

Kostenstudie 2016 (KS16)

Schätzung der Entsorgungskosten – geologische Tiefenlagerung

swissnuclear

Fachgruppe Kernenergie der swisselectric

Postfach 1663

CH-4601 Olten

T +41 62 205 20 10

F +41 62 205 20 11

info@swissnuclear.ch

www.swissnuclear.ch

31. Oktober 2016

Zusammenfassung

Das Kernenergiegesetz¹ verpflichtet die Eigentümer 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 Schätzung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten nötig. Auf Basis dieser Schätzung lassen sich die Beiträge bemessen, welche die Eigentümer der Kernanlagen für die Stilllegung und die nukleare Entsorgung zurückstellen sowie in den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds einzahlen müssen. Diese Kostenschätzung hat gemäss der Verordnung² über den Stilllegungs- und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen alle fünf Jahre zu erfolgen. Die Kosten des Nachbetriebs müssen die Eigentümer direkt bezahlen. Dennoch werden auch sie jeweils mit der Aktualisierung der Stilllegungs- und Entsorgungskostenstudien neu geschätzt.

Die letzte Schätzung der Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten erfolgte im Jahr 2011. Sie wurde vom Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat sowie durch weitere Gutachter geprüft. Die Verwaltungskommission des Stilllegungs- und des Entsorgungsfonds für Kernanlagen, im Folgenden kurz Verwaltungskommission genannt, genehmigte anschliessend die Kostenstudie 2011. Sie bildete die Grundlage für die Bemessung der Rückstellungen und Fondsbeiträge für die Jahre 2012 bis 2016.

Im Jahr 2014 beauftragten die Eigentümer 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 2016 fertigzustellen. Dabei waren die von der Verwaltungskommission festgelegten Vorgaben für die Erstellung der Kostenstudie zu berücksichtigen. Mit dem Mantelbericht [1] und den Berichten zu den Entsorgungs- [2], den Nachbetriebs- [3] und den Stilllegungskosten [4] sowie dem hier gegebenen Bericht zu den Kosten für die geologische Tiefenlagerung wird diesem Auftrag Rechnung getragen. In der Kostenstudie 2016 werden neu die Entsorgungskosten der Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung und die Kosten der geologischen Tiefenlagerung in zwei getrennten Teilberichten dargestellt. Auch die Empfehlungen aus der Überprüfung der Kostenstudie 2011 waren für die Erstellung der Kostenstudie 2016 zu berücksichtigen. Die Details dazu sind dem Anhang des Mantelberichts [1] zu entnehmen. Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat und unabhängige Kostenprüfer im Auftrag der Verwaltungskommission werden die Kostenstudie 2016 wiederum prüfen.

Als Teil der Vorgaben für die Kostenstudie 2016 definierte die Verwaltungskommission erstmals verbindliche Kostenstrukturen zur Darstellung der geschätzten Stilllegungs- und Entsorgungskosten. Darunter sind Kostenstrukturen zu verstehen, die durchgängig in allen Phasen der Kostenplanung und -feststellung angewendet werden können. Verbindliche Kostenstrukturen sollen die Voraussetzungen schaffen, um Kosten transparent zu planen, aussagekräftig zu vergleichen und effektiv zu kontrollieren sowie um den Prozess der Inanspruchnahme von Fondsmitteln effektiv abwickeln zu können.

Die Vorgaben für die Kostenstudie 2016 enthielten zudem Weisungen, wie mit Ungenauigkeiten und Risiken umzugehen ist. Dazu wurde eine Kostengliederung vorgegeben, die bei der Ermittlung und der Darstellung der Kosten berücksichtigt wurde.

¹ Art. 77 des Kernenergiegesetzes [6].

² Art. 4 der Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung [9].

Die zwei 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 Kostenschätzung hinsichtlich ihres Risikocharakters. Sie unterscheidet neben den berechneten Ausgangskosten und den Kosten für risikomindernde Massnahmen auch Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten und Gefahren sowie Kostenabzüge für Chancen sowie – falls erforderlich – einen Sicherheitszuschlag.

Als Folge des neuen Vorgehens sind die Ergebnisse der Kostenstudie 2016 mit denen vorangegangener Kostenstudien nur bedingt vergleichbar.

Die Kostenschätzungen basieren gemäss Vorgaben der Verwaltungskommission auf dem gesetzlichen und regulatorischen Rahmen per 1. Januar 2015.

Die Entsorgungskosten umfassen alle vergangenen und zukünftigen Kosten für Planung, Bau und Betrieb von Entsorgungsanlagen (zentrales Zwischenlager, Behandlungsanlagen, geologische Tiefenlager, Verpackungsanlage, Zwischenlager Zwibez und Nasslager des Kernkraftwerks Gösgen), die Anschaffungskosten von Transport- und Lagerbehältern sowie die Kosten der Inanspruchnahme von Dienstleistungen Dritter (Wiederaufarbeitung, Transporte, etc.). 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 geschätzt.

Kostenstudien werden jeweils zum Geldwert des Schätzungsjahres durchgeführt («Overnight» Kosten). Für den direkten Vergleich wurden die in der Kostenstudie 2011 geschätzten Kosten von der Preisbasis 2011 auf die Preisbasis 2016 der Kostenstudie 2016 hochgerechnet. Die verwendete Teuerungsrate von 1.5 Prozent pro Jahr ist in der Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung³ verankert.

Das Ergebnis der im Jahr 2016 vorgenommenen Schätzung der Kosten für die geologische Tiefenlagerung ist im Vergleich zum Ergebnis der Schätzung aus dem Jahr 2011 in Tabelle 1 [5] dargestellt. Teuerungsbereinigt steigen die Gesamtkosten der geologischen Tiefenlager rund 5 Prozent. Aus der Einführung der Kostengliederung, welche die Kostenzuschläge aus Ungenauigkeiten und Risiken einschliesst, die bislang nicht oder nur teilweise in den Kostenschätzungen berücksichtigt wurden, resultiert ein Teil dieser Kostenerhöhungen.

In Tabelle 1 werden die Gesamtkosten für die Varianten ohne und mit Berücksichtigung der Chance Kombilager als Grundlage für die Ableitung der Bemessungsgrundlage für die Fondsbeiträge aufgeführt und mit den Gesamtkosten der Kostenstudie 2011 verglichen.

³ Art. 8a Abs. 2 Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung [9].

Tabelle 1: Gesamtkosten für die geologischen Tiefenlager der Kostenstudie 2016 und Vergleich mit den Gesamtkosten der Kostenstudie 2011 inkl. Aufteilung auf die Entsorgungspflichtigen (Preisbasis 2016) 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 KS16	2'557	1'303	3'093	3'971	1'128	12'118
zukünftige Gesamtkosten ab 2016	2'301	1'184	2'756	3'579	1001	10'822
Projektkosten Nagra bis 2015	256	119	336	392	127	1'296
bisherige Zahlungen	279	131	366	430	37	1'308
erforderliche Ausgleichszahlungen	-22	-12	-29	-38	90	-11
Gesamtkosten Einzellager mit Chance Kombilager gemäss KS16	2'386	1'214	2'883	3'706	1'049	11'303
zukünftige Gesamtkosten ab 2016	2130	1095	2547	3314	922	10'007
Projektkosten Nagra bis 2015	256	119	336	392	127	1'296
bisherige Zahlungen	279	131	366	430	37	1'308
erforderliche Ausgleichszahlungen	-22	-12	-29	-38	90	-11
Gesamtkosten gemäss KS11	2'325	1'075	2'951	3'693	704	10'747
zukünftige Kosten ab 2011	2'108	974	2'666	3'361	619	9'729
Projektkosten Nagra bis 2010	217	101	284	331	84	1'018
Differenz KS16 – KS11						
Differenz für Einzellager ohne Chance Kombilager (absolut)	233	228	142	278	424	1'371
Differenz Einzellager ohne Chance Kombilager (in % von KS11)	10.0%	21.2%	4.8%	7.5%	60.3%	12.8%
Differenz für Einzellager mit Chance Kombilager (absolut)	61	139	-68	13	345	557
Differenz Einzellager mit Chance Kombilager (in % von KS11)	2.6%	13.0%	-2.3%	0.4%	49.0%	5.2%

In Millionen Franken, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

In den Zahlen sind die Grenzkosten für die Einlagerung der Stilllegungsabfälle in der Höhe von 188 Millionen Franken (Gesamtkosten) in KS16 bzw. 118 Millionen Franken in KS11 nicht enthalten. Bei den Projektkosten bis Ende 2015 ist ein Beitrag Dritter (GNW) in der Höhe von 65 Millionen Franken enthalten. Der Bundesanteil an den Projektkosten bis Ende 2015 gemäss angenommenem Kostenschlüssel ist höher als die effektiven Zahlungen des Bundes. Die effektiven Zahlungen der Kernkraftwerke an die Nagra und an Weitere beinhalten auch die Vorfinanzierung eines Teils der aufgelaufenen Kosten des Bundes und sind deshalb höher als der Kostenanteil der Kernkraftwerke gemäss Kostenschlüssel. Der Saldo des ausstehenden finanziellen Ausgleichs beträgt rund -11 Millionen Franken ohne Berücksichtigung der Beiträge Dritter.

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

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage und Randbedingungen	1
1.1	Einleitung	1
1.2	Gesetzlicher Rahmen	1
1.2.1	Verursacherprinzip	2
1.2.2	Finanzierung der Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten	3
1.2.3	Rückstellungen für Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten	5
1.2.4	Kostenstudien der Stilllegungs- und Entsorgungspflichtigen	5
1.3	Mit der Entsorgung betraute Organisationen	5
1.3.1	Die Betreiber bzw. Eigentümer der Kernanlagen	5
1.3.2	Der Bund	6
1.3.3	Die Zwiilag	6
1.3.4	Die Nagra	6
1.3.5	Die swissnuclear	7
1.4	Das Entsorgungsprogramm	7
1.5	Die zu entsorgenden radioaktiven Abfälle und abgebrannten Brennelemente	9
1.6	Berücksichtigung der Kosten für die Tiefenlagerung von Stilllegungsabfällen	12
2	Vorgaben, Randbedingungen und Annahmen zur Ermittlung der Entsorgungskosten	13
2.1	Übersicht	13
2.2	Gesetzliche und behördliche Vorgaben sowie Normen und Regeln	13
2.2.1	Grundlegende Gesetze und Verordnungen	13
2.2.2	Richtlinien des ENSI	15
2.2.3	Normen und Regeln	15
2.3	Vorgaben der Verwaltungskommission bezüglich Kostenstruktur	15
2.4	Vorgaben der Verwaltungskommission bezüglich Kostengliederung	17
2.5	Weitere Vorgaben der Verwaltungskommission	19
2.6	Angaben aus dem Entsorgungsprogramm	20
2.7	Randbedingungen aus dem Vorhaben der geologischen Tiefenlager	21
3	Methodik der Kostenschätzung	22
3.1	Elemente der Methodik	22
3.2	Behandlung von Ungenauigkeiten	24
3.3	Management der Kostenrisiken	25
3.3.1	Umgang mit Abweichungen	25
3.3.2	Strategische Massnahmen	26

3.3.3	Organisatorische Massnahmen	26
3.3.4	Technische und weitere Massnahmen	27
4	Das Vorhaben «Geologische Tiefenlager»	28
4.1	Übersicht	28
4.2	Das HAA-Lager	34
4.3	Das SMA-Lager.....	40
4.4	Das Kombilager.....	48
4.5	Die Hauptaktivitäten	50
4.6	Bewertung der Unterlagen für die Kostenschätzung	51
5	Ergebnisse der Ermittlung der Entsorgungskosten für die geologischen Tiefenlager	53
5.1	Überblick	53
5.2	Entsorgungskosten für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager	53
5.2.1	Überblick	53
5.2.2	Ausgangskosten.....	54
5.2.3	Kosten zur Risikominderung	56
5.2.4	Basiskosten	58
5.2.5	Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten.....	59
5.2.6	Kostenzuschläge für Gefahren.....	60
5.2.7	Kostenabzüge für Chancen.....	62
5.2.8	Nicht berücksichtigte Gefahren und Chancen	64
5.2.9	zusätzlicher Sicherheitszuschlag	66
5.2.10	Gesamtkosten	66
5.3	Gesamtkosten	67
5.3.1	Überblick	67
5.3.2	Vergleich mit der Kostenstudie 2016 mit der Kostenstudie 2011	67
5.3.3	Aufteilung der Gesamtkosten auf die Entsorgungspflichtigen	71
A	ANHÄNGE	74
A.1	Literaturverzeichnis.....	74
A.2	Verwendete Abkürzungen.....	77
A.3	Ergänzende Informationen zu den Gesamtkosten.....	79

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Übersicht über die Verknüpfung der Teilberichte und die Finanzierung des Nachbetriebs, der Stilllegung und der Entsorgung, inklusive entsprechender Hauptdokumente der Kostenstudie 2016. Die Entsorgung wird in zwei Teilberichte behandelt.....	2
Abbildung 2:	Das Entsorgungskonzept für die in der Schweiz anfallenden radioaktiven Abfälle.....	9
Abbildung 3:	Kostengliederung für die Kostenstudie 2016.....	22
Abbildung 4:	Die von der Nagra für die weitere Untersuchung in SGT Etappe 3 vorgeschlagenen Standortgebiete Zürich Nordost (ZNO) und Jura Ost (JO) mit den zugehörigen Lagerperimetern.....	30
Abbildung 5:	Realisierungsplan für das HAA- und das SMA-Lager.....	33
Abbildung 6:	Schematisches modellhaftes Anlagenkonzept für das HAA-Lager mit typischen Normalprofilen für die Variante mit Einlagerung der LMA im HAA-Lager.....	35
Abbildung 7:	Situationsplan und Grundriss mit der für die KS16 angenommenen modellhaften Anordnung der Anlagen für ein HAA-Lager im Standortgebiet Zürich Nordost (ZNO).....	36
Abbildung 8:	Übersichtsplan mit der für die KS16 angenommenen modellhaften Anordnung und Ausgestaltung der Oberflächeninfrastruktur mit dem Standortareal ZNO-6b.....	37
Abbildung 9:	Geologisches Längensprofil im Standortgebiet Zürich Nordost (ZNO).....	39
Abbildung 10:	Schematisches modellhaftes Anlagenkonzept für das SMA-Lager mit typischen Normalprofilen für das Basisprojekt.....	41
Abbildung 11:	Situationsplan und Grundriss mit der für die KS16 angenommenen modellhaften Anordnung der Anlagen für ein SMA-Lager im Standortgebiet Jura Ost (JO).....	42
Abbildung 12:	Übersichtsplan mit der für KS16 angenommenen modellhaften Anordnung und Ausgestaltung der Oberflächeninfrastruktur im Raum des Standortareals JO-3+ in der Phase Einlagerungsbetrieb.....	44
Abbildung 13:	Geologisches Längensprofil im Standortgebiet Jura Ost (JO).....	46
Abbildung 14:	Situationsplan und Grundriss mit der für die KS16 angenommenen modellhaften Anordnung der Anlagen für ein Kombilager im Standortgebiet Zürich Nordost (ZNO).....	48
Abbildung 15:	Situationsplan und Grundriss mit der für die KS16 angenommenen modellhaften Anordnung der Anlagen für ein Kombilager im Standortgebiet Jura Ost (JO).....	49
Abbildung 16:	Zeitlicher Verlauf der jährlichen Ausgaben für die geologischen Tiefenlager (in Millionen Franken pro Jahr) unter Berücksichtigung des Kombilagers als Chance.....	69

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Gesamtkosten für die geologischen Tiefenlager der Kostenstudie 2016 und Vergleich mit den Gesamtkosten der Kostenstudie 2011 inkl. Aufteilung auf die Entsorgungspflichtigen (Preisbasis 2016) für die Varianten ohne bzw. mit Berücksichtigung der Chance des Kombilagers.	V
Tabelle 2:	Abfallmengen in Kubikmeter für 50 Jahre Betrieb (KKB, KKG, KKL) sowie für 47 Jahre Betrieb für KKM gemäss zurzeit gültiger StSV (a) bzw. unter Berücksichtigung der geplanten Revision der StSV mit angepassten Freigrenzen (b).	11
Tabelle 3:	Beschreibung der vorgegebenen Kostenblöcke	18
Tabelle 4:	Basisprojekt und wichtigste in der Kostenstudie 2016 berücksichtigte Varianten.....	29
Tabelle 5:	Geometrische Kennzahlen für die Oberflächeninfrastruktur des HAA-Lagers.....	38
Tabelle 6:	Geometrische Kennzahlen für den Zugang nach Untertag und für die Bauwerke auf Lagerebene des HAA-Lagers.	40
Tabelle 7:	Geometrische Kennzahlen zur Oberflächeninfrastruktur des SMA-Lagers in den verschiedenen Phasen der Lagerrealisierung.	45
Tabelle 8:	Geometrische Kennzahlen für den Zugang nach Untertag und die Bauwerke auf Lagerebene des SMA-Lagers in den verschiedenen Phasen der Lagerrealisierung.	47
Tabelle 9:	Gesamtkosten für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager.	54
Tabelle 10:	Ausgangskosten für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager.	55
Tabelle 11:	Kosten zur Risikominderung für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager.....	57
Tabelle 12:	Basiskosten für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager.	58
Tabelle 13:	Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager.	59
Tabelle 14:	Risikowerte für die in der Kostenstudie 2016 berücksichtigten Gefahren für das SMA- und HAA-Lager sowie für die Variante Kombilager.	60
Tabelle 15:	Kostenzuschläge für Gefahren für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager.....	61
Tabelle 16:	Risikowerte für die in der Kostenstudie 2016 berücksichtigten Chancen für das SMA- und HAA-Lager sowie für die Variante Kombilager.	62
Tabelle 17:	Kostenabzüge für Chancen für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager.	63
Tabelle 18:	Gesamtkosten für das HAA-Lager, das SMA-Lager und die Variante Kombilager sowie Gesamtkosten mit Berücksichtigung der Variante Kombilager als Chance.	70
Tabelle 19:	Vergleich der Gesamtkosten der Kostenstudie 2016 und Kostenstudie 2011 für das HAA-Lager, das SMA-Lager und die Variante Kombilager sowie Vergleich der Gesamtkosten mit Berücksichtigung der Variante Kombilager als Chance.	71
Tabelle 20:	Die durch die verschiedenen Entsorgungspflichten zu tragenden Anteile an den zukünftigen Fixkosten des SMA- und HAA-Lagers.	72

Tabelle 21:	Gesamtkosten für die geologischen Tiefenlager und Vergleich mit den Gesamtkosten der Kostenstudie 2011 inkl. Aufteilung auf die Entsorgungspflichtigen für die Varianten ohne bzw. mit Berücksichtigung der Chance des Kombilagers.	73
Tabelle 22:	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.	79
Tabelle 23:	Gesamtkosten für das HAA-Lager, das SMA-Lager und die Variante Kombilager sowie Gesamtkosten mit Berücksichtigung der Variante Kombilager als Chance.	80

1 Ausgangslage und Randbedingungen

1.1 Einleitung

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

Die Kostenstudie 2016 (KS16) ist im Mantelbericht [1] zusammengefasst und umfasst vier Teilberichte:

- Schätzung der Entsorgungskosten – geologische Tiefenlagerung (vorliegender Bericht).
- Schätzung der Entsorgungskosten – Zwischenlagerung, Transporte, Behälter, Wiederaufarbeitung [2].
- Schätzung der Nachbetriebskosten der Schweizer Kernkraftwerke [3].
- Schätzung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen [4].

Der Mantelbericht erläutert die Rahmenbedingungen der Kostenstudie 2016 und insbesondere auch die Neuerungen, die sich im Vergleich zur Kostenstudie 2011 infolge der Einführung der neuen Kostenstrukturen und der Kostengliederung ergeben haben. Er fasst die wichtigsten Resultate der vier Teilberichte zusammen.

Der vorliegende Bericht der Kostenstudie 2016 ist der Teilbericht «Schätzung der Entsorgungskosten – geologische Tiefenlagerung». Er nimmt Bezug auf die im Mantelbericht gegebenen Erläuterungen der Rahmenbedingungen und Neuerungen im Vergleich zur Kostenstudie 2011 und präzisiert diese Angaben hinsichtlich der spezifischen Aspekte der geologischen Tiefenlager. Die Schätzung der Kosten der geologischen Tiefenlagerung wird gemäss den neuen Kostenstrukturen vorgenommen und entsprechend der neu eingeführten 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 Kostenschätzung. Das Kapitel 4 beschreibt das Vorhaben der geologischen Tiefenlager. Das Resultat der Ermittlung der Kosten der geologischen Tiefenlager ist im Kapitel 5 dargestellt.

Abbildung 1 zeigt, wie sich der Leistungsbetrieb, der Nachbetrieb, die Stilllegung und die Entsorgung voneinander abgrenzen und wie die Bewilligungssituation und Sicherstellung der Finanzierung dieser Elemente zusammenhängen.

1.2 Gesetzlicher Rahmen

Das Strahlenschutzgesetz [10], die Strahlenschutzverordnung [11], das Kernenergiegesetz [6], die Kernenergieverordnung [8] sowie die Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung [9] regeln die Stilllegung von Kernanlagen und die Entsorgung von radioaktiven Abfällen sowie deren Finanzierung umfassend.

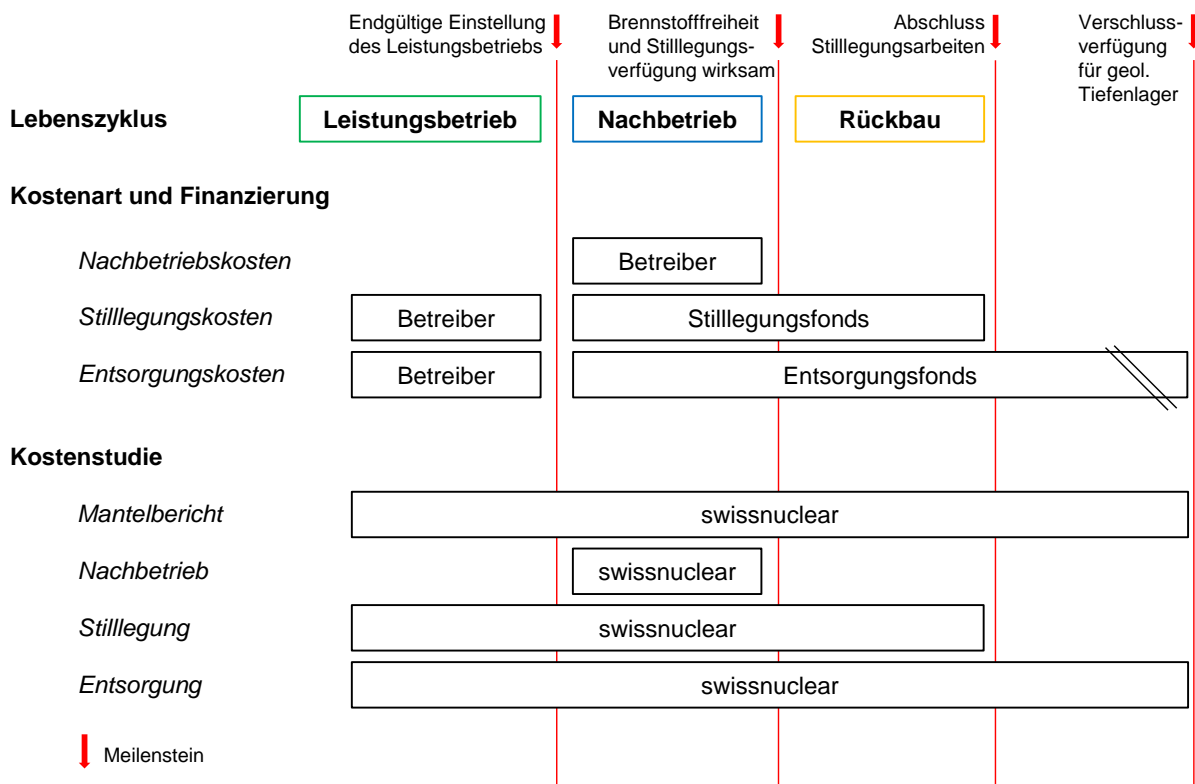


Abbildung 1: Übersicht über die Verknüpfung der Teilberichte und die Finanzierung des Nachbetriebs, der Stilllegung und der Entsorgung, inklusive entsprechender Hauptdokumente der Kostenstudie 2016. Die Entsorgung wird in zwei Teilberichten behandelt.

1.2.1 Verursacherprinzip

Die kommerzielle Nutzung der Kernenergie zur Stromproduktion und auch radiologische Anwendungen in Medizin, Industrie und Forschung verursachen radioaktive Abfälle. Im Kernenergiegesetz¹ 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 dem Bund abgeliefert werden². Der Abfallverursacher muss für die Kosten der Entsorgung aufkommen.

Die für den Bau und 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 erfüllt³, wenn «die Abfälle in ein geologisches Tiefenlager verbracht worden sind und die finanziellen Mittel für die Beobachtungsphase und den allfälligen Verschluss sichergestellt sind.» (vergleiche Abbildung 1, Verschlussverfügung).

Das Verursacherprinzip¹ und die Entsorgungspflicht³ gelten uneingeschränkt auch für die während des Nachbetriebs anfallenden radioaktiven Abfälle.

¹ Art. 31 Abs. 1 KEG [6].

² Art. 27 Strahlenschutzgesetz (StSG) [10].

³ Art. 31 Abs. 2 Bst. a KEG [6].

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, um dem Verursacherprinzip gerecht zu werden, in der Schweiz weitgehend gesetzlich geregelt; einerseits durch staatlich kontrollierte Fonds und andererseits durch die Verpflichtung der Eigentümer beziehungsweise Betreiber⁴ zu eigener Vorsorge.

Staatlich kontrollierte Fonds

Das Kernenergiegesetz⁵ verpflichtet die Eigentümer der Kernanlagen, einen Stilllegungs- und einen Entsorgungsfonds zu bilden sowie an diese Fonds Beiträge zu leisten.

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

Der Entsorgungsfonds soll die Kosten für die Entsorgung der radioaktiven Betriebsabfälle und der abgebrannten Brennelemente nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs eines Kernkraftwerks decken. Der Entsorgungsfonds wurde im Jahr 2000 gegründet. Im Kernenergiegesetz⁶ wird unterschieden zwischen Entsorgungskosten, die während des Betriebs und solchen, die nach Ausserbetriebnahme eines Kernkraftwerks anfallen. Die während des Betriebs anfallenden Entsorgungskosten werden gemäss Kernenergiegesetz⁷ von den Eigentümern direkt aus eigenen Mitteln bezahlt.

Die beiden Fonds stellen sicher, dass nach endgültiger Ausserbetriebnahme⁸ der Kernkraftwerke genügend finanzielle Mittel vorhanden sind, um sämtliche noch ausstehenden Entsorgungs- und Stilllegungsaufwendungen zu decken. Die Bemessung der in den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds zu leistenden Beiträge sowie der Rückstellungen der Eigentümer für die nukleare Entsorgung erfolgt auf Basis einer umfassenden Schätzung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten. Diese Kosten müssen gemäss Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung⁹ alle fünf Jahre neu geschätzt werden. Als Berechnungsgrundlage wird für die Kernkraftwerke eine Betriebsdauer von 50 Jahren angenommen¹⁰. Für das Kernkraftwerk Mühleberg wird aufgrund der getroffenen Entscheidung, den Leistungsbetrieb 2019 endgültig einzustellen, von 47 Jahren ausgegangen. Für die Bemessung der Fondsbeiträge wird, unabhängig von der tatsächlichen Laufzeit für alle Kernkraftwerke, einschliesslich des Kernkraftwerks Mühleberg, eine Laufzeit von 50 Jahren angenommen¹¹.

