

## **Kostenstudie 2016 (KS16)**

**Schätzung der Entsorgungskosten  
Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung**

**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](mailto:info@swissnuclear.ch)

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

31. Oktober 2016

## Zusammenfassung

Das Kernenergiegesetz<sup>1</sup> 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. Die Kostenschätzung hat gemäss der Verordnung<sup>2</sup> über den Stilllegungs- und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen alle fünf Jahre zu erfolgen.

Die letzte Schätzung der Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten erfolgte im Jahr 2011. Sie wurde vom Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat sowie von weiteren Gutachtern 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 Entsorgungskosten für Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung wird diesem Auftrag Rechnung getragen. 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, und bei der Ermittlung und der Darstellung der Kosten berücksichtigt.

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.

<sup>1</sup> Art. 77 des Kernenergiegesetzes [11].

<sup>2</sup> Art. 4 der Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung [17].

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

Die Kostenschätzungen basieren 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 des Kernkraftwerks Beznau 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.

In der Kostenstudie 2016 werden neu die Entsorgungskosten der Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung und die Entsorgungskosten der geologischen Tiefenlagerung in zwei getrennten Teilberichten dargestellt.

Das Ergebnis der Ermittlung der Entsorgungskosten 2016 sowie der Vergleich zum Ergebnis der Ermittlung der Kostenstudie 2011 sind in Tabelle 1 dargestellt.

*Tabelle 1: Entsorgungskostenschätzung für Zwischenlagerung, Transporte, Transport- und Lagerbehälter und Wiederaufarbeitung der Kostenstudie 2016. Vergleich mit der Kostenstudie 2011 auf der Preisbasis 2016 in Millionen Franken.*

Elemente der Kostengliederung	KKB		KKM		KKG		KKL		Bund		Total	
<b>KS16 PB16</b>												
<b>Aufgelaufene Kosten bis 2015</b>	1'395		587		1'498		775		38		4'293	
<b>Zukünftige Kosten ab 2016</b>												
Ausgangskosten	676		233		639		875		19		2'443	
Kosten zur Risikominderung	-		-		-		-		-		-	
Basiskosten	676		233		639		875		19		2'443	
Prognoseungenauigkeiten	6.7%	45	6.9%	16	7.0%	45	7.0%	61	6.4%	1	6.9%	169
Gefahren	6.4%	43	6.7%	16	6.3%	40	6.1%	53	6.7%	1	6.3%	154
Chancen	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0
Sicherheitszuschlag	-		-		-		-		-		-	
<i>Zuschlag auf zukünftige Basiskosten</i>	13.1%	89	13.6%	32	13.3%	85	13.1%	115	13.1%	3	13.2%	323
<b>Gesamtkosten KS16 PB16</b>	<b>2'160</b>		<b>852</b>		<b>2'222</b>		<b>1'765</b>		<b>59</b>		<b>7'058</b>	
<b>Aufgelaufene Kosten bis 2015</b>	1'395		587		1'498		775		38		4'293	
<b>Zukünftige Kosten KS11 ab 2016</b>	765		265		724		990		22		2'765	
<b>Gesamtkosten KS11 PB16</b>	<b>2'005</b>		<b>852</b>		<b>2'383</b>		<b>1'551</b>		<b>88</b>		<b>6'879</b>	
<b>Differenz Absolut</b>	155		0		-160		214		-29		<b>180</b>	
<b>Differenz (%)</b>	7.7%		0.0%		-6.7%		13.8%		-32.6%		<b>2.6%</b>	

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

KS16: Kostenstudie 2016; KS11: Kostenstudie 2011; PB16: Preisbasis 2016

Für den direkten Vergleich zwischen der Kostenstudie 2016 und der Kostenstudie 2011 wurden die in der Kostenstudie 2011 geschätzten Kosten mit der in der Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung<sup>3</sup> verankerten und im Rückstellungsmodell berücksichtigten Teuerungsrate von eineinhalb Prozent pro Jahr von der Preisbasis 2011 (PB11) auf die Preisbasis 2016 (PB16) der Kostenstudie 2016 hochgerechnet. Die aufgelaufenen Kosten wurden nicht teuerungsbereinigt. Bis Ende 2015 haben die Kernkraftwerksbetreiber und der Bund 4.3 Milliarden Franken für die Entsorgung der abgebrannten Brennelemente und der radioaktiven Abfälle bezahlt. Teuerungsbereinigt steigen die Gesamtkosten der Entsorgung für Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung um knapp drei Prozent.

Die nächste Kostenschätzung ist für 2021 vorgesehen.

---

<sup>3</sup> Art. 8a Abs. 2 Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung [17].



## Inhalt

<b>1</b>	<b>Ausgangslage .....</b>	<b>1</b>
1.1	Einleitung .....	1
1.2	Gesetzlicher Rahmen.....	2
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	Kostenstudie der Stilllegungs- und Entsorgungspflichtigen .....	5
1.3	Mit der Entsorgung beauftragte Organisationen .....	6
1.3.1	Die Eigentümer der Kernanlagen .....	6
1.3.2	Der Bund.....	6
1.3.3	Die Zwiilag .....	6
1.3.4	Die Nagra .....	7
1.3.5	Die swissnuclear .....	7
1.4	Entsorgungsprogramm.....	7
1.5	Radioaktive Abfälle nach Abfallsorten .....	10
1.6	Betriebsdauer der Kernkraftwerke .....	16
1.7	Realisierungsprogramm der Entsorgung und zeitliche Gliederung .....	17
<b>2</b>	<b>Randbedingungen und Annahmen .....</b>	<b>18</b>
2.1	Gesetze, Verordnungen, Richtlinien und andere Vorgaben .....	18
2.1.1	Grundlegende Gesetze und Verordnungen.....	18
2.1.2	Richtlinien und Empfehlungen .....	18
2.1.3	Transportvorschriften .....	20
2.1.4	Normen und Regeln.....	21
2.1.5	Begriffe.....	21
2.2	Randbedingungen und Annahmen zur Entsorgung.....	21
<b>3</b>	<b>Methodik der Kostenschätzung .....</b>	<b>24</b>
3.1	Kostenstruktur .....	24
3.2	Kostengliederung .....	25
3.2.1	Vorgaben zur Kostengliederung .....	25
3.2.2	Umsetzung der Kostengliederung .....	28
3.3	Modellhaftes Inventar für die Kostenermittlung .....	34
3.4	Methodik der Kostenaufteilung .....	35
3.4.1	Bundesanteil an den Entsorgungskosten .....	35
3.4.2	Kostenaufteilung Zwiilag-Analgen .....	36
3.4.3	Bisherige und zukünftige Kosten .....	36
<b>4</b>	<b>Zu schätzende Kostenelemente der Entsorgung .....</b>	<b>38</b>
4.1	Abgrenzung der Entsorgungskosten von den Nachbetriebs- und Stilllegungskosten.....	38
4.2	Transport- und Lagerbehälter .....	41
4.3	Transporte .....	45
4.4	Wiederaufarbeitung.....	45
4.5	Zentrale Abfallbehandlung und Zwischenlagerung (Zwiilag) .....	46
4.6	Zwischenlager Beznau des Kernkraftwerks Beznau (Zwiibez) .....	46
4.7	Nasslager des Kernkraftwerks Gösgen .....	47
4.8	Bau und Betriebszeiten der Entsorgungsanlagen .....	47

<b>5</b>	<b>Resultate der Schätzung der Entsorgungskosten .....</b>	<b>49</b>
5.1	Ausgangskosten, Kosten zur Risikominderung und Basiskosten .....	49
5.2	Kostenzuschläge für Gefahren und Kostenabzüge für Chancen .....	55
5.2.1	Kostenzuschläge für Gefahren .....	56
5.2.2	Kostenabzüge für Chancen .....	58
5.2.3	Risikomatrix .....	58
5.2.4	Quantifizierung der Kostenzuschläge für Gefahren und -abzüge für Chancen.....	59
5.3	Nicht berücksichtigte Chancen und Gefahren .....	60
5.4	Sicherheitszuschlag .....	60
5.5	Gesamtkosten .....	61
<b>A.</b>	<b>Anhänge .....</b>	<b>64</b>
A.1	Kostenverteilungsschlüssel für Zwischenlager und Behandlungsanlagen .....	64
A.2	Kosten der Transport- und Lagerbehälter.....	66
A.3	Transportkosten .....	67
A.4	Kosten der zentralen Abfallbehandlung sowie Zwischenlager von BE und radioaktiven Abfällen ...	68
A.5	Kosten des Zwibez und des KKG Nasslagers .....	69
A.6	Kosten der Wiederaufarbeitung .....	70
A.7	Vergleich der Entsorgungskosten für einen Leistungsbetrieb von 50 und 60 Jahren .....	71
A.8	Referenzen.....	72
A.9	Verwendete Abkürzungen.....	77

## Abbildungen

Abbildung 1:	Übersicht über die Verknüpfung der Teilberichte, inklusive der entsprechenden Hauptdokumentation der Kostenstudie 2016 sowie der Finanzierung des Nachbetriebs, der Stilllegung und der Entsorgung.....	2
Abbildung 2:	Das Entsorgungskonzept für die in der Schweiz anfallenden radioaktiven Abfälle. [97].....	9
Abbildung 3:	Zeitlicher Anfall verschiedener Abfallsorten der Schweizer Kernkraftwerke. ....	15
Abbildung 4:	Betriebszeiten der wichtigsten Anlagen des Entsorgungspfadens bei einer Betriebsdauer der Kernkraftwerke von 50 Jahren (vereinfachte Darstellung). ....	17
Abbildung 5:	Darstellung der Kostengliederung gemäss Vorgabe der Verwaltungskommission. ....	26
Abbildung 6:	Risikomatrix Entsorgungskosten für Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung (exemplarisch).....	59

## Tabellen

Tabelle 1:	Entsorgungskostenschätzung für Zwischenlagerung, Transporte, Transport- und Lagerbehälter und Wiederaufarbeitung der Kostenstudie 2016. ....	IV
Tabelle 2:	Charakterisierung der radioaktiven Abfälle nach Abfallsorten. [22].....	11
Tabelle 3:	Abfallmengen für 50 Jahre Betrieb (für KKB, KKG, KKL) sowie 47 Jahre (für KKM). ....	13
Tabelle 4:	Betriebs- und Stilllegungszeiten der Schweizer Kernkraftwerke, der Zwischenlager an den Standorten und des zentralen Zwischenlagers der Zwiilag. ....	16
Tabelle 5:	Übersicht Kostenverteilung gemeinsam genutzter Entsorgungseinrichtungen der Zwiilag. ....	36
Tabelle 6:	Zu schätzende Kostenelemente der Entsorgung. ....	38
Tabelle 7:	Abgrenzung der Kosten für die Auslagerung der Brennelemente, der Betriebsabfälle aus Leistungs- und Nachbetrieb, der Reaktorabfälle und Stilllegungsabfälle. ....	39
Tabelle 8:	Abfallbindespektrum und deren wichtigste Eigenschaften. [22] .....	42
Tabelle 9:	Transportkonzepte für die KS16. ....	45
Tabelle 10:	Planungs-, Bau- und Betriebszeiten der Entsorgungsanlagen.....	48
Tabelle 11:	Entsorgungskosten KKB für Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung.....	51
Tabelle 12:	Entsorgungskosten KKM für Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung.....	52
Tabelle 13:	Entsorgungskosten KKG für Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung.....	53
Tabelle 14:	Entsorgungskosten KKL für Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung.....	54
Tabelle 15:	Entsorgungskosten Bund für Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung.....	55
Tabelle 16:	Zuschläge für Gefahren und Abzüge für Chancen in Millionen Franken.....	60
Tabelle 17:	Entsorgungskosten der Schweizer Kernkraftwerke in der Kostenstudie 2016.....	62

## 1 Ausgangslage

### 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.

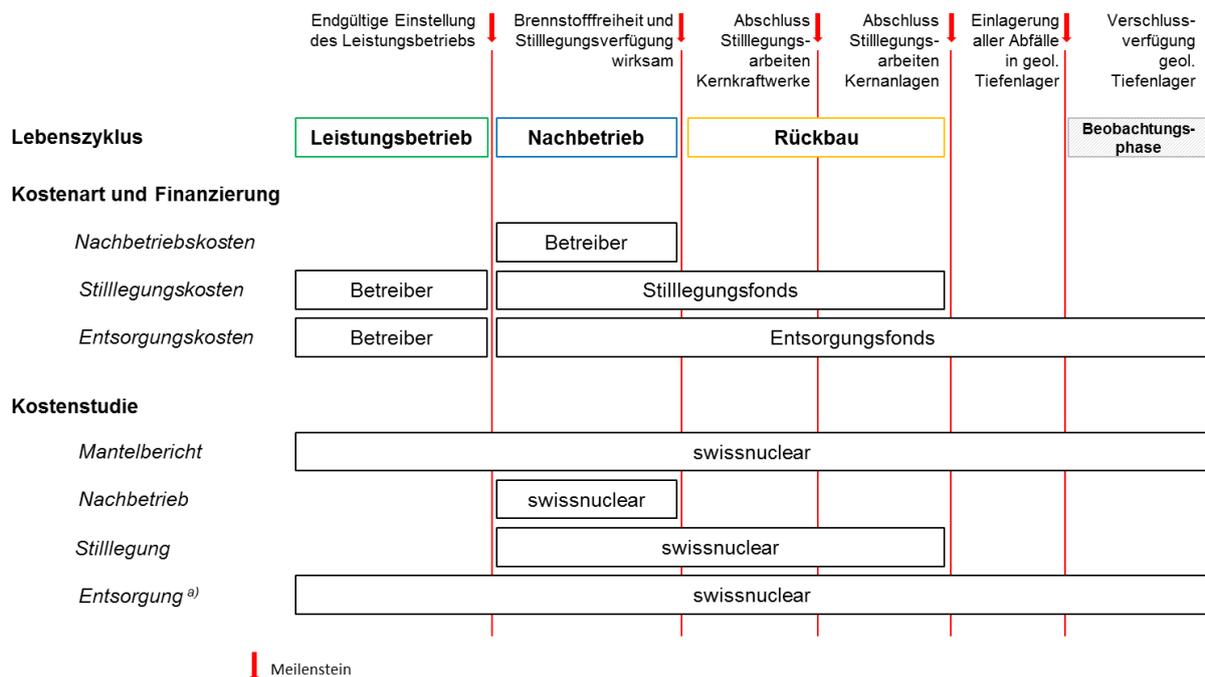
- Schätzung der Entsorgungskosten – geologische Tiefenlagerung [2].
- Schätzung der Entsorgungskosten – Zwischenlagerung, Transporte, Behälter, Wiederaufarbeitung (dieser Bericht).
- Schätzung der Nachbetriebskosten der Schweizer Kernkraftwerke [3].
- Schätzung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen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

Der Mantelbericht [1] erläutert die Rahmenbedingungen der Kostenstudie 2016 und insbesondere auch die Neuerungen, die sich im Vergleich zur Kostenstudie 2011 (siehe hierzu Referenzen [5], [6] und [7]) infolge der Einführung der neuen Kostenstrukturen sowie 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 – Zwischenlagerung, Transporte, Behälter, Wiederaufarbeitung». Er nimmt Bezug auf die im Mantelbericht [1] gegebenen Erläuterungen der Rahmenbedingungen und Neuerungen im Vergleich zur Kostenstudie 2011 und präzisiert diese Angaben hinsichtlich der Spezifika der Entsorgung. Die Schätzung der Entsorgungskosten wird gemäss den neuen Kostenstrukturen vorgenommen und entsprechend der neu eingeführten Kostengliederung dargestellt.

Die Ausgangslage für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle und die Bereitstellung der finanziellen Mittel sind in Kapitel 1 dargelegt. Im Kapitel 2 sind die Annahmen und Randbedingungen für die Entsorgung beschrieben und im Kapitel 3 die Methodik der Kostenschätzung. Kapitel 4 beschreibt die zu schätzenden Kostenelemente der Entsorgung. Das Resultat der Schätzung der Entsorgungskosten für Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung ist im Kapitel 5 dargestellt.

Abbildung 1 gibt eine Übersicht über die Verknüpfung der Teilberichte, inklusive der entsprechenden Hauptdokumentation der Kostenstudie 2016 sowie der Finanzierung des Nachbetriebs, der Stilllegung und der Entsorgung.



<sup>a)</sup> Die Entsorgungskosten der Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung und die Entsorgungskosten der geologischen Tiefenlagerung werden in zwei getrennten Berichten dargestellt.

Abbildung 1: Übersicht über die Verknüpfung der Teilberichte, inklusive der entsprechenden Hauptdokumentation der Kostenstudie 2016 sowie der Finanzierung des Nachbetriebs, der Stilllegung und der Entsorgung.

## 1.2 Gesetzlicher Rahmen

Das Strahlenschutzgesetz [9], die Strahlenschutzverordnung [10], das Kernenergiegesetz [11], die Kernenergieverordnung [12] und die Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung [17] regeln die Stilllegung von Kernanlagen und die Entsorgung von radioaktiven Abfällen sowie deren Finanzierung umfassend.

### 1.2.1 Verursacherprinzip

Die kommerzielle Nutzung der Kernenergie zur Stromproduktion und auch radiologische Anwendungen in Medizin, Industrie, Forschung verursachen radioaktive Abfälle. Im Kernenergiegesetz<sup>1</sup> 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 werden<sup>2</sup>. 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.

<sup>1</sup> Art. 31 Abs. 1 Kernenergiegesetz (KEG) [11].

<sup>2</sup> Art. 27 Strahlenschutzgesetz (StSG) [9].

Die Entsorgungspflicht<sup>3</sup> ist dann erfüllt, 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 Verursacherprinzip<sup>1</sup> und die Entsorgungspflicht<sup>3</sup> gelten uneingeschränkt auch für die während des Betriebs und des Nachbetriebs anfallenden radioaktiven Abfälle.

### 1.2.2 Finanzierung der Nachbetriebs- Stilllegungs- und Entsorgungskosten

Die Finanzierung der Stilllegung von Kernanlagen und der Entsorgung der von diesen verursachten radioaktiven Abfälle ist, 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 Betreiber<sup>4</sup> zu eigener Vorsorge.

#### *Staatlich kontrollierte Fonds*

Das Kernenergiegesetz<sup>5</sup> 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 Kernenergiegesetz<sup>6</sup> wird unterschieden zwischen Entsorgungskosten, die während des Betriebs und solchen, die nach Ausserbetriebnahme eines Kernkraftwerks anfallen. Die während des Betriebs anfallenden Entsorgungskosten werden gemäss Kernenergiegesetz<sup>7</sup> von den Eigentümern direkt aus eigenen Mitteln bezahlt.

Die beiden Fonds stellen sicher, dass nach endgültiger Ausserbetriebnahme<sup>8</sup> 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 Stilllegung und die Entsorgung erfolgt auf Basis einer umfassenden Schätzung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten. Diese Kosten müssen gemäss Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung<sup>9</sup> alle fünf Jahre neu geschätzt werden. Als Berechnungsgrundlage wird für die Kernkraftwerke eine Betriebsdauer von 50 Jahren angenommen<sup>10</sup>.

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 angenommen<sup>11</sup>.

---

<sup>3</sup> Art. 31 Abs. 2 KEG [11].

<sup>4</sup> 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.

<sup>5</sup> Art. 77 KEG [11].

<sup>6</sup> Art. 77 Abs. 2 KEG [11].

<sup>7</sup> Art. 82 KEG [11].

<sup>8</sup> 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.

<sup>9</sup> Art. 4 Abs. 1 SEFV [17].

<sup>10</sup> gemäss Art. 4 Abs. 3 bzw. Art. 8 Abs. 4 SEFV [17].

<sup>11</sup> Art. 9c Abs. Abs. 1 SEFV [17].

Zusätzlich zur Einzahlungspflicht sieht das Kernenergiegesetz eine Nachschusspflicht der Eigentümer vor<sup>12</sup>. Reicht der Anspruch<sup>13</sup> eines Beitragspflichtigen an einen der Fonds zur Deckung der Kosten nicht aus, deckt der Beitragspflichtige die verbleibenden Kosten aus eigenen Mitteln<sup>14</sup>. Weist der Beitragspflichtige nach, dass seine Mittel nicht ausreichen, deckt der Stilllegungs- beziehungsweise der Entsorgungsfonds die verbleibenden Kosten mit seinen gesamten Mitteln<sup>15</sup>. Übersteigen die Zahlungen eines Fonds zu Gunsten eines Berechtigten dessen Anspruch<sup>13</sup>, muss er dem Fonds den Differenzbetrag samt einem marktüblichen Zins zurückbezahlen<sup>16</sup>. Kann der Berechtigte die Rückerstattung nicht leisten, so müssen die übrigen Beitragspflichtigen und Anspruchsberechtigten des entsprechenden Fonds für den Differenzbetrag aufkommen<sup>17</sup>. 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 beteiligt<sup>18</sup>.

Die beiden Fonds stehen unter der Aufsicht des Bundesrats<sup>19</sup>. Eine von diesem ernannte Verwaltungskommission<sup>20</sup> ist das Leitungsorgan der Fonds<sup>21</sup>. 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 sind<sup>22</sup>.

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.

---

<sup>12</sup> Art. 80 KEG [11].

<sup>13</sup> Gemäss Art. 78 Abs. 1 KEG [11] hat jeder Beitragspflichtige gegenüber den Fonds einen Anspruch im Umfang seiner geleisteten Beiträge, einschliesslich des Kapitalertrags und abzüglich des Verwaltungsaufwands.

<sup>14</sup> Art. 79 Abs. 1 KEG [11].

<sup>15</sup> Art. 79 Abs. 2 KEG [11].

<sup>16</sup> Art. 80 Abs. 1 KEG [11].

<sup>17</sup> Art. 80 Abs. 2 KEG [11].

<sup>18</sup> Art. 80 Abs. 4 KEG [11].

<sup>19</sup> Art. 20 Abs. 2, 29a Abs. 1 SEFV [17].

<sup>20</sup> Art. 81 Abs. 2 KEG [11] und Art. 23 SEFV [17].

<sup>21</sup> Der Bundesrat hat für den Stilllegungs- und den Entsorgungsfonds ein und dieselbe Verwaltungskommission eingesetzt.

<sup>22</sup> Art. 21 Abs. 2, Art. 21a Abs. 1 und Art. 22 Abs. 1<sup>bis</sup> SEFV [17].

Die mit dem Nachbetrieb verbundenen Aufwendungen – sie entsprechen weder der Definition von Entsorgungskosten<sup>23</sup> noch der von Stilllegungskosten<sup>24</sup> – sind als (letzter) Teil der Betriebskosten zu betrachten. Auch sie sind, entsprechend dem im Kernenergiegesetz<sup>25</sup> verankerten Verursacherprinzip, durch die Eigentümer zu tragen. Der Nachbetrieb wird von den Eigentümern direkt finanziert.

### 1.2.3 Rückstellungen für Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten

Die Eigentümer bilden in ihren Bilanzen sämtliche Verpflichtungen für zukünftige Aufwendungen zur Stilllegung der Kernanlagen und zur Entsorgung der von diesen verursachten radioaktiven Abfälle ab. Sie bilden dazu auf Basis der jeweiligen Kostenstudien und gemäss den anzuwendenden Rechnungslegungsvorschriften<sup>26</sup> Rückstellungen für den Nachbetrieb, die Stilllegung und die Entsorgung. Im Zusammenhang mit der Prüfung der Jahresrechnung werden die Rückstellungen von externen Revisoren testiert<sup>26</sup>. Während die Festsetzung der Höhe der Fondsbeiträge durch die Verwaltungskommission erfolgt<sup>27</sup>, sind die Eigentümer verantwortlich für die Festlegung der Höhe der Rückstellungen gemäss den entsprechenden Rechnungslegungsvorschriften<sup>26</sup>.

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 haben<sup>28</sup>. Die Höhe und die zweckgebundene Verwendung der Rückstellungen werden jährlich durch die jeweilige Revisionsstelle geprüft<sup>29</sup>. Die Eigentümer legen der Verwaltungskommission diesen Prüfbericht vor<sup>30</sup>.

### 1.2.4 Kostenstudie 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 2011. Sie wurde vom Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat (Ensi) geprüft und hinsichtlich Stilllegungs- und Entsorgungskosten von der vom Bundesrat eingesetzten Verwaltungskommission genehmigt. Sie bildet die Grundlage für die Bemessung der Rückstellungen und Fondsbeiträge der Stilllegungs- und 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.

---

<sup>23</sup> Gemäss Art. 3 SEFV [17].

<sup>24</sup> Gemäss Art. 2 SEFV [17].

<sup>25</sup> Art. 31 Abs. 1 KEG [11].

<sup>26</sup> Art. 960e Obligationenrecht OR [18], IFRS [19] bzw. Swiss GAAP FER [20].

<sup>27</sup> Art. 29a Abs. 2 Bst. c SEFV [17].

<sup>28</sup> Art. 82 Abs. 2 Bst. b, c KEG [11].

<sup>29</sup> Vgl. Art. 82 Abs. 3 KEG [11].

<sup>30</sup> Art. 19 Abs. 2 SEFV [17].

## 1.3 Mit der Entsorgung beauftragte Organisationen

### 1.3.1 Die Eigentümer der Kernanlagen

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

Die Entsorgungspflicht der Eigentümer der Schweizer Kernanlagen endet, sobald die Abfälle in ein geologisches Tiefenlager verbracht worden und die finanziellen Mittel für die Beobachtungsphase und den allfälligen Verschluss sichergestellt sind<sup>31</sup>. Darüber hinaus ist der Eigentümer eines geologischen Tiefenlagers verpflichtet, beim Verschluss alle offenen Teile des Tiefenlagers zu verfüllen und die für die Langzeitsicherheit und die Sicherung massgebenden Teile zu versiegeln<sup>32</sup>.

Für die Bearbeitung spezifischer Themen haben die Eigentümer Organisationen gegründet: Dazu gehören die Zwiag, die Nagra und die swissnuclear. Deren Aufgaben sind 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 Zwiag

Die Zwiag Zwischenlager Würenlingen AG, im Folgenden Zwiag genannt, wurde 1990 von den Kernkraftwerk-Betreibergesellschaften gegründet und handelt in deren Auftrag. Der Zweck der Gesellschaft ist der Betrieb von Entsorgungsanlagen und die Bereitstellung von Zwischenlagerkapazitäten für alle Kategorien von radioaktiven Abfällen. Die Zwiag 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 Zwiag konditioniert die Abfälle oder führt schon konditionierte Abfälle direkt der Zwischenlagerung zu.

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

Einerseits garantiert die Zwiag durch ihre vorhandenen Lagermöglichkeiten und Verarbeitungskapazitäten die störungsfreie Entsorgung von anfallenden Betriebsabfällen der Kernkraftwerke sowie abgebrannter Brennelemente und andererseits ist sie eine Voraussetzung der sorgfältigen Planung und Bereitstellung geeigneter geologischer Tiefenlager.

---

<sup>31</sup> Art. 31 KEG Abs. 2 [11][11].

<sup>32</sup> Art. 69 Kernenergieverordnung (KEV) Abs. 1 – 3 [12].

#### 1.3.4 Die Nagra

Die Verursacher von radioaktiven Abfällen in der Schweiz, das heisst 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 Forschung und Entwicklung, die Erarbeitung der notwendigen Sicherheitsnachweise und weiterer 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 der radioaktiven Abfälle der Schweiz aus Kernkraftwerken, aus Medizin, Industrie und Forschung sowie der abgebrannten Brennelemente betraut und erarbeitet auch das modellhafte Inventar für die in Zukunft einzulagernden radioaktiven Abfälle ins geologische Tiefenlager.

#### 1.3.5 Die swissnuclear

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 gehören auch die Schätzung der Kosten für die Stilllegung der Kernanlagen am Ende ihrer Betriebszeit und die Entsorgung der in der Schweiz anfallenden beziehungsweise von Schweizer Unternehmen verursachten radioaktiven Abfälle. Swissnuclear erstellt dazu im Auftrag der Eigentümer der Kernanlagen alle fünf Jahre eine Kostenstudie. Dies in Zusammenarbeit mit den für die nukleare Entsorgung in der Schweiz verantwortlichen Organisationen und unter Berücksichtigung der vom Eidgenössischen Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (Uvek) auf Antrag der Verwaltungskommission des Stilllegungs- und des Entsorgungsfonds festgelegten Vorgaben.

### 1.4 Entsorgungsprogramm

Die Entsorgungspflichtigen müssen gemäss Kernenergiegesetz ein Entsorgungsprogramm erstellen<sup>33</sup>. Dieses wird von der zuständigen Bundesbehörde geprüft und auf Antrag des Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation 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 Zwischenlagerung, den Finanzplan für die Entsorgungsarbeiten bis zur endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs der Kernanlagen, über die zu tätigen Arbeiten, die Höhe der Kosten, die Art der Finanzierung und das Informationskonzept im Hinblick auf die Realisierung der benötigten geologischen Tiefenlager.

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

Die Kostenstudie 2016 und das Entsorgungsprogramm 2016 [21] wurden 2016 inhaltlich aufeinander abgestimmt und im gleichen Zeitraum beim Bund eingereicht. Dadurch ist eine widerspruchsfreie Darstellung gewährleistet.

---

<sup>33</sup> Art. 32 Abs. 1 KEG [11].

Das Entsorgungsprogramm 2016 (EP16) bildet den gegenwärtigen Stand der Planung zur geologischen Tiefenlagerung ab, berücksichtigt aber Handlungsoptionen für das Konzept der geologischen Tiefenlagerung in ergebnisoffener Form, ohne bereits Vorentscheide zu Standorten oder zur detaillierten Anordnung und technischen Auslegungen der geologischen Tiefenlager zu treffen.

Demgegenüber geht die Kostenstudie von einem modellhaften, aber konkreten Basisvorhaben<sup>34</sup> für die geologische Tiefenlagerung aus, das die Vorgaben der Kommission zu Modellstandorten und Methodik der Kostenermittlung berücksichtigt und einen Detaillierungsgrad aufweist, der die Nachvollziehbarkeit der Kostenermittlung unter Berücksichtigung von Gefahren und Chancen ermöglicht. Im Rahmen der Gefahren und Chancen werden auch alternative Standortvarianten zum Basisvorhaben betrachtet. Die Kostenstudie trifft zu diesem Zweck modellhafte Annahmen, die mit dem Entsorgungsprogramm 2016 vereinbar sind, aber keine vorzeitigen Festlegungen zu späteren Entscheidungen auf dem Weg zur geologischen Tiefenlager 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 in den Anlagen der Zwiilag zwischen gelagert. Als Folge eines geänderten Verarbeitungsverfahrens in Frankreich werden die LMA-Abfälle<sup>35</sup> nicht wie ursprünglich geplant in Form von Bitumen, sondern als so genannte CSD-B-Glaskokillen<sup>36</sup> in die Schweiz zurückgeführt. 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 (Zwiilag) beziehungsweise im Zwischenlager Beznau<sup>37</sup> zwischengelagert, nachdem sie in den Brennelement-Becken der Kernkraftwerke bzw. im Nass-lager des Kernkraftwerks Gösgen genügend abgekühlt worden sind.

