



Kostenstudie 2021 (KS21)

*Ermittlung der Nachbetriebskosten
der Schweizer Kernkraftwerke*

swissnuclear
Postfach 1663
CH-4601 Olten
T +41 62 205 20 10
F +41 62 205 20 11
info@swissnuclear.ch
www.swissnuclear.ch
30. September 2021

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 sogenannte Nachbetrieb. Im Nachbetrieb werden die Massnahmen zur Gewährleistung der nuklearen Sicherheit und zum Strahlenschutz aufrechterhalten sowie der Betrieb der noch benötigten Systeme und Infrastruktur fortgeführt. Der Nachbetrieb endet 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. Da auch für diese Kosten das im Kernenergiegesetz^d verankerte Verursacherprinzip gilt, sind sie durch die Betreiber zu tragen, die dafür Rückstellungen bilden und die erforderlichen Mittel bereitstellen.

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

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

^aArt. 77 des Kernenergiegesetzes [8].

^bArt. 3 der Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung [10].

^cArt. 2 der Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung [10].

^dArt. 26 Abs. 1 und Art. 31 Abs. 1 des Kernenergiegesetzes [8].

^eArt. 4 der Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung [10].

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

Die zwei Begriffe Kostengliederung und Kostenstruktur sind voneinander abzugrenzen:

- Die Kostenstruktur ordnet die Gesamtkosten den einzelnen Aktivitäten und Organisationseinheiten von Nachbetrieb, Stilllegung und Entsorgung zu.
- Die Kostengliederung betrachtet die Kostenermittlung hinsichtlich ihres Risikocharakters. Sie unterscheidet neben den berechneten Ausgangskosten und den Kosten für risikomindernde Massnahmen auch Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten und Gefahren sowie Kostenabzüge für Chancen sowie einen zusätzlichen, generellen Sicherheitszuschlag.

Aufgrund der bereits mit der KS16 eingeführten Kostengliederung und Kostenstruktur sind die Ergebnisse der Kosten auf den höheren Gliederungsebenen grundsätzlich gut mit jenen der KS21 vergleichbar. Die Kostenermittlungen basieren auf dem rechtlichen und regulatorischen Rahmen per 1. Januar 2020.

Kostenstudien werden jeweils zum Geldwert des Schätzungsjahres durchgeführt^f. Für den direkten Vergleich wurden die in der KS16 ermittelten Kosten von der Preisbasis 2016 auf die Preisbasis 2021 der KS21 hochgerechnet. Die verwendete Teuerungsrate von 0.5 Prozent pro Jahr ist in der Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung^g verankert.

Das Ergebnis der im Jahr 2021 vorgenommenen Ermittlung der Kosten des Nachbetriebs der Schweizer Kernkraftwerke ist im Vergleich zum Ergebnis der Ermittlung aus dem Jahr 2016 in Tabelle 1 dargestellt.

*Tabelle 1: Nachbetriebskostenermittlung der Kostenstudie 2021.
Vergleich mit der Kostenstudie 2016 auf der Preisbasis 2021.*

Element der Kostengliederung	KKB		KKM		KKG		KKL		Total	
Aufgelaufene Kosten bis 2020	74									
Zukünftige Kosten ab 2021										
Ausgangskosten	362		228		284		331		1'206	
Kosten zur Risikominderung	6		4		4		6		20	
Basiskosten	368		233		289		337		1'226	
Prognoseungenauigkeiten	5.2%	19	3.9%	9	5.7%	17	5.3%	18	5.1%	63
Zuschlag für Gefahren	18.5%	68	2.2%	5	22.2%	64	20.5%	69	16.8%	206
Abzug für Chancen	-0.1%	0	-0.1%	0	-0.2%	0	-0.1%	0	-0.1%	-2
Genereller Sicherheitszuschlag	–		–		–		–		–	
Zuschlag auf zukünftige Basiskosten	23.6%	87	6.0%	14	27.8%	80	25.6%	86	21.8%	267
Gesamtkosten	455		321		369		423		1'567	
Gesamtkosten KS16 PB21	474		348		445		480		1'746	
Differenz	-4.1%	-19	-7.7%	-27	-17.1%	-76	-11.9%	-57	-10.2%	-179

Angaben in Millionen Franken, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.
Nachbetriebsdauer KKB und KKL 4 Jahre, KKM 4.5 Jahre und KKG 3 Jahre.
Kernkraftwerke Beznau (KKB), Mühleberg (KKM), Gösgen (KKG) und Leibstadt (KKL).
Kostenstudie 2021 (KS21), Kostenstudie 2016 (KS16), Preisbasis 2021 (PB21).

