SWISSNUCLEAR

KOSTENSTUDIE 2026 (KS26)

ERMITTLUNG DER NACHBETRIEBSKOSTEN DER SCHWEIZER KERNKRAFTWERKE

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

30. September 2026

Zusammenfassung

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

Nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs beginnt der Nachbetrieb. Im Nachbetrieb werden die Massnahmen zur Gewährleistung der nuklearen Sicherheit, Sicherung und zum Strahlenschutz fortgeführt sowie der Betrieb der noch benötigten Systeme und Infrastruktur aufrechterhalten. Für die Abgrenzung der Kosten in der Kostenstudie endet der Nachbetrieb mit dem kumulativen Erreichen der beiden Meilensteine Kernbrennstofffreiheit und Rechtskraft der Stilllegungsverfügung. Während die im Rückbau anfallenden betrieblichen Aufwendungen Bestandteil der Stilllegungskosten sind, entsprechen die mit dem Nachbetrieb verbundenen Aufwendungen weder der Definition von Entsorgungskosten[b] noch derjenigen von Stilllegungskosten[c]. Die Aufwendungen für den Nachbetrieb sind daher weder durch den Entsorgungsfonds noch durch den Stilllegungsfonds gedeckt und von den Betreibern direkt zu tragen. Für die Entsorgung der aus der Anlage stammenden radioaktiven Abfälle gilt das im Kernenergiegesetz[d] verankerte Verursacherprinzip. Die Betreiber bilden für die Nachbetriebskosten Rückstellungen und stellen die erforderlichen Mittel bereit.

Um sicherzustellen, dass die Fonds über ausreichende finanzielle Mittel verfügen, 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[e] über den Stilllegungs- und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen alle fünf Jahre zu erfolgen. Die Kosten des Nachbetriebs müssen die Betreiber direkt bezahlen. Dennoch werden auch sie jeweils mit der Aktualisierung der Kostenstudie neu ermittelt.

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 und der Fondsbeiträge für die Jahre 2022 bis 2026.

Im Jahr 2023 beauftragten die Eigentümer der Schweizer Kernanlagen swissnuclear, die Kostenstudie 2026 in Zusammenarbeit mit den für die Stilllegung und die Entsorgung in der Schweiz verantwortlichen Organisationen 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. Für das Kernkraftwerk Mühleberg beträgt die Betriebsdauer 47 Jahre. Für das Kernkraftwerk Beznau werden Betriebsdauern von 60 und 63 Jahren sowie für die Kernkraftwerke Gösgen und Leibstadt Betriebsdauern von 50 und 60 Jahren betrachtet. Zusätzlich sind für Gösgen und Leibstadt die Auswirkungen einer Betriebsdauer von 70 Jahren auf Stilllegung und Entsorgung qualitativ zu beschreiben. Da der Nachbetrieb eines Kernkraftwerks nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs unabhängig von der effektiven Betriebsdauer durchgeführt wird, wird auf eine laufzeitabhängige Bewertung der Nachbetriebskosten verzichtet.

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

[a] Art. 77 des Kernenergiegesetzes [1].
[b] Art. 3 der Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung [2].
[c] Art. 2 der Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung [2].
[d] Art. 31 Abs. 1 des Kernenergiegesetzes [1].
[e] Art. 4 der Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung [2].

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 und einen zusätzlichen generellen Sicherheitszuschlag.

Auch die mit der Kostenstudie 2016 eingeführten Kostenstrukturen wurden in den Kostenstudien 2021 und 2026 beibehalten. Damit sind die Ergebnisse auf den höheren Gliederungsebenen grundsätzlich gut miteinander vergleichbar. Die Kostenermittlungen basieren auf dem rechtlichen und regulatorischen Rahmen per 1. Januar 2025.

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

Das Ergebnis der im Jahr 2026 vorgenommenen Ermittlung der Kosten des Nachbetriebs der Schweizer Kernkraftwerke ist im Vergleich zum Ergebnis der Ermittlung aus dem Jahr 2021 in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Nachbetriebskostenermittlung der Kostenstudie 2026. Vergleich mit der Kostenstudie 2021 auf der Preisbasis 2026.

Element der Kostengliederung		KKB		KKM		KKG		KKL		Total
Aufgelaufene Kosten bis 2025				**257**						**257**
Zukünftige Kosten ab 2026										
Ausgangskosten		415				295		371		1'081
Kosten zur Risikominderung		6				4		6		15
Basiskosten		**420**				**299**		**377**		**1'096**
Prognoseungenauigkeiten	*3.0%*	13			*7.2%*	22	*3.2%*	12	*4.2%*	46
Zuschlag für Gefahren	*18.9%*	79			*23.5%*	70	*21.9%*	82	*21.2%*	232
Abzug für Chancen	*-0.2%*	-1			*-0.2%*	-1	*-0.2%*	-1	*-0.2%*	-2
Genereller Sicherheitszuschlag		–				–		–		–
Zuschlag auf zukünftige Basiskosten	*21.7%*	91			*30.5%*	91	*24.8%*	94	*25.2%*	276
Gesamtkosten		**511**		**257**		**391**		**470**		**1'629**
Gesamtkosten KS21 PB26 LIK		486		283		394		452		1'615
Differenz	*5.1%*	25	*-9.2%*	-26	*-1.0%*	-4	*4.1%*	18	*0.8%*	14
Gesamtkosten KS21 PB26 BAP		527		300		428		490		1'744
Differenz	*-3.0%*	-16	*-14.5%*	-43	*-8.6%*	-37	*-4.0%*	-19	*-6.6%*	-115

Angaben in Millionen Franken, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.
Kernkraftwerke Beznau (KKB), Mühleberg (KKM), Gösgen (KKG) und Leibstadt (KKL).
Kostenstudie 2021 (KS21), Kostenstudie 2026 (KS26), Preisbasis 2026 (PB26).
Nachbetriebsdauer KKB und KKL 4 Jahre und KKG 3 Jahre.
PB26 teuerungsbereinigt mit Landesindex der Konsumentenpreise (LIK) und Baupreisindex (BAP).

Der Vergleich der Nachbetriebskosten fällt unterschiedlich aus, je nachdem, welcher Teuerungsindex verwendet wird. Unter Anwendung des Landesindex der Konsumentenpreise liegen die Nachbetriebskosten rund 1 Prozent beziehungsweise 14 Millionen Franken höher als in der Kostenstudie 2021. Unter Anwendung des Baupreisindex liegen sie hingegen rund 7 Prozent beziehungsweise 115 Millionen Franken tiefer.

[f] Sogenannte «Overnight»-Kosten.

Der Nachbetrieb des Kernkraftwerks Mühleberg wurde am 6. September 2023 abgeschlossen und damit rund zehn Monate früher als ursprünglich angenommen. Die Kernbrennstofffreiheit war bereits am 1. September 2023 erreicht worden. Aufgrund des gegenüber der ursprünglichen Planung früheren Abschlusses reduzieren sich die Nachbetriebskosten für das Kernkraftwerk Mühleberg unter Anwendung des Landesindex der Konsumentenpreise um 26 Millionen Franken beziehungsweise rund 9 Prozent und bei Anwendung des Baupreisindex um 43 Millionen Franken beziehungsweise rund 15 Prozent gegenüber der Kostenstudie 2021.

Die Nachbetriebskosten für die Kernkraftwerke Beznau und Leibstadt fallen je nach angewendetem Teuerungsindex unterschiedlich aus. Unter Anwendung des Landesindex der Konsumentenpreise steigen beim Kernkraftwerk Beznau die Gesamtkosten um 25 Millionen Franken beziehungsweise rund 5 Prozent und beim Kernkraftwerk Leibstadt um 18 Millionen Franken beziehungsweise rund 4 Prozent an. Wird der Baupreisindex angewendet, fallen die Gesamtkosten beim Kernkraftwerk Beznau um 16 Millionen Franken beziehungsweise rund 3 Prozent und beim Kernkraftwerk Leibstadt um 19 Millionen Franken beziehungsweise rund 4 Prozent tiefer aus.

Die Gesamtkosten für das Kernkraftwerk Gösgen liegen gegenüber der Kostenstudie 2021 unter Anwendung des Landesindex der Konsumentenpreise um 4 Millionen Franken beziehungsweise rund 1 Prozent und unter Anwendung des Baupreisindex um 37 Millionen Franken beziehungsweise rund 9 Prozent tiefer.

Die Kostenabweichungen gegenüber der Kostenstudie 2021 sind bei den noch in Betrieb befindlichen Kernkraftwerken auf die Aktualisierung der Eingangsdaten für die Berechnung der Nachbetriebskosten sowie auf die aktuelle Situation der Werke im Leistungsbetrieb zurückzuführen.

Die nächste Kostenermittlung ist für das Jahr 2031 vorgesehen.

Inhalt

Zusammenfassung II

Abbildungsverzeichnis VII

Tabellenverzeichnis VII

1 Ausgangslage 1
1.1 Einleitung . . . 1
1.2 Sicherstellung der Finanzierung von Nachbetrieb, Stilllegung und Entsorgung . . . 3
1.2.1 Verursacherprinzip . . . 3
1.2.2 Finanzierung der Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten . . . 3
1.2.3 Rückstellungen für Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten . . . 3
1.2.4 Kostenstudien der Stilllegungs- und Entsorgungspflichtigen . . . 4
1.3 Der Nachbetrieb . . . 4
1.3.1 Abgrenzung Nachbetrieb und Stilllegung . . . 4
1.3.2 Dauer des Nachbetriebs . . . 6
1.4 Betriebsdauer der Kernkraftwerke . . . 6

2 Vorgaben und Annahmen 8
2.1 Rechtliche und behördliche Vorgaben . . . 8
2.2 Annahmen und Rahmenbedingungen . . . 8

3 Methodik der Kostenermittlung 10
3.1 Kostenstruktur . . . 10
3.2 Kostengliederung . . . 10
3.2.1 Vorgaben zur Kostengliederung . . . 11
3.2.2 Umsetzung der Kostengliederung . . . 13
3.3 Ermittlung der Nachbetriebskosten durch die Siempelkamp NIS . . . 17
3.3.1 Kalkulationsmodell für die Kostenermittlung . . . 17
3.3.2 Erfahrungshintergrund der Kostenermittlung . . . 19

4 Massnahmen im Nachbetrieb 22
4.1 Brennelemente . . . 22
4.2 Betriebsabfälle aus Leistungs- und Nachbetrieb . . . 23
4.3 Reaktorabfälle aus dem Leistungsbetrieb . . . 24
4.4 Ausserbetriebnahme von Systemen . . . 25
4.5 Betrieb der Anlage im Nachbetrieb . . . 26

5 Resultate der Ermittlung der Nachbetriebskosten 28
5.1 Ausgangskosten, Kosten für Massnahmen zur Risikominderung und Basiskosten . . . 28
5.2 Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten . . . 34
5.3 Kostenzuschlag für Gefahren und Kostenabzug für Chancen . . . 34
5.3.1 Kostenzuschläge für Gefahren . . . 35
5.3.2 Kostenabzüge für Chancen . . . 36
5.3.3 Quantifizierung der Kostenfolgen von Gefahren und Chancen . . . 37
5.3.4 Risikomatrix . . . 37
5.4 Nicht berücksichtigte Gefahren und Chancen . . . 38
5.5 Genereller Sicherheitszuschlag . . . 39
5.6 Gesamtkosten . . . 39

A Anhang 41
A.1 Referenzen . . . 41
A.2 Abkürzungen . . . 42

Abbildungsverzeichnis

1 Übersicht über die Verknüpfung der Teilberichte und die Finanzierung des Nachbetriebs, der Stilllegung und der Entsorgung, inklusive entsprechender Hauptdokumente der Kostenstudie 2026. . . . 2

2 Abgrenzung von Leistungsbetrieb, Nachbetrieb und Stilllegung. . . . 5

3 Kostengliederung für die Kostenstudie 2026. . . . 11

4 Überblick Kalkulationsmodell und Überleitung in die Kostengliederung für die Kostenstudie 2026. . . . 18

5 Risikomatrix Nachbetrieb. . . . 38

Tabellenverzeichnis

1 Nachbetriebskostenermittlung der Kostenstudie 2026. . . . III

2 Betriebs- und Stilllegungszeiten der Schweizer Kernkraftwerke sowie der Einrichtungen zur Zwischenlagerung der radioaktiven Abfälle. . . . 7

3 Abgrenzung der Kosten für die Auslagerung der Brennelemente. . . . 23

4 Abgrenzung der Kosten für die Betriebsabfälle aus Leistungs- und Nachbetrieb. . . . 24

5 Abgrenzung der Kosten für Reaktorabfälle. . . . 25

6 Nachbetriebskostenermittlung für das Kernkraftwerk Beznau. . . . 31

7 Nachbetriebskostenermittlung für das Kernkraftwerk Mühleberg. . . . 32

8 Nachbetriebskostenermittlung für das Kernkraftwerk Gösgen. . . . 33

9 Nachbetriebskostenermittlung für das Kernkraftwerk Leibstadt. . . . 34

10 Kostenzuschläge für Gefahren und Kostenabzüge für Chancen. . . . 37

11 Nachbetriebskostenermittlung der Kostenstudie 2026. . . . 40

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

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 Nachbetriebskosten der Schweizer Kernkraftwerke». 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 des Nachbetriebs. Die Ermittlung der Nachbetriebskosten wird gemäss den mit der Kostenstudie 2016 eingeführten Kostenstrukturen vorgenommen und entsprechend der damals eingeführten Kostengliederung dargestellt.

Die Ausgangslage für die Stilllegung von Kernanlagen einschliesslich des Nachbetriebs, der Entsorgung der radioaktiven Abfälle und der Bereitstellung der finanziellen Mittel ist in Kapitel 1 dargelegt. In Kapitel 2 sind die Vorgaben für die Kostenermittlung und die Annahmen und Rahmenbedingungen für den Nachbetrieb beschrieben, Kapitel 3 erläutert die Methodik der Kostenermittlung. Kapitel 4 beschreibt die Massnahmen und Aufgaben im Nachbetrieb. Das Resultat der Ermittlung der Nachbetriebskosten ist in Kapitel 5 dargestellt.

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

Mit der endgültigen Ausserbetriebnahme einer Kernanlage wird der Eigentümer gemäss Kernenergiegesetz[1] stilllegungspflichtig. Für ein Kernkraftwerk können die Stilllegungsarbeiten – da sie vom zuständigen Eidgenössischen Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) mittels einer Stilllegungsverfügung angeordnet werden[2] – nicht a priori unmittelbar nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs beginnen. Gemäss Kernenergiegesetz[3] muss der Betreiber, unabhängig von den Stilllegungsarbeiten, die Anforderungen der nuklearen Sicherheit und der Sicherung erfüllen. Im sogenannten Nachbetrieb wird die Infrastruktur unter der noch laufenden Betriebsbewilligung weiterbetrieben. Insbesondere werden die Massnahmen zur Aufrechterhaltung der nuklearen Sicherheit und der Sicherung sowie des Strahlenschutzes in gleicher Weise wie im Leistungsbetrieb fortgesetzt. Zum Nachbetrieb gehört auch das gemäss Kernenergiegesetz[4] geforderte Verbringen der Kernmaterialien in eine andere Kernanlage.

[1] Art. 26 Abs. 1 Bst. a KEG [1].
[2] Art. 28 KEG [1].
[3] Art. 26 Abs. 2 Bst. a KEG [1].
[4] Art. 26 Abs. 2 Bst. b KEG [1].