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

Die aus dem Bereich Medizin, Industrie und Forschung anfallenden Abfälle werden ans PSI abgeliefert, dort konditioniert<sup>38</sup> und dann im Bundeszwischenlager (auf dem Gelände des PSI) zwischengelagert. Das PSI führt diese Aufgabe im Auftrag des Bundes durch. Dieser Teil der Entsorgungskosten des Bundes ist nicht Bestandteil der Kostenstudie 2016.

---

<sup>34</sup> Das Basisvorhaben beinhaltet die Entsorgung der Abfälle der Kernanlagen nach einer Betriebsdauer der Kernkraftwerke von 50 Jahren entsprechend aktueller Strahlenschutzverordnung sowie mit dem Stilllegungsziel Entlassung aus dem KEG. Für die geologische Tiefenlagerung der Abfälle wird von getrennten Standorten für SMA- (schwach und mittelaktive Abfälle) und HAA-Lager (hochaktive Abfälle) ausgegangen. Dies entspricht den Annahmen zu den Modell-Standorten in der Kostenstudie KS11. Abweichungen von diesen Annahmen werden über Chancen und Gefahren abgebildet.

<sup>35</sup> Langlebige mittelaktive Abfälle (LMA) bestehen aus ca. 85 % alphanotoxischen Abfällen (ATA) und aus ca. 15 % langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen.

<sup>36</sup> Der hochaktive Abfall aus der Wiederaufarbeitung, der ca. 5 % des ursprünglichen Volumens ausmacht, wird bei ca. 1'100 °C mit einem Spezialglasgranulat zu einem Glasprodukt verschmolzen. Die noch flüssige Glasmasse wird in einen Edelstahlbehälter, die so genannte Kokille, gefüllt und erstarrt beim Abkühlen. Anschliessend wird die Kokille mit einem aufgeschweissten Edelstahldeckel verschlossen. Anschliessend werden die Kokillen in dickwandige Gussbehälter eingestellt (2 Kokillen je Gussbehälter).

<sup>37</sup> Im Zwischenlager des Kernkraftwerks Beznau (Zwiibez) werden abgebrannte Brennelemente und schwachaktive Abfälle aufbewahrt, bevor sie in ein geologisches Tiefenlager abtransportiert werden. Radioaktive Betriebsabfälle des Kernkraftwerks Beznau werden im zentralen Zwischenlager (Zwiilag) konditioniert und zwischengelagert.

<sup>38</sup> Gewisse Abfälle werden im Auftrag des Bundes in den Anlagen der Zwiilag konditioniert.

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

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

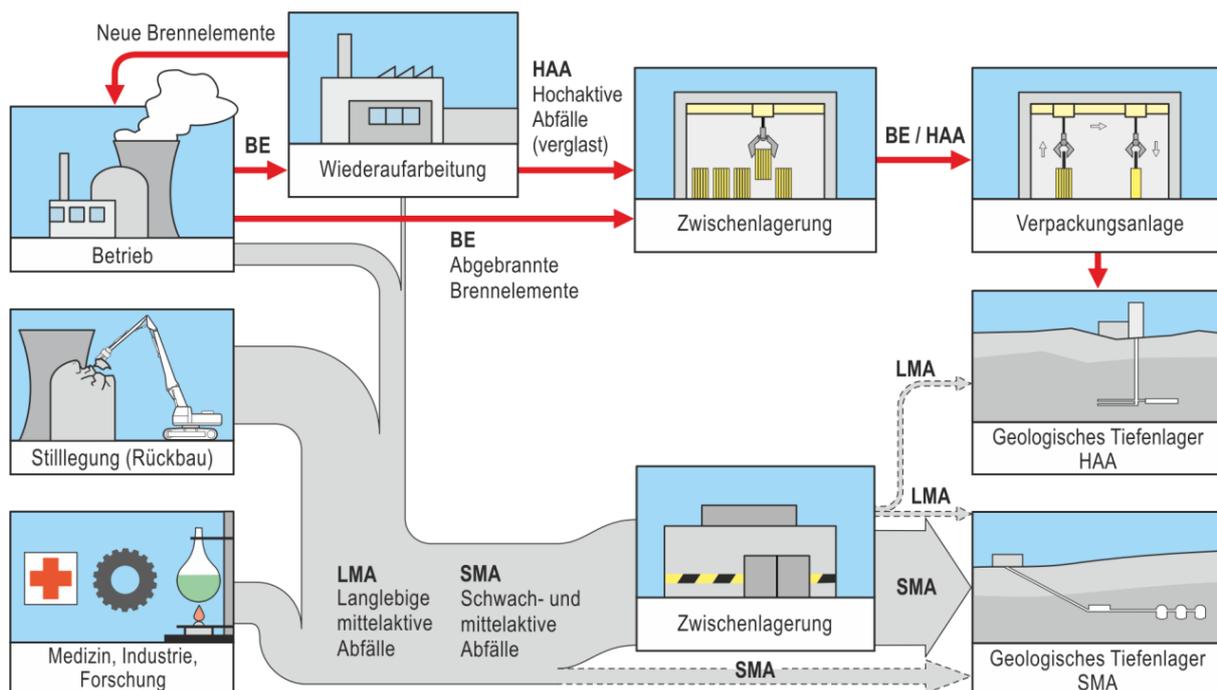


Abbildung 2: Das Entsorgungskonzept für die in der Schweiz anfallenden radioaktiven Abfälle. [97] (BE = Brennelemente, HAA = hochaktive Abfälle, LMA = langlebig mittelaktive Abfälle, SMA = schwach- und mittelaktive Abfälle).

## 1.5 Radioaktive Abfälle nach Abfallsorten

Herkunft, Art und Menge der in der Schweiz zu entsorgenden radioaktiven Abfälle sind bekannt. Die entstehenden Abfälle werden laufend charakterisiert, konditioniert und in einer Datenbank inventarisiert. Bei der Datenbank handelt es sich um das Informationssystem für radioaktive Materialien (Isram), das von allen Schweizer Kernkraftwerken, dem Paul Scherrer Institut (PSI), der Zwiilag und der Nagra verwendet wird. Es enthält die Daten zu sämtlichen konditionierten radioaktiven Abfällen der Schweiz und damit das Inventar der heute bereits vorhandenen, künftig einmal in ein geologisches Tiefenlager zu verbringenden Abfälle. Die erst in Zukunft anfallenden, tiefenzulagernden radioaktiven Abfälle werden in einem modellhaften Inventar (Miram) [22] geführt. Das modellhafte Nuklid- und Materialinventar (Isram/Miram) wird in Kapitel 3.3 beschrieben. Damit ist eine zuverlässige Basis für die Planung und Realisierung der benötigten Infrastruktur sowie deren Finanzierung vorhanden. Die radioaktiven Abfälle werden nach ihrer Herkunft klassifiziert und sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Charakterisierung der radioaktiven Abfälle nach Abfallsorten. [22]

<p><b>Medizin, Industrie, Forschung (MIF)</b></p>	<p><u>Betriebsabfälle</u> aus der Forschung mit radioaktiven Substanzen und aus den im Auftrag des Bundesamts für Gesundheit durchgeführten Sammelaktionen am PSI, Abfälle PSI-Ost und Brennstoffforschung Hotlabor<sup>39</sup>, Abfälle aus dem Betrieb der Beschleunigeranlagen des PSI-West und des CERN.</p> <p><u>Stilllegungsabfälle</u> aus dem Rückbau von Forschungsreaktoren wie zum Beispiel DIORIT<sup>40</sup>, SAPHIR<sup>41</sup> und PROTEUS<sup>42</sup>, grössere Mengen entstehen aus der Stilllegung der Teilchenbeschleuniger am PSI und CERN.</p>
<p><b>Betriebsabfälle der Kernkraftwerke (BA)</b></p>	<p>Abfälle aus den Reinigungsanlagen diverser Wasser- und Kühlmittelkreisläufe.</p> <p>Mischabfälle aus den täglichen Arbeiten in der kontrollierten Zone und thermisch behandelte Mischabfälle (Aschen oder Schlacken).</p>
<p><b>Reaktorabfälle der Kernkraftwerke (RA)</b></p>	<p>Während des Leistungsbetriebs austauschbare Teile aus dem Reaktor-druckbehälter, die nicht Brennelemente darstellen (z.B. Brennelementkästen, Steuerelemente, Neutronenfluss-Messlanzen, Bolzen, Schrauben), die entweder bereits ausgetauscht sind oder mit der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs nicht mehr verwendet werden.</p>
<p><b>Stilllegungsabfälle der Kernkraftwerke (SA)</b></p>	<p>Aktiviertes und kontaminiertes Material wie</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Einbauten des Reaktor-druckbehälters, die nicht bereits während des Betriebs oder dem Nachbetrieb als RA entsorgt wurden,</li> <li>- der Reaktor-druckbehälter,</li> <li>- aktivierte Bereiche des biologischen Schildes,</li> <li>- aktivierte Komponenten des Containments</li> <li>- aktivierte und kontaminierte Installationen (Rohrsysteme, Pumpen, Ventile, Isolierungen, Maschinen etc.)</li> <li>- kontaminierte Sekundärabfälle einzelner Komponenten aus der Stilllegung, die zum Beispiel beim Schneiden, Strahlen etc. anfallen</li> </ul>
<p><b>Abgebrannte Brennelemente (BE)<sup>43</sup></b></p>	<p>Abgebrannte Brennelemente</p>
<p><b>Wiederaufarbeitungsabfälle der Kernkraftwerke (WA)</b></p>	<p>Abfälle aus der Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennelementen</p>
<p><b>Betriebs- und Stilllegungsabfälle der Oberflächenanlagen und geologischen Tiefenlager (BEVA)</b></p>	<p>Kontaminiertes Material          → ähneln kontaminierten BA und SA der Zwiilag</p>

<sup>39</sup> Das Hotlabor am Paul Scherrer Institut (PSI) ist eine Anlage, in der hoch radioaktive Materialien untersucht werden können. Sie dient der angewandten Materialforschung an stark radioaktiven Proben aus Kerneinbauten und Brennstäben von Kernkraftwerken, Forschungsreaktoren und den PSI-Bestrahlungseinrichtungen.

<sup>40</sup> DIORIT ist der Name eines Forschungsreaktors, der 1960 bis 1977 am Eidgenössischen Institut für Reaktorforschung (heute Paul Scherrer Institut) betrieben wurde. Es handelte sich hierbei um einen Schwerverwasserreaktor, der eine thermische Leistung von 20 MW hatte.

<sup>41</sup> Der Forschungsreaktor SAPHIR wurde von 1957 bis 1994 am Eidgenössischen Institut für Reaktorforschung (heute Paul Scherrer Institut) betrieben. Es handelte sich um einen Schwimmbad-Reaktor, der an der Genfer Konferenz «Atom für den Frieden» im Sommer 1955 von den USA ausgestellt und anschliessend von der Eidgenossenschaft gekauft wurde.

<sup>42</sup> PROTEUS war ein Forschungsreaktor des Paul Scherrer Instituts, der von 1968 bis 2011 in Betrieb war. Es handelte sich hierbei um einen Nullleistungsreaktor. Der Reaktor wurde im April 2011 ausser Betrieb genommen, und es wurde mit der Stilllegung begonnen.

<sup>43</sup> Streng gesehen sind Brennelemente noch keine Abfälle. Sie werden erst zu Abfällen, wenn ihre definitive Nicht-wiederverwendung feststeht.

Laut Kernenergieverordnung<sup>44</sup> werden die radioaktiven Abfälle<sup>45</sup> in der Schweiz in folgende, am Gefährdungspotenzial orientierte Abfallkategorien eingeteilt:

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

Bei einem 50-jährigen Betrieb aller Kernkraftwerke (KKM 47 Jahre) ergibt sich das in Tabelle 3 aufgeführte Abfallmengengerüst, gegliedert nach Abfallkategorien gemäss Kernenergieverordnung und nach Herkunft der Abfälle. Die oben aufgeführten Abfallsorten lassen sich diesen Abfallkategorien zuordnen. Als hochaktive Abfälle gelten ein Teil der Wiederaufarbeitungsabfälle<sup>46</sup> sowie die abgebrannten Brennelemente, sobald festgestellt ist, dass sie keine weitere Verwendung<sup>47</sup> finden. Der Kategorie alphatoxische Abfälle können, je nach Gehalt an Alphastrahlern, grundsätzlich Abfälle aus allen Abfallsorten zuzuordnen sein. Alphatoxische Abfälle finden sich unter den Abfällen aus Medizin, Industrie und Forschung sowie bei der Wiederaufarbeitung der Brennelemente und zu einem kleinen Teil unter den Stilllegungsabfällen. Alle radioaktiven Abfälle, die weder hochaktiv noch alphatoxisch sind, zählen zu den schwach- und mittelaktiven Abfällen. Dies ist der Hauptteil des radioaktiven Abfallvolumens in der Schweiz.

Das Kernenergiegesetz verankert die Entsorgungspflicht nicht nur über das Verursacherprinzip, sondern gibt auch konkret vor, dass radioaktive Abfälle in einem so genannten geologischen Tiefenlager entsorgt werden müssen.<sup>48</sup>

Der Gesetzgeber und das Entsorgungsprogramm 2016 legen im Sinne der ergebnisoffenen Planung noch nicht fest, ob sämtliche Abfälle in zwei Einzellagern (HAA- und SMA-Lager) an getrennten Standorten oder am selben Standort ein geologisches Tiefenlager mit getrennten Lagern für HAA und SMA (Kombilager) gebaut werden soll und wo die Lager erstellt werden. Auch die Zuordnung der Abfälle, insbesondere der langlebig mittelaktiven Abfälle, zu den Tiefenlagern ist offen. Für das Basisvorhaben der Kostenstudie 2016 wird in Übereinstimmung mit der Kostenstudie 2011 angenommen, dass die HAA sowie gewisse langlebige mittelaktive Abfälle im HAA-Lager eingelagert werden, während die weiteren schwach- und mittelaktiven Abfälle im SMA-Lager eingelagert werden. Weil es die für die Kostenstudie 2016 zu betrachtenden Standorte zulassen, wird zusätzlich auch eine Variante betrachtet, in der die ATA und alle SMA – das heisst auch die langlebigen mittelaktiven Abfälle<sup>49</sup> – im SMA-Lager eingelagert werden.

Wie Tabelle 3 zeigt, fallen während einer 50-jährigen Betriebsdauer der fünf Schweizer Kernkraftwerke (KKM 47 Jahre) 3'572 Tonnen Brennelemente (Uran und Plutonium) an. Davon wurden aufgrund bestehender Verträge 1'139 Tonnen Brennelemente wiederaufgearbeitet. Dies resultiert in ein Volumen von 7'536 m<sup>3</sup> für die in Behälter für die geologische Tiefenlagerung verpackten hochaktiven Abfällen und abgebrannten Brennelementen (HAA). Das Kernenergiegesetz<sup>50</sup> enthält ein Moratorium für die Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennelementen, das 2016 verlängert wurde.

<sup>44</sup> Art. 51 KEV [12].

<sup>45</sup> Es ist zu beachten, dass gemäss Strahlenschutzverordnung [10] (StSV Anhang 1) Stoffe nur dann als radioaktive Stoffe zu betrachten sind, wenn sie Radionuklide enthalten, deren Aktivität die in der StSV festgesetzten Freigrenzen übersteigt. 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.

<sup>46</sup> Die in die Schweiz zurückgelieferten und noch zurückzuliefernden hochaktiven Wiederaufarbeitungsabfälle bestehen nach der Substitution der bituminierten Abfälle ausschliesslich aus verglasten Spaltproduktlösungen.

<sup>47</sup> Z.B. als Rohstoff für neue Brennelemente.

<sup>48</sup> Art. 31 Abs. 1 und 2 KEG [11].

<sup>49</sup> Das Volumen an in Endlagerbehälter verpackten LMA ist klein und beträgt 2'336 m<sup>3</sup>.

<sup>50</sup> Art. 106 Abs. 4 KEG [11].

Es wird davon ausgegangen, dass die Wiederaufarbeitung in der Schweiz nicht wieder aufgenommen wird. Diese Annahme ist konservativ, da die Wiederaufarbeitung grundsätzlich zu einer Reduktion der in einem geologischen Tiefenlager einzulagernden Abfallmengen führt. Weiter fallen 1'011 m<sup>3</sup> an für die in Endlagerbehältern verpackten alphanotoxischen Abfälle (ATA) sowie 72'141 m<sup>3</sup> (gültige Strahlenschutzverordnung) beziehungsweise 78'161 m<sup>3</sup> (nach Revision der Strahlenschutzverordnung mit angepassten Freigrenzen) für die in Endlagerbehältern verpackten schwach- und mittelaktiven Abfälle (SMA) an.

**Tabelle 3:** Abfallmengen für 50 Jahre Betrieb (für KKB, KKG, KKL) sowie 47 Jahre (für KKM). Angaben gemäss bestehender StSV (a) beziehungsweise unter Berücksichtigung der Revision der Strahlenschutzverordnung 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 Behälter für die geologische Tiefenlagerung verpackten Abfälle.

a) gemäss gültiger Strahlenschutzverordnung

[m <sup>3</sup> ]		Herkunft						Total	
		BE (KKW)	WA (KKW)	BA (KKW)	RA (KKW)	SA (KKW)	MIF		BEVA
Kategorie nach KEV	HAA	1'126 <sup>1)</sup> (7'129)	114 <sup>2)</sup> (398)				8 <sup>4)</sup> (8)	1'248 (7'536)	
	ATA		99 <sup>2)</sup> (414)			24 (24)	154 (573)	277 (1'011)	
	SMA			7'352 (28'094)	416 (1'595)	17'847 (26'006)	9'755 (14478) <sup>5)</sup>	567 (1'968)	35'937 (72'141) <sup>5)</sup>
	<b>Total</b>	1'126 (7'129) <sup>3)</sup>	213 (812)	7'352 (28'094)	416 (1'595)	17'871 (26'030)	9'917 (15059) <sup>5)</sup>	567 (1'968)	37'462 (80687) <sup>5)</sup>

- 1) Entspricht 2'433 tU.
- 2) Diese Abfälle resultieren aus der Wiederaufarbeitung von 1'139 tU.
- 3) Bei einer vollständigen Beladung der Endlagerbehälter (ohne Berücksichtigung von Leerstellen) würde ein Volumen von 6'455 m<sup>3</sup> resultieren.
- 4) Brennelemente des DIORIT-Reaktors. Annahme: Verpackung in zwei Endlagerbehälter.
- 5) Darin enthalten sind 4'014 m<sup>3</sup> für Abfälle des CERN (modellhafte Annahme), die in der Kostenstudie KS16 nicht berücksichtigt werden.
- 6) Darin enthalten sind 4'883 m<sup>3</sup> für Abfälle des CERN (modellhafte Annahme), die in der Kostenstudie KS16 nicht berücksichtigt werden.

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

(BA = Betriebsabfälle, RA = Reaktorabfälle, SA = Stilllegungsabfälle, MIF = Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung, BE = abgebrannte Brennelemente, WA = Wiederaufarbeitungsabfälle, BEVA = Betriebs- und Stilllegungsabfälle der Brennelementverpackungsanlage).

b) gemäss geplanter Revision der Strahlenschutzverordnung (angepasste Freigrenzen)

[m <sup>3</sup> ]		Herkunft						Total	
		BE (KKW)	WA (KKW)	BA (KKW)	RA (KKW)	SA (KKW)	MIF		BEVA
Kategorie nach KEV	HAA	1'126 <sup>1)</sup> (7'129)	114 <sup>2)</sup> (398)				8 <sup>4)</sup> (8)	1'248 (7'536)	
	ATA		99 <sup>2)</sup> (414)			24 (24)	154 (573)	277 (1'011)	
	SMA			7'473 (28'260)	416 (1'595)	18'839 (27'366)	14'213 (18972) <sup>6)</sup>	567 (1'968)	41'508 (78161) <sup>6)</sup>
	<b>Total</b>	1'126 (7'129) <sup>3)</sup>	213 (812)	7'473 (28'260)	416 (1'595)	18'863 (27'390)	14'375 (19553) <sup>6)</sup>	567 (1'968)	43'033 (86708) <sup>6)</sup>

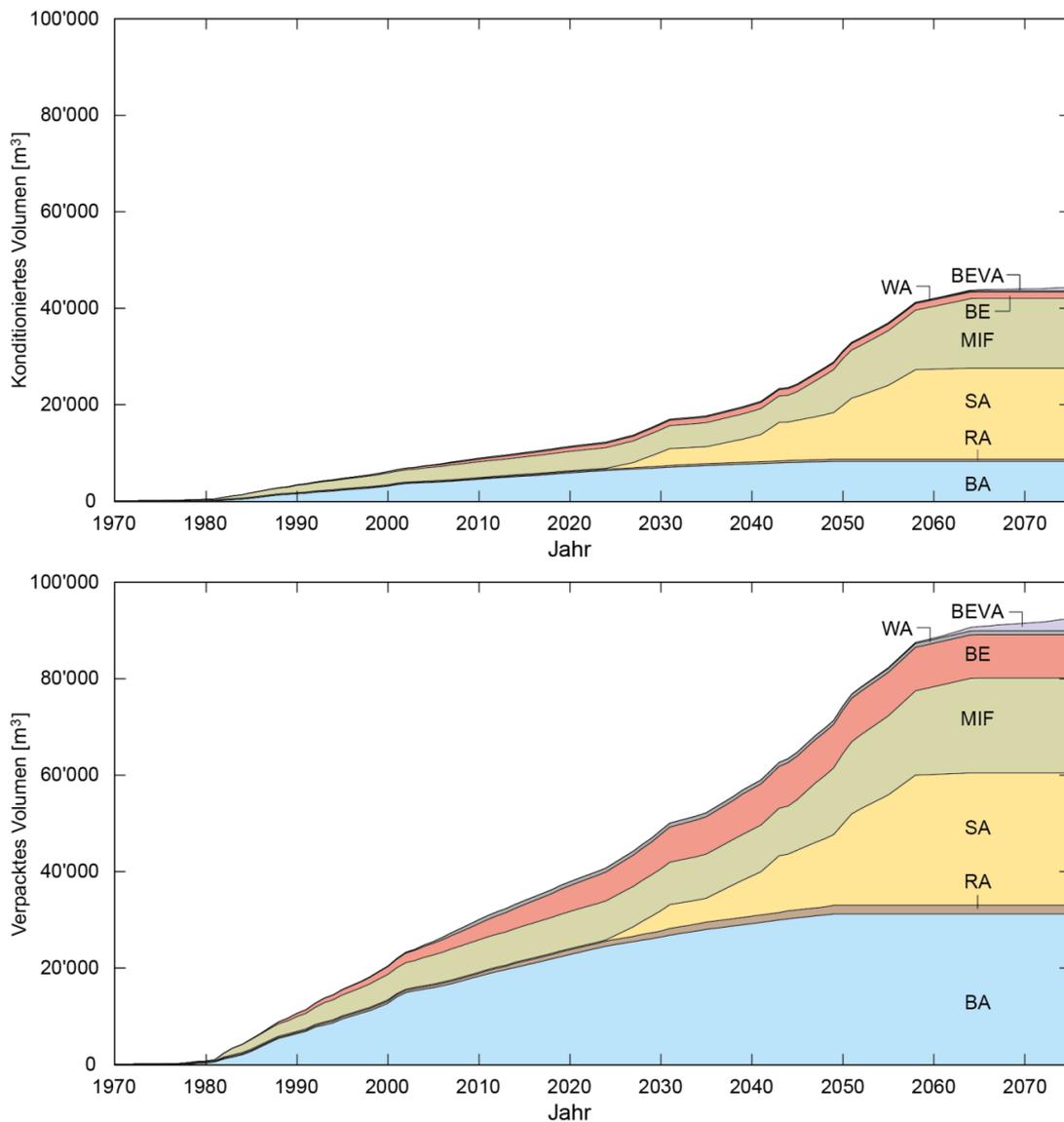
- 1) Entspricht 2'433 tU.
- 2) Diese Abfälle resultieren aus der Wiederaufarbeitung von 1'139 tU.
- 3) Bei einer vollständigen Beladung der Endlagerbehälter (ohne Berücksichtigung von Leerstellen) würde ein Volumen von 6'455 m<sup>3</sup> resultieren.
- 4) Brennelemente des DIORIT-Reaktors. Annahme: Verpackung in zwei Endlagerbehälter.
- 5) Darin enthalten sind 4'014 m<sup>3</sup> für Abfälle des CERN (modellhafte Annahme), die in der Kostenstudie KS16 nicht berücksichtigt werden.
- 6) Darin enthalten sind 4'883 m<sup>3</sup> für Abfälle des CERN (modellhafte Annahme), die in der Kostenstudie KS16 nicht berücksichtigt werden.

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

(BA = Betriebsabfälle, RA = Reaktorabfälle, SA = Stilllegungsabfälle, MIF = Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung, BE = abgebrannte Brennelemente, WA = Wiederaufarbeitungsabfälle, BEVA = Betriebs- und Stilllegungsabfälle der Brennelementverpackungsanlage).

Für die Abfälle aus dem Bereich Medizin, Industrie und Forschung (MIF) wird für eine Sammelperiode bis 2063 von einem Volumen für die in Endlagerbehälter verpackten Abfälle von 15'059 m<sup>3</sup> (zurzeit gültige Strahlenschutzverordnung) beziehungsweise 19'553 m<sup>3</sup> (gemäss geplanter Revision der Strahlenschutzverordnung mit angepassten Freigrenzen) ausgegangen. Die Zusatzkosten, die sich aus der geplanten Revision der Strahlenschutzverordnung ergeben, sind als Kostenzuschlag für Gefahren berücksichtigt.

Abbildung 3 zeigt den zeitlichen Anfall der radioaktiven Abfälle (in m<sup>3</sup>) der Kernkraftwerke bei einer Betriebsdauer von 50 Jahren (KKM nur 47 Jahre) und der MIF-Abfälle für eine Sammelperiode bis 2063 (Betriebsende SMA-Lager).



(BA = Betriebsabfälle, RA = Reaktorabfälle, SA = Stilllegungsabfälle, MIF = Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung, BE = abgebrannte Brennelemente, WA = Wiederaufarbeitungsabfälle, BEVA = Betriebs- und Stilllegungsabfälle der Brennelementverpackungsanlage).

**Abbildung 3:** Zeitlicher Anfall verschiedener Abfallsorten der Schweizer Kernkraftwerke. Betriebsdauer von 50 Jahren (KKM 47 Jahre) unter Berücksichtigung der absehbaren Revision der StSV [10] und aus dem MIF-Bereich für eine Sammelperiode bis 2063.

Die Zeitachse deckt den Zeitraum von der Betriebsaufnahme von KKB (1970) bis zum Ende der Einlagerung von Abfällen in das Tiefenlager HAA (Ende 2075) ab. Der Zuwachs der Abfallmenge nach 2063 resultiert aus Betrieb und Rückbau der Oberflächenanlagen für BE/HAA (BEVA) sowie der Anlagen der Zwiilag. Im oberen Bild ist das Archimedes-Volumen der im Tiefenlager angelieferten beziehungsweise dort konditionierten Abfälle und im unteren Bild das in die Lagerkammern der Tiefenlager einzubringende verpackte Volumen dargestellt.

## 1.6 Betriebsdauer der Kernkraftwerke

Als Berechnungsgrundlage wird für die Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt eine Betriebsdauer von 50 Jahren angenommen<sup>51</sup>. Für das Kernkraftwerk Mühleberg wird entsprechend dem eingereichten Stilllegungsgesuch eine Betriebsdauer von 47 Jahren angesetzt. Für die Bemessung der Fondsbeiträge und für die Einzahlungen gilt, unabhängig von der tatsächlichen Laufzeit, allerdings auch für das KKM eine Laufzeit von 50 Jahren<sup>52</sup>. Entsprechend den Vorgaben der Verwaltungskommission werden in der Kostenstudie 2016 erstmals die Stilllegungs-, Nachbetriebs- und Entsorgungskosten für eine Betriebsdauer von 50 Jahren als auch 60 Jahren für die Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt ausgewiesen. Die Kosten für die 60-jährige Betriebsdauer der Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt werden im Anhang A.7 dargestellt.

Für die Kostenschätzung gilt der in Tabelle 4 gegebene zeitliche Rahmen. Die Stilllegungszeiten sind der Stilllegungsstudie [4] entnommen.

Tabelle 4: *Betriebs- und Stilllegungszeiten der Schweizer Kernkraftwerke, der Zwischenlager an den Standorten und des zentralen Zwischenlagers der Zwiilag.*

Anlage	IBN	EELB	Nachbetrieb		Stilllegung bzw. Rückbau		
	von	bis inkl.	von	bis inkl.	ab	Abschluss Stilllegung	Jahre ab EELB bis Abschluss Stilllegung
KKB <sup>a)</sup>	1970	2020	2021	2024	Die Erarbeitung des Stilllegungsprojekts und Planungen können vor Abschluss des Nachbetriebs oder bereits während des Leistungsbetriebs beginnen. Der eigentliche Rückbau beginnt, sobald die Stilllegung verfügt ist.	2034	14
KKM	1972	2019	2020	2024		2031	12
KKG	1979	2029	2030	2032		2040	11
KKL	1984	2034	2035	2038		2049	15
KKG Nasslager	2008	2036	kein Nachbetrieb			2037	1
Zwibez	2008	2071	kein Nachbetrieb			2072	1
Zwiilag	2000	2071	kein Nachbetrieb			2076	5

<sup>a)</sup> Der Einfachheit halber wird für beide Blöcke des KKB das Jahr 1970 als «mittleres» Inbetriebsetzungs- und das Jahr 2020 als «mittleres» Ausserbetriebnahmejahr verwendet.

IBN: Inbetriebnahme; EELB: Endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs.