Ein Vergleich der in der KS21 ermittelten Nachbetriebskosten mit jenen der teuerungsbereinigten KS16 zeigt, dass der Nachbetrieb unter Berücksichtigung sämtlicher Zuschläge für alle Werke weniger kostet, als im Jahr 2016. In der Summe betragen die Minderkosten rund 10 Prozent. Die Nachbetriebskosten für das Kernkraftwerk Beznau liegen mit einer Reduktion von rund 4 Prozent in einer ähnlichen Grössenordnung. Die Nachbetriebskosten für das Kernkraftwerk Mühleberg reduzieren sich aufgrund der Reduktion der Nachbetriebsdauer von sechs Monaten um rund 8 Prozent.

Die Nachbetriebskosten für die Kernkraftwerke Gösgen und Leibstadt fallen rund 17 und 12 Prozent tiefer aus. Dies ist auf eine Aktualisierung der Eingangsdaten für die Berechnung der Nachbetriebskosten an die aktuelle Situation im Leistungsbetrieb zurückzuführen.

Die nächste Kostenermittlung ist für 2026 vorgesehen.

^fSo genannte «Overnight»-Kosten.

^gAnhang 1 Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung [10].

Inhalt

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 Entsorgungs-, Stilllegungs- und Nachbetriebskosten	3
1.2.3	Rückstellungen für Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten	5
1.2.4	Kostenstudien der Stilllegungs- und Entsorgungspflichtigen	5
1.3	Der Nachbetrieb	6
1.3.1	Abgrenzung Nachbetrieb und Stilllegung	6
1.3.2	Dauer des Nachbetriebs	7
1.4	Betriebsdauer der Kernkraftwerke	8
2	Vorgaben und Annahmen	9
2.1	Rechtliche und behördliche Vorgaben	9
2.1.1	Grundlegende Gesetze und Verordnungen	9
2.1.2	Richtlinien und Empfehlungen	10
2.1.3	Transportvorschriften	12
2.1.4	Normen und Regeln	12
2.2	Annahmen und Randbedingungen	13
3	Methodik der Kostenermittlung	15
3.1	Kostenstruktur	15
3.2	Kostengliederung	15
3.2.1	Vorgaben zur Kostengliederung	16
3.2.2	Umsetzung der Kostengliederung	18
3.3	Ermittlung der Nachbetriebskosten durch die Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH	23
3.3.1	Kalkulationsmodell für die Kostenermittlung	23
3.3.2	Erfahrungshintergrund der Kostenermittlung	24
4	Massnahmen im Nachbetrieb	27
4.1	Brennelemente	27
4.2	Betriebsabfälle aus Leistungs- und Nachbetrieb	28
4.3	Reaktorabfälle aus dem Leistungsbetrieb	29
4.4	Ausserbetriebnahme von Systemen	30
4.5	Betrieb der Anlage im Nachbetrieb	30
5	Resultate der Ermittlung der Nachbetriebskosten	33
5.1	Ausgangskosten, Kosten für Massnahmen zur Risikominderung und Basiskosten	33
5.2	Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten	39
5.3	Kostenzuschlag für Gefahren und Kostenabzug für Chancen	40
5.3.1	Kostenzuschläge für Gefahren	40
5.3.2	Kostenabzüge für Chancen	42
5.3.3	Quantifizierung der Kostenfolgen von Gefahren und Chancen	42
5.3.4	Risikomatrix	43
5.4	Nicht berücksichtigte Gefahren und Chancen	44
5.5	Genereller Sicherheitszuschlag	44
5.6	Gesamtkosten	45
A	Anhang	47
A.1	Referenzen	47
A.2	Verzeichnis der Abkürzungen	52

Abbildungsverzeichnis

1	Übersicht über die Verknüpfung der Teilberichte und die Finanzierung des Nachbetriebs, der Stilllegung und der Entsorgung, inklusive entsprechender Hauptdokumente der KS21.	2
2	Abgrenzung von Leistungsbetrieb, Nachbetrieb und Stilllegung.	7
3	Kostengliederung für die KS21.	16
4	Überblick Kalkulationsmodell und Überleitung in die Kostengliederung für die KS21.	23
5	Risikomatrix Nachbetrieb (exemplarisch).	43

