



# **Kostenstudie 2021 (KS21)**

*Ermittlung der Entsorgungskosten –  
Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und  
Wiederaufarbeitung*

**swissnuclear**  
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)  
30. September 2021

## Zusammenfassung

Das Kernenergiegesetz<sup>a</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 Ermittlung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten nötig. Auf Basis dieser Ermittlung 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 Kostenermittlung hat gemäss der Verordnung<sup>b</sup> über den Stilllegungs- und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen alle fünf Jahre zu erfolgen.

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

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

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

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

Die 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 Kostenermittlung 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 einen zusätzlichen generellen Sicherheitszuschlag.

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

---

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

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

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

Die Entsorgungskosten der Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung und die Entsorgungskosten der geologischen Tiefenlagerung sind in zwei getrennten Teilberichten dargestellt.

Das Ergebnis der Ermittlung der Entsorgungskosten 2021 sowie der Vergleich zum Ergebnis der Ermittlung der KS16 sind in Tabelle 1 dargestellt. Für den direkten Vergleich zwischen der KS21 und der KS16 wurden die in der KS16 ermittelten Kosten mit der in der Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung<sup>c</sup> verankerten Teuerungsrate von 0.5 Prozent pro Jahr von der Preisbasis 2016 (PB16) auf die Preisbasis 2021 (PB21) der KS21 hochgerechnet. Die aufgelaufenen Kosten wurden nicht teuerungsbereinigt. Bis Ende 2020 haben die Kernkraftwerksbetreiber und der Bund 4.6 Milliarden Franken für Zwischenlagerung, Transporte, Transport- und Lagerbehälter und Wiederaufarbeitung bezahlt. Teuerungsbereinigt reduzieren sich die Gesamtkosten der Entsorgung für Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung um 1 Prozent.

Für Zwischenlagerung, Transporte, Transport- und Lagerbehälter und Wiederaufarbeitung fallen ab 2021 noch 2.4 Milliarden Franken an. Davon sind 1.9 Milliarden Franken fondsrelevant und 0.5 Milliarden Franken werden durch die Betreiber direkt gezahlt.

Die nächste Kostenermittlung ist für 2026 vorgesehen.

Tabelle 1: Entsorgungskostenermittlung für Zwischenlagerung, Transporte, Transport- und Lagerbehälter und Wiederaufarbeitung der KS21. Vergleich mit der KS16 auf der PB21.

Element der Kostengliederung	KKB		KKM <sup>a)</sup>		KKG		KKL		Bund		Total	
<b>Aufgelaufene Kosten bis 2020</b>	<b>1'470</b>		<b>658</b>		<b>1'558</b>		<b>899</b>		<b>41</b>		<b>4'626</b>	
<b>Zukünftige Kosten ab 2021</b>												
<b>Basiskosten</b>	<b>573</b>		<b>214</b>		<b>574</b>		<b>764</b>		<b>23</b>		<b>2'148</b>	
Prognoseungenauigkeiten	5.1%	29	6.1%	13	6.2%	36	6.3%	48	5.8%	1	5.1%	128
Zuschlag für Gefahren	8.2%	47	8.9%	19	7.4%	43	7.1%	55	8.0%	2	8.2%	165
Abzug für Chancen	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0
Genereller Sicherheitszuschlag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zuschlag auf Basiskosten	13.3%	76	15.0%	32	13.6%	78	13.5%	103	13.8%	3	13.6%	293
<b>Zukünftige Kosten ab 2021</b>	<b>649</b>		<b>247</b>		<b>653</b>		<b>866</b>		<b>27</b>		<b>2'441</b>	
<i>nicht fondsrelevant</i>	0		0		144		393		27		564	
<i>fondsrelevant</i>	649		247		508		473		0		1'877	
<b>Gesamtkosten</b>	<b>2'118</b>		<b>904</b>		<b>2'211</b>		<b>1'765</b>		<b>67</b>		<b>7'066</b>	
Gesamtkosten KS16 PB21	2'179		859		2'240		1'790		60		7'128	
Aufgelaufene Kosten bis 2015	1'395		587		1'498		775		38		4'293	
Zukünftige Kosten KS16 ab 2016	784		272		742		1'015		22		2'835	
Differenz	-2.8%	-61	5.3%	46	-1.3%	-29	-1.4%	-25	12.1%	7	-0.9%	-62

Angaben in Millionen Franken, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.  
Kernkraftwerke Beznau (KKB), Mühleberg (KKM), Gösgen (KKG) und Leibstadt (KKL).  
Kostenstudie 2021 (KS21), Kostenstudie 2016 (KS16), Preisbasis 2021 (PB21).

<sup>a)</sup> Die aufgelaufenen Kosten beinhalten Kosten in Höhe von 8.34 MCHF aus dem Entsorgungskonzept (vorwiegend Planungskosten wie z. B. Zuarbeiten zum Endlagerkonzept, BE-Behälterbeschaffung und Lizenzierung, Beladeoptionen für BE-Behälter).

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

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Ausgangslage</b>	<b>1</b>
1.1	Einleitung	1
1.2	Sicherstellung der Finanzierung von Nachbetrieb, Stilllegung und Entsorgung	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	4
1.2.4	Kostenstudie der Stilllegungs- und Entsorgungspflichtigen	4
1.3	Mit der Entsorgung beauftragte Organisationen	5
1.3.1	Die Betreiber der Kernanlagen	5
1.3.2	Die Zwiilag	5
1.3.3	Die Nagra	6
1.3.4	Swissnuclear	6
1.3.5	Der Bund	6
1.4	Entsorgungsprogramm	6
1.5	Radioaktive Abfälle nach Abfallsorten	8
1.6	Betriebsdauer der Kernkraftwerke	13
1.7	Realisierungsprogramm der Entsorgung und zeitliche Gliederung	14
<b>2</b>	<b>Vorgaben und Annahmen</b>	<b>15</b>
2.1	Rechtliche und behördliche Vorgaben	15
2.1.1	Grundlegende Gesetze und Verordnungen	15
2.1.2	Richtlinien und Empfehlungen	15
2.1.3	Transportvorschriften	17
2.1.4	Normen und Regeln	18
2.1.5	Begriffe	18
2.2	Annahmen und Randbedingungen	18
<b>3</b>	<b>Methodik der Kostenermittlung</b>	<b>21</b>
3.1	Kostenstruktur	21
3.2	Kostengliederung	22
3.2.1	Vorgaben zur Kostengliederung	22
3.2.2	Umsetzung der Kostengliederung	24
3.3	Modellhaftes Inventar für die Kostenrechnung	29
3.4	Methodik der Kostenaufteilung	29
3.4.1	Bundesanteil an den Entsorgungskosten	29
3.4.2	Kostenaufteilung Zwiilag-Anlagen	30
3.4.3	Bisherige und zukünftige Kosten	30
<b>4</b>	<b>Kostenelemente der Entsorgung</b>	<b>31</b>
4.1	Abgrenzung der Entsorgungskosten von den Nachbetriebs- und Stilllegungskosten	31
4.2	Transport- und Lagerbehälter	33
4.3	Transporte	39
4.4	Wiederaufarbeitung	39
4.5	Zentrale Abfallbehandlung und Zwischenlagerung (Zwiilag)	40
4.6	Zwischenlager Kernkraftwerk Beznau (Zwibez)	40
4.7	Nasslager des Kernkraftwerks Gösgen	40
4.8	Bau und Betriebsdauer der Entsorgungsanlagen	41
<b>5</b>	<b>Resultate der Ermittlung der Entsorgungskosten</b>	<b>43</b>
5.1	Basiskosten und Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten	43
5.2	Kostenzuschläge für Gefahren und Kostenabzüge für Chancen	47
5.2.1	Kostenzuschläge für Gefahren	47
5.2.2	Kostenabzüge für Chancen	49
5.2.3	Quantifizierung der Kostenfolgen von Gefahren und Chancen	49
5.2.4	Risikomatrix	50

5.3	Nicht berücksichtigte Chancen und Gefahren . . . . .	51
5.4	Genereller Sicherheitszuschlag . . . . .	52
5.5	Gesamtkosten . . . . .	52
<b>A</b>	<b>Anhänge</b>	<b>55</b>
A.1	Kostenverteilungsschlüssel für Zwischenlager und Behandlungsanlagen . . . . .	55
A.2	Kosten der Transport- und Lagerbehälter . . . . .	57
A.3	Transportkosten . . . . .	57
A.4	Kosten der zentralen Abfallbehandlung sowie Zwischenlager von BE und radioaktiven Abfällen	58
A.5	Kosten des Zwibez und des KKG Nasslagers . . . . .	58
A.6	Kosten der Wiederaufarbeitung . . . . .	59
A.7	Vergleich der Entsorgungskosten für einen Leistungsbetrieb von 50 und 60 Jahren . . . . .	60
A.8	Referenzen . . . . .	61
A.9	Verwendete Abkürzungen . . . . .	65

## Abbildungen

1	Übersicht über die Verknüpfung der Teilberichte und die Finanzierung des Nachbetriebs, der Stilllegung und der Entsorgung, inklusive entsprechender Hauptdokumente der KS21. . . .	2
2	Das Entsorgungskonzept für die in der Schweiz anfallenden radioaktiven Abfälle am Beispiel eines Kombilagers. . . . .	8
3	Zeitlicher Anfall der radioaktiven Abfälle. . . . .	12
4	Betriebszeiten der wichtigsten Anlagen des Entsorgungspfades bei einer Betriebsdauer der Kernkraftwerke von 50 Jahren (vereinfachte Darstellung). . . . .	14
5	Kostengliederung für die KS21. . . . .	23
6	Risikomatrix Entsorgung Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung (exemplarisch). . . . .	51

## Tabellen

1	Entsorgungskostenermittlung für Zwischenlagerung, Transporte, Transport- und Lagerbehälter und Wiederaufarbeitung der KS21. . . . .	IV
2	Charakterisierung der radioaktiven Abfälle nach Abfallsorten. . . . .	9
3	Abfallmengen für 50 Jahre Betrieb (für KKB, KKG, KKL) sowie 47 Jahre (für KKM). . . . .	11
4	Betriebs- und Stilllegungszeiten der Schweizer Kernkraftwerke sowie der Einrichtungen zur Zwischenlagerung der radioaktiven Abfälle. . . . .	13
5	Kostenelemente der Entsorgung. . . . .	31
6	Abgrenzung der Kosten für die Auslagerung der Brennelemente. . . . .	32
7	Abgrenzung der Kosten für die Betriebsabfälle aus Leistungs- und Nachbetrieb. . . . .	32
8	Abgrenzung der Kosten für die Reaktorabfälle. . . . .	33
9	Abgrenzung der Kosten für die Stilllegungsabfälle. . . . .	33
10	Abfallgebindespektrum und deren wichtigste Eigenschaften. . . . .	34
11	Endlagerbehälter für die KS21. . . . .	37
12	Transportkonzept für die KS21. . . . .	39
13	Planungs-, Bau- und Betriebszeiten der Entsorgungsanlagen. . . . .	42
14	Entsorgungskosten KKB für Zwischenlagerung, Transporte und Behälter. . . . .	45
15	Entsorgungskosten KKM für Zwischenlagerung, Transporte und Behälter. . . . .	45
16	Entsorgungskosten KKG für Zwischenlagerung, Transporte und Behälter. . . . .	46
17	Entsorgungskosten KKL für Zwischenlagerung, Transporte und Behälter. . . . .	46
18	Entsorgungskosten Bund für Zwischenlagerung, Transporte und Behälter. . . . .	47
19	Kostenzuschlag für Gefahren und Kostenabzug für Chancen. . . . .	50
20	Entsorgungskostenermittlung für Zwischenlagerung, Transporte, Transport- und Lagerbehälter und Wiederaufarbeitung der KS21. Vergleich mit der KS16 auf der PB21. . . . .	53
21	Kostenverteilungsschlüssel für Zwischenlager und Behandlungsanlagen. . . . .	56
22	Kosten der Transport- und Lagerbehälter, KS21 und KS16 (PB21) im Vergleich. . . . .	57
23	Kosten der Transporte, KS21 und KS16 (PB21) im Vergleich. . . . .	57
24	Kosten der zentralen Abfallbehandlung und Zwischenlagerung, KS21 und KS16 (PB21) im Vergleich. . . . .	58
25	Kosten des Zwibez und des KKG Nasslagers, KS21 und KS16 (PB21) im Vergleich. . . . .	58
26	Kosten der Wiederaufarbeitung, KS21 und KS16 (PB21) im Vergleich. . . . .	59
27	Entsorgungskosten bei einem Leistungsbetrieb der Kernkraftwerke von 60 Jahren. . . . .	60

# 1 Ausgangslage

## 1.1 Einleitung

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

Die Kostenstudie 2021 (KS21) ist im Mantelbericht [1] zusammengefasst und umfasst vier Teilberichte.

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

Der Mantelbericht [1] erläutert die Rahmenbedingungen der KS21 und fasst die wichtigsten Resultate der vier Teilberichte zusammen. Der vorliegende Bericht der KS21 ist der Teilbericht «Ermittlung der Entsorgungskosten – Zwischenlagerung, Transporte, Behälter, Wiederaufarbeitung». Er nimmt Bezug auf die im Mantelbericht [1] gegebenen Erläuterungen der Rahmenbedingungen und Neuerungen im Vergleich zur Kostenstudie 2016 (KS16) und präzisiert diese Angaben hinsichtlich der Spezifika der Entsorgung. Die Ermittlung der Entsorgungskosten wird gemäss den in der KS16 eingeführten Kostenstrukturen vorgenommen und entsprechend der damals eingeführten Kostengliederung dargestellt.

Die Ausgangslage für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle und für die Bereitstellung der finanziellen Mittel ist in Kapitel 1 dargelegt. Im Kapitel 2 sind die Annahmen und Randbedingungen für die Entsorgung beschrieben und im Kapitel 3 die Methodik der Kostenermittlung. Kapitel 4 beschreibt die Kostenelemente der Entsorgung. Die Resultate der Ermittlung der Entsorgungskosten für Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung sind in Kapitel 5 zusammengefasst.

Abbildung 1 gibt eine Übersicht über die Verknüpfung der Berichte der KS21 sowie der Finanzierung des Nachbetriebs, der Stilllegung und der Entsorgung.

Die Berichte zur KS21 enthalten zahlreiche Fachbegriffe. Diese wurden in einem Glossar [5] zusammengestellt und erläutert. Das Glossar ist Bestandteil der Kostenstudie.

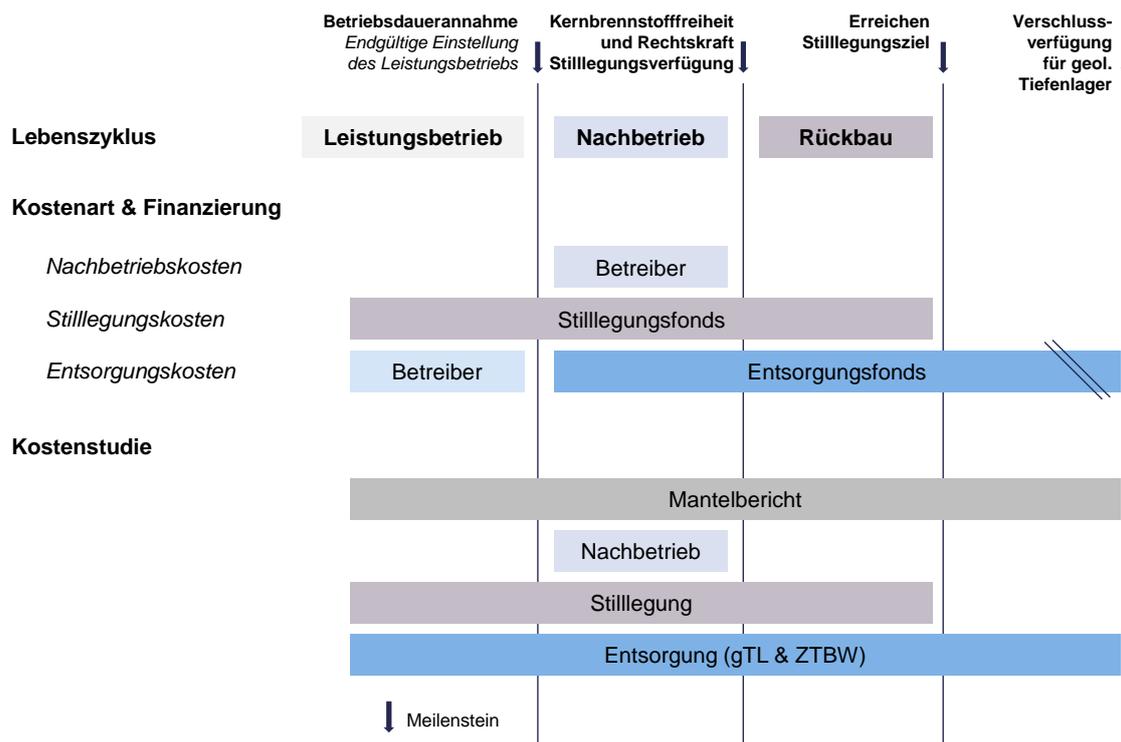


Abbildung 1: Übersicht über die Verknüpfung der Teilberichte und die Finanzierung des Nachbetriebs, der Stilllegung und der Entsorgung, inklusive entsprechender Hauptdokumente der KS21.

## 1.2 Sicherstellung der Finanzierung von Nachbetrieb, Stilllegung und Entsorgung

Das Kernenergiegesetz [8], die Kernenergieverordnung [9], die Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung [14], das Strahlenschutzgesetz [6] und die Strahlenschutzverordnung [7] formulieren zentrale Anforderungen an die Stilllegung von Kernanlagen und die Entsorgung von radioaktiven Abfällen sowie deren Finanzierung.

### 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. 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.

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

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

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

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

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

### *Staatlich kontrollierte Fonds*

Die Betreiber der Kernanlagen sind dazu verpflichtet, einen Stilllegungs- und einen Entsorgungsfonds zu bilden sowie an diese Fonds Beiträge zu leisten<sup>4</sup>.

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

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

Die beiden Fonds stellen sicher, dass genügend finanzielle Mittel vorhanden sind, um sämtliche Stilllegungskosten und alle nach endgültiger Ausserbetriebnahme<sup>5</sup> der Kernkraftwerke anfallenden Entsorgungskosten zu decken. Die Bemessung der in den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds zu leistenden Beiträge sowie der Rückstellungen der Betreiber für die Stilllegung und die Entsorgung erfolgt auf Basis einer umfassenden Ermittlung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten. Diese Kosten müssen gemäss Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung<sup>6</sup> alle fünf Jahre neu ermittelt werden. Als Berechnungsgrundlage für die Höhe der Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten wird entsprechend den Vorgaben für die Erstellung der KS21 für die Kernkraftwerke eine Betriebsdauer von 50 Jahren angenommen<sup>7</sup>. Für das Kernkraftwerk Mühleberg wird die effektiv erreichte Betriebsdauer von 47 Jahren zugrunde gelegt. Für die Bemessung der Fondsbeiträge und deren Einzahlungen gilt, unabhängig von der tatsächlichen Laufzeit, für alle Kernkraftwerke, einschliesslich des Kernkraftwerks Mühleberg, eine Laufzeit von 50 Jahren<sup>8</sup>.

Jeder Beitragspflichtige hat gegenüber den Fonds einen Anspruch im Umfang seiner geleisteten Beiträge, einschliesslich des Kapitalertrags und abzüglich der Verwaltungskosten. Zusätzlich zur Einzahlungspflicht sieht das Kernenergiegesetz eine Nachschusspflicht der Betreiber vor<sup>9</sup>. Reicht der Anspruch<sup>10</sup> eines Beitragspflichtigen an einen der Fonds zur Deckung der Kosten nicht aus, deckt der Beitragspflichtige die verbleibenden Kosten aus eigenen Mitteln<sup>11</sup>. Weist der Beitragspflichtige nach, dass seine Mittel nicht ausreichen, deckt der Stilllegungs- beziehungsweise der Entsorgungsfonds die verbleibenden Kosten mit seinen gesamten Mitteln<sup>12</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>13</sup>. Kann der Berechtigte die Rückerstattung nicht leisten, so müssen die übrigen Beitragspflichtigen und Anspruchsberechtigten des entsprechenden Fonds für den Differenzbetrag aufkommen<sup>14</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>15</sup>.