Zusätzlich zur Einzahlungspflicht sieht das Kernenergiegesetz eine Nachschusspflicht der Eigentümer vor¹². Reicht der Anspruch¹³ eines Beitragspflichtigen an einen der Fonds zur Deckung der Kosten nicht aus, deckt der Beitragspflichtige die verbleibenden Kosten aus eigenen Mitteln¹⁴.

⁴ Die Eigentümer der Schweizer Kernanlagen betreiben diese selbst. Daher betreffen die Verpflichtungen des Betreibers direkt auch den Eigentümer. In der Kostenstudie 2016 werden die Begriffe «Eigentümer» und «Betreiber» als Synonyme verwendet.

⁵ Art. 77 KEG [6].

⁶ Art. 77 Abs. 2 KEG [6].

⁷ Art. 82 KEG [6].

⁸ Unter endgültiger Ausserbetriebnahme eines Kernkraftwerks ist die endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs zu verstehen. Für die Kostenstudie 2016 wird daher die endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs als Startzeitpunkt für die Inanspruchnahme der Mittel aus dem Stilllegungs- und dem Entsorgungsfonds angenommen.

⁹ Art. 4 Abs. 1 Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung (SEFV) [9].

¹⁰ Gemäss Art. 4 Abs.4 bzw. Art. 8 Abs. 4 SEFV [9].

¹¹ Art. 9c Abs. 1 SEFV [9].

¹² Art. 80 KEG [6].

¹³ Gemäss Art. 78 Abs. 1 KEG [6] hat jeder Beitragspflichtige gegenüber den Fonds einen Anspruch im Umfang seiner geleisteten Beiträge, einschliesslich des Kapitalertrags und abzüglich des Verwaltungsaufwands.

¹⁴ Art. 79 Abs. 1 KEG [6].

Weist der Beitragspflichtige nach, dass seine Mittel nicht ausreichen, deckt der Stilllegungs- beziehungsweise der Entsorgungsfonds die verbleibenden Kosten mit seinen gesamten Mitteln¹⁵. Übersteigen die Zahlungen eines Fonds zu Gunsten eines Berechtigten dessen Anspruch¹⁰, muss er dem Fonds den Differenzbetrag samt einem marktüblichen Zins zurückbezahlen¹⁶. Kann der Berechtigte die Rückerstattung nicht leisten, so müssen die übrigen Beitragspflichtigen und Anspruchsberechtigten des entsprechenden Fonds für den Differenzbetrag aufkommen¹⁷. Ist die Deckung des Differenzbetrages für die Nachschusspflichtigen wirtschaftlich nicht tragbar, beschliesst die Bundesversammlung, ob und in welchem Ausmass sich der Bund an den nicht gedeckten Kosten beteiligt¹⁸.

Die beiden Fonds stehen unter der Aufsicht des Bundesrates¹⁹. Eine von diesem ernannte Verwaltungskommission²⁰ ist das Leitungsorgan der Fonds²¹. Im Folgenden wird sie kurz als Verwaltungskommission bezeichnet. 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 Eigentümern der Kernanlagen unabhängig sind²².

Mit der Einrichtung des Stilllegungs- und des Entsorgungsfonds besteht zusätzlich zur gesetzlichen Kostentragungspflicht der Eigentümer 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 Eigentümern getragen werden, sondern auch, dass die nach der Ausserbetriebnahme der Kernanlagen benötigten finanziellen Mittel tatsächlich verfügbar sind.

Eigene Vorsorge der Eigentümer

Vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs anfallende Entsorgungskosten werden durch die Eigentümer direkt bezahlt. Im November 2015 hat die Verwaltungskommission entschieden, dass in Anlehnung an die Vorgehensweise bei den Entsorgungskosten die vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs anfallenden Stilllegungskosten, wie zum Beispiel das Erstellen des Stilllegungsprojekts und das Erwirken der Stilllegungsverfügung, ebenfalls direkt durch die Eigentümer zu bezahlen sind.

Die mit dem Nachbetrieb verbundenen Aufwendungen – sie entsprechen weder der Definition von Entsorgungskosten²³ noch der von Stilllegungskosten²⁴ – sind als (letzter) Teil der Betriebskosten zu betrachten. Auch sie sind, entsprechend dem im Kernenergiegesetz²⁵ verankerten Verursacherprinzip, durch die Eigentümer zu tragen. Der Nachbetrieb wird von den Eigentümern direkt finanziert.

¹⁵ Art. 79 Abs. 2 KEG [6].

¹⁶ Art. 80 Abs. 1 KEG [6].

¹⁷ Art. 80 Abs. 2 KEG [6].

¹⁸ Art. 80 Abs. 4 KEG [6].

¹⁹ Art. 20 Abs. 2, 29a Abs. 1 SEFV [9].

²⁰ Art. 81 Abs. 2 KEG [6] und Art. 23 SEFV [9].

²¹ Der Bundesrat hat für den Stilllegungs- und den Entsorgungsfonds ein und dieselbe Verwaltungskommission eingesetzt.

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

²³ Gemäss Art. 3 SEFV [9].

²⁴ Gemäss Art. 2 SEFV [9].

²⁵ Art. 31 Abs. 1 KEG [6].

1.2.3 Rückstellungen für Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten

Die Eigentümer bilden sämtliche aus der Verpflichtung zur Stilllegung der Kernanlagen und der Entsorgung der von diesen verursachten radioaktiven Abfällen künftig entstehenden Aufwendungen in ihren Bilanzen ab. Sie bilden dazu auf der Basis der jeweiligen Kostenstudien und gemäss den anzuwendenden Rechnungslegungsvorschriften²⁶ Rückstellungen für den Nachbetrieb, die Stilllegung und die Entsorgung. Im Zusammenhang mit der Prüfung der Jahresrechnung werden die Rückstellungen von einer externen Revisionsstelle testiert. Während die Festsetzung der Höhe der Fondsbeiträge durch die Verwaltungskommission erfolgt²⁷, sind die Eigentümer verantwortlich für die Festlegung der Höhe der Rückstellungen gemäss den entsprechenden Rechnungslegungsvorschriften.

Die externe Revisionsstelle prüft, ob die Eigentümer Rückstellungen für Stilllegungs- und Entsorgungskosten vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs mindestens in Höhe des von der Verwaltungskommission genehmigten Rückstellungsplans gebildet und zweckgebunden verwendet haben²⁸. Die Höhe und die zweckgebundene Verwendung der Rückstellungen werden jährlich durch die jeweilige Revisionsstelle geprüft²⁹. Die Eigentümer legen der Verwaltungskommission diesen Prüfbericht vor³⁰.

1.2.4 Kostenstudien der Stilllegungs- und Entsorgungspflichtigen

Zur Schätzung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten werden umfassende Kostenstudien erstellt beziehungsweise aktualisiert. Mit der Aktualisierung der Stilllegungs- und Entsorgungskostenstudien werden jeweils auch die Kosten für den Nachbetrieb neu geschätzt.

Die letzte Schätzung der Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten erfolgte im Jahr 2011. Sie wurde vom Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) geprüft und hinsichtlich Stilllegungs- und Entsorgungskosten durch die vom Bundesrat eingesetzte Verwaltungskommission genehmigt. Sie bildet die Grundlage für die Bemessung der Rückstellungen und Fondsbeiträge der Entsorgungspflichtigen in den Jahren 2012–2016. Die Eigentümer der Schweizer Kernanlagen beauftragten swissnuclear im Jahr 2014, zusammen mit den für die nukleare Entsorgung in der Schweiz verantwortlichen Organisationen die gesetzlich vorgeschriebene Aktualisierung der Kostenstudie erneut vorzunehmen und bis Ende 2016 fertigzustellen sowie dabei insbesondere die von der Verwaltungskommission festgelegten Vorgaben für die Erstellung der Kostenstudie 2016 zu berücksichtigen. Wie bisher hat swissnuclear gleichzeitig auch die Nachbetriebskosten neu geschätzt. Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat und Kostenprüfer im Auftrag der Verwaltungskommission werden wiederum die Kostenstudie 2016 eingehend überprüfen.

1.3 Mit der Entsorgung betraute Organisationen

1.3.1 Die Betreiber bzw. Eigentümer der Kernanlagen

Die Betreiber bzw. die Eigentümer der Kernanlagen haben die Gesamtverantwortung für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle aus ihren Anlagen. Operationell übernehmen sie die Verantwortung für die Konditionierung der Betriebsabfälle und deren Zwischenlagerung, für den Brennstoffkreislauf (inkl. Beschaffung Transport- und Lagerbehälter), für die Restabwicklung der Zurückführung radioaktiver Abfälle aus der Wiederaufarbeitung und sind beteiligt an der Planung und Projektierung, am späteren Bau und Betrieb sowie am Verschluss der geologischen Tiefenlager.

²⁶ Art. 960e Obligationenrecht OR [12], IFRS [13] bzw. Swiss GAAP FER [14].

²⁷ Art. 23 Bst. c SEFV [9].

²⁸ Art. 82 Abs. 2 Bst. , c KEG [6].

²⁹ Vgl. Art. 82 Abs. 3 KEG [6].

³⁰ Vgl. Art19 Abs. 2 SEFV [9].

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

1.3.2 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 für das Verbringen der eigenen und der übernommenen Abfälle in die geologischen Tiefenlager. Der Bund ist deshalb auch Genossenschafter der Nagra.

1.3.3 Die Zwiilag

Die Zwiilag Zwischenlager Würenlingen AG 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 Zwischenlager Würenlingen AG, im folgenden Zwiilag genannt, 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 im Zwiilag dank der Kombination von Abfallbehandlungsanlagen und Zwischenlager optimal zusammengeführt, verarbeitet, verpackt und überwacht werden. Das Zwiilag umfasst Abfallbehandlungsanlagen (Plasma-Anlage, Konditionierungsanlage), eine Umladestation Schiene-Strasse, eine Behälterlagerhalle für abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung, ein mittelaktiv-Lager für die Lagerung von mittelaktiven Abfällen, eine Lagerhalle für schwach- und mittelaktive Abfälle 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.

Zum einen garantiert die Zwiilag durch ihre vorhandenen Lagermöglichkeiten und Verarbeitungskapazitäten die zuverlässige Behandlung und Zwischenlagerung von anfallenden schwach-, mittel- und hochaktiven Betriebsabfällen der Kernkraftwerke sowie abgebrannter Brennelemente, auf der anderen Seite ist sie eine zwingende Voraussetzung für die Bereitstellung der erforderlichen Zeit für die sorgfältige Planung und Bereitstellung geeigneter geologischer Tiefenlager.

1.3.4 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 Abklärungen, die Durchführung der erforderlichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, die Erarbeitung der notwendigen Sicherheitsnachweise und weitere Unterlagen für die verschiedenen Bewilligungsverfahren sowie die Begleitung dieser Verfahren (Beantwortung von Behördenfragen etc.) und die transparente Information der Öffentlichkeit. Weiter ist die Nagra mit der Inventarisierung aller radioaktiven Abfälle der Schweiz aus den Kernkraftwerken sowie aus Medizin, Industrie und Forschung betraut und erarbeitet auch das modellhafte Inventar für die in Zukunft einzulagernden radioaktiven Abfälle.

1.3.5 Die swissnuclear

Die swissnuclear wahrt, koordiniert und vertritt die gemeinsamen Interessen der Eigentümer 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 Schätzung der Kosten für die Stilllegung der Kernanlagen am Ende ihrer Betriebszeit und für die Entsorgung der in der Schweiz anfallenden bzw. von Schweizer Unternehmen verursachten radioaktiven Abfälle. Swissnuclear erstellt dazu im Auftrag der Eigentümer 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.

1.4 Das Entsorgungsprogramm

Die Entsorgungspflichtigen müssen gemäss KEG ein Entsorgungsprogramm erstellen³¹. Dieses wird von den Bundesbehörden geprüft und 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, den Betrieb und den Verschluss der geologischen Tiefenlager, die Dauer und die benötigte Kapazität der zentralen und dezentralen Zwischenlager, die Finanzierung der Entsorgung sowie zum 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 Kostenstudie 2016 und das Entsorgungsprogramm 2016 [15] wurden im gleichen Zeitraum beim Bund eingereicht. Damit sind die inhaltliche Koordination und die konsistente Darstellung der Informationen zur Entsorgung gewährleistet. Das Entsorgungsprogramm 2016 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 Basisvorhaben aus, das die Vorgaben der Kommission der Fonds bezüglich Modellstandorten umsetzt (vgl. Kapitel 2.5) und einen Detaillierungsgrad aufweist, der die Nachvollziehbarkeit der Kostenermittlung unter Berücksichtigung von Chancen und Gefahren ermöglicht. Im Rahmen der Chancen und Gefahren werden auch Varianten zum Basisvorhaben berücksichtigt. 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 2 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). Die Abfälle aus der Wiederaufarbeitung werden in die Schweiz zurückgeführt und im Zwiilag bzw. im Zwibez zwischengelagert. Als Folge eines geänderten Verarbeitungsverfahrens in Frankreich werden die LMA-Abfälle nicht wie ursprünglich geplant in Form von Bitumen, sondern als sogenannte CSD-B-Glaskokillen in die Schweiz zurückgeführt.

³¹ Art. 32 Abs. 1 KEG [6].

Für die Abfälle aus den Wiederaufbereitungsanlagen in England erfolgt eine vollumfängliche Substitution der schwach- und mittelaktiven Abfälle durch eine äquivalente Menge an verglasten hochaktiven Abfällen. Dadurch wird die Anzahl Transporte wesentlich verringert und die Menge einzulagernder organischer Stoffe erheblich reduziert. 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 bzw. im Zwischenlager Zwibez zwischengelagert, nachdem sie in den Brennelement-Becken der Kernkraftwerke bzw. im Nasslager des Kernkraftwerks Gösgen-Däniken genügend abgekühlt worden sind.

Die während des Betriebs der Kernkraftwerke anfallenden radioaktiven Betriebsabfälle werden entweder im Werk selber konditioniert und dort zwischengelagert oder aber am Zwilag vorbehandelt, konditioniert und dann dort zwischengelagert.

Die aus dem Bereich Medizin, Industrie und Forschung anfallenden Abfälle werden ans PSI abgeliefert, dort konditioniert³² und dann im Bundeszwischenlager (auf dem Gelände des PSI) zwischengelagert. Das PSI führt diese Aufgabe im Auftrag des Bundes durch.

Nach Ausserbetriebnahme und Stilllegung der Kernkraftwerke und von Forschungsanlagen und Infrastrukturanlagen, welche radioaktive Stoffe enthalten, werden diese abgebrochen 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 von einem noch in Betrieb befindlichen Kernanlagen 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) erfolgt die vollständige Stilllegung und der Rückbau der Anlage sowie der Gesamtverschluss.

Während der ganzen Betriebs- und Beobachtungsphase werden das Pilotlager und die 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 gesetzlichen 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).

³² Gewisse Abfälle werden im Auftrag des Bundes beim Zwilag konditioniert.

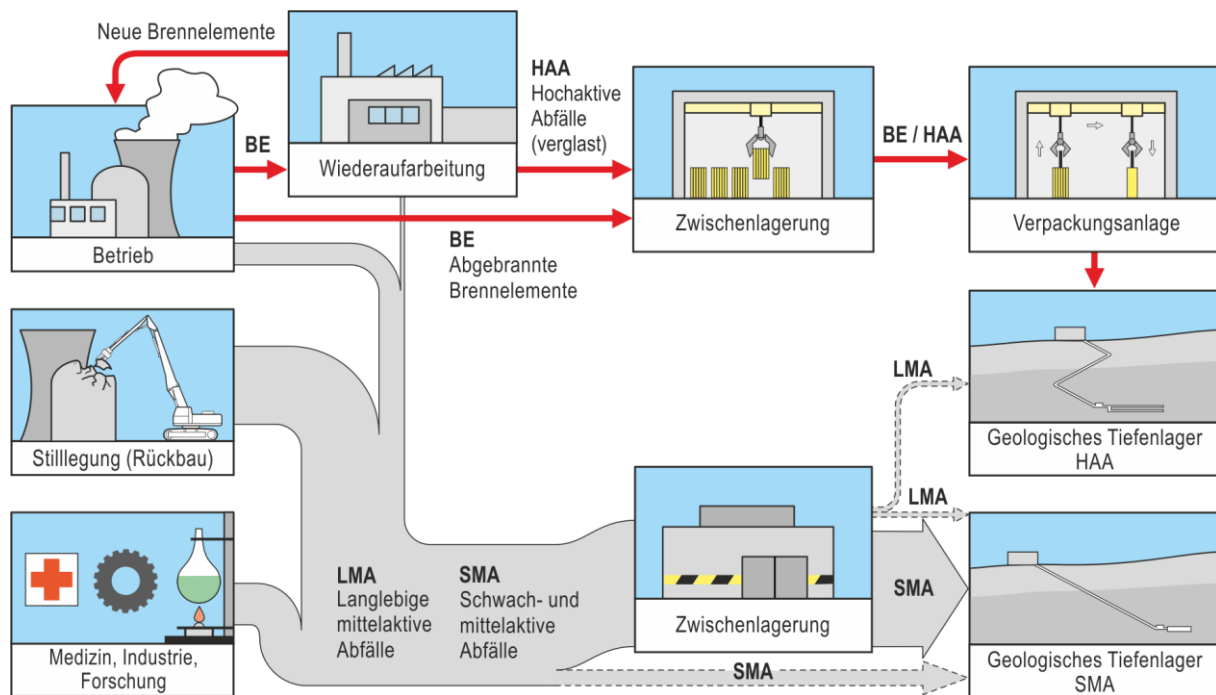


Abbildung 2: Das Entsorgungskonzept für die in der Schweiz anfallenden radioaktiven Abfälle gemäss Entsorgungsprogramm 2016 [15]. Erläuterungen dazu finden sich im Text.

1.5 Die zu entsorgenden radioaktiven Abfälle und abgebrannten Brennelemente

Herkunft, Art und Menge der in der Schweiz zu entsorgenden radioaktiven Abfälle sind bekannt. Die entstehenden Abfälle werden laufend charakterisiert, inventarisiert und konditioniert. Neben der Datenbank über die vorhandenen Abfälle besteht auch für die in Zukunft anfallenden Abfälle ein modellhaftes Inventar. Damit ist eine zuverlässige Basis für die Planung und Realisierung der für die Entsorgung dieser Abfälle benötigten Infrastruktur sowie deren Finanzierung vorhanden.

Die radioaktiven Abfälle³³ werden gemäss KEV (Art. 51) [8] eingeteilt in:

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

³³ Es ist zu beachten, dass gemäss Strahlenschutzverordnung (StSV Anhang 1 [11]) Stoffe nur dann als radioaktive Stoffe zu betrachten sind, wenn sie Radionuklide enthalten, deren Aktivität die in der StSV festgesetzten Freigrenzen übersteigt. Die StSV ist gegenwärtig in Revision, die zu einer Anpassung der Freigrenzen führen wird. Die Änderung der Freigrenzen wird in der Kostenstudie 2016 im Sinne des Vorsichtsprinzips bereits berücksichtigt.

Bei einem 50-jährigen Betrieb aller KKW (Ausnahme: KKM bleibt 47 Jahre in Betrieb bis 2019) ergibt sich das in Tabelle 2 aufgeführte Abfallmengengerüst, gegliedert nach Abfallkategorien gemäss KEV und nach Herkunft der Abfälle. Bezüglich Herkunft der Abfälle wird unterschieden zwischen Abfällen aus dem Brennstoffkreislauf (abgebrannte Brennelemente, welche direkt in ein HAA-Lager eingelagert werden (kurz: BE)) und Abfälle aus der Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennelementen (kurz: WA)), Abfälle aus dem Betrieb der Kernkraftwerke (Betriebsabfälle (kurz: BA) und Reaktorabfälle³⁴ (kurz: RA)), Stilllegungsabfälle der Kernkraftwerke (kurz: SA), Abfälle aus dem Bereich Medizin, Industrie und Forschung (kurz: MIF) sowie Abfälle aus dem Betrieb der geologischen Tiefenlager (kurz: BEVA).

Für das Basisvorhaben der Kostenstudie 2016 wird in Übereinstimmung mit der Kostenstudie 2011 angenommen, dass die HAA (abgebrannte Brennelemente, verglaste Spaltproduktlösungen aus der Wiederaufarbeitung) sowie gewisse langlebige mittelaktive Abfälle (kurz: LMA) im HAA-Lager eingelagert werden, während die weiteren schwach- und mittelaktiven Abfälle (SMA) im SMA-Lager eingelagert werden. Weil es die für die Kostenstudie 2016 zu betrachtenden Standorte zulassen, wird zusätzlich auch eine Variante betrachtet, wo die ATA und alle SMA – d. h. auch die langlebigen mittelaktiven Abfälle (LMA) – im SMA-Lager eingelagert werden (vgl. Kapitel 4)³⁵.

Wie Tabelle 2 zeigt, fallen während einer 50- bzw. 47-jährigen Betriebsdauer der fünf Schweizer Kernkraftwerke 3'572 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 7'536 m³ für die in Endlagerbehältern verpackten hochaktiven Abfälle und abgebrannten Brennelementen (HAA)³⁶. Weiter fallen 1'011 m³ an für die in Endlagerbehältern verpackten alphanotoxischen Abfälle (ATA) sowie 72'141 m³ (gültige StSV) bzw. 78'161 m³ (nach Revision StSV mit angepassten Freigrenzen) für die in Endlagerbehältern verpackten schwach- und mittelaktiven Abfälle (SMA) an. Für die Abfälle aus dem Bereich Medizin, Industrie und Forschung (MIF) wird für eine Sammelperiode bis 2065 von einem Volumen für die in Endlagerbehälter verpackten Abfälle von 15'059 m³ (zurzeit gültige StSV) bzw. 19'553 m³ (gemäss geplanter Revision StSV mit angepassten Freigrenzen) 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).

³⁴ Reaktorabfälle bestehen aus austauschbaren Komponenten aus dem Reaktordruckbehälter, die während des Betriebs anfallen (ohne BE).

³⁵ Das Volumen an in Endlagerbehälter verpackten LMA ist klein und beträgt 2'336 m³.

³⁶ Bei der Berechnung der notwendigen Anzahl Endlagerbehälter wird berücksichtigt, dass gemäss heutigem Stand des Wissens ein BE-/HAA-Endlagerbehälter zum Zeitpunkt der Einlagerung eine maximale Wärmeleistung von 1'500 Watt pro Behälter haben darf. Dies führt dazu, dass ein kleiner Teil der BE-/HAA-Endlagerbehälter nicht vollständig beladen werden kann.

Tabelle 2: Abfallmengen in Kubikmeter für 50 Jahre Betrieb (KKB, KKG, KKL) sowie für 47 Jahre Betrieb für KKM gemäss zurzeit gültiger StSV (a) bzw. unter Berücksichtigung der geplanten Revision der StSV mit angepassten Freigrenzen (b).
 Die Zahl ohne Klammern gibt das an die geologischen Tiefenlager angelieferte Volumen an Abfällen an, die Zahlen in Klammern betreffen das Volumen der in Endlagerbehälter verpackten Abfälle.

a) gemäss zurzeit gültiger StSV [11]

[m ³]		Herkunft						Total	
		BE (KKW)	WA (KKW)	BA (KKW)	RA (KKW)	SA (KKW)	MIF		BEVA
Kategorie nach KEV	HAA	1'126 ¹⁾ (7'129)	114 ²⁾ (398)				8 ⁴⁾ (8)	1'248 (7'536)	
	ATA		99 ²⁾ (414)			24 (24)	154 (573)	277 (1'011)	
	SMA			7'352 (28'094)	416 (1'595)	17'847 (26'006)	9'755 (14478) ⁵⁾	567 (1'968)	35'937 (72141) ⁵⁾
	Total	1'126 (7'129) ³⁾	213 (812)	7'352 (28'094)	416 (1'595)	17'871 (26'030)	9'917 (15059) ⁵⁾	567 (1'968)	37'462 (80687) ⁵⁾

- 1) Entspricht 2'433 tU.
- 2) Diese Abfälle resultieren aus der Wiederaufarbeitung von 1'139 tU.
- 3) Bei einer vollständigen Beladung der Endlagerbehälter (ohne Berücksichtigung von Leerstellen) würde ein Volumen von 6'455 m³ resultieren.
- 4) Brennelemente des DIORIT-Reaktors. Annahme: Verpackung in zwei Endlagerbehälter.
- 5) Darin enthalten sind 4'014 m³ für Abfälle des CERN (modellhafte Annahme), die in der Kostenstudie KS16 nicht berücksichtigt werden.

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

b) gemäss geplanter Revision der StSV mit angepassten Freigrenzen

[m ³]		Herkunft						Total	
		BE (KKW)	WA (KKW)	BA (KKW)	RA (KKW)	SA (KKW)	MIF		BEVA
Kategorie nach KEV	HAA	1'126 ¹⁾ (7'129)	114 ²⁾ (398)				8 ⁴⁾ (8)	1'248 (7'536)	
	ATA		99 ²⁾ (414)			24 (24)	154 (573)	277 (1'011)	
	SMA			7'473 (28'260)	416 (1'595)	18'839 (27'366)	14'213 (18972) ⁵⁾	567 (1'968)	41'508 (78161) ⁵⁾
	Total	1'126 (7'129) ³⁾	213 (812)	7'473 (28'260)	416 (1'595)	18'863 (27'390)	14'375 (19553) ⁵⁾	567 (1'968)	43'033 (86708) ⁵⁾

- 1) Entspricht 2'433 tU.
- 2) Diese Abfälle resultieren aus der Wiederaufarbeitung von 1'139 tU.
- 3) Bei einer vollständigen Beladung der Endlagerbehälter (ohne Berücksichtigung von Leerstellen) würde ein Volumen von 6'455 m³ resultieren.
- 4) Brennelemente des DIORIT-Reaktors. Annahme: Verpackung in zwei Endlagerbehälter.
- 5) Darin enthalten sind 4'883 m³ für Abfälle des CERN (modellhafte Annahme), die in der Kostenstudie KS16 nicht berücksichtigt werden.

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

1.6 Berücksichtigung der Kosten für die Tiefenlagerung von Stilllegungsabfällen

Stilllegungsabfälle fallen im Rahmen der Stilllegung und des Rückbaus der Kernkraftwerke und des zentralen Zwischenlagers Zwilag 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 Kostenstudie 2016 durchgeführte Schätzung der Stilllegungskosten [4] 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.

Eine Zusammenstellung der Gesamtkosten inklusive der Grenzkosten für die Stilllegungsabfälle findet sich in Anhang A.4.

