SWISSNUCLEAR

KOSTENSTUDIE 2026 (KS26)

ERMITTLUNG DER ENTSORGUNGSKOSTEN – ZWISCHENLAGERUNG, TRANSPORTE, BEHÄLTER UND WIEDERAUFARBEITUNG

Postfach, 4601 Olten
info@swissnuclear.ch
www.swissnuclear.ch

30. September 2026

Zusammenfassung

Das Kernenergiegesetz sieht einen Stilllegungs- und einen Entsorgungsfonds vor; die Eigentümer von Kernanlagen leisten Beiträge an beide Fonds[a]. 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 Betreiber der Kernanlagen für die Stilllegung und die nukleare Entsorgung zurückstellen sowie in den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds einzahlen müssen. Diese Kostenermittlung hat gemäss der Verordnung[b] über den Stilllegungs- und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen alle fünf Jahre zu erfolgen.

Die letzte Ermittlung der Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten erfolgte im Jahr 2021. Sie wurde vom Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat geprüft und zusätzlich einer unabhängigen Kostenprüfung unterzogen. Hinsichtlich der Stilllegungs- und Entsorgungskosten wurde sie durch die Verwaltungskommission des Stilllegungs- und des Entsorgungsfonds für Kernanlagen, im Folgenden kurz Verwaltungskommission genannt, genehmigt. Sie bildete die Grundlage für die Bemessung der buchhalterischen Rückstellungen der Betreiber sowie der Fondsbeiträge für die Jahre 2022 bis 2026.

Im Jahr 2023 beauftragten die Betreiber der Schweizer Kernanlagen swissnuclear, die Kostenstudie 2026 in Zusammenarbeit mit den für die Stilllegung und die Entsorgung in der Schweiz verantwortlichen Organisationen wie gesetzlich vorgeschrieben neu zu erstellen und bis Ende September 2026 bei der Verwaltungskommission einzureichen. Dabei sind die von der Verwaltungskommission festgelegten Vorgaben für die Erstellung der Kostenstudie zu berücksichtigen.

Die Dokumentation zur Kostenstudie besteht aus dem Mantelbericht [3], dem hier vorliegenden Bericht zu den Entsorgungskosten für Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung, dem Bericht zu den Entsorgungskosten der geologischen Tiefenlagerung [4] sowie den Berichten zu den Nachbetriebskosten [5] und den Stilllegungskosten [6]. Diese Berichte berücksichtigen auch die Empfehlungen aus der Überprüfung der Kostenstudie 2021. Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat und unabhängige Kostenprüfer im Auftrag der Verwaltungskommission werden die Kostenstudie 2026 wiederum prüfen.

Die Vorgaben für die Erstellung der Kostenstudie 2026 enthalten auch Weisungen, wie mit Ungenauigkeiten und Risiken umzugehen ist. Die mit der Kostenstudie 2016 eingeführte Kostengliederung wurde, wie bereits in der Kostenstudie 2021, auch für die Kostenstudie 2026 beibehalten und bei der Ermittlung und Darstellung der Kosten angewendet.

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 methodischen Grundlagen der Kostenstudie 2026 entsprechen weitgehend denjenigen der Kostenstudien 2016 und 2021. Insbesondere wurden die mit der Kostenstudie 2016 eingeführten Kostenstrukturen und die Kostengliederung beibehalten. Damit sind die Ergebnisse auf den höheren Gliederungsebenen grundsätzlich gut mit denjenigen der früheren Kostenstudien vergleichbar. Die Kostenermittlungen basieren auf dem rechtlichen und regulatorischen Rahmen per 1. Januar 2025.

[a] Art. 77 Abs. 1–3 des Kernenergiegesetzes [1].
[b] Art. 4 der Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung [2].

Die Entsorgungskosten umfassen alle bereits bezahlten und zukünftigen Kosten der Planung, des Baus und des Betriebs von Entsorgungsanlagen. Dazu gehören das zentrale Zwischenlager, das Zwischenlager Beznau, das Nasslager des Kernkraftwerks Gösgen, die Verpackungsanlagen sowie das geologische Tiefenlager. Hinzu kommen die Anschaffungskosten von Transport- und Lagerbehältern sowie die Kosten für Dienstleistungen Dritter, insbesondere für die Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente, für Transporte und für weitere Dienstleistungen. Die Entsorgungskosten umfassen zudem die Stilllegung und den Rückbau der Verpackungsanlagen und der Oberflächeninfrastruktur des geologischen Tiefenlagers sowie den Verschluss des geologischen Tiefenlagers. Diese Kostenelemente wurden durch die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra), die Zwilag Zwischenlager Würenlingen AG und die Kernkraftwerke ermittelt.

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

Kostenstudien werden jeweils zum Geldwert des Schätzungsjahres durchgeführt. Für den direkten Vergleich wurden die in Kostenstudie 2021 ausgewiesenen Kosten von der Preisbasis 2021 auf die Preisbasis 2026 hochgerechnet. Zur Anpassung der Preisbasis wurden zwei Preisindizes verwendet: der Landesindex der Konsumentenpreise (LIK) und der Baupreisindex (BAP).

Tabelle 1 zeigt die ermittelten Entsorgungskosten für Zwischenlagerung, Transporte, Transport- und Lagerbehälter und Wiederaufarbeitung sowie den Vergleich mit den Ergebnissen der Kostenstudie 2021. Die aufgelaufenen Kosten wurden nicht teuerungsbereinigt. Bis Ende 2025 haben die Kernkraftwerkbetreiber und der Bund 5.0 Milliarden Franken für Zwischenlagerung, Transporte, Transport- und Lagerbehälter und Wiederaufarbeitung bezahlt. Teuerungsbereinigt liegen die Gesamtkosten der Entsorgung für Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung gegenüber der Kostenstudie 2021 bei Verwendung des Landesindex der Konsumentenpreise um rund 4 Prozent und bei Verwendung des Baupreisindex um rund 1 Prozent höher.

Für Zwischenlagerung, Transporte, Transport- und Lagerbehälter und Wiederaufarbeitung fallen ab 2026 noch rund 2.55 Milliarden Franken an. Davon sind rund 1.99 Milliarden Franken fondsrelevant und rund 0.56 Milliarden Franken nicht fondsrelevant.

Die nächste Kostenermittlung ist für 2031 vorgesehen.

Tabelle 1: Entsorgungskostenermittlung für Zwischenlagerung, Transporte, Transport- und Lagerbehälter und Wiederaufarbeitung der Kostenstudie 2026. Vergleich mit der Kostenstudie 2021 auf der Preisbasis 2026.

Element der Kostengliederung		KKB		KKM[a)]		KKG		KKL		Bund		Total
Aufgelaufene Kosten bis 2025		**1'582**		**721**		**1'657**		**1'029**		**43**		**5'032**
Zukünftige Kosten ab 2026												
Basiskosten		**669**		**218**		**640**		**803**		**24**		**2'354**
Prognoseungenauigkeiten	*4.4%*	30	*5.0%*	11	*5.4%*	34	*5.3%*	43	*4.4%*	1	*5.0%*	119
Zuschlag für Gefahren	*6.9%*	46	*8.1%*	18	*6.9%*	44	*6.7%*	54	*10.3%*	3	*7.0%*	164
Abzug für Chancen	*-3.7%*	-25	*-4.5%*	-10	*-3.7%*	-24	*-3.7%*	-30	*-3.5%*	-1	*-3.8%*	-89
Genereller Sicherheitszuschlag		-		-		-		-		-		
Zuschlag auf Basiskosten	*7.6%*	51	*8.6%*	19	*8.5%*	54	*8.3%*	67	*11.1%*	3	*8.2%*	194
Zukünftige Kosten ab 2026		**720**		**237**		**694**		**870**		**27**		**2'548**
nicht fondsrelevant		*114*		*0*		*103*		*315*		*27*		*560*
fondsrelevant		*606*		*237*		*591*		*555*		*0*		*1'989*
Gesamtkosten		**2'301**		**958**		**2'351**		**1'899**		**70**		**7'580**
Gesamtkosten KS21 PB26 LIK		2'208		921		2'256		1'825		69		7'279
Differenz	*4.2%*	94	*4.0%*	37	*4.2%*	95	*4.1%*	74	*1.8%*	1	*4.1%*	300
Gesamtkosten KS21 PB26 BAP		2'270		944		2'315		1'903		71		7'502
Differenz	*1.4%*	32	*1.5%*	15	*1.6%*	36	*-0.2%*	-4	*-1.7%*	-1	*1.0%*	78

Angaben in Millionen Franken, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.
Kernkraftwerke Beznau (KKB), Mühleberg (KKM), Gösgen (KKG) und Leibstadt (KKL).
Kostenstudie 2026 (KS26), Kostenstudie 2021 (KS21), Preisbasis 2026 (PB26).
PB26 teuerungsbereinigt mit Landesindex der Konsumentenpreise (LIK) und Baupreisindex (BAP).
[a)] Die aufgelaufenen Kosten beinhalten Kosten in Höhe von 9.16 MCHF aus dem Entsorgungskonzept (vorwiegend Planungskosten wie beispielsweise Zuarbeiten zum Endlagerkonzept, BE-Behälterbeschaffung und Lizenzierung, Beladeoptionen für BE-Behälter).

Inhalt

Zusammenfassung II

Abbildungsverzeichnis VI

Tabellenverzeichnis VI

1 Ausgangslage 1
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 . . . 2
1.2.3 Rückstellungen für Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten . . . 3
1.2.4 Kostenstudien der Stilllegungs- und Entsorgungspflichtigen . . . 4
1.3 Mit der Entsorgung beauftragte Organisationen . . . 4
1.3.1 Betreiber der Kernanlagen . . . 4
1.3.2 Zwilag . . . 4
1.3.3 Nagra . . . 5
1.3.4 Swissnuclear . . . 5
1.3.5 Bund . . . 5
1.4 Entsorgungsprogramm . . . 6
1.5 Radioaktive Abfälle nach Abfallsorten . . . 8
1.6 Betriebsdauer der Kernkraftwerke . . . 10
1.7 Realisierungsprogramm der Entsorgung und zeitliche Gliederung . . . 12

2 Vorgaben und Annahmen 13
2.1 Rechtliche und behördliche Vorgaben . . . 13
2.2 Annahmen und Rahmenbedingungen . . . 13

3 Methodik der Kostenermittlung 15
3.1 Kostenstruktur . . . 15
3.2 Kostengliederung . . . 16
3.2.1 Vorgaben zur Kostengliederung . . . 17
3.2.2 Umsetzung der Kostengliederung . . . 19
3.3 Modellhaftes Inventar für die Kostenrechnung . . . 23
3.4 Methodik der Kostenaufteilung . . . 24
3.4.1 Bundesanteil an den Entsorgungskosten . . . 24
3.4.2 Kostenaufteilung Zwilag-Anlagen . . . 25

4 Kostenelemente der Entsorgung 26
4.1 Abgrenzung der Entsorgungskosten von den Nachbetriebs- und Stilllegungskosten . . . 26
4.2 Transport- und Lagerbehälter . . . 29
4.3 Weitere Abfallbehälter . . . 29
4.4 Transporte . . . 37
4.5 Wiederaufarbeitung . . . 37
4.6 Zentrale Abfallbehandlung und Zwischenlagerung (Zwilag) . . . 37
4.7 Zwischenlager Kernkraftwerk Beznau (ZWIBEZ) . . . 38
4.8 Nasslager des Kernkraftwerks Gösgen . . . 38
4.9 Bau und Betriebsdauer der Entsorgungsanlagen . . . 38

5 Resultate der Ermittlung der Entsorgungskosten 40
5.1 Basiskosten und Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten . . . 40
5.2 Kostenzuschläge für Gefahren und Kostenabzüge für Chancen . . . 44
5.2.1 Kostenzuschläge für Gefahren . . . 44
5.2.2 Kostenabzüge für Chancen . . . 47
5.2.3 Quantifizierung der Kostenfolgen von Gefahren und Chancen . . . 47
5.2.4 Risikomatrix . . . 48

5.3 Nicht berücksichtigte Chancen und Gefahren 49
5.4 Genereller Sicherheitszuschlag 49
5.5 Gesamtkosten 50

A Anhänge **52**
A.1 Kostenverteilschlüssel für Zwischenlager und Behandlungsanlagen 52
A.2 Kosten der Transport- und Lagerbehälter 54
A.3 Transportkosten 55
A.4 Kosten der zentralen Abfallbehandlung sowie Zwischenlager von BE und radioaktiven Abfällen 56
A.5 Kosten des ZWIBEZ und des KKG Nasslagers 57
A.6 Kosten der Wiederaufarbeitung 58
A.7 Vergleich der Entsorgungskosten für unterschiedliche Betriebsdauerannahmen 59
A.8 Qualitative Betrachtung der Entsorgungskosten bei einer Betriebsdauer von 70 Jahren . . 61
A.9 Referenzen 62
A.10 Abkürzungen 63

Abbildungsverzeichnis

1 Übersicht über die Verknüpfung der Teilberichte und die Finanzierung des Nachbetriebs, der Stilllegung und der Entsorgung. . . . 1

2 Übergeordnete Elemente der Entsorgung in der Schweiz. . . . 7

3 Zeitliche Gliederung der wichtigsten Anlagen und Phasen des Entsorgungspfades für das Basisszenario. . . . 12

4 Grafische Darstellung der Kostengliederung für die Kostenstudie 2026. . . . 17

5 Risikomatrix Entsorgung Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung. 48

Tabellenverzeichnis

1 Entsorgungskostenermittlung für Zwischenlagerung, Transporte, Transport- und Lagerbehälter und Wiederaufarbeitung der Kostenstudie 2026. . . . III

2 Charakterisierung der radioaktiven Abfälle nach Abfallsorten. . . . 9

3 Abfallmengen bei einem 60-jährigen Betrieb von KKB, einem 47-jährigen Betrieb von KKM sowie einem 50-jährigen Betrieb von KKG und KKL. . . . 10

4 Betriebs- und Stilllegungszeiten der Schweizer Kernkraftwerke und der Einrichtungen zur Zwischenlagerung der radioaktiven Abfälle. . . . 11

5 Kostenelemente der Entsorgung. . . . 26

6 Abgrenzung der Kosten für die Auslagerung der Brennelemente. . . . 27

7 Abgrenzung der Kosten für die Betriebsabfälle aus Leistungs- und Nachbetrieb. . . . 27

8 Abgrenzung der Kosten für die Reaktorabfälle. . . . 28

9 Abgrenzung der Kosten für die Stilllegungsabfälle. . . . 28

10 Abfallgebindespektrum und dessen wichtigste Eigenschaften. . . . 30

11 Endlagerbehälter für die Kostenstudie 2026. . . . 34

12 Transportkonzept für die Kostenstudie 2026. . . . 36

13 Planungs-, Bau- und Betriebszeiten der Entsorgungsanlagen. . . . 39

14 Entsorgungskosten KKB für Zwischenlagerung, Transporte und Behälter. . . . 42

15 Entsorgungskosten KKM für Zwischenlagerung, Transporte und Behälter. . . . 42

16 Entsorgungskosten KKG für Zwischenlagerung, Transporte und Behälter. . . . 43

17 Entsorgungskosten KKL für Zwischenlagerung, Transporte und Behälter. . . . 43

18 Entsorgungskosten Bund für Zwischenlagerung, Transporte und Behälter. . . . 44

19 Kostenzuschlag für Gefahren und Kostenabzug für Chancen. . . . 47

20 Entsorgungskostenermittlung für Zwischenlagerung, Transporte, Transport- und Lagerbehälter und Wiederaufarbeitung der Kostenstudie 2026. . . . 50

21 Kostenverteilschlüssel für Zwischenlager und Behandlungsanlagen. 53

22 Kosten der Transport- und Lagerbehälter, Kostenstudie 2026 und Kostenstudie 2021 auf Preisbasis 2026 im Vergleich. 54

23 Kosten der Transporte, Kostenstudie 2026 und Kostenstudie 2021 auf Preisbasis 2026 im Vergleich. 55

24 Kosten der zentralen Abfallbehandlung und Zwischenlagerung, Kostenstudie 2026 und Kostenstudie 2021 auf Preisbasis 2026 im Vergleich. 56

25 Kosten des ZWIBEZ und des KKG Nasslagers, Kostenstudie 2026 und Kostenstudie 2021 auf Preisbasis 2026 im Vergleich. 57

26 Kosten der Wiederaufarbeitung, Kostenstudie 2026 und Kostenstudie 2021 auf Preisbasis 2026 im Vergleich. 58

27 Entsorgungskosten im Szenario 1: 63-jährige Betriebsdauer von KKB, 47-jährige Betriebsdauer von KKM sowie 50-jährige Betriebsdauer von KKG und KKL. 59

28 Entsorgungskosten im Szenario 2: 63-jährige Betriebsdauer von KKB, 47-jährige Betriebsdauer von KKM sowie 60-jährige Betriebsdauer von KKG und KKL. 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. Ergänzend werden im Rahmen der Kostenstudie auch die Nachbetriebskosten der Schweizer Kernkraftwerke ermittelt.

Die Kostenstudie 2026 ist im Mantelbericht [3] zusammengefasst und umfasst vier Teilberichte:

- Ermittlung der Nachbetriebskosten der Schweizer Kernkraftwerke [5].
- Ermittlung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen [6].
- Ermittlung der Entsorgungskosten – Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung (dieser Bericht).
- Ermittlung der Entsorgungskosten – Geologische Tiefenlagerung [4].

Der Mantelbericht [3] erläutert die Rahmenbedingungen der Kostenstudie 2026 und fasst die wichtigsten Resultate der vier Teilberichte zusammen. Der vorliegende Bericht ist der Teilbericht «Ermittlung der Entsorgungskosten – Zwischenlagerung, Transporte, Behälter, Wiederaufarbeitung». Er nimmt Bezug auf die im Mantelbericht [3] gegebenen Erläuterungen der Rahmenbedingungen und Neuerungen im Vergleich zur Kostenstudie 2021 und präzisiert diese Angaben hinsichtlich der Spezifika der Entsorgung. Die Ermittlung der Entsorgungskosten wird gemäss den in der Kostenstudie 2016 eingeführten Kostenstrukturen vorgenommen und entsprechend der damals eingeführten Kostengliederung dargestellt.

Abbildung 1 gibt eine Übersicht über die Verknüpfung der Berichte der Kostenstudie 2026 sowie der Finanzierung des Nachbetriebs, der Stilllegung und der Entsorgung.

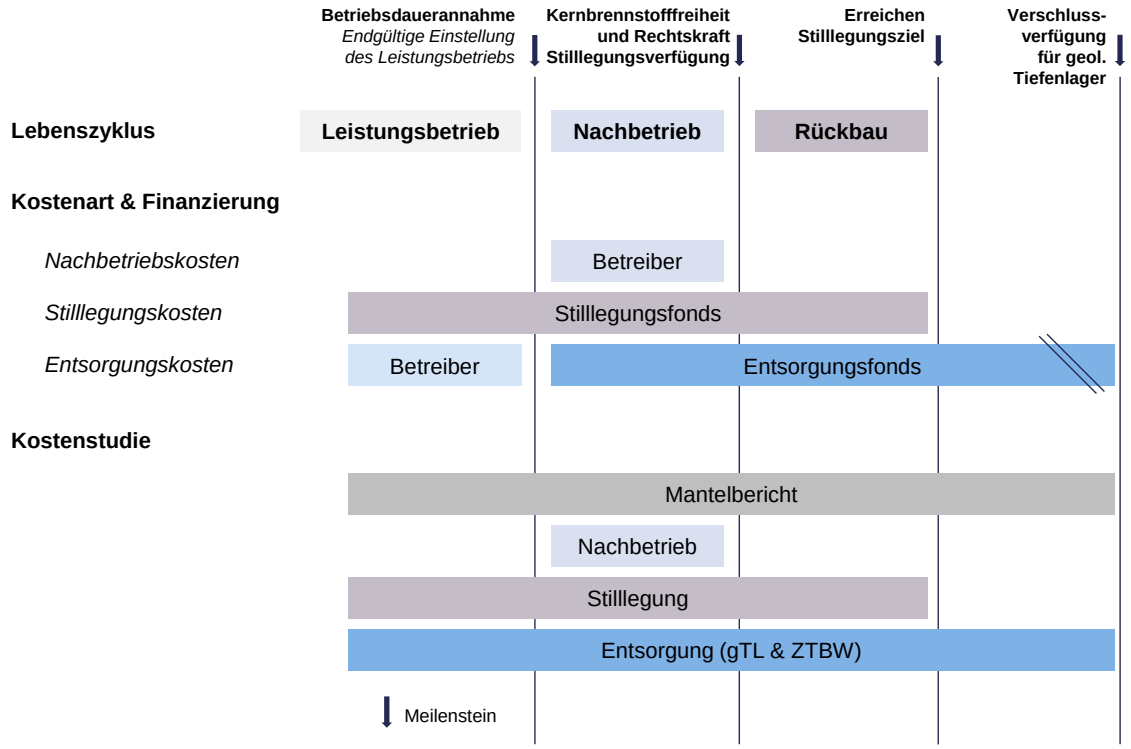


Abbildung 1: Übersicht über die Verknüpfung der Teilberichte und die Finanzierung des Nachbetriebs, der Stilllegung und der Entsorgung, inklusive entsprechender Hauptdokumente der Kostenstudie 2026.