Tabellen

1	Nachbetriebskostenschätzung der Kostenstudie 2021.	IV
2	Betriebs- und Stilllegungszeiten der Schweizer Kernkraftwerke sowie der Einrichtungen zur Zwischenlagerung der radioaktiven Abfälle.	8
3	Abgrenzung der Kosten für die Auslagerung der Brennelemente.	28
4	Abgrenzung der Kosten für die Betriebsabfälle aus Leistungs- und Nachbetrieb.	29
5	Abgrenzung der Kosten für Reaktorabfälle.	30
6	Nachbetriebskostenermittlung für das Kernkraftwerk Beznau.	36
7	Nachbetriebskostenermittlung für das Kernkraftwerk Mühleberg.	37
8	Nachbetriebskostenermittlung für das Kernkraftwerk Gösgen.	38
9	Nachbetriebskostenermittlung für das Kernkraftwerk Leibstadt.	39
10	Kostenzuschläge für Gefahren und Kostenabzüge für Chancen.	42
11	Nachbetriebskostenermittlung der Kostenstudie 2021.	46

1 Ausgangslage

1.1 Einleitung

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

Die KS21 ist im Mantelbericht [1] zusammengefasst und umfasst vier Teilberichte:

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

Der Mantelbericht [1] erläutert die Rahmenbedingungen der KS21 und fasst die wichtigsten Resultate der vier Teilberichte zusammen.

Der vorliegende Bericht der KS21 ist der Teilbericht «Ermittlung der Nachbetriebskosten der Schweizer Kernkraftwerke». Er nimmt Bezug auf die im Mantelbericht [1] gegebenen Erläuterungen der Rahmenbedingungen und Neuerungen im Vergleich zur KS16 und präzisiert diese Angaben hinsichtlich der Spezifika des Nachbetriebs. Die Ermittlung der Nachbetriebskosten wird gemäss den in der KS16 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 sowie der Bereitstellung der finanziellen Mittel sind im Kapitel 1 dargelegt. Im Kapitel 2 sind die Annahmen und Randbedingungen für den Nachbetrieb beschrieben und im Kapitel 3 die Methodik der Kostenermittlung. Das Kapitel 4 beschreibt die Massnahmen und Aufgaben im Nachbetrieb. Das Resultat der Ermittlung der Nachbetriebskosten ist im Kapitel 5 dargestellt.

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

Mit der endgültigen Einstellung des bestimmungsgemässen Leistungsbetriebs einer Kernanlage wird der Betreiber gemäss Kernenergiegesetz¹ stilllegungspflichtig. Für ein Kernkraftwerk können die Stilllegungsarbeiten – da sie vom zuständigen Eidgenössischen Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) mittels einer Stilllegungsverfügung angeordnet werden² – nicht a priori unmittelbar nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs beginnen. Gemäss Kernenergiegesetz³ muss der Betreiber (unabhängig von den Stilllegungsarbeiten) insbesondere die Anforderungen der nuklearen Sicherheit und der Sicherung erfüllen. Im sogenannten Nachbetrieb wird die Infrastruktur weiterbetrieben. Insbesondere werden die Massnahmen zum Aufrechterhalten der nuklearen Sicherheit und der Sicherung sowie des Strahlenschutzes in gleicher Weise wie im Leistungsbetrieb fortgesetzt. Zum Nachbetrieb gehört auch das gemäss Kernenergiegesetz⁴ geforderte Verbringen der Kernmaterialien in eine andere Kernanlage.

¹Art. 26 Abs. 1 Bst. a KEG [8].

²Art. 28 KEG [8].

³Art. 26 Abs. 2 Bst. a KEG [8].

⁴Art. 26 Abs. 2 Bst. b KEG [8].

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 und die Stilllegungsverfügung somit rechtswirksam geworden ist, ist die endgültige Ausserbetriebnahme (EABN) erreicht.

Sodann kann zeitlich überlappend zur anschliessenden Aufrechterhaltung des technischen Nachbetriebs mit den eigentlichen Stilllegungsarbeiten, das heisst mit dem Rückbau der Anlagenteile, begonnen werden⁵. Die Aufrechterhaltung des technischen Nachbetriebs endet mit dem Erreichen sowohl der Kernbrennstofffreiheit als auch der Rechtskraft der Stilllegungsverfügung. 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 KS21 sowie der Finanzierung des Nachbetriebs, der Stilllegung und der Entsorgung.