2 Vorgaben, Randbedingungen und Annahmen zur Ermittlung der Entsorgungskosten

2.1 Übersicht

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 Schätzung 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 Kostenstudie 2016 und für zukünftige Kostenstudien umzusetzen. Diese betreffen die Darstellung der Kosten gemäss einer vorgegebenen Kostenstruktur (Kapitel 2.3), die Berücksichtigung und detaillierte Darstellung von Ungenauigkeiten und Risiken (Gefahren und Chancen) sowie eines allfälligen Sicherheitszuschlags im Rahmen der Umsetzung der vorgegebenen Kostengliederung (Kapitel 2.4), sowie weitere Vorgaben der Verwaltungskommission für die Kostenermittlung (Kapitel 2.5). Weitere Angaben zum gegenwärtigem Stand der Standortwahl, die für die Berechnung der Kosten relevant sind, und weitere für die Kostenschätzung wichtige Grundlagen und Annahmen werden dem Entsorgungsprogramm entnommen; auf diese wird in Kapitel 2.6 verwiesen. Die aus dem Vorhaben «geologische Tiefenlager» und dem zugrunde liegenden Entsorgungsprogramm resultierenden Anforderungen an die Methode der Kostenermittlung werden in Kapitel 2.7 aufgeführt. Die Berichte zur Kostenstudie 2016 enthalten zahlreiche Fachbegriffe. Diese wurden in einem Glossar im Mantelbericht [1] zusammengefasst und erläutert. Das Glossar ist Bestandteil der Kostenstudie.

2.2 Gesetzliche und behördliche Vorgaben sowie Normen und Regeln

2.2.1 Grundlegende Gesetze und Verordnungen

Bezüglich Kosten und Finanzierung:

- Kernenergiegesetz (KEG) [6].
- Kernenergieverordnung (KEV) [8].
- Strahlenschutzgesetz (StSG) [10].
- Stilllegungsfonds- und Entsorgungsfondsverordnung (SEFV) [9].

Bezüglich nuklearer Aspekte und des Strahlenschutzes:

- Kernenergiegesetz (KEG) [6].
- Kernenergieverordnung (KEV) [8].
- Strahlenschutzgesetz (StSG) [10].
- Strahlenschutzverordnung (StSV) [11].
- Verordnung über die Anforderung an das Personal von Kernanlagen (VAPK) [29].
- Safeguardsverordnung [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].

2.2.2 Richtlinien des ENSI

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

- B04 – Freimessen von Materialien und Bereichen aus kontrollierten Zonen [47].
- B05 – Anforderungen an die Konditionierung radioaktiver Abfälle [48].
- B12 – Notfallschutz in Kernanlagen [49].
- G03 – Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis [50].
- G04 – Auslegung und Betrieb von Lagern für radioaktive Auslegung und Betrieb von Lagern für radioaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente [51].
- G05 – Transport- und Lagerbehälter für die Zwischenlagerung [52].
- G14 – Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung aufgrund von Emissionen radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen [53].
- G15 – Strahlenschutzziele für Kernanlagen [54].
- G17 – Stilllegung von Kernanlagen [55].
- R-07 – Richtlinie für den überwachten Bereich der Kernanlagen und des Paul Scherrer Instituts [56].
- R-49 – Sicherheitstechnische Anforderungen an die Sicherung von Kernanlagen [57].
- R-50 – Sicherheitstechnische Anforderung an den Brandschutz in Kernanlagen [58].
- R-102 – Auslegungskriterien für den Schutz von sicherheitsrelevanten Ausrüstungen in Kernkraftwerken gegen die Folgen von Flugzeugabsturz [59].

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.

2.2.3 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).

2.3 Vorgaben der Verwaltungskommission bezüglich Kostenstruktur

Im Hinblick auf die Rückerstattung von Kosten der Betreiber durch die Fonds sind verbindliche und einheitliche Kostenstrukturen zu verwenden. Diese sind auch Voraussetzung für ein durchgängiges Kostencontrolling.

Aus diesem Grund sollen gemäss Verwaltungskommission die Betreiber und die beiden Fonds identische Kostenstrukturen (Kontenpläne) verwenden. Die von den Betreibern bzw. der Nagra erarbeiteten und von der Verwaltungskommission auf Antrag des Kostenausschusses festgelegten Kostenstrukturen sind für die Kostenstudie 2016 und zukünftige Kostenstudien zu verwenden.

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 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.

2.4 Vorgaben der Verwaltungskommission bezüglich Kostengliederung

Die Verwaltungskommission hat im Hinblick auf die systematische und transparente Erfassung der Entsorgungskosten und der Berücksichtigung vorhandener Ungenauigkeiten und Risiken spezifische Vorgaben gemacht.

Gemäss der Verwaltungskommission gelten für die Kostenschätzung und deren Darstellung folgende Grundsätze und Definitionen (*Zitat*):

1. *Im Rahmen der Kostenstudie 2016 werden die Resultate der Kostenschätzungen detailliert und transparent dargestellt. Grundlage dazu bildet die im Folgenden definierte Kostengliederung der Kostenstudie 2016.*
2. *Die Kosten der Kostenstudie 2016 sind gemäss Kostengliederung KS16 darzustellen. Es sind sämtliche Kostenniveaus abzubilden. Neben den eigentlichen Kosten werden Prognoseungenauigkeiten, Gefahrenpotenziale und Chancenpotenziale ermittelt und nachvollziehbar ausgewiesen. Diese Kosten sind in entsprechenden Kostenblöcken zusammenzufassen.*
3. *Die Kosten sind zu Marktpreisen (Preisbasis 01.01.2016) nach der Best Practice für komplexe Infrastrukturprojekte bzw. Nuklearprojekte mit aktuellem Expertenwissen zu ermitteln.*
4. *Die Prognoseungenauigkeiten, Gefahrenpotenziale und Chancenpotenziale sind zu quantifizieren und auf dem entsprechenden Niveau der Kostenstruktur zu berücksichtigen. Sie sind detailliert und transparent darzustellen.*
5. *Aussergewöhnliche Gefahren und Chancen, die erkannt sind, bei der Kostenermittlung jedoch nicht berücksichtigt werden, sind als Absolutwerte grob abzuschätzen und aufzulisten. Zudem ist zu begründen, wieso diese bei der Kostenstudie 2016 nicht berücksichtigt werden.*
6. *Die Kostengliederung sowie die Definition und Herleitung der einzelnen Kostenblöcke und Kostenniveaus sind nachfolgend dargestellt. (Anmerkung: vgl. Darstellung in Tabelle 3).*

Tabelle 3: Beschreibung der vorgegebenen Kostenblöcke
 Die Tabelle ist den Vorgaben der Verwaltungskommission entnommen.

	Kostenblock	Definition / Herleitung
1	Ausgangskosten (reference cost)	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 geschätzten Mengen (Material, Maschinen und Geräte, Arbeitsstunden usw.), aktuellen Richtpreisen (Einheitspreise oder Pauschalen) und Erfahrungswerten oder in Prozenten zu relevanten Bezugskosten ermittelt werden. Bei den Ausgangskosten handelt es sich um die wahrscheinlichen Kosten; sie enthalten keine Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten, Risiken und Ungewissheiten.
2	Kosten zur Risikominderung (risk mitigation)	Die Kosten bereits ausgeführter oder geplanter Massnahmen zur Risikominderung werden analog wie die Ausgangskosten – ohne jegliche Zuschläge – ermittelt. Solche risikomindernde Massnahmen können Gefahren eindämmen oder Chancen unterstützen.
3	Basiskosten (base cost)	Ausgangskosten + Kosten zur Risikominderung (ohne jegliche Zuschläge)
4	Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten (inaccuracies)	Alle Kostenschätzungen, 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 KS16 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 bzw. 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 (z.B. regulatorisches Umfeld, Inflation) sind hier nicht enthalten.
5	Kostenzuschläge für Gefahren (hazards)	Kostenzuschläge infolge der Berücksichtigung von absehbaren Gefahrenpotenzialen, z.B. <ul style="list-style-type: none"> • 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 politischer oder regulatorischer Rahmenbedingungen oder infolge von Rechtsmittelverfahren • Neue Technologien Die Kostenzuschläge für Gefahren werden „top- down“ auf der Basis einer quantitativen Risikoanalyse ermittelt. Dazu muss für jede relevante Gefahr deren Eintrittswahrscheinlichkeit und Kostenfolge aufgrund von Expertenwissen abgeschätzt werden. Als Kostenzuschlag wird der entsprechende Erwartungswert (Risikowert) in die Gesamtkosten eingerechnet.
6	Kostenabzüge für Chancen (opportunities)	Kostenreduktionen infolge der Berücksichtigung von absehbaren Chancenpotenzialen, z.B. <ul style="list-style-type: none"> • Neue Technologien • Alternative Konzepte • Beschleunigte Bewilligungsverfahren Kostenabzüge für Chancen sind analog wie die Kostenzuschläge für Gefahren zu ermitteln, darzulegen und bei den Gesamtkosten zu berücksichtigen.
7	Kostenfolgen von nicht berücksichtigten Gefahren / Chancen (high impact / low frequency events)	Aussergewöhnliche Ereignisse (Gefahren und Chancen) mit sehr niedriger, meist unbekannter Eintrittshäufigkeit und sehr grossen Auswirkungen (so genannte High Impact / Low Frequency- oder Black Swan-Ereignisse) werden in den Gesamtkosten nicht berücksichtigt, jedoch identifiziert, separat erfasst und mit grob geschätzten, absoluten Kosten beziffert.
8	Sicherheitszuschlag (overall contingency)	Projektverantwortliche zeigen in der Regel eine systematische Tendenz („optimism bias“), entscheidende Schlüsselgrössen eines Projekts mit zu grossem Optimismus zu prognostizieren, d.h. Kosten und Zeitauern zu unterschätzen und erwarteten Nutzen zu überschätzen. Diesem Umstand soll mit einem „top-down“ Sicherheitszuschlag Rechnung getragen werden, der separat auszuweisen und zu begründen ist.

2.5 Weitere Vorgaben der Verwaltungskommission

Die Verwaltungskommission hat zusätzlich folgende Vorgaben für die Kostenstudie 2016 gemacht (Teil «geologische Tiefenlager», zitierte Texte kursiv):

- Zu berücksichtigende Gesetze und Verordnungen:

Diverse Gesetze und Verordnungen befinden sich derzeit in Revision. Für die Berechnung der Kosten muss klar sein, welche rechtlichen Annahmen gelten. Die per 1. Januar 2015 rechtsgültigen Gesetze, Verordnungen und Richtlinien sind zu berücksichtigen. Absehbare Revisionen sind als Gefahren und Chancen zu berücksichtigen und auszuweisen.

- Preisbasis:

Die Kosten sind mit aktuellen Marktpreisen zu berechnen («Overnight-Kosten»). Die Preisbasis ist 1. Januar 2016.

- Wechselkurse (Euro-Franken und Dollar-Franken):

Einzelne Kostenblöcke werden, soweit sinnvoll, in Euro oder Dollar geschätzt. Damit diese Kosten konsistent in Franken umgerechnet werden können, sind die entsprechenden Wechselkurse vorzugeben. Es sind die von der Eidg. Finanzverwaltung (EFV) festgelegten Wechselkurse zu verwenden (Stichtag 1. Januar 2016⁴⁰).

- Kalkulatorische Betriebsdauer der KKW:

Gemäss SEFV Art. 4 Abs. 4. Davon abgeleitet gilt für die Kostenstudie 2016: KKM 47 Jahre; KKB, KKG und KKL: Es sind sowohl die Kosten für 50 als auch für 60 Jahre Betrieb zu berechnen und zu überprüfen.

- Rechtsmittelverfahren:

Durch Dritte ergriffene Rechtsmittel können die Projektabläufe verzögern. Es ist in der Studie festzulegen, mit welchen Verfahren und Zeiten zu rechnen ist. Es sollen in den Basiskosten keine kostentreibenden Verzögerungen berücksichtigt werden. Diese sind als Projektrisiken zu quantifizieren und aufzuführen.

- Empfehlungen des ENSI und des Kostenausschusses:

Im Zuge der Überprüfung der Kostenstudie 2011 haben das ENSI und der Kostenausschuss Empfehlungen für die Kostenstudie 2016 formuliert.

Zusätzlich finden sich in den Schlussberichten der 2014 durchgeführten Plausibilisierungsstudien Phase 1 Empfehlungen für die Kostenstudie 2016. Die 12 Empfehlungen des ENSI aus der Überprüfung der Kostenstudie 2011 (davon 5 für die geologischen Tiefenlager) und die Empfehlungen aus der Plausibilisierungsstudie KS11 Phase 1 sind im Rahmen der Kostenstudie 2016 zu berücksichtigen.

- Standorte der geologischen Tiefenlager:

Für die Kostenschätzung ist festzulegen, ob von zwei separaten Lagern oder von einem Kombilager SMA/HAA auszugehen ist. Ebenfalls sind die für die Schätzung angenommenen Standorte für das Kombi- bzw. für das SMA- und das HAA-Lager anzugeben. Für die Kostenstudie 2016 gilt: Getrennte Standorte für SMA- und HAA-Lager, identische Modellstandorte wie in der Kostenstudie 2011 (Anmerkung: es sind dies die Standortgebiete Jura Ost für das SMA-Lager und das Standortgebiet Zürich Nordost für das HAA-Lager).

⁴⁰ Diese Angaben wurden von der Verwaltungskommission mit Brief vom 24. Juni 2015 präzisiert. Für die Kostenermittlung werden, wo notwendig, verwendet: USD/CHF = 1.00; EUR/CHF = 1.20; GBP/CHF = 1.50 und SEK/CHF = 0.13.

- Inbetriebnahme SMA- und HAA-Lager:

Für die Bemessung der Fondsbeiträge ist der Zeitpunkt der Inbetriebnahme der geologischen Tiefenlager zentral. Unter Berücksichtigung der Entwicklungen im Sachplanverfahren und der anzunehmenden Rechtsmittelverfahren sind die aus heutiger Sicht absehbaren Zeitpunkte der Inbetriebnahme festzulegen. Es gilt für das SMA-Lager das Jahr 2050, für das HAA-Lager das Jahr 2060.

2.6 Angaben aus dem Entsorgungsprogramm

Gemäss Art. 4 SEFV 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 Kostenstudie 2016 von der Verwaltungskommission gemachten Vorgaben bzgl. Modellstandorte (gleiche Modellstandorte wie in der Kostenstudie 2011, 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. Der Vorschlag der Nagra sieht vor, sowohl JO als auch ZNO als mögliche Standorte für ein SMA-Lager, ein HAA-Lager und ein Kombilager in Etappe 3 weiter zu untersuchen, ohne jedoch Angaben zu machen, für welche Standorte schliesslich Rahmenbewilligungsgesuche erarbeitet und eingereicht werden sollen. Das Entsorgungsprogramm legt im Sinne der ergebnisoffenen Planung noch nicht fest, ob zwei Einzellager oder ein Kombilager gebaut werden sollen und wo die Lager erstellt werden.

Das Entsorgungsprogramm [15] bzw. die von der Nagra im Rahmen der Etappe 2 eingereichten Vorschläge [61] enthalten zu den Standortgebieten JO und ZNO noch weitere Informationen, nämlich die Angabe der von der Nagra basierend auf der Zusammenarbeit mit Region/Kanton bezeichneten Standortareale für die Oberflächenanlage (JO-3+ für das SMA-Lager in JO; ZNO-6b für das HAA-Lager in ZNO), die für die Analysen verwendeten Lagerperimeter und modellhafte Annahmen für den Zugang nach Untertag. Die Vorschläge der Nagra und die dazu gehörenden vertieften Informationen werden zurzeit durch die Behörden geprüft. Die Vorschläge sind vom Bundesrat noch nicht genehmigt. Die in den Vorschlägen der Nagra dokumentierten Unterlagen werden soweit sinnvoll für die Kostenstudie 2016 genutzt. Dies betrifft insbesondere die Standortareale, die untertägigen Lagerperimeter und die Zugänge nach Untertag.

Für die Erarbeitung der Vorschläge und deren Bewertung im Rahmen des Sachplanverfahrens wurden zahlreiche weitere Festlegungen und Annahmen gemacht, die auch kompatibel mit dem Entsorgungsprogramm sind. Das Entsorgungsprogramm und die dort referenzierten Unterlagen (insbesondere die Vorschläge der Nagra im Rahmen der Etappe 2 des Sachplanverfahrens) enthalten Angaben zu folgenden, für die Ermittlung der Kosten wichtigen Themen, die für die Kostenstudie 2016 genutzt werden:

- Das modellhafte Inventar der radioaktiven Abfälle (Mengengerüst, detaillierte Angaben zu den Eigenschaften).
- Die verwendeten Lager- und Barrierenkonzepte.
- Angaben zu den in der Kostenstudie 2016 für die geologischen Tiefenlager zu verwendenden Modellstandorte und Hinweise zu den in der Kostenstudie 2016 zu betrachtenden Projekt-Varianten.
- 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 Kostenschätzung 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 in 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 2016 modellhafte Annahmen (Basisvorhaben und Varianten), 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.

2.7 Randbedingungen aus dem Vorhaben der geologischen Tiefenlager

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 Hinweise:

- 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 (mit Varianten) festgelegt und für die Kostenstudie 2016 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), Standortvarianten für die Lagervarianten und Auslegungsvarianten für die Lager zu berücksichtigen. Die Kosten für die verschiedenen Varianten sind entsprechend den Grundsätzen der Kostengliederung für die 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 entweder beim Basisvorhaben oder aber zumindest bei den Varianten einzubeziehen.
- Bei der Beurteilung von Termin-Risiken (mögliche Verzögerungen) ist zu beachten, dass wegen des parallelen Betriebs des Zwiilag auch bei Verzögerungen die Sicherheit der Zwischenlagerung der radioaktiven Abfälle gewährleistet ist. Es sind somit diesbezüglich keine signifikanten Zusatzmassnahmen notwendig.

Ausgangspunkt für die Schätzung 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.

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 alle bisher aufgelaufenen und 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.

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 abgeschätzt werden. Die Kostenschätzungen 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.

Die erkannten Gefahren [Kostenblock 5] und Chancen [Kostenblock 6] haben im Gegensatz zu den vorangehenden Kostenpositionen eine Eintrittswahrscheinlichkeit ≤ 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.

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.

Die Zuschläge für die Ungenauigkeiten und die Zuschläge für Gefahren bzw. Abzüge für Chancen werden konsequent, einheitlich und umfassend erhoben und breit abgestützt. Damit wird systematischen Tendenzen, zu optimistisch zu schätzen, vorgebeugt. Die zusätzliche Verwendung eines Sicherheitszuschlags zur Berücksichtigung eines «optimism bias» [Kostenblock 8] ist unter diesen Voraussetzungen nicht begründbar. Von einem Zuschlag für das «Unbekannte» wird abgesehen, vgl. Diskussion in nachfolgendem Kapitel 3.2.

Die Gesamtkosten [Kostenniveau 9] setzen sich zusammen aus den Basiskosten, den Zuschlägen für Ungenauigkeiten, Zuschlägen für Gefahren und Abzügen für Chancen.

3.2 Behandlung von Ungenauigkeiten

Ausgangspunkt für die durchzuführende Kostenschätzung 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 bzgl. 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 Zuschläge für die Ungenauigkeit in der Prognose und die dritte die Gefahren und 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 Wertes 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) und 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 (ev. Abzüge) für Ungenauigkeiten und Risiken führt zusammen mit den bereits aufgelaufenen Kosten zu den voraussichtlichen Gesamtkosten des Vorhabens auf der Basis des aktuellen Planungsstandes. Von einem zusätzlichen Sicherheitszuschlag zur Berücksichtigung des «optimism bias» wird wegen der konsequent, einheitlich und umfassend erhobenen Zuschläge für Ungenauigkeiten und Zuschlägen bzw. Abzügen für Gefahren bzw. Chancen abgesehen.

Hier ist auch der Zuschlag für das «Unbekannte» zu beachten, wie er heute teilweise bei Kostenschätzungen für Grossprojekte verwendet wird. Die Notwendigkeit bzw. der Umfang eines solchen Zuschlags hängt von den Eigenschaften der einzelnen Kostenelemente des Projekts (Kenntnisstand, Komplexität, etc.) und von den für diese Kostenelemente schon eingerechneten Zuschlägen für Ungenauigkeiten und Gefahren ab. Weiter sind auch der Stand des Projekts (Standortwahl: SGT Etappe 2; Projektierung: Stufe Vorstudie) und die Finanzierung des Projekts zu beachten, insbesondere die Möglichkeit zur Korrektur der Finanzierung, inkl. Nachfinanzierung durch die Entsorgungspflichtigen. Unter Berücksichtigung dieser Aspekte wird für die Kostenstudie 2016 von der Einrechnung eines Zuschlags für das «Unbekannte» abgesehen. Im Rahmen der periodischen Aktualisierung der Kostenstudie (alle 5 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 Kostenschätzung bestehende Planungssituation (Fortschritt der Projektentwicklung, Kostenentwicklung und Risikosituation) wird für die Festlegung der Zuschläge für Ungenauigkeiten und Gefahren bzw. die Abzüge für Chancen herangezogen. Dort wird auch geprüft, ob es Erkenntnisse gibt, welche Zuschläge für weitere Elemente erfordern.

Schliesslich ist zu beachten, dass sogenannte «Black Swan»-Ereignisse (unbekannte seltene Ereignisse mit grossen Kostenfolgen) gemäss Vorgabe der Kommission bei der Ermittlung der Gesamtkosten nicht zu berücksichtigen sind⁴¹.

3.3 Management der Kostenrisiken

3.3.1 Umgang mit Abweichungen

Die für die Kosten relevanten Abweichungen zum Basisvorhaben 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 Schätzungen grössere Streubreiten und bei den Prognoseungenauigkeiten höhere Zuschläge vorzusehen. Gefahren und Chancen sind vermutete, eher selten auftretende Einzelrisiken. Ihre Eintrittswahrscheinlichkeit ist in der Regel nicht bekannt und muss (mit geeigneten Hilfsmitteln) geschätzt werden. Ihre Realisation hat ebenfalls Kosten zur Folge (negative oder positive), und es werden bewusst Massnahmen ergriffen, Gefahren zu verhindern und Chancen zu fördern.

Zu den für die Kosten relevanten Abweichungen gehören auch Projektvarianten zum Basisprojekt. Diese werden in der Kostenstudie 2016 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 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.

⁴¹ Die Kommission gibt vor (Zitat): *Aussergewöhnliche Ereignisse (Gefahren und Chancen) mit sehr niedriger, meist unbekannter Eintrittshäufigkeit und sehr grossen Auswirkungen (so genannte High Impact / Low Frequency- oder Black Swan-Ereignisse) werden in den Gesamtkosten nicht berücksichtigt, jedoch identifiziert, separat erfasst und mit grob geschätzten, absoluten Kosten beziffert.*

Die Kostenfolgen werden im Rahmen der Schätzung 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 bzgl. 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 (Gesetze) 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 5.2.3 eingehender spezifiziert und beziffert.

3.3.2 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 3.3.4).

3.3.3 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 abschätzt. 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.

3.3.4 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 im 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 Interessengruppen. 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 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 zwei Einzellager vorgesehen, das HAA-Lager und das SMA-Lager. Im Entsorgungsprogramm wird neben der Entsorgung der Abfälle in zwei Einzellagern an verschiedenen Standorten auch die gleichwertige 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 Variante wird als «Kombilager» bezeichnet.

Die Arbeiten zum Vorhaben «Geologische Tiefenlager» laufen seit Ende der 70er 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» (BFE 2008 [60]) 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 Etappe 1 des Sachplanverfahrens festgelegten Standortgebieten wurden im Rahmen der Etappe 2 von der Nagra in Zusammenarbeit mit den betroffenen Regionen und den Standort-Kantonen 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. Anfangs 2015 wurde der Vorschlag der Nagra veröffentlicht, welcher zwei Standortgebiete für die weiteren Untersuchungen in Etappe 3 vorsieht: die Standortgebiete Jura Ost (kurz: JO) und Zürich Nordost (kurz: ZNO) mit den Standortarealen für die Oberflächenanlage JO-3+ und ZNO-6b (vgl. Abbildungen 4 sowie 7, 8, 11, 12, 14 und 15). Beide Standortgebiete sollen gemäss Nagra für ein SMA-, ein HAA- oder ein Kombilager vertieft untersucht werden. Die für den Sachplan und die vorangehenden Phasen durchgeführten umfangreichen Studien und Abklärungen haben zu einem guten Kenntnisstand geführt, welcher es erlaubt, die Standortmöglichkeiten der Schweiz für geologische Tiefenlager umfassend zu beurteilen.

Die Verwaltungskommission der Fonds hat vorgegeben, dass für die Kostenstudie 2016 die gleichen Modellstandorte zu verwenden sind wie in der Kostenstudie 2011. Es sind dies das Standortgebiet ZNO für das HAA-Lager und das Standortgebiet JO für das SMA-Lager.

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 4 werden die wichtigsten zukünftig noch zu treffenden Entscheide bis Baubeginn aufgeführt. In der Tabelle werden auch die für die Kostenstudie 2016 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 Kostenstudie 2016 berücksichtigt werden. Die hier für die Kostenstudie 2016 aufgeführten Annahmen haben modellhaften Charakter und nehmen keine zukünftigen Entscheide vorweg. Tabelle 4 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.