Der Nachbetrieb beginnt mit der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs (EELB). Es werden in der Anlage Arbeiten durchgeführt, um diese in einen für den Nachbetrieb dauerhaft sicheren Zustand überzuführen. Sobald diese Massnahmen zur Etablierung des technischen Nachbetriebs abgeschlossen sind, ist die endgültige Ausserbetriebnahme (EABN) erreicht, und die Stilllegungsverfügung ist vollumfänglich wirksam.

Sodann kann zeitlich überlappend zur anschliessenden Aufrechterhaltung des technischen Nachbetriebs mit den eigentlichen Stilllegungsarbeiten, das heisst mit dem Rückbau der Anlagenteile, begonnen werden[5]. Die Aufrechterhaltung des technischen Nachbetriebs endet mit dem Erreichen der Kernbrennstofffreiheit. Für die Abgrenzung der Kosten in der Kostenstudie endet der Nachbetrieb, wenn sowohl die Kernbrennstofffreiheit erreicht ist als auch eine rechtskräftige Stilllegungsverfügung vorliegt. Danach wird die Aufrechterhaltung der betrieblichen Infrastruktur im Rahmen dessen, was mit fortschreitendem Rückbau noch benötigt wird, als Rückbaubetrieb fortgesetzt. Der Rückbaubetrieb ist Teil der Stilllegung und wird somit durch den Stilllegungsfonds finanziert.

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

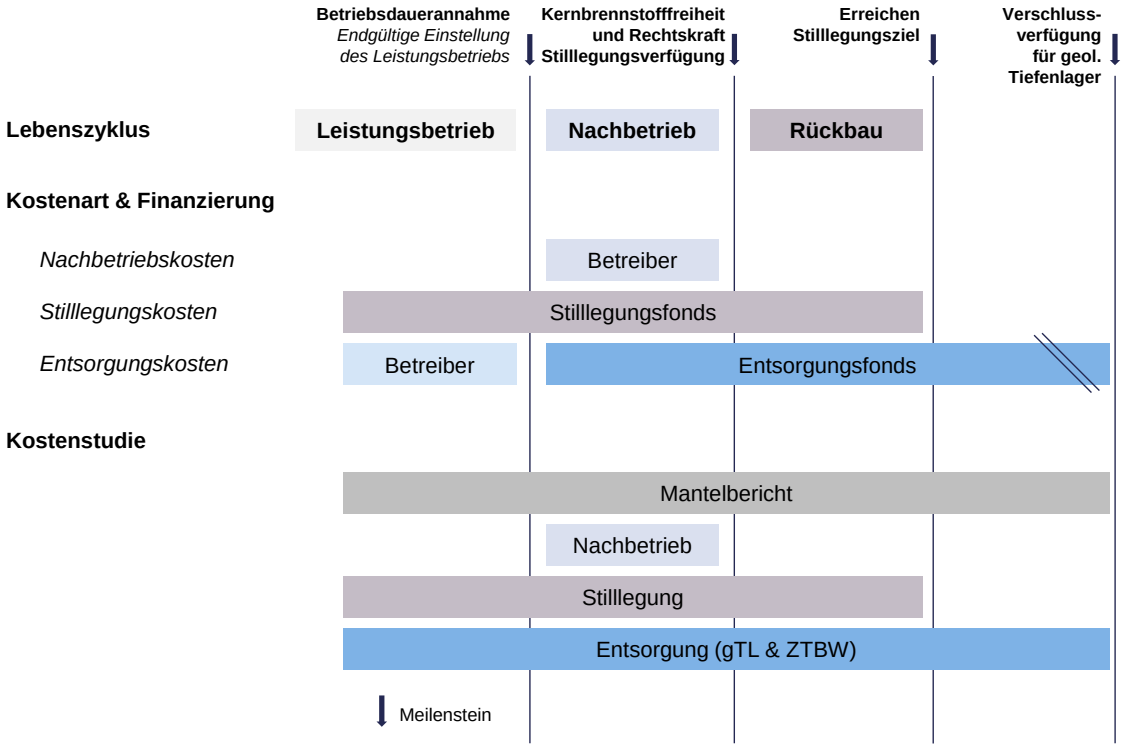


Abbildung 1: Übersicht über die Verknüpfung der Teilberichte und die Finanzierung des Nachbetriebs, der Stilllegung und der Entsorgung, inklusive entsprechender Hauptdokumente der Kostenstudie 2026.

[5]Die Stilllegungsverfügung kann auch bereits Massnahmen zur Vorbereitung der Stilllegung vor Erreichen der EABN anordnen.

1.2 Sicherstellung der Finanzierung von Nachbetrieb, Stilllegung und Entsorgung

Das Kernenergiegesetz [1], die Kernenergieverordnung [8], die Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung [2], das Strahlenschutzgesetz [9], die Strahlenschutzverordnung [10], das Kernhaftpflichtgesetz [11], die Kernhaftpflichtverordnung [12] sowie weitere Gesetze und Verordnungen formulieren zentrale Anforderungen an die Stilllegung von Kernanlagen und die Entsorgung von radioaktiven Abfällen sowie deren Finanzierung (siehe auch Abschnitt 2.1).

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[6] 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[7]. Der Abfallverursacher muss für die Kosten der Entsorgung aufkommen.

Die für den Bau und den Betrieb von Infrastrukturanlagen zur Lagerung radioaktiver Abfälle in der Pflicht stehenden Abfallverursacher sind somit der Bund, der die radioaktiven Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung gegen eine Gebühr zu übernehmen hat, und die Betreiber der Kernkraftwerke. Die Entsorgungspflicht ist erfüllt[8], 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[6] und die Entsorgungspflicht[8] gelten uneingeschränkt auch für die während der Stilllegung 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[9] zu eigener Vorsorge.

Die mit dem Nachbetrieb verbundenen Aufwendungen – sie entsprechen weder der Definition von Entsorgungskosten[10] noch der von Stilllegungskosten[11] – 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[12] 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[13] Rückstellungen für den Nachbetrieb, die Stilllegung und die Entsorgung. Im Rahmen der Prüfung der Jahresrechnung werden diese Rückstellungen durch die Revisionsstellen geprüft.

[6] Art. 31 Abs. 1 KEG [1].
[7] Art. 27 StSG [9].
[8] Art. 31 Abs. 2 Bst. a KEG [1].
[9] 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.
[10] Art. 3 SEFV [2].
[11] Art. 2 SEFV [2].
[12] Art. 31 Abs. 1 KEG [1].
[13] Für die vor der Ausserbetriebnahme anfallenden Entsorgungskosten: Art. 82 Abs. 1 KEG [1]; allgemein zu Rückstellungen: Art. 960e Abs. 2 Obligationenrecht (OR) [13], IFRS [14] beziehungsweise Swiss GAAP FER [15].

Während die Verwaltungskommission die Höhe der Fondsbeiträge festsetzt[14], liegt die bilanzielle Erfassung und Bewertung der Rückstellungen grundsätzlich in der Verantwortung der Betreiber und richtet sich nach den anzuwendenden Rechnungslegungsvorschriften.

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[15].

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 Der Nachbetrieb

1.3.1 Abgrenzung Nachbetrieb und Stilllegung

Der Ablauf der Stilllegung der Schweizer Kernkraftwerke ist im Teilbericht Ermittlung der Stilllegungskosten [4] beschrieben, der auf einem für jede Anlage individuell erstellten und in der Kernenergieverordnung[16] geforderten Stilllegungsplan basiert.

Direkt nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs beginnt der Nachbetrieb.

Der Nachbetrieb umfasst einerseits diejenigen (betrieblichen) Massnahmen, die für den sicheren Betrieb der noch benötigten Systeme und zur Einhaltung der Schutzziele notwendig sind sowie andererseits das Verbringen der Kernmaterialien und radioaktiven Betriebsabfälle in eine andere Kernanlage.

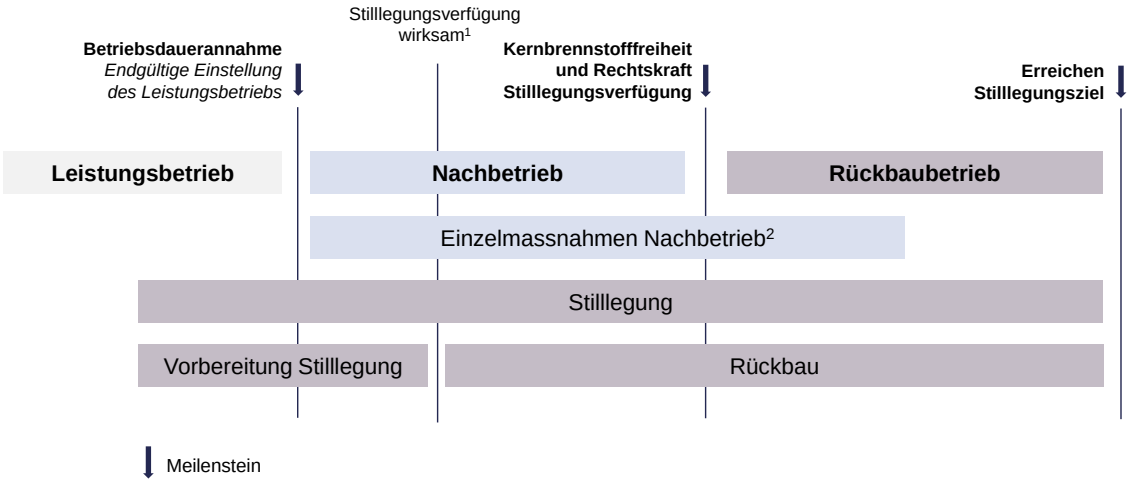
Entsprechend den Vorgaben der Verwaltungskommission für die Kostenstudie 2026 wird folgende Zuordnung der Aufwendungen zugrunde gelegt:

- Massnahmen, die einen infrastrukturbezogenen und damit durchlaufenden Charakter haben (beispielsweise Anlagesicherung), werden zunächst vollständig dem Nachbetrieb zugeordnet. Nach dem Erreichen der Kernbrennstofffreiheit erfolgt die Zuordnung dieser Massnahmen vollständig zum Rückbau. Gleiches gilt für die Instandhaltungsmassnahmen und Prüfungen an den nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs noch benötigten Systemen. Dabei wird unterstellt, dass die Stilllegungsverfügung bis zum Zeitpunkt der Kernbrennstofffreiheit eines Kernkraftwerks rechtskräftig vorliegt. Sollte dies bis zum Erreichen der Kernbrennstofffreiheit nicht der Fall sein, sind die entsprechenden Massnahmen so lange dem Nachbetrieb zuzuordnen, bis die Stilllegungsverfügung rechtskräftig vorliegt.

[14] Art. 23 Bst. c SEFV [2].
[15] Art. 82 Abs. 2 und 3 KEG [1]; Art. 19 Abs. 1 und 2 SEFV [2].
[16] Art. 42 KEV [8].

- Massnahmen, die bis zum Erreichen der Kernbrennstofffreiheit umsetzbar sind und primär der Aufrechterhaltung der Sicherheit sowie der sicherheitsfördernden Vereinfachung der Anlage dienen, sind grundsätzlich den Nachbetriebskosten zuzuordnen. Sie sind daher von den Betreibern direkt zu bezahlen und nicht im Stilllegungsfonds sicherzustellen.
- Rückbaubezogene Massnahmen, die den Rückbau vorbereiten beziehungsweise der Umsetzung des Rückbaus dienen, sind – selbst wenn sie vor dem Erreichen der Kernbrennstofffreiheit anfallen – den Stilllegungskosten zuzuordnen. Umgekehrt sind Massnahmen, die unabhängig vom Rückbau durchzuführen sind (beispielsweise die werksinternen Arbeiten zur Entsorgung auf der Anlage noch vorhandener Betriebsabfälle) von den Stilllegungskosten abzugrenzen und den Nachbetriebskosten zuzuordnen. Exemplarisch ist diese Unterscheidung in Abbildung 2 dargestellt[17].

- Da der Nachbetrieb eines Kernkraftwerks nach EELB unabhängig von der effektiven Betriebsdauer durchgeführt wird, werden in dieser Studie nur diejenigen Kosten betrachtet, die im direkten Zusammenhang mit dem Nachbetrieb stehen. Daraus folgend wird auf eine laufzeitabhängige Bewertung des Nachbetriebs verzichtet.



1 Die Stilllegungsverfügung kann bereits vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs eintreffen, muss jedoch zwingend für die Beendigung des Nachbetriebs vorliegen.
2 Insbesondere auch Massnahmen auf dem Werksareal zur Entsorgung von Betriebsabfällen.

Abbildung 2: Abgrenzung von Leistungsbetrieb, Nachbetrieb und Stilllegung.

Während des Nachbetriebs werden alle sicherheitstechnischen Funktionen im Kernkraftwerk zur Erfüllung der Schutzziele sowie der rechtlichen und behördlichen Anforderungen aufrechterhalten. Hierzu werden insbesondere die Kühlung der Brennelemente, die Bewachung der Anlage, die radiologische Überwachung, der Strahlenschutz, die Instandhaltung (Inspektion, Wartung, Instandsetzung), die wiederkehrenden Prüfungen, Materialwirtschaft und Verwaltung im erforderlichen Masse fortgeführt.

Unmittelbar nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs werden die sicherheitstechnisch notwendigen Arbeiten der Ausserbetriebnahme durchgeführt, um insbesondere die Kühlung der Brennelemente im Brennelementlagerbecken weiterhin zu gewährleisten. Zudem werden alle Brennelemente aus dem Reaktordruckbehälter entfernt und in das Brennelementlagerbecken gebracht. Dort werden sie weiterhin gekühlt und gegen unerwünschte Einwirkungen gesichert aufbewahrt.

[17] Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird die EABN in der Abbildung nicht als eigener Meilenstein dargestellt. Sie wird nach der EELB mit Abschluss der Etablierung des technischen Nachbetriebs erreicht. Ab diesem Zeitpunkt ist die Stilllegungsverfügung vollumfänglich wirksam.

Zu einem späteren Zeitpunkt werden sämtliche Brennelemente in Transport- und Lagerbehälter verpackt und in ein Zwischenlager überführt. Die Lagerung erfolgt entweder im zentralen Zwischenlager Würenlingen oder in einem separaten Zwischenlager am Standort des jeweiligen Kernkraftwerks, namentlich im Nasslager des Kernkraftwerks Gösgen beziehungsweise im Zwischenlager ZWIBEZ des Kernkraftwerks Beznau. Auch die konditionierten Betriebsabfälle werden in ein Zwischenlager oder direkt in das geologische Tiefenlager transportiert beziehungsweise die bereits im Leistungsbetrieb begonnenen Abtransporte werden fortgesetzt. Alle diese Überführungen müssen spätestens mit dem Abschluss der Stilllegungsarbeiten abgeschlossen sein.

1.3.2 Dauer des Nachbetriebs

Für die Kostenstudie 2026 hat sich an der angenommenen Dauer des Nachbetriebs der noch in Betrieb befindlichen Kernkraftwerke nichts geändert. Für das Kernkraftwerk Gösgen werden weiterhin drei Jahre und für die Kernkraftwerke Beznau und Leibstadt jeweils vier Jahre angenommen. Beim Kernkraftwerk Mühleberg wurde der Nachbetrieb nach drei Jahren und acht Monaten abgeschlossen; die Planungsannahme der Kostenstudie 2021 betrug 4.5 Jahre.

Das Nasslager des Kernkraftwerks Gösgen, das Zwischenlager ZWIBEZ des Kernkraftwerks Beznau und das zentrale Zwischenlager benötigen keinen Nachbetrieb. Sie können nach der endgültigen Einstellung des Betriebs (EEB) und dem Vorliegen einer rechtskräftigen Stilllegungsverfügung unmittelbar zurückgebaut werden.