<sup>4</sup>Art. 77 KEG [11].

<sup>5</sup>Gemäss Art. 8 Abs. 2 Bst. a SEFV [8] der Kernkraftwerke anfallenden Entsorgungskosten zu decken. Die beiden Fonds stellen sicher, dass nach endgültiger Ausserbetriebnahme ist unter endgültiger Ausserbetriebnahme eines Kernkraftwerks die endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs zu verstehen. Für die KS21 wird daher die endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs als Startzeitpunkt für die Inanspruchnahme der Mittel dem Entsorgungsfonds angenommen. Der Stilllegungsfonds stellt zudem die Stilllegungskosten vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs sicher.

<sup>6</sup>Art. 4 Abs. 1 SEFV [17].

<sup>7</sup>Art. 4 Abs. 3 bzw. Art. 8 Abs. 4 SEFV [17].

<sup>8</sup>Art. 9c Abs. Abs. 1 SEFV [17].

<sup>9</sup>Art. 80 KEG [11].

<sup>10</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>11</sup>Art. 79 Abs. 1 KEG [11].

<sup>12</sup>Art. 79 Abs. 2 KEG [11].

<sup>13</sup>Art. 80 Abs. 1 KEG [11].

<sup>14</sup>Art. 80 Abs. 2 KEG [11].

<sup>15</sup>Art. 80 Abs. 4 KEG [11].

Die beiden Fonds stehen unter der Aufsicht des Bundesrats<sup>16</sup>. Eine von diesem ernannte Verwaltungskommission<sup>17</sup> ist das Leitungsorgan der Fonds<sup>18</sup>. Sie setzt zur fachlichen Unterstützung zwei Ausschüsse ein, den Anlageausschuss als Steuerungs-, Koordinations- und Überwachungsorgan für die Vermögensbewirtschaftung sowie den Kostenausschuss für die Kostenberechnung und die Auszahlungen. Die Leitungsgremien der Fonds sind mehrheitlich mit Mitgliedern besetzt, die von den Betreibern der Kernanlagen unabhängig sind<sup>19</sup>.

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

#### *Eigene Vorsorge der Betreiber*

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

Die mit dem Nachbetrieb verbundenen Aufwendungen – sie entsprechen weder der Definition von Entsorgungskosten<sup>20</sup> noch der von Stilllegungskosten<sup>21</sup> – sind als (letzter) Teil der Betriebskosten zu betrachten. Auch sie sind, entsprechend dem im Kernenergiegesetz<sup>22</sup> verankerten Verursacherprinzip, durch die Betreiber zu tragen. Der Nachbetrieb wird von den Betreibern direkt finanziert.

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

Die Betreiber bilden in ihren Bilanzen sämtliche Verpflichtungen für zukünftige Aufwendungen zur Stilllegung der Kernanlagen und zur Entsorgung der von diesen verursachten radioaktiven Abfälle ab. Sie bilden dazu auf Basis der jeweiligen Kostenstudien und gemäss den anzuwendenden Rechnungslegungsvorschriften<sup>23</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>24</sup>, sind die Betreiber verantwortlich für die Festlegung der Höhe der Rückstellungen gemäss den entsprechenden Rechnungslegungsvorschriften<sup>26</sup>.

Die externe Revisionsstelle prüft, ob die Betreiber 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>25</sup>. Die Höhe und die zweckgebundene Verwendung der Rückstellungen werden jährlich durch die jeweilige Revisionsstelle geprüft<sup>26</sup>. Die Betreiber legen der Verwaltungskommission diesen Prüfbericht vor<sup>27</sup>.

### **1.2.4 Kostenstudie der Stilllegungs- und Entsorgungspflichtigen**

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

<sup>16</sup>Art. 20 Abs. 2, 29a Abs. 1 SEFV [17].

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

<sup>18</sup>Der Bundesrat hat für den Stilllegungs- und den Entsorgungsfonds ein und dieselbe Verwaltungskommission eingesetzt.

<sup>19</sup>Art. 21 Abs. 2, Art. 21a Abs. 1 und Art. 22 Abs. 1<sup>bis</sup> SEFV [17].

<sup>20</sup>Art. 3 SEFV [17].

<sup>21</sup>Art. 2 SEFV [17].

<sup>22</sup>Art. 31 Abs. 1 KEG [11].

<sup>23</sup>Art. 82 Abs. 1 KEG; Art. 960e Obligationenrecht OR [18], IFRS [19] bzw. Swiss GAAP FER [20].

<sup>24</sup>Art. 29a Abs. 2 Bst. c SEFV [17].

<sup>25</sup>Art. 82 Abs. 2 Bst. b, c KEG [11].

<sup>26</sup>Vgl. Art. 82 Abs. 3 KEG [11].

<sup>27</sup>Art. 19 Abs. 2 SEFV [17].

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

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

### **1.3 Mit der Entsorgung beauftragte Organisationen**

#### **1.3.1 Die Betreiber der Kernanlagen**

Die Betreiber 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) und sind beteiligt an der Planung und Projektierung, am Bau und Betrieb sowie am Verschluss der geologischen Tiefenlager.

Die Entsorgungspflicht der Betreiber der Schweizer Kernanlagen endet, sobald die Abfälle in ein geologisches Tiefenlager verbracht worden und die finanziellen Mittel für die Beobachtungsphase und den allfälligen Verschluss sichergestellt sind<sup>28</sup>. Darüber hinaus ist der Betreiber eines geologischen Tiefenlagers verpflichtet, beim Verschluss alle offenen Teile des Tiefenlagers zu verfüllen und die für die Langzeitsicherheit und die Sicherung massgebenden Teile zu versiegeln<sup>29</sup>.

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

#### **1.3.2 Die Zwilag**

Die Zwilag Zwischenlager Würenlingen AG, im Folgenden Zwilag 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 Zwilag 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 (brennbare Abfälle). Die Zwilag konditioniert die Abfälle oder führt schon konditionierte Abfälle direkt der Zwischenlagerung zu. Die Abfälle können am Standort der Zwilag dank der Kombination von Abfallbehandlungsanlagen und Zwischenlager optimal zusammengeführt, verarbeitet, verpackt und überwacht werden. Die Zwilag betreibt Abfallbehandlungsanlagen (Plasma-Anlage, Konditionierungsanlage), eine Umladestation Schiene-Strasse, eine Lagerhalle für Behälter mit abgebrannten Brennelemente und hochaktive Abfälle, ein Lager für die Lagerung von Abfällen, die aufgrund ihrer Strahlung einer dickwandigen Abschirmung bedürfen, eine Lagerhalle für Abfälle, die keiner 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.

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

---

<sup>28</sup>Art. 31 Abs. 2 KEG [11].

<sup>29</sup>Art. 69 KEV [12].

### 1.3.3 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 Untersuchungen, 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 usw.) und die transparente Information der Öffentlichkeit.

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

### 1.3.4 Swissnuclear

Swissnuclear wahrt, koordiniert und vertritt die gemeinsamen Interessen der Betreiber der Kernanlagen in nuklearen Belangen (betreffend Politik, Kommunikation, Entsorgung, Forschung und Ausbildung) sowie in weiteren technischen Belangen gegenüber nationalen und internationalen Behörden, Organisationen und Verbänden sowie der Politik und der Öffentlichkeit. Zu den Aufgaben gehören auch die Ermittlung 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 Betreiber der Kernanlagen alle fünf Jahre eine Kostenstudie. Dies erfolgt in Zusammenarbeit mit den für die nukleare Entsorgung in der Schweiz verantwortlichen Organisationen und unter Berücksichtigung der von der Verwaltungskommission des Stilllegungs- und des Entsorgungsfonds festgelegten Vorgaben.

### 1.3.5 Der Bund

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

## 1.4 Entsorgungsprogramm

Die Entsorgungspflichtigen müssen gemäss Kernenergiegesetz ein Entsorgungsprogramm erstellen<sup>30</sup>. Dieses wird von der zuständigen Bundesbehörde geprüft und auf Antrag des Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation vom Bundesrat genehmigt. Das Entsorgungsprogramm enthält u. a. die folgenden Angaben:

- Menge und Art der radioaktiven Abfälle, die benötigten geologischen Tiefenlager einschliesslich ihres Auslegungskonzepts,
- Zuteilung der radioaktiven Abfälle auf die geologischen Tiefenlager,
- Realisierungsprogramm für Erstellung, Betrieb und Verschluss der geologischen Tiefenlager,
- Dauer und benötigte Kapazität der zentralen und dezentralen Zwischenlagerung,

---

<sup>30</sup>Art. 32 Abs. 1 KEG [11].

- Finanzplan für die Entsorgungsarbeiten bis zur endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs der Kernanlagen,
- zu tätigen Arbeiten, Höhe der Kosten, Art der Finanzierung und das Informationskonzept im Hinblick auf die Realisierung der benötigten geologischen Tiefenlager.

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 den Bundesbehörden überwacht.

Die KS21 und das Entsorgungsprogramm 2021 (EP21) [18] werden 2021 inhaltlich aufeinander abgestimmt und im gleichen Zeitraum beim Bund eingereicht. Dadurch ist eine widerspruchsfreie Darstellung gewährleistet. Das EP21 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, konkreten Basisvorhaben<sup>31</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 EP21 vereinbar sind, aber keine vorzeitigen Festlegungen zu späteren Entscheidungen auf dem Weg zur geologischen Tiefenlagerung bedeuten.

Das im Entsorgungsprogramm abgehandelte Entsorgungskonzept [18] 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 wurden in die Schweiz zurückgeführt und in den Anlagen der Zwiilag zwischengelagert. Aufgrund eines Moratoriums zur Wiederaufarbeitung werden seit 2006 die abgebrannten Brennelemente ohne Vorbehandlung in Transport- und Lagerbehälter geladen und in den Anlagen des zentralen Zwischenlagers (Zwiilag) beziehungsweise im Zwischenlager Beznau<sup>32</sup> zwischengelagert. Das Kernenergiegesetz<sup>33</sup> untersagt seit 2018 die Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente.

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

Die aus dem Bereich Medizin, Industrie und Forschung anfallenden Abfälle werden ans PSI abgeliefert, dort konditioniert<sup>34</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 KS21.

<sup>31</sup>Das Basisvorhaben beinhaltet die Entsorgung der Abfälle der Kernanlagen nach einer Betriebsdauer der Kernkraftwerke von 50 Jahren. 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 KS16. Abweichungen von diesen Annahmen werden über Chancen und Gefahren abgebildet.

<sup>32</sup>Im Zwischenlager des Kernkraftwerks Beznau (Zwiibez) werden abgebrannte Brennelemente und schwachaktive Abfälle aufbewahrt, bevor sie in ein geologisches Tiefenlager abtransportiert werden. Ein Teil der radioaktiven Betriebsabfälle des Kernkraftwerks Beznau wird im zentralen Zwischenlager (Zwiilag) konditioniert und zwischengelagert.

<sup>33</sup>Art. 9 KEG [11].

<sup>34</sup>Gewisse Abfälle werden im Auftrag des Bundes in den Anlagen der Zwiilag konditioniert.

Die Kernkraftwerke, Forschungsanlagen und Infrastrukturanlagen werden nach endgültiger Ausserbetriebnahme 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: zehn 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 rechtlichen und behördlichen Vorgaben und setzen insbesondere das gesetzlich verankerte Konzept der geologischen Tiefenlager um (Hauptlager, Pilotlager, Testlager; mit einer Beobachtungsphase im Anschluss an den Einlagerungsbetrieb).

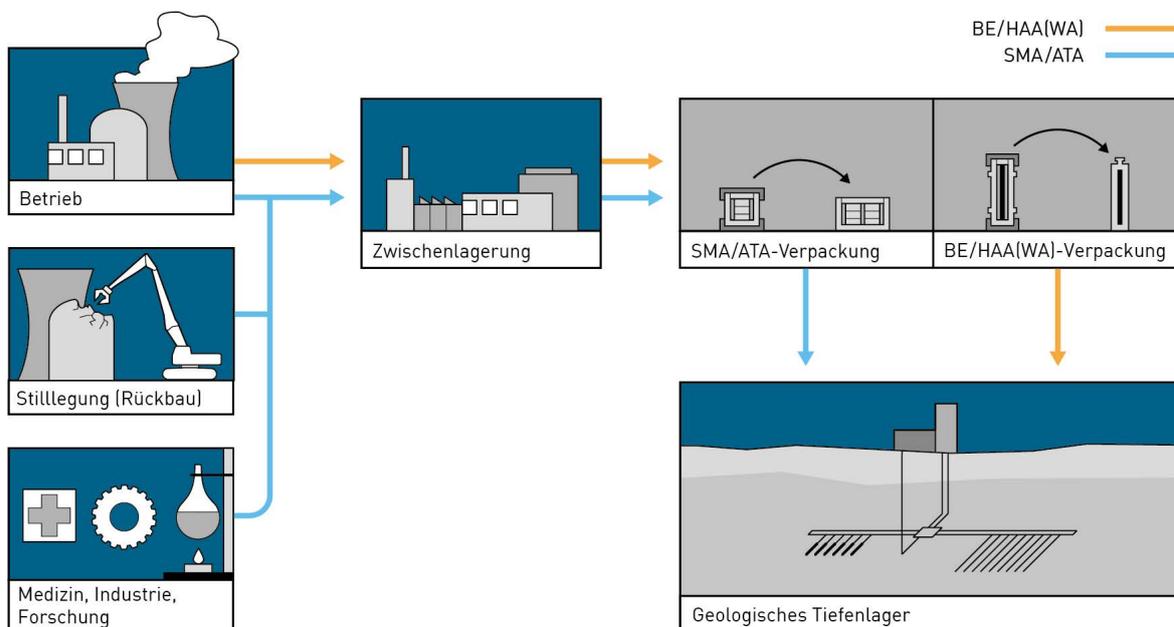


Abbildung 2: Das Entsorgungskonzept für die in der Schweiz anfallenden radioaktiven Abfälle am Beispiel eines Kombilagere.

BE (abgebrannte Brennelemente) und HAA(WA) (hochaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung) werden dem HAA-Lagerteil zugeordnet. SMA (schwach- und mittelaktive Abfälle) und ATA (alphanuklidische Abfälle) werden dem SMA-Lagerteil zugeordnet.

### 1.5 Radioaktive Abfälle nach Abfallarten

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 Zwilag 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) [19] geführt. Das modellhafte Nuklid- und Materialinventar (ISRAM/MIRAM) wird in Abschnitt 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.

<p><b>Medizin, Industrie und Forschung (MIF)</b></p>	<p>In diese Kategorie fallen u. a. folgende Abfälle:</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>a)</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>b)</sup>, SAPHIR<sup>c)</sup> und PROTEUS<sup>d)</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. 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 Reaktordruckbehälter, 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 Reaktordruckbehälters, die nicht bereits während des Betriebs oder dem Nachbetrieb als RA entsorgt wurden,</li> <li>- der Reaktordruckbehälter,</li> <li>- aktivierte Bereiche des biologischen Schildes,</li> <li>- aktivierte Komponenten des Containments,</li> <li>- aktivierte und kontaminierte Installationen (Rohrsysteme, Pumpen, Ventile, Isolierungen, Maschinen usw.),</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>e)</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</b></p>	<p>Kontaminiertes Material → ähneln kontaminierten BA und SA der Zwiilag</p>

<sup>a)</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>b)</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 Schwerwasserreaktor, der eine thermische Leistung von 20 MW hatte.

<sup>c)</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>d)</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>e)</sup> Streng gesehen sind Brennelemente noch keine Abfälle. Sie werden erst zu Abfällen, wenn ihre definitive Nichtwiederverwendung feststeht.

Laut Kernenergieverordnung<sup>35</sup> werden die radioaktiven Abfälle<sup>36</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>37</sup> sowie die abgebrannten Brennelemente. Der Kategorie alphatoxische Abfälle können, je nach Gehalt an Alphastrahlern, grundsätzlich Abfälle aus allen Abfallsorten zuzuordnen sein. Alphatoxische Abfälle finden sich unter den Abfällen aus Medizin, Industrie und Forschung sowie bei der Wiederaufarbeitung der Brennelemente und zu einem kleinen Teil unter den Stilllegungsabfällen. Alle radioaktiven Abfälle, die weder hochaktiv noch alphatoxisch sind, zählen zu den schwach- und mittelaktiven Abfällen. Dies ist der Hauptteil des radioaktiven Abfallvolumens in der Schweiz.

Das Kernenergiegesetz verankert die Entsorgungspflicht nicht nur über das Verursacherprinzip, sondern gibt auch konkret vor, dass radioaktive Abfälle in einem sogenannten geologischen Tiefenlager entsorgt werden müssen<sup>38</sup>.

Der Gesetzgeber und das EP21 legen im Sinne der ergebnisoffenen Planung noch nicht fest, ob sämtliche Abfälle in zwei Einzellagern (HAA- und SMA-Lager) an getrennten Standorten eingelagert werden sollen oder am selben Standort ein geologisches Tiefenlager mit getrennten Lagern für HAA und SMA (Kombilager) gebaut werden soll und wo die Lager erstellt werden. Für das Basisvorhaben der KS21 wird angenommen, dass die ATA- und alle SMA-Abfälle zusammen im SMA-Lager eingelagert werden.

Wie Tabelle 3 zeigt, fallen während einer 50-jährigen Betriebsdauer der fünf Schweizer Kernkraftwerke (KKM 47 Jahre) 3'546 Tonnen Brennelemente an (vgl. Fussnoten 1 und 2 der Tabelle). Davon wurden aufgrund bestehender Verträge 1'139 Tonnen Brennelemente wiederaufgearbeitet. Dies resultiert in einem Volumen von 7'168 m<sup>3</sup> in Endlagerbehälter verpackte hochaktive Abfälle (HAA). Weiter fallen 923 m<sup>3</sup> in Endlagerbehälter verpackte alphatoxische Abfälle (ATA) sowie 68'135 m<sup>3</sup> in Endlagerbehälter verpackte schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA) an.

Für die Kernkraftwerke und die OFA fallen dabei insgesamt 60'287 m<sup>3</sup> in Endlagerbehälter verpackten Abfälle an. Für die Abfälle aus dem Bereich Medizin, Industrie und Forschung (MIF) wird für eine Sammelperiode bis 2063 von einem Volumen für die in Endlagerbehälter verpackten Abfälle von 15'939 m<sup>3</sup> ausgegangen.

<sup>35</sup>Art. 51 KEV [12].

<sup>36</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.

<sup>37</sup>Die in die Schweiz zurückgelieferten und noch zurückzuliefernden hochaktiven Wiederaufarbeitungsabfälle bestehen nach der Substitution der bituminierten Abfälle ausschliesslich aus verglasten Spaltproduktlösungen.

<sup>38</sup>Art. 31 Abs. 1 und 2 KEG [11].

Tabelle 3: Abfallmengen für 50 Jahre Betrieb (für KKB, KKG, KKL) sowie 47 Jahre (für KKM).

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

Angaben in m<sup>3</sup>. Abweichungen sind rundungsbedingt.

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

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

<sup>a)</sup> Entspricht 2'407 Tonnen Uran.

<sup>b)</sup> Diese Abfälle resultieren aus der Wiederaufarbeitung von 1'139 Tonnen Uran.