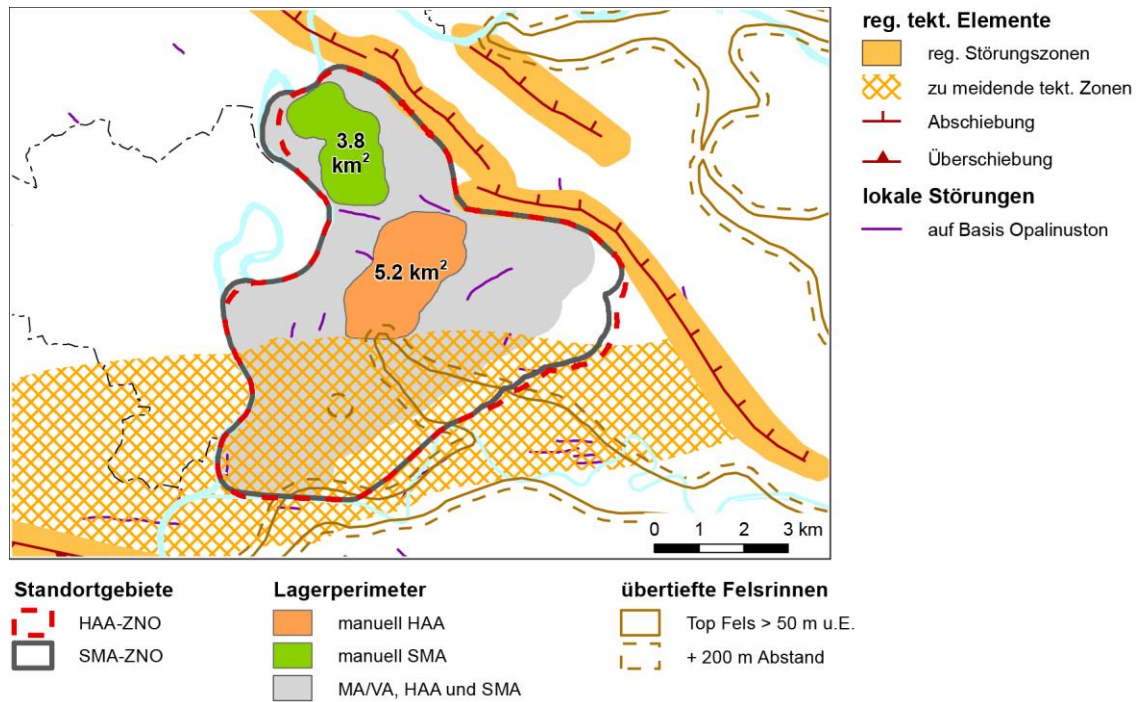
Tabelle 4: *Basisprojekt und wichtigste in der Kostenstudie 2016 berücksichtigte Varianten. Grundlage für die Kostenschätzung in der Kostenstudie 2016 ist das Basisprojekt, die aufgeführten Varianten werden bei der Berechnung der Kosten als Gefahren oder Chancen dargestellt. Neben diesen wichtigsten Varianten gibt es noch weitere Auslegungsvarianten.*

Entscheidungspunkt	Annahme für getroffenen Entscheid (entspricht Basisprojekt)	In der KS16 betrachtete Varianten
Entscheide bei der Rahmenbewilligung	SMA-Lager in JO, HAA-Lager in ZNO ¹⁾	Standort-Varianten für die Einzellager ²⁾ Kombilager in ZNO bzw. in JO ²⁾
	Abgrenzung von LMA und ihre Einlagerung im HAA-Lager	Verzicht auf Abgrenzung der LMA, alle ATA und SMA werden im SMA-Lager eingelagert
	Synergien der Oberflächenanlage für SMA-Lager in JO mit Zwiilag nur teilweise genutzt	Volle Nutzung der Synergien der Oberflächenanlage für SMA-Lager in JO mit Zwiilag (Verpackung im Zwiilag)
Entscheide bei der nuklearen Baubewilligung	Zugang nach Untertag für HAA-Lager mit Schächten und Rampe	Zugang nach Untertag für HAA-Lager nur mit Schächten
	Zugang nach Untertag für SMA-Lager mit Einfachröhre und Schacht	Zugang nach Untertag für SMA-Lager mit Doppelröhre und Schacht Bau eines weiteren Schachts und dessen Nutzung während der Beobachtungsphase

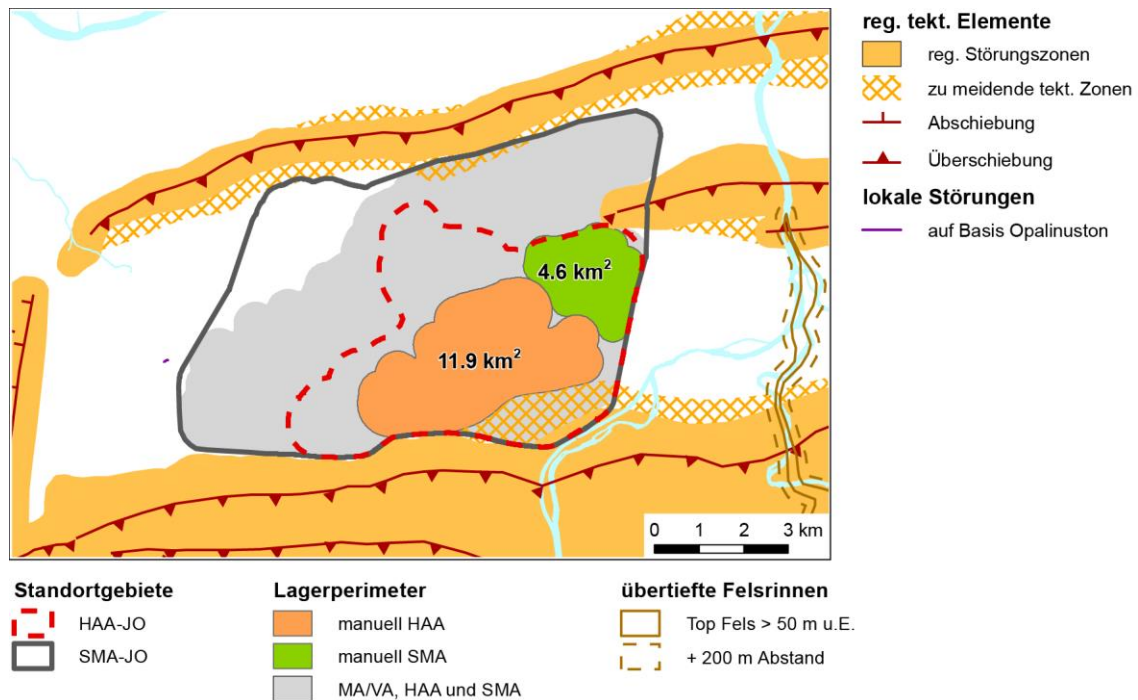
¹⁾ Vorgabe Verwaltungskommission, dass Einzellager in JO (SMA-Lager) und in ZNO (HAA-Lager) zu betrachten sind, die Betrachtung eines Kombilagere ist möglich.

²⁾ Im Rahmen einer Differenzanalyse wird geprüft, welchen Einfluss ein Tausch der Standortgebiete auf die Kosten hätte (SMA-Lager in ZNO und HAA-Lager in JO, Kombilager in ZNO bzw. in JO).

Gemäss Vorgabe geht das Basisvorhaben von zwei Einzellagern aus. Auf oberster Stufe der Kostenstruktur wird als Variante auch das Kombilager anstelle der Einzellager betrachtet. Der Entscheid, ob zwei Einzellager oder ein Kombilager realisiert werden, fällt bei der Rahmenbewilligung. Da die von der Nagra vorgeschlagenen Standortgebiete ZNO und JO aus Sicht der Nagra beide für ein SMA-Lager, ein HAA-Lager oder ein Kombilager in Frage kommen, gibt es für alle drei Lager auch Standortvarianten. Der Entscheid, wo die Lager gebaut werden, fällt wiederum bei der Rahmenbewilligung. Auch bezüglich Auslegung der Lager gibt es Varianten, die entweder mit der Rahmenbewilligung oder mit der nuklearen Baubewilligung festgelegt werden.



a) Lagerperimeter im Standortgebiet Zürich Nordost (ZNO)



b) Lagerperimeter im Standortgebiet Jura Ost (JO)

Abbildung 4: Die von der Nagra für die weitere Untersuchung in SGT Etappe 3 vorgeschlagenen Standortgebiete Zürich Nordost (ZNO) und Jura Ost (JO) mit den zugehörigen Lagerperimetern. Die abgegrenzten Lagerperimeter erlauben es, in beiden Standortgebieten ein SMA-Lager, ein HAA-Lager oder ein Kombilager anzuordnen, vgl. [61].

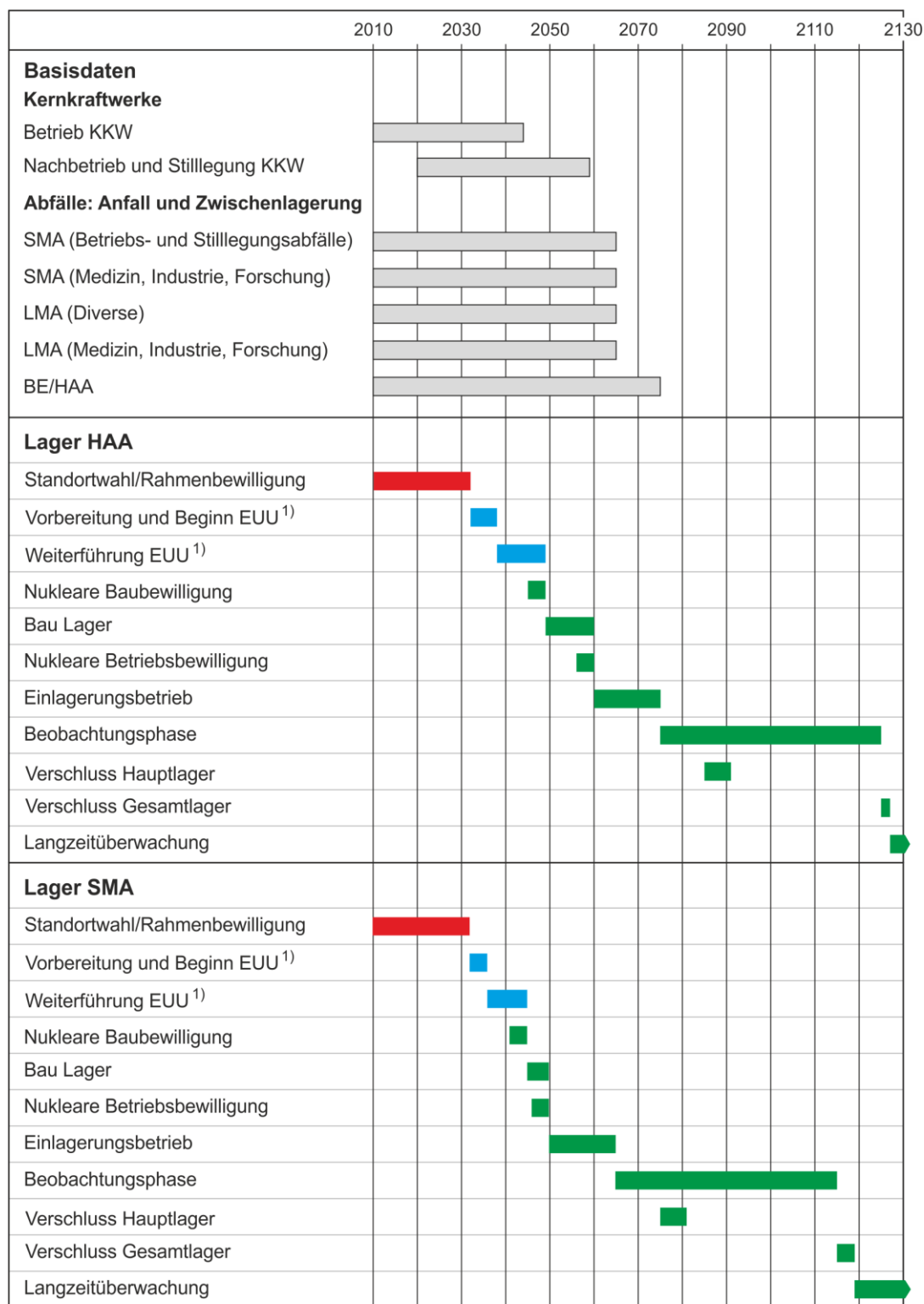
Zu den in der Rahmenbewilligung festzulegenden Varianten gehört der Umgang mit den langlebigen mittelaktiven Abfällen (LMA). In Übereinstimmung mit der Kostenstudie 2011 werden im Basisprojekt die LMA zusammen mit den hochaktiven Abfällen (BE und HAA) im HAA-Lager eingelagert. Weil die Langzeitstabilität für ein SMA-Lager in den Standortgebieten ZNO und JO bei geeigneter Anordnung gewährleistet ist, gibt es aus Sicht der Sicherheit keine Notwendigkeit, LMA im HAA-Lager einzulagern; deshalb wird auch die Variante betrachtet, bei der auf die Abgrenzung von LMA und ihre Einlagerung im HAA-Lager verzichtet wird; d. h. alle SMA und ATA werden im SMA-Lager eingelagert. Weiter wird für die Kostenstudie 2016 angenommen, dass auch der Entscheid bezüglich grundsätzlicher Nutzung der Synergien mit dem Zwiilag 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 5 ist der Realisierungsplan für die geologischen Tiefenlager gemäss Entsorgungsprogramm 2016 [15] als Balkendiagramm dargestellt. Die Zeiten im Realisierungsplan gehen davon aus, dass es zu keinen Verzögerungen aus Bewilligungsverfahren oder aus technischen Gründen kommt; dies führt zu den in Abbildung 5 aufgeführten Terminen. 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, 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 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 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 Zwiilag mit seinen Hilfssystemen zur Verfügung stehen. Dies bedeutet, dass Synergien mit dem Zwiilag genutzt werden können und dass bei Verzögerungen bei der Realisierung der geologischen Tiefenlager die Sicherheit der radioaktiven Abfälle ohne grossen Mehraufwand gewährleistet ist; die Abfälle können weiterhin sicher im Zwischenlager gelagert werden.



¹⁾ EUU: Erdwissenschaftliche Untersuchungen Untertag

Abbildung 5: Realisierungsplan für das HAA- und das SMA-Lager. Gemäss Entsorgungsprogramm 2016 [15].

4.2 Das HAA-Lager

Übersicht

Das für die Kostenstudie 2016 modellhaft im Standortgebiet ZNO angenommene 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 sowie für die LMA, 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 6 enthält eine schematische Darstellung der Gesamtanlage und typische Normalprofile für das HAA-Lager. Das Schema zeigt die Infrastruktur an der Oberfläche, die Zugänge nach Untertag sowie die Bauwerke auf Lagerebene.

Abbildung 7 zeigt eine für die Kostenstudie 2016 getroffene modellhafte Anordnung der Gesamtanlagen des HAA-Lagers im Standortgebiet ZNO mit dem Standortareal ZNO-6b für die Oberflächenanlage. Wie in Kapitel 4.1 erwähnt, besteht auch die Möglichkeit, das HAA-Lager im Standortgebiet JO mit dem Standortareal JO-3+ für die Oberflächenanlage anzuordnen; dies ist eine sogenannte Standortvariante.

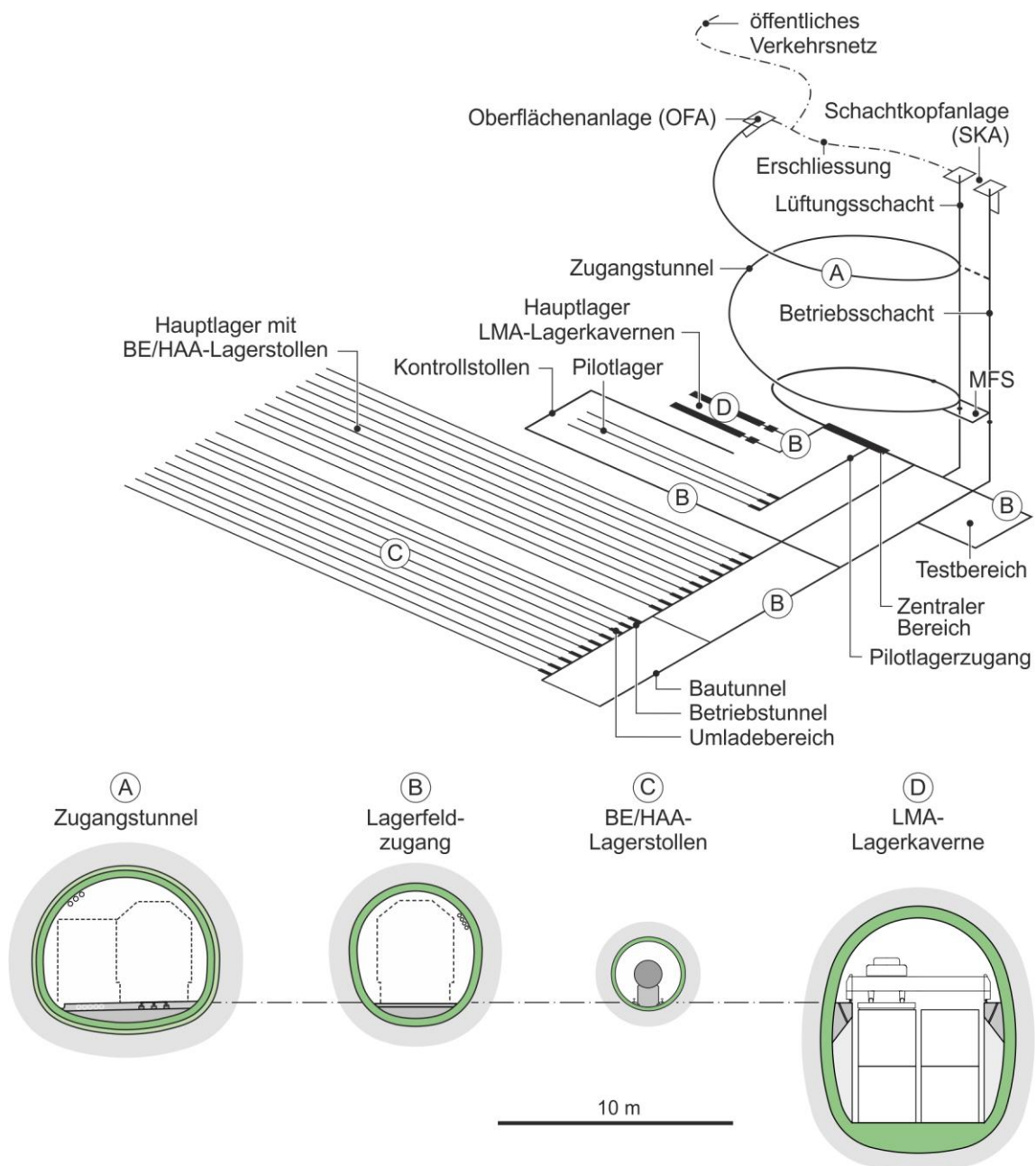


Abbildung 6: Schematisches modellhaftes Anlagenkonzept für das HAA-Lager mit typischen Normalprofilen für die Variante mit Einlagerung der LMA im HAA-Lager. Eine Auslegungsvariante sieht die Einlagerung der LMA im SMA-Lager vor. Dann fallen beim HAA-Lager die Lagerkammern für LMA (inkl. Erschliessung) sowie die LMA-Verpackungsanlage an der Oberfläche weg.

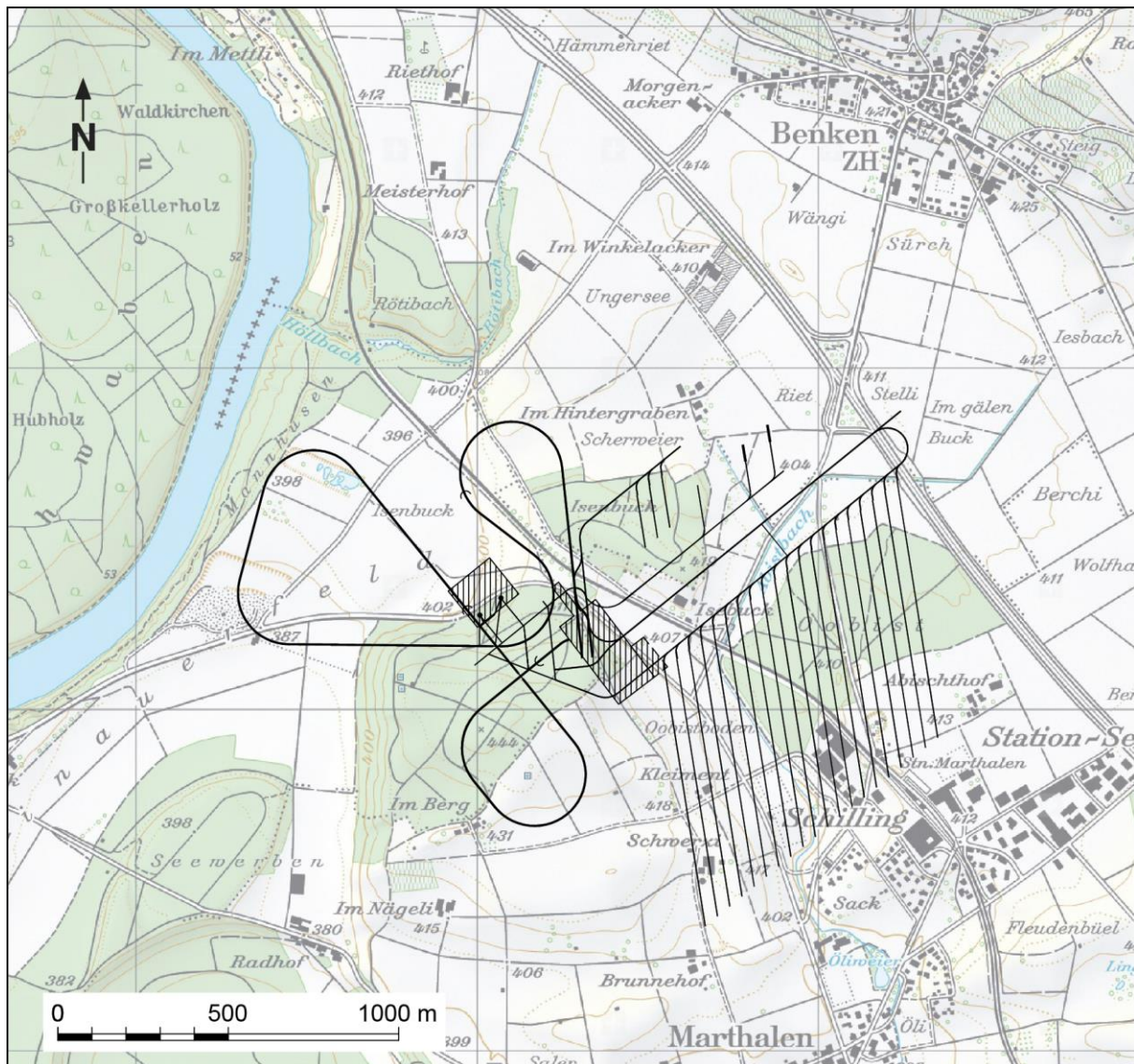


Abbildung 7: Situationsplan und Grundriss mit der für die KS16 angenommenen modellhaften Anordnung der Anlagen für ein HAA-Lager im Standortgebiet Zürich Nordost (ZNO). Standortareal ZNO-6b für die Oberflächenanlage und mit der modellhaften Anordnung des Schachtkopfareals mit den Schachtkopfanlagen (alle schraffiert).

Oberflächeninfrastruktur

Die Oberflächeninfrastruktur des HAA-Lagers besteht aus dem Standortareal mit der Oberflächenanlage, dem Schachtkopfareal mit den Schachtkopfanlagen sowie den Erschliessungsbauwerken, vgl. Abbildung 8. In Tabelle 5 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 klar ersichtlich, dass die unterschiedlichen Funktionen der Phasen einen direkten Einfluss auf die Grösse der Oberflächeninfrastruktur haben und sich je nach Phase stark ändern.

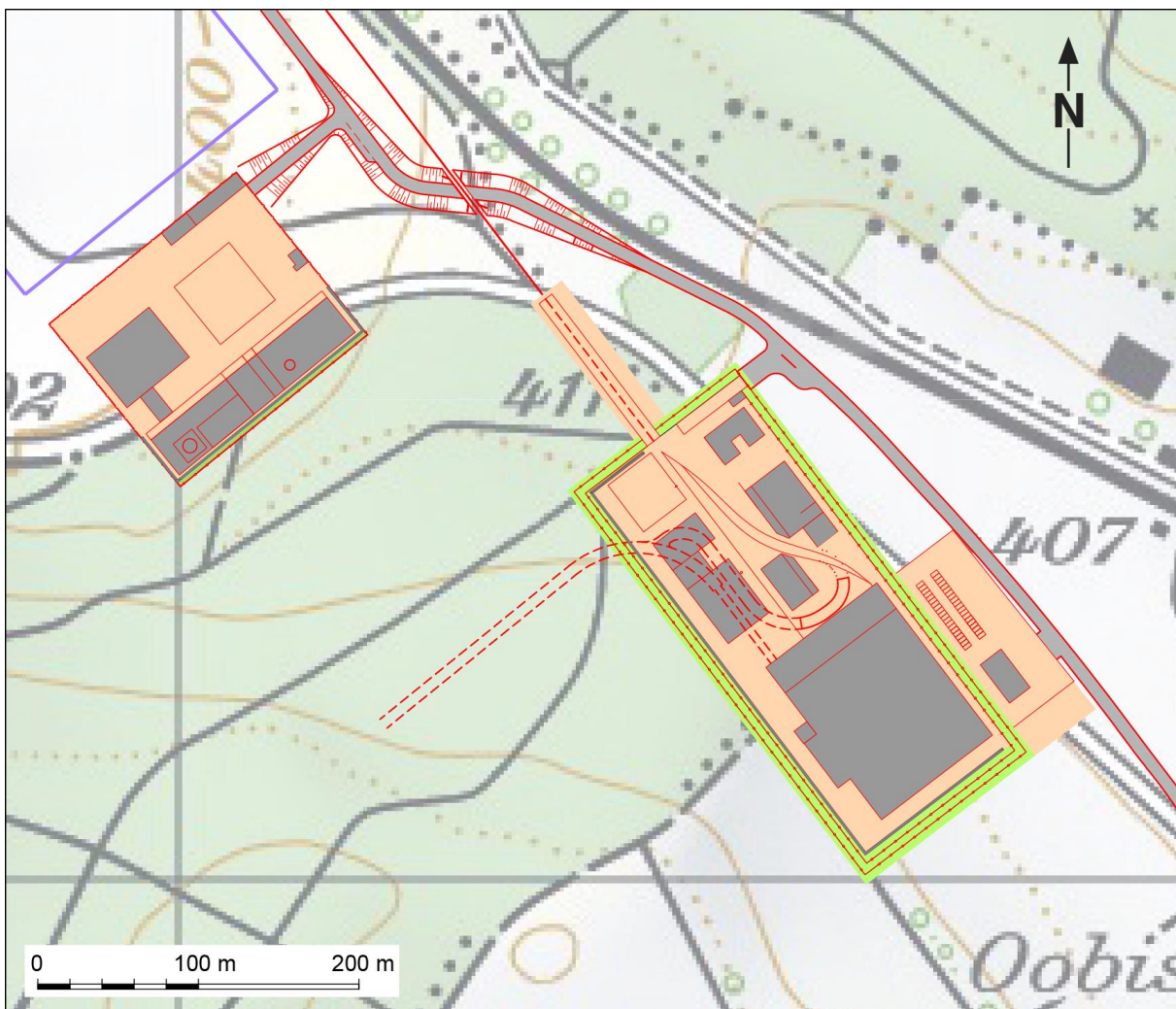


Abbildung 8: *Übersichtsplan mit der für die KS16 angenommenen modellhaften Anordnung und Ausgestaltung der Oberflächeninfrastruktur. Standortareal ZNO-6b mit der Oberflächenanlage und Schachtkopfareal mit dem Betriebs- und Lüftungsschacht in der Phase Einlagerungsbetrieb.*

*Tabelle 5: Geometrische Kennzahlen für die Oberflächeninfrastruktur des HAA-Lagers.
 Die Kennzahlen sind direkt relevant für die Kosten. Weitere Erläuterungen: vergleiche Text.*

Phasen und Hauptfunktionen	Erdwissenschaftliche Untersuchungen Untertag	Phase Einlagerungsbetrieb	Beobachtungsphase (nach Verschluss Hauptlager)
Umbauter Raum [m³]	45'100	368'500	45'100
Verpackungsanlage BE/HAA	0	245'000	0
Verpackungsanlage LMA	0	24'000	0
Übrige Objekte	3'800	54'400	3'800
Schachtkopfanlagen	41'300	45'100	41'300
Fläche [m²]	21'200	58'800	21'200
Standortareal	0	37'600	0
Schachtkopfareal	21'200	21'200	21'200
Baugruben [m³]	60'000	410'000	60'000
Standortareal	0	350'000	0
Schachtkopfareal	60'000	60'000	60'000
Erschliessung [m]	700	1'000	700
Strasse Oberflächenanlage	20	20	20
Strasse Schachtkopfareal	80	80	80
Schiene	600	900	600

Zugang nach Untertag und Bauwerke auf Lagerebene

Der Zugang nach Untertag und die Bauwerke auf Lagerebene sind in Abbildung 6 schematisch dargestellt. In Abbildung 9 findet sich ein Profil mit dem räumlichen Verlauf der Achse der Rampe bzw. der Schächte. Da es sich im Standortgebiet ZNO bei der Rampe um eine Wendelrampe handelt, werden im Profil entlang der Rampe die Schächte drei Mal abgebildet. Das Profil zeigt, dass Rampe und Schacht 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 bezüglich Bau der Zugänge nach Untertag und des Betriebs im Rahmen der Etappe 2 des Sachplans beurteilt.