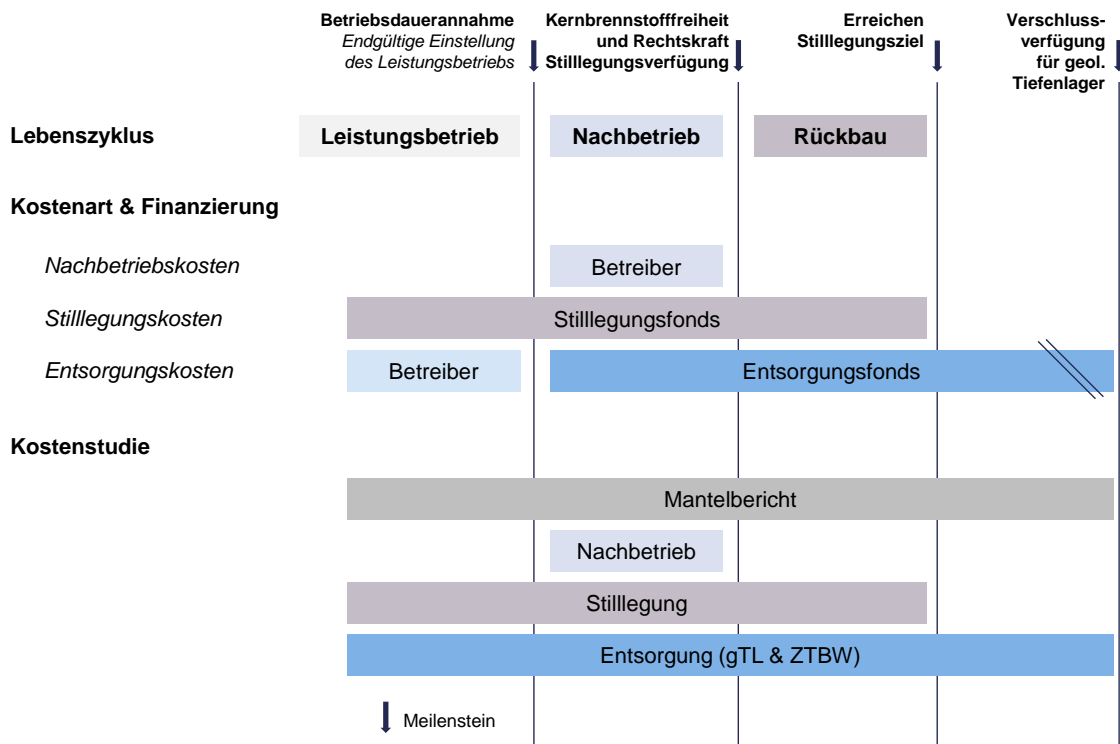


Abbildung 1: Übersicht über die Verknüpfung der Teilberichte und die Finanzierung des Nachbetriebs, der Stilllegung und der Entsorgung, inklusive entsprechender Hauptdokumente der KS21.

⁵Die 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 Strahlenschutzgesetz [6], die Strahlenschutzverordnung [7], das Kernenergiegesetz [8], die Kernenergieverordnung [9], die Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung [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 Kernenergiegesetz⁶ 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 werden⁷. 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 erfüllt⁸, 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 Verursacherprinzip⁶ und die Entsorgungspflicht⁸ gelten uneingeschränkt auch für die während der Stilllegung anfallenden radioaktiven Abfälle.

1.2.2 Finanzierung der Entsorgungs-, Stilllegungs- und Nachbetriebskosten

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 Betreiber⁹ zu eigener Vorsorge.

Staatlich kontrollierte Fonds

Die Betreiber der Kernanlagen sind dazu verpflichtet¹⁰, einen Stilllegungs- und einen Entsorgungsfonds zu bilden sowie an diese Fonds Beiträge zu leisten.

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

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

⁶Art. 31 Abs. 1 KEG [8].

⁷Art. 27 StSG [6].

⁸Art. 31 Abs. 2 Bst. a KEG [8].

⁹Die Betreiber der Schweizer Kernanlagen betreiben diese selbst. Daher betreffen die Verpflichtungen des Betreibers direkt auch den Betreiber. In der Kostenstudie 2021 werden die Begriffe «Eigentümer» und «Betreiber» als Synonyme verwendet.