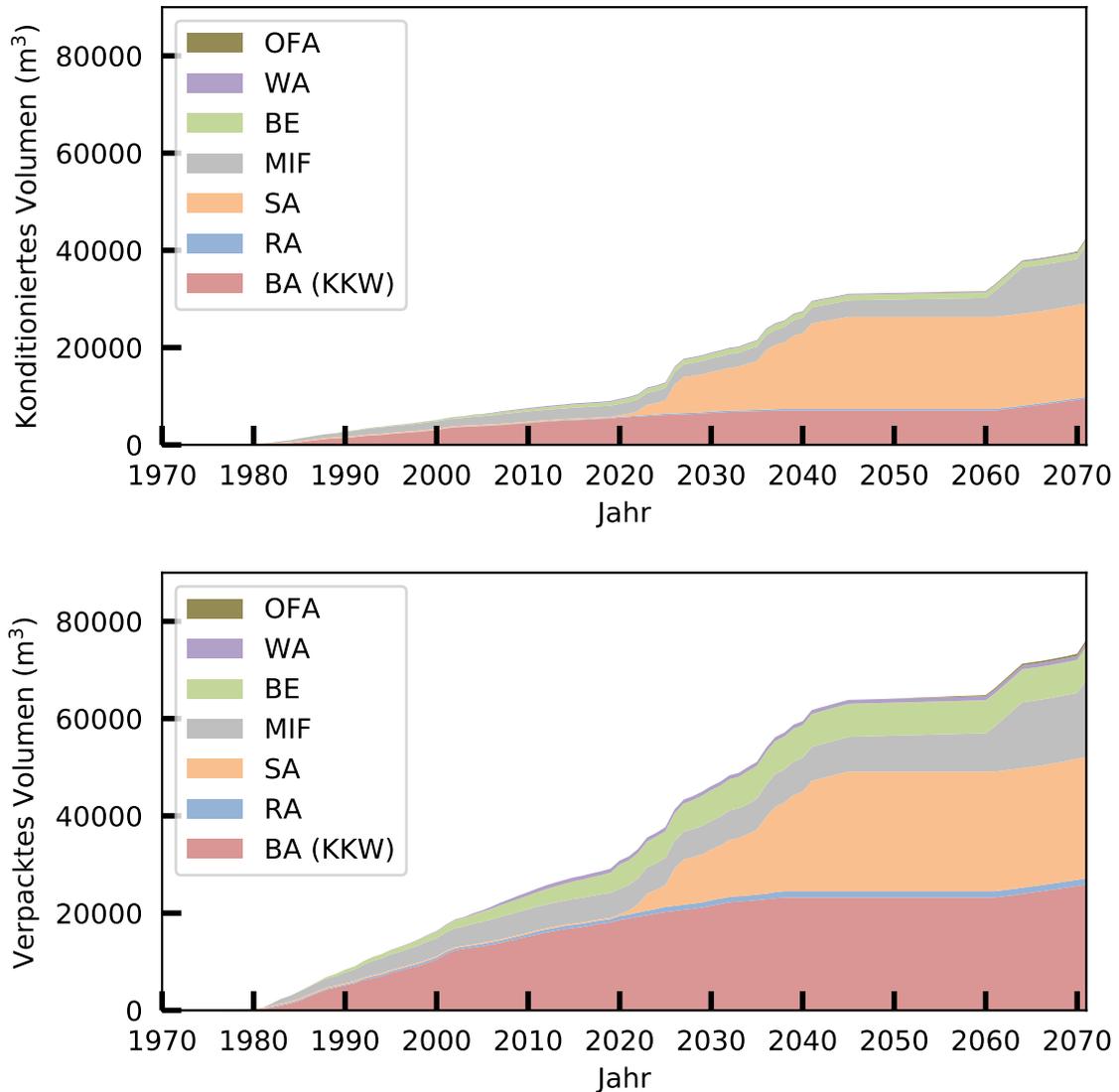
<sup>c)</sup> Bei einer vollständigen Beladung der Endlagerbehälter (ohne Berücksichtigung von Leerstellen) würde ein Volumen von 6'128 m<sup>3</sup> resultieren.

<sup>d)</sup> Hier sind 2'467 m<sup>3</sup> konditionierter Abfall aus der TLB-Entsorgung enthalten, was einem verpackten Volumen von 2'648 m<sup>3</sup> entspricht.

<sup>e)</sup> Brennelemente des DIORIT-Forschungsreaktors und Pressbüchsen aus dem PSI Hotlabor.

<sup>f)</sup> Hier sind auch 2'399 m<sup>3</sup> Abfälle aus dem CERN enthalten.

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, OFA = Betriebs- und Stilllegungsabfälle der Oberflächenanlage).

Die Angaben betreffen die verschiedenen Abfallsorten der Schweizer Kernkraftwerke bei einer angenommenen Betriebsdauer von 50 Jahren (KKM 47 Jahre) 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 2071 als ungefähre Mittelwert von KKB I und KKB II) ab. Der Zuwachs der Abfallmenge nach 2063 resultiert aus Betrieb und Rückbau der Oberflächenanlagen für BE/HAA (OFA) sowie der Anlagen der Zwiilag. Die BA (KKW) enthalten zusätzlich die Abfälle aus der Entsorgung der TLB. Im oberen Bild ist das Volumen der im Tiefenlager angelieferten beziehungsweise dort konditionierten Abfälle und im unteren Bild das in die Lagerkammern der Tiefenlager einzubringende verpackte Volumen dargestellt.

Abbildung 3: Zeitlicher Anfall der radioaktiven Abfälle.

## 1.6 Betriebsdauer der Kernkraftwerke

Als Berechnungsgrundlage für die Kostenermittlung wird für die Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt eine Betriebsdauer von 50 Jahren angenommen. Für das Kernkraftwerk Mühleberg wird entsprechend der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs im Dezember 2019 eine Betriebsdauer von 47 Jahren angesetzt. Kann ein Kernkraftwerk länger als 50 Jahre betrieben werden, kann die Verwaltungskommission die Berechnungsgrundlage anpassen<sup>39</sup>. Entsprechend den Vorgaben der Verwaltungskommission werden in der KS21 für die Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt sowohl die Stilllegungs-, Nachbetriebs- und Entsorgungskosten für eine Betriebsdauer von 50 Jahren als auch 60 Jahren ausgewiesen. Die Kosten für die 60-jährige Betriebsdauer der Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt werden im Anhang A.7 dargestellt.

Für die Bemessung der Fondsbeiträge und für die Einzahlungen gilt eine Laufzeitannahme von 50 Jahren<sup>40</sup>.

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

Tabelle 4: Betriebs- und Stilllegungszeiten der Schweizer Kernkraftwerke sowie der Einrichtungen zur Zwischenlagerung der radioaktiven Abfälle.

Anlage	IBN von	EELB / EEB <sup>a)</sup> bis inkl.	Nachbetrieb		Stilllegung bzw. Rückbau		
			von	bis inkl.	ab	Abschluss Stilllegung <sup>c)</sup>	Jahre ab EELB bis Abschluss Stilllegung
KKB <sup>b)</sup>	1970	2020	2021	2024	Die Erarbeitung des Stilllegungsprojekts und Planungen können vor Abschluss des Nachbetriebs oder bereits während des Leistungsbetriebs beginnen.	2034	14
KKM	1972	2019	2020	2024		2034	15
KKG	1979	2029	2030	2032		2043	14
KKL	1984	2034	2035	2038		2049	15
KKG Nasslager	2008	2035	kein Nachbetrieb			2037	2
Zwibez	2008	2071	kein Nachbetrieb			2072	1
Zwilag	2000	2071	kein Nachbetrieb			2078	7

IBN: Inbetriebnahme; EELB: Endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs; EEB: Endgültige Einstellung des Betriebs. Werte jeweils auf ein volles Jahr aufgerundet.

<sup>a)</sup> Bei einem Kernkraftwerk: EELB; bei einer anderen Kernanlage: EEB.

<sup>b)</sup> Der Einfachheit halber wird für beide Blöcke des KKB das Jahr 1970 als «mittleres» Inbetriebsetzungs- und das Jahr 2020 als «mittleres» Ausserbetriebnahmejahr verwendet. Für die Kostenberechnung wird als Modellannahme von einer Betriebsdauer von 50 Jahre ausgegangen.

<sup>c)</sup> Dargestellt ist das Stilllegungsziel 3 «vollständiger Rückbau inkl. Entfernung sämtlicher Fundamente».

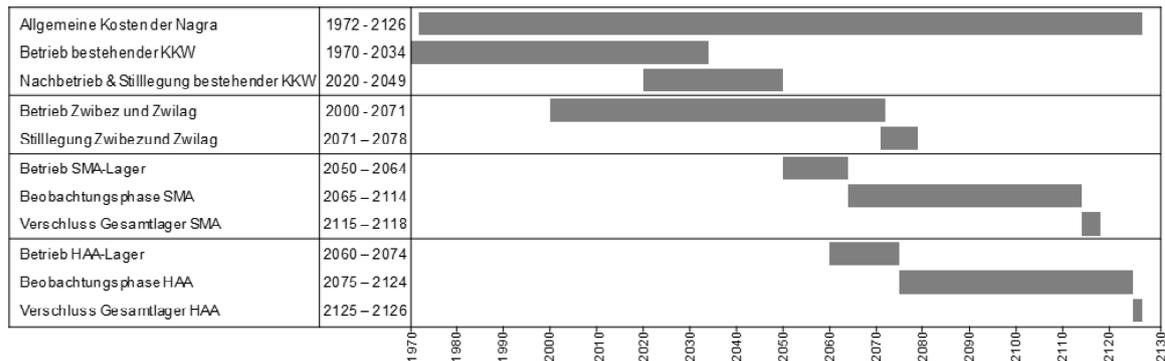
<sup>39</sup>Art. 4 Abs. 3 [17].

<sup>40</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>41</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 in den Abschnitten 1.6 und 4.8 entnehmen. Die zeitliche Gliederung des Etappenplans der geologischen Tiefenlager ist aus dem Bericht «Kostenstudie 2021 Ermittlung der Entsorgungskosten – Geologische Tiefenlagerung» [2] ersichtlich.



Bei den Betriebszeiten für das geologische Tiefenlager SMA und HAA wird jeweils eine Betriebsbereitschaft von 15 Jahren angegeben. Die effektive Betriebsdauer der kann davon abweichen.

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

<sup>41</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 wurden im Sachplan Geologische Tiefenlager festgelegt. Aufgrund von längeren Abläufen, von beabsichtigten oder nicht beabsichtigten Wartezeiten, von gerichtlichen Auseinandersetzungen, von Änderungen im Prozessablauf bis hin zu Planänderungen und Rücksprüngen usw. können die Zeitspannen von der aktuellen Planung abweichen.

## 2 Vorgaben und Annahmen

### 2.1 Rechtliche und behördliche Vorgaben

Als Grundlage für die vorliegende Ermittlung der Entsorgungskosten für die Schweizer Kernanlagen dienen die aufgeführten und per 1. Januar 2020 rechtsgültigen Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Vorschriften, Normen und Regeln sowie die verwendeten, im Glossar [5] definierten Begriffe.

#### 2.1.1 Grundlegende Gesetze und Verordnungen

- Strahlenschutzgesetz (StSG) [6].
- Strahlenschutzverordnung (StSV) [7].
- Kernenergiegesetz (KEG) [8].
- Kernenergieverordnung (KEV) [9].
- Safeguardsverordnung [10] mit zugehörigen Verordnungen des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation über die Gefährdungsannahmen und Sicherungsmassnahmen für Kernanlagen und Kernmaterialien [11] und über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen [12].
- Kernenergiehaftpflichtverordnung [13].
- Stilllegungsfonds- und Entsorgungsfondsverordnung (SEFV) [14].
- Obligationsrecht [15] sowie Rechnungslegungsnormen IFRS [16] und Swiss GAAP FER [17].
- Bundesgesetz über die Arbeit in Industrie, Gewerbe und Handel (Arbeitsgesetz, ArG) [20] mit zugehörigen Verordnungen (ArGV 1 [21], ArGV 2 [22], ArGV 3 [23] und ArGV 4[24]).
- Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten (Verordnung über die Unfallverhütung [VUV]) [25].
- Bundesgesetz über die Unfallversicherung [26] und Verordnung über die Unfallversicherung [27].
- Verordnung über sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen in Kernanlagen [28].
- Verordnung über die Sicherheit von Maschinen [29].
- Verordnung über die Personendosimetrie [30].
- Verordnung über die Anforderung an das Personal von Kernanlagen (VAPK) [31].
- Gebührenverordnung des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats [32] und Verordnung über die Gebühren im Strahlenschutz [33].
- 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:

- ENSI-A01 – Anforderungen an die deterministische Störfallanalyse für Kernanlagen: Umfang, Methodik und Randbedingungen der technischen Störfallanalyse [34].
- ENSI-A04 – Gesuchsunterlagen für freigabepflichtige Änderungen an Kernanlagen [35].
- ENSI-A05 – Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Qualität und Umfang [36].

- ENSI-A06 – Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Anwendung [37].
- ENSI-A08 – Quelltermanalyse: Umfang, Methodik und Randbedingungen [38].
- ENSI-B01 – Altersüberwachung [39].
- ENSI-B02 – Periodische Berichterstattung der Kernanlagen [40].
- ENSI-B03 – Meldungen der Kernanlagen [41].
- ENSI-B04 – Freimessen von Materialien und Bereichen aus kontrollierten Zonen [42].
- ENSI-B05 – Anforderungen an die Konditionierung radioaktiver Abfälle [43].
- ENSI-B06 – Sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen: Instandhaltung [44].
- ENSI-B09 – Ermittlung und Aufzeichnung der Dosis strahlenexponierter Personen [45].
- ENSI-B10 – Ausbildung, Wiederholungsschulungen und Weiterbildung von Personal [46].
- ENSI-B11 – Notfallübungen [47].
- ENSI-B12 – Notfallschutz in Kernanlagen [48].
- ENSI-B13 – Ausbildung und Fortbildung des Strahlenschutzpersonals [49].
- ENSI-B17 – Betrieb von Zwischenlagern für radioaktive Abfälle [52].
- ENSI-G01 – Sicherheitstechnische Klassierung für bestehende Kernkraftwerke [50].
- ENSI-G03 – Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis [51].
- ENSI-G05 – Transport- und Lagerbehälter für die Zwischenlagerung [53].
- ENSI-G07 – Organisation von Kernanlagen [54].
- ENSI-G08 – Systematische Sicherheitsbewertungen des Betriebs von Kernanlagen [55].
- ENSI-G09 – Betriebsdokumentation [56].
- ENSI-G11 – Sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen: Planung, Herstellung und Montage [57].
- ENSI-G13 – Messmittel für ionisierende Strahlung [58].
- ENSI-G14 – Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung aufgrund von Emissionen radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen [59].
- ENSI-G15 – Strahlenschutzziele für Kernanlagen [60].
- ENSI-G17 – Stilllegung von Kernanlagen [61].
- HSK-R07 – Richtlinie für den überwachten Bereich der Kernanlagen und des Paul Scherrer Instituts [62].
- HSK-R50 – Sicherheitstechnische Anforderung an den Brandschutz in Kernanlagen [63].
- HSK-R102 – Auslegungskriterien für den Schutz von sicherheitsrelevanten Ausrüstungen in Kernkraftwerken gegen die Folgen von Flugzeugabsturz [64].

#### Internationale Empfehlungen:

- The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103 [65].
- Leadership and Management for Safety, General Safety Requirements, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 2 [66].
- Application of the Management System for Facilities and Activities – Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-3.1 [67].
- Decommissioning of Facilities, Safety Requirements, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 6 [68].

- Decommissioning of Nuclear Power Plants, Research Reactors and other Nuclear Fuel Cycle Facilities, Specific Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. SSG-47 [69].
- Release of Sites from Regulatory Control on Termination of Practices Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. WS-G-5.1 [70].
- Decommissioning Strategies for Facilities Using Radioactive Material, IAEA Safety Reports Series No. 50 [71].
- State of the Art Technology for Decontamination and Dismantling of Nuclear Facilities, IAEA Technical Report Series No. 395 [72].
- Financial Aspects of Decommissioning, IAEA Safety Related Publications TECDOC-1476 [73].
- Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants – an Internal Overview of Cost Elements, Estimation Practices and Reporting Requirements OECD NEA No. 6831 [74].
- International Structure for Decommissioning Costing (ISDC) of Nuclear Installations, OECD NEA No. 7088 [75].
- Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants, OECD NEA No. 7201 [76].
- Baseline Management System Programme Controls Procedures, United Kingdom Nuclear Decommissioning Authority NDA Doc No PCP-M [77].
- Cost Estimating Guide, U. S. Department of Energy DOE G 413.3-21A [78].

### 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) [79].
- Übereinkommen über den internationalen Eisenbahnverkehr (COTIF 1980) [80].
- Ordnung für die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter (RID) [81].

Für den Strassentransport

- Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (SDR) [82].
- Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (ADR) [83].

Vorschriften und Empfehlungen der IAEA

- Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, Specific Safety Requirements, IAEA Safety Standards Series No. SSR-6 (Rev. 1) [84].
- Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material (2012 Edition), Specific Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. SSG-26 [85].

### 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 2021 enthalten zahlreiche Fachbegriffe. Diese wurden in einem Glossar [8] zusammengestellt und erläutert. Das Glossar ist Bestandteil der Kostenstudie.

## 2.2 Annahmen und Randbedingungen

Neben der Kenntnis der erforderlichen Abfallmengen und -spezifikationen sind für die Ermittlung der Entsorgungskosten eine Reihe von Randbedingungen, Annahmen und Eingangsdaten festzulegen, die eine Kostenermittlung für ein Projekt überhaupt erst ermöglichen. Die Festlegungen dienen ebenfalls als Basis für den Teilbericht Geologische Tiefenlagerung der KS21.

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

- Kostenbeeinflussende Auswirkungen durch Verzögerungen beziehungsweise Verkürzungen sind in der Kostengliederung unter Gefahren und Chancen berücksichtigt.
- 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.
- Die Plasma-Anlage<sup>42</sup> der Zwiilag wird bis 2046 betrieben und anschliessend ausser Betrieb genommen. Die Halle für schwach- und mittelaktive Abfälle wird bis 2063, die Hallen für mittelaktive Abfälle, hochaktive 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.
- Für die Bemessung der Fondsbeiträge ist der Zeitpunkt der Inbetriebnahme der geologischen Tiefenlager zentral. Im Basisvorhaben 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.
- Die Kosten der Entsorgung von radioaktiven Abfällen, die während des Betriebs anfallen, werden direkt durch die Betreiber bezahlt.

<sup>42</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.

- 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.
- 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).
- Die Behälterkosten für die Verpackung der Brennelemente und der radioaktiven Abfälle für die geologische Tiefenlagerung werden durch die Nagra ermittelt.
- 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 zwischengelagert.
- Das Radioaktivitätsinventar setzt sich aus zwei Teilen zusammen (für Zwiilag: nur kontaminiertes Material):
  - aktiviertes Material (im Bereich des Neutronenfeldes);
  - kontaminiertes Material.
- Das Radioaktivitätsinventar der einzulagernden radioaktiven Abfälle wurde für die vorliegende Kostenstudie von der Nagra bestimmt.
- Im Basisvorhaben werden die radioaktiven Abfälle sowie die abgebrannten Brennelemente für eine Betriebsdauer der Kernkraftwerke von 50 Jahren (für Kernkraftwerk Mühleberg 47 Jahre) ermittelt.
- Im Basisvorhaben wird von getrennten Standorten für SMA- und HAA-Lager ausgegangen, die den Modellstandorten<sup>43</sup> der KS16 entsprechen.
- Die ATA-Abfälle werden im SMA-Lager eingelagert.
- Parallel zum Betrieb der geologischen Tiefenlager wird auch die Zwiilag ihre Anlagen noch betreiben. Dies ermöglicht die Nutzung von Synergien.
- Die technischen Ausführungen der Tiefenlagercontainer für die Verpackung schwach- und mittelaktiver Abfälle wurden für die KS21 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 Materialien (zum Beispiel zementbasierte Füllmaterialien) verfüllt. Darüber hinaus wird angestrebt, den Richtwert von 5 W/m<sup>3</sup> für die spezifische Wärmeleistung pro Gebindevolumen nicht zu überschreiten. Zur Verpackung höher aktivierter Teile werden spezielle, dickwandige Behälter<sup>44</sup> verwendet.
- 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.
- Basierend auf dem heutigen Stand der Wissenschaft und Technik wird die maximale Wärmeleistung von 1'500 Watt pro Tiefenlagerbehälter für hochaktive Abfälle<sup>45</sup> begrenzt. Ausgehend von dieser Vorgabe wird die Anzahl der benötigten Behälter berechnet.
- Die bei der Entsorgung eingesetzten Verfahren und Geräte entsprechen dem heutigen Stand der Technik.
- Die Versicherungsprämien (nukleare Versicherungen und Sachversicherungen) werden entsprechend der geltenden Gesetzgebung (zum Beispiel Kernenergiehaftpflichtgesetz [86]) berücksichtigt. Für die Haftpflichtversicherung betreffend nukleare Transporte wurde vorsorglich eine Inkraftsetzung der Bestimmungen des revidierten Pariser Übereinkommens angenommen.
- Es werden die von der Kommission der Stilllegungs- und Entsorgungsfonds festgelegten Wechselkurse für die Kostenermittlung verwendet: USD/CHF = 1.00; EUR/CHF = 1.20; GBP/CHF = 1.40; SEK/CHF = 0.12.