1.4 Betriebsdauer der Kernkraftwerke

Als Berechnungsgrundlage für die Kostenermittlung wird für die Kernkraftwerke Gösgen und Leibstadt eine Betriebsdauer von jeweils 50 Jahren und für das Kernkraftwerk Beznau eine Betriebsdauer von 60 Jahren angenommen[18]. Für das Kernkraftwerk Mühleberg wird entsprechend der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs im Dezember 2019 eine Betriebsdauer von 47 Jahren angesetzt.

Gemäss den Vorgaben der Verwaltungskommission werden für die Kernkraftwerke Gösgen und Leibstadt neben einer Betriebsdauer von 50 Jahren auch 60 Jahre betrachtet; zudem werden die Auswirkungen einer Betriebsdauer von 70 Jahren auf Stilllegung und Entsorgung qualitativ beurteilt. Zusätzlich wird für das Kernkraftwerk Beznau eine Betriebsdauer von 63 Jahren betrachtet. Da die Nachbetriebskosten nicht von der vorgängigen Betriebsdauer abhängen, erfolgt für den Nachbetrieb keine separate laufzeitabhängige Kostenermittlung.

Für die Kostenermittlung gilt der in Tabelle 2 gegebene zeitliche Rahmen. Die Stilllegungszeiten sind dem Bericht zu den Stilllegungskosten [4] entnommen.

[18] Art. 4 Abs. 3 SEFV [2].

Tabelle 2: Betriebs- und Stilllegungszeiten der Schweizer Kernkraftwerke sowie 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 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».

2 Vorgaben und Annahmen

2.1 Rechtliche und behördliche Vorgaben

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

2.2 Annahmen und Rahmenbedingungen

Für die Ermittlung der Nachbetriebskosten waren eine Reihe von Rahmenbedingungen, Annahmen und Eingangsdaten festzulegen, die eine Kostenermittlung für ein Projekt überhaupt erst ermöglichen.

Nebst den im Mantelbericht [3] erläuterten Rahmenbedingungen der Kostenstudie hat swissnuclear für die Ermittlung der Nachbetriebskosten folgende Rahmenbedingungen gesetzt:

- Der Nachbetrieb folgt unmittelbar im Anschluss an die endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs.
- Die Stilllegungsverfügung liegt rechtzeitig rechtskräftig vor. Es wird davon ausgegangen, dass die Stilllegung nach fristgemässem Einreichen eines den gültigen Gesetzen, Verordnungen und sonstigen Regelungen in der Schweiz entsprechenden Stilllegungsprojektes durch das zuständige Departement ohne weiteres verfügt wird und das Departement gleichzeitig festlegt, welche Arbeiten einer Freigabe durch die Aufsichtsbehörden bedürfen.
- Die Massnahmen des Nachbetriebs sind langfristig vorgeplant und unterstellen einen bestimmungsgemässen Betrieb.
- Es wird davon ausgegangen, dass keine den üblichen Zeitbedarf für Prüfungen und Freigabeverfahren übersteigende, durch Behörden verursachte Verzögerungen auftreten.
- Es wird unterstellt, dass die Aufsichtsbehörde den Fortgang der Arbeiten über den gesamten Zeitraum des Nachbetriebs beobachtet und begleitet.
- Bei allen Einrichtungen in der kontrollierten Zone wird so lange eine Kontamination unterstellt, bis durch eine Kontrollmessung nachgewiesen ist, dass die Kontamination unterhalb der zulässigen Befreiungsgrenzen liegt. Als Grundlage hierfür gelten die in der gültigen Schweizer Strahlenschutzverordnung [10] aufgeführten Freigabewerte.
- Die im Nachbetrieb eingesetzten Verfahren und Geräte entsprechen dem heutigen Stand der Technik.
- Für die Behandlung von Materialien und die Konditionierung von radioaktiven Abfällen stehen die während des Betriebs genutzten Anlagen und Entsorgungswege weiterhin zur Verfügung (am Standort beziehungsweise extern).
- Die anfallenden radioaktiven Abfälle werden nach den in der Schweiz gültigen Regelwerken (zum Beispiel Richtlinie ENSI-B05 [16]) konditioniert. Ergänzend werden die mit der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) vereinbarten Anforderungen berücksichtigt.
- Die Behälter für die Verpackung der Brennelemente und der radioaktiven Abfälle[19] werden in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt. Deren Kosten sind in den Entsorgungskosten berücksichtigt.
- Die im Kernkraftwerk Beznau vorhandenen Brennelemente werden zur Zwischenlagerung in das am Standort errichtete Zwischenlager ZWIBEZ und die im Kernkraftwerk Gösgen vorhandenen in das am Standort errichtete Nasslager gebracht. Die Brennelemente des KKL werden nach EELB in das zentrale Zwischenlager transportiert und dort zwischengelagert. Dies gilt zu einem späteren Zeitpunkt auch für die Brennelemente aus dem Nasslager des Kernkraftwerks Gösgen. Beim Kernkraftwerk Mühleberg war die Kernbrennstofffreiheit am 1. September 2023 erreicht; der Nachbetrieb wurde am 6. September 2023 abgeschlossen.

[19] Mit Ausnahme der Behälter für Reaktorabfälle aus dem Leistungsbetrieb sowie der Behälter für Betriebsabfälle aus Leistungs- und Nachbetrieb für den unterjährigen Verbrauch. Die entsprechende Kostenzuordnung ist in Tabelle 3 und Tabelle 4 dargestellt.

- Die Kosten für den Betrieb des Zwischenlagers ZWIBEZ des Kernkraftwerks Beznau beziehungsweise des Nasslagers des Kernkraftwerks Gösgen während des Nachbetriebs sind in den Nachbetriebskosten der Kernkraftwerke Beznau beziehungsweise Gösgen enthalten.
- Die im Nachbetrieb anfallenden Personal- und Sachkosten werden auf Basis der im Leistungsbetrieb anfallenden Betriebskosten der Schweizer Kernkraftwerke ermittelt.
- Zur Bestimmung der Stilllegungskosten für die Schweizer Kernkraftwerke wird davon ausgegangen, dass die Stilllegung durch sofortigen Rückbau der Anlage ohne Phase des gesicherten Einschlusses erfolgt.
- Grundlage der Preisschätzungen für die Kostenstudie 2026 sind die erwarteten Kosten zur Preisbasis 1. Januar 2026 (sogenannte «Overnight»-Kosten).
- Für die Kostenermittlung werden die von der Verwaltungskommission angenommenen, langfristigen Fremdwährungswechselkurse verwendet: EUR/CHF = 1.10; USD/CHF = 1.00; GBP/CHF = 1.25; SEK/CHF = 0.10.
- Für die Darstellung der Ergebnisse der Kostenermittlung wird die von einer Arbeitsgruppe der swissnuclear erarbeitete und von der Verwaltungskommission genehmigte Kostenstruktur verwendet.
- Bei der Kostenermittlung wird – gemäss Vorgabe der Verwaltungskommission zur Berücksichtigung von Ungewissheiten und Risiken – eine Kostengliederung angewendet, die neben den berechneten Ausgangskosten auch Kosten für risikomindernde Massnahmen, Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten und Kostenzuschläge zur Berücksichtigung von Gefahren, Abzüge für Chancen und einen generellen Sicherheitszuschlag beinhaltet.
- Die Nachbetriebskosten werden ebenso wie die Stilllegungs- und Entsorgungskosten in regelmässigen Abständen neu berechnet. Die Kostenermittlung erfolgt jeweils auf Basis einer bestmöglichen Berücksichtigung aktueller technisch-wissenschaftlicher Erkenntnisse und gestützt auf die zum Zeitpunkt der Berechnung gültigen Preise.

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.

Die Kostenstrukturen ermöglichen eine Abgrenzung der Tätigkeiten zwischen den direkt durch die Betreiber zu bezahlenden Kosten des Nachbetriebs sowie den in den beiden Fonds anzusparenden Kosten für Stilllegung und Entsorgung. Sie sind derart gestaltet, dass sowohl Eigenleistungen der Betreiber als auch fremdvergebene Leistungen über Auftragsvergabe, Rechnungsstellung und Kontierung eindeutig und transparent den abzurechnenden Tätigkeiten und Gewerken zugeordnet werden können.

Um die Anforderung an die allgemeine Anwendbarkeit und die Vergleichbarkeit unter den Schweizer Kernkraftwerken zu erfüllen, sind die obersten drei Gliederungsebenen der Kostenstrukturen für alle Anlagen gleich definiert. Auf den tieferen Gliederungsebenen sind indessen unterschiedliche Strukturen erforderlich, um den projektspezifischen Anforderungen sowie technologischen Unterschieden zwischen den Anlagen Rechnung zu tragen.

Auf der ersten Gliederungsebene der Kostenstrukturen wird zwischen Nachbetrieb und Stilllegung unterschieden, um die anfallenden Kosten eindeutig dem direkt durch die Betreiber zu bezahlenden Nachbetrieb beziehungsweise der Stilllegung zuordnen zu können.

Die Betreiber schätzen den Personalbedarf im Nachbetrieb sowie die anfallenden Sachkosten auf der Basis der Betriebskosten des jeweiligen Kernkraftwerks im Leistungsbetrieb. Daraus werden mittels zeitlich variierender, werkspezifischer Reduktionsfaktoren die Kosten über den gesamten Zeitraum des Nachbetriebs berechnet. Das Personal wird im Nachbetrieb entsprechend den betrieblichen Aufgaben den jeweiligen Organisationseinheiten und damit organisationsspezifischen Kostenpositionen zugeordnet. Die Methode und die Reduktionsfaktoren basieren auf der Erfahrung der Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH (Siempelkamp NIS), die seit mehr als 45 Jahren auf dem Gebiet des Nachbetriebs und der Stilllegung kerntechnischer Anlagen arbeitet.

3.2 Kostengliederung

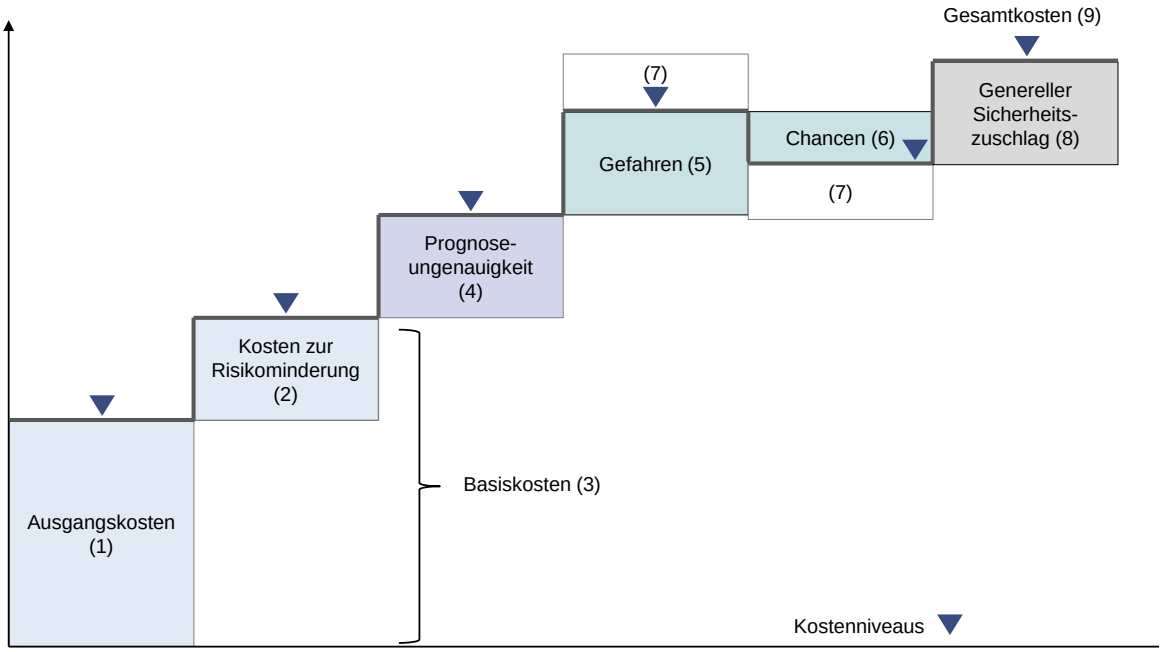
Die Kostengliederung soll die bei Kostenermittlungen unvermeidlichen Risiken und Ungewissheiten berücksichtigen. Die Kostengliederung ist vom Begriff der Kostenstruktur abzugrenzen. Die Kostenstrukturen werden aus dem modellhaften Projektstrukturplan, der den berechneten Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten zugrunde liegt, abgeleitet. Die Kostengliederung wiederum bezieht sich auf die Zusammensetzung der Gesamtkosten. Sie 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 3 dargestellten und nachfolgend beschriebenen Kostenzuschläge und Kostenniveaus definiert[20].

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.



(7) Auflistung von nicht berücksichtigten Gefahren / Chancen

Abbildung 3: Kostengliederung für die Kostenstudie 2026.

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).

[20] 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 (so genannte «High Impact / Low Frequency»-Ereignisse) werden in den Gesamtkosten nicht berücksichtigt, jedoch identifiziert, separat erfasst und, wo möglich, mit geschätzten absoluten Kosten und 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[21]. Die in der relevanten Literatur beschriebenen Best-Practice-Methoden zur Risikoanalyse sehen sowohl Massnahmen der quantitativen wie auch der qualitativen Risikoanalyse vor. Beide Verfahren haben Eingang in die Umsetzung der Kostengliederung gefunden.

Durch die Anwendung der Kostengliederung werden Faktoren, die im Zeitablauf zu Abweichungen von Plankosten führen können, entsprechend dem Planungsstand der jeweiligen Teilbereiche der Kostenermittlung systematisch erfasst. Von besonderer Bedeutung ist einerseits die quantitative und qualitative Risikoanalyse, deren Anwendung im folgenden Kapitel für die einzelnen Elemente der Kostengliederung in allgemeiner Form beschrieben wird. Andererseits sind 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 3 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.

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.

[21] Zum Beispiel OECD NEA: Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants [17].

Kosten zur Risikominderung

Durch risikomindernde Massnahmen sollen negative Kostenfolgen von Gefahren vermieden oder reduziert sowie Chancen erkannt und genutzt werden. Unter Kosten für Massnahmen zur Risikominderung werden Aufwendungen verstanden, die sowohl durch technische Massnahmen als auch durch prozessuale und (Projekt-)Management-Massnahmen verursacht werden und die bereits bei den Betreibern von Kernanlagen im normalen Geschäftsbetrieb umgesetzt sind oder zusätzlich spezifisch in das Projekt eingeplant werden. Dazu zählen zum Beispiel in den Managementsystemen der betreffenden Unternehmen verankerte Grundsätze des Projekt- und Risikomanagements ebenso wie gezielte technische Massnahmen. Die Kosten für Massnahmen zur Risikominderung wurden als integraler Bestandteil der Projektstruktur geplant und in den Kostenermittlungen berücksichtigt. Die Kostenfolgen dieser risikomindernden Massnahmen sind in der entsprechenden Position der Kostengliederung ausgewiesen.

Basiskosten

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

Kostenzuschlag für Prognoseungenauigkeiten

Jedes einzelne Element im Projektstrukturplan wird bezüglich Dauer und Kosten[22] bewertet. Dies führt zu einem Erwartungswert, der mit empirischen Vergleichswerten aus laufenden und abgeschlossenen Stilllegungen anderer Kernanlagen 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 den Kostenermittlungen zugrundeliegenden gegenwärtigen 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 sind die relevanten Unsicherheiten für jedes einzelne PSP-Element abzuschätzen. 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[23].

