Kernenergiegesetz (KEG) vom 21. März 2003 (Stand 1. Januar 2020).
- [8] SR 732.11 Kernenergieverordnung (KEV) vom 10. Dezember 2004 (Stand 1. Februar 2019).
- [9] SR 732.17 Verordnung über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen (Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung, SEFV) vom 7. Dezember 2007 (Stand 1. Februar 2020).
- [10] SR 814.50 Strahlenschutzgesetz (StSG) vom 22. März 1991 (Stand 1. Mai 2017).
- [11] SR 814.501 Strahlenschutzverordnung (StSV) vom 26. April 2017 (Stand 1. Februar 2019).
- [12] SR 220 Bundesgesetz betreffend die Ergänzung des Schweizerischen Zivilgesetzbuches (Fünfter Teil: Obligationenrecht) vom 30. März 1911 (Stand am 1. Januar 2020).
- [13] International Financial Reporting Standards (IFRS); www.ifrs.org.
- [14] Schweizer Standards für die Rechnungslegung in Unternehmen, Generally Accepted Accounting Principles, Fachempfehlung zur Rechnungslegung; www.fer.ch (Swiss GAAP FER).
- [15] Entsorgungsprogramm 2021 (EP21) der Entsorgungspflichtigen, Nagra Technischer Bericht NTB 21-01. Nagra, Wettingen, Schweiz, Dezember 2021.
- [16] SR-732.12 Safeguardsverordnung (SaV) vom 21. März 2012 (Stand am 1. Juli 2016).
- [17] SR 732.112.1 Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und Sicherungsmassnahmen für Kernanlagen und Kernmaterialien vom 16. April 2008 (Stand am 1. Mai 2008).
- [18] SR 732.112.2 Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen vom 17. Juni 2009 (Stand am 1. Februar 2019).
- [19] SR 822.11 Bundesgesetz über die Arbeit in Industrie, Gewerbe und Handel (Arbeitsgesetz, ArG) vom 13. März 1964 (Stand am 9. Dezember 2018).
- [20] SR 822.111 Verordnung 1 zum Arbeitsgesetz (ArGV 1) vom 10. Mai 2000 (Stand am 1. Januar 2016).
- [21] SR 822.112 Verordnung 2 zum Arbeitsgesetz (ArGV 2) (Sonderbestimmungen für bestimmte Gruppen von Betrieben oder Arbeitnehmern und Arbeitnehmerinnen) vom 10. Mai 2000 (Stand am 1. April 2019).
- [22] SR 822.113 Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz (ArGV 3) (Gesundheitsschutz) vom 18. August 1993 (Stand am 1. Oktober 2015).
- [23] SR 822.114 Verordnung 4 zum Arbeitsgesetz (ArGV 4) (Industrielle Betriebe, Plangenehmigung und Betriebsbewilligung) vom 18. August 1993 (Stand am 1. Mai 2015).
- [24] SR 832.30 Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten (Verordnung über die Unfallverhütung VUV) vom 19. Dezember 1993 (Stand 01. Mai 2018).