<sup>51</sup> gemäss Art. 4 Abs. 3 bzw. Art. 8 Abs. 4 SEFV [17].

<sup>52</sup> Art. 9c Abs. Abs. 1 SEFV [17].

### 1.7 Realisierungsprogramm der Entsorgung und zeitliche Gliederung

Die Kosten für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle werden seit der Gründung der Nagra im Jahr 1972 erfasst. Die Zeitdauer, über die sich die Zahlungen erstrecken, hängt hauptsächlich von der Betriebsdauer der Kernkraftwerke und von der zeitlichen Ausdehnung des Entsorgungspfades<sup>53</sup> ab.

Abbildung 4 zeigt die angenommenen Betriebszeiten der wichtigsten Anlagen auf dem Entsorgungspfad. Die Bau-, Betriebs- und Stilllegungszeiten der Kernkraftwerke und Tiefenlager lassen sich den detaillierten Darstellungen im Kapitel 4.8 entnehmen. Die zeitliche Gliederung des Etappenplans der geologischen Tiefenlager ist aus dem Bericht «Kostenstudie 2016 Schätzung der Entsorgungskosten – geologische Tiefenlagerung» [2] ersichtlich.

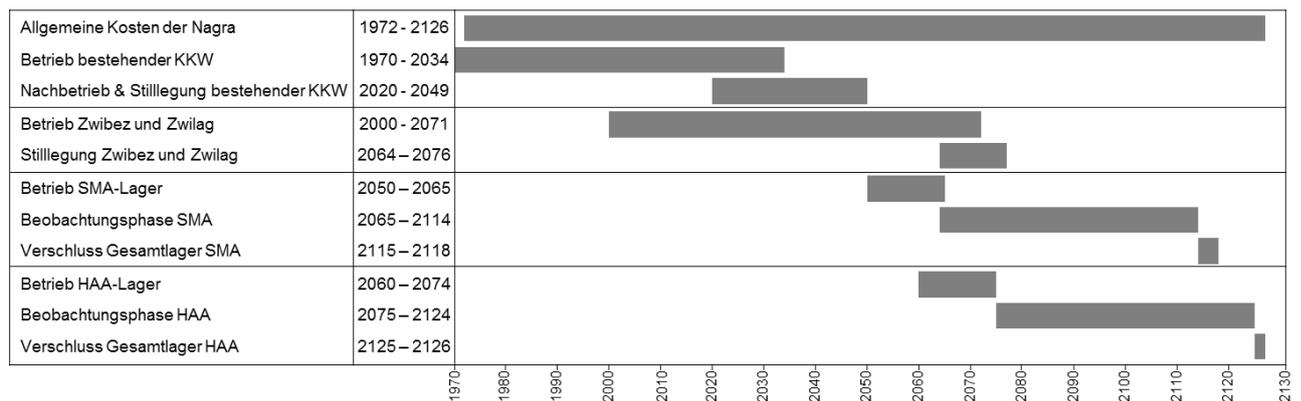


Abbildung 4: Betriebszeiten der wichtigsten Anlagen des Entsorgungspfades bei einer Betriebsdauer der Kernkraftwerke von 50 Jahren (vereinfachte Darstellung).

<sup>53</sup> Die Realisierungszeiträume bis zur Festlegung eines Standortes für die geologische Tiefenlagerung bis zum Beginn der Einlagerung der Abfälle bis zum Verschluss des geologischen Tiefenlagers sind im Sachplan geologische Tiefenlager festgelegt worden. Aufgrund von längeren Abläufen, von beabsichtigten oder nicht beabsichtigten Wartezeiten, von gerichtlichen Auseinandersetzungen, von Änderungen im Prozessablauf bis hin zu Planänderungen und Rücksprüngen etc. können die Zeitspannen von der aktuellen Planung abweichen.

## 2 Randbedingungen und Annahmen

### 2.1 Gesetze, Verordnungen, Richtlinien und andere Vorgaben

Als Grundlage für die vorliegende Schätzung der Entsorgungskosten für die Schweizer Kernanlagen dienen die aufgeführten und per 1. Januar 2015 rechtsgültigen Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Vorschriften, Normen und Regeln sowie die verwendeten, im Glossar [8] definierten Begriffe. Die absehbaren finanziellen Auswirkungen der geplanten Revision der Strahlenschutzverordnung<sup>57</sup> sind in der Kostenschätzung als Gefahr berücksichtigt und der entsprechende Kostenzuschlag ist ausgewiesen.

#### 2.1.1 Grundlegende Gesetze und Verordnungen

- Strahlenschutzgesetz (StSG) [9].
- Strahlenschutzverordnung (StSV) [10].
- Kernenergiegesetz (KEG) [11].
- Kernenergieverordnung (KEV) [12].
- Safeguardsverordnung [13] mit zugehörigen Verordnungen des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation über die Gefährdungsannahmen und Sicherungsmassnahmen für Kernanlagen und Kernmaterialien [14] und über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen [15].
- Kernenergiehaftpflichtverordnung [16].
- Stilllegungsfonds- und Entsorgungsfondsverordnung (SEFV) [17].
- Obligationsrecht [18] sowie Rechnungslegungsnormen IFRS [19] und Swiss GAAP FER [20].
- Bundesgesetz über die Arbeit in Industrie, Gewerbe und Handel (Arbeitsgesetz, ArG) [23] mit zugehörigen Verordnungen (ArGV 1 [24], ArGV 2 [25], ArGV 3 [26] und ArGV 4[27]).
- Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten (Verordnung über die Unfallverhütung [VUV]) [28].
- Bundesgesetz über die Unfallversicherung [29] und Verordnung über die Unfallversicherung [30].
- Verordnung über sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen in Kernanlagen [31].
- Verordnung über die Sicherheit von Maschinen [32].
- Verordnung über die Personendosimetrie [33].
- Verordnung über die Anforderung an das Personal von Kernanlagen (VAPK) [34].
- Gebührenverordnung des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats [35] und Verordnung über die Gebühren im Strahlenschutz [36].
- Grundlagenpapier des Bundesamts für Gesundheit zur Revision der Verordnungen im Strahlenschutz [37].
- Übrige Gesetze und Verordnungen des Bundes.
- Gesetze und Verordnungen der Standortkantone der Kernkraftwerke.

#### 2.1.2 Richtlinien und Empfehlungen

Für die Entsorgung und Einlagerung von radioaktiven Abfällen in das zentrale Zwischenlager sind insbesondere folgende Richtlinien, Empfehlungen und Auslegungsanforderungen für die nukleare Sicherheit und den Strahlenschutz zu erwähnen.

Richtlinien des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats:

- A01 – Anforderungen an die deterministische Störfallanalyse für Kernanlagen: Umfang, Methodik und Randbedingungen der technischen Störfallanalyse [38].
- A04 – Gesuchsunterlagen für freigabepflichtige Änderungen an Kernanlagen [39].
- A05 – Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Qualität und Umfang [40].
- A06 – Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Anwendung [41].

<sup>57</sup> Vgl. Grundlagenpapier zur Revision der Verordnungen im Strahlenschutz [37].

- A08 – Quelltermanalyse: Umfang, Methodik und Randbedingungen [42].
- B01 – Altersüberwachung [43].
- B02 – Periodische Berichterstattung der Kernanlagen [44].
- B03 – Meldungen der Kernanlagen [45].
- B04 – Freimessen von Materialien und Bereichen aus kontrollierten Zonen [46].
- B05 – Anforderungen an die Konditionierung radioaktiver Abfälle [47].
- B06 – Sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen: Instandhaltung [48].
- B09 – Ermittlung und Aufzeichnung der Dosis strahlenexponierter Personen [49].
- B10 – Ausbildung, Wiederholungsschulungen und Weiterbildung von Personal [50].
- B11 – Notfallübungen [51].
- B12 – Notfallschutz in Kernanlagen [52].
- B13 – Ausbildung und Fortbildung des Strahlenschutzpersonals [53].
- G01 – Sicherheitstechnische Klassierung für bestehende Kernkraftwerke [54].
- G03 – Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis [55].
- G04 – Auslegung und Betrieb von Lagern für radioaktive Auslegung und Betrieb von Lagern für radioaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente [56].
- G05 – Transport- und Lagerbehälter für die Zwischenlagerung [57].
- G07 – Organisation von Kernanlagen [58].
- G08 – Systematische Sicherheitsbewertungen des Betriebs von Kernanlagen [59].
- G09 – Betriebsdokumentation [60].
- G11 – Sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen: Planung, Herstellung und Montage [61].
- G13 – Messmittel für ionisierende Strahlung [62].
- G14 – Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung aufgrund von Emissionen radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen [63].
- G15 – Strahlenschutzziele für Kernanlagen [64].
- G17 – Stilllegung von Kernanlagen [65].
- R07 – Richtlinie für den überwachten Bereich der Kernanlagen und des Paul Scherrer Instituts [66].
- R12 – Erfassung und Meldung der Dosen des strahlenexponierten Personals der Kernanlagen und des Paul Scherrer Instituts [67].
- R30 – Aufsichtsverfahren beim Bau und Betrieb von Kernanlagen [68].
- R50 – Sicherheitstechnische Anforderung an den Brandschutz in Kernanlagen [69].
- R101 – Auslegungskriterien für Sicherheitssysteme von Kernkraftwerken mit Leichtwasser-Reaktoren [70].
- R102 – Auslegungskriterien für den Schutz von sicherheitsrelevanten Ausrüstungen in Kernkraftwerken gegen die Folgen von Flugzeugabsturz [71].
- R103 – Anlageinterne Massnahmen gegen die Folgen schwerer Unfälle [72].
- KE-R-15 Sicherheitstechnische Anforderungen an die Sicherung von Kernanlagen [73].

#### Internationale Empfehlungen:

- The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103 [74].
- The Management System for Facilities and Activities – Safety Requirements, IAEA Safety Standards Series No. GS-R-3 [75].
- Application of the Management System for Facilities and Activities – Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-3.1 [76].
- Organization and Management for Decommissioning of Large Nuclear Facilities, IAEA Technical Reports Series No. 399 [77].
- Decommissioning of Facilities Using Radioactive Material, Safety Requirements, IAEA Safety Standards Series No. WS-R-5 [78].

- Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. WS-G-2.1 [79].
- Release of Sites from Regulatory Control on Termination of Practices Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. WS-G-5.1 [80].
- Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors and other Nuclear Fuel Cycle Facilities, Safety Guide, IAEA Safety Standards under development No. DS452 [81].
- Decommissioning Strategies for Facilities Using Radioactive Material, IAEA Safety Reports Series No. 50 [82].
- State of the Art Technology for Decontamination and Dismantling of Nuclear Facilities, IAEA Technical Report Series No. 395 [83].
- Financial Aspects of Decommissioning, IAEA Safety Related Publications TECDOC-1476 [84].
- Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants – an Internal Overview of Cost Elements, Estimation Practices and Reporting Requirements OECD NEA No. 6831 [85].
- International Structure for Decommissioning Costing (ISDC) of Nuclear Installations, OECD NEA No. 7088 [86].
- Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants, OECD NEA No. 7201 [87].
- Baseline Management System Programme Controls Procedures, United Kingdom Nuclear Decommissioning Authority NDA Doc No PCP-M [88].
- Cost Estimating Guide, U.S. Department of Energy DOE G 413.3-21 [89].

### 2.1.3 Transportvorschriften

Für die Anlieferung und den Abtransport von Abfällen sowie von abgebrannten Brennelementen gelten die jeweils gültigen Vorschriften für den Transport radioaktiver Stoffe. Für die vorliegenden Studien sind dies:

Für den Schienentransport

- Verordnung des Uvek über die Beförderung gefährlicher Güter mit der Eisenbahn und mit Seilbahnen (RSD) [90].
- Übereinkommen über den internationalen Eisenbahnverkehr (COTIF 1980) [91].
- Ordnung für die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter (RID) [92].

Für den Strassentransport

- Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (SDR) [93].
- Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (ADR) [94].

Vorschriften und Empfehlungen der IAEA

- Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, Specific Safety Requirements (2012 Edition), IAEA Safety Standards Series No. SSR-6 [95].
- Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material (2012 Edition), Specific Safety Guide,
- IAEA Safety Standards Series No. SSG-25 [96].
- Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material (2012 Edition), IAEA Specific Safety Requirements No. TS-R-1 [97].
- Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. TS-G-1.1 (Revision1) [98].

#### 2.1.4 Normen und Regeln

Für die Entsorgungstudie wurden unter anderem berücksichtigt:

- Normen des Schweizerischen Ingenieur- und Architekten-Vereins (SIA).
- Technische Normen des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV).
- Sicherheitstechnische Regeln des Kerntechnischen Ausschusses (KTA).

#### 2.1.5 Begriffe

Die Berichte zur Kostenstudie 2016 enthalten zahlreiche Fachbegriffe. Diese wurden in einem Glossar [8] zusammengestellt und erläutert. Das Glossar ist Bestandteil der Kostenstudie.

### 2.2 Randbedingungen und Annahmen zur Entsorgung

Neben der Kenntnis der erforderlichen Abfallmengen und -spezifikationen sind für die Schätzung der Entsorgungskosten eine Reihe von Randbedingungen, Annahmen und Eingangsdaten festzulegen, die eine Kostenschätzung für ein Projekt überhaupt erst ermöglichen. Die Festlegungen dienen ebenfalls als Basis für den Teilbericht geologische Tiefenlagerung der Kostenstudie 2016.

Nebst den im Mantelbericht [1] erläuterten Rahmenbedingungen der Kostenstudie hat swissnuclear für die Schätzung der Entsorgungskosten folgende Randbedingungen gesetzt:

- 1 Kostenbeeinflussende Auswirkungen durch Verzögerungen beziehungsweise Verkürzungen sind in der Kostengliederung unter Gefahren und Chancen berücksichtigt.
- 2 Im Anschluss an die endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs eines Kernkraftwerks folgt der so genannte Nachbetrieb. Wesentliche Aufgaben im Nachbetrieb sind die Handhabung beziehungsweise der Abtransport der Brennelemente, der Steuerstäbe, der Neutronenquellen und weiterer Reaktorabfälle sowie sämtlicher vorhandener Betriebsabfälle und -medien. Die Kosten hierfür werden von den Betreibern direkt bezahlt. Sobald die radioaktiven Betriebsabfälle und die Reaktorabfälle das Betriebsgelände der Anlage verlassen, sind die dabei anfallenden Kosten Bestandteil der Entsorgungskosten. Im Fall der Anlagen der Zwiilag gibt es keinen Nachbetrieb.
- 3 Die Plasma-Anlage<sup>58</sup> der Zwiilag wird bis 2049 betrieben und anschliessend ausser Betrieb genommen. Die Halle für schwach- und mittelaktive Abfälle wird bis 2063, die Hallen für mittelaktive Abfälle, hoch-aktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente, die heisse Zelle und die Konditionierungsanlagen werden bis Ende 2071 betrieben. Nach Überführung aller zwischengelagerten Brennelemente und der radioaktiven Abfälle an das geologische Tiefenlager werden die Anlagen der Zwiilag zurückgebaut.

---

<sup>58</sup> In der Plasma-Anlage werden radioaktive Abfälle in einem Plasmabrenner bei Temperaturen bis zu 20'000 °C thermisch zersetzt oder aufgeschmolzen. Das Plasma-Verfahren erlaubt die Verarbeitung von brennbaren Stoffen sowie die Aufschmelzung von metallischen Teilen, von Beton und anderen Feststoffen. Die aufgeschmolzenen Abfälle werden unter Beimischung von Glas in für die geologische Tiefenlagerung geeignete Gebinde gegossen. Aus diesem Verfahren resultiert eine hervorragende Eignung der damit hergestellten Abfallgebände für die geologische Tiefenlagerung. Ausserdem kann das Volumen der radioaktiven Abfälle verringert werden, jedoch nicht die Radioaktivität.

- 4 Für die Bemessung der Fondsbeiträge ist der Zeitpunkt der Inbetriebnahme der geologischen Tiefenlager zentral. Im Basisprojekt wird davon ausgegangen, dass den Standortvorschlägen zeitgerecht zugestimmt und die Standorte für SMA- und HAA-Lager festgelegt werden. Die Vorbereitung der Rahmenbewilligungsgesuche erfolgt ohne Verzögerungen, und die Zustimmung erfolgt zeitgerecht. Die Standortuntersuchungen, Bau, Betrieb und Verschluss verlaufen ohne Verzögerungen und ohne Schwierigkeiten. Als Einlagerungsbeginn gilt für das SMA-Lager das Jahr 2050 und für das HAA-Lager das Jahr 2060. Bis zur Einlagerung der Abfälle in das geologische Tiefenlager werden die radioaktiven Abfälle im Zwischenlager der Zwiilag beziehungsweise im Zwischenlager Beznau gelagert.
- 5 Die Kosten der Entsorgung von radioaktiven Abfällen, die während des Betriebs anfallen, werden direkt durch die Betreiber bezahlt.
- 6 Die anfallenden radioaktiven Abfälle werden nach den zurzeit in der Schweiz gültigen Regelwerken (zum Beispiel Ensi Richtlinie B05) beziehungsweise Vereinbarungen mit der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) konditioniert.
- 7 Für die Behandlung von Materialien und die Konditionierung von radioaktiven Abfällen stehen die während des Betriebs genutzten Anlagen und Entsorgungswege zur Verfügung (am Standort beziehungsweise extern, zum Beispiel die Plasma-Anlage der Zwiilag).
- 8 Die Behälterkosten für die Verpackung der Brennelemente und der radioaktiven Abfälle für die geologische Tiefenlagerung werden durch die Nagra ermittelt.
- 9 Die im Kernkraftwerk Beznau vorhandenen Brennelemente werden zur Zwischenlagerung in das am Standort errichtete Zwischenlager Zwibez verbracht. Die Brennelemente der Kernkraftwerke Mühleberg, Gösgen und Leibstadt werden in die Anlagen der Zwiilag transportiert und dort zwischenlagert.
- 10 Das Radioaktivitätsinventar setzt sich aus zwei Teilen zusammen (für Zwiilag: nur kontaminiertes Material):
  - aktiviertes Material (im Bereich des Neutronenfeldes);
  - kontaminiertes Material.
- 11 Das Radioaktivitätsinventar der einzulagernden radioaktiven Abfälle wurde für die vorliegende Kostenstudie von der Nagra bestimmt.
- 12 Die Revision der Strahlenschutzverordnung wird voraussichtlich neue niedrigere Freigabewerte vorsehen. Diese in der revidierten Strahlenschutzverordnung vorgesehenen neuen Freigabewerte werden in der Kostenschätzung im Rahmen der Kostengliederung als Kostenzuschlag für Gefahren berücksichtigt.
- 13 Im Basisprojekt werden die radioaktiven Abfälle sowie die abgebrannten Brennelemente für eine Betriebsdauer der Kernkraftwerke von 50 Jahren (für Kernkraftwerk Mühleberg 47 Jahre) ermittelt.
- 14 Im Basisprojekt wird von getrennten Standorten für SMA- und HAA-Lager ausgegangen, die den Modellstandorten<sup>59</sup> der Kostenstudie 2011 entsprechen.
- 15 Die langlebig mittelaktiven Abfälle werden im HAA-Lager eingelagert.

---

<sup>59</sup> Es sind dies die Standortgebiete Jura Ost für das SMA-Lager und das Standortgebiet Zürich Nordost für das HAA-Lager.

- 16 Parallel zum Betrieb der geologischen Tiefenlager wird auch die ZwiLag ihre Anlagen noch betreiben. Dies ermöglicht es, Synergien entweder beim Basisvorhaben oder zumindest in Varianten einzubeziehen.
- 17 Die technischen Ausführungen der Tiefenlagercontainer für die Verpackung schwach- und mittelaktiver Abfälle wurden für die Kostenstudie 2016 von der Nagra vorgegeben. Die maximale Aktivität je Behälter ist durch die geltenden Transportvorschriften limitiert, nicht durch das geologische Tiefenlager SMA. Die Hohlräume in den Behältern werden mittels geeigneter Füllmaterialien (zum Beispiel zementbasierte Füllmaterialien) vergossen. Darüber hinaus wird angestrebt, den Richtwert von  $5 \text{ W/m}^3$  für die spezifische Wärmeleistung pro Gebindevolumen nicht zu überschreiten. Zur Verpackung höher aktivierter Teile werden spezielle, dickwandige Gussbehälter<sup>60</sup> verwendet.
- 18 Die Transportkosten der Stilllegungsabfälle von der Anlage zum Standort des Zwischenlagers und später von dort zum geologischen Tiefenlager werden den Stilllegungskosten zugeordnet. Die Kosten der Zwischenlagerung der Stilllegungsabfälle werden den Entsorgungskosten zugeordnet.
- 19 Basierend auf dem heutigen Stand der Wissenschaft und Technik wird die maximale Wärmeleistung von 1'500 Watt pro Tiefenlagerbehälter für hochaktive Abfälle<sup>61</sup> begrenzt. Ausgehend von dieser Vorgabe wird die Anzahl der benötigten Behälter berechnet.
- 20 Die bei der Entsorgung eingesetzten Verfahren und Geräte entsprechen dem heutigen Stand der Technik.
- 21 Die Versicherungsprämien (nukleare Versicherungen und Sachversicherungen) werden entsprechend der geltenden Gesetzgebung (zum Beispiel Kernenergiehaftpflichtgesetz [99]) berücksichtigt. Für die Haftpflichtversicherung betreffend nukleare Transporte wurde vorsorglich eine Inkraftsetzung der Bestimmungen des revidierten Pariser Übereinkommens angenommen.
- 22 Es werden die von der Kommission des Stilllegungs- und Entsorgungsfonds festgelegten Wechselkurse für die Kostenermittlung verwendet:  
USD/CHF = 1.00; EUR/CHF = 1.20; GBP/CHF = 1.50; SEK/CHF = 0.13.
- 23 Die Kostenschätzung verwendet die Kostengliederung, wie sie von der Kommission für diesen Zweck vorgegeben worden ist. Für die Ermittlung der Kosten werden verschiedene Kostenniveaus berechnet und ausgewiesen. Die verwendete Kostengliederung wird in Kapitel 3.2 des Berichtes erläutert.
- 24 Die Entsorgungskosten werden alle fünf Jahre neu berechnet. Die Kostenschätzung erfolgt auf Basis einer bestmöglichen Berücksichtigung aktueller technisch-wissenschaftlicher Erkenntnisse und gestützt auf die zum Zeitpunkt der Berechnung gültiger Preise. Die Preisbasis für die vorliegende Kostenschätzung ist der 1. Januar 2016. Sämtliche Kosten werden ohne Mehrwertsteuer ausgewiesen.

---

<sup>60</sup> Für die Kostenstudie 2016 wird von Mosaik®-Behältern ausgegangen.

<sup>61</sup> Wird auch als Endlagerbehälter (ELB) bezeichnet.

### 3 Methodik der Kostenschätzung

Die Kostenstudie 2016 weist im Vergleich zu den früheren Kostenstudien zwei wesentliche Neuerungen auf. Die Verwaltungskommission hat für die Kostenstudie 2016 neue Kostenstrukturen vorgegeben und verlangt, die Kostenschätzungen in Form einer Kostengliederung darzustellen. Diese beiden Neuerungen werden in diesem Kapitel erläutert.

#### 3.1 Kostenstruktur

Die Kostenstrukturen für die Entsorgung umfassen die Kosten der Zwischenlagerung, der Transporte, der Transport- und Lagerbehälter für abgebrannte Brennelemente, die Kosten der Wiederaufarbeitung sowie die Kosten für die Projektierung und den Bau der geologischen Tiefenlager. Die Kosten werden durch verschiedene Organisationen erhoben und bei swissnuclear zusammengeführt. In der Kostenstudie 2016 werden die Kosten der Zwischenlagerung, der Transporte, der Transport- und Lagerbehälter für abgebrannte Brennelemente und der Wiederaufarbeitung getrennt von den Kosten für die Projektierung und dem Bau der geologischen Tiefenlager in einem separaten Bericht dargestellt.

- Die Nagra erstellt die Kostenschätzung für die Projektierung, den Bau, Betrieb, Verschluss und die Überwachung der geologischen Tiefenlager (inklusive Verpackungsanlagen). Daneben erstellt die Nagra das Transport- und Abfallmengengerüst, das für die Schätzung weiterer Bestandteile der Entsorgungskosten massgebend ist.
- Die Zwiag erstellt die Kostenschätzung für die Investitions- und Betriebskosten des zentralen Zwischenlagers sowie für den Betrieb des Zwischenlagers Beznau nach dem Ende des Nachbetriebs des Kernkraftwerks Beznau bis zum Beginn des Rückbaus des Zwischenlagers Beznau. Die Schätzung der variablen Betriebskosten des zentralen Zwischenlagers (so genannte Kampagnenkosten) basiert auf dem Transport- und Abfallmengengerüst.
- Die Betreiber ermitteln die erwarteten Kosten für die Transporte von den Werken beziehungsweise aus der Wiederaufarbeitung in die Zwischenlager und von den Zwischenlagern in die geologischen Tiefenlager sowie die Kosten für die Beschaffung der Transport- und Lagerbehälter. Die Ermittlung der erwarteten Kosten basiert auf dem Transport- und Abfallmengengerüst (Anzahl Behälter pro Behältertyp) und Annahmen der Betreiber (spezifische Kosten pro Behältertyp, Transportkosten).
- Die Betreiber schätzen die Kosten für die Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente. Wegen des Moratoriums werden aus heutiger Sicht keine neuen Verträge für die Wiederaufarbeitung abgeschlossen. Die in der KS16 berücksichtigten erwarteten zukünftigen Kosten für die Wiederaufarbeitung resultieren deshalb aus der Abwicklung der bestehenden Verträge, wobei die letzte Zahlung im Jahr 2018 erwartet wird. Die letzte Rückführung von Wiederaufbereitungsabfällen wird im Jahr 2017 erwartet.

Der mit Abstand grösste Anteil der Entsorgungskosten entfällt auf die geologischen Tiefenlager. Es handelt sich um langjährige Infrastrukturprojekte mit einem Volumen von mehreren Milliarden Franken, deren Komplexität sich aus einer Vielzahl von technologischen, sicherheitstechnischen, baulichen, rechtlichen und politischen Anforderungen und Einflussfaktoren ergibt. Angesichts der Grösse und Komplexität der Projekte, der Risiken sowie der durch die Abfallverursacher sicherzustellenden Finanzierung kommt der Qualität, Vollständigkeit, Transparenz und Stetigkeit der Kostenplanung eine grosse Bedeutung zu.

Um diese Anforderungen sicherzustellen, hat die Verwaltungskommission Kostenstrukturen vorgegeben, die zwingend zu verwenden sind.

Die Kostenstruktur der Entsorgungskosten für Zwischenlagerung, Transporte, Transport- und Lagerbehälter und Wiederaufarbeitung weist gegenüber den Kostenstrukturen für die geologische Tiefenlagerung eine deutlich geringere Komplexität auf:

- Für das zentrale Zwischenlager wurde mehr als die Hälfte der erwarteten Gesamtinvestitionen bereits getätigt. Das restliche angenommene Investitionsvolumen betrifft Ersatz- und Ergänzungsinvestitionen sowie die Fertigstellung des nuklearen Ausbaus der Hallen für schwach- und mittelaktive Abfälle und mittelaktive Abfälle. Die Betriebskosten des zentralen Zwischenlagers beinhalten die Kampagnenkosten für die Behandlung und die Einlagerung von radioaktiven Abfällen und abgebrannten Brennelementen und die Kosten der Zwischenlagerung der radioaktiven Abfälle. ZwiLag schätzt basierend auf der aktuellen Budgetplanung des Betriebs und der zukünftigen Tätigkeitsprofile bis zur Einstellung des Leistungsbetriebs die Personal- und Sachkosten, die sich wiederum aus den Kosten des Betriebs und den Kampagnenkosten für Materialbearbeitung und Ein- beziehungsweise Auslagerungsbetrieb zusammensetzen.
- Die Kosten für die Transporte und die Behälterbeschaffung leiten sich aus dem Transport- und Abfallmengenraster sowie den Kostenansätzen für die einzelnen Kostenelemente ab. Die Kosten ergeben sich grundsätzlich aus der Menge (zum Beispiel Anzahl Behälter pro Behältertyp) multipliziert mit den jeweiligen Preis- beziehungsweise Kostenansätzen. Für die Abrechnung der Leistungen mit dem Entsorgungsfonds ist sicherzustellen, dass in den Kostenstudien alle relevanten Informationen (Anzahl der Behälter pro Behältertyp, Zeitpunkt der Beschaffung des Behälters beziehungsweise des Transports des Behälters, Kostenansatz pro Behälter beziehungsweise Transport des Behälters) enthalten sind und nachgewiesen werden können. Zu den Transportkosten zählen neben den Logistikkosten auch die Kosten der Haftpflichtversicherung für Nukleartransporte.

### 3.2 Kostengliederung

Die Kostengliederung soll die bei Infrastrukturprojekten regelmässig zu erwartenden Risiken und Ungewissheiten berücksichtigen. 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 und – falls erforderlich – einen Sicherheitszuschlag.