Die für die Kosten relevanten geometrischen Kennzahlen zum Zugang nach Untertag und zu den Bauwerken auf Lagerebene finden sich in den Tabellen 6a und 6b. Die Zahlen zeigen, dass die Stollenlänge der BE/HAA-Lagerstollen viel grösser ist als die Länge aller anderen Bauwerke, die Ausbruchkubaturen sind jedoch wegen ihres relativ kleinen Durchmessers nur mässig grösser. Nach der Einlagerung und der Verfüllung und dem Verschluss der Lagerkammern und der Zugänge sind die während der Beobachtungsphase noch offenen Hohlräume relativ klein.

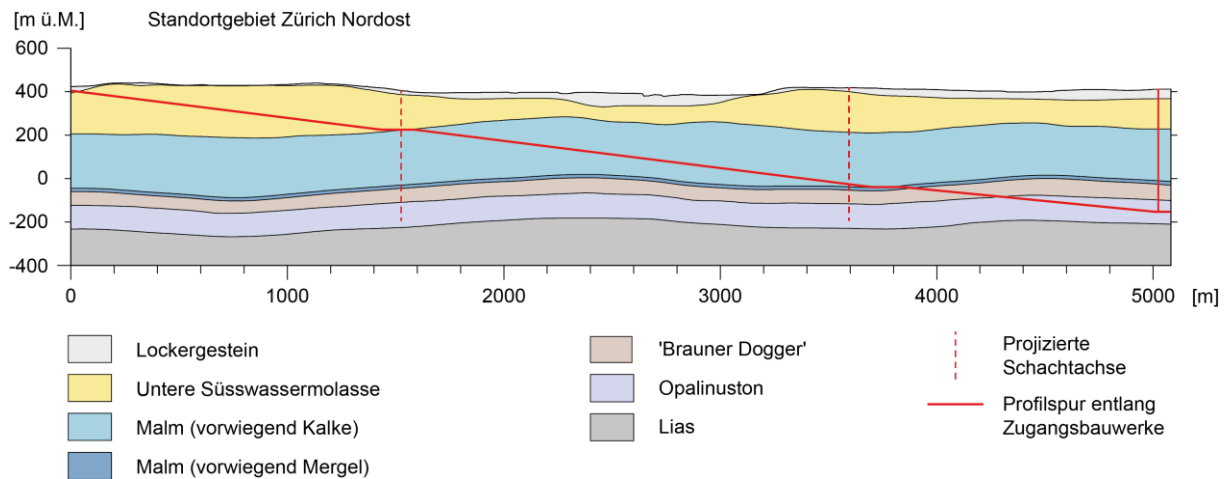


Abbildung 9: Geologisches Längenprofil im Standortgebiet Zürich Nordost (ZNO). Geologisches Längenprofil entlang den Zugängen nach Untertag (Zugangstunnel, Betriebs- und Lüftungsschacht) mit der für die für KS16 angenommenen modellhaften Anordnung der Anlagen für ein HAA-Lager im Standortgebiet Zürich 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 6: Geometrische Kennzahlen für den Zugang nach Untertag und für die Bauwerke auf Lager-ebene des HAA-Lagers.
 Die Kennzahlen sind direkt relevant für die Kosten. Weitere Erläuterungen: vergleiche Text.

a) Kennzahlen für den Zugang nach Untertag

Phasen und Hauptfunktionen	Erdwissenschaftliche Untersuchungen Untertag	Phase Einlagerungsbetrieb	Beobachtungsphase (nach Verschluss Hauptlager)
Längen / Teufen [m]	1'580	6'610	1'580
Zugangstunnel	0	5'030	0
Schächte (inkl. Verbindungen)	1'580	1'580	1'580
Ausbruchvolumen [m ³]	85'000	321'000	85'000
Zugangstunnel	0	236'000	0
Schächte (inkl. Verbindungen)	85'000	85'000	85'000

b) Kennzahlen für die Bauwerke auf Lagerebene

Phasen und Hauptfunktionen	Erdwissenschaftliche Untersuchungen Untertag	Phase Einlagerungsbetrieb	Beobachtungsphase (nach Verschluss Hauptlager)
Länge [m]	1'400	22'690	1'580
Lagerstollen BE/HAA	0	15'760	0
Lagerkammern LMA	0	160	0
Übrige Bauwerke	1'400	6'770	1'580
Ausbruchvolumen [m ³]	42'300	337'300	50'100
Lagerstollen BE/HAA	0	129'000	0
Lagerkammern LMA	0	11'000	0
Übrige Bauwerke	42'300	197'300	50'100

4.3 Das SMA-Lager

Übersicht

Das für die Kostenstudie 2016 modellhaft im Standortgebiet JO angenommene SMA-Lager besteht aus der Infrastruktur an der Oberfläche (Objektgruppe Oberflächeninfrastruktur) mit der Oberflächenanlage (Hauptzugang), dem Nebenzugang 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 10 enthält eine schematische Darstellung der Gesamtanlage und typische Normalprofile für das SMA-Lager. Das Schema zeigt die Infrastruktur an der Oberfläche, die Zugänge nach Untertag sowie die Bauwerke auf Lagerebene.

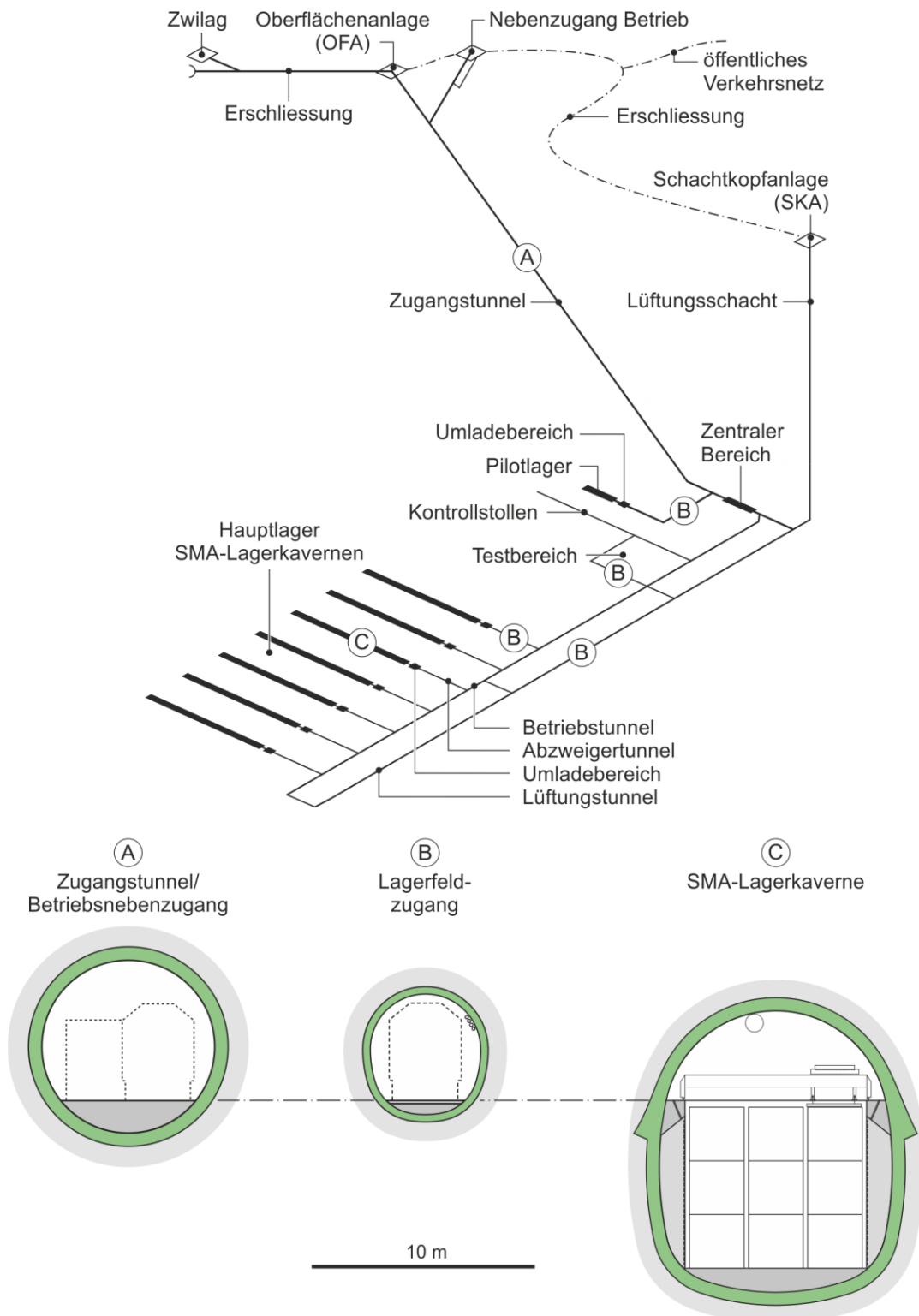


Abbildung 10: Schematisches modellhaftes Anlagenkonzept für das SMA-Lager mit typischen Normalprofilen für das Basisprojekt.
 Bei der Variante mit Einlagerung aller ATA und SMA (inkl. LMA) im SMA-Lager nimmt die Länge der Lagerkavernen etwas zu.

Abbildung 11 zeigt eine für die Kostenstudie 2016 getroffene modellhafte Anordnung der Gesamtanlagen des SMA-Lagers im Standortgebiet JO mit dem Standortareal JO-3+ für die Oberflächenanlage. Wie in Kapitel 4.1 erwähnt, besteht auch die Möglichkeit, das SMA-Lager im Standortgebiet ZNO mit dem Standortareal ZNO-6b für die Oberflächenanlage anzuordnen; dies ist eine sogenannte Standortvariante.

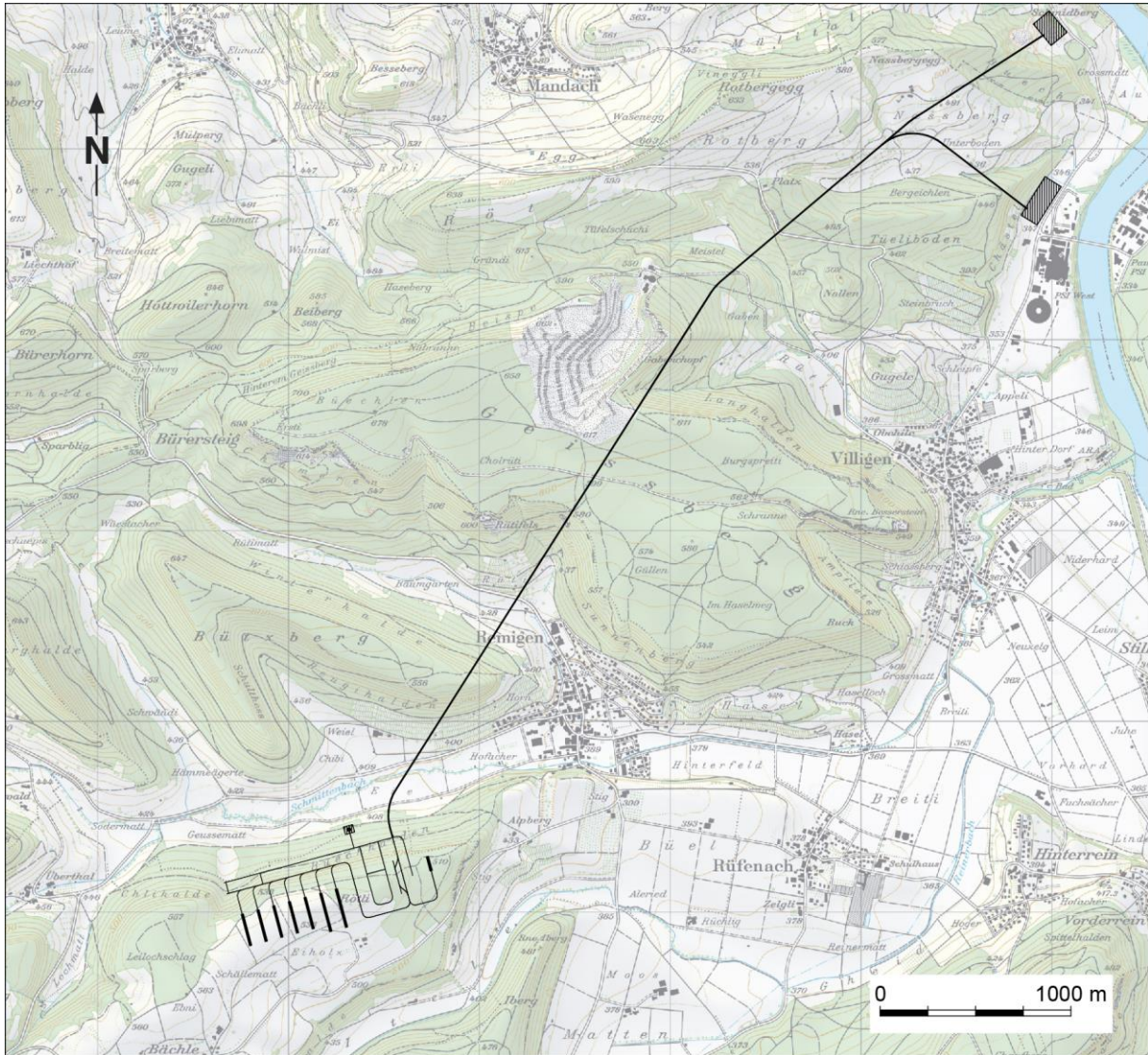


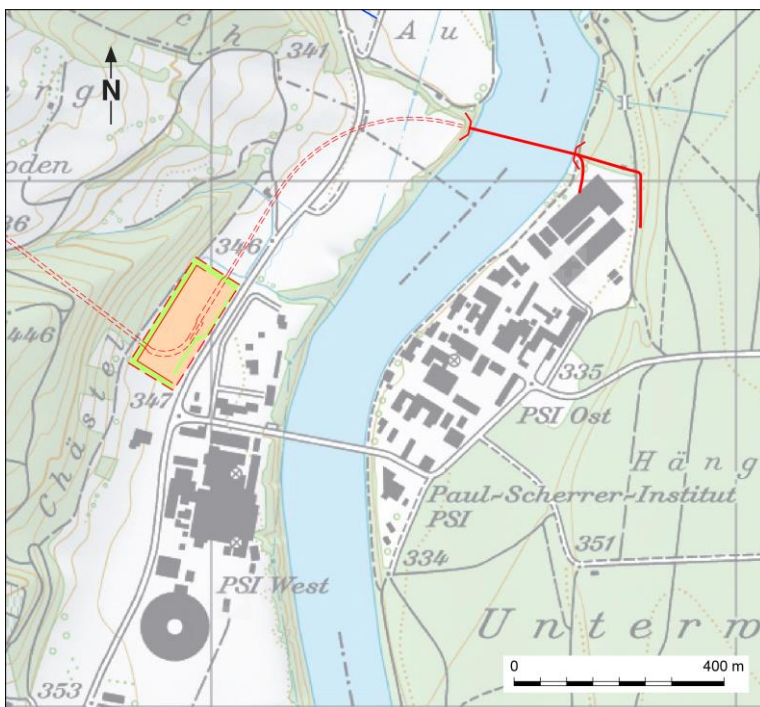
Abbildung 11: Situationsplan und Grundriss mit der für die KS16 angenommenen modellhaften Anordnung der Anlagen für ein SMA-Lager im Standortgebiet Jura Ost (JO). Standortareal JO-3+ für die Oberflächenanlage und mit der für die KS16 angenommenen modellhaften Anordnung des Nebenzugangs und des Schachtkopfareals mit der Schachtkopfanlage (alle schraffiert).

Oberflächeninfrastruktur

Die Oberflächeninfrastruktur des SMA-Lagers besteht aus dem Standortareal mit der Oberflächenanlage und dem Nebenzugang (Abbildung 12a und 12b) sowie dem Schachtkopfareal mit den Schachtkopfanlagen. In Tabelle 7 finden sich Angaben zu geometrischen Kennzahlen der Oberflächeninfrastruktur. Es sind dies Angaben zur 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 der Tabelle wird klar ersichtlich, dass die unterschiedlichen Funktionen der Phasen einen direkten Einfluss auf die Grösse der Oberflächeninfrastruktur haben und sich je nach Phase stark ändern.



a) Oberflächenanlage und Nebenzugang



b) Oberflächenanlage und deren Erschliessung

Abbildung 12: Übersichtsplan mit der für KS16 angenommenen modellhaften Anordnung und Ausgestaltung der Oberflächeninfrastruktur im Raum des Standortareals JO-3+ in der Phase Einlagerungsbetrieb.

Tabelle 7: Geometrische Kennzahlen zur Oberflächeninfrastruktur des SMA-Lagers in den verschiedenen Phasen der Lagerrealisierung. Die Kennzahlen sind direkt relevant für die Kosten. Weitere Erläuterungen: vergleiche Text.

Phasen und Hauptfunktionen	Erdwissenschaftliche Untersuchungen Untertag	Phase Einlagerungsbetrieb	Beobachtungsphase (nach Verschluss Hauptlager)
Umbauter Raum [m³]	22'520	70'320	22'520
Verpackungsanlage	0	27'000	0
Übrige Objekte Standortareal	3'800	24'600	3'800
Objekte Nebenzugang	18'720	18'720	18'720
Fläche [m²]	15'900	39'700	15'900
Standortareal	0	23'800	0
Nebenzugang	15'900	15'900	15'900
Baugruben [m³]	150'000	340'000	150'000
Standortareal	0	190'000	0
Nebenzugang	150'000	150'000	150'000
Erschliessung [m]	0	1'200	0
Erschliessung Oberflächenanlage	0	1'200	0
Erschliessung Nebenzugang	0	0	0

Zugang nach Untertag und Bauwerke auf Lagerebene

Der Zugang nach Untertag und die Bauwerke auf Lagerebene sind in Abbildung 10 schematisch dargestellt. In Abbildung 13 findet sich ein Profil mit dem räumlichen Verlauf der Achse der 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 bzw. tonige Äquivalente der Übergangsfazies) durchfahren wird, dann verläuft die Rampe 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 geologischen Herausforderungen beim Bau der Zugänge nach Untertag und allfällige geologische Risiken während des Betriebs wurden im Rahmen der Etappe 2 des Sachplans beurteilt.

Die für die Kosten relevanten geometrischen Kennzahlen zum Zugang nach Untertag und zu den Bauwerken auf Lagerebene finden sich in Tabelle 8. Die Zahlen zeigen, dass beim SMA-Lager der Zugangstunnel bezüglich Länge und Ausbruchkubaturen sehr bedeutend ist.

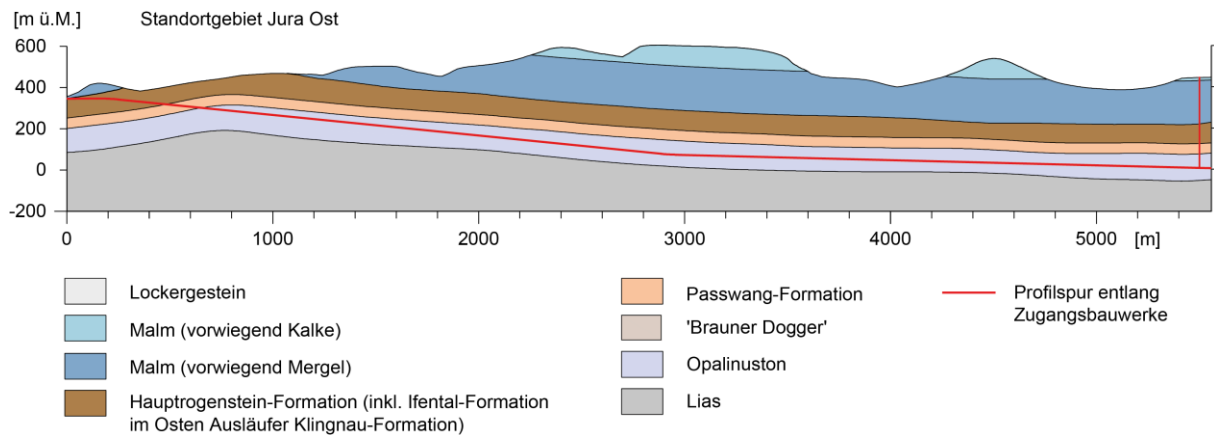


Abbildung 13: Geologisches Längenprofil im Standortgebiet Jura Ost (JO).
 Geologisches Längenprofil entlang den Zugängen nach Untertag (Zugangstunnel, Lüftungsschacht, Nebenzugang) für KS16 angenommenen modellhaften Anordnung der Anlagen für ein SMA-Lager im Standortgebiet Jura Ost (JO) mit dem Standortareal JO-3+ für die Oberflächenanlage.
 Die Bauwerke auf Lagerebene sind gemäss aktueller Planung ungefähr in der Mittellage des Opalinustons angeordnet.

Tabelle 8: Geometrische Kenndaten für den Zugang nach Untertag und die Bauwerke auf Lagerebene des SMA-Lagers in den verschiedenen Phasen der Lagerrealisierung.
 Die Kennzahlen sind direkt relevant für die Kosten. Weitere Erläuterungen: vergleiche Text.

a) Kennzahlen für den Zugang nach Untertag

Phasen und Hauptfunktionen	Erdwissenschaftliche Untersuchungen Untertag	Phase Einlagerungsbetrieb	Beobachtungsphase (nach Verschluss Hauptlager)
Längen / Teufen [m]	6'030	6'910	6'030
Zugangstunnel	5'600	6'480	5'600
Schacht	430	430	430
Ausbruchvolumen [m ³]	370'800	407'000	370'800
Zugangstunnel	351'800	388'000	351'800
Schacht	19'000	19'000	19'000

b) Kennzahlen für die Bauwerke auf Lagerebene

Phasen und Hauptfunktionen	Erdwissenschaftliche Untersuchungen Untertag	Phase Einlagerungsbetrieb	Beobachtungsphase (nach Verschluss Hauptlager)
Länge [m]	1'610	6'470	830
Lagerkammern SMA	0	1'360	0
Übrige Bauwerke	1'610	5'110	830
Ausbruchvolumen [m ³]	44'200	307'900	22'800
Lagerkammern SMA	0	168'000	0
Übrige Bauwerke	44'200	139'900	22'800

4.4 Das Kombilager

Abbildung 14 zeigt die für die Kostenstudie 2016 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 zum Basisprojekt HAA-Lager (Abbildung 9). Abbildung 15 zeigt die für die Kostenstudie 2016 angenommene modellhafte Anordnung der Anlagen für ein Kombilager im Standortgebiet JO mit dem Standortareal JO-3+ für die Oberflächenanlage. Das geologische Längensprofil für den Zugang nach Untertag ist vergleichbar zum Basisprojekt SMA-Lager (Abbildung 13), führt aber noch weiter Richtung Süd-Westen.

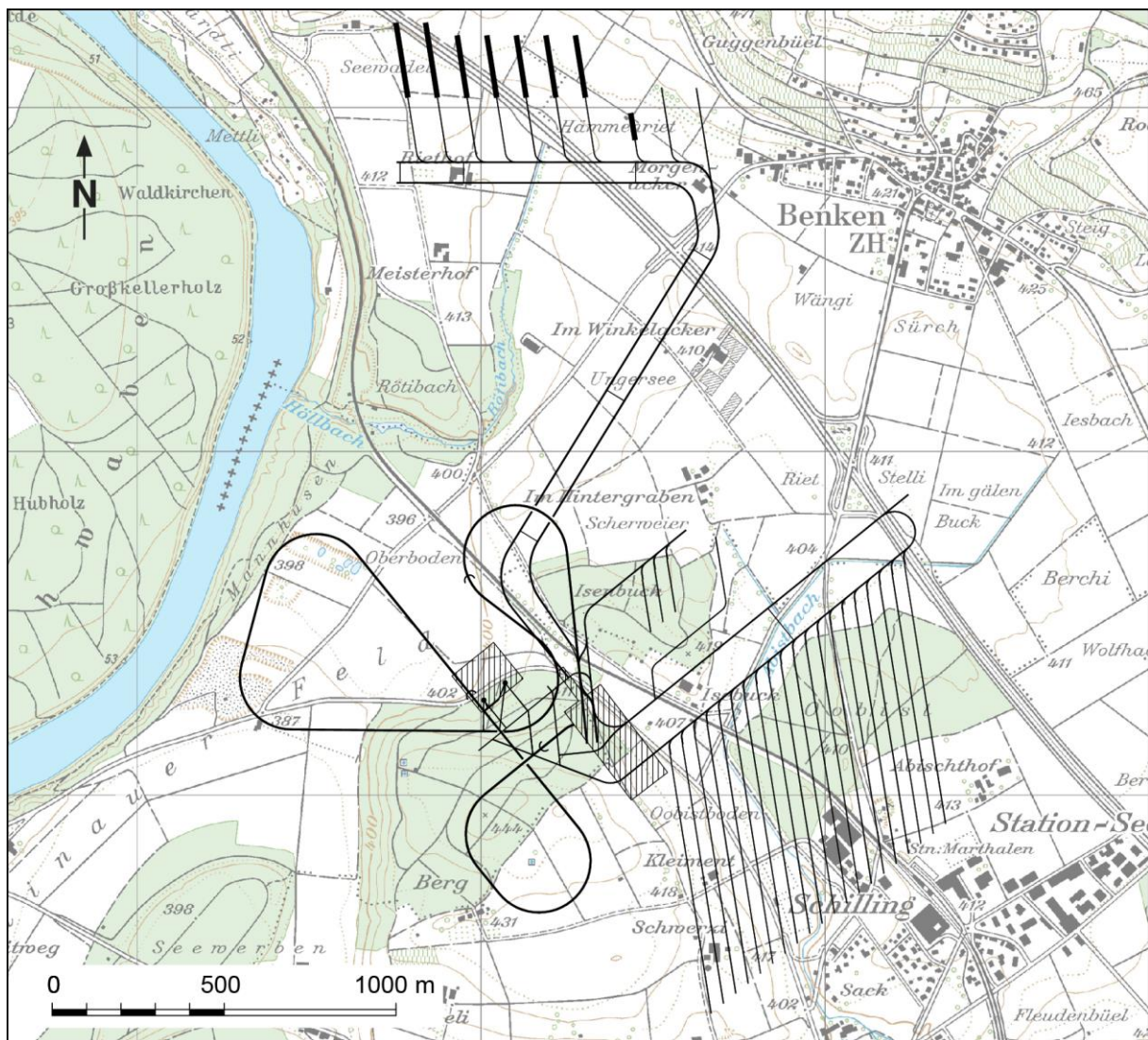


Abbildung 14: Situationsplan und Grundriss mit der für die KS16 angenommenen modellhaften Anordnung der Anlagen für ein Kombilager im Standortgebiet Zürich Nordost (ZNO). Standortareal ZNO-6b für die Oberflächenanlage und mit der für die KS16 angenommenen modellhaften Anordnung des Schachtkopfareals mit den Schachtkopfanlagen (alle schraffiert).

Der Aufbau des Kombilagers mit den Teillagern für HAA und SMA ist grundsätzlich gleich wie der Aufbau der entsprechenden Einzellager – die in Abbildung 6 und 10 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 LMA-Verpackungsanlage. Bezüglich der kostenrelevanten Informationen sind die Unterlagen für das HAA- und SMA-Lager für eine Orientierung direkt anwendbar.