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.

[22] Der Projektstrukturplan für die Ermittlung der Nachbetriebskosten ist in Abschnitt 3.1 erläutert.

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

Es hat sich gezeigt, dass vier Toleranzgrenzen[24] 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[25]. Eine feinere Unterteilung ist nicht sinnvoll, da aufgrund 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 annähernd sehr gut durch eine fast symmetrische Lognormalverteilung[26] 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. So ergibt sich zum Beispiel die Dauer des Nach- oder des Rückbaubetriebs eines Kernkraftwerks aus der summarischen Dauer der Aktivitäten entlang des kritischen Pfads des Projektplans. Verzögert sich beispielsweise der Abtransport der Brennelemente, verlängert sich entsprechend auch der Nachbetrieb, was unmittelbar zu höheren Nachbetriebskosten führt. 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. Bei der Stilllegung werden ergänzend auch Abhängigkeiten in Bezug auf die Rückbaumassen 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[27] 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.

[24] Klasse A: -5 % / +5 %, Klasse B: -10 % / +15 %, Klasse C: -20 % / +30 %, Klasse D: -30 % / +50 % in Anlehnung an aktuelle Ausarbeitungen von IAEA [18], OECD/NEA [17] und U. S. Department of Energy [19] 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.

[25] Zu den berücksichtigten Grundlagen gehören U. S. DOE, Cost Estimating Guide [19] sowie IAEA, Financial Aspects of Decommissioning, TECDOC1476 [18].

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

[27] Die Monte-Carlo-Simulation ist ein 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 zulässt.

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

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

- sehr unsicher sind,
- einen grossen Einfluss auf die Kosten haben oder
- 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 dürfte zukünftig tendenziell zu einem geringeren 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 aufgrund von Expertenwissen abgeschätzt werden. Auch die Bewertung der Gefahren und Chancen hinsichtlich Eintrittswahrscheinlichkeit und Risikoausmass unterliegt einer Unsicherheit.

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

Die einzelnen Gefahren und Chancen sind diskrete Ereignisse, deren Eintreten 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, Schaden- 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-Simulation[28] 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.

[28] 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 Ergebnisse der Ereignisbäume für die einzelnen Chancen und Gefahren ergeben.

Neben 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, sowie versicherte Gefahren und 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

Relevant im Zusammenhang mit unbekannten oder aussergewöhnlichen Ereignissen mit sehr niedriger Eintrittshäufigkeit und sehr grossen Auswirkungen ist vor allem das Gefährdungspotenzial durch Freisetzung von Radioaktivität. Für den Nachbetrieb und die Stilllegung ist entscheidend, dass bereits mit der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs und der Abschaltung des dann drucklosen Reaktors das Gefährdungspotenzial gegenüber dem Leistungsbetrieb erheblich reduziert wird. Mit dem Abtransport der Brennelemente sinkt zudem die Radioaktivität des auf der Anlage verbleibenden Materials kontinuierlich und beträgt ab Ende des Nachbetriebs weniger als 2 Prozent des ursprünglich vorhandenen Inventars.

Mit zunehmendem Rückbaufortschritt nimmt dieses Gefährdungspotenzial weiter ab. Ausserdem ist der Hauptteil der verbleibenden Radioaktivität als Aktivierung fest in Materialien eingebunden und kann daher nicht verbreitet werden. Damit verbunden sinkt das mögliche Schadensausmass für Schadensfälle mit Freisetzung von radioaktiv belastetem Material erheblich. Für Nuklearschäden besteht die gesetzlich vorgeschriebene Haftpflichtdeckung der Betreiber. Sie beträgt pro Kernkraftwerk umgerechnet rund 1 Milliarde Franken.

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 Ermittlung der Nachbetriebskosten durch die Siempelkamp NIS

3.3.1 Kalkulationsmodell für die Kostenermittlung

Zur Berechnung der Nachbetriebskosten verwendet die Siempelkamp NIS grundsätzlich dasselbe Kalkulationsmodell wie für die Berechnung der Stilllegungskosten. Zur Berechnung der Nachbetriebskosten dienen die vom Betreiber angegebenen, für den Nachbetrieb relevanten betrieblichen Jahreskosten der Anlage. Ausgehend von diesen werden für die Kostenermittlung des Nachbetriebs je nach Kostenart an betrieblichen Meilensteinen im Nachbetrieb orientierten Reduktionsfaktoren angesetzt, die auf Erfahrungen in aktuellen Stilllegungen sowie den eigenen Stilllegungsplanungen der Werke basieren. Mittels der Reduktionsfaktoren und der Kostenangaben des Betreibers werden die Kosten eines mittleren Nachbetriebsjahrs ermittelt. Der Personal- und Sachaufwand während des Nachbetriebs nimmt durch Aufgabenverschiebungen und Ausserbetriebnahmen von Systemen ab. Das heisst: Die Kosten sind realistischerweise zu Beginn des Nachbetriebs höher und am Ende tiefer.

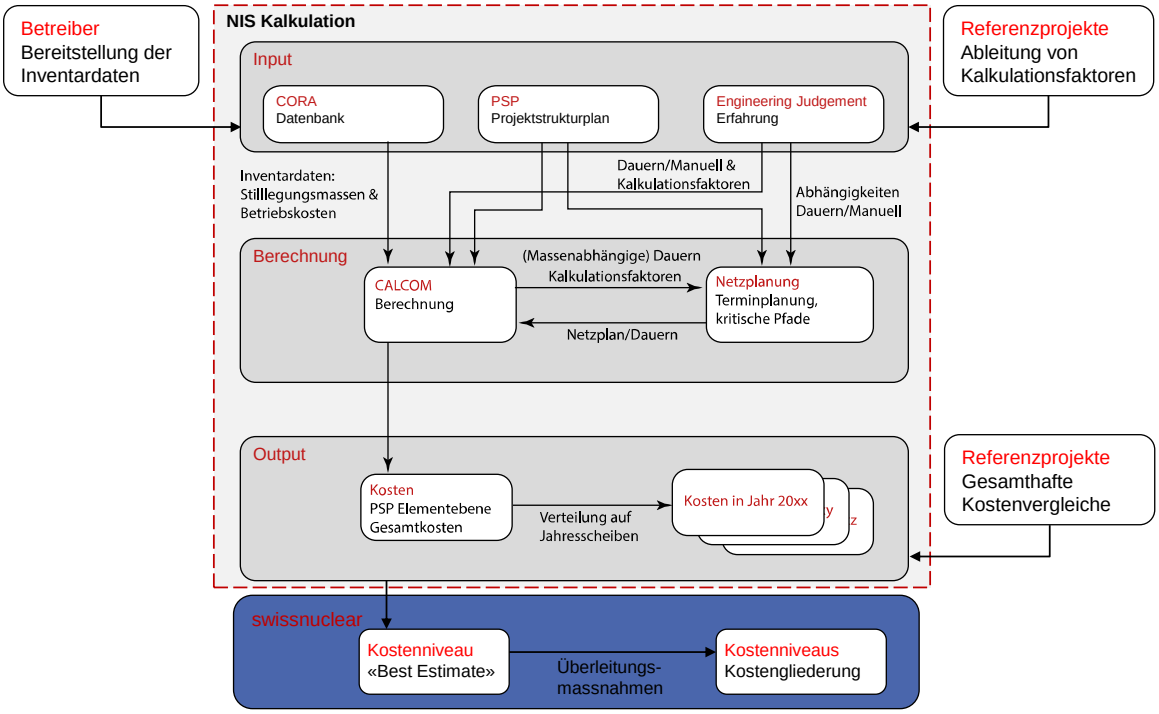


Abbildung 4: Überblick Kalkulationsmodell und Überleitung in die Kostengliederung für die Kostenstudie 2026.

Wie in Abbildung 4 dargestellt, werden die Kosten im Projektstrukturplan (Kalkulation erfolgt auf der untersten Ebene der PSP-Elemente, Arbeitsschritte) kalkuliert und nach oben aggregiert. Als Software zur Berechnung verwendet die Siempelkamp NIS die firmeneigene Software CORA-CALCOM.

CORA-CALCOM ist ein für kerntechnische Anlagen entwickeltes Programmsystem für die Planung von Stilllegungsprojekten, die Ermittlung von Kosten, Personalaufwand und Strahlenbelastung sowie die Komponentenerfassung. Darin integriert ist ebenfalls die Abfallentsorgungsplanung.

Das Resultat sind Kosten für die einzelnen PSP-Elemente beziehungsweise Arbeitsschritte. Ausserdem werden weitere Informationen zum Projekt ausgegeben, wie zum Beispiel Kostenfluss oder Personenkapazität. Das Programmsystem gliedert sich in die zwei Module CORA und CALCOM.

Mittels CORA erfolgt eine massengestützte Kalkulation. In CORA sind alle für die Entsorgungsplanung notwendigen anlagespezifischen Eingangsdaten erfasst. Dies sind beispielsweise Massen, technische Komponentendaten, Raumdaten, Aktivitätswerte einschliesslich Kontamination und Aktivierung sowie Dosisleistungswerte, aber auch Referenzdaten für die Verpackung und die Entsorgungsziele.

Mittels CALCOM erfolgt die Kalkulation von Personalaufwendungen und Strahlenexposition sowie von Personal- und Sachkosten. CALCOM ermöglicht Planung und Kalkulation auf Basis der Inventardaten (CORA) der Anlage und stellt Erfahrungswerte aus anderen Umrüst- und Revisionsmassnahmen sowie Stilllegungsprojekten bereit.

CALCOM enthält Kalkulationsfaktoren wie Arbeitsfaktoren, spezifische Kostenfaktoren, Einzelpreise und Verbrauchswerte. Die Kalkulationsfaktoren basieren auf der Erfahrung der Siempelkamp NIS. Die Arbeitsfaktoren sind aufgrund von Schrittfolgen für Demontagen hergeleitet und mit Werten aus Projekten mit vergleichbaren Tätigkeiten substantiiert worden. Sie sind erfahrungs- und analogiebasiert. Die Verbrauchswerte sind aus der Praxis abgeleitet und zum Beispiel auf einen Verbrauch je Kilogramm skaliert und mit einem Gewichtungsfaktor versehen.

Als Grundlage für die Kostenberechnungen in CALCOM dient der Projektstrukturplan, die Terminplanung und die CORA-Datenbank. Der Terminplan ist wesentlich, um die Dauer von Tätigkeiten und ihre Verknüpfungen beziehungsweise Abhängigkeiten in CALCOM abzubilden. Die Terminplanung wird auf der Grundlage des Projektstrukturplans von Siempelkamp NIS erstellt und basiert auf deren Erfahrung und Wissen beziehungsweise auf eigenen Planungen der Werke. Die Terminplanung (Netzplan) wird als Input an CALCOM übergeben.

Siempelkamp NIS kalkuliert grundsätzlich ein auf Expertenwissen und Erfahrung basierendes «Best Estimate». Dabei werden Ist-Kosten (ex-post) realer Stilllegungen, wo vorhanden, als empirische Vergleichsgrundlage herangezogen. Wenn keine empirischen Vergleichsdaten vorliegen, werden hilfsweise Angebote oder Studien zur Kostenschätzung beigezogen. Diese Vergleichswerte dienen als Orientierungsgrösse und Plausibilisierung für den beschriebenen «Bottom-up»-Ansatz.

Insofern ist davon auszugehen, dass die Kostenschätzungen von Siempelkamp NIS aufgrund der Betrachtung von Ex-post-Daten auch Kostenelemente enthalten, die den Basiskosten, aber auch anderen Kostenblöcken der Kostengliederung zuzuordnen sind.

3.3.2 Erfahrungshintergrund der Kostenermittlung

Siempelkamp NIS arbeitet seit über 45 Jahren auf dem Gebiet der Stilllegung kerntechnischer Anlagen. Insbesondere wurden durch die Beteiligung an den zurzeit laufenden deutschen Stilllegungsprojekten wesentliche praktische Erfahrungen gewonnen, die auch in die Berechnungsgrundlagen der Kostenstudie 2026 eingeflossen sind. Darüber hinaus dienen die Kostenermittlung für die übrigen Stilllegungsprojekte deutscher Kernkraftwerke als weitere Referenzen.

Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt von Siempelkamp NIS liegt auf der Ermittlung der Kosten für die Stilllegung und den Rückbau von Anlagen des Kernbrennstoffkreislaufs. Die daraus gewonnenen Erfahrungen haben ebenfalls Eingang in die Berechnungsgrundlagen der Kostenstudie 2026 gefunden.

Diese Kostenermittlungen dienen beispielsweise zur Festlegung der notwendigen Rückstellungen für alle Leistungsreaktoren in Deutschland. Auch ausserhalb Deutschlands wurden Stilllegungsstudien erstellt und Stilllegungskosten ermittelt, zum Beispiel in Belgien, Frankreich, Niederlande, der Schweiz und Slowenien.

In Deutschland besteht gemäss den Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke, ähnlich wie in der Schweiz, die Forderung, bereits vor Inbetriebnahme eines Kernkraftwerkes die Stilllegung konzeptionell nachzuweisen. Darüber hinaus enthalten die Betriebsgenehmigungen einiger Kernkraftwerke die Auflage, einen Stilllegungsnachweis vorzulegen und ihn in bestimmten Zeitabständen zu aktualisieren. Aus diesen Gründen wurde die konzeptionelle Machbarkeit der Stilllegung von Kernkraftwerken am Beispiel eines Druckwasser- und eines Siedewasserreaktors bereits 1977 durch die sogenannten Referenzstudien nachgewiesen. Diese wurden im Auftrag der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke[29] von der Siempelkamp NIS erstellt. Diese Referenzstudien sind auch wesentlicher Bestandteil der Schweizer Stilllegungsstudien von 1980. Praktische Erfahrungen, die im Rahmen des Rückbaus stillgelegter Anlagen gewonnen wurden, sowie die Weiterentwicklung der Technik und Veränderungen in der Genehmigungspraxis führten zu mehrfachen Aktualisierungen der Referenzstudien.

In diesen Referenzstudien werden die folgenden Aspekte einer Stilllegung behandelt:

- Rechtliche Grundlagen.
- Einflüsse in Zusammenhang mit dem Genehmigungsverfahren.
- Vergleich des Stilllegungskonzeptes der deutschen Elektrizitätsversorgungsunternehmen mit den von der Internationalen Atomenergie-Organisation definierten Stilllegungsschritten.
- Einsetzbare Techniken und Verfahren.
- Konzeptionelles Vorgehen bei der Stilllegung von Kernkraftwerken.
- Methodik und Vorgaben, Annahmen und Rahmenbedingungen für die Ermittlung der Stilllegungskosten.

[29] Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke e. V. (VDEW), Wirtschaftsverband zur Förderung der Elektrizitätswirtschaft, gegründet 1950 und 2007 im Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) aufgegangen.

Siempelkamp NIS ermittelt auf regelmässiger Basis die Stilllegungskosten für die deutschen Kernkraftwerke. Dabei werden die Vorgaben, Annahmen und Rahmenbedingungen für die Ermittlung der Kosten dem jeweils neuesten Stand angepasst. Dadurch ist gewährleistet, dass die Erfahrungen aus den laufenden Stilllegungsprojekten kontinuierlich eingearbeitet werden. Die ermittelten Stilllegungskosten sind Basis für die Bildung von Rückstellungen für die spätere Stilllegung der Kernkraftwerke.