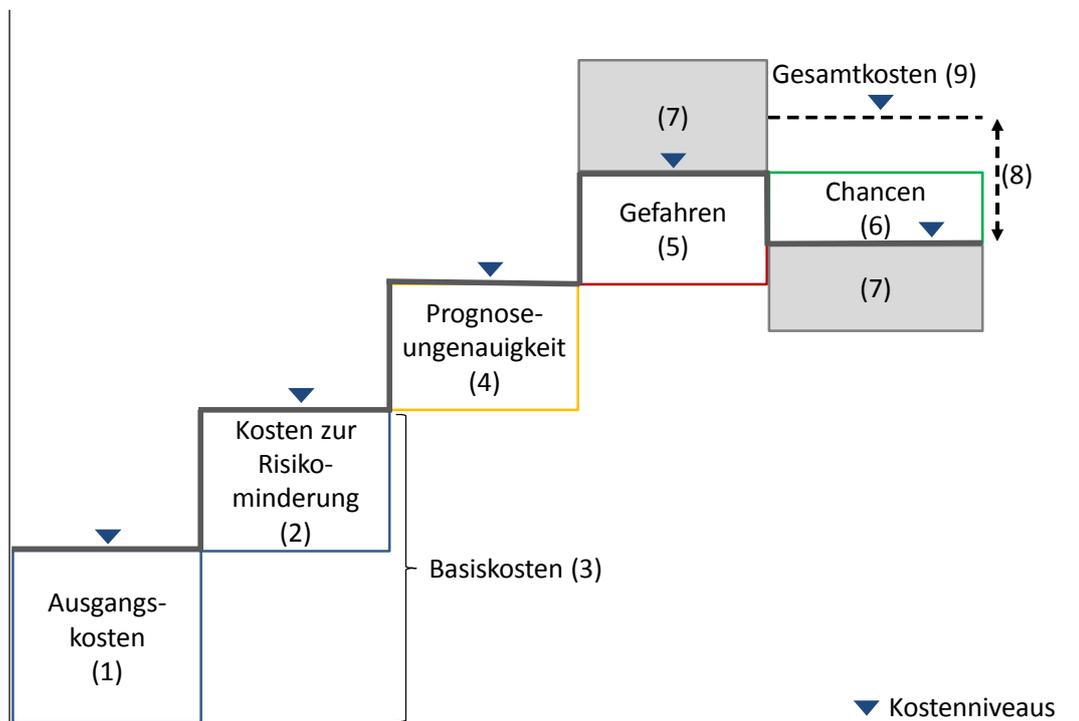
#### 3.2.1 Vorgaben zur Kostengliederung

Die Kostengliederung basiert auf den Empfehlungen der Plausibilisierung der Kostenstudie 2011 für den Bereich Entsorgung. Die bisherigen Kostenschätzungen beruhen auf Punktschätzungen<sup>62</sup> für die einzelnen Bereiche Nachbetrieb, Stilllegung und Entsorgung. Die mit der Durchführung der Plausibilisierung der Entsorgungskosten in der Kostenstudie 2011 beauftragten, auf dem Gebiet der nuklearen Entsorgung und auf Projektmanagement spezialisierten Beratungsunternehmen haben vorgeschlagen, die Kostenschätzungen differenzierter darzustellen: Neben den zu erwartenden Projektkosten sind auch die beinhalteten Zuschläge für projekthäufige Unsicherheiten transparent darzulegen und zu quantifizieren. Die Verwaltungskommission hat den im Plausibilisierungsbericht zu den Entsorgungskosten der Kostenstudie 2011 enthaltenen Entwurf zu der in Abbildung 5 dargestellten Kostengliederung weiterentwickelt. Diese sind Bestandteil der Vorgaben für die Kostenstudie 2016.

---

<sup>62</sup> «Best Estimate»-Schätzung.

Die einzelnen, in Abbildung 5 dargestellten Kostenelemente, die aufsummiert zu Kostenniveaus führen und in den Kostenstudien abzubilden sind, wurden von der Verwaltungskommission wie folgt definiert<sup>63</sup>:



- (7) Kostenfolgen nicht berücksichtigter Chancen und Gefahren
- (8) Sicherheitszuschlag

Abbildung 5: Darstellung der Kostengliederung gemäss Vorgabe der Verwaltungskommission.

#### Ausgangskosten (1)

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

#### Kosten zur Risikominderung (2)

Die Kosten bereits ausgeführter oder geplanter Massnahmen zur Risikominderung wurden analog wie die Ausgangskosten – ohne jegliche Zuschläge – ermittelt. Solche risikomindernden Massnahmen können Gefahren eindämmen oder Chancen unterstützen.

<sup>63</sup> Die Definitionen sind im Wortlaut der Verwaltungskommission unter Verwendung deren Nomenklatur gegeben.

### *Basiskosten (3)*

Ausgangskosten und Kosten zur Risikominderung bilden zusammen die Basiskosten.

### *Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten (4)*

Alle Kostenschätzungen, insbesondere in den frühen Phasen eines Projekts, sind mit Ungenauigkeiten verbunden. Dies betrifft den Leistungsumfang (scope) sowie die angenommenen Mengen und Preise. Diese Ungenauigkeiten sind mit Zuschlägen berücksichtigt. Die Zuschläge werden «Bottom-up» für jedes Element des Projektstrukturplans in Prozent der Ausgangskosten beziehungsweise der Kosten für die risikomindernden Massnahmen ermittelt. Sie sind spezifisch für jede Kostenposition beziffert in Abhängigkeit von der jeweils vorhandenen Schätzgenauigkeit; sie sind in der Regel jedoch kleiner als der theoretische Unsicherheitsbereich. Die Einzelwerte werden ausgewiesen, begründet und auf das Niveau der Gesamtkosten aggregiert.

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

### *Kostenzuschläge für Gefahren (5)*

Als Kostenzuschläge infolge der Berücksichtigung von absehbaren Gefahrenpotenzialen gelten zum Beispiel:

- Abweichungen, die im Rahmen der Projektabwicklung eintreten können und die nicht bereits als Prognoseungenauigkeiten berücksichtigt sind,
- wesentliche Änderungen des Leistungsbeschreibs oder des Realisierungsprogramms infolge veränderter politischer oder regulatorischer Rahmenbedingungen oder infolge von Rechtsmittelverfahren oder
- neue Technologien.

Die Kostenzuschläge für Gefahren wurden «Top-down» auf der Basis einer quantitativen Risikoanalyse ermittelt. Für jede relevante Gefahr wurde eine Eintrittswahrscheinlichkeit ermittelt und von Experten die Kostenfolge abgeschätzt. Der so ermittelte Risikowert wurde als Kostenzuschlag in die Gesamtkosten eingerechnet.

### *Kostenabzüge für Chancen (6)*

Als Kostenreduktionen infolge der Berücksichtigung von absehbaren Chancenpotenzialen gelten zum Beispiel:

- Neue Technologien oder
- alternative Konzepte.

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

### *Kosten von nicht berücksichtigter Chancen und Gefahren (7)*

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. Sie werden jedoch identifiziert, separat erfasst und mit grob geschätzten, absoluten Kosten beziffert.

### *Sicherheitszuschlag (8)*

Projektverantwortliche zeigen in der Regel eine systematische Tendenz («optimism bias»), entscheidende Schlüsselgrössen eines Projekts mit zu grossem Optimismus zu prognostizieren, das heisst Kosten und Zeitdauern 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.

### *Gesamtkosten (9)*

Das Ergebnis der Kostenstudie 2016 ist eine Zahl in Franken, die gemäss «best practice» von Experten auf der Basis des vereinbarten Leistungsumfangs (scope), des zugehörigen Projektstrukturplans (Work Break-down Structure) und eines Zeitplans (Schedule und Milestones) «Bottom-up» ermittelt wurde. Es wurde also nicht – wie meist üblich – mit Perzentilen (P0, P50 und P80) und zugehörigen Vertrauensintervallen gearbeitet. Den immer vorhandenen Prognoseungenauigkeiten und Unsicherheiten (Risiken und Ungewissheiten) wurde mit entsprechenden Zuschlägen Rechnung getragen, die jedoch auf dem jeweiligen Kostenniveau transparent und nachvollziehbar dargelegt und begründet sind.

## **3.2.2 Umsetzung der Kostengliederung**

Die Kostengliederung wird auf sämtliche Bereiche der Kostenstudie angewendet. Die Herangehensweisen für die drei Teilbereiche Nachbetrieb, Stilllegung und Entsorgung sind grundsätzlich vergleichbar und erfüllt die im Kapitel 3.2.1 dargestellten Vorgaben. Zudem wurden bei dem hier vorgestellten Konzept zur Umsetzung der Kostengliederung auch die Empfehlungen internationaler Fachorganisationen berücksichtigt, die sich mit der Frage von Unsicherheiten der Planung oder mit externen Risikofaktoren bei Kostenstudien im nuklearen Umfeld beschäftigen.<sup>64</sup> Die in der relevanten Literatur beschriebenen Best-Practice-Methoden zur Risikoanalyse sehen sowohl Massnahmen der quantitativen wie auch der qualitativen Risikoanalyse vor. Beide Verfahren haben Eingang in die Umsetzung der Kostengliederung gefunden.

Ziel der Umsetzung der Kostengliederung war das Ausarbeiten einer dem Planungsstand der jeweiligen Teilbereiche der Kostenschätzung angemessenen Vorgehensweise zur systematischen Erfassung von Faktoren, die im Zeitablauf zu Abweichungen von Plankosten führen können. Von besonderer Bedeutung ist einerseits die quantitative und qualitative Risikoanalyse, deren Anwendung im folgenden Kapitel für die einzelnen Elemente der Kostengliederung in allgemeiner Form beschrieben wird. Andererseits sind dies auch die regelmässige Überprüfung der Kostenschätzungen und der Vergleich ihrer Ergebnisse mit laufenden oder abgeschlossenen, vergleichbaren Projekten. In der Schweiz geschieht dies über die fünfjährlichen Aktualisierungen der Kostenstudien. In diesem Rahmen wird die Kostenschätzung zur Plausibilisierung auch mit Referenzprojekten oder ähnlichen Tätigkeiten verglichen.

Das Vorgehen bei der Schätzung der einzelnen, in Abbildung 5 dargestellten Elemente der Kostengliederung wird im Folgenden erläutert.

### *Ausgangskosten*

Die Ausgangskosten stellen den Erwartungswert einer Kostenschätzung ohne Zuschläge für Unsicherheiten und Risiken dar. Sie entsprechen in der Kostengliederung einem untersten Niveau, das sich bei einem optimalen, abweichungsfreien Projektablauf ergibt. Weder Kosteneffekte, die durch zeitliche Verschiebungen in der Projektabwicklung zu Abweichungen von der ursprünglichen Kostenplanung führen, noch solche, die auf Unsicherheiten in der Planung oder auf eingetretene Gefahren beziehungsweise Chancen zurückzuführen sind, werden berücksichtigt.

---

<sup>64</sup> s. z.B. OECD NEA: Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants [87].

Sofern sich in den Grundlagen für eine Kalkulation inhärente Zuschläge für Ungewissheiten und Risiken befinden, müssen diese bei der Ermittlung der Ausgangskosten identifiziert, quantifiziert und den entsprechenden Elementen der Kostengliederung sachgerecht zugeführt werden.

Beim Ermitteln der Ausgangskosten für die Kostenschätzung der Entsorgung der Kernanlagen werden sämtliche Positionen<sup>65</sup> der vorgegebenen Kostenstrukturen kalkuliert. Dabei handelt es sich um betriebsbezogene Kostenelemente, welche die Entsorgung kostenmässig erfassen.

Inhärente Zuschläge für Projektunsicherheiten und Risiken in früheren Kostenstudien wurden, soweit möglich, für die Kostenschätzung der Kostenstudie 2016 identifiziert und bereinigt, aus den Ausgangskosten extrahiert und mit den aktuellen Erkenntnissen in den vorgesehenen Elementen der Kostengliederung ausgewiesen.

### *Kosten zur Risikominderung*

Unter Kosten zur Risikominderung werden Aufwendungen verstanden, die sowohl durch technische Massnahmen als auch durch prozessuale und (Projekt-)Management-Massnahmen verursacht werden und die bereits bei den Betreibern von Kernanlagen im normalen Geschäftsbetrieb umgesetzt sind oder zusätzlich spezifisch in das Projekt eingeplant werden. Dazu zählen in den Managementsystemen der betreffenden Unternehmen verankerte Grundsätze des Projekt- und Risikomanagements ebenso wie gezielte technische Massnahmen, wie beispielsweise die Nachrüstung einer störfallfesten Brennelement-lagerbeckenkühlung. Das Ziel solcher risikomindernden Massnahmen ist, negative Kostenfolgen von Gefahren zu eliminieren oder zumindest zu reduzieren sowie positive Kostenfolgen von Chancen zu unterstützen. Die Kosten zur Risiko-minderung wurden als integraler Bestandteil der Projektstruktur geplant und in den Kostenschätzungen berücksichtigt. Die Kostenfolgen dieser risikomindernden Massnahmen sind in der entsprechenden Position der Kostengliederung ausgewiesen.

### *Basiskosten*

Die Basiskosten ergeben sich als Summe aus Ausgangskosten und den Kosten zur Risikominderung. Dabei stützt sich die Ermittlung der Basiskosten auf heute bereits bekannte und erprobte Methoden, Technologien und Verfahren sowie auf die per 1. Januar 2015 gültigen gesetzlichen und behördlichen Vorgaben. Allfällige Kostenfolgen absehbarer Veränderungen dieser Vorgaben werden in den Kostenelementen Gefahren und Chancen berücksichtigt. Der Ermittlung der Basiskosten ist das Preisniveau per 1. Januar 2016 zugrunde gelegt.

### *Prognoseungenauigkeiten*

Jedes einzelne Element im Projektstruktur-Plan wird bezüglich Dauer und Kosten<sup>66</sup> geschätzt. Dies führt zu einem Erwartungswert, der mit empirischen Vergleichswerten aus laufenden und abgeschlossenen Transporten, Beschaffung von Transport- und Lagerbehältern, Zwischenlagerung und Wiederaufarbeitung verglichen und plausibilisiert sowie der spezifischen Situation in der jeweiligen Kernanlage angepasst wird. Die aus diesen Vergleichswerten abgeleiteten Kalkulationsfaktoren sind statistisch als Mittelwerte zu interpretieren.

Im gegenwärtigen, den Kostenschätzungen zugrundeliegenden Planungsstadium sind die für die einzelnen Projektstruktur-Plan-Elemente vorgesehenen Tätigkeiten mit unterschiedlichen Graden der Planungsunsicherheit belegt. Für die Bestimmung des Zuschlags für Prognoseungenauigkeiten sind die relevanten Unsicherheiten für jedes einzelne Projektstruktur-Plan-Element abzuschätzen.

---

<sup>65</sup> Dies entspricht der Vorgabe der Verwaltungskommission, dass die Kosten «Bottom-up» zu kalkulieren sind.

<sup>66</sup> Der Projektstrukturplan für die Schätzung der Entsorgungskosten ist in Kapitel 3.1 erläutert.

Dazu werden Toleranzgrenzen für mögliche Ergebnisschwankungen der Schätzung definiert, welche die spezifische Planungsunsicherheit des betreffenden Elements ausdrücken und dabei ein sehr breites Spektrum des Erfahrungshorizonts eines Kostenschätzers abdecken<sup>67</sup>.

Die Toleranzgrenzen werden in Abhängigkeit von der unterstellten Planungsunsicherheit des Projektstruktur-Plan-Elements jeweils symmetrisch oder asymmetrisch gewählt. Bei Betriebskosten wird von einer symmetrischen Unsicherheit ausgegangen, da aufgrund der langjährigen Betriebserfahrung nicht von einer systematischen Unterschätzung der Plankosten auszugehen ist. Bei projektbezogenen Tätigkeiten hingegen wird von einer Asymmetrie ausgegangen, da im aktuellen Planungsstadium die kostenerhöhende Planungsunsicherheit gegenüber einer kostenreduzierenden tendenziell überwiegt. Die Festlegung der Toleranzgrenzen beruht auf langjähriger Erfahrung der Kostenschätzer und auf Rückschlüssen aus vergleichbaren noch laufenden oder bereits abgeschlossenen Rückbauprojekten. Je gesicherter die Informationsgrundlage, desto geringer ist die erwartete Planungsunsicherheit und desto enger ist die Toleranzbreite der Schätzung anzusetzen. Die Einschätzung der Unsicherheit und damit der Breite des Toleranzintervalls basiert auf den kostenbestimmenden Charakteristika des Projektstruktur-Plan-Elements, das in der Regel sowohl variable Kostenanteile, wie Personalaufwand oder Demontageleistung je Arbeitsstunde, aber auch fixe Kostenanteile, wie spezifische Werkzeuge oder Hilfsmittel, umfasst. Falls ein spezifischer Kostenfaktor die Unsicherheit der Kostenschätzung für ein Projektstruktur-Plan-Element bestimmt, wird die Unsicherheit dieses Kostenfaktors für die Bestimmung der Toleranzgrenze herangezogen.

Für die Kostenstudie 2016 hat sich gezeigt, dass sechs Toleranzgrenzen<sup>68</sup> das vorhandene Spektrum an Unsicherheiten gut abdecken und die Realität ausreichend genau abbilden. Die Toleranzgrenzen orientieren sich dabei weitestgehend an Empfehlungen in der relevanten Literatur<sup>69</sup>. Eine feinere Unterteilung ist nicht sinnvoll, da aufgrund statistischer Ausgleichseffekte das Ergebnis der Kostenschätzung nicht signifikant beeinflusst wird. Eine Vielzahl unterschiedlicher Toleranzgrenzen würde die Bestimmung des Zuschlags für Prognoseungenauigkeiten sehr erschweren und die Qualität der Schätzung nicht verbessern. Ausserdem reagiert das Ergebnis der Kostenschätzung nicht sensitiv auf Fehleinschätzungen in einzelnen Projektstruktur-Plan-Elementen.

Die Kosten eines Projektstruktur-Plan-Elements unterliegen einer statistischen Schwankung. Sie sind mit einer Zufallsvariable zu beschreiben. Mittels Schätzung des Mittelwerts sowie einer oberen und unteren Toleranzgrenze lassen sich die Kosten mit einer Wahrscheinlichkeitsfunktion beschreiben. Die Kostenschätzung insgesamt entspricht der Summe der Kosten aller Projektstruktur-Plan-Elemente. Da die Schätzung für jedes dieser Elemente eine unsichere Grösse (Zufallsvariable) ist, sind auch die summierten Kosten unsicher und können ebenfalls mit einer Wahrscheinlichkeitsverteilung beschrieben werden. Die aus den einzelnen Verteilungen der Projektstruktur-Plan-Elemente zusammengesetzte Verteilung der summierten Kosten kann näherungsweise sehr gut durch eine fast symmetrische Lognormalverteilung<sup>70</sup> beschrieben werden.

---

<sup>67</sup> Grundsätzlich können auch Ergebnisse ausserhalb der festgelegten Toleranzgrenzen auftreten, aber die Eintrittswahrscheinlichkeit dafür ist so klein, dass solche Ergebnisse für die Kostenschätzung vernachlässigbar sind.

<sup>68</sup> Klasse A: - 5 % / + 5 %, Klasse B: - 10 % / + 15 %, Klasse C: - 20 % / + 30 %, Klasse D: - 30 % / + 50 % in Anlehnung an aktuelle Ausarbeitungen von OECD/NEA [86] US Department of Energy [87] und IAEA [84] für die Beschreibung von Unsicherheiten bei der Kostenschätzung von nuklearen Rückbauprojekten beziehungsweise für die Entsorgung. Klasse E: - 20 % / + 20 % und Klasse F: - 30 % / + 30 % wurden ausschliesslich für betriebliche Tätigkeiten bei der Entsorgung verwendet.

<sup>69</sup> Z.B. US DOE Cost Estimating Guide 413.3.21 [89]; IAEA Financial Aspects of Decommissioning; IAEA-TECDOC-1476 [84] etc.

<sup>70</sup> Die Lognormalverteilung ist eine kontinuierliche Wahrscheinlichkeitsfunktion positiver reeller Zahlen und wird z.B. in der Versicherungswirtschaft bei der Modellierung von Schadenshöhen benutzt.

Wenn die Projektstruktur-Plan-Elemente unabhängig sind und nicht einzelne die Kostenberechnung dominieren, geht die Unsicherheit bei einer grossen Anzahl an Projektstruktur-Plan-Elementen gegen Null. In einem komplexen Projektstrukturplan bestehen jedoch zahlreiche terminliche und sachliche Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Projektstruktur-Plan-Elementen. Viele Projektstruktur-Plan-Elemente stehen in verschiedenen Abhängigkeitsbeziehungen zueinander. Verzögert sich beispielsweise der Einlagerungsbetrieb der radioaktiven Abfälle in das geologische Tiefenlager, verlängert sich entsprechend auch die Dauer der Zwischenlagerung. Terminliche Abhängigkeiten werden ebenso wie Abhängigkeiten in Bezug auf die angesetzten Personalkostensätze für die Bestimmung der Prognoseungenauigkeiten identifiziert und bei der weiteren Berechnung des Zuschlags berücksichtigt.

Die Abhängigkeiten zwischen den Projektstruktur-Plan-Elementen führen zu einer Vergrösserung der Unsicherheiten im Ergebnis. Die Konvergenz der Unsicherheit verringert sich. Die Abhängigkeiten führen dazu, dass eine analytische Lösung zur Bestimmung des Zuschlags für Prognoseungenauigkeiten nicht ohne weiteres zu berechnen ist. Daher wird als methodisches Hilfsmittel für die Zuschlagsermittlung eine einfache Monte-Carlo-Simulation<sup>71</sup> zur Bestimmung der Wahrscheinlichkeitsverteilung der summierten Kosten verwendet.

In der Monte-Carlo-Simulation zu dieser Kostenstudie werden für die Wahrscheinlichkeitsverteilungen der einzelnen Projektstruktur-Plan-Elemente eine grosse Anzahl Eingangswerte generiert. Zwischen den Projektstruktur-Plan-Elementen werden funktionale Abhängigkeiten berücksichtigt, die sich beispielsweise aus der Dauer von Tätigkeiten in der Termin- und Netzplanung ergeben. Unter Berücksichtigung der Unsicherheiten und Abhängigkeiten ergibt sich als Resultat der Monte-Carlo-Simulation eine Wahrscheinlichkeitsverteilung der Kosten, aus der abzulesen ist, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein bestimmtes Kostenniveau über- beziehungsweise unterschritten wird. Das Ergebnis der Monte-Carlo-Rechnung konvergiert bei steigender Anzahl von Simulationen gegen das korrekte Ergebnis. Für das hier gewählte Berechnungsmodell lässt sich zeigen, dass das Ergebnis nach ungefähr 20'000 Simulationen zu stabilen Berechnungsergebnissen führt.

Die Prognoseungenauigkeiten sind gemäss Vorgabe der Verwaltungskommission auf der Ebene der Projektstruktur-Plan-Elemente auszuweisen. Aus der Wahrscheinlichkeitsverteilung der summierten Kosten und den Monte-Carlo-Simulationen kann zurückgerechnet werden, wie gross der Zuschlag für Prognoseungenauigkeit auf die einzelnen Projektstruktur-Plan-Elemente sein muss, damit die berechneten Kosten mit einer grossen Wahrscheinlichkeit nicht überschritten werden.

Diese Methode für die Rückrechnung ermöglicht es, dass Projektstruktur-Plan-Elemente die

- a) sehr unsicher sind,
- b) einen grossen Einfluss auf die Basiskosten haben oder
- c) grosse Abhängigkeiten in der Projektstruktur haben,

einen grösseren Zuschlag bekommen als Elemente, die diese Charakteristika nicht aufweisen. Die Zuschläge werden somit gemäss Vorgabe der Verwaltungskommission für den Zuschlag für Prognoseungenauigkeiten für jedes Element der Kostenstrukturen berechnet.

---

<sup>71</sup> Die Monte-Carlo-Simulation ist ein etabliertes Verfahren, bei der eine Vielzahl bestimmter Wahrscheinlichkeitsverteilungen folgender, diskreter Werte für eine beliebige Rechenoperation generiert wird. Im vorliegenden Fall werden die Kosten eines Projektstruktur-Plan-Elements als Zufallszahlen innerhalb der zuvor definierten Toleranzgrenzen generiert. Diese zufälligen Werte können für die weiteren Berechnungen als unabhängige Einzelgrössen behandelt werden. Bei der Simulation der Zufallszahlen mittels der Monte-Carlo-Methode lassen sich beliebige Wahrscheinlichkeitsverteilungen und beliebige Abhängigkeitsstrukturen zwischen den Werten berücksichtigen. Das Ergebnis der Simulation ist eine Vielzahl von Einzelergebnissen, die in ihrer Gesamtheit Schlüsse auf die statistischen Eigenschaften des Gesamtergebnisses zulässt.

Es ist zu erwarten, dass mit zunehmendem Planungsfortschritt aufgrund des Erkenntnisgewinns den einzelnen Projektstruktur-Plan-Elementen sukzessive Toleranzgrenzen mit geringeren Streumassen zugewiesen werden können. Dies wird zukünftig tendenziell zu einem abnehmenden Zuschlag für Prognoseungenauigkeiten führen.

#### *Kostenzuschläge für Gefahren und Kostenabzüge für Chancen*

Gefahren werden verstanden als Erwartungswert von Kostenmehrungen, die mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit zukünftig auftreten werden. Chancen werden analog als Erwartungswert von Kostenminderungen verstanden, die mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit eintreten werden.

Gemäss Vorgabe der Verwaltungskommission wurden die Kostenzuschläge für Gefahren auf der Basis einer quantitativen Risikoanalyse ermittelt. Dazu musste für jede relevante Gefahr deren Eintrittswahrscheinlichkeit und Kostenfolge aufgrund von Expertenwissen abgeschätzt werden. Auch die Bewertung der Gefahren und Chancen hinsichtlich Eintrittswahrscheinlichkeit und Risikoausmass unterliegt einer Unsicherheit.

Zur Berücksichtigung dieser Unsicherheit und zur Ermittlung des Kostenzuschlags für Gefahren beziehungsweise des Kostenabzugs für Chancen wurde die gleiche Vorgehensweise wie bei der Ermittlung des Zuschlags für Prognoseungenauigkeiten gewählt.

Die einzelnen Gefahren und Chancen sind diskrete Ereignisse, deren Eintreten unabhängig vom Eintreten anderer Chancen und Gefahren ist. Im Rahmen der Risikoanalyse wurde eine Vielzahl von Risikoszenarien untersucht. Diese wurden hinsichtlich ihrer Relevanz (Auslöser, Eintrittswahrscheinlichkeit, Schadensbeziehungweise Chancenpotenzial) untersucht. Die Beschreibung der Gefahren und Chancen, die Bewertung von Gefahrenausmass und Chancenpotenzial sowie der Eintrittswahrscheinlichkeiten erfolgten im Rahmen von mehreren Expertenworkshops, an denen Vertreter sämtlicher Kernanlagen beteiligt waren. Zwei Unternehmen mit fundierter Erfahrung mit konkreten nuklearen Rückbauprojekten haben im Auftrag der swissnuclear die so erarbeitete Bewertung der Gefahren und Chancen validiert. Ein mit unabhängigen Vertretern aus Wissenschaft und Industrie besetztes Risikoboard sichtete und kommentierte die Ergebnisse der Workshops und auch die der Validierung. Die Empfehlungen des Risikoboads flossen anschliessend in die Bewertung der Gefahren und Chancen ein.

Die Zuschläge für Gefahren und Abzüge für Chancen wurden nicht auf die einzelnen Projektstruktur-Plan-Elemente der Kalkulation zurückgerechnet. Die Zuschläge und Abzüge erfolgen auf die ermittelten Basis-kosten. Zuschläge und Abzüge wurden unter Verwendung von Ereignisbäumen berechnet. Es war jeweils unterstellt, dass die Ereignisbäume voneinander unabhängig sind.

Das Eintreten von Gefahren und Chancen ist unsicher, und die Anzahl der berücksichtigten Chancen und Gefahren ist begrenzt. Es ist nicht zu erwarten, dass alle Gefahren und Chancen im Projektverlauf eintreten werden. Mittels Monte-Carlo-Simulationen<sup>72</sup> wurde untersucht, inwieweit der Saldo aus Gefahrenzuschlägen und Chancenabzügen die möglichen Kostenfolgen unterschiedlichster Eintrittsszenarien von Gefahrenbeziehungweise Chancenkombinationen abdeckt. Die Untersuchung hat ergeben, dass die Kostenfolgen der häufigsten Gefahren- beziehungsweise Chancenkombinationen mit dem festgelegten Zuschlag, der sich rechnerisch als Differenz des Zuschlags für Gefahren und des Abzugs für Chancen ergibt, hinreichend abgedeckt sind.

---

<sup>72</sup> Die Monte-Carlo-Simulation für die Chancen und Gefahren unterscheidet sich von derjenigen für die Prognoseungenauigkeiten. Für die Bestimmung des Zuschlags für Prognoseungenauigkeiten werden die Ergebnisse der Projektstruktur-Plan-Elemente der Kalkulation des Kostenschätzers einer Monte-Carlo-Simulation unterzogen. Bei den Chancen und Gefahren sind es die Risikowerte, die sich als Ergebnis der Ereignisbäume für die einzelnen Chancen und Gefahren ergeben.

Nebst den zuvor beschriebenen Gefahren und Chancen, die in die Berechnung der Gefahrenzuschläge und Chancenabzüge für die jeweiligen Kernanlagen eingingen, wurden im Rahmen der Risikobetrachtung zur Kostenstudie 2016 eine Vielzahl weiterer Chancen und Gefahren identifiziert und evaluiert, jedoch in der Kostengliederung nicht explizit berücksichtigt. Die Gründe dafür lassen sich differenzieren. Es gibt Gefahren und Chancen, die bereits über andere, berücksichtigte Gefahren und Chancen abgedeckt sind, versicherte Gefahren sowie Gefahren, die über berücksichtigte risikomindernde Massnahmen wirkungsvoll reduziert werden konnten.

Die Chancen und Gefahren sind für jede Kostenstudie im Hinblick auf ihre Relevanz, das heisst ihre Eintrittswahrscheinlichkeit und die zu erwartende Kostenfolge, neu zu bewerten. Es ist davon auszugehen, dass der Zuschlag für Gefahren und der Abzug für Chancen mit zunehmendem Projektfortschritt tendenziell abnehmen, da einzelne Gefahren und Chancen eintreten und damit obsolet werden, während andere eliminiert werden können.

#### *Kostenfolgen von nicht berücksichtigten Gefahren und Chancen*

Für die Entsorgung liegt das grösste Gefahrenpotenzial bei der geologischen Tiefenlagerung (damit sind alle weiteren Entsorgungsthemen kostenmässig abdeckend berücksichtigt). Die wesentlichen Gefahren sind hier die Ablehnung der Rahmenbewilligungsgesuche in einer eidgenössischen Volksabstimmung. Dies bedingt eine neue Standortsuche mit einer entsprechenden Verzögerung des Verfahrens. Finanziell führt dies zwar zu Mehrkosten bei der Zwischenlagerung und für eine neue Standortsuche, jedoch ist zum heutigen Zeitpunkt davon auszugehen, dass die Mehrkosten durch die zusätzlichen Kapitalerträge in den Fonds kompensiert werden und es nicht zu einer finanziellen Mehrbelastung kommt. Ein Kompletterverlust der Lager zu einem sehr späten Zeitpunkt des Baus oder nach der Einlagerung der Abfälle wird als äusserst unwahrscheinlich eingeschätzt. Aufgrund der dem Bau vorangehenden erdwissenschaftlichen Untersuchungen und der Erprobung der Standorte durch ein Felslabor wird ein Standort, der sich entgegen der ursprünglichen Erwartung als ungeeignet erweist rechtzeitig aufgegeben, bevor zu hohe Bau- beziehungsweise Einlagerungskosten anfallen. Sollte aufgrund technischer Schwierigkeiten die Rückholung von bereits eingelagerten Abfällen notwendig werden, wird dies allenfalls nur geringe Teile der eingelagerten Abfälle betreffen. Technologiebedingte Verzögerung beim Bau und dem Betrieb der Tiefenlager inklusive der Rückholung bestimmter Abfallgebinde führt zur Verschiebung des Kostenanfalls sowie zu einer Erhöhung der Gesamtkosten. Die Verschiebung des Kostenanfalls hat aus finanzieller Sicht aufgrund der im Fonds weiterhin anfallenden Kapitalerträge voraussichtliche keine signifikanten Mehrkosten zur Folge. Insgesamt ist bei den Entsorgungskosten von einem hypothetischen Schadensausmass in einer Grössenordnung von bis zu 50 Prozent der Entsorgungskosten bei einer äusserst kleinen Eintrittswahrscheinlichkeit auszugehen.