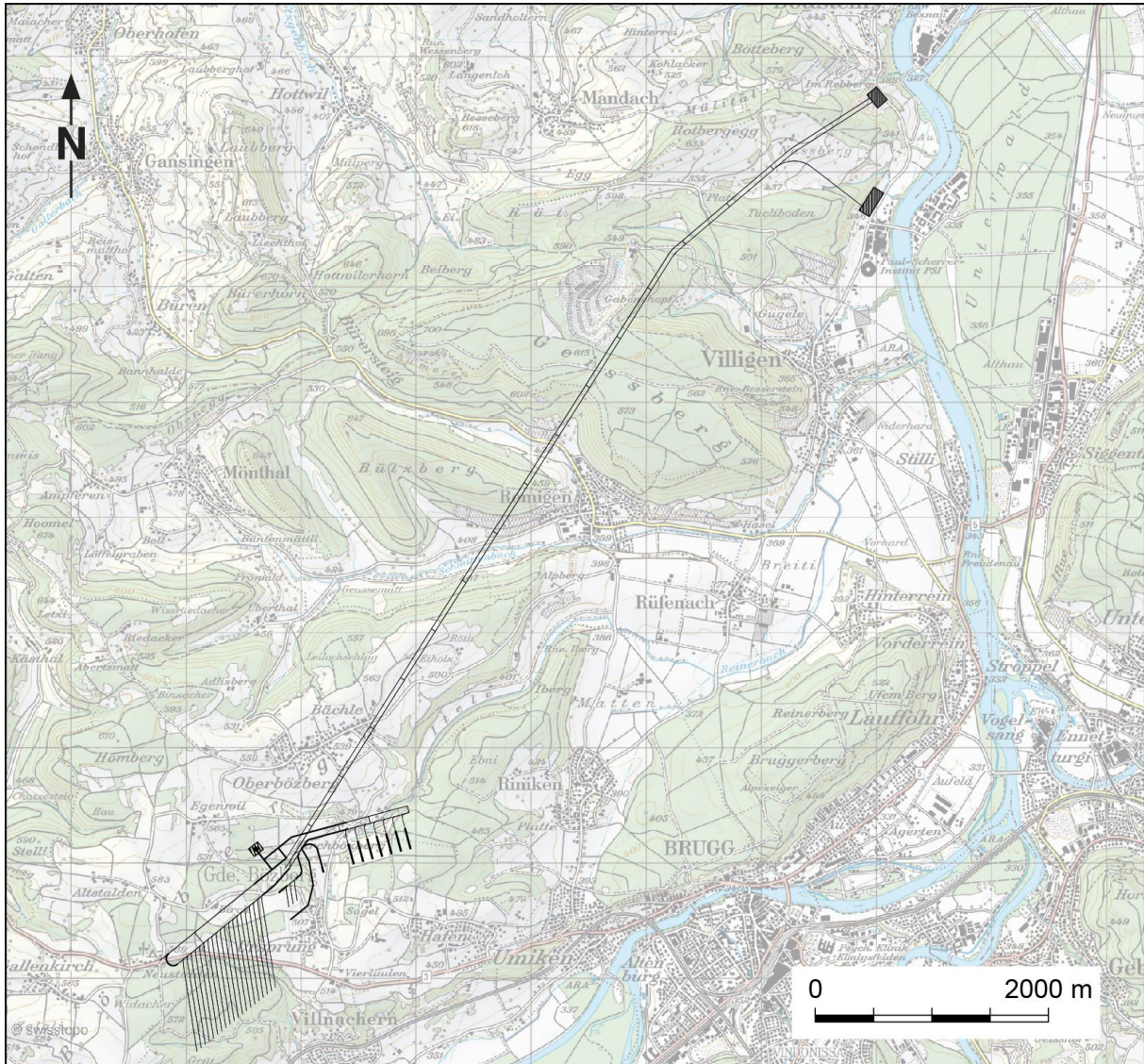


Abbildung 15: Situationsplan und Grundriss mit der für die KS16 angenommenen modellhaften Anordnung der Anlagen für ein Kombilager im Standortgebiet Jura Ost (JO) Standortareal JO-3+ für die Oberflächenanlage und mit der für die KS16 angenommenen modellhaften Anordnung des Nebenzugangs und des Schachtkopfareals mit der Schachtkopfanlage (alle schraffiert).

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 (vgl. dazu die in Kapitel 2.3 aufgeführte Kostenstruktur). 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, etc.); Geodaten-Management, etc.
- Sicherheit und Systemanalysen: Erstellung von Sicherheitsberichten zur periodischen Überprüfung der Sicherheit; Beiträge zur Entscheidungsfindung im Rahmen der Realisierung der Lager; Vorbereitung von Gesuchsunterlagen, etc.
- Radioaktive Materialien: Beratung der Abfallverursacher bzgl. 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, etc.
- 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, etc.
- 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, etc.
- 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, etc.
- Forschung und Entwicklung: Studien und Experimente sowie Versuche in Forschungsfeldlabors; Planung von Versuchen in Sondierbauwerken und (Langzeit-)Versuchen in Testbereichen etc.
- Allgemeine Kosten, insbesondere Aufwendungen für die Führung der Geschäftsstelle: Management, Öffentlichkeitsarbeiten, Versicherungen etc.
- Behördentätigkeiten, Gebühren und Abgeltungen: Begutachtung von Gesuchen, Bewilligungsverfahren, Begleitung der Arbeiten, Gebühren, Abgeltungen (Bundesbehörden, Kantone, Gemeinden).

4.6 Bewertung der Unterlagen für die Kostenschätzung

Die Nagra arbeitet seit etwa 40 Jahren auf dem Gebiet der geologischen Tiefenlagerung und hat seit Anfang der Achtzigerjahre regelmässig Kostenschätzungen für die geologischen Tiefenlager durchgeführt. Diese Kostenschätzungen 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 Hinweise auf 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 das Zwiilag. Die Verpackungsanlage für die BE/HAA kann direkt mit der Umladezelle im Zwiilag verglichen werden, die Verpackungsanlagen für SMA bzw. LMA 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 etc.) bestehen viele Beispiele. Für die Schätzung der diesbezüglichen Kosten wird auf Erfahrungen bzgl. 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, -tunnels 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 etc.). Zusätzlich bestehen breite Erfahrungen aus dem Bergbau. Für die Schätzung 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 Schätzungen beigezogen. Damit ist sichergestellt, dass die 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 etc.) sowie Unterhalts- und Erneuerungskosten. Der notwendige Personalbestand lässt sich vergleichen mit dem Personalbestand für vergleichbare Prozesse (zum Beispiel Umladung von BE, Konditionierung etc.). Die Kosten für Produktionsmaterial lässt 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 Erfahrungszahlen.

Die Verschlusskosten setzen sich zusammen aus den Kosten für die Stilllegung und den Abbruch der Oberflächenanlagen und Demontage der Ausrüstung Untertage, 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-/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 Untertagebauten (vergleichbar mit entsprechenden Arbeiten in Felslabors), regionale Überwachung, Untersuchungen in Felslabors etc.
- 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 Abfälle¹
- Vorbereitung der Lagerprojekte (Projektierung)
- Forschung und Entwicklung: Studien, Laboruntersuchungen, Versuche in Felslabors, Herstellung von Prototypen und Durchführung von Demonstrationsversuchen (Behälter, Einlagerungsvorgang, Rückholung) etc.
- Führung einer Geschäftsstelle mit Kommunikationsaufgaben, Management/Administration, Versicherungen etc.

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

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 Drittleistungen können für alle oben aufgeführten Aufgaben direkt mit Erfahrungszahlen der Nagra (Offerten, Abrechnungen durchgeführter Projekte) verglichen werden.

5 Ergebnisse 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 [2]. Die Entsorgungskosten werden auch im Mantelbericht zusammenfassend präsentiert [1].

Für die Darstellung der Ergebnisse werden die von der Kommission verbindlich vorgegebene Kostenstruktur und Kostengliederung verwendet. Dabei werden die Kosten für die Basisvorhaben SMA-Lager, HAA-Lager und für die Variante Kombilager auf der Stufe der Hauptaktivitäten (Ebene 2 der Kostenstruktur) und – wo zutreffend – auf der Stufe der Objektgruppen (Ebene 3 der Kostenstruktur) dargestellt. Die Gliederung der Kosten für die Vorhaben umfasst die verschiedenen Kostenblöcke gemäss Tabelle 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. 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 Kostenstudie 2016 für die geologischen Tiefenlager entsprechend der Kostengliederung dargestellt. Für die einzelnen Kostenelemente der Kostenstruktur ergeben die Ausgangskosten sowie die zu addierenden Kosten für getroffene Massnahmen zur Risikominderung die Basiskosten. Die zukünftigen Basiskosten ergeben sich durch Abzug der aufgelaufenen Kosten. Zu den Basiskosten werden Zuschläge für Ungenauigkeiten addiert. Dann werden Zuschläge für Gefahren und Abzüge für Chancen eingerechnet. Die Zuschläge und Abzüge werden auch in Prozent der zukünftigen Basiskosten dargestellt. Wie in Kapitel 3 beschrieben, wird wegen der konsequent, einheitlich und umfassend erhobenen Zuschläge für Ungenauigkeiten, der Zuschläge für Gefahren bzw. der Abzüge für Chancen von einem zusätzlichen Sicherheitszuschlag zur Berücksichtigung des «optimism bias» abgesehen; ebenso wird von einem Zuschlag für das «Unbekannte» abgesehen.

5.2 Entsorgungskosten für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager

5.2.1 Überblick

Um die Bedeutung der verschiedenen Kostenblöcke bzw. Kostenniveaus besser beurteilen zu können, wird in Tabelle 9 ein Überblick über die Kosten für das Basisvorhaben mit den beiden Einzellagern für HAA und SMA sowie für die Variante eines Kombilagern mit den Teillagern für HAA und SMA gegeben. Die Gesamtkosten setzen sich gemäss Abbildung 3 zusammen aus den Basiskosten, bestehend aus den Ausgangskosten und den Kosten zur Risikominderung, den Zuschlägen für Ungenauigkeiten, den Zuschlägen für Gefahren und den Abzügen für Chancen. Tabelle 9 enthält neben Kostenzahlen auch Prozentangaben zum Beitrag der verschiedenen Kostenblöcke zu den Gesamtkosten.

5.2.2 Ausgangskosten

Ausgangspunkt für die Schätzung der Kosten ist das Basisvorhaben mit den beiden Einzellagern für HAA und SMA sowie für die Variante eines Kombilagers 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 (inkl. aufgelaufene Kosten) 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 10 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 9 zeigt, tragen die Ausgangskosten mit rund 70 Prozent zu den Gesamtkosten bei. Der Hauptbeitrag zu den Ausgangskosten kommt vom Anlagenbau, dem Betrieb und der Stilllegung, dem Rückbau und dem Verschluss der Anlagen.

Tabelle 9: Gesamtkosten für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager. In den Zahlen sind die Kosten für die Einlagerung der Stilllegungsabfälle in der Höhe von 188 Millionen Franken (Gesamtkosten) nicht enthalten. Für den Vergleich mit den Tabellen weiter hinten im Text ist zu beachten, dass dort in den Zuschlägen für die Gefahren die Mehr-/Minderkosten für die Standortvarianten mit eingerechnet werden.

	HAA-Lager		SMA-Lager		Total Einzellager		Kombilager	
	[in % Gesamtkosten]	[MCHF]	[in % Gesamtkosten]	[MCHF]	[in % Gesamtkosten]	[MCHF]	[in % Gesamtkosten]	[MCHF]
Ausgangskosten (1)	71%	5'453	73%	3'209	71%	8'662	70%	7'292
Kosten zur Risikominderung (2)	6%	433	7%	326	6%	759	7%	741
Basiskosten (3)	77%	5'886	80%	3'535	78%	9'421	77%	8'033
Aufgelaufene Kosten	9%	723	13%	573	11%	1'296	12%	1'296
Zukünftige Basiskosten	67%	5'163	67%	2'962	67%	8'125	64%	6'737
Zuschläge für Ungenauigkeiten (4)	14%	1'103	14%	606	14%	1'708	14%	1'418
Zuschläge für Gefahren (5)	9%	712	9%	415	9%	1'128	9%	991
Abzüge für Chancen (6)	-2%	-154	-2%	-76	-2%	-230	-1%	-64
Zusätzlicher Sicherheitszuschlag (8)	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
Gesamtkosten	98%	7'546	101%	4'480	99%	12'026	99%	10'377
Mehr-/Minderkosten Standortvarianten (gewichtet)	2%	148	-1%	-56	1%	92	1%	112
Zuschläge auf zukünftige Basiskosten	23%	1'808	20%	889	22%	2'697	23%	2'456
Zuschläge auf zukünftige Basiskosten [%] ¹⁾	35%		30%		33%		36%	
Zuschläge für Ungenauigkeiten [%] ¹⁾	21%		20%		21%		21%	
Zuschläge für Gefahren [%] ¹⁾	17%		12%		15%		16%	
Abzüge für Chancen [%] ¹⁾	-3%		-3%		-3%		-1%	
Gesamtkosten inklusive Standortvarianten	100%	7'694	100%	4'424	100%	12'118	100%	10'489

¹⁾ in Prozent der zukünftigen Basiskosten

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

Tabelle 10: Ausgangskosten für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager. In den Zahlen sind die Ausgangskosten für die Einlagerung der Stilllegungsabfälle nicht enthalten. Ausgangskosten für Objektgruppen in kursiver Schrift.

Hauptaktivitäten / Objektgruppen	HAA-Lager		SMA-Lager		Total Einzellager		Kombilager	
	[in %]	[MCHF]	[in %]	[MCHF]	[in %]	[MCHF]	[in %]	[MCHF]
Aufgelaufene Kosten	9%	506	12%	401	10%	907	12%	907
Erdwissenschaftliche Arbeiten	6%	341	7%	232	7%	573	7%	517
Sicherheit und Systemanalysen	2%	110	3%	83	2%	192	3%	194
Radioaktive Materialien	1%	30	1%	49	1%	79	1%	91
Anlagenplanung und –bau	32%	1'738	30%	951	31%	2'688	28%	2'037
<i>Oberflächeninfrastruktur</i>		971		283		1'255		985
<i>Zugang nach Untertag</i>		439		395		833		439
<i>Bauwerke auf Lagerebene</i>		237		204		441		452
<i>Andere</i>		91		68		159		162
Anlagenbetrieb	27%	1'479	21%	636	25%	2'116	23%	1'686
<i>Oberflächeninfrastruktur</i>		487		155		642		498
<i>Zugang nach Untertag</i>		0		0		0		0
<i>Bauwerke auf Lagerebene</i>		857		383		1'239		1'064
<i>Andere</i>		135		99		234		125
Forschung und Entwicklung	3%	157	2%	81	3%	238	4%	263
Stilllegung, Rückbau und Verschluss	10%	537	11%	357	10%	894	10%	692
<i>Oberflächeninfrastruktur</i>		126		32		158		128
<i>Zugang nach Untertag</i>		134		184		318		247
<i>Bauwerke auf Lagerebene</i>		275		139		414		315
<i>Andere</i>		2		2		4		2
Allgemeine Kosten	6%	312	8%	251	6%	563	7%	524
Behörden­tätigkeit, Gebühren	4%	242	5%	168	5%	411	5%	381
Total	100%	5'453	100%	3'209	100%	8'662	100%	7'292

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

5.2.3 Kosten zur Risikominderung

Risikomindernde Massnahmen haben das Ziel, Gefahren zu vermeiden oder zu reduzieren und 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). Die strategischen Massnahmen betreffen den geeigneten Umgang mit dem technischen, dem planerischen und dem 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. Weiter sind spezifische technische sowie 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).

Diese Massnahmen verursachen Kosten, die gemäss Tabelle 9 etwas mehr als 5 Prozent zu den Gesamtkosten beitragen. Tabelle 11 enthält die Kosten zur Risikominderung für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager, aufgeschlüsselt nach den Hauptaktivitäten.

Wie aus Tabelle 11 ersichtlich ist, ergeben sich Kosten zur Risikominderung für die Hauptaktivitäten «Erdwissenschaftliche Arbeiten», «Sicherheit und Systemanalysen», «Forschung und Entwicklung» und die «Allgemeinen Kosten» (Kosten der Geschäftsstelle zur technisch-wissenschaftlichen und administrativen Führung des Vorhabens, inkl. Kommunikation). Die schon getätigten Ausgaben zur Risikominderung betreffen erdwissenschaftliche Untersuchungen, Forschungs- und Entwicklungsarbeiten und Aufwendungen für die Erarbeitung der Grundlagen und für den heutigen Stand der Standortwahl. Mit diesen Aufwendungen wird sichergestellt, dass mit der Rahmenbewilligung geeignete Standorte gewählt und geeignete Lagerkonzepte festgelegt werden. Weiter wird mit diesen Aufwendungen das Verständnis für die Notwendigkeit der Entsorgung der radioaktiven Abfälle gefördert, um die notwendige Akzeptanz für die Realisierung der Tiefenlager zu erreichen. Auch die zukünftigen Kosten zur Risikominderung betreffen ähnliche Themen, wobei die Aktivitäten mit Fortschritt des Projekts immer fokussierter auf den Bau, den Betrieb und schliesslich den Verschluss werden (inkl. der dazu gehörenden Überwachungsmaßnahmen) und dann schrittweise wegfallen. Bei den zukünftigen Kosten zur Risikominderung liegt der Schwerpunkt bei den breit angelegten erdwissenschaftlichen Arbeiten (inkl. baubegleitende Charakterisierung, Monitoring und Beweissicherung), bei der Systemanalyse, bei der Forschung und Entwicklung sowie bei den allgemeinen Kosten mit dem Management und der Kommunikation.

Tabelle 11: Kosten zur Risikominderung für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager. In den Zahlen sind die Kosten zur Risikominderung für die Einlagerung der Stilllegungsabfälle nicht enthalten.

Hauptaktivitäten / Objektgruppen	HAA-Lager		SMA-Lager		Total Einzellager		Kombilager	
	[in %]	[MCHF]	[in %]	[MCHF]	[in %]	[MCHF]	[in %]	[MCHF]
Erdwissenschaftliche Arbeiten	14%	62	12%	39	13%	102	12%	92
Sicherheit und Systemanalysen	2%	9	2%	6	2%	15	2%	16
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	14%	61	10%	31	12%	92	14%	103
Stilllegung, Rückbau und Verschluss	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
Allgemeine Kosten	20%	84	24%	77	21%	162	19%	141
Behördentätigkeit, Gebühren	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
Schon getätigte Ausgaben zur Risikominderung	50%	217	53%	172	51%	389	53%	389
Total	100%	433	100%	326	100%	759	100%	741

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

5.2.4 Basiskosten

Die Basiskosten setzen sich zusammen aus den Ausgangskosten und den Kosten zur Risikominderung. Die Basiskosten umfassen rund 80 Prozent der Gesamtkosten (vgl. Tabelle 9). Innerhalb der Basiskosten (vgl. Tabelle 12) bilden Ausgaben für die Anlagen (Objektgruppen bei Bau, Betrieb und Stilllegung/Verschluss und zugehörige Arbeiten) den Schwerpunkt (deutlich mehr als 50 Prozent).

Tabelle 12: Basiskosten für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager. In den Zahlen sind die Basiskosten für die Einlagerung der Stilllegungsabfälle nicht enthalten. Basiskosten für Objektgruppen in kursiver Schrift.

Hauptaktivitäten / Objektgruppen	HAA-Lager		SMA-Lager		Total Einzellager		Kombilager	
	[in %]	[MCHF]	[in %]	[MCHF]	[in %]	[MCHF]	[in %]	[MCHF]
Aufgelaufene Kosten	12%	723	16%	573	14%	1'296	16%	1'296
Erdwissenschaftliche Arbeiten	7%	404	7%	271	7%	675	7%	608
Sicherheit und Systemanalysen	2%	118	2%	89	2%	207	3%	210
Radioaktive Materialien	1%	30	1%	49	1%	79	1%	91
Anlagenplanung und –bau	30%	1'738	28%	951	29%	2'688	26%	2'037
<i>Oberflächeninfrastruktur</i>		971		283		1'255		985
<i>Zugang nach Untertag</i>		439		395		833		439
<i>Bauwerke auf Lagerebene</i>		237		204		441		452
<i>Andere</i>		91		68		159		162
Anlagenbetrieb	25%	1'479	19%	636	23%	2'116	21%	1'686
<i>Oberflächeninfrastruktur</i>		487		155		642		498
<i>Zugang nach Untertag</i>		0		0		0		0
<i>Bauwerke auf Lagerebene</i>		857		383		1239		1'064
<i>Andere</i>		135		99		234		125
Forschung und Entwicklung	4%	218	3%	112	3%	330	4%	365
Stilllegung, Rückbau und Verschluss	9%	537	10%	357	10%	894	9%	692
<i>Oberflächeninfrastruktur</i>		126		32		158		128
<i>Zugang nach Untertag</i>		134		184		318		247
<i>Bauwerke auf Lagerebene</i>		275		139		414		315
<i>Andere</i>		2		2		4		2
Allgemeine Kosten	7%	396	9%	329	8%	725	8%	665
Behörden­tätigkeit, Gebühren	4%	242	5%	168	4%	411	5%	381
Total	100%	5'886	100%	3'535	100%	9'421	100%	8'033

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

5.2.5 Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten

Tabelle 13 enthält die Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager, aufgeschlüsselt nach den Hauptaktivitäten. Die Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten tragen etwa mit 15 Prozent zu den Gesamtkosten bei (vgl. Tabelle 9). Ihr Beitrag zu den zukünftigen Basiskosten beträgt etwa 20 Prozent (vgl. Tabelle 9). Innerhalb der Basiskosten bilden Ausgaben für die Anlagen (Objektgruppen bei Bau, Betrieb und Stilllegung/Verschluss und zugehörige Arbeiten) den Schwerpunkt (deutlich mehr als 60 Prozent).

*Tabelle 13: Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager.
 In den Zahlen sind die Zuschläge für die Einlagerung der Stilllegungsabfälle nicht enthalten.
 Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten für Objektgruppen in kursiver Schrift.*

Hauptaktivitäten / Objektgruppen	HAA-Lager		SMA-Lager		Total Einzellager		Kombilager	
	[in %]	[MCHF]	[in %]	[MCHF]	[in %]	[MCHF]	[in %]	[MCHF]
Erdwissenschaftliche Arbeiten	8%	90	10%	61	9%	151	9%	134
Sicherheit und Systemanalysen	2%	21	3%	16	2%	37	3%	36
Radioaktive Materialien	0%	3	1%	6	1%	9	1%	10
Anlagenplanung und -bau	37%	409	43%	254	39%	663	35%	487
<i>Oberflächeninfrastruktur</i>		191		57		248		193
<i>Zugang nach Untertag</i>		138		126		264		138
<i>Bauwerke auf Lagerebene</i>		71		63		133		138
<i>Andere</i>		10		8		18		18
Anlagenbetrieb	26%	284	15%	86	22%	370	22%	315
<i>Oberflächeninfrastruktur</i>		101		19		119		101
<i>Zugang nach Untertag</i>		0		0		0		0
<i>Bauwerke auf Lagerebene</i>		169		56		225		201
<i>Andere</i>		15		11		26		14
Forschung und Entwicklung	5%	57	4%	26	5%	83	6%	90
Stilllegung, Rückbau und Verschluss	12%	133	13%	76	12%	208	12%	174
<i>Oberflächeninfrastruktur</i>		23		5		28		24
<i>Zugang nach Untertag</i>		36		40		76		66
<i>Bauwerke auf Lagerebene</i>		73		30		104		84
<i>Andere</i>		0		0		0		0
Allgemeine Kosten	5%	54	7%	45	6%	99	6%	91
Behördentätigkeit, Gebühren	5%	51	6%	36	5%	87	6%	80
Total	100%	1'103	100%	606	100%	1'708	100%	1'418

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

5.2.6 Kostenzuschläge für Gefahren

Die Kostenzuschläge für Gefahren betragen rund 15 Prozent der zukünftigen Basiskosten, vergleiche Tabelle 9. In Tabelle 14 sind die Risikowerte für die berücksichtigten Gefahren aufgeführt. Diese kommen bei den verschiedenen Typen von betrachteten Varianten (Standortvarianten, Auslegungsvarianten, Änderungen von Dimensionen, Änderungen beim Aufwand) zum Tragen (Tabelle 14a). Für die verschiedenen Gefahren gibt es unterschiedliche Gründe für die Abweichungen beziehungsweise Änderungen; diese sind Tabelle 14b aufgeführt. Tabelle 14a zeigt, dass der Hauptbeitrag der Gefahren aus Abweichungen beim Aufwand stammt; die Gründe der Abweichungen sind verschiedenartig (Tabelle 14b).

Tabelle 14: Risikowerte für die in der Kostenstudie 2016 berücksichtigten Gefahren für das SMA- und HAA-Lager sowie für die Variante Kombilager. In den Zahlen sind die Zuschläge für die Einlagerung der Stilllegungsabfälle nicht enthalten.

a) Gefahren für die verschiedenen Typen von betrachteten Varianten.

Gefahren	HAA-Lager		SMA-Lager		Total Einzellager		Kombilager	
	[%]	[MCHF]	[%]	[MCHF]	[%]	[MCHF]	[%]	[MCHF]
Standortvarianten	17%	148	-16%	-56	8%	92	10%	112
Auslegungsvarianten	1%	11	7%	25	3%	36	1%	11
Änderung Dimensionen von (Teil-)Objekten	5%	41	19%	69	9%	110	6%	68
Änderung Aufwand	77%	660	90%	322	81%	982	83%	912
Total	100%	860	100%	359	100%	1219	100%	1'103

b) Gefahren für die verschiedenen Abweichungsbegründungen.

Gefahren	HAA-Lager		SMA-Lager		Total Einzellager		Kombilager	
	[%]	[MCHF]	[%]	[MCHF]	[%]	[MCHF]	[%]	[MCHF]
Technische Abläufe, behördliche Verfahren	25%	218	23%	84	25%	302	26%	285
Standards und Gesetze	3%	24	18%	66	7%	90	5%	51
Geologie / Technologie	14%	116	19%	67	15%	183	13%	144
Gesellschaftliches Umfeld, Markt	34%	296	51%	184	39%	480	41%	446
Technologie und Wissenschaft	2%	21	3%	9	2%	30	3%	28
Markt	4%	36	1%	4	3%	40	3%	37
Geologie (Standortvarianten)	17%	148	-16%	-56	8%	92	10%	112
Total	100%	860	100%	359	100%	1219	100%	1'103

In Tabelle 15 sind die Kostenzuschläge für Gefahren für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager nach den Hauptaktivitäten aufgeschlüsselt.