- [25] SR 832.20 Bundesgesetz über die Unfallversicherung (UVG) vom 20. März 1981 (Stand am 1. Januar 2020).
- [26] SR 832.202 Verordnung über die Unfallversicherung (UVV) vom 20. Dezember 1982 (Stand am 1. April 2018).
- [27] SR 832.311.141 Verordnung über die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer bei Bauarbeiten (Bauarbeitenverordnung, BauAV) vom 29. Juni 2005 (Stand am 1. November 2011).
- [28] SR 819.14 Verordnung über die Sicherheit von Maschinen (Maschinenverordnung, MaschV) vom 2. April 2008 (Stand am 15. Januar 2017).
- [29] SR 732.143.1 Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen (VAPK) vom 9. Juni 2006 (Stand am 1. Januar 2009).
- [30] SR 814.01 Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG) vom 7. Oktober 1983 (Stand am 1. Juli 2019).
- [31] SR 814.011 Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPV) vom 19. Oktober 1988 (Stand am 1. Oktober 2016).
- [32] SR 814.012 Verordnung über den Schutz vor Störfällen (Störfallverordnung, StFV) vom 27. Februar 1991 (Stand am 1. August 2019).
- [33] SR 814.20 Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG) vom 24. Januar 1991 (Stand am 1. Januar 2020).
- [34] SR 814.201 Verordnung über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzverordnung, GSchV) vom 28. Oktober 1998 (Stand am 1. Januar 2020).
- [35] SR 933.0 Bundesgesetz über Bauprodukte (Bauproduktegesetz, BauPG) vom 21. März 2014 (Stand am 1. Oktober 2014).
- [36] SR 933.01 Verordnung über Bauprodukte (Bauprodukteverordnung, BauPV) vom 27. August 2014 (Stand am 9. Dezember 2014).
- [37] SR 700 Bundesgesetz über die Raumplanung (Raumplanungsgesetz, RPG) vom 22. Juni 1979 (Stand am 1. Januar 2019).
- [38] SR 700.1 Raumplanungsverordnung (RPV) vom 28. Juni 2000 (Stand am 1. Dezember 2019).
- [39] SR 451 Bundesgesetz über den Natur- und Heimatschutz (NHG) vom 1. Juli 1966 (Stand am 1. Januar 2017).
- [40] SR 451.1 Verordnung über den Natur- und Heimatschutz (NHV) vom 16. Januar 1991 (Stand am 1. Juni 2017).
- [41] SR 732.44 Kernenergiehaftpflichtgesetz (KHG) vom 18. März 1983 (Stand am 1. Januar 2011).
- [42] SR 732.441 Kernenergiehaftpflichtverordnung (KHV) vom 5. Dezember 1983 (Stand am 15. Februar 2015).
- [43] SR 732.222 Gebührenverordnung des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats (Gebührenverordnung ENSI) vom 9. September 2008 (Stand am 1. Januar 2009).
- [44] SR 814.014 Verordnung über die Gebühren des Bundesamtes für Umwelt (Gebührenverordnung BAFU, GebV-BAFU) vom 3. Juni 2005 (Stand am 1. Januar 2020).
- [45] SR 730.05 Verordnung über Gebühren und Aufsichtsabgaben im Energiebereich (GebV-En) vom 22. November 2006 (Stand am 1. Juni 2019).
- [46] SR 814.56 Verordnung über die Gebühren im Strahlenschutz (GebV-StS) vom 26. April 2017 (Stand am 1. Januar 2018).
- [47] ENSI-B04 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B04/d, Befreiung von Kontroll- und Überwachungsbereichen sowie Materialien von der Bewilligungspflicht und Aufsicht; Ausgabe November 2018.

- [48] ENSI-B05 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B05/d, Anforderungen an die Konditionierung radioaktiver Abfälle; Ausgabe Februar 2007, Revision 1 vom 20. Dezember 2018.
- [49] ENSI-B12 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B12/d, Notfallschutz in Kernanlagen; Ausgabe August 2019.
- [50] ENSI-B17 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B17/d; Betrieb von Zwischenlagern für radioaktive Abfälle, Ausgabe Januar 2020.
- [51] ENSI-G03 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G03/d, Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis, Ausgabe Dezember 2020.
- [52] ENSI-G05 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G05/d, Transport- und Lagerbehälter für die Zwischenlagerung, Ausgabe April 2008 (Änderung vom 20. Dezember 2018).
- [53] ENSI-G14 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G14/d, Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung aufgrund von Emissionen radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen; Ausgabe Februar 2008, Revision 1 vom 21. Dezember 2009.
- [54] ENSI-G15 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G15/d, Strahlenschutzziele für Kernanlagen; Ausgabe November 2010.
- [55] ENSI-G17 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G17/d, Stilllegung von Kernanlagen; Ausgabe April 2014.
- [56] HSK-R-07 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen R-07/d, Richtlinie für den überwachten Bereich der Kernanlagen und des Paul-Scherrer-Institutes; Juni 1995.
- [57] HSK-R-50 Richtlinie für schweizerische Kernanlagen R-50/d, Sicherheitstechnische Anforderungen an den Brandschutz in Kernanlagen; März 2003.
- [58] HSK-R-102 Richtlinie für schweizerische Kernanlagen R-102/d, Auslegungskriterien für den Schutz von sicherheitsrelevanten Ausrüstungen in Kernkraftwerken gegen die Folgen von Flugzeugabsturz; Dezember 1986, Neudruck Januar 1993.
- [59] BFE (2008): Sachplan geologische Tiefenlager: Konzeptteil. BFE, 02.04.2008. Revision vom 30. November 2011. Bundesamt für Energie BFE, Bern, Schweiz.
- [60] Nagra (2014): SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage. Sicherheitstechnischer Bericht zu SGT Etappe 2. Sicherheitstechnischer Vergleich und Vorschlag der in Etappe 3 weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete. Nagra Technischer Bericht NTB 14-01.