Sämtliche Positionen, die der Kategorie nicht berücksichtigte Gefahren und Chancen zugeordnet wurden, sind für jede Kostenstudie erneut im Hinblick auf eine allfällige Verschiebung in die Kategorie der zu berücksichtigenden Gefahren und Chancen zu prüfen.

#### *Sicherheitszuschlag*

Der zusätzliche Sicherheitszuschlag soll der Neigung von Projektanten Rechnung tragen, besonders in frühen Projektphasen Risiken und Kosten systematisch zu unterschätzen und eigene Leistungen sowie Leistungen Dritter zu überschätzen<sup>73</sup>. Mit den anderen Elementen der Kostengliederung, der Berücksichtigung risikomindernder Massnahmen, dem Zuschlag für Prognoseungenauigkeiten, dem Zuschlag für Gefahren und dem Abzug für Chancen, wurden eine Reihe wirksamer Instrumente eingeführt, um einer allfälligen Neigung zu unberechtigtem Optimismus in der Kostenschätzung entgegen zu wirken.

---

<sup>73</sup> In den Vorgaben der Verwaltungskommission zur Kostengliederung wird dies als «Optimism Bias» bezeichnet.

Diese Instrumente entsprechen den Empfehlungen internationaler Organisationen, wie OECD-NEA und IAEA, für die Berücksichtigung von Unsicherheit in der Kostenschätzung für Stilllegungsprojekte<sup>74</sup>. Damit deckt die Kostengliederung den aktuellen Stand der Diskussion zu diesem Thema umfassend ab.

Die Kostenschätzung für die Entsorgung wurde durch die Nagra und Zwiilag durchgeführt. Als Input für die Schätzung der Entsorgungskosten dienen Angaben der Betreiber zu den jährlichen, im Leistungsbetrieb entstehenden Kosten, die auf langjähriger, vielfach verifizierter Erfahrungen der Betreiber basieren. Ein grosser Teil der anfallenden Kosten der hier betrachteten Elemente der Entsorgung ist langfristig vertraglich fixiert und daher mit vergleichsweise geringen Unsicherheiten behaftet.

Ein auf Risikoanalysen in Infrastrukturprojekten spezialisiertes Unternehmen arbeitete die Instrumente zur Bewertung der Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten aus. Eine Gruppe ausgewiesener Experten führte die Bewertung der Gefahren und Chancen hinsichtlich ihres Umfangs, der Eintrittswahrscheinlichkeiten und der Kostenfolgen durch. Die Bewertung wurde durch zwei Unternehmen mit fundierter Erfahrung mit Rückbauprojekten validiert. Ein unabhängiges Risikoboard überprüfte die Ergebnisse. Dessen Befunde und Kommentare sind in die Bewertung eingeflossen.

Die Zuschläge für die Prognoseungenauigkeiten und die Zuschläge beziehungsweise Abzüge für Gefahren und Chancen werden konsequent, einheitlich und umfassend erhoben sowie breit abgestützt. Damit wird systematischen Tendenzen, zu optimistisch zu schätzen, vorgebeugt. Es gibt somit keinen Grund für einen zusätzlichen Sicherheitszuschlag.

### 3.3 Modellhaftes Inventar für die Kostenermittlung

#### *Nuklid- und Materialinventar (Isram/Miram)*

Die Nagra ist in der Schweiz zuständig für die Erfassung und Führung der Datenbank der Abfalleigenschaften und setzt dabei zwei verschiedene spezifische Systeme ein, die sich bezüglich Zielsetzung und Inhalt unterscheiden. Die vorhandenen beziehungsweise jetzt anfallenden Abfälle werden in detaillierten Spezifikationen beschrieben und im Informationssystem für Radioaktive Materialien (Isram) durch die Betreiber erfasst und zusammen mit der Nagra verwaltet. Abfälle, die zum heutigen Zeitpunkt noch nicht angefallen sind, werden im Miram (modellhaftes Inventar Radioaktiver Materialien [22]) geführt.

Miram basiert auf dem Informationssystem Isram und hat zum Ziel, alle bereits in einem Kernkraftwerk und in Medizin, Industrie und Forschung angefallenen Abfälle (Betriebsabfälle, Wiederaufarbeitungsabfälle usw.) sowie alle zukünftig noch anfallenden Abfälle (Stilllegungsabfälle, Wiederaufarbeitungsabfälle usw.) und abgebrannte Brennelemente zu quantifizieren und zu charakterisieren.

Als Berechnungsgrundlage für das modellhafte Nuklid- und Materialinventar dient ein Basisszenario. Das Basisszenario umfasst die Abfälle aller Schweizer Kernkraftwerke bei einer angenommenen Betriebsdauer von 50 Jahren (Kernkraftwerk Mühleberg 47 Jahre) und die Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung bei einer Sammelperiode bis Ende Einlagerung der Abfälle in das SMA-Lager. Dies schliesst auch die Abfälle der Kleinproduzenten sowie Abfälle von grossen Forschungseinrichtungen (PSI und CERN) und Stilllegungsabfälle von Forschungsreaktoren und Einrichtungen verschiedener Hochschulen und Universitäten ein.

Mithilfe dieser modellhaften Inventare können Vorbereitungen und Massnahmen für die Zwischenlagerung, Sicherheitsanalysen sowie die Anlagen- und Betriebsplanung für die geologische Tiefenlagerung vorgenommen werden und darüber hinaus die Inventare des Zwischenlagers und der geologischen Tiefenlager abgeschätzt werden.

---

<sup>74</sup> S. z.B. OECD NEA, Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants [87]; US DOE, Cost Estimating Guide 413.3.21 [89]; IAEA, Financial Aspects of Decommissioning, TECDOC-1476 [84]; etc.

### *Transport- und Abfallmengengerüst*

Das Transport- und Abfallmengengerüst der Nagra bildet die Grundlage für Mengenannahmen und für den zeitlichen Ablauf und Zeitpunkt der einzelnen Transport- beziehungsweise Behandlungs- sowie Ein- und Auslagerungsvorgänge in den Zwischenlagern.

In der Kostenstudie 2016 wird das Transport- und Abfallmengengerüst für das Basisszenario (Betriebsdauer von 47/50 Jahren) aber auch für die Abfälle aller Schweizer Kernkraftwerke bei einer angenommenen Betriebsdauer von 47/60 Jahren und die Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung bei einer Sammelperiode bis Ende Einlagerung der Abfälle in das SMA-Lager betrachtet.

Die bereits vorhanden und zukünftig anfallenden radioaktiven Abfälle der Schweiz stammen aus dem Betrieb und der zukünftigen Stilllegung der fünf Schweizer Kernkraftwerke (inklusive Zwischenlager Beznau und Nasilager Gösgen), dem Betrieb und der zukünftigen Stilllegung des zentralen Zwischenlagers der Zwiilag, Medizin, Industrie und Forschung, der Wiederaufarbeitung von Brennelementen, abgebrannten Brennelementen, die nicht wiederaufgearbeitet wurden und dem zukünftigen Betrieb des geologischen Tiefenlager sowie dem Betrieb und der Stilllegung der dazugehörigen Oberflächenanlagen.

### **3.4 Methodik der Kostenaufteilung**

Die Kosten der Beschaffung der Transport- und Lagerbehälter, der Transporte und der Wiederaufarbeitung sind den einzelnen Entsorgungspflichtigen direkt zuordenbar. Bei den Kosten der Zwischenlagerung gibt es sowohl direkt zuteilbare Kosten wie zum Beispiel die Kosten des Nasslagers des Kernkraftwerks Gösgen aber auch Kosten, die zwischen den Abfallverursachern nach einem Kostenschlüssel aufgeteilt werden müssen. Für die Aufteilung der Kosten der Zwischenlagerung zwischen den Abfallverursachern werden die per 1. Januar 2015 üblichen Kostenverteilungsschlüssel verwendet, der die Struktur der Kosten berücksichtigt. Dabei wird zwischen Fixkosten und variablen Kosten (direkt einem Abfallverursacher zuweisbar) unterschieden. Die variablen Kosten sind direkt vom jeweiligen Verursacher zu tragen, die Aufteilung der Fixkosten erfolgt nach einem Kostenverteilungsschlüssel.

Die Methodik der Kostenaufteilung der Zwiilag-Anlagen wurde unverändert aus der Kostenstudie 2011 übernommen.

#### **3.4.1 Bundesanteil an den Entsorgungskosten**

Die Kosten des Bundes für die gesamte Entsorgung von radioaktiven Abfällen aus der Medizin, der Industrie und der Forschung belaufen sich nach heutiger Schätzung des Bundes [100] insgesamt auf rund 1.4 Milliarden Franken und setzen sich wie folgt zusammen:

- Konditionierung und Zwischenlagerung: 374 Millionen Franken,
- Rückbau und Stilllegung (PSI-Anlagen): 235 Millionen Franken,
- Geologische Tiefenlagerung (Bau, Betrieb, Schliessung): 744 Millionen Franken.

Die letzte Schätzung des Bundes aus dem Jahre 2000 rechnete mit Kosten von 300 bis 360 Millionen Franken für die Entsorgung im Zeitraum 2000 bis 2040. Die Korrektur nach oben ist zu einem grossen Teil darauf zurückzuführen, dass die Kosten für die geologische Lagerung und für die Entsorgung der Abfälle höher geschätzt wurden. Das Verfahren zur Auswahl der Standorte sowie die hohen Sicherheitsanforderungen wirken sich auf die geschätzten Kosten aus.

Der Bundesrat hat die Kostenschätzung einer dafür eingesetzten Arbeitsgruppe zur Kenntnis genommen. Er hat die zuständigen Departemente (Eidg. Departement des Innern, Eidg. Departement für Wirtschaft, Bildung und Forschung, Eidg. Finanzdepartement, Eidg. Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation) beauftragt, ihm bis Ende 2018 erneut Kostenschätzungen, gestützt auf die Kostenstudie 2016, zu unterbreiten [101].

Die in der Kostenstudie 2016 beinhalteten Entsorgungskosten des Bundes umfassen den Anteil an den Kosten der geologischen Tiefenlagerung, den Anteil an den Kosten der Verbrennungsanlage der Zwiilag, die Transportkosten der Abfälle aus dem Bundeszwischenlager zu den Oberflächenanlagen der geologischen Tiefenlager und die Kosten eines Behälters für hochaktive Abfälle. Alle weiteren Entsorgungskosten des Bundes sind in dieser Kostenstudie nicht berücksichtigt.

### 3.4.2 Kostenaufteilung Zwiilag-Analgen

Für die Anwendung der Kostenverteilungsschlüssel müssen sowohl Investitions- als auch Betriebskosten in ihre fixen und variablen, das heisst einem Anlagennutzer direkt zuteilbaren Anteile zerlegt werden. Die fixen Anteile werden nach Verteilungsschlüsseln auf alle Betreiber der Kernkraftwerke und den Bund aufgeteilt. Die variablen Anteile werden hingegen nach dem Nutzungsprinzip nur den Nutzern einer Einrichtung im Verhältnis zu ihrer jeweiligen (jährlichen) Inanspruchnahme dieser Einrichtung inklusive der erforderlichen Betriebsmittel direkt zugeordnet und verrechnet.

Für einige der Zwiilag-Anlagen wird vom festen Anteil der Betriebskosten nur ein vorgängig einvernehmlich festgelegter Prozentsatz  $\alpha$  nach dem Solidaritätsprinzip als so genannter Solidaritätsanteil auf die Kernkraftwerke aufgeteilt. Der verbleibende Rest  $(1-\alpha)$  wird als so genannter Nutzungsanteil in gleicher Weise wie die variablen Betriebskosten (die so genannten Kampagnenkosten) nach dem Nutzungsprinzip nur den jeweiligen Nutzern verrechnet. Variable, einem Nutzer direkt zurechenbare Investitionskosten fallen bei der Zwiilag nicht an. Tabelle 5 gibt einen Überblick über die gemeinsam genutzten Entsorgungseinrichtungen der Zwiilag, und die Aufwandsarten auf die sie anzuwenden sind.

Tabelle 5: Übersicht Kostenverteilung gemeinsam genutzter Entsorgungseinrichtungen der Zwiilag.

Zuordnungsprinzip	Zwiilag-Analgen	
	Kostenverteilungsschlüssel	Aufwandsarten
Solidaritätsprinzip	Aktionärsschlüssel (MWth-Schlüssel von 1990)	Fixe Investitionskosten inklusive Abgeltungen, abzüglich des pauschalen Bundesanteils
	Bei HAA-Lager: modifizierter Aktionärsschlüssel	Einvernehmlich festgelegter Anteil $\alpha$ der fixen Betriebskosten (so genannter Solidaritätsanteil)
Nutzungsprinzip	Direkte Verrechnung der Kosten nur auf die Nutzer einer Einrichtung im Verhältnis der jeweiligen Inanspruchnahme, inklusive Betriebsmittel	Einvernehmlich festgelegter Anteil $1-\alpha$ der fixen Betriebskosten (so genannter Nutzungsanteil)
		Variable Betriebskosten (so genannte Kampagnenkosten)

### 3.4.3 Bisherige und zukünftige Kosten

#### Bereits erfolgte Aufwendungen

Die vorliegende Kostenstudie 2016 umfasst wie die vorangegangenen Kostenstudien die gesamten Entsorgungskosten – sowohl die bereits erfolgten als auch die zukünftigen geschätzten. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung für einen sinnvollen Vergleich der periodischen Kostenstudien untereinander.

Die Aufwendungen für die Entsorgung von den Anfängen bis 31. Dezember 2015 wurden gemäss den bereits erfolgten Zahlungen zu ihrem Zeitwert aus der Buchhaltung der einzelnen Kernkraftwerksbetreiber ermittelt.

### *Zukünftige Aufwendungen*

Unter zukünftigen Aufwendungen werden alle geschätzten Aufwendungen verstanden, die ab dem Aktualisierungsjahr – hier 2016 – bis zum Verschluss des geologischen Tiefenlagers für HAA 2126 zu erwarten sind. Ihnen liegen die Planungs- und Projektarbeiten für die Entsorgungsanlagen, Schätzung der Betriebskosten, werkspezifische Angaben über TLB-Investitionen sowie über Transporte und Wiederaufarbeitung zugrunde, alle entsprechend dem Kenntnisstand 2016.

Generell werden die zukünftigen Aufwendungen für jedes Kalenderjahr zu Preisen des Aktualisierungsjahres geschätzt. In der vorliegenden Aktualisierung der Kostenstudie beruhen alle Preise auf Basis des 1. Januar 2016.

#### 4 Zu schätzende Kostenelemente der Entsorgung

Im vorliegenden Bericht werden die Kosten der Transport- und Lagerbehälter für abgebrannte Brennelemente und Wiederaufarbeitungsabfälle, der Transporte, der Wiederaufarbeitung und der Zwischenlagerung der nuklearen Abfälle aus Kernanlagen sowie aus Medizin, Forschung und Industrie zusammengefasst. Die Kosten der geologischen Tiefenlagerung sind in einem separaten Bericht dargestellt. Sämtliche zu berücksichtigenden Kostenelemente sind in Tabelle 6 aufgeführt und in diesem Kapitel erläutert.

Tabelle 6: Zu schätzende Kostenelemente der Entsorgung.

Kostenelemente	Schätzung durch	Teilbericht
Transport- und Lagerbehälter (TLB)	KKW	Zwischenlagerung, Transporte, Behälter, Wiederaufarbeitung
Transporte	KKW/Nagra	
Wiederaufarbeitung abgebrannter BE (WA)	KKW	
Zentrale Abfallbehandlung	Zwilag	
Zentrale Zwischenlagerung Zwilag	Zwilag	
Zwischenlagerung Zwibez	KKB	
KKG-Nasslager	KKG	
Geologische Tiefenlagerung der schwach- und mittelaktiven Abfälle (SMA-Lager)	Nagra	Geologische Tiefenlagerung
Geologische Tiefenlagerung der hochaktiven Abfälle (HAA-Lager)	Nagra	

Inbegriffen sind alle vergangenen und zukünftigen Kosten der Planung, des Baus und des Betriebs von Entsorgungsanlagen (zentrales Zwischenlager, Behandlungsanlagen, geologische Tiefenlager, Verpackungsanlage, Zwischenlager Beznau und Nasslager des KKG), die Anschaffungskosten von Transport- und Lagerbehältern sowie die Kosten der Inanspruchnahme von Dienstleistungen Dritter (Wiederaufarbeitung, Transporte etc.). Inbegriffen sind auch die Kosten für die während der Nutzungsdauer der Behälter notwendigen Erneuerungen und/oder periodischen Lizenzierungen. Die Entsorgungskosten umfassen schliesslich die Stilllegung der Tiefenlageranlagen (Oberflächenanlagen, Zugangsbauwerke, unterirdischen Anlagen etc.) und den Verschluss der geologischen Tiefenlager. Eigenleistungen, die vom kraftwerkseigenen Personal während des Leistungsbetriebs der Kernkraftwerke erbracht werden, werden in der Regel nicht den Entsorgungskosten, sondern den ordentlichen Betriebskosten zugeordnet.

##### 4.1 Abgrenzung der Entsorgungskosten von den Nachbetriebs- und Stilllegungskosten

Bereits vorgängig sowie parallel zum Nachbetrieb laufen auch erste Stilllegungsarbeiten, wie das Erstellen der Unterlagen zum Stilllegungsprojekt und das Erwirken der Stilllegungsverfügung, sowie Vorbereitungen für den Rückbau. Der Nachbetrieb ist abgeschlossen, wenn beide Voraussetzungen – Brennstofffreiheit und Rechtskraft der Stilllegungsverfügung – vorliegen. An den Nachbetrieb schliesst sich der Rückbau der Kernanlage an.

Die Stilllegungskosten einer Kernanlage umfassen die Kosten für die anlagentechnische Vorbereitung für die Stilllegung, Planung, Projektierung, Projektleitung und Überwachung der Arbeiten, den Strahlenschutz, die Dekontamination des Geländes, den Abbruch aller technischen Einrichtungen und der Gebäude, die Kosten der behördlichen Bewilligungen und Aufsicht, der Überwachung der Anlage sowie alle weiteren Betriebskosten während des Rückbaus<sup>75</sup>. Zu den Kosten für die Stilllegung zählen auch der Transport und die Entsorgung der bei der Stilllegung anfallenden radioaktiven Abfälle.

<sup>75</sup> Art. 2 SEFV [17].

Da bei der Kostenermittlung der Zwischenlagerung nicht zwischen spezifischen Lagerungskosten von Stilllegungsabfällen und Betriebsabfällen unterschieden wird, werden die Kosten der Zwischenlagerung von Stilllegungsabfällen vereinfachend den Entsorgungskosten hinzugerechnet und im Entsorgungsfonds sichergestellt.

Die mit dem Nachbetrieb verbundenen Aufwendungen werden analog zu den während des Betriebs anfallenden Entsorgungskosten von den Betreibern aus der Betriebsrechnung direkt bezahlt.

Die Abgrenzung der Entsorgungskosten von den Nachbetriebs- und Stilllegungskosten sind in der nachfolgenden Tabelle 7 dargestellt.

*Tabelle 7: Abgrenzung der Kosten für die Auslagerung der Brennelemente, der Betriebsabfälle aus Leistungs- und Nachbetrieb, der Reaktorabfälle und Stilllegungsabfälle.*

<b>Brennelemente</b>	<b>Nachbetriebskosten</b>	<b>Stilllegungskosten</b>	<b>Entsorgungskosten</b>
Brennelement-Handhabung vor Ort (inkl. Beladen der Behälter)	X		
Behälterkosten			X
Transport zum zentralen Zwischenlager der Zwiilag			X
Umverpacken in den Anlagen der Zwiilag (falls erforderlich)			X
Zwischenlagerung (Zwibez HAA, KKG-Nasslager)			X
Zwischenlagerung (Zwiilag)			X
Transport zum geologischen Tiefenlager HAA			X
Zuteilbare Kosten im geologischen Tiefenlager HAA			X
<b>Betriebsabfälle aus Leistungs- und Nachbetrieb</b>			
	<b>Nachbetriebskosten</b>	<b>Stilllegungskosten</b>	<b>Entsorgungskosten</b>
Behälterkosten (primär 200-l-Fässer); für Abfälle aus mehreren Perioden können die Behälterkosten den Entsorgungskosten zugeordnet sein	X		X
Konditionierung von Betriebsabfällen vor Ort	X		
Handhabung vor Ort (inkl. Beladen der Behälter)	X		
Transport zum zentralen Zwischenlager der Zwiilag			X
Interner Transport und Zwischenlagerung im Zwibez SAA			X
Behandlung von Betriebsabfällen in den Anlagen der Zwiilag			X
Umverpacken in den Anlagen der Zwiilag (falls erforderlich)			X
Zwischenlagerung (Zwiilag)			X
Transport zum geologischen Tiefenlager SMA			X
Zuteilbare Kosten im geologischen Tiefenlager SMA			X

<b>Reaktorabfälle aus dem Leistungsbetrieb</b>	<b>Nachbetriebskosten</b>	<b>Stilllegungskosten</b>	<b>Entsorgungskosten</b>
Auf- und Abbau von Zerlegeeinrichtungen	X		
Behälterkosten	X		
Behandlung bzw. Konditionierung der Reaktorabfälle vor Ort	X		
Handhabung vor Ort (inkl. Beladen und interner Transport der Behälter)	X		
Interner Transport und Zwischenlagerung im Zwibez (KKB)			X
Transport zum zentralen Zwischenlager der Zwiilag			X
Umverpacken in den Anlagen der Zwiilag (falls erforderlich)			X
Zwischenlagerung (Zwiilag)			X
Transport zum geologischen Tiefenlager SMA			X
Zuteilbare Kosten im geologischen Tiefenlager SMA			X

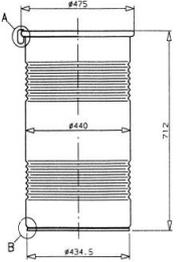
<b>Stilllegungsabfälle</b>	<b>Nachbetriebskosten</b>	<b>Stilllegungskosten</b>	<b>Entsorgungskosten</b>
Auf- und Abbau von Einrichtungen		X	
Behälterkosten		X	
Handhabung vor Ort (inkl. Beladen und interner Transport der Behälter)		X	
Interner Transport zum Zwibez (KKB)		X	
Transport zum zentralen Zwischenlager der Zwiilag		X	
Umverpacken in den Anlagen der Zwiilag (falls erforderlich)			X
Zwischenlagerung (Zwiilag und Zwibez)			X
Transport zum geologischen Tiefenlager		X	
Zuteilbare Kosten im geologischen Tiefenlager SMA		X	

## 4.2 Transport- und Lagerbehälter

Die Kosten der Transport- und Lagerbehälter für abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle enthalten neben den Beschaffungskosten auch die geschätzten Kosten für die während der Nutzungsdauer notwendige Überwachung und/oder der periodischen Lizenzierungen der TLB. Eine TLB-Transportbewilligung ist 10 Jahre gültig. Für die Lagerung der TLB existiert eine unbegrenzte Bewilligung. Während der Lagerung müssen regelmässig Prüfungen stattfinden, die unter anderem die Dichtheit des Behälters bestätigen. Die Transport- und Lagerbehälter für Brennelemente und hochaktive Abfälle werden von den Kernkraftwerken während des Leistungsbetriebs beziehungsweise nach endgültiger Einstellung des Leistungsbetriebs beschafft. Die Auswahl der Behältertypen richtet sich nach der Art der einzulagernden Materialien (abgebrannte Brennelemente, Abfälle aus der Wiederaufarbeitung).

Neben den Transport- und Lagerbehältern für abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle werden für die Konditionierung und Verpackung der radioaktiven Abfälle verschiedene Behältertypen verwendet, die sich hinsichtlich äusserer Dimensionen, Material und Wandstärken unterscheiden (siehe Tabelle 8). Das Transportkonzept für die vorliegende Kostenstudie ist aus Tabelle 9 ersichtlich. Für die geologische Tiefenlagerung sind verschiedene Behälter wie zum Beispiel KC-T12, LC-84, LC-86 vorgesehen. Diese sind den jeweiligen Kostenelementen, z.B. Stilllegungsabfälle, zugeordnet und werden hier der Vollständigkeit halber dargestellt.

Tabelle 8: Abfallgebindespektrum und deren wichtigste Eigenschaften. [22]

Abfallgebinde	Bild	Eigenschaften	Behälter für geologische Tiefenlagerung
100-I-Fass (nur bei KKB für Harzkonditionierung eingesetzt)		Form: Zylinder Höhe: 0.712 m Durchmesser: 0.475 m Wandstärke: 0.6 – 1.4 mm Aussenvolumen: 0.103 – 0.105 m <sup>3</sup> Eigenmasse: 6 – 15 kg Nutzvolumen: 0.102 – 0.103 m <sup>3</sup>	LC-86
200-I-Fass		Form: Zylinder Höhe: 0.85 – 0.93 m Durchmesser: 0.56 – 0.63 m Wandstärke: 0.8 – 3 mm Aussenvolumen: 0.210 – 0.225 m <sup>3</sup> Eigenmasse: 22 – 60 kg Nutzvolumen: 0.200 – 0.220 m <sup>3</sup>	LC-86
1m <sup>3</sup> -Betoncontainer (1000-I-BC)		Form: Zylinder Höhe: 1.25 m Durchmesser: 1.00 m Wandstärke: 18 cm Aussenvolumen: 1.0 m <sup>3</sup> Eigenmasse: 1'610 kg (1'425 kg) <sup>a</sup> Nutzvolumen: 0.298 m <sup>3</sup> (0.367 m <sup>3</sup> ) <sup>a</sup> <sup>a</sup> ohne vorfabrizierten Deckel	KC-T12
Gussbehälter (zur Verpackung höher aktivierter Teile werden spezielle, dickwandige Gussbehälter, wie z.B. Mosaik-II-Container verwendet)		Form: Zylinder Höhe: 1.50 m Durchmesser: 1.06 m Wandstärke: 16 cm Aussenvolumen: 1.30 m <sup>3</sup> Eigenmasse: 5'880 kg Nutzvolumen: 0.49 m <sup>3</sup>	KC-T12

Abfallgebinde	Bild	Eigenschaften	Behälter für geologische Tiefenlagerung
180-I-Kokillen (Standardbehälter für rücknahmepflichtige Abfälle aus der Wiederaufarbeitung in Frankreich und Grossbritannien)		Form: Zylinder Höhe: 1.34 m Durchmesser: 0.43 m Wandstärke: 5 mm Aussenvolumen: 0.18 m <sup>3</sup> Eigenmasse: 93 kg Nutzvolumen: 0.17 m <sup>3</sup>	LC-86 für WA SMA HA1 für WA HAA
KC-T12-Container		Form: Quader Länge: 1.50 m Breite: 1.50 m Höhe: 2.00 m Wandstärke: 12 cm Aussenvolumen: 4.5 m <sup>3</sup> Eigenmasse: 4'480 kg Nutzvolumen: 2.75 m <sup>3</sup>	wird als Behälter für geologische Tiefenlagerung übernommen
LC-84-Container (Planbehälter der Nagra für Zwischen- und Tiefenlagerung)		Form: Quader Länge: 2.43 m Breite: 1.22 m Höhe: 2.00 m Wandstärke: 15 cm Aussenvolumen: 6 m <sup>3</sup> Eigenmasse: 6'670 kg Nutzvolumen: 3.3 m <sup>3</sup>	wird als Behälter für geologische Tiefenlagerung übernommen
LC-86-Container (Planbehälter der Nagra für Zwischen- und Tiefenlagerung)		Form: Quader Länge: 2.43 m Breite: 1.83 m Höhe: 2.00 m Wandstärke: 15 cm Aussenvolumen: 9 m <sup>3</sup> Eigenmasse: 8'600 kg Nutzvolumen: 5.6 m <sup>3</sup>	wird als Behälter für geologische Tiefenlagerung übernommen
HA1		Form: Zylinder Höhe: 3.07 m Durchmesser: 0.72 m Wandstärke: 0.14 m Aussenvolumen: 1.202 m <sup>3</sup> Eigenmasse: 6'276 kg Nutzvolumen: 0.397 m <sup>3</sup>	Behälter für geologische Tiefenlagerung 2 180-I-Kokillen/Behälter

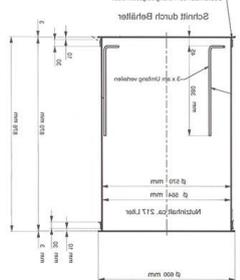
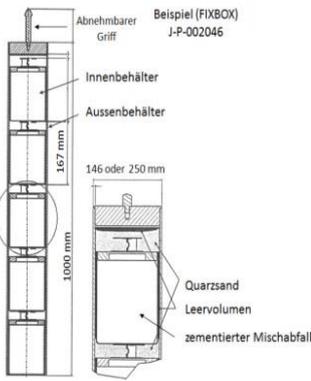
Abfallgebinde	Bild	Eigenschaften	Behälter für geologische Tiefenlagerung
BE-D-2 / BE-D-3 <sup>a</sup> (D = DWR) <sup>a</sup> Die Codierung der DWR-BE-Behälter wird nach Beladung differenziert (mit MOX: BE-D-2, ohne MOX: BE-D-3)		Form: Zylinder Höhe: 5.00 m Durchmesser: 1.05 m Wandstärke: 0.14 m Aussenvolumen: 4.209 m <sup>3</sup> Eigenmasse: 18'042 kg Nutzvolumen: 1.896 m <sup>3</sup>	Behälter für geologische Tiefenlagerung mit MOX: je ein MOX-BE mit 2 – 3 UO <sub>2</sub> -Be → 3 oder 4 BE/Behälter ohne MOX: übrigen UO <sub>2</sub> -Be → 4 BE/Behälter
BE-S-1 (S = SWR)		Form: Zylinder Höhe: 5.19 m Durchmesser: 1.05 m Wandstärke: 0.14 m Aussenvolumen: 4.371 m <sup>3</sup> Eigenmasse: 19'380 kg Nutzvolumen: 1.887 m <sup>3</sup>	Behälter für geologische Tiefenlagerung 9 – 12 BE/Behälter
1-I- bis 10-I-Zylinder (Nutzung zur Konditionierung von MIF-Abfällen im BAG-Sammelbereich)		Form: Zylinder Höhe: 19 – 75 cm Durchmesser: 6 – 18 cm Wandstärke: 3 – 4 mm Aussenvolumen: 1 – 10 l Eigenmasse: 2 – 12 kg Nutzvolumen: 1 – 9 l	KC-T12
200-I-Zylinder (am PSI temporär zur Typ-A-Kapselung von MIF-Abfällen)		Form: Zylinder Höhe: 0.88 m Durchmesser: 0.60 m Wandstärke: 3 mm Aussenvolumen: 0.224 m <sup>3</sup> Eigenmasse: 56 kg Nutzvolumen: 0.217 m <sup>3</sup>	LC-86
15-I bis 50-I-Zylinder (am PSI zur Verpackung von Hotlabor-Abfällen)		Form: Zylinder Höhe: 1.00 m Durchmesser: 146 <sup>b</sup> /250 <sup>c</sup> mm Wandstärke: 4.5 <sup>d</sup> /3 <sup>e</sup> mm Aussenvolumen: 16.7 <sup>b</sup> /49.4 <sup>c</sup> l Eigenmasse: 20 <sup>b</sup> /45 <sup>c</sup> kg Nutzvolumen: 14.3 <sup>b</sup> /43.7 <sup>c</sup> l <sup>b</sup> Zylindertyp PB-146 <sup>c</sup> Zylindertyp PB-250 <sup>d</sup> Mantel <sup>e</sup> Boden	KC-T12

Tabelle 9: Transportkonzepte für die KS16.