Die Ausgangslage für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle und für die Bereitstellung der finanziellen Mittel ist in Kapitel 1 dargelegt. In Kapitel 2 sind die Vorgaben für die Kostenermittlung sowie die Annahmen und Rahmenbedingungen für die Entsorgung beschrieben und in 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.

Die Berichte zur Kostenstudie 2026 enthalten zahlreiche Fachbegriffe. Diese wurden in einem Glossar [7] zusammengestellt und erläutert. Das Glossar ist Bestandteil der Kostenstudie.

1.2 Sicherstellung der Finanzierung von Nachbetrieb, Stilllegung und Entsorgung

Das Kernenergiegesetz [1], die Kernenergieverordnung [8], die Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung [2], das Strahlenschutzgesetz [9] und die Strahlenschutzverordnung [10] 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 und Forschung verursachen radioaktive Abfälle. Im Kernenergiegesetz[1] 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[2]. 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[3] 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[1] und die Entsorgungspflicht[3] gelten uneingeschränkt auch für die während der Stilllegung der Kernanlagen anfallenden radioaktiven Abfälle.

1.2.2 Finanzierung der Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten

Die Finanzierung der Stilllegung von Kernanlagen und der Entsorgung der von diesen verursachten radioaktiven Abfälle ist in der Schweiz gesetzlich geregelt – einerseits durch staatlich kontrollierte Fonds und andererseits durch die Verpflichtung der Betreiber[4] zu eigener Vorsorge.

Staatlich kontrollierte Fonds

Das Kernenergiegesetz sieht einen Stilllegungs- und einen Entsorgungsfonds vor; die Eigentümer von Kernanlagen leisten Beiträge an beide Fonds[5].

Der Stilllegungsfonds deckt die Kosten für die Stilllegung der Kernanlagen und 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.

[1] Art. 31 Abs. 1 KEG [1].
[2] Art. 27 StSG [9].
[3] Art. 31 Abs. 2 KEG [1].
[4] Die Eigentümer der Schweizer Kernanlagen betreiben diese selbst. Daher betreffen die Verpflichtungen der Betreiber direkt auch die Eigentümer. In der Kostenstudie 2026 werden die Begriffe «Eigentümer» und «Betreiber» als Synonyme verwendet.
[5] Art. 77 Abs. 1–3 KEG [1].

Die beiden Fonds stellen sicher, dass genügend finanzielle Mittel vorhanden sind, um sämtliche Stilllegungskosten und alle nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs der Kernkraftwerke anfallenden fondsrelevanten 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 alle fünf Jahre neu ermittelt werden. Als Berechnungsgrundlage werden für KKB 60 Jahre, für KKM 47 Jahre sowie für KKG und KKL jeweils 50 Jahre Betriebsdauer angenommen. Zusätzlich werden ein Szenario mit 63 Jahren Betriebsdauer für KKB bei unveränderten Betriebsdauern der übrigen Kernkraftwerke sowie ein Szenario mit 63 Jahren für KKB und 60 Jahren für KKG und KKL betrachtet.

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

Die beiden Fonds stehen unter der Aufsicht des Bundesrats. Eine von diesem ernannte Verwaltungskommission ist das Leitungsorgan der Fonds. Sie setzt zur fachlichen Unterstützung zwei Komitees ein, das Anlagekomitee als Steuerungs-, Koordinations- und Überwachungsorgan für die Vermögensbewirtschaftung sowie das Kostenkomitee für die Kostenberechnung und die Auszahlungen. Die Leitungsgremien der Fonds sind mehrheitlich mit Mitgliedern besetzt, die von den Betreibern der Kernanlagen unabhängig sind.

Mit der Einrichtung des Stilllegungs- und des Entsorgungsfonds besteht zusätzlich zur gesetzlichen Kostentragungspflicht der Betreiber der Kernanlagen ein Sicherungsinstrument zur Gewährleistung, dass in der Schweiz dem Verursacherprinzip konsequent Rechnung getragen wird.

Es ist nicht nur sichergestellt, dass die Kosten für den Rückbau der Kernanlagen und die sichere Lagerung der von diesen verursachten radioaktiven Abfällen 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[6] noch der von Stilllegungskosten[7] – sind als Teil der Betriebskosten zu betrachten und werden von den Betreibern direkt finanziert. Für die Entsorgung der aus der Anlage stammenden radioaktiven Abfälle gilt dabei das im Kernenergiegesetz[8] verankerte Verursacherprinzip.

1.2.3 Rückstellungen für Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten

Die Betreiber bilden sämtliche aus der Verpflichtung zur Stilllegung der Kernanlagen und der Entsorgung der von diesen verursachten radioaktiven Abfälle künftig entstehenden Aufwendungen in ihren Bilanzen ab. Sie bilden dazu unter Berücksichtigung der jeweiligen Kostenstudien und gemäss den anzuwendenden Rechnungslegungsvorschriften Rückstellungen für den Nachbetrieb, die Stilllegung und die Entsorgung. Im Rahmen der Prüfung der Jahresrechnung werden diese Rückstellungen durch die Revisionsstellen geprüft. Während die Verwaltungskommission die Höhe der Fondsbeiträge festsetzt, liegt die bilanzielle Erfassung und Bewertung der Rückstellungen grundsätzlich in der Verantwortung der Betreiber und richtet sich nach den anzuwendenden Rechnungslegungsvorschriften.

[6] Art. 3 SEFV [2].
[7] Art. 2 SEFV [2].
[8] Art. 31 Abs. 1 KEG [1].

Für die vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs anfallenden Entsorgungskosten unterbreiten die Betreiber der Kernkraftwerke der Verwaltungskommission einen Rückstellungsplan zur Genehmigung. Die Revisionsstellen prüfen die Einhaltung des genehmigten Rückstellungsplans und die zweckgebundene Verwendung der Rückstellungen. Die Betreiber legen der Verwaltungskommission die entsprechenden Prüfberichte vor[9].

1.2.4 Kostenstudien der Stilllegungs- und Entsorgungspflichtigen

Zur Ermittlung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten werden umfassende Kostenstudien erstellt. Dabei werden jeweils auch die Kosten des Nachbetriebs neu ermittelt.

Die letzte Ermittlung der Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten erfolgte im Jahr 2021. Sie wurde im Auftrag der Verwaltungskommission vom Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) und von unabhängigen Kostenprüfern geprüft und hinsichtlich der 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 2022 bis 2026.

Die Eigentümer der Schweizer Kernanlagen beauftragten swissnuclear im Jahr 2023, zusammen mit den für die nukleare Entsorgung in der Schweiz verantwortlichen Organisationen die gesetzlich vorgeschriebene Aktualisierung der Kostenstudie vorzunehmen und bis Ende September 2026 bei der Verwaltungskommission einzureichen. Dabei sind insbesondere die von der Verwaltungskommission festgelegten Vorgaben für die Erstellung der Kostenstudie 2026 zu berücksichtigen. Wie bisher hat swissnuclear gleichzeitig auch die Nachbetriebskosten neu ermittelt. Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat und Kostenprüfer im Auftrag der Verwaltungskommission werden die Kostenstudie 2026 wiederum eingehend überprüfen.

1.3 Mit der Entsorgung beauftragte Organisationen

1.3.1 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 des geologischen Tiefenlagers.

Die Entsorgungspflicht der Betreiber der Schweizer Kernkraftwerke endet, sobald die Abfälle in ein geologisches Tiefenlager verbracht worden und die finanziellen Mittel für die Beobachtungsphase und den allfälligen Verschluss sichergestellt sind[10]. 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[11].

Für die Bearbeitung spezifischer Themen haben die Betreiber Organisationen gegründet: Dazu gehören die Zwilag Zwischenlager Würenlingen AG (Zwilag), die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) und swissnuclear. Deren Aufgaben sind unten beschrieben.

1.3.2 Zwilag

Die Zwilag Zwischenlager Würenlingen AG, im Folgenden Zwilag genannt, wurde 1990 von den Betreibergesellschaften der Kernkraftwerke gegründet und handelt in deren Auftrag. Zweck der Gesellschaft sind der Betrieb von Entsorgungsanlagen und die Bereitstellung von Zwischenlagerkapazitäten für alle Kategorien radioaktiver Abfälle. Die Zwilag nimmt alle Arten radioaktiver Abfälle aus der Schweiz entgegen. Diese stammen aus den Kernkraftwerken, insbesondere Betriebsabfälle und abgebrannte Brennelemente, aus der Wiederaufarbeitung sowie aus Medizin, Industrie und Forschung. Die Zwilag konditioniert die Abfälle oder führt bereits konditionierte Abfälle direkt der Zwischenlagerung zu.

[9] Art. 82 Abs. 2 und 3 KEG [1]; Art. 19 Abs. 1 und 2 SEFV [2].
[10] Art. 31 Abs. 2 KEG [1].
[11] Art. 69 KEV [8].

Dank der Kombination von Abfallbehandlungsanlagen und Zwischenlagerkapazitäten können die Abfälle am Standort der Zwilag optimal zusammengeführt, verarbeitet, verpackt und überwacht werden. Die brenn- und schmelzbaren Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung werden nach der Konditionierung im Bundeszwischenlager zwischengelagert.

Die Zwilag betreibt Abfallbehandlungsanlagen wie die Plasma- und die Konditionierungsanlage, eine Umladestation Schiene–Strasse sowie eine Lagerhalle für Behälter mit abgebrannten Brennelementen und hochaktiven Abfällen. Hinzu kommen ein Lager für Abfälle, die aufgrund ihrer Strahlung eine dickwandige Abschirmung erfordern, und eine Lagerhalle für Abfälle ohne entsprechenden Abschirmungsbedarf. Zudem verfügt die Zwilag über eine heisse Zelle, in der Lagerbehälter überprüft und repariert sowie Brennelemente inspiziert oder umgeladen werden können.

Mit ihren Lagermöglichkeiten und Verarbeitungskapazitäten übernimmt die Zwilag die Behandlung und Zwischenlagerung der ihr zugeführten Betriebs- und Stilllegungsabfälle der Kernkraftwerke sowie abgebrannter Brennelemente bis zu deren Weitertransport zur geologischen Tiefenlagerung.

1.3.3 Nagra

Die Entsorgungspflichtigen gründeten 1972 die Nagra, um alle Aufgaben für die Umsetzung des geologischen Tiefenlagers zu übernehmen. Die Organisation der Nagra ist flexibel aufgebaut und wird auf die jeweiligen Bedürfnisse ausgerichtet, sodass hieraus letztlich eine geeignete Betriebsorganisation hervorgeht. Im Jahr 2024 hat die Nagra dazu zwei hundertprozentige Tochtergesellschaften gegründet, die für Bau und Betrieb des Tiefenlagers – die Nagra gTL AG – sowie für Bau und Betrieb der Brennelementverpackungsanlage – die Nagra BEVA AG – zuständig sein werden.

Die Vorbereitung des geologischen Tiefenlagers umfasst neben der Planung und Projektierung der notwendigen Anlagen auch die Durchführung von erdwissenschaftlichen Abklärungen sowie der erforderlichen Forschung und Entwicklung, die Erarbeitung der notwendigen Sicherheitsnachweise und weiterer Unterlagen für die verschiedenen Bewilligungsverfahren sowie die Begleitung dieser Verfahren und die transparente Information der Öffentlichkeit.

Weiter ist die Nagra mit der Inventarisierung der in der Schweiz anfallenden radioaktiven Abfälle aus Kernkraftwerken sowie aus Medizin, Industrie und Forschung betraut. Zudem erarbeitet sie ein modellhaftes Inventar der radioaktiven Abfälle, die künftig in das geologische Tiefenlager eingelagert werden sollen.

1.3.4 Swissnuclear

Swissnuclear wahrt, koordiniert und vertritt die gemeinsamen Interessen der Betreiber der Kernanlagen in nuklearen Belangen (betreffend Forschung und Ausbildung, Strategie Entsorgung, Kompetenzerhalt und Erfahrungsaustausch, Kommunikation und Public Affairs, Vertretung in internationalen Gremien) sowie in weiteren technischen Belangen gegenüber nationalen und internationalen Behörden, Organisationen und Verbänden sowie der Politik und der Öffentlichkeit. Zu den Aufgaben gehört auch die Ermittlung der Kosten für die Stilllegung der Kernanlagen am Ende ihrer Betriebszeit und die Entsorgung der in der Schweiz anfallenden 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 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 das geologische Tiefenlager. Der Bund ist deshalb auch Genossenschafter der Nagra.

1.4 Entsorgungsprogramm

Die Entsorgungspflichtigen müssen gemäss KEG ein Entsorgungsprogramm erstellen[12]. Dieses wird von den zuständigen Bundesbehörden geprüft und auf Antrag des Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) vom Bundesrat genehmigt. Im Entsorgungsprogramm haben die Entsorgungspflichtigen Angaben zu machen über die Menge und Art der radioaktiven Abfälle, die benötigten geologischen Tiefenlager einschliesslich ihres Sicherheits- und Lagerkonzeptes, die Zuteilung der radioaktiven Abfälle auf die geologischen Tiefenlager, den Realisierungsplan zur Erstellung, zum Betrieb und Verschluss der geologischen Tiefenlager, die Dauer und die benötigte Kapazität der zentralen und dezentralen Zwischenlager, die Finanzierung der Entsorgung sowie das Informationskonzept im Hinblick auf die Realisierung der benötigten geologischen Tiefenlager.

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

Die Kostenstudie 2026 und das Entsorgungsprogramm 2026 (EP26) [11] wurden 2026 inhaltlich aufeinander abgestimmt und im gleichen Zeitraum beim Bund eingereicht. Damit sind die inhaltliche Koordination und die konsistente Darstellung der Informationen zur Entsorgung gewährleistet. Das EP26 bildet den gegenwärtigen Stand der Planung zur geologischen Tiefenlagerung ab und stützt sich dabei auf die im Jahr 2024 eingereichten Rahmenbewilligungsgesuche ab. Das EP26 geht von der Realisierung des geologischen Tiefenlagers am Standort Haberstal (vormals «Nördlich Lägern») mit der Brennelementverpackungsanlage (BEVA) am Standort Zwilag in Würenlingen aus. Das geplante geologische Tiefenlager am Standort Haberstal im Zürcher Unterland heisst «Terradura».

Darauf aufbauend geht die Kostenstudie 2026 von modellhaften, aber konkreten Projektausführungen aus, welche die Vorgaben der Verwaltungskommission bezüglich Modellstandort umsetzt und einen Detaillierungsgrad aufweist, der die Nachvollziehbarkeit der Kostenermittlung unter Berücksichtigung von Chancen und Gefahren ermöglicht. Die Kostenstudie trifft zu diesem Zweck modellhafte Annahmen, die mit dem Entsorgungsprogramm vereinbar sind, aber keine vorzeitigen Festlegungen zu späteren Entscheidungen auf dem Weg zur geologischen Tiefenlagerung bedeuten.

Das im Entsorgungsprogramm abgehandelte Entsorgungskonzept ist in Abbildung 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). Alle Abfälle aus der Wiederaufarbeitung wurden in die Schweiz zurückgeführt und im zentralen Zwischenlager Würenlingen zwischengelagert. Aufgrund eines Moratoriums zur Wiederaufarbeitung werden seit 2006 die abgebrannten Brennelemente ohne Vorbehandlung in Transport- und Lagerbehälter (TLB) geladen und im zentralen Zwischenlager Würenlingen beziehungsweise im Zwischenlager Beznau zwischengelagert, nachdem sie in den Brennelementlagerbecken der Kernkraftwerke beziehungsweise im Nasslager des Kernkraftwerks Gösgen genügend abgekühlt sind. Seit dem 1. Januar 2018 dürfen abgebrannte Brennelemente nicht wiederaufgearbeitet oder zur Wiederaufarbeitung ausgeführt werden[13].

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 am Standort Zwilag konditioniert und anschliessend im zentralen Zwischenlager Würenlingen zwischengelagert.

Die aus dem Bereich Medizin, Industrie und Forschung anfallenden Abfälle werden ans Paul Scherrer Institut (PSI) abgeliefert, dort konditioniert[14] und dann im Bundeszwischenlager auf dem Gelände des PSI zwischengelagert. Das PSI führt diese Aufgabe im Auftrag des Bundes durch.

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

[12] Art. 32 Abs. 1 KEG [1].
[13] Art. 9 Abs. 1 KEG [1].
[14] Gewisse Abfälle werden im Auftrag des Bundes in Anlagen der Zwilag konditioniert.

Nach Betriebsaufnahme des geologischen Tiefenlagers werden die radioaktiven Abfälle aus den Zwischenlagern oder direkt vom Anlagenstandort in das geologische Tiefenlager verbracht und dort eingelagert. Der Verschluss des geologischen Tiefenlagers erfolgt schrittweise. Während des Betriebs werden volle Lagerkammern oder Lagerstollen fortlaufend verschlossen. Die Stilllegung eines Teils der Oberflächenanlage erfolgt nach Abschluss der Einlagerung allfälliger Stilllegungsabfälle der Verpackungsanlagen. Nach 50 Jahren der Beobachtung[15] werden die bis dann noch offenen untertägigen Anlagen, Zugänge nach Untertag und Objekte der Oberflächenanlage verschlossen beziehungsweise zurückgebaut.

Die im Entsorgungsprogramm 2026 beschriebenen Sicherheits- und Lagerkonzepte für das geologische Tiefenlager berücksichtigen die rechtlichen und behördlichen Vorgaben und setzen insbesondere das gesetzlich verankerte Konzept des geologischen Tiefenlagers um.

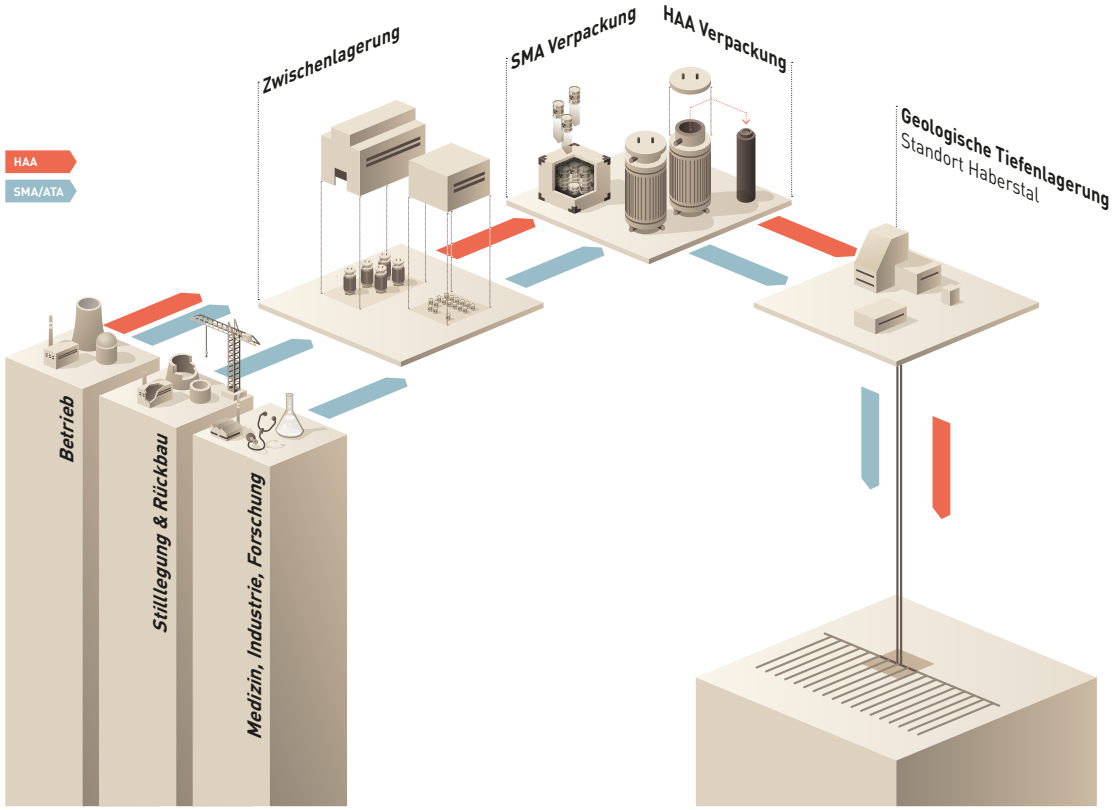


Abbildung 2: Übergeordnete Elemente der Entsorgung in der Schweiz.