<sup>43</sup>Es sind dies die Standortgebiete Jura Ost für das SMA-Lager und das Standortgebiet Zürich Nordost für das HAA-Lager.

<sup>44</sup>Für die KS21 wird von MOSAIK<sup>®</sup>-Behältern ausgegangen.

<sup>45</sup>Wird auch als Endlagerbehälter (ELB) bezeichnet.

- Die Kostenermittlung 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 Abschnitt 3.2 des Berichtes erläutert.
- Die Entsorgungskosten werden alle fünf Jahre neu berechnet. Die Kostenermittlung erfolgt auf Basis einer bestmöglichen Berücksichtigung aktueller technisch-wissenschaftlicher Erkenntnisse und gestützt auf die zum Zeitpunkt der Berechnung gültigen Preise. Die Preisbasis für die vorliegende Kostenermittlung ist der 1. Januar 2021. Sämtliche Kosten werden ohne Mehrwertsteuer ausgewiesen.

## 3 Methodik der Kostenermittlung

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

### 3.1 Kostenstruktur

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

Die Kostenstrukturen grenzen die Massnahmen der Stilllegung und Entsorgung und damit die der Sicherstellung durch die Fonds zuordenbaren Tätigkeiten und Massnahmen von allen anderen ab. 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 KS21 werden, wie bereits in der KS16, 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 Kostenermittlung 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 Ermittlung weiterer Bestandteile der Entsorgungskosten massgebend ist.
- Die Zwiilag erstellt die Kostenermittlung für die Investitions- und Betriebskosten des zentralen Zwischenlagers. Die Ermittlung der variablen Betriebskosten des zentralen Zwischenlagers (so genannte Kampagnenkosten) basiert auf dem Transport- und Abfallmengengerüst. Die Kostenstrukturen der Zwiilag wurden gegenüber der KS16 angepasst, um die Darstellung an jene der Betriebskosten der Kernkraftwerke anzugleichen. Ein Vergleich der Kosten der KS21 mit der KS16 kann daher nur auf der obersten Ebene stattfinden.
- 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 in der KS21 berücksichtigten Kosten für die Wiederaufarbeitung resultieren aus der Abwicklung der bestehenden Verträge, wobei die letzte Zahlung im Jahr 2018 stattfand.

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

- Für das zentrale Zwischenlager wurden mehr als 80 Prozent der erwarteten Gesamtinvestitionen bereits getätigt. Das restliche angenommene Investitionsvolumen betrifft Ersatz- und Ergänzungsinvestitionen. 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. Zwiilag 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 Abfallmengengerüst 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 Kostenermittlung unvermeidlichen Risiken und Ungewissheiten berücksichtigen. Die Kostengliederung ist vom Begriff der Kostenstruktur abzugrenzen. Während die Kostenstrukturen aus dem modellhaften Projektstrukturplan abgeleitet werden, der den berechneten Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten zugrunde liegt, bezieht sich die Kostengliederung auf die Zusammensetzung der Gesamtkosten und beinhaltet neben den berechneten Ausgangskosten auch die Kosten für risikomindernde Massnahmen, die Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten, die Kostenzuschläge zur Berücksichtigung von Gefahren, die Kostenabzüge für Chancen sowie einen generellen Sicherheitszuschlag.

### 3.2.1 Vorgaben zur Kostengliederung

Neben den zu erwartenden Projektkosten sind auch die beinhalteten Zuschläge für projekthäufige Unsicherheiten transparent darzulegen und zu quantifizieren. Die Verwaltungskommission hat für die KS16 die in Abbildung 5 dargestellte Kostengliederung weiterentwickelt. Diese ist auch Bestandteil der Vorgaben für die KS21. 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>46</sup>:

#### *Ausgangskosten (1)*

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

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

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

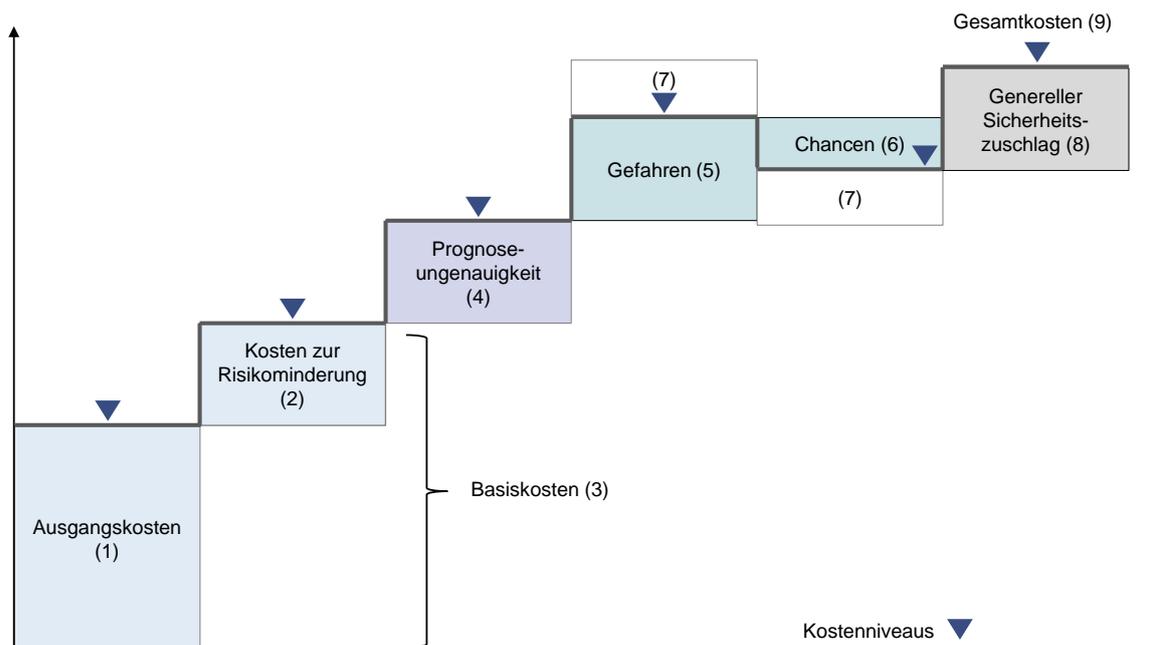
#### *Kosten zur Risikominderung (2)*

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 und sind mit der Erarbeitung des Chancen- und Gefahrenkatalogs abzustimmen.

#### *Basiskosten (3)*

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

<sup>46</sup>Die Definitionen sind im Wortlaut der Verwaltungskommission unter Verwendung deren Nomenklatur gegeben.



(7) Auflistung von nicht berücksichtigten Gefahren / Chancen

Abbildung 5: Kostengliederung für die KS21.

#### 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. Da bei der KS21 nicht mit Vertrauensintervallen gearbeitet wird, müssen diese Ungenauigkeiten mit Zuschlägen berücksichtigt werden. Diese Zuschläge werden «Bottom-up» für jedes Element des Projektstrukturplans in Prozent der Ausgangskosten bzw. der Kosten für die risikomindernden Massnahmen ermittelt. Diese Zuschläge sind spezifisch für jede Kostenposition zu beziffern in Abhängigkeit von der jeweils vorhandenen Schätzgenauigkeit; sie sind in der Regel jedoch kleiner als die theoretische Genauigkeitsspanne. Diese Einzelwerte werden einzeln ausgewiesen und begründet und auf das Niveau der Gesamtkosten aggregiert.

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

#### Kostenzuschläge für Gefahren (5)

Kostenzuschläge infolge der Berücksichtigung von absehbaren Gefahrenpotenzialen, zum Beispiel:

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

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

### *Kostenabzüge für Chancen (6)*

Kostenreduktionen infolge der Berücksichtigung von absehbaren Chancenpotenzialen zum Beispiel:

- Neue Technologien;
- Alternative Konzepte;
- Beschleunigte Bewilligungsverfahren.

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

### *Auflistung von nicht berücksichtigten Chancen / Gefahren (7)*

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

### *Genereller Sicherheitszuschlag (8)*

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

### *Gesamtkosten (9)*

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

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

## **3.2.2 Umsetzung der Kostengliederung**

Die Kostengliederung wird auf sämtliche Bereiche der Kostenstudie angewendet. Die Herangehensweisen für die drei Teilbereiche Nachbetrieb, Stilllegung und Entsorgung sind vergleichbar und erfüllen die 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>47</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.

Durch die Anwendung der Kostengliederung werden Faktoren, die im Zeitablauf zu Abweichungen von Plankosten führen können, entsprechend dem Planungsstand der jeweiligen Teilbereiche der Kostenermittlung systematisch erfasst. 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 ist dies auch die regelmässige Überprüfung der Kostenermittlungen und der Vergleich ihrer Ergebnisse mit laufenden oder abgeschlossenen, vergleichbaren Projekten. In der Schweiz geschieht dies über die fünfjährigen Aktualisierungen der Kostenstudien. In diesem Rahmen wird die Kostenermittlung zur Plausibilisierung auch mit Referenzprojekten oder ähnlichen Tätigkeiten verglichen.

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

<sup>47</sup>Z. B. OECD NEA: Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants [87].

### *Ausgangskosten*

Die Ausgangskosten stellen den Erwartungswert einer Kostenermittlung 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 Projektentwicklung 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. Sofern sich in den Grundlagen für die 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 Kostenermittlung der Entsorgung der Kernanlagen werden sämtliche Positionen<sup>48</sup> der vorgegebenen Kostenstrukturen kalkuliert. Dabei handelt es sich vorwiegend um betriebsbezogene Kostenelemente, welche die Entsorgung kostenmässig erfassen.

Dabei stützt sich die Ermittlung der Ausgangskosten auf heute bereits bekannte und erprobte Methoden, Technologien und Verfahren sowie auf die per 1. Januar 2020 gültigen rechtlichen und behördlichen Vorschriften. Allfällige Kostenfolgen absehbarer Veränderungen dieser Vorschriften werden in den Kostenelementen Gefahren und Chancen berücksichtigt. Der Ermittlung der Ausgangskosten ist das Preisniveau per 1. Januar 2021 zugrunde gelegt.

### *Kosten zur Risikominderung*

Durch risikomindernde Massnahmen sollen negative Kostenfolgen von Gefahren vermieden oder reduziert und Chancen erkannt und genutzt werden. 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. Dazu zählen z. B. in den Managementsystemen der betreffenden Unternehmen verankerte Grundsätze des Projekt- und Risikomanagements. Die Kosten zur Risikominderung werden als integraler Bestandteil der Kostenstruktur geplant und in den Kostenermittlungen berücksichtigt. Aus diesem Grund bilden die risikomindernden Massnahmen Bestandteil der Kalkulation der Ausgangskosten und werden anders als z. B. bei den projektbezogenen Stilllegungskosten nicht gesondert ausgewiesen.

### *Basiskosten*

Die Basiskosten ergeben sich als Summe aus Ausgangskosten und den Kosten zur Risikominderung.

### *Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten*

Jedes einzelne Element im Projektstruktur-Plan wird bezüglich Dauer und Kosten<sup>49</sup> ermittelt. Dies führt zu einem Erwartungswert, der mit empirischen Vergleichswerten aus laufenden und abgeschlossenen Transporten, Beschaffung von Transport- und Lagerbehältern und Zwischenlagerung 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 Kostenermittlungen zugrundeliegenden Planungsstadium sind die für die einzelnen Projektstrukturplan-Elemente (PSP-Elemente) vorgesehenen Tätigkeiten mit unterschiedlichen Graden der Planungsunsicherheit belegt. Für die Bestimmung des Zuschlags für Prognoseungenauigkeiten müssen die relevanten Unsicherheiten für jedes einzelne PSP-Element abgeschätzt werden. 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>50</sup>.

Die Toleranzgrenzen werden in Abhängigkeit von der unterstellten Planungsunsicherheit des PSP-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.

<sup>48</sup>Dies entspricht der Vorgabe der Verwaltungskommission, dass die Kosten «Bottom-up» zu kalkulieren sind.

<sup>49</sup>Der Projektstrukturplan für die Ermittlung der Entsorgungskosten ist in Kapitel 3.1 erläutert.

<sup>50</sup>Grundsätzlich können auch Ergebnisse ausserhalb der festgelegten Toleranzgrenzen auftreten, aber die Eintrittswahrscheinlichkeit dafür ist so klein, dass solche Ergebnisse für die Kostenermittlung vernachlässigbar sind.

Die Festlegung der Toleranzgrenzen beruht auf langjähriger Erfahrung der Kostenschätzer und auf Rückschlüssen aus vergleichbaren noch laufenden oder bereits abgeschlossenen Projekten. Je gesicherter die Informationsgrundlage ist, 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 PSP-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 Kostenermittlung für ein PSP-Element bestimmt, wird die Unsicherheit dieses Kostenfaktors für die Bestimmung der Toleranzgrenze herangezogen.

Für die KS21 hat sich gezeigt, dass sechs Toleranzgrenzen<sup>51</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>52</sup>. Eine feinere Unterteilung ist nicht sinnvoll, da wegen statistischer Ausgleichseffekte das Ergebnis der Kostenermittlung 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 Kostenermittlung nicht sensitiv auf Fehleinschätzungen in einzelnen PSP-Elementen.

Die Kosten eines PSP-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 Kostenermittlung insgesamt entspricht der Summe der Kosten aller PSP-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 PSP-Elemente zusammengesetzte Verteilung der summierten Kosten kann näherungsweise sehr gut durch eine fast symmetrische Lognormalverteilung<sup>53</sup> beschrieben werden.

Wenn die PSP-Elemente unabhängig sind und nicht einzelne Elemente die Kostenberechnung dominieren, geht die Unsicherheit bei einer grossen Anzahl an PSP-Elementen gegen Null. In einem komplexen Projektstrukturplan bestehen jedoch zahlreiche terminliche und sachliche Abhängigkeiten zwischen den einzelnen PSP-Elementen. Viele PSP-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 PSP-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>54</sup> zur Bestimmung der Wahrscheinlichkeitsverteilung der summierten Kosten verwendet.

<sup>51</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] U. S. Department of Energy [87] und IAEA [84] für die Beschreibung von Unsicherheiten bei der Kostenermittlung 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>52</sup>U. S. DOE Cost Estimating Guide 413.3.21 [78]; IAEA Financial Aspects of Decommissioning; IAEA-TECDOC-1476, 2005 [73] etc.

<sup>53</sup>Die Lognormalverteilung ist eine kontinuierliche Wahrscheinlichkeitsfunktion positiver reeller Zahlen und wird z. B. in der Versicherungswirtschaft bei der Modellierung von Schadenshöhen benutzt.

<sup>54</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 PSP-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 zulassen.

In der Monte-Carlo-Simulation zu dieser Kostenstudie werden für die Wahrscheinlichkeitsverteilungen der einzelnen PSP-Elemente eine grosse Anzahl Eingangswerte generiert. Zwischen den PSP-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 PSP-Elemente auszuweisen. Aus der Wahrscheinlichkeitsverteilung der summierten Kosten und den Monte-Carlo-Simulationen kann zurückgerechnet werden, wie gross der Zuschlag für Prognoseungenauigkeiten auf die einzelnen PSP-Elemente sein muss, damit die berechneten Kosten mit einer grossen Wahrscheinlichkeit nicht überschritten werden.

Diese Methode für die Rückrechnung ermöglicht es, dass PSP-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.

Es ist zu erwarten, dass mit zunehmendem Planungsfortschritt aufgrund des Erkenntnisgewinns den einzelnen PSP-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 ebenfalls 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 mithilfe 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 mit Ausnahme der zeitvariablen Gefahren und Chancen unabhängig vom Eintreten anderer Gefahren und Chancen ist. Im Rahmen der Risikoanalyse wurde eine Vielzahl von Risikoszenarien untersucht. Diese wurden hinsichtlich ihrer Relevanz (Auslöser, Eintrittswahrscheinlichkeit, Schadens- beziehungsweise 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. Ein unabhängiges Risikoboard sichtete und kommentierte die Ergebnisse der Workshops und auch die der Validierung. Die Empfehlungen des Risikoboards flossen anschliessend in die Bewertung der Gefahren und Chancen ein.

Die Kostenzuschläge für Gefahren und Kostenabzüge für Chancen werden nicht auf die einzelnen PSP-Elemente der Kalkulation zurückgerechnet. Die Zuschläge und Abzüge erfolgen auf die ermittelten Basis-kosten. Zuschläge und Abzüge wurden unter Verwendung von Ereignisbäumen berechnet. Es wird 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>55</sup> wurde untersucht, inwieweit der Saldo aus Gefahrenzuschlägen und Chancenabzügen die möglichen Kostenfolgen unterschiedlichster Eintrittsszenarien von Gefahren- beziehungsweise 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.

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 KS21 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 wesentliche Gefahr ist 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 in Bezug auf die Gesamtkosten der Entsorgung nicht zu einer finanziellen Mehrbelastung kommt. Ein Kompletterlust 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 Abfallgebände 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.

#### *Genereller Sicherheitszuschlag*

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

<sup>55</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 PSP-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.

### 3.3 Modellhaftes Inventar für die Kostenrechnung

#### *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 [19]) geführt.

MIRAM basiert auf dem Informationssystem ISRAM und hat zum Ziel, alle bereits in einem Kernkraftwerk und in Medizin, Industrie und Forschung angefallenen Abfälle sowie alle zukünftig noch anfallenden Abfälle und abgebrannten Brennelemente zu quantifizieren und zu charakterisieren.

Als Berechnungsgrundlage für das modellhafte Nuklid- und Materialinventar dient ein Basisvorhaben. Das Basisvorhaben 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. Ergänzend wird auch das Szenario für eine Betriebsdauerannahme von 60 Jahren für die noch in Betrieb befindlichen Kernkraftwerke ermittelt. Das Ergebnis der Kostenermittlung für dieses Szenario ist in Anhang A.7 ausgewiesen.

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.

#### *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 KS21 wird das Transport- und Abfallmengengerüst für das Basisvorhaben (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.

### 3.4 Methodik der Kostenaufteilung

Die Kosten der Beschaffung der Transport- und Lagerbehälter, der Transporte und der Wiederaufarbeitung können den einzelnen Entsorgungspflichtigen direkt zugeordnet werden. 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 aktuell gültigen 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.

#### 3.4.1 Bundesanteil an den Entsorgungskosten

Die Gesamtkosten des Bundes für die Entsorgung von radioaktiven Abfällen aus der Medizin, der Industrie und der Forschung belaufen sich nach heutiger Schätzung des Bundes [87] insgesamt auf rund 2.5 Milliarden Franken. Davon sind bereits 794 Millionen Franken angefallen.

Die künftigen Kosten von rund 1.9 Milliarden Franken setzen sich wie folgt zusammen:

- Konditionierung und Zwischenlagerung: 443 Millionen Franken,
- Rückbau und Stilllegung (PSI-Anlagen): 236 Millionen Franken,
- Geologische Tiefenlagerung (Bau, Betrieb, Schliessung): 1'219 Millionen Franken.

Die letzte Schätzung des Bundes aus dem Jahr 2015 [87] rechnete mit Kosten von 1.4 Milliarden Franken für die Entsorgung im Zeitraum von 2015 bis 2100. Die Korrektur nach oben ist zu einem grossen Teil darauf zurückzuführen, dass die Kostenschlüssel für die Aufteilung der Kosten für die geologische Tiefenlagerung aktualisiert und die Kosten für die Konditionierung der Abfälle höher geschätzt wurden.