Gebinde	Transport
100-I/200-I	< 10 mSv/h: 40 200-I / Gitterbox 1 Gitterbox / Transport 10 – 100 mSv/h: 1 200-I / 1000-I-BC 10 1000-I-BC / Transport > 100 mSv/h: 1 200-I / Mosaik-II 2 Mosaik-II / Transport
1000-I-BC	10 1000-I-BC / Transport
Mosaik-II	2 Mosaik-II / Transport
KC-T12	2 KC-T12 / Transport
LC-84 / LC-86	1 Container / Transport
180-I-Kokillen (WA/LMA)	TLB, 20 Kokillen / Transport
180-I-Kokillen (WA/HAA)	TLB, 28 Kokillen / Transport
Brennelemente	TLB, 1 TLB / Transport

### 4.3 Transporte

Erfasst werden alle Transporte zwischen Kernkraftwerk, Wiederaufarbeitungsanlagen, einem zentralen Zwischenlager wie Zwilag und den geologischen Tiefenlagern.

Den Transportkosten liegen werkspezifische Schätzungen der anfallenden Mengen an Brennelementen, Wiederaufarbeitungsabfällen, Betriebsabfällen und Reaktorabfällen zugrunde. Zur Gewährleistung einer einheitlichen Datenerhebung unterstützte die Nagra die Kernkraftwerke bei diesen Schätzungen und erstellte ein auf dieser Basis konsistentes Abfallmengengerüst. Das Abfallmengengerüst umfasst die Volumen der von den Kernkraftwerken sowie aus Medizin, Industrie und Forschung produzierten Abfälle. Für die Ermittlung der Abfallvolumen sind die Betriebszeiten der Kernkraftwerke beziehungsweise die Dauer der Sammelperiode für die Bundesabfälle zentral.

Weiter wurden die Mengen in Transport-Gebinde umgerechnet (Transportgerüst). Die infrastrukturabhängigen Randbedingungen (Betriebsperioden der Entsorgungseinrichtungen, Verarbeitungskapazitäten) wurden berücksichtigt. Schliesslich haben die Kernkraftwerke für die Schätzung der Transportkosten die spezifischen Kosten der Transporte auf einer weitgehend einheitlichen Basis angegeben. Diese basieren auf Erfahrungswerten bereits erfolgter Transporte ins Zwilag (Transport von Mosaikbehältern, Transport- und Lagerbehältern, Rohabfällen etc.).

### 4.4 Wiederaufarbeitung

Die Wiederaufarbeitung von Brennelementen ist in der Schweiz seit 2006 mit einem Moratorium belegt. Es wird derzeit nicht davon ausgegangen, dass die Wiederaufarbeitung wieder aufgenommen wird. Die Rückführung der verbleibenden Abfälle aus der Wiederaufarbeitung wird 2017 abgeschlossen sein.

#### 4.5 Zentrale Abfallbehandlung und Zwischenlagerung (Zwilag)

Der Kostenschätzung der Zwilag liegen folgende Annahmen zugrunde:

##### *Projektierungs- und Baukosten*

Die Kostenzusammenstellung erfolgt ab dem ersten Jahr, in dem das Projekt Zwilag erstmals nennenswerte Kosten verursacht hat. Hierfür wird das Jahr der Firmengründung (1990) eingesetzt.

Bis 2004 stand die Projektierung und Realisierung der Bauetappen I (Planung und Bau Gesamtanlage) und II (Planung und Bau Lagerhalle S für schwach- und mittelaktive Abfälle) im Vordergrund.

Seit 2002 werden jährlich Ergänzungs- und Ersatzinvestitionen ausgewiesen. Es wird angenommen, dass Ergänzungs- und Ersatzinvestitionen bis zum Zeitpunkt der Stilllegung der Anlage, wenn auch zuletzt nur noch in geringerem Umfang, getätigt werden müssen. Demnach werden Ergänzungs- und Ersatzinvestitionen bis Ende 2070 vorgesehen.

##### *Betriebskosten (Jahreskosten)*

Anfang 2000 wurde die Gesamtanlage in Betrieb genommen. Ab diesem Zeitpunkt sind auch die Betriebskosten dargestellt. Diese umfassen die gesamte betriebliche Tätigkeit inklusive Unterhalt der Anlagen, Betriebsmittel, Personalaufwand, Administration, Verwaltung und Finanzierung. Sie werden als so genannte Jahreskosten ausgewiesen.

Die im Betrieb, Nachbetrieb und bei der Stilllegung der Kernkraftwerke anfallenden brenn- und schmelz-baren Rohabfälle werden in der Plasma-Anlage der Zwilag konditioniert. Bis dahin können die Behandlungsanlagen auch noch für MIF und betriebseigene Zwecke genutzt werden. Für alle übrigen Stilllegungsabfälle verfügt die Zwilag über verschiedene weitere Konditionierungsmöglichkeiten, die genutzt werden können, oder aber sie können direkt am Standort jedes einzelnen Kernkraftwerks behandelt beziehungsweise für eine Behandlung in einer anderen Anlage vorbereitet werden.

Die Anlagen der Zwilag werden bis ins Jahr 2071 am Standort Würenlingen betrieben und danach stillgelegt. Die Stilllegungskosten des zentralen Zwischenlagers werden in der Kostenstudie 2016 in der Schätzung der Stilllegungskosten berücksichtigt [4].

#### 4.6 Zwischenlager Beznau des Kernkraftwerks Beznau (Zwibez)

Die Kostenstudie 2016 berücksichtigt die historischen und zukünftigen Investitionen in das Zwischenlager Beznau und dessen Betriebskosten nach endgültiger Einstellung des Leistungsbetriebs des Kernkraftwerks Beznau. Bis zum Abschluss des Nachbetriebs des Kernkraftwerks Beznau sind diese Kosten in den Nachbetriebskosten des Kernkraftwerks Beznau enthalten. Die Betriebskosten während des Leistungsbetriebs des Kernkraftwerks Beznau sind den laufenden Betriebskosten zugeordnet und werden nicht als Entsorgungskosten ausgewiesen.

Mit Abschluss des Nachbetriebs des Kernkraftwerks Beznau wird das Zwibez durch die Zwilag bis 2071 weiterbetrieben und verwaltet. Die Zwilag übernimmt damit die Aufgaben Bewachung, Überwachung, Strahlenschutz, Instandhaltung, Behörden und Abgaben, Versicherungen usw. und kommt für deren Kosten auf. Die jährlichen Kosten sind in den Jahreskosten der Zwilag enthalten und werden als direkt zuordenbare Jahreskosten zu Lasten des Kernkraftwerks Beznau ausgewiesen. Um die Kosten des Zwilag und des Zwibez zwischen den Kostenstudien 2011 und 2016 vergleichen zu können, wurden im vorliegenden Bericht die Betriebskosten des Zwibez von den Zwilag-Kosten abgezogen und den Zwibez-Kosten zugeordnet.

#### 4.7 Nasslager des Kernkraftwerks Gösgen

Die Bau- und Betriebskosten für das Nasslager des Kernkraftwerks Gösgen werden separat ausgewiesen. Der Schätzung der Kosten wurde bisher die Annahme zugrunde gelegt, dass auch während der Stilllegung des Kraftwerks der Betrieb des Nasslagers von Einrichtungen und Personal des Stilllegungsbetriebes Nutzen ziehen kann (zum Beispiel Administration, Instandhaltung, Betrieb, Wache, Strahlenschutz, Dekontaminationspersonal). In der Kostenstudie 2016 wird aufgrund durchgeführter Machbarkeitsstudien von Transport- und Lagerbehältern davon ausgegangen, dass kein Autarkiebetrieb des Nasslagers mehr nötig ist. Nach Einstellung des Leistungsbetriebs des Kernkraftwerks Gösgen werden alle im Nasslager befindlichen Brennelemente in das zentrale Zwischenlager transportiert und das Nasslager zusammen mit dem Kernkraftwerk stillgelegt.

#### 4.8 Bau und Betriebszeiten der Entsorgungsanlagen

Die Annahmen beziehungsweise der Bau- und die Betriebszeiten des KKG-Nasslagers, des Zwibez und der Anlagen der Zwiilag gehen von den Bedürfnissen der Kernkraftwerke bei einer für die Kostenschätzung angenommenen Betriebsdauer von mindestens 50 Jahren aus (vergleiche Tabelle 10).

Die Kostenstudie 2016 geht mit dem Entsorgungsprogramm 2016 [21] neu von einer nuklearen Inbetriebnahme des SMA-Lagers im Jahr 2050 und des HAA-Lagers im Jahr 2060 aus. Bis dahin können durch die vorhandenen Zwischenlager an den Standorten der Kernkraftwerke und der Zwiilag genügend Zwischenlagerkapazitäten zur Verfügung gestellt werden, um die anfallenden Abfälle sicher zu lagern. Sollte sich die Inbetriebnahme der geologischen Tiefenlager weiter verzögern, können die Zwischenlager auch länger betrieben werden.

Wie in der Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung [17] verlangt, werden in der Kostenstudie 2016 modellhafte, konkrete Annahmen getroffen, die mit dem aktuellen Entsorgungsprogramm (EP16) vereinbar sind. Die im Entsorgungsprogramm definierten Lagerkonzepte 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). Die entsprechenden Planungs-, Bau- und Betriebszeiten sind in Tabelle 10 zusammengefasst. Nach Abschluss der Einlagerung der Abfälle und dem Verschluss aller Lagerkammern werden die Oberflächenanlagen grösstenteils rückgebaut, und es beginnt die Beobachtungsphase. Nach 10 Jahren folgt die Verfüllung und Versiegelung der direkten Zugänge zu den Lagerkammern und im Falle des HAA- oder Kombilagers die Verfüllung und Versiegelung des Zugangstunnels, so dass für die weitere Beobachtungsphase nur noch zwei Zugangsbauwerke pro Lager offen bleiben. Nach weiteren 40 Jahren wird die Gesamtanlage stillgelegt und zurückgebaut, die verbleibenden Untertagbauten und Zugangsbauwerke werden verfüllt beziehungsweise versiegelt. Bei den angegebenen Zeiten (10 und 40 Jahre) handelt es sich um getroffene Annahmen für die Kostenstudie 2016, die sich mit Planungsfortschritt noch ändern können. 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. Der Bundesrat ordnet nach Ablauf der Beobachtungsphase die Verschlussarbeiten an, wenn der dauernde Schutz von Mensch und Umwelt gewährleistet ist<sup>76</sup>. Nach ordnungsgemäsem Verschluss kann der Bundesrat eine weitere, befristete Überwachung anordnen<sup>77</sup> und nach Ablauf dieser Überwachungsfrist die Anlage aus der Kernenergiegesetzgebung entlassen. Anschliessend kann der Bund noch eine Umweltüberwachung durchführen<sup>78</sup>.

---

<sup>76</sup> Art. 39 Abs. 2 KEG [11].

<sup>77</sup> Art. 39 Abs. 3 KEG [11].

<sup>78</sup> Art. 39 Abs. 4 KEG [11].

Tabelle 10: Planungs-, Bau- und Betriebszeiten der Entsorgungsanlagen.

Anlage	Zeitperiode
<b>Zentrale Abfallbehandlung</b>	
Bau	1990 – 2004
Ersatz- und Ergänzungsinvestitionen	2002 – 2070
Betrieb	2000 – 2071
<b>Zentrales Zwischenlager aller Abfallkategorien</b>	
Bau	1990 – 2004
Ersatz- und Ergänzungsinvestitionen	2002 – 2070
Ausbau Halle S	2016 – 2020
Betrieb <sup>a</sup>	2000 – 2071
<b>Zwibez</b>	
Bau (Ausbaustufe 1)	1995 – 2002
Ersatz- und Ergänzungsinvestitionen (Ausbaustufe 2)	2004 – 2010
Ersatz- und Ergänzungsinvestitionen (Ausbaustufe 3)	2023 – 2025
Ausrüstung für autonomen Betrieb	2030 – 2030
Betrieb	2008 – 2071
<b>Nasslager KKG</b>	
Bau	2002 – 2008
Ausbaustufe 2	2017 – 2017
Betrieb	2008 – 2036
<b>Geologisches Tiefenlager SMA</b>	
Standortwahl	- – 2024
Rahmenbewilligung	2025 – 2031
Vorbereitung und Beginn eUU <sup>b</sup> (Sondierschacht/Sondiertunnel)	2032 – 2035
Weiterführung eUU <sup>b</sup>	2036 – 2044
Bau Lager (inklusive Oberflächenanlage und Erschliessung)	2045 – 2049
Einlagerungsphase	2050 – 2065
Für Einlagerung der Abfälle genutzte Periode	2050 – 2063
Beobachtungsphase (inklusive Verschluss Hauptlager)	2065 – 2114
Verschluss Gesamtlager	2115 – 2118
<b>Geologisches Tiefenlager HAA sowie Verpackungsanlage für Brennelemente und HAA</b>	
Standortwahl	- – 2024
Rahmenbewilligung	2025 – 2031
Vorbereitung und Beginn eUU <sup>b</sup> (Sondierschächte)	2032 – 2037
Weiterführung eUU <sup>b</sup>	2038 – 2048
Bau Lager (inklusive Oberflächenanlage und Erschliessung)	2049 – 2049
Einlagerungsphase	2060 – 2074
Für Einlagerung der Abfälle genutzte Periode	2060 – 2071
Beobachtungsphase (inklusive Verschluss Hauptlager)	2075 – 2124
Verschluss Gesamtlager	2125 – 2126

<sup>a</sup> Einige Einrichtungen der Zwilag werden bereits vorgängig ausser Betrieb genommen.

<sup>b</sup> eUU: erdwissenschaftliche Untersuchungen Untertag.

## 5 Resultate der Schätzung der Entsorgungskosten

Die hier vorgenommene Kostenschätzung umfasst alle Entsorgungskosten für die Zwischenlagerung, Transporte, Transport- und Lagerbehälter für abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle und Wiederaufarbeitung. Die Entsorgungskosten für die geologische Tiefenlagerung werden in einem separaten Teilbericht [2] dargestellt. Die zusammengefassten Entsorgungskosten der Schweizer Kernkraftwerke werden im Mantelbericht [1] präsentiert.

Für die Präsentation der Ergebnisse der Schätzung der Entsorgungskosten wird die von der Kommission verbindlich für die Kostenstudie 2016 vorgegebene Struktur verwendet (siehe 3). Dabei werden die Kosten detailliert auf die Ebene der Elemente bzw. Organisationseinheiten der Entsorgung (Ebene 3 der Kostenstruktur) dargestellt.

### 5.1 Ausgangskosten, Kosten zur Risikominderung und Basiskosten

Die Basiskosten ergeben sich durch Summierung der Ausgangskosten und der Kosten zur Risikominderung. Die Darstellung der Kostenniveaus erfolgt auf der Ebene 3 der Kostenstruktur.

Die Ausgangskosten (AK) und die Kosten zur Risikominderung (RM) für die vier Schweizer Kernkraftwerke und den Bund sind in Tabelle 11 bis Tabelle 15 angegeben. Die Darstellung umfasst die Ebenen 1 bis 3 der Kostenstruktur. Ebenfalls aufgeführt sind die Basiskosten (BK) und die im Kapitel 5.2 diskutierten Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten (PU). Letztere sind zu den einzelnen Elementen der Kostenstruktur zu addieren.

Die erste Ebene der Kostenstruktur dient der Unterscheidung zwischen aufgelaufenen und zukünftigen Entsorgungskosten.

Auf der zweiten Ebene der Kostenstruktur wird unterschieden zwischen Aufwendungen für

- Transport- und Lagerbehälter (TLB),
- Transporte,
- Zwischenlagerung und
- Wiederaufarbeitung.

Auf der dritten Ebene der Kostenstruktur sind die Kosten weiter aufgegliedert.

Die Aufwendungen für Transport- und Lagerbehälter umfassen

- Behälterbeschaffung,
- Zulassung,
- Inspektion sowie
- Transportkosten intern.

Die Aufwendungen für Transporte umfassen

- Transport von Betriebsabfällen und Reaktorabfällen,
- Rückführung von Wiederaufarbeitungsabfällen,
- Transport von abgebrannten Brennelementen sowie
- Transport von Stilllegungsabfällen PSI West (nur Bund).

Die Aufwendungen für die Zwischenlagerung umfassen

- Betriebskosten und Investitionen der Zwilag,
- Betriebskosten und Investitionen des Nasslager KKG (nur für KKG) sowie
- Betriebskosten und Investitionen des Zwibez (nur für KKB).

Die Aufwendungen für die Wiederaufarbeitung umfassen

- Wiederaufbereitungsabfälle von La Hague und
- Wiederaufbereitungsabfälle von Sellafield.

#### *Ausgangskosten*

Der überwiegende Teil der Ausgangskosten fällt für die Zwischenlagerung der radioaktiven Abfälle an und beträgt je nach Werk und Bund zwischen 56 und 83 Prozent. Zwischen 19 und 39 Prozent der Ausgangskosten fallen für Investitionen in sowie für periodische Lizenzierungen der Transport- und Lagerbehälter für abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle an. Weitere 3 bis 17 Prozent der Ausgangskosten fallen für den Transport der radioaktiven Abfälle vom Kernkraftwerk zum Zwischenlager und von der Wiederaufarbeitung zum Zwischenlager an. Für die Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente fallen für die Ausgangskosten lediglich bis zu 3 Prozent an, da die Rückführung der Abfälle aus der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente weitestgehend abgeschlossen ist.

#### *Kosten zur Risikominderung*

Aufgrund der langjährigen Erfahrung mit Zwischenlagerung, Transporten, Wiederaufarbeitung und Transport- und Lagerbehältern, sind Prozesse der Entsorgung radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente sind gut bekannt. Daher sind für die Risikominderung in der Kostenstudie 2016 keine spezifischen zusätzlichen Massnahmen geplant. Die allgemeinen Massnahmen zur Risikominderung, die bei den Entsorgungspflichtigen seit langem fest in die Betriebsprozesse integriert sind, sind daher bereits in den Betriebskosten der Kernanlagen (während wie auch Ende des Leistungsbetriebs) enthalten und werden zusammenfassend in Kapitel 3.2.2 erläutert. Die Betriebskosten während des Leistungsbetriebs der Kernkraftwerke sind nicht Bestandteil der Kostenstudie. Die Betriebskosten der Kernkraftwerke nach Ende des Leistungsbetriebs sind Bestandteil der Nachbetriebskosten beziehungsweise der Stilllegungskosten. Die Kosten zur Risikominderung sind entsprechend in den jeweiligen Kostenschätzungen ausgewiesen.

#### *Basiskosten*

Die Basiskosten ergeben sich als Summe aus Ausgangskosten und Kosten zur Risikominderung. Die Basiskosten basieren auf heute bereits bekannten und erprobten Methoden, Technologien und Verfahren, auf den per 1. Januar 2015 gültigen gesetzlichen und behördlichen Vorgaben sowie auf dem Preisniveau per 1. Januar 2016. Unsicherheiten in den Kostenschätzungen, Kostenfolgen absehbarer Veränderungen der Vorgaben und Reserven für erkannte Risiken sind hier nicht berücksichtigt und werden über die Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten sowie Gefahren beziehungsweise Kostenabzüge für Chancen erfasst.

Wie aus der Tabelle 11 bis Tabelle 15 ersichtlich, betragen die Basiskosten für die Entsorgung der Schweizer Kernkraftwerke zwischen 233 und 875 Millionen Franken und für den Bund 19 Millionen Franken.

Tabelle 11: Entsorgungskosten KKB für Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung.

Kostenstrukturelemente (bis Ebene 3)	AK	RM	BK	PU
<b>Aufgelaufene Entsorgungskosten KKB bis 31.12.2015</b>			<b>1'395.09</b>	
<b>Zukünftige Entsorgungskosten KKB</b>	<b>676.13</b>	<b>0.00</b>	<b>676.13</b>	<b>45.44</b> 6.70%
<b>TLB</b>	<b>143.36</b>	<b>0.00</b>	<b>143.36</b>	<b>10.14</b>
Behälterbeschaffung	129.38	0.00	129.38	9.15
Zulassung	11.58	0.00	11.58	0.82
Inspektion	2.40	0.00	2.40	0.17
<b>Transporte</b>	<b>18.86</b>	<b>0.00</b>	<b>18.86</b>	<b>1.33</b>
Betriebsabfälle/Reaktorabfälle	3.26	0.00	3.26	0.23
Wiederaufbereitungsabfälle/abgebrannte Brennelemente	15.60	0.00	15.60	1.10
<b>Zwischenlagerung</b>	<b>494.58</b>	<b>0.00</b>	<b>494.58</b>	<b>33.62</b>
Zwilag	477.66	0.00	477.66	32.43
Zwibez	16.92	0.00	16.92	1.20
<b>Wiederaufarbeitung</b>	<b>19.33</b>	<b>0.00</b>	<b>19.33</b>	<b>0.34</b>
La Hague	0.00	0.00	0.00	0.00
Sellafield	19.33	0.00	19.33	0.34

Ausgangskosten (AK), Kosten zur Risikominderung (RM) sowie Basiskosten (BK) und Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten (PU); Kostenzuschlag für Prognoseungenauigkeiten. Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt. Angaben in Millionen Franken.

Tabelle 12: Entsorgungskosten KKM für Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung.

Kostenstrukturelemente (bis Ebene 3)	AK	RM	BK	PU
<b>Aufgelaufene Entsorgungskosten KKM bis 31.12.2015</b>			<b>586.98</b>	
<b>Zukünftige Entsorgungskosten KKM</b>	<b>233.14</b>	<b>0.00</b>	<b>233.14</b>	<b>16.43</b> 7.00%
<b>TLB</b>	<b>41.98</b>	<b>0.00</b>	<b>41.98</b>	<b>3.22</b>
Behälterbeschaffung	32.95	0.00	32.95	0.44
Zulassung	2.77	0.00	2.77	2.33
Inspektion	6.25	0.00	6.25	0.44
<b>Transporte</b>	<b>28.33</b>	<b>0.00</b>	<b>28.33</b>	<b>2.00</b>
Betriebsabfälle/Reaktorabfälle	7.38	0.00	7.38	0.52
Wiederaufbereitungsabfälle/abgebrannte Brennelemente	20.94	0.00	20.94	1.48
<b>Zwischenlagerung</b>	<b>160.92</b>	<b>0.00</b>	<b>160.92</b>	<b>11.18</b>
Zwilag	160.92	0.00	160.92	11.18
<b>Wiederaufarbeitung</b>	<b>1.91</b>	<b>0.00</b>	<b>1.91</b>	<b>0.03</b>
La Hague	0.00	0.00	0.00	0.00
Sellafield	1.91	0.00	1.91	0.03

Ausgangskosten (AK), Kosten zur Risikominderung (RM) sowie Basiskosten (BK) und Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten (PU); Kostenzuschlag für Prognoseungenauigkeiten. Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt. Angaben in Millionen Franken.

Tabelle 13: Entsorgungskosten KKG für Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung.

Kostenstrukturelemente (bis Ebene 3)	AK	RM	BK	PU
<b>Aufgelaufene Entsorgungskosten KKG bis 31.12.2015</b>			<b>1'498.43</b>	
<b>Zukünftige Entsorgungskosten KKG</b>	<b>638.63</b>	<b>0.00</b>	<b>638.63</b>	<b>44.95</b> 7.00%
<b>TLB</b>	<b>176.53</b>	<b>0.00</b>	<b>176.53</b>	<b>12.49</b>
Behälterbeschaffung	160.15	0.00	160.15	11.33
Entwicklung/Lizensierung/Ausrüstung	13.34	0.00	13.34	0.94
Transportkosten intern	3.04	0.00	3.04	0.22
<b>Transporte</b>	<b>21.14</b>	<b>0.00</b>	<b>21.14</b>	<b>1.50</b>
Betriebsabfälle/Reaktorabfälle	3.04	0.00	3.04	0.22
Wiederaufbereitungsabfälle/abgebrannte Brennelemente	18.10	0.00	18.10	1.28
<b>Zwischenlagerung</b>	<b>440.94</b>	<b>0.00</b>	<b>440.94</b>	<b>30.97</b>
Zwilag	422.51	0.00	422.51	29.66
Nasslager KKG	18.42	0.00	18.42	1.30
<b>Wiederaufarbeitung</b>	<b>0.02</b>	<b>0.00</b>	<b>0.02</b>	<b>0.00</b>
La Hague	0.02	0.00	0.02	0.00
Sellafield	0.00	0.00	0.00	0.00

Ausgangskosten (AK), Kosten zur Risikominderung (RM) sowie Basiskosten (BK) und Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten (PU); Kostenzuschlag für Prognoseungenauigkeiten. Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt. Angaben in Millionen Franken.

Tabelle 14: Entsorgungskosten KKL für Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung.

Kostenstrukturelemente (bis Ebene 3)	AK	RM	BK	PU
<b>Aufgelaufene Entsorgungskosten KKL bis 31.12.2015</b>			<b>775.22</b>	
<b>Zukünftige Entsorgungskosten KKL</b>	<b>875.40</b>	<b>0.00</b>	<b>875.40</b>	<b>61.25</b> 7.00%
<b>TLB</b>	<b>350.51</b>	<b>0.00</b>	<b>350.51</b>	<b>24.80</b>
Behälterbeschaffung	331.92	0.00	331.92	23.48
Zulassung	15.11	0.00	15.11	1.07
Inspektion	3.48	0.00	3.48	0.25
<b>Transporte</b>	<b>35.34</b>	<b>0.00</b>	<b>35.34</b>	<b>2.50</b>
Betriebsabfälle/Reaktorabfälle	7.06	0.00	7.06	0.50
Wiederaufbereitungsabfälle/abgebrannte Brennelemente	28.28	0.00	28.28	2.00
<b>Zwischenlagerung</b>	<b>485.45</b>	<b>0.00</b>	<b>485.45</b>	<b>33.88</b>
Zwilag	485.45	0.00	485.45	33.88
<b>Wiederaufarbeitung</b>	<b>4.10</b>	<b>0.00</b>	<b>4.10</b>	<b>0.07</b>
La Hague	1.10	0.00	1.10	0.02
Sellafield	3.00	0.00	3.00	0.05

Ausgangskosten (AK), Kosten zur Risikominderung (RM) sowie Basiskosten (BK) und Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten (PU); Kostenzuschlag für Prognoseungenauigkeiten. Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt. Angaben in Millionen Franken.

Tabelle 15: Entsorgungskosten Bund für Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung.

Kostenstrukturelemente (bis Ebene 3)	AK	RM	BK	PU
<b>Aufgelaufene Entsorgungskosten Bund bis 31.12.2015</b>			<b>37.70</b>	
<b>Zukünftige Entsorgungskosten Bund</b>	<b>19.24</b>	<b>0.00</b>	<b>19.24</b>	<b>1.24</b> 6.40%
<b>TLB</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>Transporte</b>	<b>3.62</b>	<b>0.00</b>	<b>3.62</b>	<b>0.26</b>
Betriebsabfälle	3.56	0.00	3.56	0.25
abgebrannte Brennelemente Forschungsreaktor Diorit	0.06	0.00	0.06	0.00
<b>Zwischenlagerung</b>	<b>15.61</b>	<b>0.00</b>	<b>15.61</b>	<b>0.98</b>
Zwilag	15.61	0.00	15.61	0.98
<b>Wiederaufarbeitung</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>

Ausgangskosten (AK), Kosten zur Risikominderung (RM) sowie Basiskosten (BK) und Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten (PU); Kostenzuschlag für Prognoseungenauigkeiten. Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt. Angaben in Millionen Franken.

In Kapitel 5.1 sind für die einzelnen Kostenelemente auch die Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten aufgeführt, die zu den Basiskosten zu addieren sind. Aus diesen ebenfalls in Tabelle 12 bis Tabelle 16 aufgeführten Zuschlägen wird ein gesamthaft zu den Basiskosten zu addierender Zuschlag für Prognoseungenauigkeiten bestimmt.

Die Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten sind für die Kernkraftwerke Beznau, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt sowie für den Bund jeweils in der letzten Spalte der Tabelle 11 bis Tabelle 15 aufgeführt.