A.2 Verwendete Abkürzungen

Abkürzung	Erläuterung
Abs.	Absatz
Art.	Artikel
AK	Ausgangskosten
ATA	Alphatoxische Abfälle
BA	Betriebsabfälle der Kernkraftwerke
BE	Abgebrannte Brennelemente
BEUU	Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen Untertag
BFE	Bundesamt für Energie
BK	Basiskosten
Bst.	Buchstabe
CERN	Europäische Organisation für Kernforschung
CHF	Schweizer Franken
EELB	Endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
EP16	Entsorgungsprogramm 2016 der Entsorgungspflichtigen
EP21	Entsorgungsprogramm 2021 der Entsorgungspflichtigen
EUU	Erdwissenschaftliche Untersuchungen Untertage
GNW	Genossenschaft für nukleare Entsorgung Wellenberg
HAA	Hochaktive Abfälle
HAA-Lager	Geologisches Tiefenlager für hochaktive Abfälle
HEB	Haupterschliessungsbereich
HSK	Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (heute ENSI)
ISRAM	Informationssystem für radioaktive Materialien
JO	Standortgebiet Jura Ost
JO-3+	Von der Nagra bezeichnetes Standortareal im Standortgebiet Jura Ost
KEG	Kernenergiegesetz
KEV	Kernenergieverordnung
KKB	Kernkraftwerk Beznau
KKG	Kernkraftwerk Gösgen
KKL	Kernkraftwerk Leibstadt
KKM	Kernkraftwerk Mühleberg
KKW	Kernkraftwerk(e)
KS16	Kostenstudie 2016
KS21	Kostenstudie 2021
m, m ² , m ³	Meter, Quadratmeter, Kubikmeter
MCHF	Millionen Schweizer Franken (Mio. CHF)
MIF	Medizin, Industrie und Forschung
Mio.	Millionen

MIRAM	Modellhaftes Inventar für radioaktive Materialien
Nagra	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle
NL	Standortgebiet Nördlich Lägern
NZA	Nebenzugangsanlage
NZA-BL	Nebenzugangsanlage Betrieb und Lüftung
OFA	Oberflächenanlage
OR	Obligationenrecht
PB16	Preisbasis 01.01.2016
PB21	Preisbasis 01.01.2021
PSI	Paul Scherrer Institut
PU	Prognoseungenauigkeit
RA	Reaktorabfälle
RM	Kosten für Massnahmen zur Risikominderung
SA	Stilllegungsabfälle
SEFV	Verordnung über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen
SEV	Schweizer Elektrotechnischer Verein
SGT	Sachplan geologische Tiefenlager
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
SMA	Schwach- und mittelaktive Abfälle
SMA-Lager	Geologisches Tiefenlager für schwach- und mittelaktive Abfälle
STENFO	Stilllegungsfonds für Kernanlagen und Entsorgungsfonds für Kernkraftwerke
StSG	Strahlenschutzgesetz
StSV	Strahlenschutzverordnung
TLB	Transport- und Lagerbehälter
usw.	Und so weiter
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
WA	Wiederaufarbeitungsabfälle
z. B.	Zum Beispiel
ZNO	Standortgebiet Zürich Nordost
ZNO-6b	Von der Nagra bezeichnetes Standortareal im Standortgebiet Zürich Nordost
Zwibez	Zwischenlager Beznau
Zwilag	Zwilag Zwischenlager Würenlingen AG

A.3 Ergänzende Informationen zu den Gesamtkosten

Tabelle 21: Gesamtkosten für das HAA-Lager, das SMA-Lager und die Variante Kombilager sowie Gesamtkosten mit Berücksichtigung der Variante Kombilager als Chance für eine 47-jährige Betriebszeit von KKM und eine 60-jährige Betriebszeit von KKB, KKG und KKL.

	HAA-Lager		SMA-Lager		Total Einzellager		Kombilager	
	[MCHF]		[MCHF]		[MCHF]		[MCHF]	
Aufgelaufene Kosten	954		747		1'700		1'700	
Zukünftige Kosten ab 2021	7'101		4'010		11'111		9'395	
Zukünftige Ausgangskosten (1)	4'532		2'465		6'997		5'930	
Zukünftige Kosten zur Risikominderung (2)	174		119		293		266	
Zukünftige Basiskosten (3)	4'706		2'584		7'290		6'196	
Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten (4) ^{a)}	20.0%	943	19.7%	508	19.9%	1'451	19.5%	1'210
Zuschläge für Gefahren (5) ^{a)}	19.2%	902	23.2%	599	20.6%	1'501	20.3%	1'260
Abzüge für Chance (6) ^{a)}	-0.8%	-38	-0.2%	-4	-0.6%	-42	-0.7%	-45
Genereller Sicherheitszuschlag (8) ^{a)}	12.5%	588	12.5%	323	12.5%	911	12.5%	775
Total Zuschläge auf zukünftige Basiskosten ^{a)}	50.9%	2'395	55.2%	1'426	52.4%	3'821	51.6%	3'199
Gesamtkosten	8'055		4'757		12'811		11'095	
Berücksichtigung Kombilager als Chance ^{b)}	-9.6%	-772	-10.9%	-515	-10.1%	-1'287		
Gesamtkosten bei Berücksichtigung des Kombilagers als Chance (75 % gewichtet)	7'283		4'242		11'524			

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

Kostengliederung gemäss Vorgaben der Verwaltungskommission (Kostenniveaus 1 bis 6, in Klammern).