Neben der Berechnung der Stilllegungskosten für die im Rückbau befindlichen deutschen Kernkraftwerke ermittelt Siempelkamp NIS auch Stilllegungskosten für weitere Anlagen in Europa, zum Beispiel in Belgien. Für noch in Betrieb befindliche Kernkraftwerke in Deutschland berechnet die Siempelkamp NIS auch Stilllegungskosten von Anlagen, die sich bereits in der Stilllegung befinden. Beispielhaft sind zu nennen:

- Kostenermittlung für die Stilllegung sämtlicher Blöcke am Standort Greifswald.
- Kostenermittlung für die Stilllegung des Kernkraftwerks Rheinsberg.
- Jährliche projektbegleitende Ermittlung der Stilllegungskosten, Anpassung und Abgleich der Ergebnisse bei den Kernkraftwerken Würgassen, Mülheim-Kärlich, Stade und Obrigheim.
- Kostenermittlung und Projektbegleitung für alle Anlagen in Deutschland, denen die Betriebsgenehmigung mit dem Inkrafttreten der Novellierung des Atomgesetzes am 6. August 2011 entzogen wurde, einschliesslich des Kernkraftwerks Krümmel.

Die Flexibilität der Methodik und des Rechenprogramms erlauben es darüber hinaus, auch für andere kerntechnische Anlagen des Kernbrennstoffkreislaufs die Stilllegungskosten zu ermitteln. Dies wurde einschliesslich der Erstellung der dazugehörigen Stilllegungskonzepte von der Siempelkamp NIS zum Beispiel für folgende Anlagen in Deutschland durchgeführt:

- Pilotkonditionierungsanlage in Gorleben.
- Urananreicherungsanlage in Gronau.
- Wiederaufarbeitungsanlage in Karlsruhe (letzte Aktualisierung 2018).
- Anlagen zur Behandlung, Verbrennung, Dekontamination und Konditionierung radioaktiver Abfälle des Forschungszentrums in Karlsruhe (letzte Aktualisierung 2018).

Daneben wird von der Siempelkamp NIS die Methodik der Stilllegungskostenermittlung für Kernkraftwerke und andere Anlagen des Kernbrennstoffkreislaufs auch ausserhalb Deutschlands eingesetzt. Die ermittelten Ergebnisse werden dort zur Bemessung der Rückstellung von finanziellen Mitteln für die Stilllegung oder für die Budgetierung und Kostenkontrolle bei konkreten Stilllegungsprojekten verwendet.

Die Siempelkamp NIS wendet für ihre Ingenieur-, Dienst- und Beratungsleistungen ein Qualitätsmanagementsystem an, das die international üblichen Normen für Qualitätsmanagementsysteme[30] und die in Deutschland verbindlichen Anforderungen an die Lieferanten und Dienstleister für Kernkraftwerke[31] erfüllt. Dieses Qualitätsmanagementsystem ist durch eine akkreditierte Prüfstelle[32] zertifiziert[33]. Darüber hinaus verfügt die Siempelkamp NIS über die Eignungsbestätigung[34] zur Qualitätssicherung gemäss deutschem Regelwerk[31].

Die Methodik zur Kostenermittlung für den Nachbetrieb und die Stilllegung von Kernkraftwerken wurde auch von verschiedenen externen Organisationen geprüft und als nachvollziehbar und zutreffend bewertet. Beispielhaft sind zu nennen:

- Bundesamt für Finanzen und Länderfinanzbehörden (Deutschland, 1997).
- Technische Universität Delft im Auftrag des niederländischen Ministeriums für Soziales und Arbeit (Niederlande, 1997).
- Beurteilung der Stilllegungsstudien der Schweizer Kernkraftwerke seit 2001 durch das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (Schweiz, 2002 et al.).

[30] DIN EN ISO 9001:2015 [20].
[31] KTA Regel 1401 [21].
[32] BSI Group Deutschland GmbH, Frankfurt am Main, Deutschland.
[33] Nach DIN EN ISO 9001:2015 [20].
[34] Ausgestellt von der VGB-Arbeitsgemeinschaft «Auftragnehmerbeurteilung».

- PricewaterhouseCoopers Aktiengesellschaft Wirtschaftsprüfungsgesellschaft (Deutschland, 2007), Auditierung der Kostenermittlung für die deutschen Kernkraftwerke.
- Expert Mission der IAEA bezüglich Stilllegungskostenermittlung für das Kernkraftwerk Krško (2010).
- Die Kostenstudien 2016 und 2021 wurden durch das ENSI / TÜV Nord / Basler & Hofmann und zusätzlich im Auftrag des STENFO durch NRG (Niederlande) und Atkins (UK, USA, Deutschland) geprüft.

Sinngemäss gelten das Vorgehen zur Ermittlung der Stilllegungskosten sowie die diesbezüglichen Erfahrungen und Kenntnisse der Siempelkamp NIS auf dem Gebiet der Stilllegung von kerntechnischen Anlagen auch für die Ermittlung der Kosten des Nachbetriebs.

Die Siempelkamp NIS ermittelte erstmals 2006 auch die Kosten des Nachbetriebs für die Schweizer Kernkraftwerke. Dabei wurden die Schweizer Verhältnisse, wie gesetzliche Regelungen, Entsorgungsstrategien und so weiter, berücksichtigt.

Die Siempelkamp NIS ermittelt inzwischen für alle deutschen Kernkraftwerke die Kosten des Nachbetriebs. Hierzu dienen in erster Linie Erfahrungswerte aus stillgelegten Anlagen, die den Nachbetrieb bereits abgeschlossen haben. Dabei gewinnt die Siempelkamp NIS Erfahrungen durch die Unterstützung der Anlagenbetreiber bei der Planung und Durchführung der erforderlichen Massnahmen, zum Teil aber auch durch Personaleinsatz direkt vor Ort, wie etwa im Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich oder im Kernkraftwerk Obrigheim. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse werden, nach entsprechender Überprüfung der Übertragbarkeit auf andere Anlagen, für die Ermittlung der Nachbetriebskosten der übrigen Kernkraftwerke genutzt. Durch die kontinuierliche Beteiligung der Siempelkamp NIS an den Stilllegungsprojekten ist somit gewährleistet, dass die Kostenermittlungen auf realistischen Grundlagen und belastbaren Basisdaten beruhen.

4 Massnahmen im Nachbetrieb

Für die Schweizer Kernkraftwerke wurde auf Basis der in Abschnitt 2.2 genannten Rahmenbedingungen und Annahmen ein Konzept für die Abwicklung des Nachbetriebs erarbeitet. Es berücksichtigt die praktischen Erfahrungen von bereits laufenden Stilllegungen und die Schweizer Verhältnisse wie gesetzliche Regelungen oder Entsorgungsstrategien.

Der Nachbetrieb beginnt mit der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs (EELB) der Anlage. Es werden in der Anlage Arbeiten durchgeführt, um diese in einen für den Nachbetrieb dauerhaft sicheren Zustand zu überführen. Sobald diese Massnahmen zur Etablierung des technischen Nachbetriebs abgeschlossen sind, ist die endgültige Ausserbetriebnahme (EABN) erreicht, und die Stilllegungsverfügung ist vollumfänglich wirksam. Sodann kann zeitlich überlappend zur anschliessenden Aufrechterhaltung des technischen Nachbetriebs mit den eigentlichen Stilllegungsarbeiten, namentlich dem Rückbau der Anlagenteile, begonnen werden. Die Aufrechterhaltung des technischen Nachbetriebs endet mit dem Erreichen der Kernbrennstofffreiheit. Für die Abgrenzung der Kosten in der Kostenstudie endet der Nachbetrieb, wenn sowohl die Kernbrennstofffreiheit erreicht ist als auch eine rechtskräftige Stilllegungsverfügung vorliegt. Danach schliesst sich der Rückbaubetrieb an. Der Rückbaubetrieb ist Teil der Stilllegung und wird somit durch den Stilllegungsfonds finanziert.

Der Nachbetrieb dient in erster Linie der Einhaltung der nuklearen Schutzziele und des Strahlenschutzes, einschliesslich der Umgebungsüberwachung, sowie dem Betrieb der hierfür noch benötigten Systeme und Anlageninfrastruktur.

Neben der Auslagerung der Brennelemente und den betrieblichen Aufgaben zur Instandhaltung der noch benötigten Systeme beinhalten die Massnahmen im Nachbetrieb folgende Schwerpunkte:

- Konditionierung und Verpackung[35] der aus dem Leistungsbetrieb noch vorhandenen Betriebsabfälle.
- Konditionierung und Verpackung[35] der während des Nachbetriebs entstehenden Betriebsabfälle.
- Konditionierung und Verpackung[35] der Reaktorabfälle (diese können bereits während des Leistungsbetriebs angefallen sein oder im Nachbetrieb anfallen).
- Ausserbetriebnahme sowie Anpassung nicht mehr benötigter Systeme und Teilsysteme.

Die Abgrenzung der im Nachbetriebszeitraum anfallenden Kosten bezüglich Betriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten ist in den Tabellen 3 bis 5 dargestellt.

4.1 Brennelemente

Während des Nachbetriebs werden die Brennelemente weiterhin am Standort im Brennelementlagerbecken gekühlt und gesichert aufbewahrt. Nach Erreichen der für einen Abtransport erforderlichen Temperatur werden die Brennelemente in entsprechende Transport- und Lagerbehälter verpackt und in das zentrale Zwischenlager Würenlingen oder, im Falle des Kernkraftwerks Beznau, ins ZWIBEZ gebracht. Im Kernkraftwerk Gösgen werden die Brennelemente ins Nasslager transferiert und erst später, nach Abschluss des Nachbetriebs, in das zentrale Zwischenlager Würenlingen gebracht.

Für die Auslagerung der Brennelemente wird wie in Tabelle 3 gezeigt zwischen Nachbetriebs- und Entsorgungskosten abgegrenzt.

[35] Insbesondere das Bereitstellen als Versandstücke für den Transport in ein externes Zwischenlager.

Tabelle 3: 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

4.2 Betriebsabfälle aus Leistungs- und Nachbetrieb

Die Überführung der Betriebsabfälle in ein Zwischenlager erfolgt laufend bereits während des Leistungsbetriebs. Sie ist im Nachbetrieb eine der Haupttätigkeiten, wird – falls erforderlich – während des Rückbaus fortgesetzt und muss spätestens mit dem Abschluss der Stilllegungsarbeiten ebenfalls abgeschlossen sein.

Die Betriebsabfälle aus dem Leistungsbetrieb sind grösstenteils bereits konditioniert. Betriebsmedien in den Systemen werden nach der Ausserbetriebnahme aufbereitet und konditioniert. Bei den Betriebsabfällen werden folgende Abfalltypen unterschieden:

- Filterkerzen.
- Schlämme.
- Harze.
- Mischabfälle.

Filterkerzen sowie flüssige und feste Betriebsabfälle werden wie bereits im Leistungsbetrieb mit den vorhandenen Verfahren vor Ort oder in der Plasma-Anlage der Zwilag behandelt beziehungsweise konditioniert. Die Kosten für die Handhabung vor Ort, einschliesslich der beim Abtransport der restlichen Betriebsabfälle aus dem Zwischenlager anfallenden werksinternen Aufwendungen, gelten als Nachbetriebskosten. Sämtliche Kosten, die für die Entsorgung der Betriebsabfälle aus Leistungs- und Nachbetrieb ausserhalb des Kraftwerkareals anfallen, werden den Entsorgungskosten zugeordnet. Die Abgrenzung zwischen Nachbetriebs- und Entsorgungskosten erfolgt wie in Tabelle 4 gezeigt.

Bei den Betriebsabfällen, die während des Nachbetriebs entstehen, handelt es sich um die gleichen Abfalltypen wie bei den Betriebsabfällen aus dem Leistungsbetrieb. Die geschätzten Abfallmengen fliessen in das Abfallmengengerüst für die Entsorgung ein.

Tabelle 4: 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

4.3 Reaktorabfälle aus dem Leistungsbetrieb

Der Begriff Reaktorabfälle wird als Sammelbegriff für aktivierte Abfälle verwendet. Darunter fallen zum Beispiel ausgediente Kernbauteile, Steuerelemente, Vergiftungs- und Blindelemente, Brennelementkästen, Kastenbefestigungen, Messlanzen, neutronenabsorbierende Einsätze, Neutronenquellen und so weiter. Aufgrund der zum Teil sehr hohen spezifischen Aktivität werden die Reaktorabfälle in der Regel unter Wasser zerlegt, üblicherweise im Brennelementlagerbecken.

Nach Installation, Prüfung und Inbetriebnahme einer Unterwasserzerlegeanlage werden die Reaktorabfälle konditioniert, das heisst gebindegerecht zerlegt und in entsprechende Behälter verpackt.

Sind alle Reaktorabfälle konditioniert, wird die Zerlegeeinrichtung demontiert, dekontaminiert und abtransportiert.

Die Abgrenzung zwischen Nachbetriebs- und Entsorgungskosten erfolgt wie in Tabelle 5 gezeigt. Sie betrifft allerdings nur die Reaktorabfälle aus dem Leistungsbetrieb und die bei dessen endgültiger Einstellung entstehenden Abfälle. Die später bei der Stilllegung anfallenden Reaktorabfälle werden im Rahmen der Stilllegung entsorgt. Die entsprechenden Abgrenzungen sind dem Bericht zu den Stilllegungskosten [4] zu entnehmen.

Tabelle 5: Abgrenzung der Kosten für 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

4.4 Ausserbetriebnahme von Systemen

Sämtliche Systeme, einschliesslich der zugehörigen Hilfs- und Nebensysteme, die zur Aufrechterhaltung des Betriebs des Brennelementlagerbeckens und der Reaktorgrube notwendig sind, werden weiter betrieben. Dies gilt auch für die weiteren für den Anlagenbetrieb benötigten Systeme und Einrichtungen der Kraftwerksinfrastruktur. Für den sicheren Betrieb nicht mehr benötigte Systeme und Komponenten werden entleert und abgesichert. Die Absicherungen der Systeme, Komponenten und Einrichtungen, die primär der sicherheitsfördernden Vereinfachung der Anlage dienen, werden entsprechend den betrieblichen Vorschriften ausgeführt, zum Beispiel für:

- Schliessen und Sichern von Ventilen.
- Anbringen von Blindflanschen.
- Setzen von Steckscheiben.
- Abklemmen und Abtrennen elektro- und leittechnischer Verbindungen.

Durch den Verschluss der Systeme wird eine Kontamination der Umgebung verhindert. Die Systeme, Komponenten und Einrichtungen können nicht mehr elektrisch versorgt oder eingeschaltet, mit Medien beaufschlagt oder verfahrenstechnisch in Betrieb genommen werden. Diese Systeme und Komponenten sind dann drucklos und haben Umgebungstemperatur. Verbindungsleitungen zu anderen Systemen und Medien sind getrennt oder geschlossen und gesichert.

4.5 Betrieb der Anlage im Nachbetrieb

Zu Beginn der Etablierung des Nachbetriebs steht das Kernkraftwerkspersonal zunächst in unverminderter Anzahl zur Verfügung. Ein Teil des Personals ist mit Aufgaben beschäftigt, die direkt mit der Stilllegung zusammenhängen. Dazu gehören:

- Planung des Rückbaus und Erwirken der Stilllegungsverfügung (die Kosten für dieses Personal werden in den Stilllegungskosten berücksichtigt).
- Sonderaufgaben im Nachbetrieb, wie zum Beispiel:
  - Planung und Durchführung der Ausserbetriebnahme von Systemen.
  - Planung und Überwachung der Entsorgung von Reaktorabfällen (ist nicht in den Stilllegungskosten enthalten, weil es sich bei den Reaktorabfällen um bereits angefallene Betriebsabfälle handelt).