¹⁰Art. 77 KEG [8].

Die beiden Fonds stellen sicher, dass genügend finanzielle Mittel vorhanden sind, um sämtliche Stilllegungskosten und alle nach endgültiger Ausserbetriebnahme¹¹ der Kernkraftwerke anfallenden Entsorgungskosten zu decken. Die Bemessung der in den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds zu leistenden Beiträge sowie der Rückstellungen der Betreiber für die Stilllegung und die Entsorgung erfolgt auf Basis einer umfassenden Ermittlung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten. Diese Kosten müssen gemäss Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung¹² alle fünf Jahre neu ermittelt werden. Als Berechnungsgrundlage für die Höhe der Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten wird entsprechend den Vorgaben für die Erstellung der Kostenstudie für die Kernkraftwerke eine Betriebsdauer von 50 Jahren angenommen¹³.

Jeder Beitragspflichtige hat gegenüber den Fonds einen Anspruch im Umfang seiner geleisteten Beiträge, einschliesslich des Kapitalertrags und abzüglich der Verwaltungskosten. Zusätzlich zur Einzahlungspflicht sieht das Kernenergiegesetz eine Nachschusspflicht der Betreiber vor¹⁴. Reicht der Anspruch¹⁵ eines Beitragspflichtigen an einen der Fonds zur Deckung der Kosten nicht aus, deckt der Beitragspflichtige die verbleibenden Kosten aus eigenen Mitteln¹⁶. Weist der Beitragspflichtige nach, dass seine Mittel nicht ausreichen, deckt der Stilllegungs- beziehungsweise der Entsorgungsfonds die verbleibenden Kosten mit seinen gesamten Mitteln¹⁷. Übersteigen die Zahlungen eines Fonds zu Gunsten eines Berechtigten dessen Anspruch¹⁵, muss er dem Fonds den Differenzbetrag samt einem marktüblichen Zins zurückbezahlen¹⁸. Kann der Berechtigte die Rückerstattung nicht leisten, so müssen die übrigen Beitragspflichtigen und Anspruchsberechtigten des entsprechenden Fonds für den Differenzbetrag aufkommen¹⁹. Ist die Deckung des Differenzbetrages für die Nachschusspflichtigen wirtschaftlich nicht tragbar, beschliesst die Bundesversammlung, ob und in welchem Ausmass sich der Bund an den nicht gedeckten Kosten beteiligt²⁰.

Die beiden Fonds stehen unter der Aufsicht des Bundesrats²¹. Eine von diesem ernannte Verwaltungskommission²² ist das Leitungsorgan der Fonds²³. Sie setzt zur fachlichen Unterstützung zwei Ausschüsse ein, den Anlageausschuss als Steuerungs-, Koordinations- und Überwachungsorgan für die Vermögensbewirtschaftung sowie den Kostenausschuss für die Kostenberechnung und die Auszahlungen. Die Leitungsgremien der Fonds sind mehrheitlich mit Mitgliedern besetzt, die von den Betreibern der Kernanlagen unabhängig sind²⁴.

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

Es ist nicht nur sichergestellt, dass die Kosten zur nachhaltigen Beseitigung der Kernanlagen und der von diesen verursachten radioaktiven Abfällen von den Betreibern getragen werden, sondern auch dass die nach der Ausserbetriebnahme der Kernanlagen benötigten finanziellen Mittel tatsächlich verfügbar sind.

¹¹Gemäss Art. 8 Abs. 2 Bst. a SEFV [10] ist unter endgültiger Ausserbetriebnahme eines Kernkraftwerks die endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs zu verstehen. Für die KS21 wird daher die endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs als Startzeitpunkt für die Inanspruchnahme der Mittel aus dem Entsorgungsfonds angenommen. Der Stilllegungsfonds stellt zudem die Stilllegungskosten vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs sicher.

¹²Art. 4 Abs. 1 SEFV [10].

¹³Art. 8 Abs. 3 SEFV [10].

¹⁴Art. 80 KEG [8].

¹⁵Gemäss Art. 78 Abs. 1 KEG [8] hat jeder Beitragspflichtige gegenüber den Fonds einen Anspruch im Umfang seiner geleisteten Beiträge, einschliesslich des Kapitalertrags und abzüglich des Aufwands.

¹⁶Art. 79 Abs. 1 KEG [8].