HAA: hochaktive Abfälle, SMA: schwach- und mittelaktive Abfälle.
Modellhafte Darstellung der Behandlung des radioaktiven Abfalls in der Schweiz. Die radioaktiven Abfälle aus dem Betrieb der Kernkraftwerke, aus der Stilllegung der Kernanlagen sowie aus dem Bereich Medizin, Industrie und Forschung werden zwischengelagert. Soweit erforderlich, werden sie vor der Tiefenlagerung in den Verpackungsanlagen am Standort Zwilag verpackt oder umverpackt. Anschliessend werden sie in das geologische Tiefenlager verbracht und dort eingelagert. Das geologische Tiefenlager weist einen HAA- und einen SMA-Lagerteil auf, welche die entsprechenden Abfälle aufnehmen.

[15] Art. 3 Abs. 2 Bst. c SEFV [2].

1.5 Radioaktive Abfälle nach Abfallsorten

Herkunft, Art und Menge der in der Schweiz zu entsorgenden radioaktiven Abfälle sind bekannt. Die entstehenden Abfälle werden laufend charakterisiert, konditioniert und in einer Datenbank inventarisiert. Bei der Datenbank handelt es sich um das Informationssystem für radioaktive Materialien (ISRAM), das von allen Schweizer Kernkraftwerken, dem Paul Scherrer Institut (PSI), der 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 radioaktiven Abfälle werden in einem modellhaften Inventar (MIRAM) geführt. Damit ist eine zuverlässige Basis für die Planung und Realisierung der benötigten Infrastruktur sowie deren Finanzierung vorhanden.

Laut Kernenergieverordnung[16] werden die radioaktiven Abfälle[17] in der Schweiz in folgende, am Gefährdungspotenzial orientierte Abfallkategorien eingeteilt:

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

Für die Kostenstudie werden die radioaktiven Abfälle zusätzlich nach ihrer Herkunft und Entstehungsart in Abfallsorten gegliedert. Unterschieden werden abgebrannte Brennelemente (BE), Wiederaufarbeitungsabfälle der Kernkraftwerke (WA), Betriebsabfälle der Kernkraftwerke (BA), Reaktorabfälle der Kernkraftwerke (RA), Stilllegungsabfälle der Kernkraftwerke (SA), Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung (MIF) sowie Abfälle aus Betrieb und Stilllegung der Verpackungsanlagen am Standort Zwilag (VA).

Die Abfallsorten lassen sich den Abfallkategorien gemäss Kernenergieverordnung zuordnen. Zu den hochaktiven Abfällen zählen die abgebrannten Brennelemente, ein Teil der Wiederaufarbeitungsabfälle sowie ein kleiner Teil der Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung. Der Kategorie alphatoxische Abfälle können je nach Gehalt an Alphastrahlern grundsätzlich Abfälle verschiedener Abfallsorten zugeordnet werden. Im Abfallmengengerüst der Kostenstudie 2026 finden sich alphatoxische Abfälle insbesondere unter den Abfällen aus Medizin, Industrie und Forschung und den Wiederaufarbeitungsabfällen sowie zu einem kleinen Teil unter den Stilllegungsabfällen aus dem ehemaligen Versuchsatomkraftwerk Lucens. 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.

Tabelle 2 charakterisiert die betrachteten Abfallsorten hinsichtlich ihrer Herkunft und ihrer wesentlichen Eigenschaften.

Unter den aktuellen Betriebsdauerannahmen ergibt sich das in Tabelle 3 aufgeführte Abfallmengengerüst, gegliedert nach Abfallkategorien gemäss Kernenergieverordnung und nach Herkunft der Abfälle.

[16] Art. 51 KEV [8].

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

Tabelle 2: Charakterisierung der radioaktiven Abfälle nach Abfallsorten.

Medizin, Industrie und Forschung (MIF)	In diese Kategorie fallen u. a. folgende Abfälle: *Betriebsabfälle* 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[a)], Abfälle aus dem Betrieb der Beschleunigeranlagen des PSI-West und des CERN. *Stilllegungsabfälle* aus dem Rückbau von Forschungsreaktoren wie zum Beispiel Diorit[b)], Saphir[c)] und Proteus[d)], grössere Mengen entstehen aus der Stilllegung der Teilchenbeschleuniger am PSI.
Betriebsabfälle der Kernkraftwerke (BA)	Radioaktive Betriebsabfälle entstehen im Betrieb kerntechnischer Anlagen insbesondere in Wasser-Reinigungsanlagen (u. a. im primären Kühlkreislauf), in Brennelementbecken sowie bei Kondensatreinigung und Abwasseraufbereitung. Mehrheitlich handelt es sich um Ionenaustauscherharze und Konzentrate, daneben um feste Mischabfälle. Bei der Reinigung der Anlage fallen insbesondere brennbare und pressbare Abfälle an. Diese Rohabfälle werden entweder direkt in der Anlage oder in einer externen Abfallkonditionierungsanlage behandelt. Die während des Rückbaus anfallenden Betriebsabfälle gelten als Stilllegungsabfälle (Rückbaubetriebsabfälle).
Reaktorabfälle der Kernkraftwerke (RA)	Aktivierte und kontaminierte Einbauten aus dem Reaktordruckbehälter der Kernkraftwerke (insbesondere Steuer- und Abschaltelemente), die während des Betriebs periodisch ausgetauscht werden bzw. am Ende der Betriebszeit zusammen mit den Kerneinbauten der Entsorgung zugeführt werden.
Stilllegungsabfälle der Kernkraftwerke (SA)	Radioaktive Abfälle, die nach der Ausserbetriebnahme beim Rückbau kerntechnischer Anlagen anfallen und aktiviert oder kontaminiert sind (häufig aus kontrollierten Zonen; z. B. Demontage von Anlagenteilen und Systemen).
Abgebrannte Brennelemente (BE)[e)]	Ein abgebranntes Brennelement ist ein Brennelement, das aus dem Reaktor entnommen wurde und nicht mehr zur Leistungserzeugung eingesetzt wird.
Wiederaufarbeitungsabfälle der Kernkraftwerke (WA)	Die Wiederaufarbeitungsabfälle bestehen aus Kokillen mit hochaktiven verglasten Spaltproduktlösungen, verpressten Strukturmaterialien von abgebrannten Brennelementen und weiteren Rückständen aus der Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennelementen der KKW.
Betriebs- und Stilllegungsabfälle der Verpackungsanlagen und geologischen Tiefenlager	Kontaminiertes Material → ähneln kontaminierten BA und SA der Zwilag.

[a)] 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.

[b)] 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 ursprünglich eine thermische Leistung von 20 MW hatte und ab 1966 für eine thermische Leistung von 30 MW bewilligt war.

[c)] 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.

[d)] 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 wird derzeit rückgebaut.

[e)] Streng gesehen sind Brennelemente noch keine Abfälle. Sie werden erst zu Abfällen, wenn ihre definitive Nichtwiederverwendung feststeht.

Tabelle 3: Abfallmengen bei einem 60-jährigen Betrieb von KKB, einem 47-jährigen Betrieb von KKM sowie einem 50-jährigen Betrieb von KKG und KKL.

		Herkunft							Total
		BE (KKW)	WA (KKW)	BA (KKW)	RA (KKW)	SA (KKW)	MIF	VA	
Kategorie nach KEV	HAA	1'213 [1] (6'721) [3]	114 [2] (375)				11 [5] (24)		1'337 (7'119)
	ATA		99 [2] (433)			25 (25)	141 (477)		265 (935)
	SMA			9'961 [4] (30'554)	338 (952)	23'185 (28'350)	9'523 [6] (14'715) [6]	191 (698)	43'198 (75'270)
	Total	**1'213 (6'721)**	**213 (808)**	**9'961 (30'554)**	**338 (952)**	**23'210 (28'376)**	**9'674 (15'215)**	**191 (698)**	**44'801 (83'324)**

Angaben in m^3. 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, VA = Abfälle aus dem Betrieb und der Stilllegung der Verpackungsanlagen am Standort Zwilag.

Die Herkunftskategorie VA umfasst Abfälle aus Betrieb und Stilllegung der Verpackungsanlagen am Standort Zwilag. In der Kostenstudie 2021 wurde diese Herkunftskategorie noch als OFA bezeichnet, da die Verpackung der Abfälle damals als Teil der Oberflächenanlage des geologischen Tiefenlagers vorgesehen war.

Volumen der angelieferten beziehungsweise 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 teilweise Leerstellen zu berücksichtigen sind.

[1] Entspricht rund 2'500 Tonnen Uran.
[2] Diese Abfälle resultieren aus der Wiederaufarbeitung von 1'139 Tonnen Uran.
[3] Bei einer vollständigen Beladung der Endlagerbehälter (ohne Berücksichtigung von Leerstellen) würde ein Volumen von 6'717 m^3 resultieren.
[4] Hier sind 1'621 m^3 konditionierter Abfall aus der TLB-Entsorgung enthalten, was einem verpackten Volumen von 1'873 m^3 entspricht.
[5] Brennelemente des Diorit-Forschungsreaktors und Pressbüchsen aus dem PSI Hotlabor.
[6] Diese Angaben umfassen auch 112 m^3 konditionierten Abfall aus dem CERN, was einem verpackten Volumen von 399 m^3 entspricht.

1.6 Betriebsdauer der Kernkraftwerke

Für die Kostenstudie 2026 werden drei Betriebsdauerszenarien betrachtet. Im Basisszenario wird für KKB eine Betriebsdauer von 60 Jahren, für KKM von 47 Jahren sowie für KKG und KKL von jeweils 50 Jahren angenommen. Szenario 1 geht von 63 Jahren für KKB bei unveränderten Betriebsdauern der übrigen Kernkraftwerke aus. In Szenario 2 werden für KKB 63 Jahre, für KKM 47 Jahre sowie für KKG und KKL jeweils 60 Jahre zugrunde gelegt. Die Betrachtung von 50 und 60 Betriebsjahren für KKG und KKL sowie die qualitative Beurteilung der Auswirkungen von 70 Betriebsjahren auf Stilllegung und Entsorgung entsprechen den Vorgaben der Verwaltungskommission. Alle noch in Betrieb befindlichen Kernkraftwerke verfügen über eine unbefristete Betriebsbewilligung.

Die Auswirkungen der Szenarien 1 und 2 auf die im vorliegenden Bericht betrachteten Entsorgungskosten werden in Anhang A.7 dargestellt. Die qualitative Beurteilung der Auswirkungen einer Betriebsdauer von 70 Jahren für KKG und KKL ist in Anhang A.8 dokumentiert.

Für die Kostenermittlung gilt der in Tabelle 4 gegebene zeitliche Rahmen. Die Stilllegungszeiten sind dem Bericht zu den Stilllegungskosten [6] entnommen.

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

Anlage	**IBN**	**EELB / EEB**[a]	**Nachbetrieb**		**Stilllegung bzw. Rückbau**		
	von	bis inkl.	von	bis inkl.	ab	Abschluss Stilllegung[c]	Jahre ab EELB / EEB[a] bis Abschluss Stilllegung
KKB[b]	1970	2030	2031	2034	Die Erarbeitung des Stilllegungsprojekts und Planungen können vor Abschluss des Nachbetriebs oder bereits während des Leistungsbetriebs beginnen.	2045	15
KKM	1972	2019	2020	2023		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	2069	kein Nachbetrieb			2071	1
Zentrales Zwischenlager	2000	2069	kein Nachbetrieb			2076	7

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

[a] Bei einem Kernkraftwerk: EELB; bei einer anderen Kernanlage: EEB.

[b] Der Einfachheit halber wird für beide Blöcke des KKB das Jahr 1970 als «mittleres» Inbetriebsetzungs- und das Jahr 2030 als «mittleres» Ausserbetriebnahmejahr verwendet. Für die Kostenberechnung wird als Modellannahme von einer Betriebsdauer von 60 Jahren ausgegangen.

[c] Dargestellt ist das Stilllegungsziel 3 «vollständiger Rückbau einschliesslich Entfernung sämtlicher Fundamente».

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[18] ab.

Abbildung 3 zeigt die zeitliche Gliederung der wichtigsten Anlagen und Phasen des Entsorgungspfades.

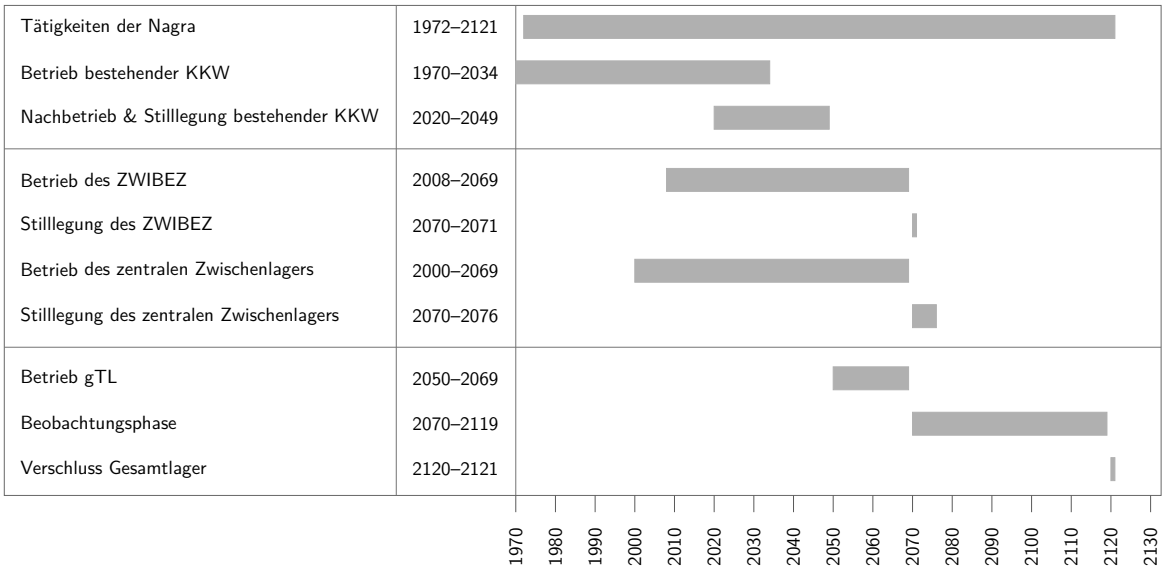


Abbildung 3: Zeitliche Gliederung der wichtigsten Anlagen und Phasen des Entsorgungspfades für das Basisszenario (vereinfachte Darstellung).

[18] Das Standortauswahlverfahren ist im Sachplan geologische Tiefenlager festgelegt. Die anschliessenden Realisierungszeiträume bis zur Einlagerung der Abfälle und zum Verschluss des geologischen Tiefenlagers beruhen auf der aktuellen Planung. Längere Verfahrensabläufe, Wartezeiten, Rechtsmittelverfahren und Änderungen des Projekt- oder Verfahrensablaufs können zu Abweichungen führen.

2 Vorgaben und Annahmen

2.1 Rechtliche und behördliche Vorgaben

Als Grundlage für die vorliegende Ermittlung der Entsorgungskosten für die Schweizer Kernanlagen dienen die per 1. Januar 2025 rechtsgültigen Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Vorschriften, Normen und Regeln. Diese sind im Glossar [7] aufgeführt, in dem auch die verwendeten Fachbegriffe definiert werden.

2.2 Annahmen und Rahmenbedingungen

Neben der Kenntnis der erforderlichen Abfallmengen und -spezifikationen sind für die Ermittlung der Entsorgungskosten eine Reihe von Rahmenbedingungen, Annahmen und Eingangsdaten festzulegen, die eine Kostenermittlung für ein Projekt überhaupt erst ermöglichen.

Neben den im Mantelbericht [3] erläuterten Rahmenbedingungen der Kostenstudie hat swissnuclear für die Ermittlung der Entsorgungskosten folgende Rahmenbedingungen 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 sogenannte 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 Zwilag gibt es keinen Nachbetrieb.

- Die Plasma-Anlage[19] der Zwilag 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 2069 betrieben. Nach Überführung aller radioaktiven Abfälle an das geologische Tiefenlager werden die Anlagen der Zwilag stillgelegt.

- Für die Bemessung der Fondsbeiträge ist der Zeitpunkt der Inbetriebnahme des geologischen Tiefenlagers zentral. Als Einlagerungsbeginn wird für die SMA-Abfälle das Jahr 2050 und für die HAA-Abfälle das Jahr 2060 angenommen. Bis zur Einlagerung in das geologische Tiefenlager werden die radioaktiven Abfälle im zentralen Zwischenlager Würenlingen beziehungsweise im ZWIBEZ zwischengelagert.

- Die Kosten der Entsorgung von radioaktiven Abfällen, die während des Betriebs anfallen, werden direkt durch die Betreiber bezahlt.

- Die anfallenden radioaktiven Abfälle werden nach den in der Schweiz geltenden gesetzlichen und behördlichen Vorgaben sowie unter Berücksichtigung ergänzender, mit der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) vereinbarter Anforderungen konditioniert.

- Für die Behandlung von Materialien und die Konditionierung von radioaktiven Abfällen stehen die während des Betriebs genutzten Anlagen und Entsorgungswege zur Verfügung.

- Die Behälterkosten für die Verpackung der Brennelemente und der radioaktiven Abfälle für die geologische Tiefenlagerung werden durch die Nagra ermittelt.

[19] 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 Abfallgebinde für die geologische Tiefenlagerung. Ausserdem kann das Volumen der radioaktiven Abfälle verringert werden, jedoch nicht die Radioaktivität.

- Die im Kernkraftwerk Beznau vorhandenen Brennelemente werden zur Zwischenlagerung in das am Standort errichtete ZWIBEZ verbracht. Für die Brennelemente des Kernkraftwerks Gösgen werden zunächst das Nasslager des Kernkraftwerks Gösgen und anschliessend das zentrale Zwischenlager Würenlingen genutzt. Die Brennelemente der Kernkraftwerke Mühleberg und Leibstadt werden im zentralen Zwischenlager Würenlingen zwischengelagert.

- Das Radioaktivitätsinventar setzt sich aus zwei Teilen zusammen (für Zwilag: 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 Basisszenario werden die radioaktiven Abfälle und die abgebrannten Brennelemente für eine Betriebsdauer des Kernkraftwerks Beznau von 60 Jahren, des Kernkraftwerks Mühleberg von 47 Jahren sowie der Kernkraftwerke Gösgen und Leibstadt von jeweils 50 Jahren ermittelt.

- Parallel zum Betrieb des geologischen Tiefenlagers werden auch das zentrale Zwischenlager Würenlingen und weitere Anlagen der Zwilag noch betrieben. Dies ermöglicht die Nutzung von Synergien.