Der Grossteil des Personals wird für den Nachbetrieb der Anlage eingesetzt. Dazu gehören folgende Tätigkeiten:

- Anlageleitung.
- Kaufmännische Verwaltung, Personal.
- Qualitätsmanagement.
- Betrieb IT-Systeme.
- Sicherung.
- Betrieb (inklusive Schichtbetrieb).
- Maschinen- und Elektrotechnik.
- Strahlenschutz, Physik und Chemie.
- Entsorgung radioaktiver Abfälle.
- Brennstoffbewirtschaftung und Entsorgung.
- Öffentlichkeitsarbeit.
- Sonstiges (zum Beispiel Personalrestaurant).

Während der Personalbedarf für stilllegungsgerichtete Aufgaben ab EABN mit fortschreitendem Nachbetrieb eher steigt, wird für die Aufgaben des eigentlichen Nachbetriebs sukzessive weniger Personal benötigt. Diese Reduktion des Personalbedarfs erfolgt mit fortschreitender Vereinfachung des Betriebs-, Überwachungs- und Prüfaufwandes, der sich durch die Ausserbetriebnahme von Systemen ergibt. Die in der Kostenstudie 2021 eingeführte zeitliche Überlappung von technischem Nachbetrieb und Stilllegungstätigkeiten wurde in der Kostenstudie 2026 fortgeführt. Dabei wird das Personal schrittweise für Stilllegungstätigkeiten eingesetzt. Die Annahmen zur Aufteilung des Personals auf betriebliche und stilllegungsgerichtete Tätigkeiten basieren auf den Erfahrungen des Kernkraftwerks Mühleberg und der vorbereitenden Stilllegungsplanung des Kernkraftwerks Beznau.

Neben dem Personaleinsatz sind für den Nachbetrieb auch die Fremdleistungen und Sachaufwendungen für Betrieb, Instandhaltung und Administration der Anlage zu berücksichtigen. Dafür müssen die folgenden Kostenpositionen nach EELB weiterhin berücksichtigt werden:

- Betriebssachkosten, zum Beispiel für:
  - Hilfs- und Betriebsstoffe.
  - Energiekosten (zum Beispiel Strombezug).
- Unterhaltssachkosten, zum Beispiel für:
  - laufende Instandhaltung.
  - Behördenkosten (zum Beispiel ENSI).
- Umgebungsüberwachung.
- Sonstige betriebliche Kosten, zum Beispiel für:
  - Versicherungen.
  - Mieten.
  - Grundstücke und Gebäude.

Die Höhe der Sachkosten und deren Reduktion im Verlauf des Nachbetriebs werden je nach Kostenart individuell festgelegt.

Ausgehend von den relevanten betrieblichen Jahreskosten der Anlage werden für die Kostenermittlung des Nachbetriebs je nach Kostenart mittlere Reduktionsfaktoren angesetzt, die auf Erfahrungen aus aktuellen Stilllegungen und den Planungen der Werke basieren.

5 Resultate der Ermittlung der Nachbetriebskosten

Die hier vorgenommene Kostenermittlung umfasst alle im Nachbetrieb fortzuführenden Massnahmen zur Aufrechterhaltung der nuklearen Sicherheit, der Sicherung und des Strahlenschutzes (einschliesslich der Umgebungsüberwachung) sowie zum Betrieb der Infrastruktur. Es werden nur diejenigen Kosten betrachtet, die im Zusammenhang mit der Etablierung und Aufrechterhaltung des Nachbetriebs stehen.

Für die Darstellung der Ergebnisse der Ermittlung der Nachbetriebskosten wurde die von der Verwaltungskommission für die Kostenstudie verbindlich vorgegebene Struktur verwendet. Dabei werden die Kosten der funktionalen Pakete auf der Ebene der technischen Projekte und betrieblichen Organisationseinheiten detailliert. Dies entspricht Ebene 3 der Kostenstruktur. Auf dieser Ebene ist die Struktur der Kosten für alle Kernanlagen weitestgehend identisch. Sie erlaubt somit unabhängig vom Kraftwerkstyp und technischen Unterschieden einen direkten Vergleich von Kosten und anderen Kennzahlen. Auf den tieferen Gliederungsebenen der Kostenstruktur ist dies aufgrund der Anlagespezifika nicht mehr möglich.

5.1 Ausgangskosten, Kosten für Massnahmen zur Risikominderung und Basiskosten

Die Betreiber ermitteln normalisierte Jahreskosten eines durchschnittlichen Betriebsjahrs, auf deren Basis die Ausgangskosten und die risikomindernden Massnahmen berechnet werden. Bei den risikomindernden Massnahmen handelt es sich um fest in die betriebliche Planung integrierte Massnahmen und Leistungen. Diese können sowohl technischer Natur sein als auch Management- und Projektleitungsmassnahmen umfassen. Die Basiskosten setzen sich aus Ausgangskosten und den Kosten für risikomindernde Massnahmen zusammen.

Die Basiskosten ergeben sich als Summe der Jahreskosten über die angenommene Dauer des Nachbetriebs. Dabei werden die normalisierten Jahreskosten mit Reduktionsfaktoren versehen, die Siempelkamp NIS auf Grund ihrer Erfahrung festlegt.

In den Tabellen 6 bis 9 sind für die vier Schweizer Kernkraftwerke die Ausgangskosten (AK) und die Kosten für Massnahmen zur Risikominderung (RM) aufgeführt. Die Darstellung umfasst die Ebenen 1 bis 3 der Kostenstruktur. Ebenfalls aufgeführt sind die Basiskosten (BK) und die im Abschnitt 5.2 diskutierten Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten (PU). Letztere sind zu den einzelnen Elementen der Kostenstruktur zu addieren.

Die erste Ebene des Projektstrukturplans dient der Unterscheidung zwischen Nachbetrieb und Stilllegung. Hier ist nur der Nachbetrieb im Sinne der Kostenstudie dargestellt, das heisst die betrieblichen Aufwendungen ab der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs bis zum kumulativen Erreichen der Kernbrennstofffreiheit und dem Vorliegen einer rechtskräftigen Stilllegungsverfügung.

Auf der zweiten Ebene des Projektstrukturplans wird unterschieden zwischen Aufwendungen für:

- den eigentlichen Betrieb der Anlage,
- die innerbetriebliche Handhabung der Brennelemente und
- weiteren Massnahmen des Nachbetriebs.

Auf der dritten Ebene des Projektstrukturplans sind die Kosten weiter aufgegliedert.

- Die Aufwendungen für den eigentlichen Betrieb der Anlage, bestehend aus Personal- und Sachaufwendungen, umfassen:
  - die Verwaltung und Administration,
  - die Überwachung einschliesslich Strahlenschutz,
  - die Sicherung der Anlage und die Bewachung beziehungsweise Überwachung des Areals,
  - die behördliche Begleitung des Betriebs,
  - den Anlagebetrieb mit dem Betriebspersonal,
  - die Werkstätten mit dem dafür benötigten Personal,
  - die Prüfung und Instandhaltung der Anlage mit dem Prüf- und Instandhaltungspersonal,

  - Instandhaltungsprojekte,
  - den Betrieb der Informatiksysteme,
  - Betriebs- und Unterhaltssachkosten,
  - den Betrieb der Lagereinrichtungen sowie
  - sonstige betriebliche Aufwendungen.
- Die Aufwendungen für die innerbetriebliche Handhabung der Brennelemente umfassen die Handhabung der Brennelemente in der Anlage, ihre Verpackung zum Zweck des Abtransports und dessen Durchführung bis zum Ausgang aus dem Areal[36].
- Die Aufwendungen für die weiteren Massnahmen des Nachbetriebs umfassen:
  - die Konditionierung und Verpackung[37] der sich noch auf der Anlage befindlichen oder im Nachbetrieb anfallenden radioaktiven Abfälle, soweit diese nicht durch gesonderte Rückstellungen abgedeckt sind[38],
  - die Ausserbetriebnahme von Systemen zwecks deren Bereitstellung für den Rückbau und
  - systemtechnische Anpassungen, wie beispielsweise die Nachrüstung von Sicherheitssystemen und Vereinfachungen der Anlage zwecks damit einhergehendem Gewinn an Sicherheit.

In den Tabellen 6 bis 9 sind für die Kernkraftwerke Beznau, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt die Kosten für die oben genannten Elemente der drei obersten Ebenen des Projektstrukturplans für die einzelnen Niveaus und Zuschläge der Kostengliederung aufgeführt. Letztere umfassen die Ausgangskosten, die Kosten für Massnahmen zur Risikominderung, die Basiskosten und die Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten.

Ausgangskosten

Aus den Tabellen ist ersichtlich, dass der überwiegende Teil der Ausgangskosten, je nach Werk rund 89 bis 92 Prozent, für den eigentlichen Betrieb der Anlage anfällt. Rund 46 bis 50 Prozent der Ausgangskosten entfallen auf die drei PSP-Elemente Anlagebetrieb, Prüfung und Instandhaltung sowie Betriebs- und Unterhaltssachkosten. Zwischen 7 und 11 Prozent der Ausgangskosten sind für die behördliche Begleitung aufzuwenden, rund 7 Prozent für die Sicherung der Anlage, zwischen 6 und 8 Prozent für die Überwachung, zwischen 5 und 6 Prozent für Informatik und höchstens 1 Prozent für den Betrieb der Lagereinrichtungen. Verwaltung, Administration und sonstiger betrieblicher Aufwand machen rund 10 bis 13 Prozent aus.

Für die innerbetriebliche Handhabung der Brennelemente fallen zwischen 2 und 3 Prozent der gesamten Ausgangskosten an.

Für die weiteren Massnahmen des Nachbetriebs beträgt der Anteil an den gesamten Ausgangskosten rund 5 bis 8 Prozent. Diese Massnahmen bestehen im Wesentlichen aus solchen zur Konditionierung der radioaktiven Abfälle.

Bei der Berechnung der Ausgangskosten hat sich gezeigt, dass die mit der Kostenstudie 2016 eingeführte Kostenstruktur weiterhin umsetzbar ist und aussagekräftige Kostenvergleiche erlaubt.

[36] Aufwendungen für den Transport ausserhalb des Werkareals zählen zu den Entsorgungskosten. Die entsprechende Kostenabgrenzung ist im Bericht zu den Entsorgungskosten für Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung beschrieben [5].

[37] Insbesondere das Bereitstellen als Versandstücke für den Transport in ein externes Zwischenlager.

[38] Aufwendungen für die Konditionierung der radioaktiven Abfälle, für welche die Entsorgungspflicht vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs entstanden ist, fallen nicht notwendigerweise unter die Nachbetriebskosten, werden aber in jedem Fall von den Betreibern ebenfalls direkt bezahlt. Zu den Stilllegungskosten zählen die Aufwendungen für die Konditionierung der eigentlichen Stilllegungsabfälle sowie der nach Abschluss des Nachbetriebs anfallenden Betriebsabfälle (Rückbaubetriebsabfälle). Dies gilt unabhängig davon, wann die Entsorgungspflicht entstanden ist. Die entsprechende Kostenabgrenzung ist im Bericht zu den Stilllegungskosten beschrieben [4].

Kosten für Massnahmen zur Risikominderung

Die Tätigkeiten im Nachbetrieb unterscheiden sich kaum von jenen während des Leistungsbetriebs. Die Anlage und deren Betrieb werden zwar kontinuierlich vereinfacht, aber die betrieblichen Prozesse bleiben im Grunde dieselben. So kann beispielsweise für Systemausserbetriebnahmen das im Leistungsbetrieb angewandte Anlageänderungsverfahren in etwas erweiterter Form, aber im Prinzip unverändert angewandt werden. Daher gibt es im technischen Bereich kaum Bedarf für Massnahmen zur Risikominderung.

In Bezug auf administrative und sonstige betrieblichen Aufwendungen werden jedoch einige Massnahmen zur Risikominderung ergriffen. Diese betreffen:

- das Unternehmens- und Projektcontrolling,
- das Beschaffungs- und Nachforderungsmanagement,
- den Umgang mit Versicherungen,
- das Qualitäts- und Dokumentenmanagement,
- das Sicherstellen der Regelkonformität der Prozesse,
- das Risikomanagement,
- das Vorhalten redundanter Einrichtungen als Vorbeugung gegen Ausfälle und
- die vorbeugende Klärung von Rechtsfragen im Zusammenhang mit der behördlichen Begleitung der betrieblichen Abläufe.

Die Aufwendungen zur Risikominderung sind zu den Ausgangskosten zu addieren. Sie betragen relativ zu diesen im Durchschnitt 1.5 Prozent der Ausgangskosten. Mit fortschreitender Planung der Ausserbetriebnahme werden vermutlich weitere Möglichkeiten zur Risikominderung erkannt und entsprechende Vorsorgen getroffen. Da die Prozesse des Nachbetriebs gut bekannt sind, ist jedoch nicht davon auszugehen, dass für die Risikominderung wesentlich mehr Aufwendungen entstehen werden.

Basiskosten

Wie aus den Tabellen 6 bis 9 ersichtlich, betragen die Basiskosten für den Nachbetrieb der laufenden Schweizer Kernkraftwerke zwischen 299 und 420 Millionen Franken. Sie hängen nicht von der installierten Leistung ab, wohl jedoch von der Konfiguration der jeweiligen Anlage, und vor allem auch von der Dauer[39] des Nachbetriebs.

[39] Siehe Abschnitt 1.3.2 und Tabelle 2 in Abschnitt 1.4.

Tabelle 6: Nachbetriebskostenermittlung für das Kernkraftwerk Beznau.

Kostenstrukturelement (bis Ebene 3)	**AK** [MCHF]	**RM** [MCHF]	**BK** [MCHF]	**PU** [MCHF]	[%]
Betrieb bis Kernbrennstofffreiheit	**414.50**	**5.60**	**420.10**	**12.51**	**3.0%**
Betrieb – Standort bezogen	**368.18**	**5.60**	**373.78**	**8.46**	
Verwaltung/Administration	29.20	4.40	33.60	0.60	
Überwachung	30.91	0.00	30.91	0.89	
Sicherung/Arealüberwachung	29.95	0.00	29.95	0.47	
Behördliche Begleitung Betrieb	44.63	0.00	44.63	1.04	
Fachabteilungen Betrieb Anlage	90.72	0.00	90.72	1.87	
Werkstätten	1.51	0.00	1.51	0.03	
Prüfung und Instandhaltung	45.78	0.00	45.78	1.18	
Instandhaltungsprojekte	0.00	0.00	0.00	0.00	
Betrieb IT	21.88	0.00	21.88	0.54	
Betriebs- und Unterhaltsachkosten	58.02	0.00	58.02	1.41	
Betrieb Lagereinrichtungen	1.87	0.00	1.87	0.04	
Sonstige betriebl. Aufwendungen	13.71	1.20	14.91	0.40	
Handhabung Brennelemente	**13.85**	**0.00**	**13.85**	**0.49**	
Handhabung und Verpackung BE	13.85	0.00	13.85	0.49	
Massnahmen bis Kernbrennstofffreiheit	**32.48**	**0.00**	**32.48**	**3.56**	
Behandlung, Verpackung und Entsorgung der Betriebsabfälle	32.48	0.00	32.48	3.56	
Ausserbetriebnahme von Systemen	0.00	0.00	0.00	0.00	
Systemtechnische Anpassungen	0.00	0.00	0.00	0.00	

PU_{gesamt} auch in % der BK, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.
Ausgangskosten (AK), Kosten zur Risikominderung (RM), Basiskosten (BK) sowie Zuschlag für Prognoseungenauigkeiten (PU).