Die Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten bei der Wiederaufarbeitung sind äusserst gering, was darauf zurückzuführen ist, dass die Rückführung der letzten Abfälle aus der Wiederaufarbeitung bis 2018 abgeschlossen sein wird und die vertraglichen Bedingungen hierfür fixiert sind. Bei den Transporten sind die Werte geringfügig höher und belaufen sich zwischen 0.3 bis 1.3 Prozent der jeweiligen Basiskosten. Dies ist mit dem hohen Wettbewerb im Markt für Logistikleistungen zu begründen.

Der Kostenzuschlag für Prognoseungenauigkeiten für die Positionen Zwischenlagerung sowie Transport- und Lagerbehälter beträgt rund fünf Prozent.

Der Gesamtzuschlag liegt bei rund sieben Prozent.

## 5.2 Kostenzuschläge für Gefahren und Kostenabzüge für Chancen

Unter der Leitung von swissnuclear identifizierte ein Kreis von Experten aus allen Schweizer Kernkraftwerken und den mit der Entsorgung radioaktiver Abfälle beauftragten Organisationen gemeinsam, unter Berücksichtigung werkspezifischer Gegebenheiten, die Gefahren und Chancen, welche die Entsorgungskosten beeinflussen. Eintrittswahrscheinlichkeit und Kostenfolge jeder relevanten Gefahr und Chance wurden aufgrund von Expertenwissen abgeschätzt. Auf der Basis einer Risikoanalyse wurden Risikowert als Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Kostenfolge berechnet. Die Risikowerte wurden ähnlich wie bei der Ermittlung der Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten erhöht, um der Unsicherheit der Expertenschätzungen Rechnung zu tragen.

Für jede Gefahr wurden zwei Szenarien unterstellt – eines mit ungünstigem Verlauf und relativ hohen Auswirkungen, ein anderes mit relativ günstigem Verlauf und entsprechend geringeren Auswirkungen. Analog wurde für die Chancen vorgegangen. Der Zuschlag ergibt sich durch gewichtete Summierung der Ergebnisse beider Szenarien.

Die Ergebnisse wurden von zwei Unternehmen mit konkreter Erfahrung in nuklearen Rückbauprojekten sowie von einem mit unabhängigen Vertretern aus Wissenschaft und Industrie besetzten Risikoboard gesichtet und kommentiert. Die Empfehlungen beider Untersuchungen sind in die Bewertung der Gefahren und Chancen eingeflossen.

### **5.2.1 Kostenzuschläge für Gefahren**

Die einzelnen Risiken wurden in den Kategorien Betriebskosten, Betrieb (Zwischenlagerung), Technologie (Zwischenlagerung), regulatorische Rahmenbedingungen (Zwischenlagerung), Verzögerung (Zwischenlagerung) und Transporte und Behälter gruppiert. Die quantitative Darstellung der Risiken erfolgt in einer Risikomatrix (Abbildung 6).

#### **Betriebskosten Zwischenlagerung**

##### *Mehrkosten bei Gebühren und Versicherungen*

Erhöhung von Gebühren, Behördenaufwänden (inklusive Ensi), Abgaben, Versicherungskosten etc., die in den heutigen Ist-Kosten noch nicht berücksichtigt sind und über die Inflation hinausgehen.

##### *Mehrkosten durch Versicherungsüberdeckung*

Durch die stete Erhöhung des radioaktiven Inventars am Standort Zwiilag und somit gleichzeitiger Inventarreduktion bei den Kernkraftwerksstandorten verändert sich die Abdeckung der nuklearen Haftpflichtversicherung. Es besteht die Gefahr, dass die Deckungssumme frühzeitig auf das Gesamtschadenspotenzial bezogen wird, obwohl sich die betreffenden Materialien noch am Kraftwerksstandort befinden und dort ebenfalls versichert sind. Somit kommt es zu einer Überdeckung bei der nuklearen Haftpflichtversicherung

##### *Erhöhung der Energiekosten (Strom und Heizöl)*

Aufgrund von Preissteigerungen kommt es zu einer Erhöhung der Bezugskosten für Strom und Heizöl, die über die Inflation hinausgeht.

##### *Verfügbarkeit von externen Spezialisten*

Externe Spezialisten stehen nicht in ausreichender Menge auf dem Arbeitsmarkt zur Verfügung. Es ist mit nachfragebedingten Mehrkosten beim Einsatz externer Spezialisten zu rechnen. Internes Personal muss zur Substitution zunächst geschult beziehungsweise ausgebildet werden.

##### *Know-how-Verlust in der Zwiilag*

Durch den gestaffelten Rückzug der produktiven Anlagen der Aktionäre wird die Attraktivität, in der Nuklearbranche zu arbeiten, abnehmen. Nachwuchskräfte mit Branchenkenntnissen werden rar und sind schwer zu finden.

#### **Betrieb Zwischenlagerung**

##### *Mehrkosten eines Produktionsunterbruchs*

Die Zwiilag verbaut qualitativ hochwertige Komponenten. Die Nutzungsdauer übertrifft meist die mittlere Lebensdauer. Dieser Effekt kommt beim ausfallorientierten Unterhalt und Ersatz zum Tragen. Die Komponente wird so lange betrieben, bis ein Ausfall auftritt und sie wirtschaftlich nicht mehr instand gestellt oder repariert werden kann.

## **Technologie Zwischenlagerung**

### *Abfallgebinde ausserhalb Abfallgebinderotypenspezifikation*

Bestehende Abfallgebinde weisen wegen der langen Lagerung unzulässige Abweichungen auf gegenüber ihrer behördlichen Typengenehmigung sowie der dieser zugrunde liegenden Abfallgebinderotypenspezifikation und der von der Nagra ausgestellten Bescheinigung der Eignung für die geologische Tiefenlagerung.

### *Verlust der Typengenehmigung*

Aufgrund geänderter Annahmebedingungen für das Tiefenlager tritt für bestehende Abfallgebinde (zum Beispiel Bitumen- oder Styrolgebinde) ein Nachbesserungsbedarf ein, der eine Zusatzverpackung oder im Extremfall eine Umkonditionierung erforderlich machen könnte.

## **Regulatorische Rahmenbedingungen Zwischenlagerung**

### *Höhere Klassierungsanforderungen an Nuklearanlageanteile*

Aufgrund geänderter Randbedingungen werden die Klassierungsanforderungen an nukleare Anlageanteile massiv verschärft.

### *Tiefere Grenzwerte von konventionellen Stoffen*

Aufgrund geänderter Gesetzgebung werden die heutigen Grenzwerte bei der Abgabe von konventionellen Stoffen an die Umwelt gesenkt. Dies kann im Bereich Abwasser, Luftfeuchtigkeit oder auch für Feststoffe zutreffen, die zukünftig nur noch auf spezielle Deponien abgeführt werden können.

## **Verzögerung Zwischenlagerung**

Veränderung der Betriebsdauer der Zwilag nach Abschluss der Auslagerung sämtlicher Abfälle (Verzögerung Stilllegung Zwischenlagerung) um 6, 12 und 24 Monate aufgrund von:

### *Stilllegungsverfügung verzögert durch Behördenprozess*

Aus Verfahrensgründen liegt die Stilllegungsverfügung bis zum geplanten Betriebsende nicht vor.

### *Stilllegungsverfügung verzögert durch Öffentlichkeit*

Aufgrund zum Beispiel von Einsprachen liegt die Stilllegungsverfügung bis zum geplanten Betriebsende nicht rechtskräftig vor.

### *Zeitliche Verzögerungen durch paralleles Ein- und Auslagern von Abfällen mit Kostenfolgen*

Bei zeitlicher Überschneidung von Ein- und Auslagerungen ist mit beiderseitigen zeitlichen Verzögerungen zu rechnen, die sich auf die betriebliche Planung des Zwilag auswirken.

## Transporte und Behälter

### *Mehrkosten durch Umladung BE/HAA in neue Transportbehälter*

Eine Transportzulassung bezieht sich auf eine bestimmte Ausgabe der IAEA Safety Series (aktuell SSR-6, 2012 [95]). Diese Bestimmungen werden regelmässig (ca. alle 10 Jahre) aufdatiert. Während das Ensi (Richtlinie G05 [57]) erwartet, dass TLB (inkl. Mosaik Behälter) bei deren Einlagerung über eine validierte internationale verkehrsrechtliche Zulassung verfügen, kann nicht davon ausgegangen werden, dass diese Zulassung über mehrere Jahrzehnte aufrechterhalten wird, da die zuständige Aufsichtsbehörde (typischerweise die Aufsichtsbehörde des Herstellerlandes Frankreich, Deutschland etc.) die Transportzulassung über mehrere Revisionen der IAEA Bestimmungen nicht aufrechterhalten wird. Es ist unsicher, ob die nationale Aufsichtsbehörde eine verkehrsrechtliche Sondergenehmigung erteilt.

### *Mehrkosten für Haftpflichtversicherung für Nukleartransporte*

Aufgrund geänderter regulatorischer Anforderungen [99] kommt es zu einer teurerungsüberschreitenden Erhöhung der Versicherungskosten für nukleare Transporte.

## 5.2.2 Kostenabzüge für Chancen

### **Betriebskosten Zwischenlagerung**

#### *Kostensenkung bei Gebührenaufwand und Versicherungen*

Geringere Ausgangskosten für Versicherungen sowie niedrigerer Behördenaufwand.

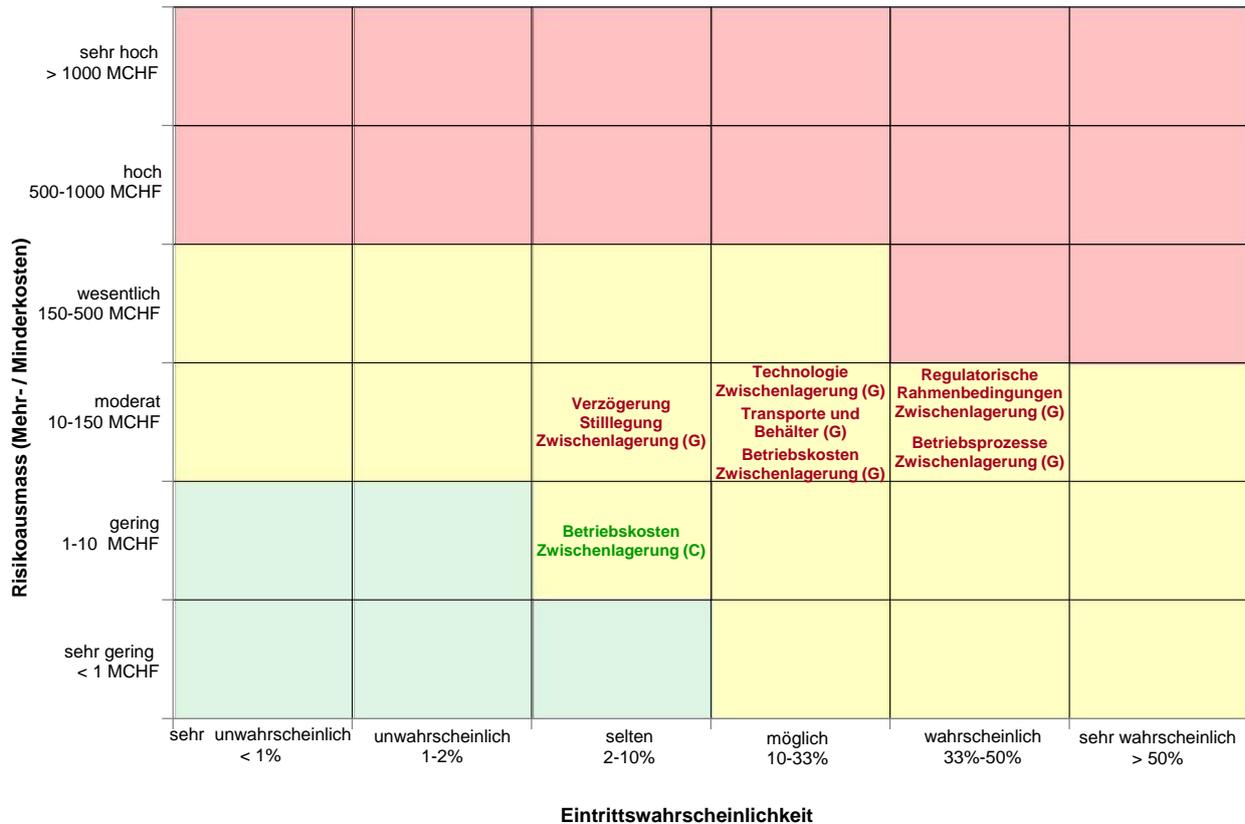
## 5.2.3 Risikomatrix

Im Rahmen der Kostenstudie 2016 wurden die Gefahren und Chancen der Entsorgung für Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung analysiert. Das Ergebnis dieser Analyse ist ein Risikoprofil, das für alle Entsorgungspflichtigen ähnlich ist. Für die Erstellung des Risikoprofils wurden die vorhin beschriebenen Gruppen nach Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmass dargestellt.

Für die Kostenstudie 2016 wurde festgelegt, dass die grüne Fläche der Risikomatrix nicht über diskrete Zuschläge für Gefahren beziehungsweise Abzüge für Chancen berücksichtigt wird. Die Effekte der Abweichungen von Planungsannahmen, die in diese Kategorie einzuordnen sind wie zum Beispiel Einschätzungen von Dauern, Mengen, Massen, Preisen etc. sind innerhalb der Kostengliederung einerseits über die Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten abgedeckt und werden andererseits über aktive Risikomanagementmassnahmen und weitere all-gemeine risikomindernde Massnahmen der Betreiber kontrolliert und gesteuert. Für Details zu den allgemeinen risikomindernden Massnahmen wird auf Kapitel 5 verwiesen.

Die gelbe Fläche der Risikomatrix wird für die Ermittlung der Kostenzuschläge für Gefahren beziehungsweise Kostenabzüge für Chancen berücksichtigt. Die Gefahren- und Chancen-cluster, die in diese Kategorie einzuordnen sind, werden in den Kapiteln 2 und 3 dieses Gefahren- und Chancenkatalogs analysiert und bewertet.

Die übrigen Risiken werden durch geeignete planerische, technische und organisatorische Massnahmen oder durch geeignete Versicherungen ausgeschlossen (rote Kategorie). Die Entsorgungspflichtigen verfügen über eine langjährige Erfahrung in Bezug auf die Entsorgungsaktivitäten, die im vorliegenden Bericht berücksichtigt werden. Insofern sind Risiken innerhalb der roten Kategorie nicht zu erwarten. Jede andere Erwartung würde eine Anpassung der Planung erfordern. Abbildung 6 zeigt exemplarisch die für die Entsorgung (Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung) ermittelte Risikomatrix.



Die Gefahren (G) werden in rot und die Chancen (C) werden in grün dargestellt.

Abbildung 6: Risikomatrix Entsorgungskosten für Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung (exemplarisch).

### 5.2.4 Quantifizierung der Kostenzuschläge für Gefahren und -abzüge für Chancen

Die oben beschriebenen Zuschläge bzw. Abzüge für Gefahren und Chancen werden insgesamt zu den Basiskosten addiert und sind der Tabelle 16 zu entnehmen. In der Kostenstudie 2016 wird aufgrund der analysierten Gefahren und Chancen zu den Basiskosten ein Kostenzuschlag von rund sechs Prozent addiert.

Für die Kernkraftwerke Beznau, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt sowie für den Bund beträgt der Zuschlag für Gefahren zwischen sechs bis sieben Prozent der Basiskosten und der Abzug für Chancen befindet sich im Promillebereich, so dass für alle Kernkraftwerke und den Bund an den Basiskosten anzubringende Zuschlag insgesamt rund sechs Prozent beträgt.

Tabelle 16: Zuschläge für Gefahren und Abzüge für Chancen in Millionen Franken.

Zuschläge und Abzüge	KKB	KKM	KKG	KKL	Bund	Total
Kostenzuschläge für Gefahren	43 6.4%	16 6.7%	40 6.3%	53 6.1%	1 6.7%	154 6.3%
Kostenabzüge für Chancen	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%
<b>Total</b>	<b>43</b> 6.4%	<b>16</b> 6.7%	<b>40</b> 6.3%	<b>53</b> 6.1%	<b>1</b> 6.7%	<b>154</b> 6.3%

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

### 5.3 Nicht berücksichtigte Chancen und Gefahren

Im Rahmen der Risikobetrachtung wurden über die im Kapitel 5.2 aufgeführten Risiken hinaus eine Vielzahl weiterer Chancen und Gefahren identifiziert und evaluiert, jedoch in der Kostengliederung nicht explizit berücksichtigt. Die Gründe für die Nichtberücksichtigung lassen sich differenzieren. Es gibt Gefahren und Chancen, die bereits über andere berücksichtigte Gefahren und Chancen abgedeckt sind, versicherte Gefahren und Gefahren, die über berücksichtigte risikomindernde Massnahmen weitestgehend vermieden werden konnten. Zusätzlich wurden eine Anzahl von Chancen beziehungsweise Kostenoptimierungspotenzialen identifiziert, die keinen Eingang in die Kostengliederung gefunden haben. Es handelt sich dabei um Potenziale, die für eine Quantifizierung und Berücksichtigung in einer Kostenstudie weiterer Analysen und Untersuchungen bedürfen.

Bei den hier betrachteten Entsorgungskosten sind im Wesentlichen Behinderungen und Verzögerungen der Aktivitäten durch nicht bekannte technische Schwierigkeiten, Naturereignisse oder sonstige Einflüsse höherer Gewalt zu berücksichtigen. In diesem Zusammenhang ist von einem möglichen Schadensausmass in einer Grössenordnung von 20 % der Entsorgungskosten bei einer äusserst geringen Eintrittswahrscheinlichkeit auszugehen.

### 5.4 Sicherheitszuschlag

Der zusätzliche Sicherheitszuschlag soll der Neigung von Projektanten Rechnung tragen, besonders in frühen Projektphasen Risiken und Kosten systematisch zu unterschätzen und eigene Leistungen sowie Leistungen Dritter zu überschätzen<sup>79</sup>. Mit den anderen Elementen der Kostengliederung, der Berücksichtigung risikomindernder Massnahmen, dem Zuschlag für Prognoseungenauigkeiten, dem Zuschlag für Gefahren und dem Abzug für Chancen wurde eine Reihe wirksamer Instrumente eingeführt, um einer allfälligen Neigung zu unberechtigtem Optimismus in der Kostenschätzung entgegen zu wirken. Diese Instrumente entsprechen den Empfehlungen internationaler Organisationen, wie OECD-NEA und IAEA, für die Berücksichtigung von Unsicherheit in der Kostenschätzung für Stilllegungsprojekte<sup>80</sup>. Damit deckt die Kostengliederung den aktuellen Stand der Diskussion zu diesem Thema umfassend abdeckt.

<sup>79</sup> In den Vorgaben der Verwaltungskommission zur Kostengliederung wird dies als «Optimism Bias» bezeichnet.

<sup>80</sup> S. z. B. OECD NEA, Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants [87]; US DOE, Cost Estimating Guide 413.3.21 [89]; IAEA, Financial Aspects of Decommissioning, TECDOC-1476 [84]; etc.

Die Kostenschätzung für den Teil Entsorgung in diesem Bericht wurden durch die Nagra und Zwiilag durchgeführt. Als Input für die Schätzung der Entsorgungskosten dienen Angaben der Betreiber zu den jährlichen, im Leistungsbetrieb entstehenden Kosten, die auf langjähriger, vielfach verifizierter Erfahrungen der Betreiber dienen. Ein grosser Teil der anfallenden Kosten der hier betrachteten Elemente der Entsorgung ist langfristig vertraglich fixiert und daher mit vergleichsweise geringen Unsicherheiten behaftet.

Ein auf Risikoanalysen in Infrastrukturprojekten spezialisiertes Unternehmen arbeitete die Instrumente zur Bewertung der Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten aus. Eine Gruppe ausgewiesener Experten führte die Bewertung der Gefahren und Chancen hinsichtlich ihres Umfangs, der Eintrittswahrscheinlichkeiten und der Kostenfolgen durch. Die Bewertung wurde durch zwei Unternehmen mit fundierter Erfahrung mit Rückbauprojekten validiert. Ein unabhängiges Risikoboard überprüfte die Ergebnisse. Dessen Befunde und Kommentare sind in die Bewertung eingeflossen.

Die Zuschläge für die Prognoseungenauigkeiten und die Zuschläge beziehungsweise Abzüge für Gefahren und Chancen werden konsequent, einheitlich und umfassend erhoben sowie breit abgestützt. Damit wird systematischen Tendenzen, zu optimistisch zu schätzen, vorgebeugt. Es gibt somit keinen Grund für einen zusätzlichen Sicherheitszuschlag.

## 5.5 Gesamtkosten

Im Folgenden sind die Ergebnisse der Bestimmung der Entsorgungskosten (Zwischenlagerung, Transporte, Behälter für abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle und Wiederaufarbeitung) entsprechend der Kostengliederung zusammengestellt. Für die einzelnen Kostenelemente der Kostenstruktur sind die Ausgangskosten sowie die Kosten für Massnahmen zur Risikominderung bestimmt. Zu den so erhaltenen Basiskosten werden Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten addiert. Zu diesen werden die Kostenzuschläge für Gefahren und die Kostenabzüge für Chancen addiert. Die Gesamtkosten werden mit dem Ergebnis der Kostenstudie 2011 verglichen.

Tabelle 17 zeigt die Gesamtkosten der vorliegenden Entsorgungskostenschätzung. Nebst den Kosten ist auch deren Aufschlüsselung gemäss der in Kapitel 3.2 erläuterten Kostengliederung gegeben. Die Resultate der Kostenschätzung 2011 sind zum Vergleich aufgeführt. Die Schätzungen werden jeweils zum Geldwert des Schätzungsjahres durchgeführt. Für den direkten Vergleich wurden die in der Kostenstudie 2011 geschätzten Kosten mit der in der Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung verankerten und im Rückstellungsmodell berücksichtigten Teuerungsrate von 1.5 Prozent von der Preisbasis 2011 auf die Preisbasis 2016 hochgerechnet. Teuerungsbereinigt steigen die Gesamtkosten der Entsorgung für Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung im Vergleich zur Kostenstudie 2011 um knapp drei Prozent.

Die Entsorgungskosten betragen für die Schweizer Kernkraftwerke zwischen 852 und 2'222 Millionen Franken und für den Bund 59 Millionen Franken. Bis 2015 haben die Kernkraftwerksbetreiber rund 4.3 Milliarden Franken für die Entsorgung der abgebrannten Brennelemente und der radioaktiven Abfälle bezahlt.

Die Entsorgungskosten vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs sind durch die Eigentümer direkt und laufend zu bezahlen und daher nicht im Entsorgungsfonds sicherzustellen. Die Entsorgungskosten vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs werden daher zusätzlich in Tabelle 17 ausgewiesen und sind in den Gesamtkosten enthalten.

*Tabelle 17: Entsorgungskosten der Schweizer Kernkraftwerke in der Kostenstudie 2016. Darstellung mit Kostengliederung sowie im Vergleich zur Kostenstudie 2011 in Millionen Franken. Die Kosten beinhalten die Zwischenlagerung, Transporte, Transport- und Lagerbehälter und Wiederaufarbeitung.*

Elemente der Kostengliederung	KKB		KKM		KKG		KKL		Bund		Total	
<b>KS16 PB16</b>												
<b>Aufgelaufene Kosten bis 2015</b>	1'395		587		1'498		775		38		4'293	
<b>Zukünftige Kosten ab 2016</b>												
Ausgangskosten	676		233		639		875		19		2'443	
Kosten zur Risikominderung	-		-		-		-		-		-	
Basiskosten	676		233		639		875		19		2'443	
Prognoseungenauigkeiten	6.7%	45	6.9%	16	7.0%	45	7.0%	61	6.4%	1	6.9%	169
Gefahren	6.4%	43	6.7%	16	6.3%	40	6.1%	53	6.7%	1	6.3%	154
Chancen	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0
Sicherheitszuschlag	-		-		-		-		-		-	
<i>Zuschlag auf zukünftige Basiskosten</i>	13.1%	89	13.6%	32	13.3%	85	13.1%	115	13.1%	3	13.2%	323
<b>Gesamtkosten KS16 PB16</b>	<b>2'160</b>		<b>852</b>		<b>2'222</b>		<b>1'765</b>		<b>59</b>		<b>7'058</b>	
<b>Gesamtkosten KS11 PB16</b>	<b>2'005</b>		<b>852</b>		<b>2'383</b>		<b>1'551</b>		<b>88</b>		<b>6'879</b>	
<b>Aufgelaufene Kosten bis 2010</b>	1'252		537		1'400		676		37		3'903	
<b>Zukünftige Kosten KS11 ab 2011</b>	753		315		982		875		52		2'976	
<b>Differenz Absolut</b>	155		0		-160		214		-29		<b>180</b>	
<b>Differenz (%)</b>	7.7%		0.0%		-6.7%		13.8%		-32.6%		<b>2.6%</b>	

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

Die wichtigsten Änderungen gegenüber der Kostenstudie 2011 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Kostenposition Transport- und Lagerbehälter für abgebrannte Brennelemente weist gegenüber der Kostenstudie 2011 eine Kostenerhöhung aus, da teilweise neue Behälterkonzepte in die Planung aufgenommen wurden.
- Die Transportkosten erhöhen sich, da aufgrund der Verschiebung der Inbetriebnahmezeitpunkte der geologischen Tiefenlager keine direkte Ablieferung von Abfällen bei den geologischen Tiefenlagern möglich ist und die Kosten der Haftpflichtversicherung für Nukleartransporte gestiegen sind.
- Bei den Kosten der Restabwicklung der Rückholung von Abfällen aus der Wiederaufarbeitung wird gegenüber der Einschätzung in der Kostenstudie 2011 eine Reduktion aufgrund günstigerer Wechselkurse erzielt.
- Weitere Einflussfaktoren sind die geplante Revision der Strahlenschutzverordnung, die als Gefahr in der Kostengliederung ausgewiesen wurde sowie eine Anpassung der Kernenergiehaftpflichtverordnung, die ebenfalls als Gefahr in der Kostengliederung ausgewiesen wurde.
- Die Zwibez-Kosten sind in der Kostenstudie 2016 deutlich gesunken, da mit Abschluss des Nachbetriebs des Kernkraftwerks Beznau das Zwibez durch die Zwiilag weiterbetrieben und verwaltet wird. Die Betriebskosten des Zwibez werden im Anschluss des Nachbetriebs über die Betriebskosten der Zwiilag abgebildet.
- Die Kostenreduktion für das Kernkraftwerk Gösgen im Vergleich zur Kostensteigerung bei den übrigen Kernkraftwerken ist mit einer Reduktion der Kosten für Transport- und Lagerbehälter für abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle zu begründen. Weiterhin wird das Nasslager für abgebrannte Brennelemente am Kraftwerkstandort entgegen der Annahme in der Kostenstudie 2011 zusammen mit dem Kernkraftwerk zurückgebaut, was zu einer Reduktion der Betriebskosten des Nasslagers führt.
- Die Kostenreduktion des Bundes ist auf eine Reduktion der Anzahl der geplanten Verbrennungskampagnen zurückzuführen.

## A. Anhänge

### A.1 Kostenverteilungsschlüssel für Zwischenlager und Behandlungsanlagen

#### *Aktionärsschlüssel*

Basis der Aufteilung des festen Anteils der Kosten auf die einzelnen Kernkraftwerke ist der so genannte Aktionärsschlüssel. Dies ist der vertraglich festgelegte MWth-Schlüssel des Jahres 1990, dem Jahr, in dem der Aktionärsvertrag der ZwiLag Zwischenlager Würenlingen AG abgeschlossen wurde.

Der Aktionärsschlüssel wird auf den festen Anteil aller Hauptkostenstellen (Lager für hochaktive-, mittelaktive- und schwachaktive Abfälle) angewendet. Somit sollen für die Hauptkostenstellen die festen Betriebskosten zu 100 % nach dem Solidaritätsprinzip verteilt werden.

#### *Modifizierter Aktionärsschlüssel*

Zusätzlich zum ZwiLag-Hochaktivlager mit seinen 200 Stellplätzen hat die Axpo am Standort des KKB ein eigenes Hochaktiv-Zwischenlager, das Zwibez, mit 48 Stellplätzen erstellt. Beide Lager werden in wirtschaftlicher Einheit so betrieben, dass das Zwibez allein von Axpo errichtet und benützt wird und diese auch die dabei anfallenden Kosten zu 100 Prozent trägt. Mit ihrem daraus resultierenden geringeren Bedarf von nur 12 Stellplätzen im ZwiLag-Hochaktivlager sinkt vereinbarungsgemäss ihr Anteil an den Kosten der Hauptkostenstelle HAA-Lager, und es ergibt sich eine Modifikation des Aktionärsschlüssels.

#### *Aufteilung der Betriebskosten in Solidaritäts- und Nutzungsanteil*

Für die Plasma-Anlage, heisse Zelle und Konditionierungsanlage wird vom festen Anteil der Betriebskosten nur ein vorgängig einvernehmlich festgelegter Prozentsatz  $\alpha$  nach dem Solidaritätsprinzip als so genannter Solidaritätsanteil auf die Kernkraftwerke aufgeteilt. Der verbleibende Rest  $(1-\alpha)$  wird als so genannter Nutzungsanteil in gleicher Weise wie die variablen Betriebskosten (Kampagnenkosten) nach dem Nutzungsprinzip nur den jeweiligen Nutzern verrechnet.

Die Benutzer der Konditionierungsanlage tragen einen Anteil an den nicht direkt zuteilbaren und festen Betriebskosten der Konditionierungsanlage in der Höhe der direkt zuteilbaren Kosten (Kampagnenkosten) pro Jahr. Die um diesen Anteil reduzierten, nicht direkt zuteilbaren Betriebskosten werden nach dem Solidaritätsschlüssel verteilt.

Einer allfälligen Inanspruchnahme der Plasma-Anlage durch den Bund wird kein Solidaritätsanteil zugeordnet. Zur Vermeidung eines verzerrten Kostenbildes wird der Nutzungsfaktor des PSI ( $\beta=1$ ) nach Ausserbetriebnahme des letzten Kernkraftwerks ab 2034 (bis 2049) nicht mehr angewendet, sondern analog der Konditionierungsanlage ein Nutzungszuschlag in der Höhe der direkten Kampagnenkosten eingesetzt.