Die in der KS21 beinhalteten Entsorgungskosten des Bundes umfassen den Anteil an den Kosten der geologischen Tiefenlagerung, den Anteil an den Kosten der Verbrennungsanlage der ZwiLag, 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 ZwiLag-Anlagen

Die Betriebskosten werden unter Anwendung von Kostenverteilungsschlüssel in fixe und variable, das heisst einem Anlagennutzer direkt zuteilbaren Kostenanteile aufgeteilt. Somit werden Jahreskostenanteile nach einem Nutzungsprinzip im Verhältnis zu ihrer jeweiligen (jährlichen) Inanspruchnahme dieser Einrichtung inklusive der erforderlichen Betriebsmittel direkt auf die Betreiber der Kernkraftwerke und den Bund zugeordnet und verrechnet.

Für einige der ZwiLag-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 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 ZwiLag nicht an.

### 3.4.3 Bisherige und zukünftige Kosten

#### *Bereits erfolgte Aufwendungen*

Die vorliegende KS21 umfasst wie die vorangegangenen Kostenstudien die gesamten Entsorgungskosten – sowohl die bereits angefallenen als auch die ermittelten, zukünftigen Kosten. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung für einen sinnvollen Vergleich der periodischen Kostenstudien untereinander.

Die Aufwendungen für die Entsorgung von den Anfängen bis 31. Dezember 2020 wurden gemäss den bereits erfolgten Zahlungen zu ihrem Zeitwert aus der Buchhaltung der einzelnen Kernkraftwerkbetreiber ermittelt.

#### *Zukünftige Aufwendungen*

Unter zukünftigen Aufwendungen werden alle Aufwendungen verstanden, die ab dem Aktualisierungsjahr – hier 2021 – bis zum Verschluss des geologischen Tiefenlagers für HAA 2126 zu erwarten sind. Ihnen liegen die Planungs- und Projektarbeiten für die Entsorgungsanlagen, Ermittlung der Betriebskosten, werkspezifische Angaben über TLB-Investitionen sowie über Transporte zugrunde, alle entsprechend dem Kenntnisstand 2021. Die zukünftigen Kosten enthalten einerseits Aufwendungen, welche vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs (EELB) der Kernkraftwerke anfallen und durch die Betreiber direkt gezahlt werden müssen, also nicht fondsrelevant sind und andererseits Aufwendungen, welche nach EELB anfallen und dementsprechend in den Fonds einbezahlt werden müssen.

Generell werden die zukünftigen Aufwendungen für jedes Kalenderjahr zu Preisen des Aktualisierungsjahres ermittelt. In der vorliegenden Aktualisierung der Kostenstudie beruhen alle Preise auf Basis des 1. Januar 2021.

## 4 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 5 aufgeführt und in diesem Kapitel erläutert.

Tabelle 5: Kostenelemente der Entsorgung.

Kostenelemente	Ermittlung 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 usw.). Inbegriffen sind auch die Kosten für die während der Nutzungsdauer der Behälter notwendigen Alterungsüberwachung, Erneuerungen und/oder periodischen Lizenzierungen. Die Entsorgungskosten umfassen schliesslich die Stilllegung der Tiefenlageranlagen (Oberflächenanlagen, Zugangsbauwerke, unterirdischen Anlagen usw.) 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 – Kernbrennstofffreiheit und Rechtskraft der Stilllegungsverfügung – vorliegen.

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>56</sup>. Zu den Kosten für die Stilllegung zählen auch der Transport und die Entsorgung der bei der Stilllegung anfallenden radioaktiven Abfälle.

<sup>56</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 Tabelle 6 bis 9 dargestellt.

*Tabelle 6: Abgrenzung der Kosten für die Auslagerung der Brennelemente.*

Brennelemente	Nachbetriebskosten	Stilllegungskosten	Entsorgungskosten
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

*Tabelle 7: Abgrenzung der Kosten für die Betriebsabfälle aus Leistungs- und Nachbetrieb.*

Betriebsabfälle aus Leistungs- und Nachbetrieb	Nachbetriebskosten	Stilllegungskosten	Entsorgungskosten
Behälterkosten (dies sind primär Fassgebilde: Massenware). Abgrenzungskriterien für die Zuordnung der Behälter erfolgen werkspezifisch.	X		X
Behandlung bzw. Konditionierung von Betriebsabfällen vor Ort	X		
Handhabung vor Ort (inkl. Beladen der Behälter)	X		
Transport zum zentralen Zwischenlager der Zwiilag			X
Behandlung von Betriebsabfällen in den Anlagen der Zwiilag			X
Umverpacken in den Anlagen der Zwiilag (falls erforderlich)			X
Zwischenlagerung in den Anlagen der Zwiilag			X
Zwischenlagerung im Zwibez (KKB)			X
Transport zum geologischen Tiefenlager SMA			X
Zuteilbare Kosten im geologischen Tiefenlager SMA			X

Tabelle 8: Abgrenzung der Kosten für die Reaktorabfälle.

Reaktorabfälle (Mittelaktiv)	Nachbetriebskosten	Stilllegungskosten	Entsorgungskosten
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		
Transport zum zentralen Zwischenlager der Zwiilag			X
Umverpacken in den Anlagen der Zwiilag (falls erforderlich)			X
Zwischenlagerung in den Anlagen der Zwiilag			X
Zwischenlagerung im Zwibez (KKB)			X
Transport zum geologischen Tiefenlager SMA			X
Zuteilbare Kosten im geologischen Tiefenlager SMA			X

Tabelle 9: Abgrenzung der Kosten für die Stilllegungsabfälle.

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

<sup>a)</sup> Aus Vereinfachungsgründen als Entsorgungskosten behandelt, analog zu KS16 und KS11.

## 4.2 Transport- und Lagerbehälter

Die Kosten der Transport- und Lagerbehälter für abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle enthalten neben den Beschaffungskosten auch die ermittelten Kosten für die während der Nutzungsdauer notwendige Überwachung und/oder der periodischen Lizenzierungen der TLB. Für die Lagerung der TLB existiert eine unbefristete Freigabe. 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 [19] verwendet, die sich hinsichtlich äusserer Dimensionen, Material und Wandstärken unterscheiden (siehe Tabelle 10). Das Transportkonzept für die vorliegende Kostenstudie ist aus Tabelle 12 ersichtlich. Für die geologische Tiefenlagerung sind verschiedene Behälter wie zum Beispiel KC-T12, LC-84, LC-86 vorgesehen (siehe Tabelle 11). Diese sind den jeweiligen Kostenelementen, z. B. den Stilllegungsabfällen, zugeordnet und werden hier der Vollständigkeit halber dargestellt.

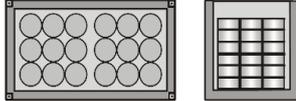
Tabelle 10: Abfallgebindespektrum und deren wichtigste Eigenschaften.

Abfallgebinde	Eigenschaften	Bild	Behälter für geologische Tiefenlagerung
<b>BC PSI</b>	Form: Zylinder Höhe: 1.25 m Durchmesser: 1.00 m Wandstärke: 0.18 m Aussenvolumen: 0.981 m <sup>3</sup> Nutzvolumen: 0.298 <sup>a)</sup> /0.367 <sup>b)</sup> m <sup>3</sup> Eigenmasse: 1'610 <sup>a)</sup> /1'425 <sup>b)</sup> kg a) mit vorfabriziertem Deckel b) ohne vorfabrizierten Deckel		KC-T12
<b>KC-T12 PSI</b>	Form: Quader Länge: 1.50 m Breite: 1.50 m Höhe: 2.00 m Wandstärke: 0.12 m Aussenvolumen: 4.50 m <sup>3</sup> Nutzvolumen: 2.714 m <sup>3</sup> Eigenmasse: 4'370 kg		-
<b>100-I-Fass</b> (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> Nutzvolumen: 0.102 - 0.103 m <sup>3</sup> Eigenmasse: 6 - 15 kg		LC-86

Abfallgebinde	Eigenschaften	Bild	Behälter für geologische Tiefenlagerung
<b>200-l-Fass</b>	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> Nutzvolumen: 0.200 - 0.220 m <sup>3</sup> Eigenmasse: 22 - 60 kg		LC1-20
<b>180-l-Kokille WA</b> (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> Nutzvolumen: 0.17 m <sup>3</sup> Eigenmasse: 93 kg		LC-86 für WA SMA ELB HAA für WA HAA
<b>LC-84 Nagra</b>	Form: Quader Länge: 2.44 m Breite: 1.98 m Höhe: 1.30 m Wandstärke (B) <sup>a)</sup> : 0.18/0.19 m Wandstärke (L) <sup>b)</sup> : 0.21/0.22 m Aussenvolumen: 6.27 m <sup>3</sup> Nutzvolumen <sup>c)</sup> : 2.87 m <sup>3</sup> Eigenmasse: ca. 7'881 bis 8'134 kg, je nach Deckelvariante a) entlang Breite, schräge Innenwand b) entlang Länge, schräge Innenwand c) bei Beladung bis 5 cm unter Deckelaufleger		-
<b>LC-86 Nagra</b>	Form: Quader Länge: 2.44 m Breite: 1.98 m Höhe: 1.95 m Wandstärke (B) <sup>a)</sup> : 0.18/0.196 m Wandstärke (L) <sup>b)</sup> : 0.21/0.226 m Aussenvolumen: 9.40 m <sup>3</sup> Nutzvolumen <sup>c)</sup> : 4.91 m <sup>3</sup> Eigenmasse: ca. 10'582 bis 10'835 kg, je nach Deckelvariante a) entlang Breite, schräge Innenwand b) entlang Länge, schräge Innenwand c) bei Beladung bis 5 cm unter Deckelaufleger		-

Abfallgebinde	Eigenschaften	Bild	Behälter für geologische Tiefenlagerung
<b>MOSAIK-II</b> (zur Verpackung höher aktivierter Teile)	Form: Zylinder Höhe: 1.50 m Durchmesser: 1.06 m Wandstärke: 0.16 m Aussenvolumen: 1.30 m <sup>3</sup> Nutzvolumen: 0.49 m <sup>3</sup> Eigenmasse: 5'880 kg		KC-T12
<b>Kleinzylinder BAG</b>	Form: Zylinder Höhe: 0.19 - 0.75 m Durchmesser: 0.06 - 0.21 m Wandstärke: 2 - 4 mm Aussenvolumen: 1 - 24 l Nutzvolumen: 1 - 23 l Eigenmasse: 2 - 13 kg		KC-T12
<b>200-l-Zylinder AERA</b>	Form: Zylinder Höhe: 0.88 m Durchmesser: 0.60 m Wandstärke: 3 mm Aussenvolumen: 0.224 m <sup>3</sup> Nutzvolumen: 0.217 m <sup>3</sup> Eigenmasse: 56 kg		LC1-20
<b>PB-Zylinder HL</b>	Form: Zylinder Höhe: 1.0045 <sup>a)</sup> /1.008 <sup>b)</sup> m Durchmesser: 0.15 <sup>a)</sup> /0.25 <sup>b)</sup> m Wandstärke: 4.5 <sup>c)</sup> /3 <sup>d)</sup> mm Aussenvolumen: 16.7 <sup>a)</sup> /49.4 <sup>b)</sup> l Nutzvolumen: 14.3 <sup>a)</sup> /43.2 <sup>b)</sup> l Eigenmasse: 19.7 <sup>a)</sup> /48.1 <sup>b)</sup> kg a) Zylindertyp PB-146 b) Zylindertyp PB-250 c) Mantel d) Boden		SMA/ATA: KC-T12 HAA: BE-D-3

Tabelle 11: Endlagerbehälter für die KS21.

Abfallgebinde	Eigenschaften	Bild
<b>KC-T12 PSI</b>	Form: Quader Länge: 1.50 m Breite: 1.50 m Höhe: 2.00 m Wandstärke: 0.12 m Aussenvolumen: 4.50 m <sup>3</sup> Nutzvolumen: 2.714m <sup>3</sup> Eigenmasse: 4'370 kg	
<b>LC-84 Nagra</b>	Form: Quader Länge: 2.44 m Breite: 1.98 m Höhe: 1.30 m Wandstärke (B) <sup>a)</sup> : 0.18/0.19 m Wandstärke (L) <sup>b)</sup> : 0.21/0.22 m Aussenvolumen: 6.27 m <sup>3</sup> Nutzvolumen <sup>c)</sup> : 2.87 m <sup>3</sup> Eigenmasse: ca. 7'881 bis 8'134 kg, je nach Deckelvariante a) entlang Breite, schräge Innenwand b) entlang Länge, schräge Innenwand c) Bei Beladung bis 5 cm unter Deckelaufleger	
<b>LC-86 Nagra</b>	Form: Quader Länge: 2.44 m Breite: 1.98 m Höhe: 1.95 m Wandstärke (B) <sup>a)</sup> : 0.18/0.196 m Wandstärke (L) <sup>b)</sup> : 0.21/0.226 m Aussenvolumen: 9.40 m <sup>3</sup> Nutzvolumen <sup>c)</sup> : 4.91 m <sup>3</sup> Eigenmasse: ca. 10'582 bis 10'835 kg, je nach Deckelvariante a) entlang Breite, schräge Innenwand b) entlang Länge, schräge Innenwand c) bei Beladung bis 5 cm unter Deckelaufleger	
<b>LC1-20 Nagra</b>	Form: Quader Länge: 4.44 m Breite: 2.44 m Höhe: 2.40 m Wandstärke: 0.2 m Aussenvolumen: 25.98 m <sup>3</sup> Nutzvolumen: 15.89 m <sup>3</sup> Eigenmasse: ca. 20'500 kg	

Abfallgebinde	Eigenschaften	Bild
<b>ELB HAA Nagra</b>	Form: Zylinder Höhe: 4.40 m Durchmesser: 0.72 m Wandstärke: 0.14 m Aussenvolumen <sup>a)</sup> : 1.748 m <sup>3</sup> Nutzvolumen: 0.569 m <sup>3</sup> Eigenmasse: 9'255 kg a) exkl. 0.043 m <sup>3</sup> Totvolumen um Greifhantel	
<b>BE-D-2 / BE-D-3<sup>c)</sup></b> <b>ELB BE-DWR Nagra</b>  c) Die Codierung der DWR-BE-Behälter wird nach Beladung differenziert (mit MOX: BE-D-2, ohne MOX: BE-D-3)	Form: Zylinder Höhe: 5.002 m Durchmesser: 1.05 m Wandstärke: 0.14 m Aussenvolumen <sup>a)</sup> : 4.213 m <sup>3</sup> Nutzvolumen <sup>b)</sup> : 2.082 m <sup>3</sup> Eigenmasse <sup>b)</sup> : 16'738 kg a) exkl. 0.117 m <sup>3</sup> Totvolumen um Greifhantel b) ohne Tragkörbe/interne Strukturen	
<b>BE-S-2</b> <b>ELB BE-SWR Nagra</b>	Form: Zylinder Höhe: 5.19 m Durchmesser: 1.1 m Wandstärke: 0.14 m Aussenvolumen <sup>a)</sup> : 4.802 m <sup>3</sup> Nutzvolumen <sup>b)</sup> : 18'377 kg Eigenmasse <sup>b)</sup> : 2.461 m <sup>3</sup> a) exkl. 0.130 m <sup>3</sup> Totvolumen um Greifhantel b) ohne Tragkörbe/interne Strukturen	

Tabelle 12: Transportkonzept für die KS21.

Gebinde	Transport
100-I/200-I	< 10 mSv/h: 36 100-I/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	1 bzw. 2 MOSAIK-II / Transport
KC-T12	2 KC-T12 / Transport
LC-84 / LC-86	1 Container / Transport
180-I-Kokillen (WA/ATA)	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, den Einrichtungen zur Zwischenlagerung 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 und erstellte ein auf dieser Basis konsistentes Abfallmengengerüst. Das Abfallmengengerüst umfasst die Volumen der in den Kernkraftwerken sowie in Medizin, Industrie und Forschung anfallenden Abfälle. Für die Ermittlung der Abfallvolumen sind die Betriebszeiten der Kernkraftwerke beziehungsweise die Dauer der Sammelperiode für die Bundesabfälle zentral.

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

### 4.4 Wiederaufarbeitung

Die Rückführung der Abfälle aus der Wiederaufarbeitung wurde 2017 abgeschlossen, es fallen keine direkten zukünftigen Kosten der Wiederaufarbeitung mehr an.

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

Der Kostenermittlung 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 schmelzbaren 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 Ermittlung der Stilllegungskosten berücksichtigt [4].

#### 4.6 Zwischenlager Kernkraftwerk Beznau (Zwibez)

Die KS21 berücksichtigt die historischen und zukünftigen Investitionen in das Zwischenlager Beznau und dessen Betriebskosten nach endgültiger Einstellung des Leistungsbetriebs des Kernkraftwerks Beznau. Die Betriebskosten während des Leistungsbetriebs des Kernkraftwerks Beznau sind den laufenden Betriebskosten zugeordnet. Bis zum Abschluss des Nachbetriebs des Kernkraftwerks Beznau sind diese Kosten in den Nachbetriebskosten des Kernkraftwerks Beznau enthalten. Nach Abschluss des Nachbetriebs und bis zum Abschluss des nuklearen Rückbaus sind die Betriebskosten des Zwibez in den Stilllegungskosten des Kernkraftwerks Beznau enthalten, anschliessend in den Entsorgungskosten. Das Zwibez wird auch nach der Stilllegung des Kernkraftwerks Beznau weiterbetrieben. Nach der Einlagerung der Abfälle in das geologische Tiefenlager wird das Zwibez stillgelegt.

#### 4.7 Nasslager des Kernkraftwerks Gösgen

Die Bau- und Betriebskosten für das Nasslager des Kernkraftwerks Gösgen werden separat ausgewiesen. Die Betriebskosten während des Leistungsbetriebs des Kernkraftwerks Gösgen sind den laufenden Betriebskosten zugeordnet. Bis zum Abschluss des Nachbetriebs des Kernkraftwerks Gösgen sind diese Kosten in den Nachbetriebskosten des Kernkraftwerks Gösgen enthalten. Nach Abschluss des Nachbetriebs und bis zum Abschluss des nuklearen Rückbaus sind die Betriebskosten des Nasslagers in den Stilllegungskosten des Kernkraftwerks Gösgen enthalten. 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 Betriebsdauer der Entsorgungsanlagen

Die Annahmen zur Betriebsdauer des KKG-Nasslagers, des Zwibez und der Anlagen der Zwiilag basieren auf einer angenommenen Betriebsdauer der Kernkraftwerke von mindestens 50 Jahren (vergleiche Tabelle 13).

Die KS21 geht mit dem EP21 [18] 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 [14] verlangt, werden in der KS21 modellhafte, konkrete Annahmen getroffen, die mit dem aktuellen Entsorgungsprogramm (EP21) vereinbar sind. Die im Entsorgungsprogramm definierten Lagerkonzepte berücksichtigen die rechtlichen und behördlichen Vorgaben sowie Anforderungen und setzen insbesondere das gesetzlich verankerte Konzept der geologischen Tiefenlager um (Hauptlager, Pilotlager, Testbereiche; mit einer Beobachtungsphase im Anschluss an den Einlagerungsbetrieb). Die entsprechenden Planungs-, Bau- und Betriebszeiten sind in Tabelle 13 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 des Hauptlagers. 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 KS21, 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>57</sup>.

Nach ordnungsgemäsem Verschluss kann der Bundesrat eine weitere, befristete Überwachung anordnen<sup>58</sup> und nach Ablauf dieser Überwachungsfrist die Anlage aus der Kernenergiegesetzgebung entlassen. Anschliessend kann der Bund noch eine Umweltüberwachung durchführen<sup>59</sup>.

---

<sup>57</sup>Art. 39 Abs. 2 KEG [11].

<sup>58</sup>Art. 39 Abs. 3 KEG [11].

<sup>59</sup>Art. 39 Abs. 4 KEG [11].