Tabelle 7: Nachbetriebskostenermittlung für das Kernkraftwerk Mühleberg.

Kostenstrukturelement (bis Ebene 3)	**AK** [MCHF]	**RM** [MCHF]	**BK** [MCHF]	**PU** [MCHF]	[%]
Betrieb bis Kernbrennstofffreiheit	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.0%**
Betrieb – Standort bezogen	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	
Verwaltung/Administration	0.00	0.00	0.00	0.00	
Überwachung	0.00	0.00	0.00	0.00	
Sicherung/Arealüberwachung	0.00	0.00	0.00	0.00	
Behördliche Begleitung Betrieb	0.00	0.00	0.00	0.00	
Anlagebetrieb	0.00	0.00	0.00	0.00	
Werkstätten	0.00	0.00	0.00	0.00	
Prüfung und Instandhaltung	0.00	0.00	0.00	0.00	
Instandhaltungsprojekte	0.00	0.00	0.00	0.00	
Betrieb IT	0.00	0.00	0.00	0.00	
Betriebs- und Unterhaltsachkosten	0.00	0.00	0.00	0.00	
Betrieb Lagereinrichtungen	0.00	0.00	0.00	0.00	
Sonstige betriebl. Aufwendungen	0.00	0.00	0.00	0.00	
Handhabung Brennelemente	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	
Handhabung und Verpackung BE	0.00	0.00	0.00	0.00	
Massnahmen bis Kernbrennstofffreiheit	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	
Behandlung, Verpackung und Entsorgung der Betriebsabfälle	0.00	0.00	0.00	0.00	
Ausserbetriebnahme von Systemen	0.00	0.00	0.00	0.00	
Systemtechnische Anpassungen	0.00	0.00	0.00	0.00	

PU_{gesamt} auch in % der BK, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.
Ausgangskosten (AK), Kosten zur Risikominderung (RM), Basiskosten (BK) sowie Zuschlag für Prognoseungenauigkeiten (PU).
Der Nachbetrieb des KKM wurde 2023 abgeschlossen. Die aufgelaufenen Gesamtkosten sind in Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 8: Nachbetriebskostenermittlung für das Kernkraftwerk Gösgen.

Kostenstrukturelement (bis Ebene 3)	**AK** [MCHF]	**RM** [MCHF]	**BK** [MCHF]	**PU** [MCHF]	[%]
Betrieb bis Kernbrennstofffreiheit	**295.03**	**4.20**	**299.23**	**21.58**	**7.2%**
Betrieb – Standort bezogen	**270.61**	**4.20**	**274.81**	**19.08**	
Verwaltung/Administration	30.88	3.30	34.18	2.10	
Überwachung	20.73	0.00	20.73	1.20	
Sicherung/Arealüberwachung	19.50	0.00	19.50	1.11	
Behördliche Begleitung Betrieb	30.47	0.00	30.47	2.32	
Anlagebetrieb	59.04	0.00	59.04	3.67	
Werkstätten	11.54	0.00	11.54	0.69	
Prüfung und Instandhaltung	38.15	0.00	38.15	3.10	
Instandhaltungsprojekte	0.00	0.00	0.00	0.00	
Betrieb IT	16.66	0.00	16.66	1.14	
Betriebs- und Unterhaltsachkosten	37.02	0.00	37.02	3.09	
Betrieb Lagereinrichtungen	0.00	0.00	0.00	0.00	
Sonstige betriebl. Aufwendungen	6.61	0.90	7.51	0.65	
Handhabung Brennelemente	**9.91**	**0.00**	**9.91**	**0.15**	
Handhabung und Verpackung BE	9.91	0.00	9.91	0.15	
Massnahmen bis Kernbrennstofffreiheit	**14.51**	**0.00**	**14.51**	**2.34**	
Behandlung, Verpackung und Entsorgung der Betriebsabfälle	14.51	0.00	14.51	2.34	
Ausserbetriebnahme von Systemen	0.00	0.00	0.00	0.00	
Systemtechnische Anpassungen	0.00	0.00	0.00	0.00	

PU_{gesamt} auch in % der BK, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.
Ausgangskosten (AK), Kosten zur Risikominderung (RM), Basiskosten (BK) sowie Zuschlag für Prognoseungenauigkeiten (PU).

Tabelle 9: Nachbetriebskostenermittlung für das Kernkraftwerk Leibstadt.

Kostenstrukturelement (bis Ebene 3)	**AK** [MCHF]	**RM** [MCHF]	**BK** [MCHF]	**PU** [MCHF]	[%]
Betrieb bis Kernbrennstofffreiheit	**371.29**	**5.60**	**376.89**	**11.95**	**3.2%**
Betrieb – Standort bezogen	**334.79**	**5.60**	**340.39**	**8.53**	
Verwaltung / Administration	38.12	4.40	42.52	0.71	
Überwachung	23.39	0.00	23.39	0.12	
Sicherung / Arealüberwachung	24.66	0.00	24.66	0.16	
Behördliche Begleitung Betrieb	26.76	0.00	26.76	0.66	
Anlagebetrieb	72.76	0.00	72.76	0.76	
Werkstätten	5.45	0.00	5.45	0.07	
Prüfung und Instandhaltung	72.84	0.00	72.84	3.33	
Instandhaltungsprojekte	0.00	0.00	0.00	0.00	
Betrieb IT	18.06	0.00	18.06	0.69	
Betriebs- und Unterhaltsachkosten	40.18	0.00	40.18	1.48	
Betrieb Lagereinrichtungen	0.80	0.00	0.80	0.03	
Sonstige betriebl. Aufwendungen	11.78	1.20	12.98	0.51	
Handhabung Brennelemente	**8.28**	**0.00**	**8.28**	**0.47**	
Handhabung und Verpackung BE	8.28	0.00	8.28	0.47	
Massnahmen bis Kernbrennstofffreiheit	**28.22**	**0.00**	**28.22**	**2.95**	
Behandlung, Verpackung und Entsorgung der Betriebsabfälle	28.22	0.00	28.22	2.95	
Ausserbetriebnahme von Systemen	0.00	0.00	0.00	0.00	
Systemtechnische Anpassungen	0.00	0.00	0.00	0.00	

PU_{gesamt} auch in % der BK, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.
Ausgangskosten (AK), Kosten zur Risikominderung (RM), Basiskosten (BK) sowie Zuschlag für Prognoseungenauigkeiten (PU).

5.2 Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten

Die Tabellen 6 bis 9 in Abschnitt 5.1 enthalten neben dem Kostenniveau Basiskosten auch die Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten. Die in Abschnitt 5.1 beschriebene Herleitung der Basiskosten beruht auf einer Ermittlung des Aufwandes für die einzelnen Elemente des Projektstrukturplans. Diese Elemente sind mit Ungenauigkeiten verbunden. Die Prozesse und Tätigkeiten des Nachbetriebs sind gut bekannt. Daher ist zu erwarten, dass die Prognoseungenauigkeiten der Basiskosten relativ klein sind.

Insgesamt beträgt der Zuschlag für Prognoseungenauigkeiten pro Kernkraftwerk (ohne KKM) zwischen 12 und 22 Millionen Franken. Für alle laufenden Kernkraftwerke beträgt der Zuschlag rund 3 bis 7 Prozent der Basiskosten.

5.3 Kostenzuschlag für Gefahren und Kostenabzug für Chancen

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

Die Gefahren werden als der Erwartungswert von Mehrkosten verstanden, die mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit zukünftig auftreten werden. Chancen werden analog als Erwartungswert von Minderkosten verstanden, die ebenfalls mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit eintreten werden. In der Entscheidungstheorie werden Mehr- und Minderkosten neutral als Nutzen bezeichnet. Dieser Nutzen kann positiv oder negativ sein. Die Formulierung aus der Entscheidungstheorie ermöglicht es, die Gefahren und Chancen unter Verwendung von Ereignisbäumen zu berechnen und beide Typen gleich zu behandeln. Beide Typen werden jedoch getrennt ausgewiesen. Gemäss den Annahmen für Chancen und Gefahren wird für verschiedene mögliche Ereignisse Ereignisbäume entwickelt. Für jede diskrete Chance und Gefahr wird für die Berechnung der Zuschläge ein unabhängiger Ereignisbaum entwickelt. Risiken, die sowohl als Chance als auch als Gefahr auftreten, werden in einem gemeinsamen Ereignisbaum dargestellt. Das mögliche Nutzenausmass wird durch drei Szenarien repräsentiert: hohes Nutzenausmass, geringes Nutzenausmass und kein Nutzenausmass.

In den nachfolgenden Abschnitten 5.3.1 und 5.3.2 wird auf die für den Nachbetrieb identifizierten und berücksichtigten Gefahren und Chancen eingegangen.

5.3.1 Kostenzuschläge für Gefahren

Veränderung der Nachbetriebskosten durch Anforderungen von Behörden und Öffentlichkeit

Freigaben für Ausserbetriebnahmen von Systemen werden nicht erteilt

Geplante, freigabepflichtige Systemausserbetriebnahmen können nicht wie geplant durchgeführt werden. Die Behörde erteilt die erforderlichen Freigaben nicht rechtzeitig.

Personalreduktion kann nicht im geplanten Umfang umgesetzt werden

Veränderte Rahmenbedingungen machen eine Erhöhung des nach endgültiger Einstellung des Leistungsbetriebs (EELB) auf der Anlage verbleibenden Personals im Vergleich zur für den Nachbetrieb vorgesehenen Personalplanung erforderlich. Gründe dafür sind vor allem behördliche Auflagen, zum Beispiel Nicht-Bewilligung einer neuen Organisation am Standort oder zusätzliche Aufgaben.

Zusätzliche behördliche Forderungen

Während Planung oder Durchführung des Nachbetriebs werden, zusätzlich zu den erwarteten Forderungen, von den Behörden, vorgängig noch nicht bekannte Zusatzanforderungen gestellt, die zu einer Erhöhung der Nachbetriebskosten führen.

Verlängerung der Nachbetriebsdauer

Es werden Verlängerungsszenarien zwischen 6 und 24 Monaten betrachtet. Dabei werden unterschiedliche Auslöser für eine Verlängerung der Nachbetriebsdauer über den im Projektplan veranschlagten Zeitplan hinaus beschrieben:

(1) Stilllegungsverfügung verzögert durch Behördenprozess.

(2) Stilllegungsverfügung verzögert durch Öffentlichkeit.

(3) Verzögerte Kernbrennstofffreiheit.

(4) Entschädigungslose vorzeitige EELB durch Politikentscheid.

(5) Unvorbereitete vorzeitige EELB durch regulatorischen Entscheid.

Die Auslöser der Gefahr Verlängerung der Nachbetriebsdauer sind diskrete Ereignisse, die jedoch im Nachbetrieb zum gleichen Schadensausmass, einer Erhöhung der Nachbetriebskosten, führen. Der Gefahrenzuschlag ergibt sich als Summe der einzelnen Zuschläge, die hinsichtlich Auslöser, deren Eintrittswahrscheinlichkeit und Dauer der Verzögerung individuell bewertet werden. Aus dem Stilllegungsverfahren für das Kernkraftwerk Mühleberg können die anderen Kernkraftwerksbetreiber wertvolle Erkenntnisse für ihre eigene Planung nutzen.

Kostenveränderungen aus betrieblichen und technischen Gründen

Brennelementschäden während des Betriebs mit erheblicher Freisetzung von Kontamination

Durch einen im Leistungsbetrieb aufgetretenen Brennelementschaden mit Freisetzung von Kontamination bleibt im Primärkreislauf eine Restkontamination inklusive einer Alpha-Kontamination zurück.

Nukleare Haftpflichtversicherung

In den Basiskosten wird davon ausgegangen, dass die Kosten der nuklearen Haftpflichtversicherung infolge des abnehmenden radiologischen Gefährdungspotenzials reduziert werden. Sollten die Versicherer diesen Reduktionsvorschlag nicht akzeptieren, fällt während der gesamten Nachbetriebsdauer die volle Höhe der Versicherungskosten entsprechend der Höhe im Leistungsbetrieb an.

Gebührenaufwand

Erhöhung von Abgaben, Beiträgen und Gebühren, die in den laufenden Betriebskosten noch nicht berücksichtigt sind. Diese Erhöhung ist teuerungsbereinigt (über normale Inflation hinaus).

Durch Fluktuation verloren gegangene Expertise muss teurer extern beschafft werden

Während des Leistungsbetriebs, der Planung des Nachbetriebs oder des Nachbetriebs gehen (für den Nachbetrieb) wichtige Know-how-Träger verloren. Das fehlende Know-how kann gegebenenfalls zeitlich begrenzt durch externe Leistungen ersetzt werden. Aufgrund der Marktsituation können die betroffenen Positionen nicht zu den geplanten Kosten wiederbesetzt werden.

Höherer Aufwand für die Entsorgung von Betriebsabfällen, die sich noch während des Nachbetriebs unbehandelt auf der Anlage befinden

Während des Nachbetriebs werden sich die Rahmenbedingungen, insbesondere die gesetzlichen Vorschriften für die Entsorgung der Betriebsabfälle, beispielsweise in Bezug auf die Dosisleistung pro Behälter oder die Konditionierungsvorschriften, ändern oder die Behälterkosten über die normale Inflation hinaus ansteigen.

Entwicklung der Energiekosten (Strom und Heizöl)

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

5.3.2 Kostenabzüge für Chancen

Manche Ereignisse können im Eintrittsfall sowohl zu einer Kostenerhöhung (Gefahr) als auch zu einer Kostenminderung (Chance) führen. Da Risiken sowohl Gefahren als auch Chancen umfassen, werden bei diesen Ereignissen beide möglichen Auswirkungen berücksichtigt. Dies trifft auf die nachfolgend aufgeführten Chancenpotenziale zu.

Verkürzung der Nachbetriebsdauer

Verkürzung der Nachbetriebsdauer durch frühzeitige Kernbrennstofffreiheit um sechs Monate

Durch Fortschritt in der Behälterentwicklung, Letztkernoptimierung und Beladestrategie kann der Meilenstein Kernbrennstofffreiheit früher erreicht werden.

Kostenveränderungen aus betrieblichen und technischen Gründen

Entwicklung der Energiekosten (Strom und Heizöl)

Aufgrund von Preisrückgängen oder Effizienzgewinnen beim Energiemanagement kommt es zu einer Reduktion der Bezugskosten für Strom und Heizöl.

5.3.3 Quantifizierung der Kostenfolgen von Gefahren und Chancen

Gemäss Vorgabe für die Kostenstudie 2026 wurden die Kostenzuschläge für Gefahren auf der Basis einer quantitativen Risikoanalyse ermittelt. Dazu wurde für jede der oben beschriebenen Gefahren deren Eintrittswahrscheinlichkeit und Kostenfolge aufgrund von Expertenwissen abgeschätzt. Der so errechnete Zuschlag wurde in die Gesamtkosten eingerechnet. Mit Chancen wurde analog verfahren.

Die Zuschläge für Gefahren und Abzüge für Chancen wurden nicht auf die einzelnen PSP-Elemente der Kalkulation zurückgerechnet. Die Zuschläge und Abzüge erfolgen auf die ermittelten Basiskosten. Tabelle 10 zeigt die anzubringenden Zuschläge für Gefahren und Abzüge für Chancen für jede der untersuchten Anlagen.

Es ist ersichtlich, dass in der Kostenstudie 2026 aufgrund der analysierten Gefahren und Chancen für die Werke KKB, KKG und KKL ein Zuschlag von netto rund 19 bis 23 Prozent zu den Basiskosten addiert wird. Über die drei Werke beträgt der Zuschlag insgesamt rund 21 Prozent.