- Die technischen Ausführungen der Endlagerbehälter für die Verpackung schwach- und mittelaktiver Abfälle wurden für die Kostenstudie 2026 von der Nagra vorgegeben. Die maximale Aktivität je Behälter ist durch die geltenden Transportvorschriften limitiert, nicht durch das geologische Tiefenlager. Die Hohlräume in den Behältern werden bei Bedarf mittels geeigneter Materialien (zum Beispiel zementbasierte Füllmaterialien) verfüllt. Darüber hinaus wird angestrebt, den Richtwert von 5 W/m^3 für die spezifische Wärmeleistung pro Gebindevolumen nicht zu überschreiten. Zur Verpackung höher aktivierter Teile werden spezielle, dickwandige Behälter[20] 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.

- 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 [12]) berücksichtigt. Für die Haftpflichtversicherung betreffend nukleare Transporte wurde vorsorglich eine Inkraftsetzung der Bestimmungen des revidierten Pariser Übereinkommens angenommen.

- Es werden die von der Verwaltungskommission der Stilllegungs- und Entsorgungsfonds festgelegten Wechselkurse für die Kostenermittlung verwendet: USD/CHF = 1.00; EUR/CHF = 1.10; GBP/CHF = 1.25; SEK/CHF = 0.10.

- Die Kostenermittlung verwendet die Kostengliederung, wie sie von der Verwaltungskommission 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 2026. Sämtliche Kosten werden ohne Mehrwertsteuer ausgewiesen.

[20] Für die Kostenstudie 2026 wird von MOSAIK©-Behältern ausgegangen.

3 Methodik der Kostenermittlung

In der Kostenstudie 2016 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 Kostenstudie 2026, wie bereits für die Kostenstudie 2021, weitestgehend beibehalten und wird nachfolgend erläutert.

3.1 Kostenstruktur

Die für die Kostenstudie 2026 verwendeten Kostenstrukturen wurden von den Betreibern erarbeitet und von der Verwaltungskommission auf Antrag des Kostenkomitees festgelegt. Sie wurden mit der Kostenstudie 2016 eingeführt und bereits für die Kostenstudie 2021 weitgehend beibehalten. Sie schaffen die Voraussetzungen für eine transparente Kostenplanung, aussagekräftige Kostenvergleiche, ein effektives Kostencontrolling sowie einen effizienten Abwicklungsprozess zur Inanspruchnahme von Fondsmitteln. Sie basieren zudem auf generellen Anforderungen an die Kostenstrukturen komplexer Infrastrukturprojekte sowie auf spezifischen Anforderungen für Schweizer Kernanlagen und können durchgängig in allen Phasen der Kostenplanung und -feststellung angewendet werden.

Weiterhin dienen die Kostenstrukturen dazu, die der Stilllegung und Entsorgung zuordenbaren Aktivitäten und Leistungen von den übrigen Aktivitäten der Betreiber (zum Beispiel Nachbetrieb oder weitere betriebliche Rückstellungen) abzugrenzen.

Die Kostenstrukturen für die Entsorgung umfassen die Kosten für die Zwischenlagerung, die Transporte und die Behälter, für die Projektierung, den Bau, den Betrieb und den Verschluss des geologischen Tiefenlagers sowie für die Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente. Die Entsorgungskosten werden durch verschiedene Organisationen erhoben und bei swissnuclear zusammengeführt:

- Die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) erstellt die Kostenermittlung für die Projektierung, den Bau und den Betrieb des geologischen Tiefenlagers und der Verpackungsanlagen sowie für den Verschluss und die Überwachung des geologischen Tiefenlagers. Daneben erstellt die Nagra das Transportmengengerüst[21] (TAMG), das für die Schätzung weiterer Bestandteile der Entsorgungskosten massgebend ist.

- Die Zwilag Zwischenlager Würenlingen AG erstellt die Kostenermittlung für die Investitions- und Betriebskosten des zentralen Zwischenlagers in Würenlingen. Die Schätzung der variablen Betriebskosten des zentralen Zwischenlagers (sogenannte Kampagnenkosten) basiert auf dem TAMG. Axpo ermittelt die Kosten für den Betrieb des Zwischenlagers Beznau am Standort des Kernkraftwerks Beznau.

- Die Betreiber der Kernanlagen ermitteln die erwarteten Kosten für die Transporte von den Werken in die Zwischenlager und von den Zwischenlagern zum geologischen Tiefenlager sowie die Kosten für die Beschaffung der Transport- und Lagerbehälter für abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle. Die Ermittlung der erwarteten Kosten basiert auf dem TAMG (Anzahl Behälter pro Behältertyp, resultierendes Volumen) und den in den Kostenfaktoren berücksichtigten Annahmen der Betreiber (spezifische Kosten pro Behältertyp, Transportkosten).

- Es fallen keine zukünftigen Kosten für die Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente an. Die Rückführung sämtlicher Abfälle aus der Wiederaufarbeitung ist inklusive der Erfüllung der vertraglichen Verpflichtungen abgeschlossen.

Der mit Abstand grösste Anteil an den Entsorgungskosten entfällt auf das geologische Tiefenlager. Es handelt sich um ein langjähriges Infrastrukturprojekt mit einem Volumen von mehreren Milliarden Franken. Seine Komplexität ergibt sich aus einer Vielzahl von technologischen, sicherheitstechnischen, baulichen, rechtlichen und politischen Anforderungen und Einflussfaktoren.

[21] Im Transportmengengerüst werden die Behälter für radioaktive Abfälle und die Transporte zum zentralen und den dezentralen Zwischenlagern sowie zum geologischen Tiefenlager zusammengefasst.

Angesichts der Grösse und Komplexität des Projekts, der Risiken sowie der durch die Abfallverursacher sicherzustellenden Finanzierung kommt der Qualität, Vollständigkeit, Transparenz und Stetigkeit der Kostenplanung eine grosse Bedeutung zu.

Um diese Anforderungen sicherzustellen, hat die Verwaltungskommission auch für die Kostenermittlung des geologischen Tiefenlagers verbindliche Kostenstrukturen vorgegeben.

Auf der obersten Ebene der Kostenstruktur werden für das geologische Tiefenlager zwei Projektausführungen betrachtet: das KS26-Basisprojekt und die KS26-Perspektive. Die weiteren Gliederungsebenen umfassen die erforderlichen Hauptaktivitäten (Ebene 2), Objektgruppen (Ebene 3) und Objekte (Ebene 4). Die drei obersten Gliederungsebenen der Kostenstruktur sind fixiert und wurden bereits in den bisherigen Kostenstudien konsistent verwendet. Die Objektliste auf der vierten Gliederungsebene wurde im Rahmen der Kostenstudie 2026 angepasst und wo notwendig aktualisiert. Diese Kostenstrukturen orientieren sich an allgemein verwendeten Grundsätzen für die Kostenplanung von Bauprojekten. Das Ziel solcher Normen besteht darin, eine kontinuierliche und phasengerechte Anwendung der gleichen Kostenstrukturen von der strategischen Planung über die Inbetriebnahme der Bauwerke, deren Betrieb bis hin zur Stilllegung beziehungsweise zum Rückbau oder Verschluss zu ermöglichen. Dadurch wird die Kostentransparenz erhöht und der Überblick über die Kostenentwicklung und ihre Ursachen verbessert. Weiter lässt sich mit den allgemein anwendbaren Normen die Vollständigkeit der Kostenermittlung sicherstellen.

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

- Für das zentrale Zwischenlager wurden die drei Bauetappen abgeschlossen und die damit zusammenhängenden Investitionen getätigt. Das restliche erwartete Investitionsvolumen betrifft Ersatz- und Ergänzungsinvestitionen. Die Betriebskosten des zentralen Zwischenlagers inklusive der Kampagnenkosten für Behandlung und Zwischenlagerung von radioaktiven Abfällen und Brennelementen wurden in eine vereinfachte Aufwandsstruktur überführt.

- Die Kosten für die Transporte und die Beschaffung der Transport- und Lagerbehälter für abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle leiten sich aus dem TAMG sowie den Kostenfaktoren (Behältertyp) ab. Die Kosten ergeben sich grundsätzlich aus der Menge der Behälter (Anzahl Behälter pro Behältertyp) multipliziert mit den jeweiligen 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.

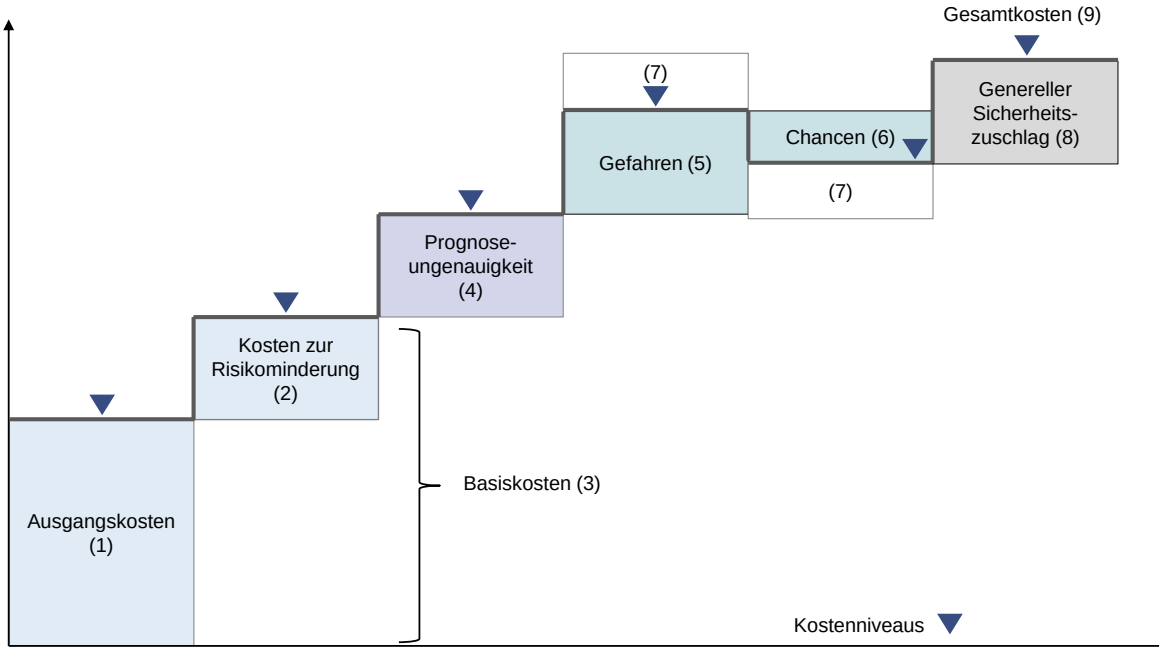
Die Kostenstrukturen für die einzelnen Komponenten der Entsorgungskosten sind im Referenzbericht [4] sowie dem vorliegenden Bericht dargestellt.

3.2 Kostengliederung

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

3.2.1 Vorgaben zur Kostengliederung

Die Verwaltungskommission hat die in Abbildung 4 dargestellten und nachfolgend beschriebenen Kostenzuschläge und Kostenniveaus definiert[22]:



(7) Auflistung von nicht berücksichtigten Gefahren / Chancen

Abbildung 4: Grafische Darstellung der Kostengliederung für die Kostenstudie 2026.

Ausgangskosten (1)

In den Ausgangskosten sind ausnahmslos sämtliche Kosten enthalten, die für die Planung, Genehmigung, Durchführung und den Abschluss der vorgesehenen Stilllegungs- und Entsorgungsprojekte inklusive 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 und so weiter. Die Ausgangskosten können auf der Grundlage von geschätzten Mengen (Material, Maschinen und Geräte, Arbeitsstunden und so weiter), 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 werden analog wie die Ausgangskosten – ohne jegliche Zuschläge – ermittelt. Solche risikomindernden Massnahmen können Gefahren eindämmen oder Chancen unterstützen und sind mit der Erarbeitung des Chancen- und Gefahrenkatalogs abzustimmen.

Basiskosten (3)

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

[22] Die Definitionen sind im Wortlaut der Verwaltungskommission unter Verwendung deren Nomenklatur gegeben.

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 KS26 nicht mit Vertrauensintervallen gearbeitet wird, müssen diese Ungenauigkeiten mit Zuschlägen berücksichtigt werden. Diese Zuschläge werden «bottom-up» für jedes Element des Projektstrukturplans in Prozent der Ausgangskosten beziehungsweise der Kosten für die risikomindernden Massnahmen ermittelt. Diese Zuschläge sind spezifisch für jede Kostenposition zu beziffern in Abhängigkeit von der jeweils vorhandenen Schätzgenauigkeit; sie sind in der Regel jedoch kleiner als die theoretische Genauigkeitsspanne. Diese Einzelwerte werden einzeln ausgewiesen und begründet und auf das Niveau der Gesamtkosten aggregiert.

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

Kostenzuschläge für Gefahren (5)

Kostenzuschläge infolge der Berücksichtigung von absehbaren Gefahrenpotenzialen, zum Beispiel

- Abweichungen, die im Rahmen der Projektabwicklung eintreten können und die nicht bereits als Prognoseungenauigkeit berücksichtigt sind;
- Wesentliche Änderung des Leistungsbeschriebs oder des Realisierungsprogrammes infolge veränderter politischer oder regulatorischer Rahmenbedingungen oder infolge von Rechtsmittelverfahren;
- Neue Technologien.

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

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 Gefahren / Chancen (7)

Aussergewöhnliche Ereignisse (Gefahren und Chancen) mit sehr niedriger, meist unbekannter Eintrittshäufigkeit und sehr grossen Auswirkungen (sogenannte «High Impact / Low Frequency»-Ereignisse) werden in den Gesamtkosten nicht berücksichtigt, jedoch identifiziert, separat erfasst und, wo möglich, mit geschätzten absoluten Kosten und Eintrittswahrscheinlichkeiten beziffert. Zudem ist zu begründen, wieso diese bei der KS26 nicht berücksichtigt werden.

Genereller Sicherheitszuschlag (8)

Ein genereller Sicherheitszuschlag («Optimism Bias», Erkenntnisse aus Benchmarking und so weiter) ist so zu berechnen, dass nach Einschätzung zum Zeitpunkt der Fertigstellung der KS26 das Toleranz-Niveau gegenüber allfälligen Kostenüberschreitungen auf maximal 20 Prozent beschränkt wird.

Gesamtkosten (9)

Das Ergebnis der KS26 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 KS26 sind so zu berechnen, dass ein Toleranz-Niveau von 20 Prozent gegenüber allfälligen Kostenüberschreitungen (P20) erreicht wird.

3.2.2 Umsetzung der Kostengliederung

Die Kostengliederung wird auf sämtliche Bereiche der Kostenstudie angewendet. Die Herangehensweisen für die drei Teilbereiche Nachbetrieb, Stilllegung und Entsorgung sind vergleichbar und erfüllen die in Abschnitt 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[23]. Die in der relevanten Literatur beschriebenen Best-Practice-Methoden zur Risikoanalyse sehen sowohl Massnahmen der quantitativen als 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 fünfjährlichen 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.

Ausgangskosten

Die Ausgangskosten stellen die wahrscheinlichen Kosten der Kostenermittlung ohne Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten, Risiken und Ungewissheiten dar. Sie entsprechen in der Kostengliederung dem ersten Niveau, das sich bei einem plangemässen, abweichungsfreien Projektablauf ergibt. Weder Kosteneffekte, die durch zeitliche Verschiebungen in der Projektabwicklung zu Abweichungen von der ursprünglichen Kostenplanung führen, noch solche, die auf Unsicherheiten in der Planung oder auf eingetretene Gefahren beziehungsweise Chancen zurückzuführen sind, werden berücksichtigt. 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[24] 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 2025 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 2026 zugrunde gelegt.

[23] Zum Beispiel OECD NEA: Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants [13].
[24] Dies entspricht der Vorgabe der Verwaltungskommission, dass die Kosten «bottom-up» zu kalkulieren sind.

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 zum Beispiel 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 zum Beispiel 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[25] 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[26].

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. 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, 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.

[25] Der Projektstrukturplan für die Ermittlung der Entsorgungskosten ist in Abschnitt 3.1 erläutert.

[26] Grundsätzlich können auch Ergebnisse ausserhalb der festgelegten Toleranzgrenzen auftreten, aber die Eintrittswahrscheinlichkeit dafür ist so klein, dass solche Ergebnisse für die Kostenermittlung vernachlässigbar sind.

Für die Kostenstudie 2026 hat sich gezeigt, dass sechs Toleranzgrenzen[27] 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[28]. 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[29] 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[30] zur Bestimmung der Wahrscheinlichkeitsverteilung der summierten Kosten verwendet.

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 Berechnungsresultaten führt.

[27] Klasse A: -5 % / +5 %, Klasse B: -10 % / +15 %, Klasse C: -20 % / +30 %, Klasse D: -30 % / +50 % in Anlehnung an aktuelle Ausarbeitungen von OECD/NEA [13] U. S. Department of Energy [14] und IAEA [15] 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.

[28] US DOE Cost Estimating Guide 413.3.21 [14]; IAEA Financial Aspects of Decommissioning; IAEA-TECDOC-1476, 2005 [15] und so weiter.

[29] Die Lognormalverteilung ist eine kontinuierliche Wahrscheinlichkeitsfunktion positiver reeller Zahlen und wird zum Beispiel in der Versicherungswirtschaft bei der Modellierung von Schadenshöhen benutzt.

[30] Die Monte-Carlo-Simulation ist ein etabliertes Verfahren, bei dem 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.

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 Prognoseungenauigkeit 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.

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 Basiskosten. 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[31] 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.

[31] 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.

Nebst den zuvor beschriebenen Gefahren und Chancen, die in die Berechnung der Gefahrenzuschläge und Chancenabzüge für die jeweiligen Kernanlagen eingingen, wurden im Rahmen der Risikobetrachtung zur Kostenstudie 2026 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 vollständiges Scheitern des Lagerprojekts 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 des Standortes 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 Verzögerungen beim Bau und Betrieb des geologischen Tiefenlagers inklusive der Rückholung bestimmter Abfallgebinde führen zur Verschiebung des Kostenanfalls und zu einer Erhöhung der Gesamtkosten. Die Verschiebung des Kostenanfalls hat aus finanzieller Sicht aufgrund der im Fonds weiterhin anfallenden Kapitalerträge voraussichtlich 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 Kostenstudie 2026 ist der generelle Sicherheitszuschlag so zu berechnen, dass nach Einschätzung zum Zeitpunkt der Fertigstellung der Kostenstudie 2026 die Wahrscheinlichkeit einer allfälligen Kostenüberschreitung auf maximal 20 Prozent beschränkt wird.

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 [16]) 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 das Basisszenario. Dieses umfasst die Abfälle aller Schweizer Kernkraftwerke bei einer angenommenen Betriebsdauer von 60 Jahren für KKB, 47 Jahren für KKM sowie jeweils 50 Jahren für KKG und KKL sowie die Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung bei einer Sammelperiode bis zum Ende der Einlagerung der Abfälle in den SMA-Lagerteil (2063). Die Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung umfassen dabei auch Abfälle von Kleinproduzenten, von grossen Forschungseinrichtungen wie PSI und CERN sowie von Forschungsreaktoren und Einrichtungen verschiedener Hochschulen und Universitäten. Ergänzend werden die Szenarien 1 und 2 betrachtet. Die entsprechenden Betriebsdauerannahmen sind nachfolgend beschrieben. Die Ergebnisse der Kostenermittlung für diese Szenarien sind 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 des geologischen Tiefenlagers 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 Kostenstudie 2026 werden das Transport- und Abfallmengengerüst für das Basisszenario sowie für die Szenarien 1 und 2 betrachtet. Berücksichtigt werden die Abfälle aller Schweizer Kernkraftwerke sowie die Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung. Für Letztere wird eine Sammelperiode bis zum Ende der Einlagerung der Abfälle in den SMA-Lagerteil angenommen.

Im Basisszenario wird für KKB eine Betriebsdauer von 60 Jahren, für KKM von 47 Jahren sowie für KKG und KKL von jeweils 50 Jahren angenommen. Szenario 1 geht von einer 63-jährigen Betriebsdauer von KKB, einer 47-jährigen Betriebsdauer von KKM sowie einer 50-jährigen Betriebsdauer von KKG und KKL aus. Szenario 2 geht von einer 63-jährigen Betriebsdauer von KKB, einer 47-jährigen Betriebsdauer von KKM sowie einer 60-jährigen Betriebsdauer von KKG und KKL aus.