Tabelle 13: 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 EEU <sup>b)</sup> (Sondierschacht/Sondiertunnel)	2032 – 2035
Weiterführung EEU <sup>b)</sup>	2036 – 2044
Bau Lager (inklusive Oberflächenanlage und Erschliessung)	2045 – 2049
Einlagerungsphase	2050 – 2065
Für Einlagerung der Abfälle genutzte Periode	2050 – 2063
Stilllegung (Rückbau)	2065 – 2069
Beobachtungsphase (inklusive Verschluss Hauptlager)	2070 – 2120
Verschluss Gesamtlager	2120 – 2124
<b>Geologisches Tiefenlager HAA sowie Verpackungsanlage für Brennelemente und HAA</b>	
Standortwahl	- – 2024
Rahmenbewilligung	2025 – 2031
Vorbereitung und Beginn EEU <sup>b)</sup> (Sondierschächte)	2032 – 2037
Weiterführung EEU <sup>b)</sup>	2038 – 2048
Bau Lager (inklusive Oberflächenanlage und Erschliessung)	2049 – 2049
Einlagerungsphase	2060 – 2075
Für Einlagerung der Abfälle genutzte Periode	2060 – 2070
Stilllegung (Rückbau)	2075 – 2079
Stilllegung der Verpackungsanlage	2074 – 2074
Beobachtungsphase (inklusive Verschluss Hauptlager)	2079 – 2129
Verschluss Gesamtlager	2129 – 2130

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

<sup>b)</sup> EEU: erdwissenschaftliche Untersuchungen Untertag.

## 5 Resultate der Ermittlung der Entsorgungskosten

Die hier vorgenommene Kostenermittlung 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 und des Bundes werden im Mantelbericht [1] präsentiert.

Für die Präsentation der Ergebnisse der Ermittlung der Entsorgungskosten wird die von der Kommission verbindlich für die KS21 vorgegebene Kostenstruktur verwendet (siehe Kapitel 3). Dabei werden die Kosten detailliert auf die Ebene der Elemente bzw. Organisationseinheiten der Entsorgung (Ebene 3 der Kostenstruktur) dargestellt.

### 5.1 Basiskosten und Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten

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 Kostenniveaus Ausgangskosten (AK), Kosten für Massnahmen zur Risikominderung (RM) und die Basiskosten (BK) für die vier Schweizer Kernkraftwerke und den Bund sind in Tabelle 14 bis Tabelle 18 angegeben. Die Darstellung umfasst die Ebenen 1 bis 3 der Kostenstruktur. Ergänzend werden die Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten (PU) aufgeführt. 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 und
- Transportkosten intern.

Die Aufwendungen für Transporte umfassen:

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

Die Aufwendungen für die Zwischenlagerung umfassen:

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

Die Aufwendungen für die Wiederaufarbeitung sind bereits vollständig angefallen und entfallen somit für die zukünftigen Kosten.

#### *Ausgangskosten*

Der überwiegende Teil der Ausgangskosten fällt für die Zwischenlagerung der radioaktiven Abfälle an und beträgt je nach Werk und Bund zwischen 68 und 86 Prozent. Zwischen 11 und 29 Prozent der Ausgangskosten fallen für Investitionen in sowie für periodische Lizenzierungen der Transport- und Lagerbehälter für abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle an. Weitere 2 bis 14 Prozent der Ausgangskosten fallen für den Transport der radioaktiven Abfälle vom Kernkraftwerk zum Zwischenlager und vom Zwischenlager zum geologischen Tiefenlager an. Für die Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente fallen keine Ausgangskosten mehr an, da die Rückführung dieser Abfälle in 2017 abgeschlossen wurde.

#### *Kosten zur Risikominderung*

Aufgrund der langjährigen Erfahrung mit Zwischenlagerung, Transporten, Wiederaufarbeitung und Transport- und Lagerbehältern sind Prozesse der Entsorgung radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente gut bekannt. Daher sind für die Risikominderung in der KS21 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 nach dem Ende des Leistungsbetriebs) enthalten und werden zusammenfassend in Abschnitt 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 Kostenermittlungen 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 2020 gültigen rechtlichen und behördlichen Vorgaben sowie auf dem Preisniveau per 1. Januar 2021. Unsicherheiten in den Kostenermittlungen, 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 14 bis Tabelle 18 ersichtlich, betragen die zukünftigen Basiskosten für die Entsorgung der Schweizer Kernkraftwerke zwischen 214 und 764 Millionen Franken und für den Bund 23 Millionen Franken.

#### *Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten*

Die Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten sind zu den Basiskosten zu addieren.

Die Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten werden entsprechend der im Abschnitt 3.2.2 erläuterten Methodik berechnet und sind für die Kernkraftwerke Beznau, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt sowie für den Bund jeweils in der letzten Spalte der Tabelle 14 bis Tabelle 18 aufgeführt.

Die Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten bei den Transporten belaufen sich auf 7 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 belaufen sich zwischen 4 und 6 Prozent.

Der Gesamtzuschlag für Prognoseungenauigkeiten liegt zwischen 5 und 6 Prozent.

Tabelle 14: Entsorgungskosten KKB für Zwischenlagerung, Transporte und Behälter.

Kostenstrukturelemente (bis Ebene 3)	AK	RM	BK	PU	
	[MCHF]	[MCHF]	[MCHF]	[MCHF]	[%]
<b>Aufgelaufene Entsorgungskosten KKB bis 31.12.2020</b>			<b>1'469.52</b>		
<b>Zukünftige Entsorgungskosten KKB</b>	<b>572.66</b>	<b>0.00</b>	<b>572.66</b>	<b>29.19</b>	<b>5.10%</b>
<b>TLB</b>	<b>137.87</b>	<b>0.00</b>	<b>137.87</b>	<b>9.98</b>	<b>7.24%</b>
Behälterbeschaffung	119.88	0.00	119.88	8.67	
Zulassung	10.28	0.00	10.28	0.74	
Inspektion	7.71	0.00	7.71	0.56	
<b>Transporte</b>	<b>9.77</b>	<b>0.00</b>	<b>9.77</b>	<b>0.71</b>	<b>7.24%</b>
Betriebsabfälle/Reaktorabfälle	1.00	0.00	1.00	0.07	
Wiederaufbereitungsabfälle/abgebrannte Brennelemente	8.77	0.00	8.77	0.63	
<b>Zwischenlagerung</b>	<b>425.01</b>	<b>0.00</b>	<b>425.01</b>	<b>18.50</b>	<b>4.35%</b>
Zwilag	246.33	0.00	246.33	14.48	
Zwibez	178.69	0.00	178.69	4.02	

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

Ausgangskosten (AK), Kosten für Massnahmen zur Risikominderung (RM) sowie Basiskosten (BK) und Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten (PU).

Tabelle 15: Entsorgungskosten KKM für Zwischenlagerung, Transporte und Behälter.

Kostenstrukturelemente (bis Ebene 3)	AK	RM	BK	PU	
	[MCHF]	[MCHF]	[MCHF]	[MCHF]	[%]
<b>Aufgelaufene Entsorgungskosten KKM bis 31.12.2020</b>			<b>657.81<sup>a)</sup></b>		
<b>Zukünftige Entsorgungskosten KKM</b>	<b>214.41</b>	<b>0.00</b>	<b>214.41</b>	<b>13.11</b>	<b>6.11%</b>
<b>TLB</b>	<b>23.85</b>	<b>0.00</b>	<b>23.85</b>	<b>1.73</b>	<b>7.24%</b>
Behälterbeschaffung	22.85	0.00	22.85	1.65	
Zulassung	0.00	0.00	0.00	0.00	
Inspektion	1.00	0.00	1.00	0.07	
<b>Transporte</b>	<b>11.48</b>	<b>0.00</b>	<b>11.48</b>	<b>0.83</b>	<b>7.24%</b>
Betriebsabfälle/Reaktorabfälle	0.99	0.00	0.99	0.07	
Wiederaufbereitungsabfälle/abgebrannte Brennelemente	10.49	0.00	10.49	0.76	
<b>Zwischenlagerung</b>	<b>179.08</b>	<b>0.00</b>	<b>179.08</b>	<b>10.55</b>	<b>5.89%</b>
Zwilag	179.08	0.00	179.08	10.55	

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

Ausgangskosten (AK), Kosten für Massnahmen zur Risikominderung (RM) sowie Basiskosten (BK) und Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten (PU).

<sup>a)</sup> Die aufgelaufenen Kosten beinhalten Kosten in Höhe von 8.34 MCHF aus dem Entsorgungskonzept (vorwiegend Planungskosten wie z. B. Zuarbeiten zum Endlagerkonzept, BE-Behälterbeschaffung und Lizenzierung, Beladeoptionen für BE-Behälter).

Tabelle 16: Entsorgungskosten KKG für Zwischenlagerung, Transporte und Behälter.

Kostenstrukturelemente (bis Ebene 3)	AK	RM	BK	PU	
	[MCHF]	[MCHF]	[MCHF]	[MCHF]	[%]
<b>Aufgelaufene Entsorgungskosten KKG bis 31.12.2020</b>			<b>1'558.45</b>		
<b>Zukünftige Entsorgungskosten KKG</b>	<b>574.36</b>	<b>0.00</b>	<b>574.36</b>	<b>35.71</b>	6.22%
<b>TLB</b>	<b>141.13</b>	<b>0.00</b>	<b>141.13</b>	<b>10.21</b>	7.24%
Behälterbeschaffung	138.78	0.00	138.78	10.04	
Entwicklung/Lizensierung/Ausrüstung/Inspektion	1.25	0.00	1.25	0.09	
Transportkosten intern	1.09	0.00	1.09	0.08	
<b>Transporte</b>	<b>15.98</b>	<b>0.00</b>	<b>15.98</b>	<b>1.16</b>	7.24%
Betriebsabfälle/Reaktorabfälle	2.49	0.00	2.49	0.18	
Wiederaufbereitungsabfälle/abgebrannte Brennelemente	13.49	0.00	13.49	0.98	
<b>Zwischenlagerung</b>	<b>417.26</b>	<b>0.00</b>	<b>417.26</b>	<b>24.34</b>	5.83%
Zwilag	417.26	0.00	417.26	24.34	
Nasslager KKG	0.00	0.00	0.00	0.00	

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

Ausgangskosten (AK), Kosten für Massnahmen zur Risikominderung (RM) sowie Basiskosten (BK) und Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten (PU).

Tabelle 17: Entsorgungskosten KKL für Zwischenlagerung, Transporte und Behälter.

Kostenstrukturelemente (bis Ebene 3)	AK	RM	BK	PU	
	[MCHF]	[MCHF]	[MCHF]	[MCHF]	[%]
<b>Aufgelaufene Entsorgungskosten KKL bis 31.12.2020</b>			<b>899.06</b>		
<b>Zukünftige Entsorgungskosten KKL</b>	<b>763.53</b>	<b>0.00</b>	<b>763.53</b>	<b>48.20</b>	6.31%
<b>TLB</b>	<b>222.02</b>	<b>0.00</b>	<b>222.02</b>	<b>16.07</b>	7.24%
Behälterbeschaffung	183.52	0.00	183.52	13.28	
Zulassung	32.56	0.00	32.56	2.36	
Inspektion	5.94	0.00	5.94	0.43	
<b>Transporte</b>	<b>24.59</b>	<b>0.00</b>	<b>24.59</b>	<b>1.78</b>	7.24%
Betriebsabfälle/Reaktorabfälle	2.45	0.00	2.45	0.18	
Wiederaufbereitungsabfälle/abgebrannte Brennelemente	22.14	0.00	22.14	1.60	
<b>Zwischenlagerung</b>	<b>516.92</b>	<b>0.00</b>	<b>516.92</b>	<b>30.35</b>	5.87%
Zwilag	516.92	0.00	516.92	30.35	

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

Ausgangskosten (AK), Kosten für Massnahmen zur Risikominderung (RM) sowie Basiskosten (BK) und Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten (PU).

Tabelle 18: Entsorgungskosten Bund für Zwischenlagerung, Transporte und Behälter.

Kostenstrukturelemente (bis Ebene 3)	AK	RM	BK	PU	
	[MCHF]	[MCHF]	[MCHF]	[MCHF]	[%]
<b>Aufgelaufene Entsorgungskosten Bund bis 31.12.2020</b>			<b>40.73</b>		
<b>Zukünftige Entsorgungskosten Bund</b>	<b>23.30</b>	<b>0.00</b>	<b>23.30</b>	<b>1.35</b>	<b>5.81%</b>
<b>Transporte</b>	<b>3.18</b>	<b>0.00</b>	<b>3.18</b>	<b>0.23</b>	<b>7.24%</b>
Betriebsabfälle	3.10	0.00	3.10	0.22	
abgebrannte Brennelemente Forschungsreaktor Diorit	0.07	0.00	0.07	0.01	
<b>Zwischenlagerung</b>	<b>20.13</b>	<b>0.00</b>	<b>20.13</b>	<b>1.12</b>	<b>5.58%</b>
Zwilag	20.13	0.00	20.13	1.12	

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

Ausgangskosten (AK), Kosten für Massnahmen zur Risikominderung (RM) sowie Basiskosten (BK) und Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten (PU).

## 5.2 Kostenzuschläge für Gefahren und Kostenabzüge für Chancen

Unter der Leitung von swissnuclear identifiziert 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 werden aufgrund von Expertenwissen abgeschätzt. Auf der Basis einer Risikoanalyse werden Risikowerte als Produkte aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Kostenfolge berechnet. Die Risikowerte werden ähnlich wie bei der Ermittlung der Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten erhöht, um der Unsicherheit der Expertenschätzungen Rechnung zu tragen.

Für jede Gefahr werden zwei Szenarien unterstellt – das eine mit ungünstigem Verlauf und relativ hohen Auswirkungen, das andere mit eher günstigem Verlauf und entsprechend geringeren Auswirkungen. Analog wird für die Chancen vorgegangen. Der Zuschlag ergibt sich durch gewichtete Summierung der Ergebnisse beider Szenarien.

Die Chancen- und Gefahrenkataloge werden in einem zweistufigen Review-Verfahren einem Risikoboard vorgestellt, in dem Experten aus den Bereichen Betrieb und Stilllegung von Kernanlagen sowie Projektmanagement für grosse Infrastrukturprojekte Einsitz nahmen. Die Ergebnisse der Reviews sind in die Chancen- und Gefahrenkataloge eingeflossen.

### 5.2.1 Kostenzuschläge für Gefahren

Die einzelnen Risiken wurden in den Kategorien Betriebskosten, Infrastruktur und Logistik, Betriebsprozesse, Technologie Zwischenlagerung, Transporte und Behälter, Verlängerung lang, Verlängerung mittel und Verlängerung kurz dargestellt. Die quantitative Darstellung der Risiken erfolgt in einer Risikomatrix (Abbildung 6).

#### Veränderung der Höhe der Betriebskosten der Zwischenlagerung

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

Erhöhung von Gebühren, Behördenaufwänden (inklusive ENSI), Abgaben, Versicherungskosten usw., die in den heutigen Ist-Kosten vor der endgültigen Einstellung des Betriebs noch nicht berücksichtigt sind. Diese Erhöhung ist teuerungsbereinigt (über normale Inflation hinaus).

### *Mehrkosten durch Versicherungsüberdeckung*

Durch die stetige 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 die betreffenden Materialien sich noch am Kraftwerksstandort befinden und dort ebenfalls versichert sind. Somit kommt es zu einer Überdeckung bei der nuklearen Haftpflichtversicherung. Die Mehrkosten fallen ab Einlagerung der TLB in den Anlagen der Zwiilag an.

Der zweite berücksichtigte Gefahrenaspekt besteht darin, dass die Versicherungsprämie trotz Auslagerung der Abfälle zum gTL nicht reduziert werden kann.

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

Aufgrund von Preissteigerungen kommt es zu einer Erhöhung der Bezugskosten für Strom und Heizöl. Diese Erhöhung ist teurerungsbereinigt (über die normale Inflation hinaus).

### *Verfügbarkeit von externen Spezialisten*

Externe Spezialisten stehen nicht in ausreichender Menge auf dem Arbeitsmarkt zur Verfügung.

### *Know-how-Verlust bei der Zwischenlagerung*

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

## **Veränderung der Technologie bei der Zwischenlagerung**

### *Degradation von Behältern vor Einlagerung in das geologische Tiefenlagers*

Bestehende Abfallgebände weisen wegen der langen Lagerung unzulässige Abweichungen gegenüber den heutigen gültigen Abfallgebändetypen-Spezifikationen / Endlagerfähigkeitsbescheinigungen (ELFB) / Typenfreigaben aus (z. B. Korrosion).

### *Veränderung der Annahmebedingungen des geologischen Tiefenlagers*

Bestehende Abfallgebände verlieren aufgrund geänderter Annahmebedingungen des geologischen Tiefenlagers ihre Typenfreigabe und können bei der Einlagerung nicht mehr angenommen werden.

## **Veränderungen bei Infrastruktur und Logistik**

### *Höhere Klassierungsanforderungen an Nuklearanlageile*

Aufgrund geänderter Rahmenbedingungen werden die Klassierungsanforderungen an nukleare Anlageile weitreichender ausgelegt.

### *Anpassungen der Anlageninfrastruktur*

Zur Einhaltung zukünftiger zusätzlicher Anforderungen, wie etwa höherer Sicherheitsanforderungen (z. B. zur Abwehr von Terrorgefahr), werden zusätzliche, die bereits vorgesehenen Investitionen übersteigende Anpassungen an der Infrastruktur verlangt.

### *Technische Defekte bei Einrichtungen der Logistikinfrastruktur*

Während des Betriebs kommt es zu technischen Defekten bei Hebezeugen oder anderen Infrastruktureinrichtungen der Materiallogistik.

## **Veränderung der Betriebsprozesse Zwischenlagerung**

### *Mehrkosten durch Produktionsunterbruch*

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.

### *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, Rauchgas-Abluft oder auch für Feststoffe zutreffen, die zukünftig nur noch auf spezielle Deponien abgeführt werden können.

### **Veränderung der Betriebsdauer der Anlagen zur Zwischenlagerung nach Abschluss der Auslagerung sämtlicher Abfälle**

Veränderung der Betriebsdauer der Zwiilag 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.

### **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, 2018 [84]). Diese Bestimmungen werden regelmässig (ca. alle zehn Jahre) aufdatiert. Während das ENSI (Richtlinie G05 [53]) 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 usw.) 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 [86] kommt es zu einer teuerungsüberschreitenden Erhöhung der Versicherungskosten für nukleare Transporte.

#### *Transport-Konvois von Zwibez/Zwilag zur BEVA*

Der Transport von Zwibez/Zwilag zur Brennelementverpackungsanlage (BEVA) ist nicht mit Transport-Konvois möglich. Die aktuelle Basisannahme ist, dass Transporte als Konvois mit vier TLB durchgeführt werden.

## **5.2.2 Kostenabzüge für Chancen**

### **Betriebskosten Zwischenlagerung**

#### *Kostensenkung bei Gebührenaufwand und Versicherungen*

Geringere Ausgangskosten für Versicherungen sowie niedrigerer Behördenaufwand.

## **5.2.3 Quantifizierung der Kostenfolgen von Gefahren und Chancen**

Die oben beschriebenen Zuschläge bzw. Abzüge für Gefahren und Chancen werden insgesamt zu den Basiskosten addiert und sind der Tabelle 19 zu entnehmen.

Für die Kernkraftwerke Beznau, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt sowie für den Bund betragen die Zuschläge für Gefahren zwischen 7 und 9 Prozent der Basiskosten während das Chancenpotenzial mit nahezu 0 Prozent bewertet wurde, so dass für alle Kernkraftwerke und den Bund an den Basiskosten anzubringende Zuschlag insgesamt rund 8 Prozent beträgt.

Tabelle 19: Kostenzuschlag für Gefahren und Kostenabzug für Chancen.