Tabelle 10: Kostenzuschläge für Gefahren und Kostenabzüge für Chancen.

	KKB	KKM	KKG	KKL	Total
Kostenzuschlag für Gefahren	79		70	82	232
in % der Basiskosten	*18.9%*		*23.5%*	*21.9%*	*21.2%*
Kostenabzug für Chancen	-1		-1	-1	-2
in % der Basiskosten	*-0.2%*		*-0.2%*	*-0.2%*	*-0.2%*
Kostenzuschlag für Gefahren und Chancen	**78**		**70**	**82**	**230**
in % der Basiskosten	*18.7%*		*23.3%*	*21.7%*	*21.0%*

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

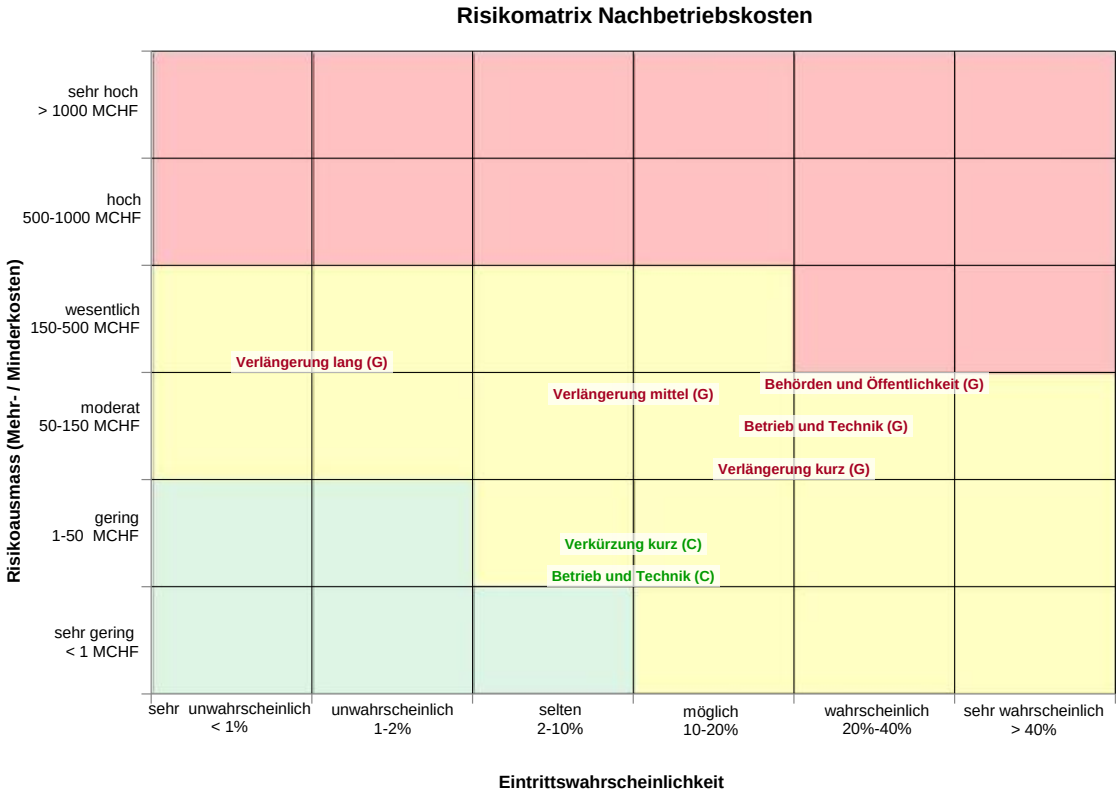
5.3.4 Risikomatrix

Für die Schweizer Kernkraftwerke (ohne KKM) wurden im Rahmen der Erstellung der Kostenstudie 2026 die kostenerhöhenden Risiken und kostenmindernden Chancen des Nachbetriebs analysiert. Das Ergebnis dieser Analyse ist ein Risikoprofil, das für alle untersuchten Anlagen ähnlich ist. Für die Erstellung des Risikoprofils wurden die in den Abschnitt 5.3.1 und Abschnitt 5.3.2 einzeln beschriebenen Gefahren und Chancen gruppiert und die Gruppierungen nach Eintrittswahrscheinlichkeit und Kostenfolge bei Eintritt des Risikos oder der Chance in einer Risikomatrix dargestellt. Die Gefahren (G) werden in rot und die Chancen (C) in grün dargestellt. Abbildung 5 zeigt exemplarisch die für den Nachbetrieb der Kernkraftwerke ermittelte Risikomatrix.

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 und Preisen, sind innerhalb der Kostengliederung einerseits über die Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten abgedeckt. Andererseits werden sie über aktive Risikomanagementmassnahmen und weitere allgemeine risikomindernde Massnahmen der Betreiber kontrolliert und gesteuert. Für Details zu den allgemeinen risikomindernden Massnahmen wird auf Abschnitt 5.1 verwiesen.

Die gelbe Fläche der Risikomatrix wird für die Ermittlung der Kostenzuschläge für Gefahren beziehungsweise Kostenabzüge für Chancen berücksichtigt. Die Gefahren- und Chancencluster, die in diese Kategorie einzuordnen sind, werden in Abschnitt 5.3.1 und Abschnitt 5.3.2 beschrieben.

Die übrigen Risiken werden durch geeignete planerische, technische und organisatorische Massnahmen oder durch geeignete Versicherungen ausgeschlossen (rote Kategorie).



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

Abbildung 5: Risikomatrix Nachbetrieb (exemplarisch).

5.4 Nicht berücksichtigte Gefahren und Chancen

Im Rahmen der Risikobetrachtung wurden über die im Abschnitt 5.3 aufgeführten Risiken hinaus eine Vielzahl weiterer Chancen und Gefahren identifiziert und evaluiert, jedoch in der Kostengliederung nicht explizit berücksichtigt. Die Gründe für die Nichtberücksichtigung sind unterschiedlich. Es gibt Gefahren und Chancen, die bereits über andere berücksichtigte Gefahren und Chancen abgedeckt sind, versicherte Gefahren sowie 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.

Relevant im Zusammenhang mit unbekannten oder aussergewöhnlichen Ereignissen mit sehr niedriger Eintrittshäufigkeit und sehr grossen Auswirkungen ist vor allem das Gefährdungspotenzial durch Freisetzung von Radioaktivität. Für den Nachbetrieb und die Stilllegung ist entscheidend, dass bereits mit der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs und der Abschaltung des dann drucklosen Reaktors das Gefährdungspotenzial gegenüber dem Leistungsbetrieb erheblich reduziert wird. Mit dem Abtransport der Brennelemente sinkt zudem die Radioaktivität des auf der Anlage verbleibenden Materials kontinuierlich und beträgt ab Ende des Nachbetriebs weniger als 2 Prozent des ursprünglich vorhandenen Inventars.

Mit zunehmendem Rückbaufortschritt nimmt dieses Gefährdungspotenzial weiter ab. Ausserdem ist der Hauptteil der verbleibenden Radioaktivität als Aktivierung fest in Materialien eingebunden und kann daher nicht verbreitet werden. Damit verbunden sinkt das mögliche Schadensausmass für Schadensfälle mit Freisetzung von radioaktiv belastetem Material erheblich.

5.5 Genereller Sicherheitszuschlag

Die Kostengrundlagen zum Nachbetrieb basieren auf jahrzehntelanger Betriebserfahrung der Werke und auf aktuellen Marktpreisen. Die Kostenermittlung für den Nachbetrieb wurde durch die Betreiber der Kernkraftwerke und die Siempelkamp NIS durchgeführt. Als Input für die Ermittlung der Nachbetriebskosten dienen Angaben der Betreiber zu den jährlichen, im Leistungsbetrieb entstehenden Kosten, die auf langjährigen, vielfach verifizierten Erfahrungen der Betreiber beruhen. Ein grosser Teil der hier betrachteten Kostenelemente ist langfristig vertraglich fixiert und daher mit vergleichsweise geringen Unsicherheiten behaftet.

Die Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten und Gefahren entsprechen den Empfehlungen internationaler Organisationen wie OECD-NEA und IAEA und wurden bezogen auf ein konservatives Toleranzniveau berechnet. Die abgeschlossenen Nachbetriebskosten des seit Ende 2019 in der Stilllegung befindlichen Kernkraftwerks Mühleberg liegen signifikant unter denjenigen der Kostenstudie 2021, weil der Nachbetrieb 2023 rund zehn Monate früher als ursprünglich angenommen beendet wurde. Die mit der Kostenstudie 2016 eingeführten Kostenstrukturen und die Kostengliederung wurden auch in den Kostenstudien 2021 und 2026 beibehalten. Damit ist die Vergleichbarkeit der Zuschlagsniveaus grundsätzlich gewährleistet. Für die Kosten des Nachbetriebs wird kein genereller Sicherheitszuschlag angesetzt.

5.6 Gesamtkosten

Die Gesamtkosten ergeben sich aus den Basiskosten zuzüglich der Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten und Gefahren, abzüglich der Kostenabzüge für Chancen und gegebenenfalls zuzüglich eines generellen Sicherheitszuschlags.

Tabelle 11 zeigt die Kosten des Nachbetriebs der noch in Betrieb befindlichen Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt. Für das Kernkraftwerk Mühleberg ist der Nachbetrieb im September 2023 abgeschlossen worden. Daher werden in dieser Kostenstudie lediglich die aufgelaufenen Gesamtkosten dargestellt.

Nebst den Gesamtkosten ist auch deren Aufschlüsselung gemäss der in Abschnitt 3.2 erläuterten Kostengliederung dargestellt. Die Resultate der Kostenstudie 2021 sind zum Vergleich aufgeführt. Die Vergleiche werden jeweils zum Geldwert des Schätzungsjahres durchgeführt. Für den direkten Vergleich wurden die in der Kostenstudie 2021 ermittelten Kosten mit zwei unterschiedlichen Teuerungsindizes, dem Landesindex der Konsumentenpreise und dem Baupreisindex, von der Preisbasis 2021 auf die Preisbasis 2026 hochgerechnet. Teuerungsbereinigt unterscheiden sich die Gesamtkosten des Nachbetriebs für alle noch in Betrieb befindlichen Schweizer Kernkraftwerke von den in der Kostenstudie 2021 ausgewiesenen Werten. Die Abweichungen liegen zwischen -8.6 Prozent und +5.1 Prozent. In der Kostenstudie 2026 sind nicht nur die Nachbetriebskosten, sondern auch deren Veränderungen für die einzelnen Anlagen vergleichbar. Dies ist aufgrund der bereits der Kostenstudie 2021 zugrunde liegenden einheitlichen Basis für die Annahmen zum Nachbetrieb möglich.

Die Nachbetriebskosten betragen für die Schweizer Kernkraftwerke zwischen 257 und 511 Millionen Franken.

Tabelle 11: Nachbetriebskostenermittlung der Kostenstudie 2026. Vergleich mit der Kostenstudie 2021 auf der Preisbasis 2026.

Element der Kostengliederung		KKB		KKM		KKG		KKL		Total
Aufgelaufene Kosten bis 2025				**257**						**257**
Zukünftige Kosten ab 2026										
Ausgangskosten		415				295		371		1'081
Kosten zur Risikominderung		6				4		6		15
Basiskosten		**420**				**299**		**377**		**1'096**
Prognoseungenauigkeiten	*3.0%*	13			*7.2%*	22	*3.2%*	12	*4.2%*	46
Zuschlag für Gefahren	*18.9%*	79			*23.5%*	70	*21.9%*	82	*21.2%*	232
Abzug für Chancen	*-0.2%*	-1			*-0.2%*	-1	*-0.2%*	-1	*-0.2%*	-2
Genereller Sicherheitszuschlag		–				–		–		–
Zuschlag auf zukünftige Basiskosten	*21.7%*	91			*30.5%*	91	*24.8%*	94	*25.2%*	276
Gesamtkosten		**511**		**257**		**391**		**470**		**1'629**
Gesamtkosten KS21 PB26 LIK		486		283		394		452		1'615
Differenz	*5.1%*	25	*-9.2%*	-26	*-1.0%*	-4	*4.1%*	18	*0.8%*	14
Gesamtkosten KS21 PB26 BAP		527		300		428		490		1'744
Differenz	*-3.0%*	-16	*-14.5%*	-43	*-8.6%*	-37	*-4.0%*	-19	*-6.6%*	-115

Angaben in Millionen Franken, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.
Kernkraftwerke Beznau (KKB), Mühleberg (KKM), Gösgen (KKG) und Leibstadt (KKL).
Kostenstudie 2021 (KS21), Kostenstudie 2026 (KS26), Preisbasis 2026 (PB26).
Nachbetriebsdauer KKB und KKL 4 Jahre und KKG 3 Jahre.
PB26 teuerungsbereinigt mit Landesindex der Konsumentenpreise (LIK) und Baupreisindex (BAP).

Die wesentlichen Treiber der Kostenanpassungen sind Veränderungen im Personalbestand zur Bemessung der Ausgangskosten, die Energiekosten und die Entwicklung des Kostenverlaufs über die Reduktionsfaktoren. Diese wurden aufgrund einer Empfehlung aus der Überprüfung der Kostenstudie 2021 konservativer bewertet. Die Gesamtsumme der Nachbetriebskosten beträgt rund 1.63 Milliarden Franken. Gegenüber der Kostenstudie 2021 fallen die Gesamtkosten des Nachbetriebs bei Anwendung des Baupreisindex um 115 Millionen Franken tiefer aus. Bei Anwendung des Landesindex der Konsumentenpreise erhöhen sie sich hingegen um 14 Millionen Franken.

A Anhang

A.1 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 Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen*. swissnuclear Bericht SN-AN-26.400. swissnuclear, 2026.

[5] *Kostenstudie 2026 (KS26) Ermittlung der Entsorgungskosten – Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung*. swissnuclear Bericht SN-AN-26.401. swissnuclear, 2026.

[6] *Kostenstudie 2026 (KS26) Ermittlung der Entsorgungskosten – Geologische Tiefenlagerung*. swissnuclear Bericht SN-AN-26.402. 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] *SR 732.44 Kernenergiehaftpflichtgesetz (KHG) vom 13. Juni 2008 (Stand am 1. Januar 2022)*.

[12] *SR 732.441 Kernenergiehaftpflichtverordnung (KHV) vom 25. März 2015 (Stand am 1. Januar 2024)*.

[13] *SR 220 Bundesgesetz betreffend die Ergänzung des Schweizerischen Zivilgesetzbuches (Fünfter Teil: Obligationenrecht) vom 30. März 1911 (Stand am 1. Januar 2025)*.

[14] *International Financial Reporting Standards (IFRS). IFRS Foundation.* URL: `https://www.ifrs.org/` (besucht am 26. März 2026).

[15] *Schweizer Standards für die Rechnungslegung in Unternehmen (Swiss GAAP FER), Fachempfehlung zur Rechnungslegung. Stiftung für Fachempfehlungen zur Rechnungslegung FER.* URL: `https://www.fer.ch/` (besucht am 26. März 2026).

[16] *Konditionierung radioaktiver Abfälle*. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B05/d. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Februar 2007. Änderung vom 2. März 2023.

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

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

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

[20] *DIN EN ISO 9001:2015-11 Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen (ISO 9001:2015); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 9001:2015. Geändert durch DIN EN ISO 9001/A1:2024-11. Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin.*

[21] *Allgemeine Anforderungen an die Qualitätssicherung. Der Kerntechnische Ausschuss KTA. KTA 1401, Fassung 2017-11.*

A.2 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