In den Zahlen sind die Kosten für die Einlagerung der Stilllegungsabfälle in der Höhe von 117 Millionen Franken (Gesamtkosten, Einzellager)

bzw. 145 Millionen Franken (Gesamtkosten, Kombilager) nicht enthalten.

^{a)} in Prozent der zukünftigen Basiskosten

^{b)} in Prozent der Gesamtkosten

Tabelle 22: Gesamtkosten für das HAA-Lager, das SMA-Lager und die Variante Kombilager sowie Gesamtkosten mit Berücksichtigung der Variante Kombilager als Chance.

Kosten der geologischen Tiefenlager	KKB	KKM	KKG	KKL	Bund	Total
Gesamtkosten Einzellager ohne Chance Kombilager gemäss KS21	2'739	1'265	3'419	4'361	1'027	12'811
Zukünftige Gesamtkosten ab 2021	2'378	1'093	2'952	3'806	882	11'111
Aufgelaufene Kosten bis 2020 (inkl. GNW)	361	172	467	555	145	1'700
Gesamtkosten Kombilager gemäss KS21	2'368	1'096	2'953	3'786	891	11'095
Zukünftige Gesamtkosten ab 2021	2'007	924	2'486	3'231	746	9'394
Aufgelaufene Kosten bis 2020 (inkl. GNW)	361	172	467	555	145	1'700
Gesamtkosten Einzellager mit 75 % Chance Kombilager gemäss KS21	2'461	1'138	3'070	3'930	925	11'524
Zukünftige Gesamtkosten ab 2021	2'099	966	2'603	3'375	780	9'823
Aufgelaufene Kosten bis 2020 (inkl. GNW)	361	172	467	555	145	1'700
Gesamtkosten für 50 y-Betrieb						
Einzellager ohne Chance Kombilager	2'634	1'306	3'231	4'123	1'056	12'350
Kombilager	2'281	1'135	2'796	3'586	918	10'715
Einzellager mit Chance Kombilager	2'369	1'178	2'905	3'720	952	11'124
Differenzen 60 Jahre v. 50 Jahre						
Differenz Einzellager ohne Chance Kombilager (absolut)	105	-41	188	238	-29	461
Differenz Einzellager ohne Chance Kombilager (in % von 50 Jahre Betrieb)	4.0%	-3.2%	5.8%	5.8%	-2.7%	3.7%
Differenz Kombilager (absolut)	87	-39	157	200	-27	380
Differenz Kombilager (in % von 50 Jahre Betrieb)	3.8%	-3.4%	5.6%	5.6%	-2.9%	3.5%
Differenz Einzellager mit Chance Kombilager (absolut)	92	-40	165	210	-27	400
Differenz Einzellager mit Chance Kombilager (in % von 50 Jahre Betrieb)	3.9%	-3.4%	5.7%	5.6%	-2.8%	3.6%

In Millionen Franken, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

Gesamtkosten für eine 47-jährige Betriebszeit von KKM und eine 60-jährige Betriebszeit von KKB, KKG und KKL (kurz: 60 Jahre Betrieb) und Vergleich mit einer 47-jährige Betriebszeit von KKM und eine 50-jährige Betriebszeit von KKB, KKG und KKL (kurz: 50 Jahre Betrieb).

In den Zahlen sind die Kosten für die Einlagerung der Stilllegungsabfälle in der Höhe von 119 resp. 117 Millionen Franken (Gesamtkosten, Einzellager 50 Jahre Betrieb resp. 60 Jahre Betrieb) bzw. 147 resp. 145 Millionen Franken (Gesamtkosten, Kombilager 50 Jahre Betrieb resp. 60 Jahr Betrieb) nicht enthalten.

swissnuclear

Postfach 1663, 4601 Olten

T +41 62 205 20 10

F +41 62 205 20 11

info@swissnuclear.ch

medien@swissnuclear.ch

www.swissnuclear.ch

www.kernenergie.ch