#### *Solidaritätsanteil der festen Betriebskosten*

- Plasma-Anlage:  $\alpha = 50 \%$
- Heisse Zelle:  $\alpha = 80 \%$
- Konditionierungsanlage:  $\alpha = 100 \%$

#### *Kostenanteil des Bundes*

- Investitionen pauschal 30 Millionen Franken für die Abfallbehandlungsanlagen
- Betrieb der Plasma-Anlage  $\alpha = 0 \%$  (nur für Nutzungsanteil)

Tabelle A.1-1: Kostenverteilungsschlüssel für Zwischenlager und Behandlungsanlagen.

		KKB	KKM	KKG	KKL	Total KKW	Bund (fiktiv)	Total	Anzuwenden auf
<b>Thermische Reaktorleistung 1990<sup>1)</sup></b>	MWth	2'260	1'097	3'002	3'600	9'959	0	9'959	Berechnung des Aktionärsschlüssels und des modifizierten Aktionärsschlüssels
<b>Aktionärs- Schlüssel</b>	ohne <sup>2)</sup> Bundes- Beteiligung	24.3 %	10.7 %	31.2 %	33.8 %	100 %	-		Alle Baukosten und Ersatzinvestitionen des ZwiLag (inkl. Abgeltungen) sowie vereinbarter Anteil an den Betriebskosten <i>Ausnahme:</i> <i>HAA-Lager</i>
<b>Modifizierter Ak- tionärs-schlüssel HAA-Lager</b>	TLB- Stellplatz- verteilung	12	27	77	84	200			ZwiLag allein
	Verteil- schlüssel	6 %	13.5 %	38.5 %	42.0 %	100 %			Alle Baukosten und Ersatzinvestitionen (inkl. Abgeltungen) sowie Betriebskosten des HAA-Lagers
<b>Verteilsschlüssel ZwiBez HAA</b>	TLB- Stellplatz- verteilung	48	0	0	0	48			ZwiBez allein
	Verteil- schlüssel	100 %	0 %	0 %	0 %	100 %			Alle Kosten ZwiBez HAA

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

<sup>1)</sup> Jahr des Abschlusses des Gründungs- und Beteiligungsvertrags über die ZwiLag

<sup>2)</sup> Ein Anteil des Bundes von 30 Mio. CHF an den Kosten der Behandlungsanlagen ist dabei bereits vorweg abgezogen

**A.2 Kosten der Transport- und Lagerbehälter**

Tabelle A.2-1: Kosten der Transport- und Lagerbehälter, KS16 und KS11 (PB16); Angaben in Millionen Franken.

	KKB	KKM	KKG	KKL	Total KKW	Bund	Total
<i>KS16 PB16</i>							
<b>Kosten Transport- und Lagerbehälter</b>	<b>239</b>	<b>102</b>	<b>259</b>	<b>495</b>	<b>1'096</b>	<b>2</b>	<b>1'098</b>
aufgelaufene Kosten bis 2015	76	53	60	101	291	2	293
2016 bis EELB	94	8	60	275	436	0	806
nach EELB	69	41	139	120	369		
<i>KS11 PB16</i>							
<b>Kosten Transport- und Lagerbehälter</b>	<b>135</b>	<b>86</b>	<b>362</b>	<b>314</b>	<b>897</b>	<b>2</b>	<b>899</b>
aufgelaufene Kosten bis 2010	32	42	42	69	186	2	188
Kosten ab 2011 PB16	103	44	320	245	711	-	711
Differenz KS16 KS11 (Abs.)	105	16	-103	181	199	0	199
Differenz KS16 KS11 (%)	77.5%	18.2%	-28.3%	57.8%	22.2%	11.1%	22.2%

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

### A.3 Transportkosten

Tabelle A.3-1: Kosten der Transporte, KS16 und KS11 im Vergleich; Angaben in Millionen Franken.

	KKB	KKM	KKG	KKL	Total KKW	Bund	Total
<i>KS16 PB16</i>							
<b>Kosten Transporte</b>	<b>122</b>	<b>66</b>	<b>64</b>	<b>47</b>	<b>299</b>	<b>4</b>	<b>303</b>
aufgelaufene Kosten bis 2015	101	35	40	9	185	-	185
2016 bis EELB	6	10	4	12	32	4	118
nach EELB	14	21	20	27	82		
<i>KS11 PB16</i>					<b>0</b>		
<b>Kosten Transporte</b>	<b>96</b>	<b>61</b>	<b>52</b>	<b>24</b>	<b>233</b>	<b>13</b>	<b>246</b>
aufgelaufene Kosten bis 2010	78	31	35	6	150	-	150
Kosten ab 2011 PB16	19	30	16	18	83	13	96
Differenz KS16 KS11 (Abs.)	26	5	12	23	66	-9	57
Differenz KS16 KS11 (%)	26.6%	7.6%	23.9%	98.1%	28.3%	-70.8%	23.2%

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

**A.4 Kosten der zentralen Abfallbehandlung sowie Zwischenlager von BE und radioaktiven Abfällen**

Tabelle A.4-1: Kosten der zentralen Abfallbehandlung und Zwischenlagerung, KS16 und KS11 im Vergleich; Angaben in Millionen Franken.

	KKB <sup>a)</sup>	KKM	KKG	KKL	Total KKW	Bund	Total
<i>KS16 PB16</i>							
<b>Kosten Zwischenlagerung</b>	<b>739</b>	<b>302</b>	<b>770</b>	<b>874</b>	<b>2'686</b>	<b>53</b>	<b>2'739</b>
aufgelaufene Kosten bis 2015	196	119	289	321	925	36	961
2016 bis EELB	36	26	152	230	444	18	1'778
nach EELB	508	157	329	323	1'316		
<i>KS11 PB16</i>							
<b>Kosten Zwischenlagerung</b>	<b>520</b>	<b>316</b>	<b>776</b>	<b>868</b>	<b>2'479</b>	<b>73</b>	<b>2'552</b>
aufgelaufene Kosten bis 2010	153	91	234	257	735	35	769
Kosten ab 2011 PB16	367	225	542	610	1'745	38	1'783
<i>Differenz KS16 KS11 (Abs.)</i>	<i>219</i>	<i>-14</i>	<i>-6</i>	<i>6</i>	<i>206</i>	<i>-20</i>	<i>187</i>
<i>Differenz KS16 KS11 (%)</i>	<i>42.1%</i>	<i>-4.4%</i>	<i>-0.7%</i>	<i>0.7%</i>	<i>8.3%</i>	<i>-26.8%</i>	<i>7.3%</i>

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

<sup>a)</sup> Kostenerhöhung, da mit Abschluss des Nachbetriebs des Kernkraftwerks Beznau das Zwibez durch die Zwiilag bis 2071 weiterbetrieben und verwaltet wird. In der Kostenstudie 2011 waren diese Kosten noch Bestandteil der Kosten des Zwibez.

## A.5 Kosten des Zwibez und des KKG Nasslagers

Tabelle A.5-1: Kosten des Zwibez und des KKG Nasslagers, KS16 und KS11 im Vergleich; Angaben in Millionen Franken.

	KKB <sup>a)</sup>	KKM	KKG	KKL	Total KKW
<i>KS16 PB16</i>					
<b>Kosten Zwischenlagerung</b>	<b>43</b>	-	<b>113</b>	-	<b>156</b>
aufgelaufene Kosten bis 2015	25	-	93	-	119
2016 bis EELB	18		20		38
nach EELB	0	-	0	-	0
<i>KS11 PB16</i>					
<b>Kosten Zwischenlagerung</b>	<b>214</b>	-	<b>163</b>	-	<b>377</b>
aufgelaufene Kosten bis 2010	25	-	91	-	116
Kosten ab 2011 PB16	189	-	72	-	261
<i>Differenz KS16 KS11 (Abs.)</i>	<i>-171</i>	<i>-</i>	<i>-50</i>	<i>-</i>	<i>-221</i>
<i>Differenz KS16 KS11 (%)</i>	<i>-79.8%</i>	<i>-</i>	<i>-30.6%</i>	<i>-</i>	<i>-58.5%</i>

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

<sup>a)</sup> Kostenreduktion, da mit Abschluss des Nachbetriebs des Kernkraftwerks Beznau das Zwibez durch die Zwiilag bis 2071 weiterbetrieben und verwaltet wird. Kosten sind in der Kostenstudie 2016 bei Zwiilag enthalten.

**A.6 Kosten der Wiederaufarbeitung**

Tabelle A.6-1: Kosten der Wiederaufarbeitung, KS16 und KS11 im Vergleich; Angaben in Millionen Franken.

	KKB	KKM	KKG	KKL	Total
<i>KS16 PB16</i>					
<b>Kosten Wiederaufarbeitung</b>	<b>1'016</b>	<b>382</b>	<b>1'015</b>	<b>349</b>	<b>2'762</b>
aufgelaufene Kosten bis 2015	996	380	1'015	345	2'736
2016 bis EELB	20	2	0	4	26
nach EELB	0	0	0	0	0
<i>KS11 PB16</i>					
<b>Kosten Wiederaufarbeitung</b>	<b>1'040</b>	<b>389</b>	<b>1'030</b>	<b>346</b>	<b>2'804</b>
aufgelaufene Kosten bis 2010	965	373	998	344	2'679
Kosten ab 2011 PB16	75	16	32	2	125
<i>Differenz KS16 KS11 (Abs.)</i>	<i>-24</i>	<i>-7</i>	<i>-15</i>	<i>3</i>	<i>-42</i>
<i>Differenz KS16 KS11 (%)</i>	<i>-2.3%</i>	<i>-1.8%</i>	<i>-1.4%</i>	<i>0.9%</i>	<i>-1.5%</i>

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

## A.7 Vergleich der Entsorgungskosten für einen Leistungsbetrieb von 50 und 60 Jahren

In diesem Kapitel werden die Auswirkungen eines 60-jährigen Leistungsbetriebs auf die Entsorgungskosten des vorliegenden Berichts untersucht.

Bei einem 60-jährigen Leistungsbetrieb der Schweizer Kernkraftwerke betragen die hier betrachteten Entsorgungskosten zwischen 0.9 und 2.3 Milliarden Franken und für den Bund rund 60 Millionen Franken. Bis 2015 haben die Kernkraftwerkbetreiber und der Bund ungefähr 4.3 Milliarden Franken für die Entsorgung der abgebrannten Brennelemente und der radioaktiven Abfälle bezahlt.

Die hier betrachteten Entsorgungskosten bei einem 60-jährigen Leistungsbetrieb steigen um rund 5 Prozent gegenüber einem 50-jährigen Leistungsbetrieb. Die Mehrkosten belaufen sich auf rund 400 Millionen Franken. Der Zuschlag auf die ermittelten Basiskosten beträgt 13 Prozent.

Tabelle A.7- 1: Vergleich der Entsorgungskosten bei einem Leistungsbetrieb der Kernkraftwerke von 60 und 50 Jahren; Angaben in Millionen Franken.

Entsorgungskosten	KKB		KKM		KKG		KKL		Bund		Total	
<b>KS16 PB16 60 Jahre</b>												
<b>Aufgelaufene Kosten KS16 bis 2015</b>	1'395		587		1'498		775		38		4'293	
<b>Zukünftige Kosten KS16 ab 2016</b>												
Ausgangskosten	726		245		729		1'028		20		2'748	
Kosten zur Risikominderung	0		0		0		0		0		0	
Basiskosten	726		245		729		1'028		20		2'748	
Prognoseungenauigkeiten	6.8%	49	6.9%	17	7.0%	51	7.0%	72	6.4%	1	6.2%	169
Gefahren	7.1%	52	7.5%	18	7.0%	51	6.7%	69	7.9%	2	7.0%	192
Chancen	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0
Sicherheitszuschlag	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-
<i>Zukünftiger Zuschlag auf Basiskosten</i>	13.9%	101	14.5%	35	14.0%	102	13.7%	140	14.3%	3	13.1%	361
<b>Gesamtkosten KS16 PB16 60 Jahre</b>	<b>2'222</b>		<b>868</b>		<b>2'330</b>		<b>1'943</b>		<b>60</b>		<b>7'423</b>	
<b>Gesamtkosten KS16 PB16 50 Jahre</b>	<b>2'160</b>		<b>852</b>		<b>2'222</b>		<b>1'765</b>		<b>59</b>		<b>7'058</b>	
<b>Aufgelaufene Kosten KS16 bis 2015</b>	1'395		587		1'498		775		38		4'293	
<b>Zukünftige Kosten ab 2016</b>	765		265		724		990		22		2'765	
<b>Differenz KS16 (60 Jahre)/ KS16 (50 Jahre) (Absolut und %)</b>	62		16		107		178		1		364	
	2.9%		1.9%		4.8%		10.1%		1.0%		5.2%	

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

## A.8 Referenzen

- [1] Kostenstudie 2016 (KS16) - Mantelbericht., swissnuclear Bericht FGK-AN-16.001 Rev. 0, Olten, Schweiz.
- [2] Kostenstudie 2016 (KS16); Schätzung der Entsorgungskosten – Geologische Tiefenlagerung, swissnuclear Bericht FGK-AN-16.043, 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] Kostenstudie 2011 (KS11), Schätzung der Kosten der Nachbetriebsphase der Schweizer Kernkraftwerke, swissnuclear Bericht FGK-11.055.GS Rev. 0, Olten, Schweiz.
- [7] Kostenstudie 2011 (KS11), Schätzung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen, swissnuclear Bericht FGK-11.056.GS Rev. 0, Olten, Schweiz.
- [8] Glossar KS16 – Abkürzungen / Begriffe / Glossar zur Kostenstudie 2016 (KS16), swissnuclear Bericht FGK-16.044.GS, Rev. 0, Olten, Schweiz.
- [9] SR 814.50 Strahlenschutzgesetz (StSG) vom 22. März 1991 (Stand 1. Januar 2007).
- [10] SR 814.501 Strahlenschutzverordnung (StSV) vom 22. Juni 1994 (Stand 1. Januar 2014).
- [11] SR 732.1 Kernenergiegesetz vom 21. März 2003 (KEG) (Stand 1. Januar 2009).
- [12] SR 732.11 Kernenergieverordnung vom 10. Dezember 2004 (KEV) (Stand 1. Januar 2009).
- [13] R-732.12 Safeguardsverordnung vom 21. März 2012 (Stand am 1. Juli 2016).
- [14] SR 732.112.1 Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und Sicherungsmassnahmen für Kernanlagen und Kernmaterialien vom 16. April 2008 (Stand am 1. Mai 2008).
- [15] SR 732.112.2 Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen vom 17. Juni 2009 (Stand am 1. August 2009).
- [16] SR 732.441 Kernenergiehaftpflichtverordnung (KHV) vom 5. Dezember 1983 (Stand am 1. Januar 2008).
- [17] SR 732.17 Verordnung vom 7. Dezember 2007 über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen (Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung, SEFV) (Stand 1. Januar 2016).
- [18] SR 220 Bundesgesetz betreffend die Ergänzung des Schweizerischen Zivilgesetzbuches (Fünfter Teil: Obligationenrecht) vom 30. März 1911 (Stand am 1. Januar 2013).
- [19] International Financial Reporting Standards (IFRS); [www.ifrs.org](http://www.ifrs.org).
- [20] Schweizer Standards für die Rechnungslegung in Unternehmen, Generally Accepted Accounting Principles, Fachempfehlung zur Rechnungslegung; [www.fer.ch](http://www.fer.ch). (Swiss GAAP FER).
- [21] Entsorgungsprogramm 2016 der Entsorgungspflichtigen, Nagra Technischer Bericht NTB 16-01. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- [22] Modellhaftes Inventar für radioaktive Materialien MIRAM 14, Nagra Technischer Bericht NTB 14-04, Dezember 2014.
- [23] SR 822.11 Bundesgesetz über die Arbeit in Industrie, Gewerbe und Handel (Arbeitsgesetz, ArG) vom 13. März 1964 (Stand am 1. Dezember 2013).
- [24] SR 822.111 Verordnung 1 zum Arbeitsgesetz (ArGV 1) vom 10. Mai 2000 (Stand am 1. Juni 2014).
- [25] SR 822.112 Verordnung 2 zum Arbeitsgesetz (ArGV 2) (Sonderbestimmungen für bestimmte Gruppen von Betrieben oder Arbeitnehmern und Arbeitnehmerinnen) vom 10. Mai 2000 (Stand am 1. September 2014).
- [26] SR 822.113 Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz (ArGV 3) (Gesundheitsschutz) vom 18. August 1993 (Stand am 1. Mai 2010).

- [27] SR 822.114 Verordnung 4 zum Arbeitsgesetz (ArGV 4) (Industrielle Betriebe, Plangenehmigung und Betriebsbewilligung) vom 18. August 1993 (Stand am 1. Juni 2009).
- [28] SR 832.30 Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten (Verordnung über die Unfallverhütung [VUV]) vom 19. Dezember 1983 (Stand 01. Januar 2016).
- [29] SR 832.20 Bundesgesetz über die Unfallversicherung (UVG) vom 20. März 1981 (Stand am 1. Januar 2013).
- [30] SR 832.202 Verordnung über die Unfallversicherung (UVV) vom 20. Dezember 1982 (Stand am 1. Januar 2014).
- [31] SR 732.13 Verordnung über sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen in Kernanlagen (VBRK) vom 9. Juni 2006 (Stand am 1. Januar 2009).
- [32] SR 819.14 Verordnung über die Sicherheit von Maschinen (Maschinenverordnung, MaschV) vom 2. April 2008 (Stand am 15. Dezember 2011).
- [33] SR 814.501.43 Verordnung über die Personendosimetrie (Dosimetrieverordnung) vom 7. Oktober 1999 (Stand am 1. Januar 2013).
- [34] SR 732.143.1 Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen (VAPK) vom 9. Juni 2006 (Stand am 1. Januar 2009).
- [35] SR 732.222 Gebührenverordnung des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats (Gebührenverordnung Ensi) vom 9. September 2008 (Stand am 1. Januar 2009).
- [36] SR 814.56 Verordnung über die Gebühren im Strahlenschutz (GStSV) vom 5. Juli 2006 (Stand am 1. Januar 2014).
- [37] Grundlagenpapier zur Revision der Verordnungen im Strahlenschutz; Bundesamt für Gesundheit (BAG); Version für die Anhörung, Oktober 2015.
- [38] Ensi-A01 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen A01/d, Anforderungen an die deterministische Störfallanalyse für Kernanlagen: Umfang, Methodik und Randbedingungen der technischen Störfallanalyse; Ausgabe Juli 2009.
- [39] Ensi-A04 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen A04/d, Gesuchsunterlagen für freigabepflichtige Änderungen an Kernanlagen Ausgabe Juli 2008, Revision 1 vom 24. September 2009.
- [40] Ensi A05 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen A05/d, Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Qualität und Umfang Ausgabe Januar 2009.
- [41] Ensi A06 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen A06/d, Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Anwendungen; Ausgabe November 2015.
- [42] Ensi A08 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen A08/d, Quelltermanalyse: Umfang, Methodik und Randbedingungen; Ausgabe Februar 2010.
- [43] Ensi B01 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B01/d, Alterungsüberwachung; Ausgabe August 2011.
- [44] Ensi B02 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B02/d, Periodische Berichterstattung der Kernanlagen; Ausgabe September 2008, Revision 5 vom 30. Juni 2015.
- [45] Ensi B03 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B03/d, Meldungen der Kernanlagen Ausgabe September 2008, Revision 3 vom 1. März 2012.
- [46] Ensi B04 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B04/d, Freimessen von Materialien und Bereichen aus kontrollierten Zonen; Ausgabe August 2009.
- [47] Ensi B05 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B05/d, Anforderungen an die Konditionierung radioaktiver Abfälle; Ausgabe Februar 2007.
- [48] Ensi B06 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B06/d, Sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen: Instandhaltung; Ausgabe vom 31. Mai 2013.
- [49] Ensi B09 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B09/d, Ermittlung und Aufzeichnung der Dosis strahlenexponierter Personen; Juli 2011.
- [50] Ensi B10 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B10/d, Ausbildung, Wiederholungsschulung und Weiterbildung von Personal; Ausgabe Oktober 2010.

- [51] Ensi B11 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B11/d, Notfallübungen; Ausgabe November 2007, Revision 1 vom 1. Januar 2013 (geändert am 23. Dezember 2015).
- [52] 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.
- [53] Ensi B13 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B13/d, Ausbildung und Fortbildung des Strahlenschutzpersonals; Ausgabe November 2010.
- [54] Ensi G01 Richtlinie für die schweizerischen Kernkraftwerke G01/d, Sicherheitstechnische Klassierung für bestehende Kernkraftwerke; Ausgabe Januar 2011.
- [55] Ensi G03 Richtlinie für die schweizerischen Kernkraftwerke G03/d, Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis.
- [56] 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.
- [57] HSK-G05 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G05, Transport- und Lagerbehälter für die Zwischenlagerung; April 2008.
- [58] Ensi-G07 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G07/d, Organisation von Kernanlagen; Ausgabe Juli 2013.
- [59] Ensi-G08 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G08/d, Systematische Sicherheitsbewertungen des Betriebs von Kernanlagen; Ausgabe Juni 2015.
- [60] Ensi-G09 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G09/d, Betriebsdokumentation; Ausgabe Juni 2014.
- [61] Ensi G11 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G11/d, Sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen: Planung, Herstellung und Montage; Ausgabe Februar 2009, Revision 2 vom 1. Juni 2013.
- [62] Ensi-G13 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G13/d, Messmittel für ionisierende Strahlung; Ausgabe Oktober 2015.
- [63] 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.
- [64] Ensi-G15 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G15/d, Strahlenschutzziele für Kernanlagen; Ausgabe November 2010.
- [65] Ensi-G17 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G17/d, Stilllegung von Kernanlagen; Ausgabe April 2014.
- [66] 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.
- [67] HSK-R-12 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen R-12/d, Erfassung und Meldung der Dosen des strahlenexponierten Personals der Kernanlagen und des Paul-Scherrer-Instituts; Oktober 1997.
- [68] HSK-R-30 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen R-30/d, Aufsichtsverfahren beim Bau und Betrieb von Kernanlagen; Juli 1992.
- [69] HSK R-50 Richtlinie für schweizerische Kernanlagen R-50/d, Sicherheitstechnische Anforderungen an den Brandschutz in Kernanlagen; März 2003.
- [70] HSK-R-101 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen R-101/d, Auslegungskriterien für Sicherheitssysteme von Kernkraftwerken mit Leichtwasser-Reaktoren; Mai 1987.
- [71] HSK-R-102 Richtlinie für schweizerische Kernanlagen R-102/d, Auslegungskriterien für den Schutz von sicherheitsrelevanten Ausrüstungen in Kernkraftwerken gegen die Folgen von Flugzeugabsturz; Dezember 1986, Neudruck Januar 1993.
- [72] HSK-R-103 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen R-103/d, Anlageinterne Massnahmen gegen die Folgen schwerer Unfälle; November 1989.

- [73] KE-R-15 – Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen R-49/d, KE-R-15/d, Sicherheitstechnische Anforderungen an die Sicherung von Kernanlagen; Dezember 2003.
- [74] ICRP Publication 103, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection; Ann. ICRP 37 (2-4), 2007.
- [75] IAEA GS-R-3 The Management System for Facilities and Activities, Safety Requirements, IAEA Safety Standards Series No. GS-R-3; STI/PUB/1252 (ISBN:92-0-106506-X); Vienna 2006.
- [76] IAEA GS-G-3.1 Application of the Management System for Facilities and Activities, Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-3.1; STI/PUB/1253 (ISBN:92-0-106606-6); Vienna 2006.
- [77] IAEA TecRS No. 399 Organization and Management for Decommissioning of Large Nuclear Facilities, Technical Reports Series No. 399; STI/DOC/010/399 (ISBN:92-0-102300-6); Vienna 2001.
- [78] IAEA WS-R-5 Decommissioning of Facilities Using Radioactive Material, Safety Requirements IAEA Safety Standards Series; Vienna 2006.
- [79] IAEA WS-G-2.1 Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors Safety Guide IAEA Safety Standards Series No. WS-G-2.1; STI/PUB/1079 (ISBN:92-0-102599-8); Vienna 1999.
- [80] IAEA WS-G-5.1 Release of Sites from Regulatory Control on Termination of Practices, Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. WS-G-5.1; STI/PUB/1244 (ISBN:92-0-101606-9); Vienna 2006.
- [81] IAEA DS452 Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors and other Nuclear Fuel Cycle Facilities, Safety Guide, IAEA Safety Standards under development; Vienna 2014.
- [82] IAEA SRS No 50 Decommissioning Strategies for Facilities Using Radioactive Material, Safety Reports Series No. 50; STI/PUB/1281 (ISBN:92-0-113206-9); Vienna 2007.
- [83] IAEA TRS No. 395 State of the Art Technology for Decontamination and Dismantling of Nuclear Facilities IAEA Technical Report Series; Vienna 1999.
- [84] IAEA TECDOC-1476 Safety Related Publications, Financial Aspects of Decommissioning; Vienna, November 2005.
- [85] Organisation for Economic Co-operation and Development OECD, Nuclear Energy Agency NEA, Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants – an Internal Overview of Cost Elements, Estimation Practices and Reporting Requirements, NEA No. 6831 (ISBN 978-92-64-99133-0); OECD 2010.
- [86] Organisation for Economic Co-operation and Development OECD, Nuclear Energy Agency NEA, International Structure for Decommissioning Costing (ISDC) of Nuclear Installations, NEA No. 7088 (ISBN 978-92-64-99173-6); OECD 2012.
- [87] Organisation for Economic Co-operation and Development OECD, Nuclear Energy Agency NEA, Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants, NEA No. 7201, OECD 2016.
- [88] NDA PCP-M United Kingdom Nuclear Decommissioning Authority, Baseline Management System Programme Controls Procedures, Doc No PCP-M Rev2; 18 April 2013.
- [89] DOE G 413.3-21 U.S. Department of Energy, Cost Estimating Guide, Washington D.C., 5-9-2011.
- [90] Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter mit Eisenbahnen und Seilbahnen (RSD) vom 31. Oktober 2012  
SR 742.412; Stand 1. Januar 2015.
- [91] SR 0.742.403.1 Convention relative aux transports internationaux ferroviaires (COTIF 1980); Conclue à Berne le 9 mai 1980; Approuvée par l'Assemblée fédérale le 24 juin 1983; Instrument de ratification déposé par la Suisse le 8 novembre 1983; Entrée en vigueur pour la Suisse le 1er mai 1985 (Etat le 8 août 2006).
- [92] Convention relative aux transports internationaux ferroviaires (COTIF), Appendice C – Règlement concernant le transport international ferroviaire des marchandises dangereuses (RID); applicable à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2015.
- [93] SR 741.621 Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (SDR) vom 29. November 2002 (Stand am 1. Januar 2015).

- [94] SR 0.741.621 Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (ADR); Conclu à Genève le 30 septembre 1957; Approuvé par l'Assemblée fédérale le 4 décembre 1969; Instrument de ratification déposé le 20 juin 1972; Entré en vigueur pour la Suisse le 20 juillet 1972; Annexes A et B amendées les 29 janvier 1968, 26 octobre 1970 et le 30 décembre 1971 (Etat le 1er janvier 2015).
- [95] IAEA SSR-6 Safety Standards Series No. SSR-6 Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material (2012 Edition), Specific Safety Requirements; STI/PUB/1570 (ISBN:978-92-0-133310-0); Vienna 2012.
- [96] IAEA SSG-26 Safety Standards Series No. SSG-26 Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material (2012 Edition), Specific Safety Guide; Vienna 2014.
- [97] IAEA TS-R-1 Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material (2012 Edition), Specific Safety Requirements, IAEA Safety Standards Series; 2013.
- [98] IAEA TS-G-1.1 Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material - Safety Guide IAEA Safety Standards Series No. (Revision 1) ISBN 978-92-0-101408-5; 2002.
- [99] Kernenergiehaftpflichtgesetz (KHG) vom 18. März 1983, SR 732.44, Stand 01. Januar 2011.
- [100] Bund aktualisiert seine Kostenschätzungen für die Entsorgung radioaktiver Abfälle, Medienmitteilung Bundesamt für Gesundheit, Bern, 29. April 2015, <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-57033.html>.
- [101] Finanzierung der Entsorgung radioaktiver Abfälle im Verantwortungsbereich des Bundes, Bericht der Arbeitsgruppe, Bundesamt für Gesundheit (BAG), 23. April 2015.

## A.9 Verwendete Abkürzungen

ATA	alphatoxische Abfälle
BA	Betriebsabfälle der Kernkraftwerke
BAG	Bundesamt für Gesundheit
BE	abgebrannte Brennelemente
BEVA	Verpackungsanlage für BE und HAA (Brennelementeverpackungsanlage)
BFE	Bundesamt für Energie
CERN	Europäische Organisation für Kernforschung (European Organization for Nuclear Research)
EELB	endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs
Ensi	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
EP08	Entsorgungsprogramm 2008 der Entsorgungspflichtigen
EP16	Entsorgungsprogramm 2016 der Entsorgungspflichtigen
EUU	erdwissenschaftliche Untersuchungen Untertage
HAA	hochaktive Abfälle
HAA-Lager	Geologisches Tiefenlager für hochaktive Abfälle
HSK	Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen
Isram	Informationssystem für radioaktive Materialien
IAEA	International Atomic Energy Agency
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
MIF	Radioaktive Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung
Miram	Modellhaftes Inventar für radioaktive Materialien
MWth	Megawatt thermisch (thermische Reaktorleistung)
Nagra	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle
NEA	Nuclear Energy Agency der OECD
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development (Organisation für wirtschaftliche Entwicklung und Zusammenarbeit)
PB11	Preisbasis 1.1.2011
PB16	Preisbasis 1.1.2016
PSI	Paul Scherrer Institut
RA	Reaktorabfälle
SA	Stilllegungsabfälle
SEFV	Verordnung über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen
SMA	schwach- und mittelaktive Abfälle
SMA-Lager	Geologisches Tiefenlager für schwach- und mittelaktive Abfälle
StSG	Strahlenschutzgesetz
StSV	Strahlenschutzverordnung
TAMG	Transport- und Abfallmengengerüst
TLB	Transport- und Lagerbehälter
tU	Tonnen Brennelement

Uvek	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
BEVA	Brennelementverpackungsanlage für HAA
WA	Abfälle aus der Wiederaufarbeitung
Zwibez	Zwischenlager Beznau des Kernkraftwerks Beznau
Zwilag	Zwilag Zwischenlager Würenlingen AG