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, zum Beispiel die Kosten des Nasslagers des Kernkraftwerks Gösgen, als 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 Kostenverteilschlüssel verwendet, welche die Struktur der Kosten berücksichtigen. Dabei wird zwischen Fixkosten und variablen Kosten unterschieden. Die variablen Kosten sind direkt vom jeweiligen Verursacher zu tragen. Die Aufteilung der Fixkosten erfolgt nach einem Kostenverteilschlüssel.

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 gemäss Schätzung des Bundes aus dem Jahr 2023 [17] insgesamt auf rund 2.4 Milliarden Franken und beinhalten folgende Kosten:

- Konditionierung und Zwischenlagerung.
- Rückbau und Stilllegung (PSI-Anlagen).
- Geologische Tiefenlagerung (Bau, Betrieb, Schliessung).

Die in der Kostenstudie 2026 beinhalteten Entsorgungskosten des Bundes umfassen den Anteil an den Kosten der geologischen Tiefenlagerung, den Anteil an den Kosten der Plasma-Anlage der Zwilag, die Transportkosten der Abfälle zum geologischen Tiefenlager und die Kosten eines Behälters für hochaktive Abfälle. Alle weiteren Entsorgungskosten des Bundes sind in der Kostenstudie nicht berücksichtigt.

3.4.2 Kostenaufteilung Zwilag-Anlagen

Die Betriebskosten werden unter Anwendung von Kostenverteilschlüsseln in fixe und variable, das heisst einem Anlagennutzer direkt zuteilbare Kostenanteile aufgeteilt. Die Jahreskostenanteile werden nach einem Nutzungsprinzip im Verhältnis zur jeweiligen jährlichen Inanspruchnahme der Einrichtung einschliesslich der erforderlichen Betriebsmittel direkt den Betreibern der Kernkraftwerke und dem Bund zugeordnet und verrechnet.

Für einige der Zwilag-Anlagen wird vom festen Anteil der Betriebskosten nur ein vorgängig einvernehmlich festgelegter Prozentsatz α nach dem Solidaritätsprinzip als sogenannter Solidaritätsanteil auf die Kernkraftwerke aufgeteilt. Der verbleibende Rest (1-α) wird als sogenannter Nutzungsanteil in gleicher Weise wie die variablen Betriebskosten (die sogenannten Kampagnenkosten) nach dem Nutzungsprinzip nur den jeweiligen Nutzern verrechnet. Variable, einem Nutzer direkt zurechenbare Investitionskosten fallen bei der Zwilag nicht an.

4 Kostenelemente der Entsorgung

Im vorliegenden Bericht werden die Kosten der Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle aus Kernanlagen sowie aus Medizin, Industrie und Forschung, der Transporte, der Transport- und Lagerbehälter für abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle sowie der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente 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 von schwach- und mittelradioaktiven (SMA) sowie von hochradioaktiven Abfällen (HAA)	Nagra	Geologische Tiefenlagerung

Die Entsorgungskosten umfassen alle bereits bezahlten und zukünftigen Kosten der Planung, des Baus und des Betriebs von Entsorgungsanlagen. Dazu gehören das zentrale Zwischenlager, das Zwischenlager Beznau, das Nasslager des Kernkraftwerks Gösgen, die Verpackungsanlagen sowie das geologische Tiefenlager. Hinzu kommen die Anschaffungskosten von Transport- und Lagerbehältern sowie die Kosten für Dienstleistungen Dritter, insbesondere für die Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente, für Transporte und für weitere Dienstleistungen. Die Entsorgungskosten umfassen zudem die Stilllegung und den Rückbau der Verpackungsanlagen und der Oberflächeninfrastruktur des geologischen Tiefenlagers sowie den Verschluss des geologischen Tiefenlagers.

4.1 Abgrenzung der Entsorgungskosten von den Nachbetriebs- und Stilllegungskosten

Bereits vorgängig und 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[32]. Zu den Kosten für die Stilllegung zählen auch der Transport und die Entsorgung der bei der Stilllegung anfallenden radioaktiven Abfälle.

[32] Art. 2 SEFV [2].

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 ist in Tabelle 6 bis 9 dargestellt.

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

Brennelemente	**Nachbetriebs-kosten**	**Stilllegungs-kosten**	**Entsorgungs-kosten**
Brennelement-Handhabung vor Ort (inkl. Beladen der Behälter)	X		
Behälterkosten			X
Transport zum zentralen Zwischenlager Würenlingen			X
Umverpacken in der Brennelementverpackungsanlage am Standort Zwilag			X
Zwischenlagerung			X
Transport zum geologischen Tiefenlager			X
Zuteilbare Kosten im geologischen Tiefenlager			X

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

Betriebsabfälle aus Leistungs- und Nachbetrieb	**Nachbetriebs-kosten**	**Stilllegungs-kosten**	**Entsorgungs-kosten**
Behälterkosten (dies sind primär Fassgebinde: Massenware). Abgrenzungskriterien für die Zuordnung der Behälter erfolgen werksspezifisch	X		X
Behandlung bzw. Konditionierung von Betriebsabfällen vor Ort	X		
Handhabung vor Ort (inkl. Beladen der Behälter)	X		
Transport zum zentralen Zwischenlager Würenlingen			X
Behandlung von Betriebsabfällen in den Anlagen der Zwilag			X
Umverpacken in den Verpackungsanlagen am Standort Zwilag (falls erforderlich)			X
Zwischenlagerung im zentralen Zwischenlager Würenlingen			X
Zwischenlagerung im ZWIBEZ (KKB)			X
Transport zum geologischen Tiefenlager			X
Zuteilbare Kosten im geologischen Tiefenlager			X

Tabelle 8: Abgrenzung der Kosten für die Reaktorabfälle.

Reaktorabfälle (Mittelaktiv)	**Nachbetriebs-kosten**	**Stilllegungs-kosten**	**Entsorgungs-kosten**
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 Würenlingen			X
Umverpacken in den Verpackungsanlagen am Standort Zwilag (falls erforderlich)			X
Zwischenlagerung im zentralen Zwischenlager Würenlingen			X
Zwischenlagerung im ZWIBEZ (KKB)			X
Transport zum geologischen Tiefenlager			X
Zuteilbare Kosten im geologischen Tiefenlager			X

Tabelle 9: Abgrenzung der Kosten für die Stilllegungsabfälle.

Stilllegungsabfälle	**Nachbetriebs-kosten**	**Stilllegungs-kosten**	**Entsorgungs-kosten**
Auf- und Abbau von Einrichtungen		X	
Behälterkosten		X	
Behandlung bzw. Konditionierung der Stilllegungsabfälle vor Ort		X	
Handhabung vor Ort (inkl. Beladen und interner Transport der Behälter)		X	
Zwischenlagerung im ZWIBEZ			X[a)]
Transport zum zentralen Zwischenlager Würenlingen		X	
Umverpacken in den Verpackungsanlagen am Standort Zwilag (falls erforderlich)		X	
Zwischenlagerung im zentralen Zwischenlager Würenlingen			X[a)]
Transport zum geologischen Tiefenlager		X	
Zuteilbare Kosten im geologischen Tiefenlager		X	

[a)] Aus Vereinfachungsgründen als Entsorgungskosten behandelt, analog zu KS21 und KS16.

4.2 Transport- und Lagerbehälter

Die Kosten der Transport- und Lagerbehälter (TLB) für abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle enthalten neben den Beschaffungskosten auch die ermittelten Kosten für die während der Nutzungsdauer erforderliche Überwachung und die periodischen Lizenzierungen der TLB. Für die Lagerung der TLB besteht eine unbefristete Freigabe. Es gelten die Anforderungen der Alterungsüberwachung. 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).

4.3 Weitere Abfallbehälter

Neben den Transport- und Lagerbehältern für abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle werden für die Konditionierung und Verpackung der radioaktiven Abfälle verschiedene Behältertypen [16] 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 KC-T12, LC-84, LC-86 vorgesehen (siehe Tabelle 11). Diese sind den jeweiligen Kostenelementen, zum Beispiel den Stilllegungsabfällen, zugeordnet und werden hier der Vollständigkeit halber dargestellt.

Tabelle 10: Abfallgebindespektrum und dessen wichtigste Eigenschaften.

Abfallgebinde	Eigenschaften	Bild	Behälter für geologische Tiefenlagerung
1000-l-BC PSI	Form: Zylinder Höhe: 1.3 m Durchmesser: 1.0 m Nutzvolumen: 0.3 m^3 Eigenmasse[a]: 1'430 bis 1610 kg [a] je nach Deckelvariante		-
1.2m3-C COG	Form: Zylinder Höhe: 1.5 m Durchmesser: 1.0 m Nutzvolumen: 0.6 m^3 Eigenmasse: 1'430 kg		-
KC-T12/30 PSI	Form: Quader Länge: 1.5 m Breite: 1.5 m Höhe: 2.0 m Leervolumen[a]: 1.3 bis 2.8 m^3 Eigenmasse[a]: 4'370 bis 8'210 kg [a] je nach Wandstärke		-
GC-T24 PSI	Form: Quader Länge: 4.0 m Breite: 2.0 m Höhe: 2.0 m Leervolumen: 8.5 m^3 Eigenmasse: 18'840 kg		-
GC-T15/20 PSI	Form: Quader Länge: 4.5 m Breite: 2.0 m Höhe: 2.0 m Leervolumen: 10.8 m^3 Eigenmasse: 18'020 kg		-

Abfallgebinde	Eigenschaften	Bild	Behälter für geologische Tiefenlagerung
200-l-Fass	Form: Zylinder Höhe: ca. 0.9 m Durchmesser: ca. 0.6 m Leervolumen: ca. 0.2 m^3 Eigenmasse: 20 bis 60 kg		LC-86H
180-l-Kokille WA	Form: Zylinder Höhe: 1.3 m Durchmesser: 0.4 m Nutzvolumen: 0.2 m^3 Eigenmasse: 90 kg		WA-ATA: LC-86 WA-HAA: ELB HAA
LC-84	Form: Quader Länge: 2.4 m Breite: 2.0 m Höhe: 1.3 m Leervolumen: 3.0 m^3 Eigenmasse[a)]: 7'880 bis 8'130 kg, [a)] je nach Deckelvariante		-
LC-86	Form: Quader Länge: 2.4 m Breite: 2.0 m Höhe: 2.0 m Leervolumen: 5.0 m^3 Eigenmasse[a)]: 10'580 bis 10'840 kg, [a)] je nach Deckelvariante		-
MOSAIK-II	Form: Zylinder Höhe: 1.5 m Durchmesser: 1.1 m Leervolumen: [a)] 0.5 m^3 Eigenmasse: [a)] 5'730 kg [a)] ohne interne Zusatzabschirmungen		-

Abfallgebinde	Eigenschaften		Bild	Behälter für geologische Tiefenlagerung
Kleinzylinder Z4 BAG	Form: Höhe: Durchmesser: Leervolumen: Eigenmasse:	Zylinder 0.2 bis 0.3 m 0.07 bis 0.11 m 0.8 bis 1.5 l 1 bis 3 kg		KC-T12
Kleinzylinder Z5 BAG	Form: Höhe: Durchmesser: Leervolumen: Eigenmasse:	Zylinder 0.3 bis 0.7 m 0.06 bis 0.2 m 2.6 bis 4.9 l 3 bis 6 kg		KC-T12
Kleinzylinder Z6 BAG	Form: Höhe: Durchmesser: Leervolumen: Eigenmasse:	Zylinder 0.3 bis 0.8 m 0.1 bis 0.2 m 6.4 bis 9.4 l 5 bis 9 kg		KC-T12
Kleinzylinder Z7 BAG	Form: Höhe: Durchmesser: Leervolumen: Eigenmasse:	Zylinder 0.7 m 0.2 m 22.9 l 16 kg		KC-T12
200-l-Zylinder AERA	Form: Höhe: Durchmesser: Leervolumen: Eigenmasse:	Zylinder 0.9 m 0.6 m 0.22 m^3 56 kg		LC-86H

Abfallgebinde	Eigenschaften		Bild	Behälter für geologische Tiefenlagerung
PB146 Zylinder HL (Z8)	Form: Höhe: Durchmesser: Leervolumen: Eigenmasse:	Zylinder 1.0 m 0.15 m 14 l 20 kg		KC-T12
PB-250 Zylinder HL (Z9)	Form: Höhe: Durchmesser: Leervolumen: Eigenmasse:	Zylinder 1.0 m 0.25 m 43 l 48 kg		SMA/ATA: KC-T12 HAA: ELB BE

Tabelle 11: Endlagerbehälter für die Kostenstudie 2026.

Abfallgebinde	Eigenschaften		Bild
1000-l-BC PSI	Form:	Zylinder	
	Höhe:	1.3 m	
	Durchmesser:	1.0 m	
	Nutzvolumen:	0.3 m^3	
	Eigenmasse[a)]:	1'430 bis 1610 kg	
	[a)] je nach Deckelvariante		
1.2m3-C COG	Form:	Zylinder	
	Höhe:	1.5 m	
	Durchmesser:	1.0 m	
	Nutzvolumen:	0.6 m^3	
	Eigenmasse:	1'430 kg	
KC-T12/30 PSI	Form:	Quader	
	Länge:	1.5 m	
	Breite:	1.5 m	
	Höhe:	2.0 m	
	Leervolumen[a)]:	1.3 bis 2.8 m^3	
	Eigenmasse[a)]:	4'370 bis 8'210 kg	
	[a)] je nach Wandstärke		
GC-T24 PSI	Form:	Quader	
	Länge:	4.0 m	
	Breite:	2.0 m	
	Höhe:	2.0 m	
	Leervolumen:	8.5 m^3	
	Eigenmasse:	18'840 kg	
GC-T15/20 PSI	Form:	Quader	
	Länge:	4.5 m	
	Breite:	2.0 m	
	Höhe:	2.0 m	
	Leervolumen:	10.8 m^3	
	Eigenmasse:	18'020 kg	

Abfallgebinde	Eigenschaften		Bild
LC-84	Form:	Quader	
	Länge:	2.4 m	
	Breite:	2.0 m	
	Höhe:	1.3 m	
	Leervolumen:	3.0 m^3	
	Eigenmasse[a)]:	7'880 bis 8'130 kg,	
	[a)] je nach Deckelvariante		
LC-86	Form:	Quader	
	Länge:	2.4 m	
	Breite:	2.0 m	
	Höhe:	2.0 m	
	Leervolumen:	5.0 m^3	
	Eigenmasse[a)]:	10'580 bis 10'840 kg,	
	[a)] je nach Deckelvariante		
MOSAIK-II	Form:	Zylinder	
	Höhe:	1.5 m	
	Durchmesser:	1.1 m	
	Leervolumen: [a)]	0.5 m^3	
	Eigenmasse: [a)]	5'730 kg	
	[a)] ohne interne Zusatzabschirmungen		
LC-86H	Form:	Quader	
	Länge:	2.4 m	
	Breite:	2.0 m	
	Höhe:	2.3 m	
	Leervolumen:	ca. 6.5 m^3	
	Eigenmasse[a)]:	10'320 bis 11'760 kg,	
	[a)] je nach Deckelvariante		

Abfallgebinde	Eigenschaften		Bild
ELB WA-HAA	Form:	Zylinder	
	Höhe:	ca. 4.3[a] m	
	Durchmesser:	ca. 0.7 m	
	Leervolumen[b]:	ca. 0.6 m^3	
	Eigenmasse[b]:	ca. 9'250 kg	
	[a] ohne Greifhanteln		
	[b] ohne interne Strukturen		
ELB BE	Form:	Zylinder	
	Höhe:	ca. 5[a] m	
	Durchmesser:	ca. 1.1 m	
Beladung mit bis zu 12 SWR-BE oder mit bis zu 4 DWR-BE	Leervolumen[b]:	ca. 2.5 m^3	
	Eigenmasse[b]:	ca. 18'000 kg	
	[a] ohne Greifhanteln		
	[b] ohne Tragkörbe/interne Strukturen		

Tabelle 12: Transportkonzept für die Kostenstudie 2026.

a) Transporte zum Standort Zwilag (nur zukünftige Transporte)

Gebinde	**Transport**
200-l / PSI Zylinder Typ 2	*< 10 mSv/h:* 36 Gebinde / Gitterbox
	1 Gitterbox / Transport
	10 – 100 mSv/h: 10 Gebinde / abgeschirmter Transportbehälter
	1 Transportbehälter / Transport
	> 100 mSv/h: 1 Gebinde / MOSAIK-II
	2 MOSAIK-II / Transport
MOSAIK-II	2 MOSAIK-II / Transport
LC-84 / LC-86	1 Container / Transport
Zylinder Typ 9	1 Gebinde / MOSAIK-II
	2 MOSAIK-II / Transport

b) Transporte zum Standort gTL

ELB	**Transport**
1000-l-BC / 1.2 m^3 Sogefibre	5 Gebinde / Transport
MOSAIK-II	2 MOSAIK-II / Transport
KC-T12/30	2 KC-T12/30 / Transport (Ausnahme bei Typ B Overpack: 1 KC-T12/30 / Transport)
GC-T24 resp GC-T15/20	1 Container / Transport
LC-84 / LC-86 / LC-86H	1 Container / Transport
ELB mit HAA	1 ELB / Transport

4.4 Transporte

Erfasst werden alle Transporte zwischen Kernkraftwerk, Wiederaufarbeitungsanlagen, den Einrichtungen zur Zwischenlagerung und dem geologischen Tiefenlager.

Den Transportkosten liegen werkspezifische Schätzungen der anfallenden Mengen an Brennelementen, Wiederaufarbeitungsabfällen, Betriebsabfällen und Reaktorabfällen zugrunde. Zur Gewährleistung einer einheitlichen Datenerhebung unterstützte die Nagra die Kernkraftwerke bei diesen Schätzungen und erstellte auf dieser Basis ein konsistentes Abfallmengengerüst. Das Abfallmengengerüst umfasst die Volumina 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 Transportgebinde umgerechnet (Transportgerüst). Die infrastrukturabhängigen Rahmenbedingungen wie Betriebsperioden der Entsorgungseinrichtungen und 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 aus bereits erfolgten Transporten zu den Zwischenlagern, zum Beispiel von MOSAIK-Behältern, Transport- und Lagerbehältern und Rohabfällen.

4.5 Wiederaufarbeitung

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

4.6 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 konventioneller Bau Lagerhalle S für schwach- und mittelaktive Abfälle) im Vordergrund.

Der nukleare Ausbau der Lagerhalle S (Fertigstellung Bauetappe II) fand 2016 bis 2020 statt. Die Bauetappe III umfasste den Erwerb eines angrenzenden Grundstücks und die Erstellung eines konventionellen Lagergebäudes.

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 2067 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 sogenannte 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 Abfälle aus dem Bereich Medizin, Industrie und Forschung und betriebseigene Zwecke genutzt werden. Der Weiterbetrieb der Plasma-Anlage wird derzeit evaluiert. Zum Zeitpunkt der Abgabe der Kostenstudie 2026 liegt noch kein Entscheid über den Weiterbetrieb vor.

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 für die Zwischenlagerung und Abfallbehandlung noch benötigten Anlagen der Zwilag werden je nach Funktion bis spätestens Ende 2069 betrieben und anschliessend stillgelegt. Die Stilllegungskosten des zentralen Zwischenlagers werden in der Kostenstudie 2026 in der Ermittlung der Stilllegungskosten berücksichtigt [6].

4.7 Zwischenlager Kernkraftwerk Beznau (ZWIBEZ)

Die Kostenstudie 2026 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 Entsorgungskosten enthalten. Das ZWIBEZ wird auch nach der Stilllegung des Kernkraftwerks Beznau weiterbetrieben. Nach der Einlagerung der Abfälle in das geologische Tiefenlager wird das ZWIBEZ stillgelegt.

4.8 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 der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs werden die im Nasslager befindlichen Brennelemente bis zur Stilllegung des Nasslagers in das zentrale Zwischenlager Würenlingen überführt. Das Nasslager wird zusammen mit dem Kernkraftwerk stillgelegt.