	KKB	KKM	KKG	KKL	Bund	Total
Kostenzuschlag für Gefahren	47	19	43	55	2	165
in % der Basiskosten	8.2%	8.9%	7.4%	7.1%	8.0%	7.7%
Kostenabzug für Chancen	0	0	0	0	0	0
in % der Basiskosten	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
<b>Kostenzuschlag für Gefahren und Chancen</b>	<b>47</b>	<b>19</b>	<b>43</b>	<b>55</b>	<b>2</b>	<b>165</b>
in % der Basiskosten	8.2%	8.9%	7.4%	7.1%	8.0%	7.7%

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

#### 5.2.4 Risikomatrix

Im Rahmen der KS21 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.

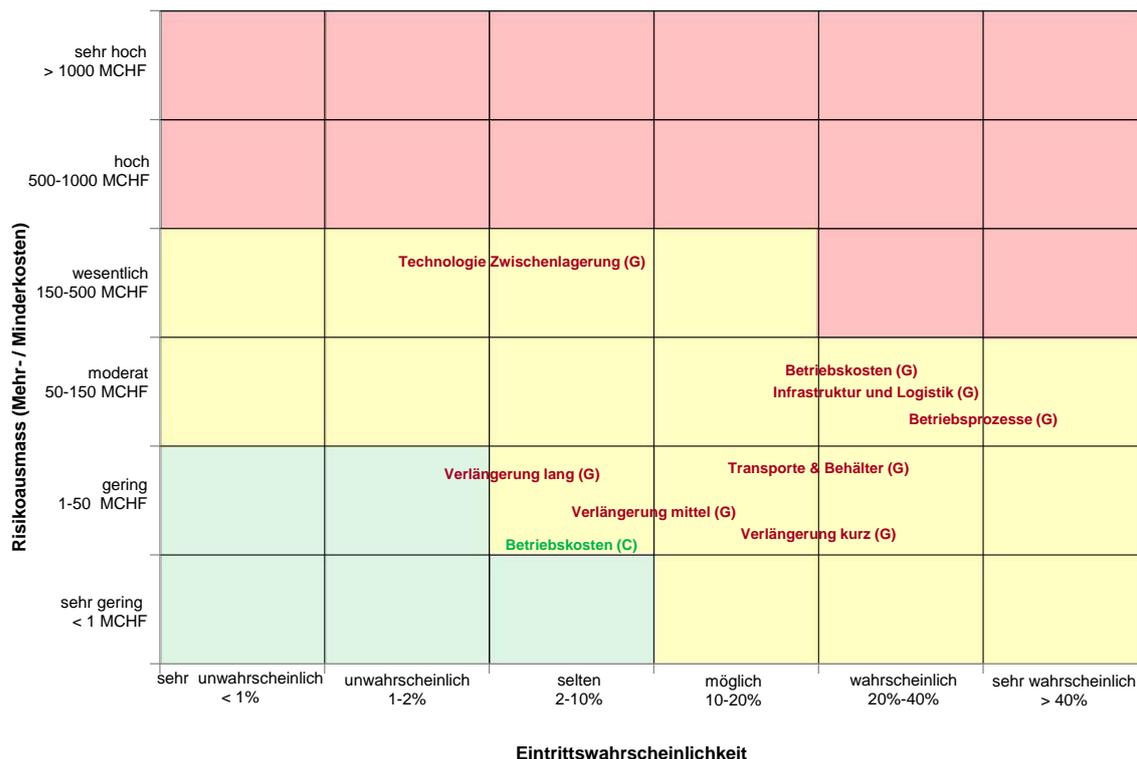
Für die KS21 wurde festgelegt, dass die grüne Fläche der Risikomatrix nicht über diskrete Zuschläge für Gefahren beziehungsweise Abzüge für Chancen berücksichtigt wird. Die Effekte der Abweichungen von Planungsannahmen, die in diese Kategorie einzuordnen sind wie zum Beispiel Einschätzungen von Dauern, Mengen, Massen, Preisen usw., sind innerhalb der Kostengliederung einerseits über die Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten abgedeckt und werden andererseits über aktive Risikomanagementmassnahmen und weitere allgemeine risikomindernde Massnahmen der Betreiber kontrolliert und gesteuert. Für Details zu den allgemeinen risikomindernden Massnahmen wird auf Abschnitt 5.1 verwiesen.

Die gelbe Fläche der Risikomatrix wird für die Ermittlung der Kostenzuschläge für Gefahren beziehungsweise Kostenabzüge für Chancen berücksichtigt. Die Gefahren- und Chancencluster, die in diese Kategorie einzuordnen sind, werden in den Abschnitten 5.2.1 und 5.2.2 beschrieben.

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.

**Risikomatrix Entsorgungskosten**



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

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

**5.3 Nicht berücksichtigte Chancen und Gefahren**

Im Rahmen der Risikobetrachtung wurden über die im Abschnitt 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 Prozent der Entsorgungskosten bei einer äusserst geringen Eintrittswahrscheinlichkeit auszugehen.

## 5.4 Genereller Sicherheitszuschlag

Die Kostengrundlagen zu Zwischenlagerung, Transporten und Behältern basieren auf jahrzehntelanger Betriebserfahrung der Einrichtungen zur Zwischenlagerung, auf aktuellen Marktpreisen und beschafften Behältern.

Die Kostenermittlung für den Teil Entsorgung in diesem Bericht werden durch die Betreiber der Kernkraftwerke, Nagra und ZwiLag durchgeführt. Als Input für die Ermittlung der Entsorgungskosten dienen Angaben der Betreiber zu den jährlichen, im Leistungsbetrieb entstehenden Kosten, die auf langjährigen, vielfach verifizierten Erfahrungen der Betreiber beruhen. Ein grosser Teil der zukünftigen Kosten der hier betrachteten Elemente der Entsorgung ist langfristig vertraglich fixiert und daher mit vergleichsweise geringen Unsicherheiten behaftet.

Die Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten und Gefahren entsprechen den Empfehlungen internationaler Organisationen wie OECD-NEA und IAEA und wurden bezogen auf ein konservatives Toleranzniveau berechnet. Zudem sind rund 65 Prozent der Gesamtkosten bereits angefallen. Die Kostenstrukturen und die Kostengliederung wurden gegenüber der KS16 nicht verändert, somit wird auch eine Vergleichbarkeit der Zuschlagsniveaus gewährleistet. Das Toleranzniveau gegenüber allfälligen Kostenüberschreitungen entspricht demjenigen, welches für die KS16 zugrunde gelegt wurde. Es haben sich zwischen den Abgabeterminen für die beiden Kostenstudien 2016 und 2021 keine Erkenntnisse ergeben, die für eine abweichende Festlegung des generellen Sicherheitszuschlags sprechen. Die Anwendung eines zusätzlichen generellen Sicherheitszuschlags ist deshalb nicht angebracht.

Dementsprechend ist der generelle Sicherheitszuschlag für die Zwischenlagerung, Transporte und Behälter für die KS21 gleich Null. Dies wurde bereits auch bei der Überprüfung der KS16 bestätigt.

## 5.5 Gesamtkosten

Im Folgenden sind die Ergebnisse der Bestimmung der Entsorgungskosten (Zwischenlagerung, Transporte, Behälter für abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle) 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 KS16 verglichen.

Tabelle 20 zeigt die Gesamtkosten der vorliegenden Entsorgungskostenermittlung. Nebst den Kosten ist auch deren Aufschlüsselung gemäss der in Kapitel 3.2 erläuterten Kostengliederung gegeben. Die Resultate der KS16 sind zum Vergleich aufgeführt. Die Kostenermittlungen werden jeweils zum Geldwert des Schätzungsjahres durchgeführt. Für den direkten Vergleich wurden die in der KS16 ermittelten Kosten mit der in der Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung verankerten und im Rückstellungsmodell berücksichtigten Teuerungsrate von 0.5 Prozent von der PB16 auf die PB21 hochgerechnet. Teuerungsbereinigt sinken die Gesamtkosten der Entsorgung für Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung im Vergleich zur KS16 um 1 Prozent.

Die Entsorgungskosten vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs sind durch die Betreiber direkt und laufend zu bezahlen und daher nicht im Entsorgungsfonds sicherzustellen. Die Entsorgungskosten vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs werden daher zusätzlich in Tabelle 20 ausgewiesen und sind in den Gesamtkosten enthalten.

Die bereits aufgelaufenen Entsorgungskosten gemäss dem vorliegenden Bericht betragen 4'626 Millionen Franken, die zukünftigen Kosten betragen insgesamt 2'441 Millionen Franken. Die Entsorgungskosten betragen für die Schweizer Kernkraftwerke zwischen 247 und 866 Millionen Franken und für den Bund 27 Millionen Franken. Von den zukünftigen Kosten sind Kosten in Höhe von 1'877 Millionen Franken fondsrelevant.

Tabelle 20: Entsorgungskostenermittlung für Zwischenlagerung, Transporte, Transport- und Lagerbehälter und Wiederaufarbeitung der KS21. Vergleich mit der KS16 auf der PB21.

Element der Kostengliederung	KKB		KKM <sup>a)</sup>		KKG		KKL		Bund	Total		
<b>Aufgelaufene Kosten bis 2020</b>	<b>1'470</b>		<b>658</b>		<b>1'558</b>		<b>899</b>		<b>41</b>	<b>4'626</b>		
<b>Zukünftige Kosten ab 2021</b>												
<b>Basiskosten</b>	<b>573</b>		<b>214</b>		<b>574</b>		<b>764</b>		<b>23</b>	<b>2'148</b>		
Prognoseungenauigkeiten	5.1%	29	6.1%	13	6.2%	36	6.3%	48	5.8%	1	5.1%	128
Zuschlag für Gefahren	8.2%	47	8.9%	19	7.4%	43	7.1%	55	8.0%	2	8.2%	165
Abzug für Chancen	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0
Genereller Sicherheitszuschlag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zuschlag auf Basiskosten	13.3%	76	15.0%	32	13.6%	78	13.5%	103	13.8%	3	13.6%	293
<b>Zukünftige Kosten ab 2021</b>	<b>649</b>		<b>247</b>		<b>653</b>		<b>866</b>		<b>27</b>	<b>2'441</b>		
<i>nicht fondsrelevant</i>	0		0		144		393		27	564		
<i>fondsrelevant</i>	649		247		508		473		0	1'877		
<b>Gesamtkosten</b>	<b>2'118</b>		<b>904</b>		<b>2'211</b>		<b>1'765</b>		<b>67</b>	<b>7'066</b>		
Gesamtkosten KS16 PB21	2'179		859		2'240		1'790		60	7'128		
Aufgelaufene Kosten bis 2015	1'395		587		1'498		775		38	4'293		
Zukünftige Kosten KS16 ab 2016	784		272		742		1'015		22	2'835		
Differenz	-2.8%	-61	5.3%	46	-1.3%	-29	-1.4%	-25	12.1%	7	-0.9%	-62

Angaben in Millionen Franken, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.  
 Kernkraftwerke Beznau (KKB), Mühleberg (KKM), Gösgen (KKG) und Leibstadt (KKL).  
 Kostenstudie 2021 (KS21), Kostenstudie 2016 (KS16), Preisbasis 2021 (PB21).

<sup>a)</sup> Die aufgelaufenen Kosten beinhalten Kosten in Höhe von 8.34 MCHF aus dem Entsorgungskonzept (vorwiegend Planungskosten wie z. B. Zuarbeiten zum Endlagerkonzept, BE-Behälterbeschaffung und Lizenzierung, Beladeoptionen für BE-Behälter).

Die wichtigsten Änderungen gegenüber der KS16 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Das Personalmengengerüst und die Personalkosten sind bei der Zwiilag basierend auf den aktuellen Kenntnissen und Betriebsmannschaften aktualisiert. Dies hat keinen Einfluss auf die Kosten.
- Erhöhung der der Betriebs- und Investitionskosten bei der Zwiilag aufgrund neuer Gebäude sowie Einzonung von bestehenden Gebäuden.
- Die Kosten für den Betrieb des Zwibez werden nicht mehr den Betriebskosten des Zwiilag angerechnet.
- Die Transporte zwischen Zwiilag und gTL-SMA sind als Transfer berücksichtigt, die Transporte zwischen Zwiilag und gTL-HAA werden als Konvoi ausgeführt. Diese Änderung führt zu einer Kostenreduktion.
- Die Kostenerhöhung des Bundes ist auf eine höhere Kostenermittlung der Kosten für die geologische Tiefenlagerung sowie für die Konditionierung der Abfälle zurückzuführen.



## A Anhänge

### A.1 Kostenverteilungsschlüssel für Zwischenlager und Behandlungsanlagen

#### *Aktionärsschlüssel*

Basis der Aufteilung der Kosten auf die einzelnen Partner ist der so genannte Aktionärsschlüssel. Dies ist der vertraglich festgelegte MWth-Schlüssel des Jahres 1990, dem Jahr, in dem der Gesellschaftsvertrag über die Zwilag Zwischenlager Würenlingen AG abgeschlossen wurde.

#### *Modifizierter Aktionärsschlüssel*

Die Kostenaufteilung wurde ab 2018 entsprechend der voraussichtlich zwischenzulagernden Abfallmengen neu festgelegt, woraus eine Modifikation des Aktionärsschlüssels für jede der Hauptanlagen resultierte.

#### *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 analog 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.

#### *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 21: Kostenverteilungsschlüssel für Zwischenlager und Behandlungsanlagen.

		KKB	KKM	KKG	KKL	Total KKW	Bund (fiktiv)	Total	Anzuwenden auf
<b>Thermische Reaktorleistung 1990<sup>a)</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>b)</sup> Bundes-Beteiligung	24.3%	10.7%	31.2%	33.8%	100.0%			Alle Baukosten und Ersatzinvestitionen des Zwiilag (inkl. Abgeltungen) sowie vereinbarter Anteil an den Betriebskosten. Ausnahme: HAA-Lager
<b>MAA-Lager</b>	Stellplatzverteilung	90	42	90	98	320			Zwiilag allein.
	Verteilschlüssel	28.1%	13.2%	28.1%	30.6%	100.0%			Alle Baukosten und zukünftigen, nicht zuteilbaren Kosten sowie Kosten für die Nuklearisierung des MAA-Lagers.
<b>SMA-lager</b>	Stellplatzverteilung	40	279	257	550	1'126			Zwiilag allein.
	Verteilschlüssel	3.6%	24.8%	22.8%	48.8%	100.0%			Alle Baukosten und zukünftigen, nicht zuteilbaren Kosten sowie Kosten für die Nuklearisierung des SMA-Lagers.
<b>Modifizierter Aktionärs-schlüssel HAA-Lager</b>	TLB-Stellplatzverteilung	12	27	77	84	200			Zwiilag allein.
	Verteilschlüssel	6.0%	13.5%	38.5%	42.0%	100.0%			Alle Baukosten und Ersatzinvestitionen (inkl. Abgeltungen) sowie Betriebskosten des HAA-Lagers.
<b>Verteilschlüssel Zwibez HAA</b>	TLB-Stellplatzverteilung	48	0	0	0	48			Zwibez allein.
	Verteilschlüssel	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%			Alle Kosten Zwibez HAA.

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

<sup>a)</sup> Jahr des Abschlusses des Gründungs- und Beteiligungsvertrags über die Zwiilag.

<sup>b)</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 22: Kosten der Transport- und Lagerbehälter, KS21 und KS16 (PB21) im Vergleich.

	KKB	KKM	KKG	KKL	Total KKW	Bund	Total
<b>KS21 PB21</b>							
<b>Kosten Transport- und Lagerbehälter</b>	<b>275</b>	<b>108</b>	<b>240</b>	<b>402</b>	<b>1'025</b>	<b>2</b>	<b>1'028</b>
aufgelaufene Kosten bis 2020	117	79	82	154	432	2	434
2021 bis EELB	0	0	46	205	251	0	594
nach EELB <sup>a)</sup>	158	29	112	43	343		
<b>KS16 PB21</b>							
<b>Kosten Transport- und Lagerbehälter</b>	<b>244</b>	<b>103</b>	<b>264</b>	<b>505</b>	<b>1'116</b>	<b>2</b>	<b>1'118</b>
aufgelaufene Kosten bis 2015	76	53	60	101	291	2	293
zukünftige Kosten ab 2016 PB21	167	50	204	404	826	0	826
Differenz KS21 KS16	32	5	-24	-103	-91	0	-91
Differenz KS21 KS16 [%]	13.0%	5.0%	-9.1%	-20.5%	-8.1%	-4.0%	-8.1%

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

<sup>a)</sup> Für KKM ab 2021

## A.3 Transportkosten

Tabelle 23: Kosten der Transporte, KS21 und KS16 (PB21) im Vergleich.

	KKB	KKM	KKG	KKL	Total KKW	Bund	Total
<b>KS21 PB21</b>							
<b>Kosten Transporte</b>	<b>127</b>	<b>57</b>	<b>54</b>	<b>40</b>	<b>277</b>	<b>3</b>	<b>280</b>
aufgelaufene Kosten bis 2020	114	44	35	11	204	0	204
2021 bis EELB	0	0	4	10	13	3	77
nach EELB <sup>a)</sup>	12	13	15	19	60		
<b>KS16 PB21</b>							
<b>Kosten Transporte</b>	<b>122</b>	<b>66</b>	<b>65</b>	<b>48</b>	<b>302</b>	<b>4</b>	<b>306</b>
aufgelaufene Kosten bis 2015	101	35	40	9	185	0	185
zukünftige Kosten ab 2016 PB21	21	32	24	40	117	4	121
Differenz KS21 KS16	4	-10	-11	-8	-25	-1	-25
Differenz KS21 KS16 [%]	3.5%	-14.7%	-16.9%	-17.1%	-8.2%	-14.4%	-8.3%

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

<sup>a)</sup> Für KKM ab 2021

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

Tabelle 24: Kosten der zentralen Abfallbehandlung und Zwischenlagerung, KS21 und KS16 (PB21) im Vergleich.

	KKB <sup>b)</sup>	KKM	KKG	KKL	Total KKW	Bund	Total
<b>KS21 PB21</b>							
<b>Kosten Zwischenlagerung</b>	<b>505</b>	<b>351</b>	<b>815</b>	<b>971</b>	<b>2'641</b>	<b>62</b>	<b>2'703</b>
aufgelaufene Kosten bis 2020	224	147	339	381	1'091	39	1'130
2021 bis EELB	0	0	95	178	273	23	1'573
nach EELB <sup>a)</sup>	281	204	381	411	1'277		
<b>KS16 PB21</b>							
<b>Kosten Zwischenlagerung</b>	<b>753</b>	<b>307</b>	<b>782</b>	<b>888</b>	<b>2'730</b>	<b>54</b>	<b>2'784</b>
aufgelaufene Kosten bis 2015	196	119	289	321	925	36	961
zukünftige Kosten ab 2016 PB21	557	188	494	567	1'805	18	1'823
Differenz KS21 KS16	-248	44	32	83	-89	8	-81
Differenz KS21 KS16 [%]	-32.9%	14.3%	4.1%	9.4%	-3.3%	14.6%	-2.9%

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

<sup>a)</sup> Für KKM ab 2021

<sup>b)</sup> Ab KS21 werden die Betriebskosten des Zwibez nach dem Abschluss des nuklearen Rückbaus separat ausgewiesen.

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

Tabelle 25: Kosten des Zwibez und des KKG Nasslagers, KS21 und KS16 (PB21) im Vergleich.

	KKB <sup>a)</sup>	KKM	KKG	KKL	Total KKW
<b>KS21 PB21</b>					
<b>Kosten Zwischenlagerung</b>	<b>222</b>		<b>87</b>		<b>310</b>
aufgelaufene Kosten bis 2020	25		87		112
2021 bis EEB	0		0		0
nach EELB	197		0		197
<b>KS16 PB21</b>					
<b>Kosten Zwischenlagerung</b>	<b>44</b>		<b>114</b>		<b>157</b>
aufgelaufene Kosten bis 2015	25		93		119
zukünftige Kosten ab 2016 PB21	19		20		39
Differenz KS21 KS16	179		-26		152
Differenz KS21 KS16 [%]	408.2%		-23%		96.7%

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

<sup>a)</sup> Ab KS21 werden die Betriebskosten des Zwibez nach dem Abschluss des nuklearen Rückbaus separat ausgewiesen. Bis KS16 waren die Betriebskosten des Zwibez bei Zwiag enthalten.