Wie aus Tabelle 15 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 15: *Kostenzuschläge für Gefahren für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager.
 In den Zahlen sind die Zuschläge für die Einlagerung der Stilllegungsabfälle nicht enthalten.
 Kostenzuschläge für Gefahren für Objektgruppen in kursiver Schrift.*

Hauptaktivitäten / Objektgruppen	HAA-Lager		SMA-Lager		Total Einzellager		Kombilager	
	[in %]	[MCHF]	[in %]	[MCHF]	[in %]	[MCHF]	[in %]	[MCHF]
Erdwissenschaftliche Arbeiten	6%	55	4%	14	6%	69	6%	64
Sicherheit und Systemanalysen	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
Radioaktive Materialien	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
Anlagenplanung und -bau	16%	135	31%	112	20%	247	15%	167
<i>Oberflächeninfrastruktur</i>		12		0		12		12
<i>Zugang nach Untertag</i>		74		60		134		74
<i>Bauwerke auf Lagerebene</i>		0		14		14		12
<i>Andere</i>		49		38		87		68
Anlagenbetrieb	7%	60	7%	25	7%	84	7%	79
<i>Oberflächeninfrastruktur</i>		35		3		39		39
<i>Zugang nach Untertag</i>		4		2		6		4
<i>Bauwerke auf Lagerebene</i>				8		8		8
<i>Andere</i>		21		12		33		29
Forschung und Entwicklung	1%	5	1%	3	1%	8	1%	8
Stilllegung, Rückbau und Verschluss	2%	20	6%	22	3%	42	2%	24
<i>Oberflächeninfrastruktur</i>		2		0		2		2
<i>Zugang nach Untertag</i>		16		16		32		16
<i>Bauwerke auf Lagerebene</i>		0		3		3		3
<i>Andere</i>		3		2		5		3
Allgemeine Kosten	2%	18	4%	14	3%	32	2%	18
Behördentätigkeit, Gebühren und Abgeltungen	29%	250	42%	150	33%	400	36%	400
Übergreifende Gefahren	37%	317	6%	21	28%	337	31%	342
Total	100%	860	100%	359	100%	1'219	100%	1'103

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

5.2.7 Kostenabzüge für Chancen

In Tabelle 16 sind die Risikowerte für die berücksichtigten Chancen aufgeführt. Die Abweichungen sind im Vergleich zu den zukünftigen Basiskosten unbedeutend (rund 3 Prozent), vgl. Tabelle 9. Die Chancen kommen nur bei einigen der Typen von betrachteten Varianten (Standortvarianten, Auslegungsvarianten, Änderungen von Dimensionen, Änderungen beim Aufwand) zum Tragen (Tabelle 16a). Für die verschiedenen Chancen gibt es unterschiedliche Gründe für die Abweichungen; diese sind Tabelle 16b aufgeführt.

Tabelle 16: Risikowerte für die in der Kostenstudie 2016 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]
Standortvarianten	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
Auslegungsvarianten	99%	-152	91%	-69	96%	-221	96%	-61
Änderung Dimensionen von (Teil-)Objekten	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
Änderung Aufwand	1%	-2	9%	-7	4%	-9	4%	-3
Total	100%	-154	100%	-76	100%	-230	100%	-64

b) Chancen für die verschiedenen Abweichungsbegründungen.

Chancen	HAA-Lager		SMA-Lager		Total Einzellager		Kombilager	
	[%]	[MCHF]	[%]	[MCHF]	[%]	[MCHF]	[%]	[MCHF]
Technische Abläufe, behördliche Verfahren	59%	-91	0%	0	40%	-91	0%	0
Standards und Gesetze	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
Geologie / Technologie	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
Gesellschaftliches Umfeld, Markt	0%	0	91%	-69	30%	-69	0%	0
Technologie und Wissenschaft	28%	-43	9%	-7	22%	-50	68%	-43
Markt	14%	-21	0%	0	9%	-21	32%	-21
Geologie (Standortvarianten)	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
Total	100%	-154	100%	-76	100%	-230	100%	-64

In Tabelle 17 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 17: *Kostenabzüge für Chancen für das HAA- und SMA-Lager sowie für die Variante Kombilager. Kostenabzüge für Chancen für Objektgruppen in kursiver Schrift. 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.*

Hauptaktivitäten / Objektgruppen	HAA-Lager		SMA-Lager		Total Einzellager		Kombilager	
	[in %]	[MCHF]	[in %]	[MCHF]	[in %]	[MCHF]	[in %]	[MCHF]
Erdwissenschaftliche Arbeiten	0%	0	0%	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	65%	-100	65%	-49	65%	-149	61%	-39
<i>Oberflächeninfrastruktur</i>		0		-49		-49		0
<i>Zugang nach Untertag</i>		-11		0		-11		-11
<i>Bauwerke auf Lagerebene</i>		0		0		0		0
<i>Andere</i>		-90		0		-90		-29
Anlagenbetrieb	-4%	6	19%	-14	3%	-8	-24%	16
<i>Oberflächeninfrastruktur</i>		11		-14		-4		11
<i>Zugang nach Untertag</i>		5		0		5		5
<i>Bauwerke auf Lagerebene</i>		0		0		0		0
<i>Andere</i>		-9		0		-9		0
Forschung und Entwicklung	1%	-2	1%	-1	1%	-3	5%	-3
Stilllegung, Rückbau und Verschluss	38%	-58	15%	-12	30%	-70	59%	-38
<i>Oberflächeninfrastruktur</i>		0		-12		-12		0
<i>Zugang nach Untertag</i>		-35		0		-35		-35
<i>Bauwerke auf Lagerebene</i>		0		0		0		0
<i>Andere</i>		-23		0		-23		-3
Allgemeine Kosten	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
Behördentätigkeit, Gebühren und Abgeltungen	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
Übergreifende Chancen	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
Total	100%	-154	100%	-76	100%	-230	100%	-64

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

5.2.8 Nicht berücksichtigte Gefahren und Chancen

Nachfolgend werden die bedeutenden, nicht berücksichtigten Gefahren und Chancen in Reihenfolge ihres Auftretens diskutiert. Neben einer kurzen Beschreibung (inkl. Einschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit) wird auch ein Hinweis auf die möglichen Kostenfolgen gegeben.

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 bzgl. 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.
- Extremer Wassereinbruch während des Baus der Sondierschächte. Wegen der vorgängigen geologischen Erkundung und der baubegleitenden Vorauserkundung wird ein extremer Wassereinbruch als sehr unwahrscheinlich eingeschätzt. Wird trotzdem ein extremer Wassereinbruch unterstellt mit nachfolgend entweder einer Sanierung des Bauwerks oder aber der Aufgabe des Schachts und Erstellung eines neuen Schachts, wären die Kostenfolgen zwar erheblich, aber begrenzt (einige 10 Millionen Franken bis ca. 200 Millionen Franken (wenige Prozent der Gesamtkosten)).
- Extremer Wassereinbruch während der untertägigen Exploration. Wegen der vorgängigen geologischen Erkundung, der baubegleitenden Vorauserkundung während des Baus und des druckwasserhaltenden Ausbaus der Sondierschächte sowie einer Bauwerksüberwachung wird ein extremer Wassereinbruch als sehr unwahrscheinlich eingeschätzt. Wird trotzdem ein extremer Wassereinbruch unterstellt mit nachfolgender Sanierung der Bauwerke und Wiederherstellung der Experimente, wären die Kostenfolgen begrenzt (einige Millionen Franken bis wenige 10 Millionen Franken (weniger als 1 Prozent der Gesamtkosten)).
- 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 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 und die Untersuchungen Untertag und die Kosten für Studien und Eigenleistungen für das Projekt.
Unter Berücksichtigung, dass die grossen Investitionen nach hinten geschoben werden und während dieser Zeit Zinserträge des geäußerten Fonds anfallen, zeigt sich, dass dies keine bedeutend höheren Rückstellungen verlangt.
- Extremer Wassereinbruch während des Baus der Zugangsbauwerke zum Lager. Wegen den Informationen aus den vorgängig erstellten Sondierbauwerken, der vorgängigen geologischen Erkundung und der baubegleitenden Vorauserkundung wird ein extremer Wassereinbruch als sehr unwahrscheinlich eingeschätzt. Wird trotzdem ein extremer Wassereinbruch unterstellt mit nachfolgender Sanierung oder einer Anpassung der Linienführung, wären die Kostenfolgen zwar erheblich, aber begrenzt (einige 10 Mio. bis ca. 200 Millionen Franken (wenige Prozent der Gesamtkosten)).

- Aufgabe des Standorts wegen ungünstiger geologischer Befunde während des Baus des Lagers. Das Lager wird an einem Reservestandort realisiert. Wegen der umfangreichen Untersuchungen vor Baubeginn (inkl. Sondierbauwerke mit umfangreichen Untersuchungen) 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 Wassereinbruch während des Betriebs des Lagers. Wegen der vorgängigen geologischen Erkundung, der baubegleitenden Vorauserkundung während des Baus und des Ausbaus der Zugangsbauwerke sowie einer Bauwerksüberwachung verbunden mit Unterhalt und Erneuerungen wird ein extremer Wassereinbruch als sehr unwahrscheinlich eingeschätzt. Falls es zu einem extremen Wassereinbruch käme, könnte es zu Schäden an den offenen Bauwerksteilen kommen, die zu sanieren wären. Da der Anteil an offenen Bauwerksteilen beschränkt ist (laufende Verfüllung und Versiegelung der befüllten Lagerkammern), wären die Kostenfolgen erheblich, aber begrenzt (einige 100 Millionen Franken (einige Prozent der Gesamtkosten)).
- Rückholung eines Teils der Endlagerbehälter nach Verschluss der Lagerkammern. Wegen der sehr umfangreichen Abklärungen vor Beginn der Einlagerung, den zahlreichen externen Reviews im Rahmen der Bewilligungen wird dies als sehr unwahrscheinlich eingeschätzt. Die Kostenfolgen hängen vom Grund der Rückholung bzw. den nachfolgenden Tätigkeiten ab. Diese Rückholung wird in der Grössenordnung als etwas höher als der Einlagerungsvorgang eingestuft – zusätzlich kommen dann noch die Kosten des Umgangs mit den rückgeholteten Endlagerbehältern dazu. Je nach Umfang der rückgeholteten Endlagerbehälter und dem nachfolgenden Aufwand wird von Kostenfolgen in der Grössenordnung von einigen 10 Prozent der Gesamtkosten ausgegangen.

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 Kostenschätzung 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.
- Auch die Auslegung der BE/HAA-Lagerstollen wird in Zukunft bezüglich Optimierungspotenzials zu prüfen sein (Verwendung von alternativem Verfüllmaterial für BE/HAA-Lagerstollen, Verzicht auf Zwischensiegel, etc.). Die heute vorhandenen Informationen lassen es noch nicht zu, diese Optionen einzubeziehen.
- 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 bzgl. gemeinsamer Nutzung von Infrastruktur (inkl. Verpackungsanlagen), die jedoch noch vertieft zu prüfen sind, bevor sie als Chance berücksichtigt werden können.

5.2.9 zusätzlicher Sicherheitszuschlag

Die Aufsummierung der Basiskosten und der Zuschläge (ev. Abzüge) für Ungenauigkeiten und Risiken führt zusammen mit den bereits aufgelaufenen Kosten zu den voraussichtlichen Gesamtkosten des Vorhabens auf der Basis des aktuellen Planungsstandes. Von einem zusätzlichen, über die Zuschläge für Ungenauigkeiten und Risiken hinausgehenden Sicherheitszuschlag zur Berücksichtigung des «optimism bias»⁴² wird wegen der konsequent, einheitlich und umfassend erhobenen Zuschläge für Ungenauigkeiten und Zuschlägen bzw. Abzügen für Gefahren bzw. Chancen abgesehen.

Hier ist auch der Zuschlag für das «Unbekannte» zu beachten, wie er heute teilweise bei Kostenschätzungen für Grossprojekte verwendet wird. Die Notwendigkeit bzw. der Umfang eines solchen Zuschlags hängt von den Eigenschaften der einzelnen Kostenelemente des Projekts (Kenntnisstand, Komplexität, etc.) und von den für diese Kostenelemente schon eingerechneten Zuschlägen für Ungenauigkeiten und Gefahren ab. Weiter sind auch der Stand des Projekts (Standortwahl: Etappe 2 SGT; Projektierung: Stufe Vorstudie) und die Finanzierung des Projekts zu beachten, insbesondere die Möglichkeit zur Korrektur der Finanzierung, inkl. Nachfinanzierung durch die Entsorgungspflichtigen. Unter Berücksichtigung dieser Aspekte wird für die Kostenstudie 2016 von der Einrechnung eines Zuschlags für das «Unbekannte» abgesehen. Im Rahmen der periodischen Aktualisierung der Kostenstudie (alle 5 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 Kostenschätzung bestehende Planungssituation (Fortschritt der Projektentwicklung, Kostenentwicklung und Risikosituation) wird für die Festlegung der Zuschläge für Ungenauigkeiten und Gefahren bzw. die Abzüge für Chancen herangezogen. Dort wird auch geprüft, ob es Erkenntnisse gibt, welche Zuschläge für weitere Elemente erfordern.

5.2.10 Gesamtkosten

Die Gesamtkosten setzen sich gemäss Abbildung 3 zusammen aus den Basiskosten, bestehend aus den Ausgangskosten und den Kosten zur Risikominderung, den Zuschlägen für Ungenauigkeiten, den Zuschlägen für Gefahren und den Abzügen für Chancen. Von einem zusätzlichen Sicherheitszuschlag wird abgesehen (vgl. Kap. 5.2.9). In den vorangehenden Kapiteln wurden für die beiden Einzellager und für das Kombilager die Kosten dieser einzelnen Kostenblöcke und der Kostenniveaus besprochen; eine Übersicht über ihr Beitrag zu den Gesamtkosten kann Tabelle 9 entnommen werden. Damit liegen die Grundlagen vor, um die Gesamtkosten unter Berücksichtigung der Lagervarianten und ihre Verteilung auf die Entsorgungspflichtigen zu diskutieren. Dies geschieht im nächsten Kapitel.

⁴² Zur Unterscheidung des in der SEFV verwendeten Begriffs 'Sicherheitszuschlag' (gesamter Zuschlag auf die zukünftigen Basiskosten, vgl. Anhang 1, SEFV) wird hier der Begriff 'zusätzlicher Sicherheitszuschlag' verwendet, welcher aufzeigen soll, dass es sich um Zuschläge handelt, welche zusätzlich zu den Zuschlägen für Ungenauigkeiten und Risiken dazu kommen.

5.3 Gesamtkosten

5.3.1 Überblick

Tabelle 18 zeigt einen Überblick der Kosten für die geologischen Tiefenlager unter Berücksichtigung der Kostenblöcke und 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 18 als Grundlage für die Ableitung der Bemessungsgrundlage für die Fondsbeiträge⁴³ als zusätzliche Variante auch Gesamtkosten aufgeführt, wo die Realisierung eines Kombilagerns anstelle von zwei Einzellagern als Chance mit einem Gewicht von 50 Prozent berücksichtigt wird.

Tabelle 18 zeigt, dass für das Total der beiden Einzellager die Ausgangskosten etwa 70 Prozent der Gesamtkosten betragen und dass etwas mehr als 5 Prozent der Gesamtkosten für Massnahmen zur Risikominderung aufgewendet werden. Die Basiskosten für die beiden Einzellager betragen rund 80 Prozent der Gesamtkosten. Die nach Abzug der aufgelaufenen Kosten (rund 10 Prozent) resultierenden zukünftigen Basiskosten der Einzellager betragen rund 65 Prozent der Gesamtkosten. Die gesamthaft getätigten Zuschläge und Abzüge für Ungenauigkeiten, Gefahren und Chancen betragen für die Einzellager rund 35 Prozent der zukünftigen Basiskosten. Die mit 50 Prozent gewichteten Mehr/Minderkosten für die Standortvarianten der Einzellager betragen etwa 1 bis 2 Prozent der jeweiligen Gesamtkosten.

Die Berücksichtigung der Variante, wo die Realisierung eines Kombilagerns anstelle von zwei Einzellagern als Chance mit einem Gewicht von 50 Prozent berücksichtigt wird (Grundlage für die Ableitung der Bemessungsgrundlage für die Fondsbeiträge), führt zu einer Reduktion der Gesamtkosten um etwas mehr als 5 Prozent.

Die Tabelle 22 in Anhang A.3 zeigt die gleiche Information wie Tabelle 18 für eine 47-jährige Betriebszeit für KKM und eine 60-jährige Betriebszeit für die anderen KKW.

5.3.2 Vergleich mit der Kostenstudie 2016 mit der Kostenstudie 2011

Tabelle 19 zeigt einen Vergleich der Gesamtkosten gemäss Kostenstudie 2016 mit den Gesamtkosten gemäss Kostenstudie 2011. Tabelle 19 enthält neben den Gesamtkosten auch die aufgelaufenen Kosten; die Darstellung der verschiedenen Kostenblöcke bzw. Kostenniveaus gemäss Kostengliederung ist nicht möglich, da diese in der Kostenstudie 2011 noch nicht zu bestimmen waren. Ebenso ist ein Vergleich der Variante Kombilager nicht möglich, da diese in der Kostenstudie 2011 wegen der dort verwendeten Methodik (keine Betrachtung von Varianten) nicht berücksichtigt wurde. Die Schätzungen werden jeweils zur Preisbasis des Jahres der Kostenermittlung durchgeführt. Für den direkten Vergleich werden die in der Kostenstudie 2011 geschätzten Kosten mit der in der Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung (SEFV) verankerten und im Rückstellungsmodell berücksichtigten Teuerungsrate von 1.5 Prozent / a von der Preisbasis 2011 (PB11) auf die Preisbasis 2016 (PB16) hochgerechnet. Teuerungsbereinigt steigen die Gesamtkosten für die Einzellager um 6 Prozent (HAA-Lager) bzw. 26 Prozent (SMA-Lager, das Total der Einzellager steigt um 13 Prozent. Die Kosten für das Kombilager sind minimal tiefer als die Kosten für die Einzellager in der Kostenstudie 2011 (-2 Prozent).

⁴³ Die Bemessungsgrundlagen für die Fondsbeiträge leiten sich ab aus den Gesamtkosten abzüglich aller Kosten vor Ende des endgültigen Leistungsbetriebs.

Wird die Realisierung eines Kombilagers anstelle von zwei Einzellagern als Chance mit einem Gewicht von 50 Prozent berücksichtigt (Grundlage für die Ableitung der Bemessungsgrundlage für die Fondsbeiträge), steigen die Gesamtkosten im Vergleich mit den Einzellagern in der Kostenstudie 2011 um 5 Prozent. Der Vergleich zeigt, dass die Kosten für das HAA minimal abnehmen (-1 Prozent), die Kosten für SMA sind jedoch erheblich höher als in der Kostenstudie 2011 (19 Prozent).

Die Unterschiede in den Kosten zwischen Kostenstudie 2016 und Kostenstudie 2011 ist auf eine Vielzahl von Faktoren zurückzuführen. Die wichtigsten werden nachfolgend aufgeführt.

Die Kostenstudie 2011 stützte sich gemäss Vorgabe in der Kernenergieverordnung auf das damals aktuellste Entsorgungsprogramm 2008 ab. Das Entsorgungsprogramm 2008 verwendete als aktuellste Kosteninformation die Kostenstudie 2006⁴⁴ mit dem zugehörigen Realisierungsplan. Der Realisierungsplan für die Kostenstudie 2011 konnte deshalb die erwartete Dauer des Sachplanverfahrens nicht berücksichtigen. Der Zeitpunkt der Inbetriebnahme des HAA-Lagers gemäss heutiger Planung hat sich unter Berücksichtigung der in der Zwischenzeit von den Behörden vorgenommenen Terminanpassungen gegenüber den Annahmen für die Kostenstudie 2011 um 10 Jahre und für das SMA-Lager um 15 Jahre nach hinten verschoben. Dies führt wegen der längeren Phasen der Lagervorbereitung auch zu höheren Kosten. Die im Rahmen des Sachplans in Zusammenarbeit mit den Regionen und Kantonen vorgenommene Bestimmung der Standortareale führt für das SMA-Lager gegenüber den Annahmen für die Kostenstudie 2011 zu einer grossen Verschiebung (vom Grossraum Bahnhof Effingen zum Grossraum PSI-Zwilag mit entsprechend längerem Zugangstunnel). Auch für das HAA-Lager kam es zu einer kleinen Verschiebung mit erhöhten Anforderungen bezüglich Geländegestaltung mit den entsprechenden Mehrkosten. Weiter ergeben die teilweise deutlichen Änderungen in den Einheitskosten für die einzelnen Kostenelemente Mehrkosten, teilweise aber auch Minderkosten. Die Mehrkosten betreffen den Untertagbau und die Verfüllung und Versiegelung. Schliesslich führen auch die Vorgaben der Verwaltungskommission zur Kostengliederung mit der breiten Erfassung von Ungenauigkeiten und von Gefahren und Chancen zu Kostenänderungen. Dazu gehört auch die Erfassung der Kostenauswirkungen der verschiedenen Auslegungsvarianten. Weiter werden die Abgeltungen nicht in den Basiskosten, sondern als Gefahr aufgeführt, um zu berücksichtigen, dass es für die Abgeltungen keine gesetzliche Grundlage gibt, und die diesbezüglichen Verhandlungen noch nicht begonnen haben – mit Verzicht auf feste Zahlen soll eine präjudizierende Wirkung auf die zukünftigen Verhandlungen verhindert werden. Mit der neuen Kostengliederung ist es auch möglich, die Lagervariante des Kombilagers als Chance zu berücksichtigen.

Bei den in Tabelle 18 und 19 aufgeführten Zahlen handelt es sich um «Overnight»-Kosten. Der zeitliche Anfall der Kosten ist zur Berücksichtigung der Verzinsung bei der Ermittlung des Rückstellungsbedarfs wichtig (vergleiche zeitlicher Verlauf der jährlichen Ausgaben für das HAA- und das SMA-Lager in Abbildung 16). Deshalb werden zum Vergleich der Kosten der Kostenstudie 2016 mit den Kosten der Kostenstudie 2011 auch die Barwerte für die Kosten der Kostenstudie 2016 und der Kostenstudie 2011 berechnet (Preisbasis 2016). Ausgehend von den Zahlen aus Abbildung 16 berechnet sich der Barwert für die Kostenstudie 2016 bei gewichteter Berücksichtigung des Kombilagers als Chance zu 4.8 Milliarden Franken, für die Kostenstudie 2011 (zwei Einzellager) ergibt sich ein Barwert von 5.1 Milliarden Franken⁴⁵. Die Reduktion des Barwerts für die Kostenstudie 2016 im Vergleich zur Kostenstudie 2011 ist darauf zurückzuführen, dass wegen des gegenüber der Kostenstudie 2011 angepassten Realisierungsplans viele der bedeutenden Kosten erst später anfallen (Kosten für Bau, Betrieb und Verschuss der Anlagen). Die vom Bund vorgenommene Anpassung des Realisierungsplans ist vor allem auf den deutlich länger dauernden Standortwahlprozess (Sachplanverfahren) und die Verlängerung der erdwissenschaftlichen Untersuchungen Untertag zurückzuführen.

⁴⁴ Bei der Erstellung der Kostenstudie 2011 war die zeitliche Abstimmung zwischen Entsorgungsprogramm und Kostenstudie wegen der behördlichen Vorgaben zu den Abgabeterminen nicht möglich.

⁴⁵ In den Barwerten sind auch die Kosten für die Stilllegungsabfälle enthalten.

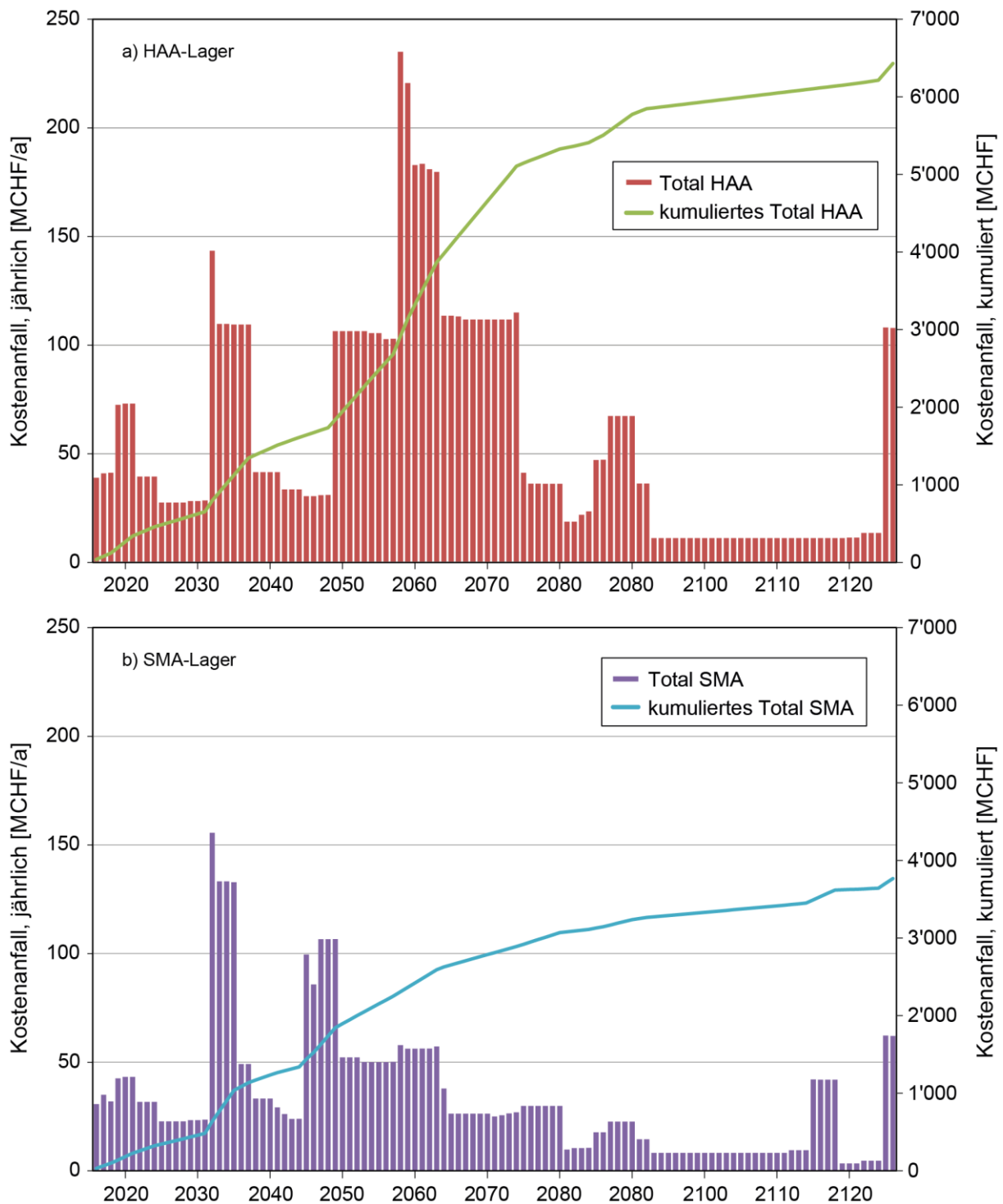


Abbildung 16: Zeitlicher Verlauf der jährlichen Ausgaben für die geologischen Tiefenlager (in Millionen Franken pro Jahr) unter Berücksichtigung des Kombilagers als Chance. Mit diesen Zeitreihen lässt sich der Barwert der zukünftigen Kosten berechnen. Es ist zu beachten, dass in dieser Abbildung nur die zukünftigen Kosten aufgeführt sind. In den jährlichen Ausgaben für das SMA-Lager sind auch die Kosten für die Stilllegungsabfälle enthalten.

Tabelle 18: Gesamtkosten für das HAA-Lager, das SMA-Lager und die Variante Kombilager sowie Gesamtkosten mit Berücksichtigung der Variante Kombilager als Chance. 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 188 Millionen Franken (Gesamtkosten) nicht berücksichtigt.