4.9 Bau und Betriebsdauer der Entsorgungsanlagen

Die Annahmen zur Betriebsdauer des KKG-Nasslagers, des ZWIBEZ und der Anlagen der Zwilag basieren auf den Betriebsdauerannahmen des Basisszenarios (vergleiche Tabelle 13).

Die Kostenstudie 2026 geht mit dem Entsorgungsprogramm 2026 [11] von einer nuklearen Inbetriebnahme des geologischen Tiefenlagers im Jahr 2050 für SMA und im Jahr 2060 für HAA aus. Bis dahin können die vorhandenen Zwischenlager an den Standorten der Kernkraftwerke und das zentrale Zwischenlager Würenlingen genügend Kapazitäten zur Verfügung stellen, um die anfallenden Abfälle sicher zu lagern. Sollte sich die Inbetriebnahme des geologischen Tiefenlagers weiter verzögern, können die Zwischenlager auch länger betrieben werden.

Wie in der Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung [2] verlangt, werden in der Kostenstudie 2026 modellhafte, konkrete Annahmen getroffen, die mit dem aktuellen Entsorgungsprogramm 2026 vereinbar sind. Die im Entsorgungsprogramm definierten Lagerkonzepte berücksichtigen die rechtlichen und behördlichen Vorgaben sowie Anforderungen und setzen insbesondere das gesetzlich verankerte Konzept des geologischen Tiefenlagers 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 Kostenstudie 2026, 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[33].

Nach ordnungsgemässem Verschluss kann der Bundesrat eine weitere, befristete Überwachung anordnen[34] und nach Ablauf dieser Überwachungsfrist die Anlage aus der Kernenergiegesetzgebung entlassen. Anschliessend kann der Bund noch eine Umweltüberwachung durchführen[35].

Tabelle 13: Planungs-, Bau- und Betriebszeiten der Entsorgungsanlagen.

Anlage	Zeitperiode
Zentrale Abfallbehandlung	
Bau	1990 – 2004
Ersatz- und Ergänzungsinvestitionen	2002 – 2067
Betrieb	2000 – 2069
Zentrales Zwischenlager aller Abfallkategorien	
Bau	1990 – 2004
Ersatz- und Ergänzungsinvestitionen	2002 – 2067
Ausbau Halle S	2016 – 2020
Betrieb[a)]	2000 – 2069
ZWIBEZ	
Bau (Ausbaustufe 1)	1995 – 2002
Ersatz- und Ergänzungsinvestitionen (Ausbaustufe 2)	2004 – 2010
Ersatz- und Ergänzungsinvestitionen (Ausbaustufe 3)	2023 – 2028
Ausrüstung für autonomen Betrieb	2033 – 2035
Betrieb	2008 – 2069
Nasslager KKG	
Bau	2002 – 2008
Ausbaustufe 2	2017 – 2017
Betrieb	2008 – 2035
Geologisches Tiefenlager	
Standortwahl	bis 2022
Rahmenbewilligung	2024 – 2031
Bau Lager (inklusive Oberflächenanlage und Erschliessung)	2045 – 2049
Einlagerungsphase	2050 – 2069
Stilllegung (Rückbau)	2070 – 2076
Beobachtungsphase (inklusive Verschluss Hauptlager)	2070 – 2119
Verschluss Gesamtlager	2120 – 2121

[a)] Einige Einrichtungen der Zwilag werden bereits vorgängig ausser Betrieb genommen.

[33] Art. 39 Abs. 2 KEG [1].
[34] Art. 39 Abs. 3 KEG [1].
[35] Art. 39 Abs. 4 KEG [1].

5 Resultate der Ermittlung der Entsorgungskosten

Die hier vorgenommene Kostenermittlung umfasst die Entsorgungskosten für Zwischenlagerung, Transporte, Transport- und Lagerbehälter für abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle sowie die Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente. Die Entsorgungskosten für die geologische Tiefenlagerung werden in einem separaten Teilbericht [4] dargestellt. Die zusammengefassten Entsorgungskosten der Schweizer Kernkraftwerke und des Bundes werden im Mantelbericht [3] präsentiert.

Für die Präsentation der Ergebnisse der Ermittlung der Entsorgungskosten wird die von der Verwaltungskommission verbindlich für die Kostenstudie 2026 vorgegebene Kostenstruktur verwendet (siehe Kapitel 3). Dabei werden die Kosten detailliert auf 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 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,
- Alterungsmanagement.

Die Aufwendungen für Transporte umfassen:

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

Die Aufwendungen für die Zwischenlagerung umfassen:

- Betriebskosten und Investitionen der Zwilag,
- Betriebskosten und Investitionen des Nasslagers 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 entfällt auf die Zwischenlagerung der radioaktiven Abfälle und beträgt je nach Werk und Bund rund 74 bis 95 Prozent. Bei den Kernkraftwerken entfallen rund 2 bis 19 Prozent der Ausgangskosten auf die Beschaffung und das Alterungsmanagement von Transport- und Lagerbehältern für abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle. Weitere rund 3 bis 26 Prozent der Ausgangskosten entfallen auf den Transport der radioaktiven Abfälle vom Kernkraftwerk zum Zwischenlager und vom Zwischenlager zum geologischen Tiefenlager. Für die Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente fallen keine zukünftigen Ausgangskosten mehr an, da die Rückführung dieser Abfälle im Jahr 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 Kostenstudie 2026 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 2025 gültigen rechtlichen und behördlichen Vorgaben sowie auf dem Preisniveau per 1. Januar 2026. 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 die Tabellen 14 bis 18 zeigen, liegen die zukünftigen Basiskosten für Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung bei den einzelnen Schweizer Kernkraftwerken zwischen rund 218 und 803 Millionen Franken. Für den Bund betragen sie rund 24 Millionen Franken.

Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten

Die Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten sind zu den Basiskosten zu addieren.

Die Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten werden entsprechend der in Abschnitt 3.2.2 erläuterten Methodik berechnet und sind für die Kernkraftwerke Beznau, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt sowie für den Bund in den Tabellen 14 bis 18 ausgewiesen.

Die Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten betragen bei den Transporten und den Transport- und Lagerbehältern jeweils rund 7 Prozent der Basiskosten. Bei der Zwischenlagerung liegen sie zwischen rund 4 und 5 Prozent. Der vergleichsweise geringe Zuschlag bei den Transporten ist mit dem hohen Wettbewerb im Markt für Logistikleistungen zu begründen.

Der Gesamtzuschlag für Prognoseungenauigkeiten liegt je nach Entsorgungspflichtigem zwischen rund 4 und 5 Prozent. Über alle Entsorgungspflichtigen beträgt er rund 5 Prozent.

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

Kostenstrukturelemente (bis Ebene 3)	AK	RM	BK	PU	
	[MCHF]	[MCHF]	[MCHF]	[MCHF]	[%]
Aufgelaufene Entsorgungskosten KKB bis 31.12.2025			**1'581.64**		
Zukünftige Entsorgungskosten KKB	**668.76**	**0.00**	**668.76**	**29.65**	*4.43%*
TLB	**117.94**	**0.00**	**117.94**	**7.93**	*6.72%*
Behälterbeschaffung	108.54	0.00	108.54	7.30	
Alterungsmanagement	9.39	0.00	9.39	0.63	
Transporte	**28.82**	**0.00**	**28.82**	**1.94**	*6.72%*
Betriebsabfälle/Reaktorabfälle	1.87	0.00	1.87	0.13	
Wiederaufbereitungsabfälle/abgebrannte Brennelemente	26.94	0.00	26.94	1.81	
Zwischenlagerung	**522.00**	**0.00**	**522.00**	**19.79**	*3.79%*
Zwilag	316.01	0.00	316.01	15.76	
ZWIBEZ	205.99	0.00	205.99	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]	[%]
Aufgelaufene Entsorgungskosten KKM bis 31.12.2025			**721.21**[a)]		
Zukünftige Entsorgungskosten KKM	**218.10**	**0.00**	**218.10**	**10.99**	*5.04%*
TLB	**4.97**	**0.00**	**4.97**	**0.33**	*6.72%*
Behälterbeschaffung	0.00	0.00	0.00	0.00	
Alterungsmanagement	4.97	0.00	4.97	0.33	
Transporte	**6.65**	**0.00**	**6.65**	**0.45**	*6.72%*
Betriebsabfälle/Reaktorabfälle	1.71	0.00	1.71	0.11	
Wiederaufbereitungsabfälle/abgebrannte Brennelemente	4.95	0.00	4.95	0.33	
Zwischenlagerung	**206.48**	**0.00**	**206.48**	**10.21**	*4.95%*
Zwilag	206.48	0.00	206.48	10.21	

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.
Ausgangskosten (AK), Kosten für Massnahmen zur Risikominderung (RM) sowie Basiskosten (BK) und Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten (PU).
[a)] Die aufgelaufenen Kosten beinhalten Kosten in Höhe von 9.16 MCHF aus dem Entsorgungskonzept (vorwiegend Planungskosten wie beispielsweise 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]	[%]
Aufgelaufene Entsorgungskosten KKG bis 31.12.2025			**1'656.88**		
Zukünftige Entsorgungskosten KKG	**639.78**	**0.00**	**639.78**	**34.28**	*5.36%*
TLB	**116.82**	**0.00**	**116.82**	**7.85**	*6.72%*
Behälterbeschaffung	111.64	0.00	111.64	7.50	
Alterungsmanagement	4.41	0.00	4.41	0.30	
Anlageninterner Transport	0.77	0.00	0.77	0.05	
Transporte	**24.97**	**0.00**	**24.97**	**1.68**	*6.72%*
Betriebsabfälle/Reaktorabfälle	1.34	0.00	1.34	0.09	
Wiederaufbereitungsabfälle/abgebrannte Brennelemente	23.63	0.00	23.63	1.59	
Zwischenlagerung	**497.98**	**0.00**	**497.98**	**24.75**	*4.97%*
Zwilag	497.98	0.00	497.98	24.75	
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]	[%]
Aufgelaufene Entsorgungskosten KKL bis 31.12.2025			**1'029.36**		
Zukünftige Entsorgungskosten KKL	**803.29**	**0.00**	**803.29**	**42.54**	*5.30%*
TLB	**153.71**	**0.00**	**153.71**	**10.33**	*6.72%*
Behälterbeschaffung	139.78	0.00	139.78	9.40	
Alterungsmanagement	13.93	0.00	13.93	0.94	
Transporte	**29.61**	**0.00**	**29.61**	**1.99**	*6.72%*
Betriebsabfälle/Reaktorabfälle	4.37	0.00	4.37	0.29	
Wiederaufbereitungsabfälle/abgebrannte Brennelemente	25.24	0.00	25.24	1.70	
Zwischenlagerung	**619.98**	**0.00**	**619.98**	**30.22**	*4.87%*
Zwilag	619.98	0.00	619.98	30.22	

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]	[%]
Aufgelaufene Entsorgungskosten Bund bis 31.12.2025			**42.54**		
Zukünftige Entsorgungskosten Bund	**24.49**	**0.00**	**24.49**	**1.07**	*4.36%*
Transporte	**6.47**	**0.00**	**6.47**	**0.43**	*6.72%*
Betriebsabfälle	4.67	0.00	4.67	0.31	
Stilllegungsabfälle	1.55	0.00	1.55	0.10	
abgebrannte Brennelemente Forschungsreaktor Diorit	0.24	0.00	0.24	0.02	
Zwischenlagerung	**18.02**	**0.00**	**18.02**	**0.63**	*3.51%*
Zwilag	18.02	0.00	18.02	0.63	

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

Die Chancen- und Gefahrenkataloge für Stilllegung und Entsorgung wurden im Rahmen der Kostenstudie 2016 erstmals systematisch erarbeitet. Die methodische Vorgehensweise zur Bewertung der Gefahren und Chancen für die Kostenstudie 2026 ist in Abschnitt 3.2.2 beschrieben.

Für die Kostenstudie 2026 wurden die bestehenden Risikokataloge erneut gesichtet und auf ihre Aktualität überprüft. Dabei zeigte sich, dass sich die Annahmen und Risikokategorien sowie deren qualitative und quantitative Bewertung gegenüber der Kostenstudie 2021 für bestehende Risiken nur marginal verändert haben. Es wurden eine neue Gefahr und zwei neue Chancen im Bereich Zwischenlagerung aufgenommen. Ferner haben sich Anpassungen bei den Gefahren für Transporte und Behälter ergeben.

Die verschiedenen Kategorien von Gefahren und Chancen werden nachstehend erläutert.

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 5).

Veränderung der Höhe der Betriebskosten der Zwischenlagerung

Mehrkosten bei Gebühren und Versicherungen

Erhöhung von Gebühren, Behördenaufwänden (inklusive ENSI), Abgaben, Versicherungskosten, 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

Mit der schrittweisen Verlagerung radioaktiver Materialien von den Kernkraftwerksstandorten zur Zwilag erhöht sich das radioaktive Inventar am Standort Zwilag. Es besteht die Gefahr, dass bei der Bemessung der nuklearen Haftpflichtversicherung der Zwilag bereits frühzeitig das künftig erwartete Gesamtschadenspotenzial zugrunde gelegt wird, obwohl sich ein Teil der betreffenden Materialien noch an den Kernkraftwerksstandorten befindet. Dadurch können bei der Zwilag zusätzliche Versicherungskosten früher anfallen, als es dem tatsächlich am Standort vorhandenen Inventar entspricht.

Ein weiterer Gefahrenaspekt besteht darin, dass die Versicherungsprämie der Zwilag nach der Auslagerung der Abfälle in das geologische Tiefenlager nicht oder erst verzögert 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 teuerungsbereinigt (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.

Mehrkosten durch die Revision der Kernhaftpflichtverordnung

Erhöhung von Versicherungsprämien, die in den heutigen Ist-Kosten vor der endgültigen Einstellung des Betriebs noch nicht berücksichtigt sind.

Veränderung der Technologie bei der Zwischenlagerung

Degradation von Behältern vor Einlagerung in das geologische Tiefenlager

Bestehende Abfallgebinde weisen wegen der langen Lagerung unzulässige Abweichungen gegenüber den heutigen gültigen Abfallgebindetypen-Spezifikationen / Endlagerfähigkeitsbescheinigungen (ELFB) / Typenfreigaben aus (zum Beispiel Korrosion).

Veränderung der Annahmebedingungen des geologischen Tiefenlagers

Bestehende Abfallgebinde 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 Nuklearanlagenteile

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

Anpassungen der Anlageninfrastruktur

Zur Einhaltung zukünftiger zusätzlicher Anforderungen, wie etwa höherer Sicherungsanforderungen (zum Beispiel zur Abwehr von Terrorgefahr), werden zusätzliche, die bereits vorgesehenen Investitionen übersteigende Anpassungen an der Infrastruktur verlangt. Die betriebliche Erfahrung der letzten Jahre zeigt, dass sich gesetzliche Anforderungen zum Beispiel aus dem Umweltbereich weiter verschärfen, was zu zusätzlichen Investitionen führen kann. Zusätzliche Anforderungen der Werke an die Leistungen der Zwilag können zu weiteren Investitionen in die Anlagenausstattung führen.

Technische Defekte bei Einrichtungen der Logistikinfrastruktur

Während des Betriebs kann es zu technischen Defekten an Hebezeugen oder anderen Infrastruktureinrichtungen der Materiallogistik kommen. Dabei handelt es sich um ein Frequenzrisiko, da das Ereignis während des Rückbaus mehrfach auftreten kann.

Veränderung der Betriebsprozesse Zwischenlagerung

Mehrkosten durch Produktionsunterbruch beziehungsweise höhere Anforderungen an Komponenten

Die Zwilag 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 instandgestellt oder repariert werden kann. Bei einem Austausch ausgefallener Komponenten kann es infolge gestiegener Anforderungen zu Mehrkosten kommen.

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

Stilllegungsverfügung verzögert durch Behördenprozess

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

Stilllegungsverfügung verzögert durch Öffentlichkeit

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

Transporte und Behälter

Abweichungen vom Sollzustand bei Transport- und Lagerbehälter (TLB) während der Zwischenlagerung

Bei einem TLB kommt es während der Zwischenlagerung zu einer Abweichung gegenüber dem Sollzustand. Dies erfordert Servicearbeiten am TLB in der Heissen Zelle.

Mehrkosten für Haftpflichtversicherung für Nukleartransporte

Aufgrund geänderter regulatorischer Anforderungen kommt es zu einer teuerungsüberschreitenden Erhöhung der Versicherungskosten für nukleare Transporte.

Transport-Konvois von BEVA zum gTL

Es besteht die Gefahr, dass der Transport von Endlagerbehältern von der Brennelementverpackungsanlage (BEVA) zum geologischen Tiefenlager (gTL) nicht in Transportkonvois möglich ist. Die aktuelle Basisannahme ist, dass die Transporte als Konvois mit vier Endlagerbehältern durchgeführt werden.

5.2.2 Kostenabzüge für Chancen

Für die Zwischenlagerung im zentralen Zwischenlager Würenlingen, für Transport- und Lagerbehälter und für Transporte von Nuklearabfällen wurden zwei Chancen identifiziert.

Veränderung der Höhe der Betriebskosten der Zwischenlagerung

Senkung der Betriebskosten infolge Synergien mit den Verpackungsanlagen am Standort Zwilag

Es besteht die Möglichkeit zur Senkung der Betriebskosten der Zwilag durch eine vertiefte organisatorische Kooperation mit den am Standort Zwilag vorgesehenen Verpackungsanlagen. Daraus ergibt sich ein organisatorisches Synergiepotenzial.

Veränderungen bei Infrastruktur und Logistik

Erschliessung alternativer Konditionierungsverfahren anstelle Plasma-Anlage

Zur Volumenreduktion der radioaktiven Abfälle stehen verschiedene Varianten zur Verfügung. In der Schweiz werden brennbare Abfälle derzeit in der Plasma-Anlage der Zwilag verarbeitet. Daneben sind auch andere Verfahren zur Konditionierung wie Hochdruckverpressung, Verbrennen oder nukleares Schmelzen je nach Material denkbar. Der Weiterbetrieb der Plasma-Anlage wird derzeit durch Zwilag evaluiert. Zum Zeitpunkt der Einreichung der Kostenstudie liegt der Entscheid noch nicht vor. Die derzeitigen Abklärungen deuten auf Kostenreduktionspotenziale in den Bereichen Investitionen und Betriebskosten bei Verwendung alternativer Konditionierungsverfahren hin.

5.2.3 Quantifizierung der Kostenfolgen von Gefahren und Chancen

Die oben beschriebenen Zuschläge beziehungsweise 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 liegen die Kostenzuschläge für Gefahren zwischen rund 7 und 10 Prozent der Basiskosten. Dem stehen Kostenabzüge für Chancen zwischen rund 4 und 5 Prozent gegenüber. In der Summe ergibt sich aus Gefahren und Chancen ein Zuschlag zwischen rund 3 und 7 Prozent der Basiskosten. Über alle Entsorgungspflichtigen beträgt er rund 3 Prozent.

Tabelle 19: Kostenzuschlag für Gefahren und Kostenabzug für Chancen.