¹⁷Art. 79 Abs. 2 KEG [8].

¹⁸Art. 80 Abs. 1 KEG [8].

¹⁹Art. 80 Abs. 2 KEG [8].

²⁰Art. 80 Abs. 4 KEG [8].

²¹Art. 20 Abs. 2, 29a Abs. 1 SEFV [10].

²²Art. 81 Abs. 2 KEG [8] und Art. 23 SEFV [10].

²³Der Bundesrat hat für den Stilllegungs- und den Entsorgungsfonds ein und dieselbe Verwaltungskommission eingesetzt.

²⁴Art. 21 Abs. 2, Art. 21a Abs. 1 und Art. 22 Abs. 1^{bis} SEFV [10].

Eigene Vorsorge der Betreiber

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

Die mit dem Nachbetrieb verbundenen Aufwendungen – sie entsprechen weder der Definition von Entsorgungskosten²⁵ noch der von Stilllegungskosten²⁶ – sind als (letzter) Teil der Betriebskosten zu betrachten. Auch sie sind, entsprechend dem im Kernenergiegesetz²⁷ verankerten Verursacherprinzip, durch die Betreiber zu tragen. Der Nachbetrieb wird von den Betreibern direkt finanziert.

1.2.3 Rückstellungen für Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten

Die Betreiber bilden in ihren Bilanzen sämtliche Verpflichtungen für zukünftige Aufwendungen zur Stilllegung der Kernanlagen und zur Entsorgung der von diesen verursachten radioaktiven Abfälle ab. Sie bilden dazu auf der Basis der jeweiligen Kostenstudien und gemäss den anzuwendenden Rechnungslegungsvorschriften²⁸ Rückstellungen für den Nachbetrieb, die Stilllegung und die Entsorgung. Im Zusammenhang mit der Prüfung der Jahresrechnung werden die Rückstellungen von einer externen Revisionsstelle testiert²⁸. Während die Festsetzung der Höhe der Fondsbeiträge durch die Verwaltungskommission erfolgt²⁹, sind die Betreiber verantwortlich für die Festlegung der Höhe der Rückstellungen gemäss den entsprechenden Rechnungslegungsvorschriften²⁸.

Die externe Revisionsstelle prüft, ob die Betreiber Rückstellungen für Entsorgungskosten vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs mindestens in Höhe des von der Verwaltungskommission genehmigten Rückstellungsplans gebildet und zweckgebunden verwendet haben³⁰. Die Höhe und die zweckgebundene Verwendung der Rückstellungen werden jährlich durch die jeweilige Revisionsstelle geprüft³¹. Die Betreiber legen der Verwaltungskommission diesen Prüfbericht vor³².

1.2.4 Kostenstudien der Stilllegungs- und Entsorgungspflichtigen

Zur Ermittlung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten werden umfassende Kostenstudien erstellt. Mit der KS21 werden jeweils auch die Kosten für den Nachbetrieb neu ermittelt.

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

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

²⁵Art. 3 SEFV [10].

²⁶Art. 2 SEFV [10].

²⁷Art. 31 Abs. 1 KEG [8].

²⁸Art. 82 Abs. 1 KEG; Art. 960e Obligationenrecht (OR) [16], IFRS [17] bzw. Swiss GAAP FER [18].

²⁹Art. 23 Bst. c SEFV [10].

³⁰Art. 82 Abs. 2 Bst. c KEG [8].

³¹Art. 82 Abs. 3 KEG [8].

³²Art. 19 Abs. 2 SEFV [10].

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 Kernenergieverordnung³³ geforderten Stilllegungsplan basiert.

Direkt nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs beginnt der Nachbetrieb. Die Stilllegungsverfügung für das Kernkraftwerk Mühleberg sieht eine weitgehende zeitliche Überlappung von Nachbetrieb und Stilllegungsarbeiten vor. Diese Vorgehensweise wurde auch in den Stilllegungsplänen der übrigen Kernkraftwerke übernommen.