	HAA-Lager		SMA-Lager		Total Einzellager		Kombilager	
	[in % Gesamtkosten]	[MCHF]	[in % Gesamtkosten]	[MCHF]	[in % Gesamtkosten]	[MCHF]	[in % Gesamtkosten]	[MCHF]
Ausgangskosten (1)	71%	5'453	73%	3'209	71%	8'662	70%	7'292
Kosten zur Risikominderung (2)	6%	433	7%	326	6%	759	7%	741
Basiskosten (3)	77%	5'886	80%	3'535	78%	9'421	77%	8'033
Aufgelaufene Kosten	9%	723	13%	573	11%	1'296	12%	1'296
Zukünftige Basiskosten	67%	5'163	67%	2'962	67%	8'125	64%	6'737
Zuschläge für Ungenauigkeiten (4)	14%	1'103	14%	606	14%	1'708	14%	1'418
Zuschläge für Gefahren (5)	9%	712	9%	415	9%	1'128	9%	991
Abzüge für Chancen (6)	-2%	-154	-2%	-76	-2%	-230	-1%	-64
Zusätzlicher Sicherheitszuschlag (8)	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
Gesamtkosten	98%	7'546	101%	4'480	99%	12'026	99%	10'377
Mehr-/Minderkosten Standortvarianten (gewichtet)	2%	148	-1%	-56	1%	92	1%	112
Zuschläge auf zukünftige Basiskosten	23%	1'808	20%	889	22%	2'697	23%	2'456
Zuschläge auf zukünftige Basiskosten [%] ¹⁾	35%		30%		33%		36%	
Zuschläge für Ungenauigkeiten [%] ¹⁾	21%		20%		21%		21%	
Zuschläge für Gefahren [%] ¹⁾	17%		12%		15%		16%	
Abzüge für Chancen [%] ¹⁾	-3%		-3%		-3%		-1%	
Gesamtkosten inklusive Standortvarianten	100%	7'694	100%	4'424	100%	12'118	100%	10'489
Berücksichtigung Kombilager als Chance	-7%	-542	-6%	-273	-7%	-815		
Gesamtkosten bei Berücksichtigung des Kombilager	93%	7'152	94%	4'151	93%	11'303		

¹⁾ in Prozent der zukünftigen Basiskosten

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

Tabelle 19: Vergleich der Gesamtkosten der Kostenstudie 2016 und Kostenstudie 2011 für das HAA-Lager, das SMA-Lager und die Variante Kombilager sowie Vergleich der Gesamtkosten mit Berücksichtigung der Variante Kombilager als Chance. Zahlen für KS11 auf PB 2016. In den Zahlen sind die Kosten für die Einlagerung der Stilllegungsabfälle in der Höhe von 188 Millionen Franken (Gesamtkosten) für die Kostenstudie 2016 und in der Höhe von 118 Millionen Franken für die Kostenstudie 2011 nicht enthalten.

	HAA-Lager		SMA-Lager		Total Einzellager		Kombi-lager
	KS11 [MCHF]	KS16 [MCHF]	KS11 [MCHF]	KS16 [MCHF]	KS11 [MCHF]	KS16 [MCHF]	KS16 [MCHF]
Aufgelaufene Kosten	576	723	442	573	1'018	1'296	1'296
Zukünftige Kosten Projekt	6'671	6'971	3'058	3'851	9'729	10'822	9'193
Gesamtkosten inkl. Standortvarianten	7'247	7'694	3'500	4'424	10'747	12'118	10'489
Kostensteigerung im Vergleich zu KS11 [%]		6%		26%		13%	-2%
Berücksichtigung Kombilager als Chance		-542		-273		-815	
Gesamtkosten bei Berücksichtigung des Kombilagers als Chance (50% gewichtet)	7'247	7'152	3'500	4'151	10'747	11'303	
Steigerung der Gesamtkosten im Vergleich zu KS11 [%]		-1%		19%		5%	

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

5.3.3 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 2011 auf einem Kostenschlüssel, welcher das Volumen und die Radiotoxizität der Abfälle der Entsorgungspflichtigen gleichgewichtig berücksichtigt. Für die Festlegung des Bundesanteils an den Fixkosten werden die gleichen Annahmen verwendet wie in der Kostenstudie 2011 unter Berücksichtigung des aktualisierten Inventars der radioaktiven Abfälle; für die Verteilung der zukünftigen Fixkosten zwischen den Kernkraftwerken kommt für die in Zukunft anfallenden Kosten eine neue Regelung zur Anwendung (Berücksichtigung von Abfallvolumen und MWtherm (Durchschnittsleistung) für SMA und MWtherm (Durchschnittsleistung, Laufzeitgewichtet) für BE/HAA/LMA); für die Kosten bis Ende 2015 kommt der Kostenschlüssel der Kostenstudie 2011 mit aktualisierten Parametern zur Anwendung. Die durch die verschiedenen Entsorgungspflichtigen zu tragenden Anteile an den zukünftigen Fixkosten sind in Tabelle 20 aufgeführt.

Tabelle 21 zeigt die auf die verschiedenen Entsorgungspflichtigen aufgeteilten Kosten der Kostenstudie 2016 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 25 Prozent dem SMA-Teillager und zu 75 Prozent dem HAA-Teillager zugewiesen werden. In Tabelle 21 findet sich zum Vergleich auch eine Darstellung der Zahlen für die Kostenstudie KS11.

Beim Vergleich der Zahlen der Kostenstudie 2016 und Kostenstudie 2011 ist zu beachten, dass seit der Kostenstudie 2011 auch die Kostenverteilungsschlüssel für die Kernkraftwerke angepasst wurden und sich der Bundesanteil an den Kosten wegen aktualisierter Angaben zu den radioaktiven Abfällen verändert hat.

Tabelle 23 in Anhang A.3 zeigt die gleiche Information wie Tabelle 21 für eine 47-jährige Betriebszeit für KKM und eine 60-jährige Betriebszeit für die anderen KKW.

Tabelle 20: Die durch die verschiedenen Entsorgungspflichten zu tragenden Anteile an den zukünftigen Fixkosten des SMA- und HAA-Lagers. In einem ersten Schritt werden die Annahmen zum Bundesanteil an den Fixkosten des HAA- bzw. SMA-Lagers umgesetzt; die verbleibenden zukünftigen Kosten werden zwischen den Kernkraftwerken entsprechend der neuen Sondervereinbarung aufgeteilt (kursive Zahlen). Bei der für den Bund hier ausgewiesenen Prozentzahl handelt es sich um den Mittelwert über alle Hauptaktivitäten und Positionen für den Fall, wo das Kombilager als Chance berücksichtigt wird. Dies führt dann zu der Aufteilung der Fixkosten mit Bundesbeteiligung (nicht kursive Zahlen). Bei der Berechnung der zu tragenden Fixkosten-Anteile werden bei den Abfallvolumen auch die Stilllegungsabfälle berücksichtigt.

Bundes-Beteiligung	KKB	KKM	KKG	KKL	Total KKW	Bund	Total	Anzuwenden auf:
mit	23.1%	10.4%	30.4%	35.4%	99.3%	0.7%	100.0%	Fixkosten BE/HAA/LMA
ohne	23.3%	10.5%	30.6%	35.6%	100.0%			
mit	17.6%	12.3%	17.6%	28.5%	76.0%	24.0%	100.0%	Fixkosten SMA
ohne	23.2%	16.2%	23.1%	37.5%	100.0%			

Tabelle 21: Gesamtkosten für die geologischen Tiefenlager und Vergleich mit den Gesamtkosten der Kostenstudie 2011 inkl. Aufteilung auf die Entsorgungspflichtigen für die Varianten ohne bzw. mit Berücksichtigung der Chance des Kombilagers.
 In den Zahlen sind die Grenzkosten für die Einlagerung der Stilllegungsabfälle in der Höhe von 188 Millionen Franken (Gesamtkosten) in KS16 bzw. 118 Mio. CHF in KS11 nicht enthalten. Bei den Projektkosten bis Ende 2015 ist ein Beitrag Dritter (GNW) in der Höhe von 65 Millionen Franken enthalten. Der Bundesanteil an den Projektkosten bis Ende 2015 gemäss angenommenem Kostenschlüssel ist höher als die effektiven Zahlungen des Bundes. Die effektiven Zahlungen der Kernkraftwerke an die Nagra und an Weitere beinhalten auch die Vorfinanzierung eines Teils der aufgelaufenen Kosten des Bundes und sind deshalb höher als der Kostenanteil der Kernkraftwerke gemäss Kostenschlüssel. Der Saldo des ausstehenden finanziellen Ausgleichs beträgt rund -11 Millionen Franken ohne Berücksichtigung der Beiträge Dritter.

Kosten der geologischen Tiefenlager	KKB	KKM	KKG	KKL	Bund	Total
Gesamtkosten Einzellager ohne Chance Kombilager gemäss KS16	2'557	1'303	3'093	3'971	1'128	12'118
zukünftige Gesamtkosten ab 2016	2'301	1'184	2'756	3'579	1001	10'822
Projektkosten Nagra bis 2015	256	119	336	392	127	1'296
bisherige Zahlungen	279	131	366	430	37	1'308
erforderliche Ausgleichszahlungen	-22	-12	-29	-38	90	-11
Gesamtkosten Einzellager mit Chance Kombilager gemäss KS16	2'386	1'214	2'883	3'706	1'049	11'303
zukünftige Gesamtkosten ab 2016	2130	1095	2547	3314	922	10'007
Projektkosten Nagra bis 2015	256	119	336	392	127	1'296
bisherige Zahlungen	279	131	366	430	37	1'308
erforderliche Ausgleichszahlungen	-22	-12	-29	-38	90	-11
Gesamtkosten gemäss KS11	2'325	1'075	2'951	3'693	704	10'747
zukünftige Kosten ab 2011	2'108	974	2'666	3'361	619	9'729
Projektkosten Nagra bis 2010	217	101	284	331	84	1'018
Differenz KS16 – KS11						
Differenz für Einzellager ohne Chance Kombilager (absolut)	233	228	142	278	424	1'371
Differenz Einzellager ohne Chance Kombilager (in % von KS11)	10.0%	21.2%	4.8%	7.5%	60.3%	12.8%
Differenz für Einzellager mit Chance Kombilager (absolut)	61	139	-68	13	345	557
Differenz Einzellager mit Chance Kombilager (in % von KS11)	2.6%	13.0%	-2.3%	0.4%	49.0%	5.2%

In Millionen Franken, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt. Preisbasis 2016.

A Anhänge

A.1 Literaturverzeichnis

- [1] Kostenstudie 2016 (KS16) – Mantelbericht. swissnuclear Bericht FGK-AN-16.001 Rev. 0, Olten, Schweiz.
- [2] Kostenstudie 2016 (KS16): Schätzung der Entsorgungskosten – Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung, swissnuclear Bericht FGK-AN-16.002, Olten, Schweiz.
- [3] Kostenstudie 2016 (KS16): Schätzung der Kosten des Nachbetriebs der Schweizer Kernkraftwerke. swissnuclear Bericht FGK-AN-16.003, Olten, Schweiz.
- [4] Kostenstudie 2016 (KS16), Schätzung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen. swissnuclear Bericht FGK-AN-16.004, Schweiz.
- [5] Kostenstudie 2011 (KS11), Schätzung der Entsorgungskosten der Schweizer Kernkraftwerke, swissnuclear Bericht FGK-11.054.GS Rev. 0, Olten, Schweiz.
- [6] Glossar KS16 – Abkürzungen / Begriffe / Glossar zur Kostenstudie 2016 (KS16), swissnuclear Bericht FGK-16.04.GS, Rev. 0, Schweiz.
- [7] Kernenergiegesetz vom 21. März 2003 (KEG); Stand 1. Januar 2009.
- [8] Kernenergieverordnung vom 10. Dezember 2004 (KEV); Stand 1. Januar 2009.
- [9] Verordnung vom 7. Dezember 2007 über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen (Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung, SEFV); Stand 1. Januar 2016.
- [10] Strahlenschutzgesetz (StSG) vom 22. März 1991; Stand 1. Januar 2007.
- [11] Strahlenschutzverordnung (StSV) vom 22. Juni 1994; Stand 1. Januar 2011.
- [12] Bundesgesetz betreffend die Ergänzung des Schweizerischen Zivilgesetzbuches (Fünfter Teil: Obligationenrecht) vom 30. März 1911 (Stand am 1. Januar 2013).
- [13] International Financial Reporting Standards (IFRS); www.ifrs.org
- [14] Schweizer Standards für die Rechnungslegung in Unternehmen, Generally Accepted Accounting Principles, Fachempfehlungen zur Rechnungslegung; www.fer.ch
- [15] Entsorgungsprogramm 2016 der Entsorgungspflichtigen. Nagra Technischer Bericht NTB 16-01. Nagra, Wettingen.
- [16] Safeguardsverordnung vom 21. März 2012; Stand am 1. Januar 2013.
- [17] Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und Sicherungsmassnahmen für Kernanlagen und Kernmaterialien (UVEK-VO Sicherung).
- [18] Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen (UVEK-VO Störfälle).
- [19] Bundesgesetz vom 13. März 1964 über die Arbeit in Industrie, Gewerbe und Handel (Arbeitsgesetz, ArG); Stand 01. Dezember 2013.
- [20] Verordnung 1 zum Arbeitsgesetz (ArGV 1) vom 10. Mai 2000; Stand 01. Januar 2016.

- [21] Verordnung 2 zum Arbeitsgesetz (ArGV 2) vom 10. Mai 2000 (Sonderbestimmungen für bestimmte Gruppen von Betrieben oder Arbeitnehmern und Arbeitnehmerinnen); Stand 01. Januar 2016.
- [22] Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz (ArGV 3) vom 18. August 1993 (Gesundheitsvorsorge); Stand 01. Oktober 2015.
- [23] Verordnung 4 zum Arbeitsgesetz (ArGV 4) vom 18. August 1993 (Industrielle Betriebe, Plangenehmigung und Betriebsbewilligung); Stand 01. Mai 2015.
- [24] Verordnung vom 19. Dezember 1983 über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten (Verordnung über die Unfallverhütung, VUV); Stand 01. Januar 2016.
- [25] Bundesgesetz über die Unfallversicherung (UVG).
- [26] Verordnung über die Unfallversicherung (UVV).
- [27] Verordnung über die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer bei Bauarbeiten (Bauarbeitenverordnung, BauAV).
- [28] Verordnung über die Sicherheit von Maschinen (Maschinenverordnung, MaschV).
- [29] Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen (VAPK); Stand 01. Januar 2009.
- [30] Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG).
- [31] Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPV).
- [32] Verordnung über den Schutz vor Störfällen (Störfallverordnung, StfV).
- [33] Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG).
- [34] Verordnung über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzverordnung, GSchV).
- [35] Bundesgesetz über Bauprodukte (Bauproduktegesetz, BauPG).
- [36] Verordnung über Bauprodukte (Bauprodukteverordnung, BauPV).
- [37] Bundesgesetz über die Raumplanung (Raumplanungsgesetz, RPG).
- [38] Raumplanungsverordnung (RPV).
- [39] Bundesgesetz über den Natur- und Heimatschutz (NHG).
- [40] Verordnung über den Natur- und Heimatschutz (NHV).
- [41] Kernenergiehaftpflichtgesetz (KHG).
- [42] Kernenergiehaftpflichtverordnung (KHV).
- [43] Gebührenverordnung des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats (Gebührenverordnung ENSI).
- [44] Verordnung über die Gebühren des Bundesamtes für Umwelt (Gebührenverordnung BAFU, GebV-BAFU).
- [45] Verordnung über Gebühren und Aufsichtsabgaben im Energiebereich (GebV-En).
- [46] Verordnung über die Gebühren im Strahlenschutz (GStsV).
- [47] ENSI-B04 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B04/d, Freimessen von Materialien und Bereichen aus kontrollierten Zonen; Ausgabe August 2009.
- [48] ENSI-B05 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B05/d, Anforderungen an die Konditionierung radioaktiver Abfälle; Ausgabe Februar 2007.
- [49] ENSI-B12 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B12/d, Notfallschutz in Kernanlagen; Ausgabe April 2009, Revision 1 vom 31. Oktober 2015 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen ENSI-B12/d.

- [50] ENSI-G03 Richtlinie für die schweizerischen Kernkraftwerke G03/d, Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis.
- [51] ENSI-G04 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G04/d, Auslegung und Betrieb von Lagern für radioaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente; Ausgabe September 2010, Revision 2 vom 30. Juni 2015.
- [52] HSK-G05 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G05, Transport- und Lagerbehälter für die Zwischenlagerung; April 2008.
- [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-49 – Sicherheitstechnische Anforderungen an die Sicherung von Kernanlagen.
- [58] HSK-R-50 – Sicherheitstechnische Anforderung an den Brandschutz in Kernanlagen.
- [59] HSK-R-102 Auslegungskriterien für den Schutz von sicherheitsrelevanten Ausrüstungen in Kernkraftwerken gegen die Folgen von Flugzeugabsturz.
- [60] BFE (2008): Sachplan geologische Tiefenlager: Konzeptteil. BFE, 02.04.2008. Revision vom 30. November 2011. Bundesamt für Energie BFE, Bern, Schweiz.
- [61] 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 Tech. Ber. NTB 14-01.

A.2 Verwendete Abkürzungen

ATA	Alphatoxische Abfälle
BA	Betriebsabfälle der KKW
BE	Abgebrannte Brennelemente
BEVA	Brennelementverpackungsanlage für BE (VA-BE) bzw. HAA (VA-HAA)
BFE	Bundesamt für Energie
CHF	Schweizer Franken
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
EKRA	Expertengruppe Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle
HAA	Hochaktive Abfälle
HAA-Lager	Geologisches Tiefenlager für hochaktive Abfälle
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
KS11	Kostenstudie 2011
KS16	Kostenstudie 2016
LMA	langlebige mittelaktive Abfälle
MCHF	Millionen Schweizer Franken (Mio. CHF)
MIF	Medizin, Industrie und Forschung
MWh	Megawatt-Stunden (10 ⁶ Watt-Stunden)
MW _{therm}	Megawatt thermisch (thermische Reaktorleistung)

NAGRA	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle
PB11	Preisbasis 01.01.2011
PB16	Preisbasis 01.01.2016
PSI	Paul Scherrer Institut
RA	Austauschbare Kernkomponenten der KKW (Reaktorabfälle)
SA	Stilllegungsabfälle der KKW
SEFV	Verordnung über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen
SGT	Konzept Sachplan geologische Tiefenlager
SM	Schwermetall (= Uran und/oder Plutonium)
SMA	Schwach- und mittelaktive Abfälle
SMA-Lager	Geologisches Tiefenlager für schwach- und mittelaktive Abfälle
StSG	Strahlenschutzgesetz
StSV	Strahlenschutzverordnung
tSM	Tonnen Schwermetall (= Tonnen Uran und Plutonium)
tU	Tonnen Uran
TL	Tiefenlager
TLB	Transport- und Lagerbehälter
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
WA	Wiederaufarbeitung
WAA	Wiederaufarbeitungsabfälle
ZNO	Standortgebiet Zürich Nordost
ZNO-6b	Von der Nagra bezeichnetes Standortareal im Standortgebiet Zürich Nordost
Zwibez	Zwischenlager Beznau (HAA, SMA)
Zwilag	Zwischenlager Würenlingen AG
ZZL	Zentrales Zwischenlager (entspricht Zwilag)

A.3 Ergänzende Informationen zu den Gesamtkosten

Tabelle 22: 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. 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 188 Millionen Franken (Gesamtkosten) nicht enthalten.

	HAA-Lager		SMA-Lager		Total Einzellager		Kombilager	
	[in % Gesamtkosten]	[MCHF]	[in % Gesamtkosten]	[MCHF]	[in % Gesamtkosten]	[MCHF]	[in % Gesamtkosten]	[MCHF]
Ausgangskosten (1)	71%	5'788	71%	3'242	71%	9'030	70%	7'508
Kosten zur Risikominderung (2)	5%	434	7%	326	6%	760	7%	741
Basiskosten (3)	77%	6'222	79%	3'568	77%	9'790	77%	8'249
Aufgelaufene Kosten	9%	723	13%	573	10%	1'296	12%	1'296
Zukünftige Basiskosten	68%	5'499	66%	2'995	67%	8'494	65%	6'952
Zuschläge für Ungenauigkeiten (4)	14%	1'175	13%	613	14%	1'787	14%	1'478
Zuschläge für Gefahren (5)	9%	721	9%	415	9%	1'136	9%	999
Abzüge für Chancen (6)	-2%	-152	-2%	-76	-2%	-228	-1%	-62
Zusätzlicher Sicherheitszuschlag (8)	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
Gesamtkosten	98%	7'966	101%	4'520	99%	12'486	99%	10'664
Mehr-/Minderkosten Standortvar. (gewichtet)	2%	148	-1%	-56	1%	92	1%	112
Zuschläge auf zukünftige Basiskosten	23%	1'891	20%	896	22%	2'787	23%	2'527
Zuschläge auf zukünftige Basiskosten ¹⁾	34%		30%		33%		36%	
Zuschläge für Ungenauigkeiten ¹⁾	21%		20%		21%		21%	
Zuschläge für Gefahren ¹⁾	13%		14%		13%		14%	
Abzüge für Chancen ¹⁾	-3%		-3%		-3%		-1%	
Gesamtkosten inklusive Standortvarianten	100%	8'113	100%	4'464	100%	12'577	100%	10'775
Berücksichtigung Kombilager als Chance	-8%	-620	-6%	-281	-7%	-901		
Gesamtkosten bei Berücksichtigung des Kombilagers als Chance (50 % gewichtet)	92%	7'494	94%	4'183	93%	11'676		

¹⁾ in Prozent der zukünftigen Basiskosten

In Millionen Franken, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

Tabelle 23: Gesamtkosten für das HAA-Lager, das SMA-Lager und die Variante Kombilager sowie Gesamtkosten mit Berücksichtigung der Variante Kombilager als Chance. Gesamtkosten für eine 47-jährige Betriebszeit von KKM und eine 60-jährige Betriebszeit von KKB, KKG und KKL (kurz: 60 Jahre Betrieb) und Vergleich für eine 47-jährige Betriebszeit von KKM und eine 50-jährige Betriebszeit von KKB, KKG und KKL (kurz: 50 Jahre Betrieb; Zahlen identisch mit Tabelle 21).
 In den Zahlen sind die Kosten für die Einlagerung der Stilllegungsabfälle in der Höhe von 128 Millionen Franken (Basiskosten) nicht enthalten. Beim Total der aufgelaufenen Kosten ist ein Beitrag Dritter (GNW) in der Höhe von 65 Millionen Franken enthalten. Die effektiven Zahlungen der Kernkraftwerke an die Nagra und an weitere beinhalten auch die Vorfinanzierung eines Teils der aufgelaufenen Kosten des Bundes und sind deshalb höher als der Kostenanteil der Kernkraftwerke gemäss Kostenschlüssel. Der Saldo des ausstehenden finanziellen Ausgleichs beträgt rund -11 Millionen Franken ohne Berücksichtigung der Beiträge Dritter.

Kosten der geologischen Tiefenlager	KKB	KKM	KKG	KKL	Bund	Total
Gesamtkosten Einzellager ohne Chance Kombilager gemäss KS16	2'672	1'257	3'248	4'203	1'131	12'577
zukünftige Gesamtkosten ab 2016	2'415	1'138	2'912	3'811	1'004	11'281
Projektkosten Nagra bis 2015	256	119	336	392	127	1'296
bisherige Zahlungen	279	131	366	430	37	1'308
erforderliche Ausgleichszahlungen	-22	-12	-29	-38	90	-11
Gesamtkosten Einzellager mit Chance Kombilager gemäss KS16	2'478	1'164	3'010	3'904	1'054	11'675
zukünftige Gesamtkosten ab 2016	2'223	1'046	2'675	3'512	924	10'380
Projektkosten Nagra bis 2015	256	119	336	392	127	1'296
bisherige Zahlungen	279	131	366	430	37	1'308
erforderliche Ausgleichszahlungen	-22	-12	-29	-38	90	-11
Gesamtkosten für 50 Jahre Betrieb						
ohne Chance Kombilager	2'557	1'303	3'093	3'971	1'128	12'118
mit Chance Kombilager	2'386	1'214	2'883	3'706	1'049	11'303
Differenz 60 Jahre vs. 50 Jahre Betrieb						
Differenz für Einzellager ohne Chance Kombilager (absolut)	114	-46	155	232	3	459
Differenz Einzellager ohne Chance Kombilager (in % von 50 Jahren Betrieb)	4.5%	-3.5%	5.0%	5.8%	0.3%	3.8%
Differenz für Einzellager mit Chance Kombilager (absolut)	92	-50	127	198	5	372
Differenz Einzellager mit Chance Kombilager (in % von 50 Jahren Betrieb)	3.9%	-4.1%	4.4%	5.3%	0.5%	3.3%

In Millionen Franken, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

A.4 Zusammenstellung der Gesamtkosten inklusive Grenzkosten der Stilllegungsabfälle

*Tabelle 24: Gesamtkosten inklusive Grenzkosten der Stilllegungsabfälle für das HAA-Lager, das SMA-Lager und für die Variante Kombilager sowie Gesamtkosten mit Berücksichtigung der Variante Kombilager als Chance
 Gesamtkosten für eine 47-jährige Betriebszeit von KKM und eine 60-jährige Betriebszeit von KKB, KKG und KKL. Kostengliederung gemäss Vorgaben der Verwaltungskommission. In den Zahlen enthalten sind die Kosten für die Einlagerung der Stilllegungsabfälle.*

	HAA-Lager		SMA-Lager		Total Einzellager		Kombilager	
	[in % Gesamtkosten]	[MCHF]	[in % Gesamtkosten]	[MCHF]	[in % Gesamtkosten]	[MCHF]	[in % Gesamtkosten]	[MCHF]
Ausgangskosten (1)	71%	5'453	73%	3'351	72%	8'803	70%	7'434
Kosten zur Risikominderung (2)	6%	433	7%	326	6%	759	7%	741
Basiskosten (3)	77%	5'886	80%	3'677	78%	9'563	77%	8'175
Aufgelaufene Kosten	9%	723	12%	573	11%	1'296	12%	1'296
Zukünftige Basiskosten	67%	5'163	67%	3'104	67%	8'267	64%	6'879
Zuschläge für Ungenauigkeiten (4)	14%	1'103	14%	643	14%	1'745	14%	1'456
Zuschläge für Gefahren (5)	9%	712	9%	424	9%	1'137	9%	1000
Abzüge für Chancen (6)	-2%	-154	-2%	-76	-2%	-230	-1%	-64
zusätzlicher Sicherheitszuschlag (8)	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
Gesamtkosten	98%	7'546	101%	4'668	99%	12'215	99%	10'566
Mehr-/Minderkosten Standortvar. (gewichtet)	2%	148	-1%	-56	1%	92	1%	112
Zuschläge auf zukünftige Basiskosten	23%	1'808	20%	935	22%	2'743	23%	2'503
Zuschläge auf zukünftige Basiskosten ¹⁾	35%		30%		33%		36%	
Zuschläge für Ungenauigkeiten ¹⁾	21%		21%		21%		21%	
Zuschläge für Gefahren ¹⁾	17%		12%		15%		16%	
Abzüge für Chancen ¹⁾	-3%		-2%		-3%		-1%	
Gesamtkosten inklusive Standortvarianten	100%	7'694	100%	4'612	100%	12'306	100%	10'677
Berücksichtigung Kombilager als Chance	-7%	-542	-6%	-273	-7%	-815		
Gesamtkosten bei Berücksichtigung des Kombilagers als Chance (50% gewichtet)	93%	7'152	94%	4'340	93%	11'492		

¹⁾ in Prozent der zukünftigen Basiskosten

In Millionen Franken, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.