	KKB	KKM	KKG	KKL	Bund	Total
Kostenzuschlag für Gefahren	46	18	44	54	3	**164**
in % der Basiskosten	*6.9%*	*8.1%*	*6.9%*	*6.7%*	*10.3%*	*7.0%*
Kostenabzug für Chancen	-25	-10	-24	-30	-1	**-89**
in % der Basiskosten	*-3.7%*	*-4.5%*	*-3.7%*	*-3.7%*	*-3.5%*	*-3.8%*
Kostenzuschlag für Gefahren und Chancen	**21**	**8**	**20**	**24**	**2**	**75**
in % der Basiskosten	*3.2%*	*3.6%*	*3.1%*	*3.0%*	*6.8%*	*3.2%*

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

5.2.4 Risikomatrix

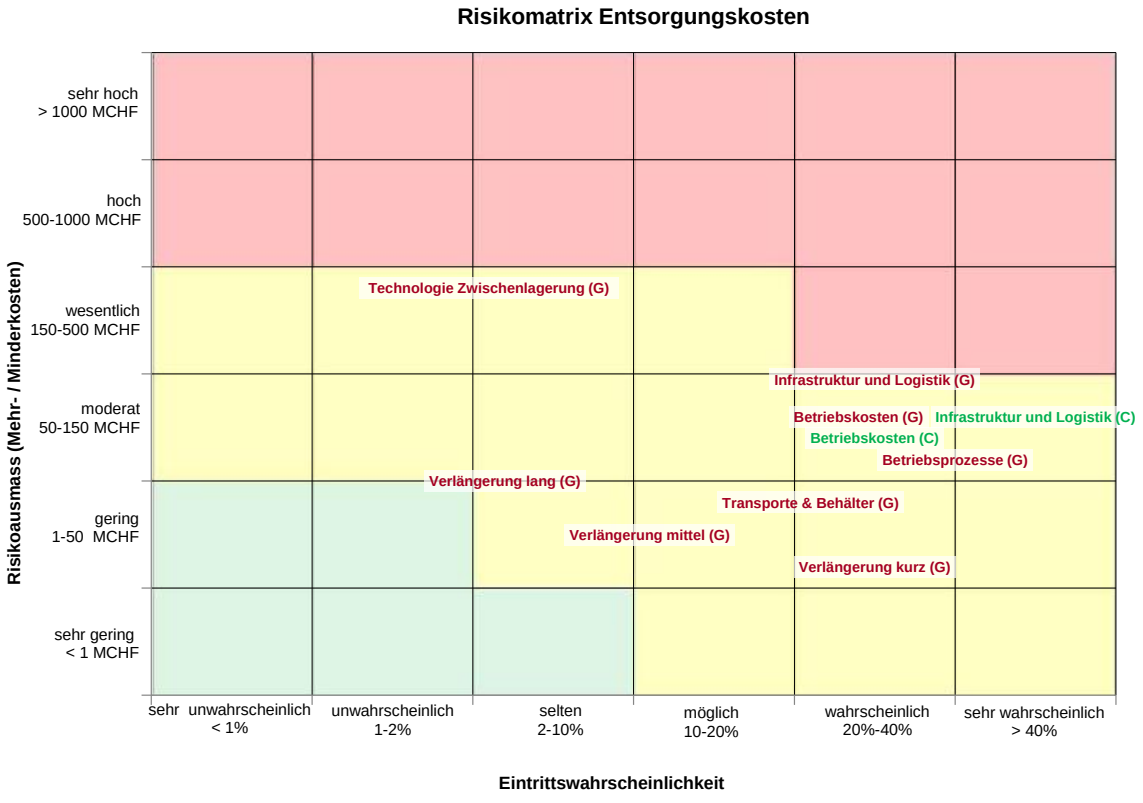
Im Rahmen der Kostenstudie 2026 wurden die Gefahren und Chancen der Entsorgung für Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung analysiert. Das Ergebnis dieser Analyse ist ein Risikoprofil, das für alle Entsorgungspflichtigen ähnlich ist. Für die Erstellung des Risikoprofils wurden die vorhin beschriebenen Gruppen nach Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmass dargestellt.

Für die Kostenstudie 2026 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, 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.

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 5 zeigt exemplarisch die für die Entsorgung (Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung) ermittelte Risikomatrix.



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

Abbildung 5: 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 sowie versicherte Gefahren und Gefahren, die über berücksichtigte risikomindernde Massnahmen weitestgehend vermieden werden konnten. Zusätzlich wurde 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 nicht berücksichtigten Gefahren handelt es sich im Wesentlichen um Behinderungen und Verzögerungen der Aktivitäten durch nicht bekannte technische Schwierigkeiten, Naturereignisse oder sonstige Einflüsse höherer Gewalt. In diesem Zusammenhang ist von einem möglichen Schadensausmass in einer Grössenordnung von 20 Prozent der Entsorgungskosten bei einer äusserst geringen Eintrittswahrscheinlichkeit auszugehen.

Sämtliche Positionen, die der Kategorie nicht berücksichtigte Gefahren und Chancen zugeordnet wurden, werden bei jeder Kostenstudie neu im Hinblick auf eine allfällige Verschiebung in die Kategorie Chancen oder Gefahren überprüft.

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 wird 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 sowie die Kostenabzüge für Chancen entsprechen den Empfehlungen internationaler Organisationen wie OECD-NEA und IAEA und wurden bezogen auf ein konservatives Toleranzniveau berechnet. Zudem sind rund zwei Drittel der Gesamtkosten bereits angefallen. Die mit der Kostenstudie 2016 eingeführten Kostenstrukturen sowie die Kostengliederung wurden auch in den Kostenstudien 2021 und 2026 beibehalten. Damit ist die Vergleichbarkeit der Zuschlagsniveaus grundsätzlich gewährleistet. Das Toleranzniveau gegenüber allfälligen Kostenüberschreitungen entspricht demjenigen, das für die Kostenstudie 2021 zugrunde gelegt wurde. Es haben sich zwischen den Abgabeterminen für die beiden Kostenstudien 2021 und 2026 keine Erkenntnisse ergeben, die für eine abweichende Festlegung des generellen Sicherheitszuschlags sprechen. Die Anwendung eines zusätzlichen generellen Sicherheitszuschlags ist deshalb nicht angebracht.

Dementsprechend wird für die hier betrachteten Entsorgungskosten in der Kostenstudie 2026 kein genereller Sicherheitszuschlag angesetzt. Dieses Vorgehen wurde bereits bei den Überprüfungen der Kostenstudien 2016 und 2021 bestätigt.

5.5 Gesamtkosten

Im Folgenden sind die Ergebnisse der Ermittlung der Entsorgungskosten für Zwischenlagerung, Transporte, Transport- und Lagerbehälter für abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle sowie Wiederaufarbeitung entsprechend der Kostengliederung zusammengestellt. Für die einzelnen Kostenelemente der Kostenstruktur sind die Ausgangskosten und die Kosten für Massnahmen zur Risikominderung bestimmt. Zu den so erhaltenen Basiskosten werden Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten addiert. Zu diesen werden die Kostenzuschläge für Gefahren und die Kostenabzüge für Chancen addiert. Die Gesamtkosten werden mit dem Ergebnis der Kostenstudie 2021 verglichen.

Tabelle 20 zeigt die Gesamtkosten der vorliegenden Entsorgungskostenermittlung sowie deren Aufschlüsselung gemäss der in Abschnitt 3.2 erläuterten Kostengliederung. Die Kostenermittlungen werden jeweils zum Geldwert des Schätzungsjahres durchgeführt. Für den direkten Vergleich mit der Kostenstudie 2021 wurden die Kosten mit zwei Teuerungsindizes auf die Preisbasis der KS26 umgerechnet: mit dem Landesindex der Konsumentenpreise (LIK) und mit dem Baupreisindex (BAP). Bei einer Teuerungsbereinigung mit dem LIK liegen die Gesamtkosten für Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung rund 4 Prozent über den entsprechenden Kosten der Kostenstudie 2021. Bei Verwendung des BAP beträgt die Differenz rund 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 5'032 Millionen Franken, die zukünftigen Kosten betragen insgesamt 2'548 Millionen Franken. Die Entsorgungskosten betragen für die Schweizer Kernkraftwerke zwischen 958 und 2'351 Millionen Franken und für den Bund 70 Millionen Franken. Von den zukünftigen Kosten sind 1'989 Millionen Franken fondsrelevant und 560 Millionen Franken nicht fondsrelevant.

Tabelle 20: Entsorgungskostenermittlung für Zwischenlagerung, Transporte, Transport- und Lagerbehälter und Wiederaufarbeitung der Kostenstudie 2026. Vergleich mit der Kostenstudie 2021 auf der Preisbasis 2026.

Element der Kostengliederung		KKB		KKM[a)]		KKG		KKL		Bund		Total
Aufgelaufene Kosten bis 2025		**1'582**		**721**		**1'657**		**1'029**		**43**		**5'032**
Zukünftige Kosten ab 2026												
Basiskosten		**669**		**218**		**640**		**803**		**24**		**2'354**
Prognoseungenauigkeiten	*4.4%*	30	*5.0%*	11	*5.4%*	34	*5.3%*	43	*4.4%*	1	*5.0%*	119
Zuschlag für Gefahren	*6.9%*	46	*8.1%*	18	*6.9%*	44	*6.7%*	54	*10.3%*	3	*7.0%*	164
Abzug für Chancen	*-3.7%*	-25	*-4.5%*	-10	*-3.7%*	-24	*-3.7%*	-30	*-3.5%*	-1	*-3.8%*	-89
Genereller Sicherheitszuschlag		-		-		-		-		-		
Zuschlag auf Basiskosten	*7.6%*	51	*8.6%*	19	*8.5%*	54	*8.3%*	67	*11.1%*	3	*8.2%*	194
Zukünftige Kosten ab 2026		**720**		**237**		**694**		**870**		**27**		**2'548**
nicht fondsrelevant		*114*		*0*		*103*		*315*		*27*		*560*
fondsrelevant		*606*		*237*		*591*		*555*		*0*		*1'989*
Gesamtkosten		**2'301**		**958**		**2'351**		**1'899**		**70**		**7'580**
Gesamtkosten KS21 PB26 LIK		2'208		921		2'256		1'825		69		7'279
Differenz	*4.2%*	94	*4.0%*	37	*4.2%*	95	*4.1%*	74	*1.8%*	1	*4.1%*	300
Gesamtkosten KS21 PB26 BAP		2'270		944		2'315		1'903		71		7'502
Differenz	*1.4%*	32	*1.5%*	15	*1.6%*	36	*-0.2%*	-4	*-1.7%*	-1	*1.0%*	78

Angaben in Millionen Franken, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.
Kernkraftwerke Beznau (KKB), Mühleberg (KKM), Gösgen (KKG) und Leibstadt (KKL).
Kostenstudie 2026 (KS26), Kostenstudie 2021 (KS21), Preisbasis 2026 (PB26).
PB26 teuerungsbereinigt mit Landesindex der Konsumentenpreise (LIK) und Baupreisindex (BAP).
[a)] Die aufgelaufenen Kosten beinhalten Kosten in Höhe von 9.16 MCHF aus dem Entsorgungskonzept (vorwiegend Planungskosten wie beispielsweise Zuarbeiten zum Endlagerkonzept, BE-Behälterbeschaffung und Lizenzierung, Beladeoptionen für BE-Behälter).

Die wichtigsten Änderungen gegenüber der Kostenstudie 2021 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Das Personalmengengerüst und die Personalkosten sind bei der Zwilag basierend auf den aktuellen Kenntnissen und Betriebsmannschaften aktualisiert. Dies führt zu einer Erhöhung der Jahreskosten für den Betrieb von 2026 bis zur endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs. Weiter führt der erhöhte Personalbestand zu einer Erhöhung der Betriebskosten.

- Das Personalmengengerüst und die Personalkosten der Zwilag wurden basierend auf den aktuellen Kenntnissen und Betriebsmannschaften aktualisiert. Dies führt von 2026 bis zur endgültigen Einstellung des Betriebs der betreffenden Anlagen zu höheren Jahres- und Betriebskosten.

- In den aktuellen Annahmen zum Betriebsdauermanagement der Zwilag sind umfangreiche Investitionen für den Weiterbetrieb der Plasma-Anlage berücksichtigt. Der Weiterbetrieb der Anlage wird derzeit evaluiert. Zum Zeitpunkt der Einreichung der Kostenstudie 2026 liegt hierzu noch kein Entscheid vor. Da alternative Konditionierungsmethoden gegenüber dem Weiterbetrieb der Plasma-Anlage Kostenvorteile bieten können, ist eine entsprechende Chance berücksichtigt worden.

- Gegenüber der Kostenstudie 2021 sind die Brennelementverpackungsanlage und die Verpackungsanlagen für SMA neu am Standort Zwilag vorgesehen. Dies führt zu einer deutlich höheren Anzahl an Transporten vom Standort Zwilag zum geologischen Tiefenlager und damit zu höheren Transportkosten.

A Anhänge

A.1 Kostenverteilschlüssel für Zwischenlager und Behandlungsanlagen

Aktionärsschlüssel

Basis der Aufteilung der Kosten auf die einzelnen Partner ist der sogenannte 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 α nach dem Solidaritätsprinzip als sogenannter Solidaritätsanteil auf die Kernkraftwerke aufgeteilt. Der verbleibende Rest (1-α) wird als sogenannter 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: Kostenverteilschlüssel für Zwischenlager und Behandlungsanlagen.

		KKB	KKM	KKG	KKL	Total KKW	Bund (fiktiv)	Total	Anzuwenden auf
Thermische Reaktorleistung 1990[a)]	MWth	2'260	1'097	3'002	3'600	9'959	0	9'959	Berechnung des Aktionärsschlüssels und des modifizierten Aktionärsschlüssels.
Aktionärs-Schlüssel	ohne[b)] Bundes-Beteiligung	24.3%	10.7%	31.2%	33.8%	100.0%			Die Baukosten, Ersatzinvestitionen sowie Anteile an den Betriebskosten des Zwilag (inkl. Abgeltungen).
MAA-Lager	Stellplatzver-teilung	90	42	90	98	320			Zwilag 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.
SMA-Lager	Stellplatzver-teilung	40	279	257	550	1'126			Zwilag 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.
Modifizierter Aktionärs-schlüssel HAA-Lager	TLB-Stellplatz-verteilung	12	27	77	84	200			Zwilag allein.
	Verteilschlüssel	6.0%	13.5%	38.5%	42.0%	100.0%			Alle Baukosten und Ersatzinvestitionen sowie Betriebskosten des HAA-Lagers.
Verteilschlüssel ZWIBEZ HAA	TLB-Stellplatz-verteilung	83	0	0	0	83			ZWIBEZ allein.
	Verteilschlüssel	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%			Alle Kosten ZWIBEZ HAA.

[a)] Jahr des Abschlusses des Gründungs- und Beteiligungsvertrags über die Zwilag.

[b)] 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, Kostenstudie 2026 und Kostenstudie 2021 auf Preisbasis 2026 im Vergleich.

	KKB	KKM	KKG	KKL	Total KKW	Bund	Total
KS26 PB26							
Kosten Transport- und Lagerbehälter	**305**	**105**	**226**	**370**	**1'006**	**2**	**1'008**
aufgelaufene Kosten bis 2025	179	99	101	205	584	2	586
2026 bis EELB	50	0	25	122	196	0	423
nach EELB[a)]	77	6	101	43	226		
KS21 PB26 LIK							
Kosten Transport- und Lagerbehälter	**322**	**110**	**251**	**419**	**1'102**	**2**	**1'105**
Differenz KS26 KS21	-16	-5	-25	-49	-96	0	-96
Differenz KS26 KS21 [%]	*-5.1%*	*-4.8%*	*-10.0%*	*-11.8%*	*-8.7%*	*-7.0%*	*-8.7%*
KS21 PB26 BAP							
Kosten Transport- und Lagerbehälter	**339**	**113**	**265**	**441**	**1'159**	**2**	**1'161**
Differenz KS26 KS21	-34	-8	-39	-72	-152	0	-153
Differenz KS26 KS21 [%]	*-9.9%*	*-7.0%*	*-14.8%*	*-16.2%*	*-13.2%*	*-7.5%*	*-13.1%*

Angaben in Millionen Franken, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.
Kernkraftwerke Beznau (KKB), Mühleberg (KKM), Gösgen (KKG) und Leibstadt (KKL).
Kostenstudie 2026 (KS26), Kostenstudie 2021 (KS21), Preisbasis 2026 (PB26).
PB26 teuerungsbereinigt mit Landesindex der Konsumentenpreise (LIK) und Baupreisindex (BAP).
a) Für KKM ab 2026.

A.3 Transportkosten

Tabelle 23: Kosten der Transporte, Kostenstudie 2026 und Kostenstudie 2021 auf Preisbasis 2026 im Vergleich.

	KKB	KKM	KKG	KKL	Total KKW	Bund	Total
KS26 PB26							
Kosten Transporte	**153**	**60**	**66**	**48**	**328**	**8**	**336**
aufgelaufene Kosten bis 2025	117	52	35	12	217	0	217
2026 bis EELB	0	0	2	5	7	8	120
nach EELB[a)]	36	8	29	32	104		
KS21 PB26 LIK							
Kosten Transporte	**128**	**58**	**55**	**42**	**283**	**4**	**286**
Differenz KS26 KS21	25	3	11	6	46	4	50
Differenz KS26 KS21 [%]	*19.9%*	*4.7%*	*20.3%*	*15.3%*	*16.2%*	*120.3%*	*17.5%*
KS21 PB26 BAP							
Kosten Transporte	**129**	**59**	**57**	**45**	**289**	**4**	**293**
Differenz KS26 KS21	24	2	9	4	39	4	43
Differenz KS26 KS21 [%]	*18.8%*	*2.6%*	*16.7%*	*8.6%*	*13.5%*	*103.2%*	*14.7%*

Angaben in Millionen Franken, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.
Kernkraftwerke Beznau (KKB), Mühleberg (KKM), Gösgen (KKG) und Leibstadt (KKL).
Kostenstudie 2026 (KS26), Kostenstudie 2021 (KS21), Preisbasis 2026 (PB26).
PB26 teuerungsbereinigt mit Landesindex der Konsumentenpreise (LIK) und Baupreisindex (BAP).
a) Für KKM ab 2026.

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

Tabelle 24: Kosten der zentralen Abfallbehandlung und Zwischenlagerung, Kostenstudie 2026 und Kostenstudie 2021 auf Preisbasis 2026 im Vergleich.

	KKB	KKM	KKG	KKL	Total KKW	Bund	Total
KS26 PB26							
Kosten Zwischenlagerung	**607**	**403**	**938**	**1'128**	**3'077**	**60**	**3'137**
aufgelaufene Kosten bis 2025	266	181	401	460	1'307	41	1'347
2026 bis EELB	62	0	76	189	326	19	1'790
nach EELB[a)]	279	223	462	480	1'444		
KS21 PB26 LIK							
Kosten Zwischenlagerung	**566**	**365**	**848**	**1'011**	**2'790**	**63**	**2'853**
Differenz KS26 KS21	41	38	91	117	287	-3	284
Differenz KS26 KS21 [%]	*7.3%*	*10.5%*	*10.7%*	*11.6%*	*10.3%*	*-4.8%*	*10.0%*
KS21 PB26 BAP							
Kosten Zwischenlagerung	**594**	**383**	**890**	**1'064**	**2'932**	**65**	**2'997**
Differenz KS26 KS21	13	20	48	64	145	-5	140
Differenz KS26 KS21 [%]	*2.1%*	*5.3%*	*5.4%*	*6.0%*	*4.9%*	*-7.8%*	*4.7%*

Angaben in Millionen Franken, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.
Kernkraftwerke Beznau (KKB), Mühleberg (KKM), Gösgen (KKG) und Leibstadt (KKL).
Kostenstudie 2026 (KS26), Kostenstudie 2021 (KS21), Preisbasis 2026 (PB26).
PB26 teuerungsbereinigt mit Landesindex der Konsumentenpreise (LIK) und Baupreisindex (BAP).
a) Für KKM ab 2026.

A.5 Kosten des ZWIBEZ und des KKG Nasslagers

Tabelle 25: Kosten des ZWIBEZ und des KKG Nasslagers, Kostenstudie 2026 und Kostenstudie 2021 auf Preisbasis 2026 im Vergleich.

	KKB	KKM	KKG	KKL	Total KKW
KS26 PB26					
Kosten Zwischenlagerung	**247**		**105**		**352**
aufgelaufene Kosten bis 2025	30		105		136
2026 bis EELB	2		0		2
nach EELB	214		0		214
KS21 PB26 LIK					
Kosten Zwischenlagerung	**203**		**87**		**290**
Differenz KS26 KS21	43		18		61
Differenz KS26 KS21 [%]	*21.3%*		*21%*		*21.1%*
KS21 PB26 BAP					
Kosten Zwischenlagerung	**218**		**87**		**305**
Differenz KS26 KS21	28		18		46
Differenz KS26 KS21 [%]	*13.0%*		*21%*		*15.2%*

Angaben in Millionen Franken, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.
Kernkraftwerke Beznau (KKB), Mühleberg (KKM), Gösgen (KKG) und Leibstadt (KKL).
Kostenstudie 2026 (KS26), Kostenstudie 2021 (KS21), Preisbasis 2026 (PB26).
PB26 teuerungsbereinigt mit Landesindex der Konsumentenpreise (LIK) und Baupreisindex (BAP).