## A.6 Kosten der Wiederaufarbeitung

Tabelle 26: Kosten der Wiederaufarbeitung, KS21 und KS16 (PB21) im Vergleich.

	KKB	KKM	KKG	KKL	Total KKW
<b>KS21 PB21</b>					
<b>Kosten Wiederaufarbeitung</b>	<b>989</b>	<b>380</b>	<b>1'015</b>	<b>353</b>	<b>2'737</b>
aufgelaufene Kosten bis 2020	989	380	1'015	353	2'737
2021 bis EELB	0	0	0	0	0
nach EELB <sup>a)</sup>	0	0	0	0	0
<b>KS16 PB21</b>					
<b>Kosten Wiederaufarbeitung</b>	<b>1'017</b>	<b>382</b>	<b>1'015</b>	<b>349</b>	<b>2'763</b>
aufgelaufene Kosten bis 2015	996	380	1'015	345	2'736
zukünftige Kosten ab 2016 PB21	20	2	0	4	26
Differenz KS21 KS16	-27	-2	0	4	-25
Differenz KS21 KS16 [%]	-2.7%	-0.4%	0%	1.1%	-0.9%

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

<sup>a)</sup> Für KKM ab 2021

## 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 73 Millionen Franken. Bis 2020 haben die Kernkraftwerkbetreiber und der Bund ungefähr 4.6 Milliarden Franken für Zwischenlagerung, Transporte, Transport- und Lagerbehälter und Wiederaufarbeitung bezahlt.

Die hier betrachteten Entsorgungskosten bei einem 60-jährigen Leistungsbetrieb steigen um gut 3 Prozent gegenüber einem 50-jährigen Leistungsbetrieb. Die Mehrkosten belaufen sich auf rund 250 Millionen Franken. Der Zuschlag auf die ermittelten Basiskosten beträgt 13 Prozent.

Tabelle 27: Entsorgungskosten bei einem Leistungsbetrieb der Kernkraftwerke von 60 Jahren.

Element der Kostengliederung	KKB		KKM <sup>a)</sup>		KKG		KKL		Bund		Total	
<b>Aufgelaufene Kosten KS21 bis 2020</b>	<b>1'470</b>		<b>658</b>		<b>1'558</b>		<b>899</b>		<b>41</b>		<b>4'626</b>	
<b>Zukünftige Kosten ab 2021</b>												
<b>Basiskosten</b>	<b>611</b>		<b>225</b>		<b>640</b>		<b>874</b>		<b>28</b>		<b>2'377</b>	
Prognoseungenauigkeiten	5.3%	32	5.9%	13	6.1%	39	6.2%	54	5.4%	2	5.9%	140
Zuschlag für Gefahren	7.7%	47	9.0%	20	7.3%	47	7.0%	61	8.6%	2	7.5%	178
Abzug für Chancen	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0
Genereller Sicherheitszuschlag	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-
Zuschlag auf zukünftige Basiskosten	13.1%	80	15.0%	34	13.4%	86	13.1%	115	14.0%	4	13.4%	318
<b>Zukünftige Kosten ab 2021</b>	<b>691</b>		<b>258</b>		<b>725</b>		<b>989</b>		<b>32</b>		<b>2'696</b>	
<b>Gesamtkosten KS21 60 Jahre</b>	<b>2'160</b>		<b>916</b>		<b>2'284</b>		<b>1'888</b>		<b>73</b>		<b>7'321</b>	
<b>Gesamtkosten KS21 50 Jahre</b>	<b>2'118</b>		<b>904</b>		<b>2'211</b>		<b>1'765</b>		<b>67</b>		<b>7'066</b>	
Aufgelaufene Kosten KS21 bis 2020	1'470		658		1'558		899		41		4'626	
Zukünftige Kosten ab 2021	649		247		653		866		27		2'441	
Differenz 60 Jahre/ 50 Jahre	1.9%	42	1.3%	12	3.2%	73	6.5%	122	7.9%	6	3.5%	255

Angaben in Millionen Franken, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.  
Kernkraftwerke Beznau (KKB), Mühleberg (KKM), Gösgen (KKG) und Leibstadt (KKL).  
Kostenstudie 2021 (KS21), Kostenstudie 2016 (KS16), Preisbasis 2021 (PB21).

<sup>a)</sup> Die aufgelaufenen Kosten beinhalten Kosten in Höhe von 8.34 MCHF aus dem Entsorgungskonzept (vorwiegend Planungskosten wie z. B. Zuarbeiten zum Endlagerkonzept, BE-Behälterbeschaffung und Lizenzierung, Beladoptionen für BE-Behälter).

## A.8 Referenzen

- [1] swissnuclear, Kostenstudie 2021 (KS21) Mantelbericht, SN-AN-21.194, Olten, Schweiz, 2021.
- [2] swissnuclear, Kostenstudie 2021 (KS21) Ermittlung der Entsorgungskosten – Geologische Tiefenlagerung, SN-AN-21.198, Olten, Schweiz, 2021.
- [3] swissnuclear, Kostenstudie 2021 (KS21) Ermittlung der Nachbetriebskosten der Schweizer Kernkraftwerke, SN-AN-21.196, Olten, Schweiz, 2021.
- [4] swissnuclear, Kostenstudie 2021 (KS21) Ermittlung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen, SN-AN-21.197, Schweiz, 2021.
- [5] swissnuclear, Kostenstudie 2021 (KS21) Abkürzungen, Begriffe, Glossar, SN-AN-21.199, Olten, Schweiz, 2021.
- [6] SR 814.50 Strahlenschutzgesetz (StSG) vom 22. März 1991 (Stand 1. Mai 2017).
- [7] SR 814.501 Strahlenschutzverordnung (StSV) vom 26. April 2017 (Stand 1. Februar 2019).
- [8] SR 732.1 Kernenergiegesetz (KEG) vom 21. März 2003 (Stand 1. Januar 2020).
- [9] SR 732.11 Kernenergieverordnung (KEV) vom 10. Dezember 2004 (Stand 1. Februar 2019).
- [10] SR-732.12 Safeguardsverordnung (SaV) vom 21. März 2012 (Stand am 1. Juli 2016).
- [11] 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).
- [12] SR 732.112.2 Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen vom 17. Juni 2009 (Stand am 1. Februar 2019).
- [13] SR 732.441 Kernenergiehaftpflichtverordnung (KHV) vom 5. Dezember 1983 (Stand am 15. Februar 2015).
- [14] SR 732.17 Verordnung über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen (Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung, SEFV) vom 7. Dezember 2007 (Stand 1. Januar 2020).
- [15] SR 220 Bundesgesetz betreffend die Ergänzung des Schweizerischen Zivilgesetzbuches (Fünfter Teil: Obligationenrecht) vom 30. März 1911 (Stand am 1. Januar 2020).
- [16] International Financial Reporting Standards (IFRS); [www.ifrs.org](http://www.ifrs.org).
- [17] Schweizer Standards für die Rechnungslegung in Unternehmen, Generally Accepted Accounting Principles, Fachempfehlung zur Rechnungslegung; [www.fer.ch](http://www.fer.ch) (Swiss GAAP FER).
- [18] Entsorgungsprogramm 2021 (EP21) der Entsorgungspflichtigen, Nagra Technischer Bericht NTB 21-01. Nagra, Wettingen, Schweiz, Dezember 2021.
- [19] Modellhaftes Inventar für radioaktive Materialien MIRAM 14, Nagra Technischer Bericht NTB 14-04, Dezember 2014.
- [20] SR 822.11 Bundesgesetz über die Arbeit in Industrie, Gewerbe und Handel (Arbeitsgesetz, ArG) vom 13. März 1964 (Stand am 9. Dezember 2018).
- [21] SR 822.111 Verordnung 1 zum Arbeitsgesetz (ArGV 1) vom 10. Mai 2000 (Stand am 1. Januar 2016).
- [22] SR 822.112 Verordnung 2 zum Arbeitsgesetz (ArGV 2) (Sonderbestimmungen für bestimmte Gruppen von Betrieben oder Arbeitnehmern und Arbeitnehmerinnen) vom 10. Mai 2000 (Stand am 1. April 2019).
- [23] SR 822.113 Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz (ArGV 3) (Gesundheitsschutz) vom 18. August 1993 (Stand am 1. Oktober 2015).
- [24] SR 822.114 Verordnung 4 zum Arbeitsgesetz (ArGV 4) (Industrielle Betriebe, Plangenehmigung und Betriebsbewilligung) vom 18. August 1993 (Stand am 1. Mai 2015).
- [25] SR 832.30 Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten (Verordnung über die Unfallverhütung, VUV) vom 19. Dezember 1993 (Stand am 1. Mai 2018).

- [26] SR 832.20 Bundesgesetz über die Unfallversicherung (UVG) vom 20. März 1981 (Stand am 1. Januar 2020).
- [27] SR 832.202 Verordnung über die Unfallversicherung (UVV) vom 20. Dezember 1982 (Stand am 1. April 2018).
- [28] SR 732.13 Verordnung über sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen in Kernanlagen (VBRK) vom 9. Juni 2006 (Stand am 1. Januar 2009).
- [29] SR 819.14 Verordnung über die Sicherheit von Maschinen (Maschinenverordnung, MaschV) vom 2. April 2008 (Stand am 15. Januar 2017).
- [30] SR 814.501.43 Verordnung des EDI über die Personen- und Umgebungsdosimetrie (Dosimetrierverordnung) vom 26. April 2017 (Stand am 1. Januar 2018).
- [31] SR 732.143.1 Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen (VAPK) vom 9. Juni 2006 (Stand am 1. Januar 2009).
- [32] SR 732.222 Gebührenverordnung des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats (Gebührenverordnung ENSI) vom 9. September 2008 (Stand am 1. Januar 2009).
- [33] SR 814.56 Verordnung über die Gebühren im Strahlenschutz (GebV-StS) vom 26. April 2017 (Stand am 1. Januar 2018).
- [34] ENSI-A01 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen A01/d, Technische Sicherheitsanalyse für bestehende Kernanlagen: Umfang, Methodik und Randbedingungen, Ausgabe Januar 2020.
- [35] ENSI-A04 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen A04/d, Gesuchsunterlagen für freigabepflichtige Änderungen an Kernanlagen, Revision 1 vom 24. September 2009 (Änderung vom 13. April 2016).
- [36] ENSI-A05 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen A05/d, Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Qualität und Umfang, Ausgabe Januar 2018.
- [37] ENSI-A06 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen A06/d, Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Anwendungen, Ausgabe November 2015.
- [38] ENSI-A08 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen A08/d, Quelltermanalyse: Umfang, Methodik und Randbedingungen, Ausgabe Februar 2010.
- [39] ENSI-B01 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B01/d, Alterungsüberwachung, Ausgabe August 2011.
- [40] ENSI-B02 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B02/d, Periodische Berichterstattung der Kernanlagen, Ausgabe September 2008, Revision 5 vom 30. Juni 2015.
- [41] ENSI-B03 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B03/d, Meldungen der Kernanlagen, Ausgabe September 2008, Revision 4 vom 28. November 2016.
- [42] ENSI-B04 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B04/d, Befreiung von Kontroll- und Überwachungsbereichen sowie Materialien von der Bewilligungspflicht und Aufsicht, Ausgabe November 2018.
- [43] ENSI-B05 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B05/d, Anforderungen an die Konditionierung radioaktiver Abfälle, Ausgabe Februar 2007, Revision 1 vom 20. Dezember 2018.
- [44] ENSI-B06 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B06/d, Sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen: Instandhaltung, Revision 2 vom 1. Juni 2013.
- [45] ENSI-B09 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B09/d, Ermittlung und Aufzeichnung der Dosis strahlenexponierter Personen, Ausgabe Juli 2018.
- [46] ENSI-B10 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B10/d, Ausbildung, Wiederholungsschulung und Weiterbildung von Personal, Ausgabe Oktober 2010.
- [47] ENSI-B11 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B11/d, Notfallübungen, Ausgabe November 2007, Revision 1 vom 1. Januar 2013 (geändert am 23. Dezember 2015).
- [48] ENSI-B12 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B12/d, Notfallschutz in Kernanlagen, Ausgabe August 2019.

- [49] ENSI-B13 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B13/d, Ausbildung und Fortbildung des Strahlenschutzpersonals, Ausgabe November 2010.
- [50] ENSI-G01 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G01/d, Sicherheitstechnische Klassierung für bestehende Kernkraftwerke, Ausgabe Januar 2011.
- [51] ENSI-G03 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G03/d, Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis, Ausgabe Dezember 2020.
- [52] ENSI-B17 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B17/d, Betrieb von Zwischenlagern für radioaktive Abfälle, Ausgabe Januar 2020.
- [53] ENSI-G05 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G05/d, Transport- und Lagerbehälter für die Zwischenlagerung, Ausgabe April 2008 (Änderung vom 20. Dezember 2018).
- [54] ENSI-G07 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G07/d, Organisation von Kernanlagen, Ausgabe Juli 2013.
- [55] ENSI-G08 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G08/d, Systematische Sicherheitsbewertungen des Betriebs von Kernanlagen, Ausgabe Juni 2015.
- [56] ENSI-G09 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G09/d, Betriebsdokumentation, Ausgabe Juni 2014 (Änderung vom 19. August 2019).
- [57] 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.
- [58] ENSI-G13 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G13/d, Messmittel für ionisierende Strahlung, Ausgabe Oktober 2015 (Änderung vom 23. November 2018).
- [59] 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.
- [60] ENSI-G15 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G15/d, Strahlenschutzziele für Kernanlagen, Ausgabe November 2010.
- [61] ENSI-G17 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G17/d, Stilllegung von Kernanlagen, Ausgabe April 2014.
- [62] 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.
- [63] HSK R-50 Richtlinie für schweizerische Kernanlagen R-50/d, Sicherheitstechnische Anforderungen an den Brandschutz in Kernanlagen, Ausgabe März 2003.
- [64] 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.
- [65] ICRP Publication 103, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Ann. ICRP 37 (2-4), 2007.
- [66] IAEA GSR Part 2, Leadership and Management for Safety, General Safety Requirements, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 2, Vienna 2016.
- [67] 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.
- [68] IAEA GSR Part 6, Decommissioning of Facilities, General Safety Requirements, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 6, Vienna 2014.
- [69] IAEA SSG-47, Decommissioning of Nuclear Power Plants, Research Reactors and Other Nuclear Fuel Cycle Facilities, Specific Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. SSG-47, Vienna 2018.

- [70] 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.
- [71] 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.
- [72] IAEA TRS No. 395 State of the Art Technology for Decontamination and Dismantling of Nuclear Facilities, IAEA Technical Report Series, Vienna 1999.
- [73] IAEA TECDOC-1476 Safety Related Publications, Financial Aspects of Decommissioning, Vienna, November 2005.
- [74] 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.
- [75] 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.
- [76] OECD, Nuclear Energy Agency NEA, Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants, NEA No. 7201, OECD 2016.
- [77] NDA PCP-M United Kingdom Nuclear Decommissioning Authority, Baseline Management System Programme Controls Procedures, Doc No: PCP-M Rev. 3, March 2019.
- [78] U. S. DOE G 413.3-21A U. S. Department of Energy, Cost Estimating Guide, Washington D. C., June 2018.
- [79] SR 742.412 Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter mit Eisenbahnen und Seilbahnen (RSD), vom 31. Oktober 2012 (Stand am 1. Januar 2019).
- [80] SR 0.742.403.1 Übereinkommen über den internationalen Eisenbahnverkehr (COTIF 1980), vom 9. Mai 1980 (Stand am 8. August 2006).
- [81] Convention relative aux transports internationaux ferroviaires (COTIF), Appendice C – Règlement concernant le transport international ferroviaire des marchandises dangereuses (RID), applicable à partir du 1er janvier 2015.
- [82] SR 741.621 Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (SDR), vom 29. November 2002 (Stand am 1. Januar 2019).
- [83] SR 0.741.621 Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (ADR), vom 30. September 1957 (Stand am 19. Juni 2019).
- [84] IAEA SSR-6 (Rev. 1), Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, Specific Safety Requirements, IAEA Safety Standards Series No. SSR-6 (Rev.1); Vienna 2018.
- [85] IAEA SSG-26, Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material (2012 Edition), Specific Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. SSG-26, Vienna 2014.
- [86] SR 732.44 Kernenergiehaftpflichtgesetz (KHG) vom 18. März 1983 (Stand am 1. Januar 2011).
- [87] 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>.
- [88] Finanzierung der Entsorgung radioaktiver Abfälle im Verantwortungsbereich des Bundes, Bericht der Arbeitsgruppe, Bundesamt für Gesundheit (BAG), 30. November 2018.

**A.9 Verwendete Abkürzungen**

<b>Abkürzung</b>	<b>Erläuterung</b>
Abs.	Absatz
ADR	Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse
AK	Ausgangskosten
Art.	Artikel
ATA	Alphatoxische Abfälle
BA	Betriebsabfälle der Kernkraftwerke
BAG	Bundesamt für Gesundheit
BE	Brennelemente
BEVA	Verpackungsanlage für BE und HAA (Brennelementeverpackungsanlage)
BK	Basiskosten
Bst.	Buchstabe
CERN	Europäische Organisation für Kernforschung (European Organization for Nuclear Research)
CHF	Schweizer Franken
EEB	Endgültige Einstellung des Betriebs
EEL	Endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs
ELB	Endlagerbehälter
ELFB	Endlagerfähigkeitsbescheinigung
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
EP21	Entsorgungsprogramm 2021 der Entsorgungspflichtigen
gTL	Geologisches Tiefenlager
HAA	Hochaktive Abfälle
HAA-Lager	Geologisches Tiefenlager für hochaktive Abfälle
HSK	Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (heute ENSI)
IAEA	International Atomic Energy Agency
IBN	Inbetriebnahme
ICRP	International Commission on Radiological Protection
ISDC	International Structure for Decommissioning Costing of Nuclear Installations
ISRAM	Informationssystem für radioaktive Materialien
KEG	Kernenergiegesetz
KEV	Kernenergieverordnung
KKB	Kernkraftwerk Beznau
KKG	Kernkraftwerk Gösgen
KKL	Kernkraftwerk Leibstadt
KKM	Kernkraftwerk Mühleberg
KKW	Kernkraftwerk
KS11	Kostenstudie 2011
KS16	Kostenstudie 2016

KS21	Kostenstudie 2021
m, m <sup>2</sup> , m <sup>3</sup>	Meter, Quadratmeter, Kubikmeter
MCHF	Millionen Schweizer Franken (Mio. CHF)
Mg	Megagramm (Tonne)
MIF	Medizin, Industrie und Forschung
Mio.	Millionen
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
OFA	Oberflächenanlage
OR	Obligationenrecht
PB16	Preisbasis 1.1.2016
PB21	Preisbasis 1.1.2021
PSI	Paul Scherrer Institut
PSP	Projektstrukturplan
PSP-Element	Element im Projektstrukturplan
PU	Prognoseungenauigkeiten
RA	Reaktorabfälle
RID	Ordnung über die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter
RM	Kosten für Massnahmen zur Risikominderung
RSD	Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter mit Eisenbahnen und Seilbahnen
SA	Stilllegungsabfälle
SDR	Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse
SEFV	Verordnung über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen
SEV	Schweizer Elektrotechnischer Verein
SMA	Schwach- und mittelaktive Abfälle
SMA-Lager	Geologisches Tiefenlager für schwach- und mittelaktive Abfälle
StSG	Strahlenschutzgesetz
StSV	Strahlenschutzverordnung
TLB	Transport- und Lagerbehälter
U. S. DOE	United States Department of Energy
usw.	Und so weiter
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
WA	Wiederaufarbeitung
z. B.	Zum Beispiel
Zwibez	Zwischenlager Beznau
Zwilag	Zwilag Zwischenlager Würenlingen AG



**swissnuclear**

Postfach 1663, 4601 Olten

T +41 62 205 20 10

F +41 62 205 20 11

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

[medien@swissnuclear.ch](mailto:medien@swissnuclear.ch)

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

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