A.6 Kosten der Wiederaufarbeitung

Tabelle 26: Kosten der Wiederaufarbeitung, Kostenstudie 2026 und Kostenstudie 2021 auf Preisbasis 2026 im Vergleich.

	KKB	KKM	KKG	KKL	Total KKW
KS26 PB26					
Kosten Wiederaufarbeitung	**989**	**380**	**1'015**	**353**	**2'737**
aufgelaufene Kosten bis 2025	989	380	1'015	353	2'737
2026 bis EELB	0	0	0	0	0
nach EELB[a)]	0	0	0	0	0
KS21 PB26 LIK					
Kosten Wiederaufarbeitung	**989**	**380**	**1'015**	**353**	**2'737**
Differenz KS26 KS21	0	0	0	0	0
Differenz KS26 KS21 [%]	*0.0%*	*0.0%*	*0%*	*0.0%*	*0.0%*
KS21 PB26 BAP					
Kosten Wiederaufarbeitung	**989**	**380**	**1'015**	**353**	**2'737**
Differenz KS26 KS21	0	0	0	0	0
Differenz KS26 KS21 [%]	*0.0%*	*0.0%*	*0%*	*0.0%*	*0.0%*

Angaben in Millionen Franken, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.
Kernkraftwerke Beznau (KKB), Mühleberg (KKM), Gösgen (KKG) und Leibstadt (KKL).
Kostenstudie 2026 (KS26), Kostenstudie 2021 (KS21), Preisbasis 2026 (PB26).
PB26 teuerungsbereinigt mit Landesindex der Konsumentenpreise (LIK) und Baupreisindex (BAP).
a) Für KKM ab 2026.

A.7 Vergleich der Entsorgungskosten für unterschiedliche Betriebsdauerannahmen

In diesem Abschnitt werden die Auswirkungen verlängerter Betriebsdauern auf die im vorliegenden Bericht betrachteten Entsorgungskosten untersucht. Dabei werden zwei Szenarien betrachtet. Im Szenario 1 wird für KKB eine Betriebsdauer von 63 Jahren angenommen; für KKM gelten 47 Jahre und für KKG und KKL jeweils 50 Jahre. Im Szenario 2 werden für KKB 63 Jahre, für KKM 47 Jahre sowie für KKG und KKL jeweils 60 Jahre zugrunde gelegt. Für die Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung (MIF) wird im Basisszenario und im Szenario 1 ein Sammelzeitraum bis 2063 berücksichtigt, während im Szenario 2 Abfälle bis 2064 berücksichtigt werden.

Die Kostenverteilschlüssel unterscheiden sich zwischen den betrachteten Szenarien. Dadurch können sich auch für einzelne Entsorgungspflichtige mit unveränderter Betriebsdauer Kostenverschiebungen gegenüber dem Basisszenario ergeben.

Im Szenario 1 betragen die hier betrachteten Entsorgungskosten für KKB rund 2.33 Milliarden Franken. Gegenüber dem Basisszenario erhöhen sich die Gesamtkosten um rund 24 Millionen Franken auf insgesamt rund 7.60 Milliarden Franken. Die aufgelaufenen Kosten bis 2025 bleiben unverändert bei rund 5.03 Milliarden Franken. Die zukünftigen Kosten ab 2026 steigen gegenüber dem Basisszenario von rund 2.55 Milliarden Franken auf rund 2.57 Milliarden Franken.

Tabelle 27: Entsorgungskosten im Szenario 1: 63-jährige Betriebsdauer von KKB, 47-jährige Betriebsdauer von KKM sowie 50-jährige Betriebsdauer von KKG und KKL.

Element der Kostengliederung		KKB		KKM[a)]		KKG		KKL		Bund		Total
Aufgelaufene Kosten KS26 bis 2025		**1'582**		**721**		**1'657**		**1'029**		**43**		**5'032**
Zukünftige Kosten ab 2026												
Basiskosten		**689**		**218**		**638**		**798**		**23**		**2'366**
Prognoseungenauigkeiten	*4.8%*	33	*5.4%*	12	*5.7%*	36	*5.6%*	45	*4.7%*	1	*5.4%*	127
Zuschlag für Gefahren	*7.0%*	48	*8.3%*	18	*7.0%*	45	*6.9%*	55	*10.6%*	2	*7.1%*	168
Abzug für Chancen	*-3.7%*	-25	*-4.5%*	-10	*-3.7%*	-24	*-3.7%*	-29	*-3.4%*	-1	*-3.8%*	-89
Genereller Sicherheitszuschlag	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-
Zuschlag auf zukünftige Basiskosten	*8.1%*	56	*9.1%*	20	*9.0%*	58	*8.8%*	70	*11.9%*	3	*8.7%*	206
Zukünftige Kosten ab 2026		**745**		**238**		**696**		**869**		**26**		**2'572**
Gesamtkosten KS26 Szenario 1		**2'326**		**959**		**2'353**		**1'898**		**68**		**7'604**
Gesamtkosten KS26 Basisszenario		**2'301**		**958**		**2'351**		**1'899**		**70**		**7'580**
Aufgelaufene Kosten KS26 bis 2025		1'582		721		1'657		1'029		43		5'032
Zukünftige Kosten ab 2026		720		237		694		870		27		2'548
Differenz Szenario 1 / Basisszenario	*1.1%*	25	*0.1%*	1	*0.1%*	2	*-0.1%*	-1	*-2.3%*	-2	*0.3%*	24

Angaben in Millionen Franken, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.
Kernkraftwerke Beznau (KKB), Mühleberg (KKM), Gösgen (KKG) und Leibstadt (KKL).
Kostenstudie 2026 (KS26), Kostenstudie 2021 (KS21), Preisbasis 2026 (PB26).
[a)] Die aufgelaufenen Kosten beinhalten Kosten in Höhe von 9.16 MCHF aus dem Entsorgungskonzept (vorwiegend Planungskosten wie beispielsweise Zuarbeiten zum Endlagerkonzept, BE-Behälterbeschaffung und Lizenzierung, Beladeoptionen für BE-Behälter).

Im Szenario 2 betragen die hier betrachteten Entsorgungskosten je nach Kernkraftwerk zwischen rund 0.97 und 2.42 Milliarden Franken. Für den Bund ergeben sich Kosten von rund 81 Millionen Franken. Insgesamt steigen die Entsorgungskosten gegenüber dem Basisszenario um rund 236 Millionen Franken auf rund 7.82 Milliarden Franken. Dies entspricht einer Erhöhung von rund 3.0 Prozent.

Bis 2025 haben die Kernkraftwerksbetreiber und der Bund insgesamt rund 5.03 Milliarden Franken für Zwischenlagerung, Transporte, Transport- und Lagerbehälter sowie Wiederaufarbeitung bezahlt. Die zukünftigen Kosten ab 2026 betragen im Szenario 2 rund 2.78 Milliarden Franken. Der Zuschlag auf die zukünftigen Basiskosten beläuft sich in diesem Szenario auf rund 225 Millionen Franken beziehungsweise rund 9 Prozent.

Tabelle 28: Entsorgungskosten im Szenario 2: 63-jährige Betriebsdauer von KKB, 47-jährige Betriebsdauer von KKM sowie 60-jährige Betriebsdauer von KKG und KKL.

Element der Kostengliederung		KKB		KKM[a)]		KKG		KKL		Bund		Total
Aufgelaufene Kosten KS26 bis 2025		**1'582**		**721**		**1'657**		**1'029**		**43**		**5'032**
Zukünftige Kosten ab 2026												
Basiskosten		**700**		**226**		**695**		**903**		**35**		**2'559**
Prognoseungenauigkeiten	*5.2%*	36	*5.8%*	13	*6.2%*	43	*6.2%*	56	*4.7%*	2	*5.8%*	150
Zuschlag für Gefahren	*6.8%*	47	*8.0%*	18	*6.7%*	47	*6.4%*	58	*9.6%*	3	*6.8%*	173
Abzug für Chancen	*-3.8%*	-27	*-4.7%*	-11	*-3.7%*	-26	*-3.6%*	-33	*-4.0%*	-1	*-3.8%*	-97
Genereller Sicherheitszuschlag	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-
Zuschlag auf zukünftige Basiskosten	*8.1%*	57	*9.1%*	21	*9.2%*	64	*8.9%*	81	*10.3%*	4	*8.8%*	225
Zukünftige Kosten ab 2026		**757**		**246**		**759**		**984**		**38**		**2'784**
Gesamtkosten KS26 Szenario 2		**2'338**		**968**		**2'416**		**2'013**		**81**		**7'816**
Gesamtkosten KS26 Basisszenario		**2'301**		**958**		**2'351**		**1'899**		**70**		**7'580**
Aufgelaufene Kosten KS26 bis 2025		1'582		721		1'657		1'029		43		5'032
Zukünftige Kosten ab 2026		720		237		694		870		27		2'548
Differenz Szenario 2 / Basisszenario	*1.6%*	37	*1.0%*	9	*2.7%*	65	*5.7%*	114	*13.6%*	11	*3.0%*	236

Angaben in Millionen Franken, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.
Kernkraftwerke Beznau (KKB), Mühleberg (KKM), Gösgen (KKG) und Leibstadt (KKL).
Kostenstudie 2026 (KS26), Kostenstudie 2021 (KS21), Preisbasis 2026 (PB26).
[a)] Die aufgelaufenen Kosten beinhalten Kosten in Höhe von 9.16 MCHF aus dem Entsorgungskonzept (vorwiegend Planungskosten wie beispielsweise Zuarbeiten zum Endlagerkonzept, BE-Behälterbeschaffung und Lizenzierung, Beladeoptionen für BE-Behälter).

A.8 Qualitative Betrachtung der Entsorgungskosten bei einer Betriebsdauer von 70 Jahren

Entsprechend den Vorgaben der Verwaltungskommission sind neben den bisherigen Annahmen einer Betriebsdauer von 50 und 60 Jahren auch die Auswirkungen einer Betriebsdauer von 70 Jahren für die Kernkraftwerke Gösgen und Leibstadt qualitativ zu betrachten. Beim Kernkraftwerk Mühleberg beträgt die Betriebsdauer 47 Jahre. Für das Kernkraftwerk Beznau werden Betriebsdauern von 60 und 63 Jahren betrachtet.

Eine Betriebsdauer von 70 Jahren bei den Kernkraftwerken Gösgen und Leibstadt führt gegenüber einer Betriebsdauer von 60 Jahren zu rund 5 Prozent mehr schwach- und mittelaktiven Abfällen sowie zu etwa 20 Prozent mehr Brennelementen beziehungsweise hochaktiven Abfällen. Entsprechend müssen grössere Abfallmengen zwischengelagert und zusätzliche Transporte zum zentralen Zwischenlager und zum geologischen Tiefenlager durchgeführt werden.

Auch bei einer Betriebsdauer von 70 Jahren sind ausreichende Zwischenlagerkapazitäten vorhanden. Für schwach- und mittelaktive Abfälle stehen diese bereits heute zur Verfügung. Bei hochaktiven Abfällen setzt dies die Umsetzung des aktualisierten Stellplatzkonzepts der Zwilag voraus. Die zugrunde liegenden Annahmen und die Kapazitätsentwicklung werden im Entsorgungsprogramm 2026 näher erläutert [11].

Aufgrund der zusätzlichen Brennelemente werden entsprechend mehr Transport- und Lagerbehälter benötigt. Gegenüber einer Betriebsdauer von 60 Jahren wird bei einer Betriebsdauer von 70 Jahren von einem zusätzlichen Bedarf von rund 18 Prozent ausgegangen.

Da der SMA-Lagerteil des geologischen Tiefenlagers gemäss Realisierungsplan ab 2050 für die Einlagerung zur Verfügung steht, kann ein Teil der Betriebs- und Stilllegungsabfälle ohne vorgängige Zwischenlagerung direkt angeliefert werden. Der Mengenzuwachs bei einer Erhöhung der Betriebsdauer von KKG und KKL von 60 auf 70 Jahre fällt daher geringer aus als bei einer Erhöhung der Betriebsdauer dieser beiden Kernkraftwerke von 50 auf 60 Jahre.

A.9 Referenzen

[1] *SR 732.1 Kernenergiegesetz (KEG) vom 21. März 2003 (Stand am 1. Januar 2024)*.

[2] *SR 732.17 Verordnung über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen (Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung, SEFV) vom 7. Dezember 2007 (Stand am 7. November 2024)*.

[3] *Kostenstudie 2026 (KS26) Mantelbericht*. swissnuclear Bericht SN-AN-26.398. swissnuclear, 2026.

[4] *Kostenstudie 2026 (KS26) Ermittlung der Entsorgungskosten – Geologische Tiefenlagerung*. swissnuclear Bericht SN-AN-26.402. swissnuclear, 2026.

[5] *Kostenstudie 2026 (KS26) Ermittlung der Nachbetriebskosten der Schweizer Kernkraftwerke*. swissnuclear Bericht SN-AN-26.399. swissnuclear, 2026.

[6] *Kostenstudie 2026 (KS26) Ermittlung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen*. swissnuclear Bericht SN-AN-26.400. swissnuclear, 2026.

[7] *Kostenstudie 2026 (KS26) Abkürzungen, Begriffe, Glossar*. swissnuclear Bericht SN-AN-26.403. swissnuclear, 2026.

[8] *SR 732.11 Kernenergieverordnung (KEV) vom 10. Dezember 2004 (Stand am 1. Juli 2024)*.

[9] *SR 814.50 Strahlenschutzgesetz (StSG) vom 22. März 1991 (Stand am 1. Juli 2023)*.

[10] *SR 814.501 Strahlenschutzverordnung (StSV) vom 26. April 2017 (Stand am 1. Januar 2022)*.

[11] *Entsorgungsprogramm 2026 für die radioaktiven Abfälle der Schweiz*. Nagra Technischer Bericht NTB 26-01. Nagra, Dezember 2026.

[12] *SR 732.44 Kernenergiehaftpflichtgesetz (KHG) vom 13. Juni 2008 (Stand am 1. Januar 2022)*.

[13] *Cost of Decommissioning Nuclear Power Plants*. NEA No. 7201. OECD Nuclear Energy Agency NEA, 2016.

[14] *Cost Estimating Guide*. DOE G 413.3-21A. U.S. Department of Energy DOE, Juni 2018.

[15] *Financial Aspects of Decommissioning*. IAEA-TECDOC 1476. Report by an expert group. ISBN 92-0-110905-9. International Atomic Energy Agency IAEA, November 2005.

[16] *Modellhaftes Inventar radioaktiver Materialien MIRAM-RBG*. Nagra Technischer Bericht NTB 22-05. Nagra, April 2023.

[17] *Finanzierung der Entsorgung radioaktiver Abfälle im Verantwortungsbereich des Bundes*. Bericht der Arbeitsgruppe. Bundesamt für Gesundheit BAG, 12. Dezember 2023.

A.10 Abkürzungen

A	
A&K	Abgeltungen und Kompensationen
ADR	Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse
AK	Ausgangskosten
AMG	Abfallmengengerüst
ATA	Alphatoxische Abfälle
B	
BA	Betriebsabfälle der Kernkraftwerke
BAG	Bundesamt für Gesundheit
BAP	Baupreisindex
BE	(Abgebrannte) Brennelemente
BEB	Brennelementlagerbecken
BEVA	Brennelementverpackungsanlage
BFE	Bundesamt für Energie
BK	Basiskosten
BZL	Bundeszwischenlager für Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung
C	
CERN	Europäische Organisation für Kernforschung (European Organization for Nuclear Research)
D	
DIN	Deutsches Institut für Normung
E	
EABN	Endgültige Ausserbetriebnahme
EEB	Endgültige Einstellung des Betriebs
EELB	Endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs
EFV	Eidgenössische Finanzverwaltung
ELB	Endlagerbehälter
ELFB	Endlagerfähigkeitsbescheinigung
EN	Europäische Norm
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
EP21	Entsorgungsprogramm 2021 der Entsorgungspflichtigen
EP26	Entsorgungsprogramm 2026 der Entsorgungspflichtigen
EVU	Energieversorgungsunternehmen
F	
FIP	Führung im Polizeieinsatz (Publikation des Schweizerischen Polizei-Instituts)
G	
gTL	Geologisches Tiefenlager
H	
HAA	Hochaktive Abfälle
HDW	Hochdruckwasser
HSK	Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (heute: ENSI)
I	
IAEA	International Atomic Energy Agency
IBN	Inbetriebnahme
ICRP	International Commission on Radiological Protection
IFRS	International Financial Reporting Standards
ISDC	International Structure for Decommissioning Costing of Nuclear Installations
ISO	International Organization for Standardization

ISRAM	Informationssystem für radioaktive Materialien
K	
KEG	Kernenergiegesetz
KEV	Kernenergieverordnung
KHV	Kernenergiehaftpflichtverordnung
KKB	Kernkraftwerk Beznau
KKG	Kernkraftwerk Gösgen
KKL	Kernkraftwerk Leibstadt
KKM	Kernkraftwerk Mühleberg
KKW	Kernkraftwerk(e)
KS16	Kostenstudie 2016
KS21	Kostenstudie 2021
KS26	Kostenstudie 2026
KTA	Kerntechnischer Ausschuss
L	
LIK	Landesindex der Konsumentenpreise
M	
MCHF	Millionen Schweizer Franken (Mio. CHF)
Mg	Megagramm (Tonne)
MH	Maschinenhaus
MIF	Medizin, Industrie und Forschung
MIRAM	Modellhaftes Inventar radioaktiver Materialien
MWel	Megawatt elektrisch
MWth	Megawatt thermisch
N	
Nagra	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle
NB	Nachbetrieb
NEA	Nuclear Energy Agency der OECD
NL	Standortgebiet Nördlich Lägern
NRG	Nuclear Research and Consultancy Group, heute Teil von NRG PALLAS
O	
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (Organisation for Economic Co-operation and Development)
OFA	Oberflächenanlage
OK	Oberkante
OPA	Opalinuston
OR	Obligationenrecht
P	
PB	Preisbasis
PB21	Preisbasis 01.01.2021
PB26	Preisbasis 01.01.2026
Pos.	Position
PSI	Paul Scherrer Institut
PSP	Projektstrukturplan
PSP-Element	Element im Projektstrukturplan
PU	Prognoseungenauigkeiten
R	
RA	Reaktorabfälle
RBG	Rahmenbewilligungsgesuch
RBZ	Reststoffbearbeitungszentrum
RDB	Reaktordruckbehälter
RG	Reaktorgebäude

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
S	
SA	Stilllegungsabfälle
SDR	Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse
SEFV	Verordnung über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen (Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung)
SEV	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein
SGT	Sachplan geologische Tiefenlager
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Siempelkamp NIS	Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH
SMA	Schwach- und mittelaktive Abfälle
STENFO	Stilllegungsfonds für Kernanlagen und Entsorgungsfonds für Kernkraftwerke
STENFO VK	Verwaltungskommission der STENFO
StFV	Verordnung über den Schutz vor Störfällen
StSG	Strahlenschutzgesetz
StSV	Strahlenschutzverordnung
SUSAN	Spezielles Unabhängiges System zur Abfuhr der Nachzerfallswärme
Swiss GAAP FER	Schweizer Standards für die Rechnungslegung in Unternehmen
T	
TAMG	Transportmengengerüst
TLB	Transport- und Lagerbehälter
TÜV	Technischer Überwachungsverein
U	
US DOE	United States Department of Energy
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
V	
VA	Verpackungsanlage
VGB	Verband der Großkessel-Besitzer e. V., Fachverband der Strom- und Wärmeerzeugung als freiwilliger Zusammenschluss der Kraftwerksbetreiber und -hersteller
VKF	Vereinigung kantonaler Feuerversicherungen
W	
WA	Abfälle aus der Wiederaufarbeitung
Z	
ZTBW	Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung
ZWIBEZ	Zwischenlager Beznau
Zwilag	Zwilag Zwischenlager Würenlingen AG

SWISSNUCLEAR

Postfach, 4601 Olten
info@swissnuclear.ch
www.swissnuclear.ch