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

In Anlehnung an die Vorgaben der Verwaltungskommission für die KS16 wurde auch für die KS21 weitestgehend folgende Zuordnung der Aufwendungen zugrunde gelegt:

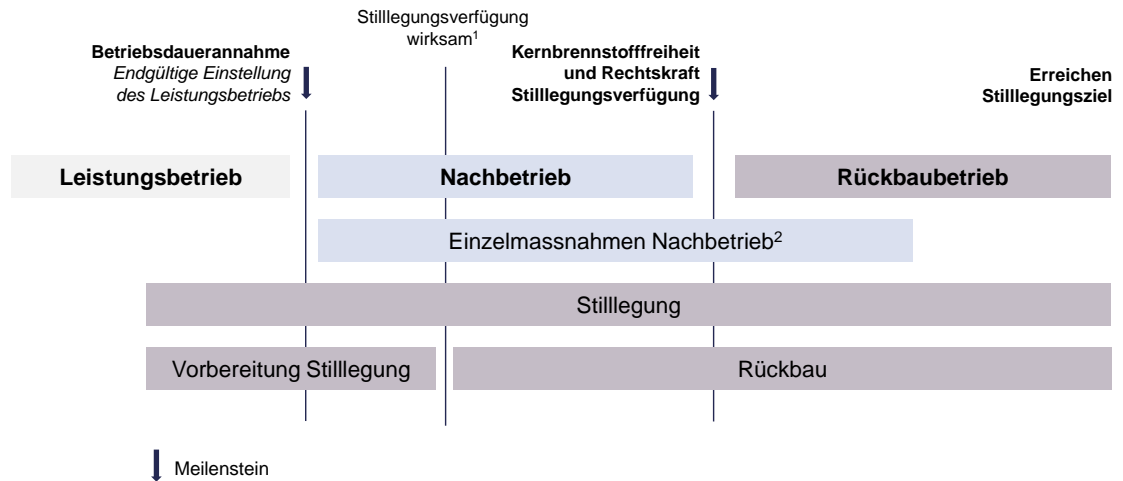
- Massnahmen, die einen infrastrukturbezogenen und damit durchlaufenden Charakter haben (beispielsweise Anlagesicherung), werden zunächst vollständig dem Nachbetrieb zugeordnet. Nach dem Erreichen der Kernbrennstofffreiheit erfolgt die Zuordnung dieser Massnahmen vollständig zum Rückbau. Gleiches gilt 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.
- 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.

Während des Nachbetriebs werden alle sicherheitstechnischen Funktionen im Kernkraftwerk zur Erfüllung der Schutzziele und 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 Reaktor-druckbehälter entfernt und in das Brennelementlagerbecken verbracht. Dort werden sie weiterhin gekühlt und gegen unerwünschte Einwirkungen gesichert aufbewahrt.

³³Art. 42 KEV [9].

Zu einem späteren Zeitpunkt werden sämtliche Brennelemente in Transport- und Lagerbehälter verpackt und in ein von der Anlage unabhängiges Zwischenlager überführt. Auch die konditionierten Betriebsabfälle werden in ein Zwischenlager oder in ein geologisches Tiefenlager transportiert, beziehungsweise die bereits im Leistungsbetrieb begonnenen Abtransporte werden fortgesetzt. Alle diese Überführungen müssen spätestens mit dem Abschluss der Stilllegungsarbeiten ebenfalls abgeschlossen sein.



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.

1.3.2 Dauer des Nachbetriebs

Für die KS21 hat sich für die Dauer des Nachbetriebs gegenüber der KS16 bei einem Kernkraftwerk eine Änderung ergeben. Für die KS21 wird daher die Dauer des Nachbetriebs für das Kernkraftwerk Gösgen weiterhin auf drei, für die Kernkraftwerke Beznau und Leibstadt auf vier Jahre angesetzt. Für das Kernkraftwerk Mühleberg wird die Dauer des Nachbetriebs von fünf Jahre auf viereinhalb Jahre reduziert.

Sowohl das Nasslager des Kernkraftwerks Gösgen und das Zwischenlager Zwibez des Kernkraftwerks Beznau als auch das zentrale Zwischenlager der Zwiag Zwischenlager Würenlingen AG (Zwiag) benötigen keinen Nachbetrieb. Sie können nach endgültiger Ausserbetriebnahme und Vorliegen einer rechtskräftigen Stilllegungsverfügung unmittelbar zurückgebaut werden.

1.4 Betriebsdauer der Kernkraftwerke

Als Berechnungsgrundlage für die Kostenermittlung wird für die Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt eine Betriebsdauer von 50 Jahren angenommen³⁴. Für das Kernkraftwerk Mühleberg wird entsprechend der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs im Dezember 2019 eine Betriebsdauer von 47 Jahren angesetzt. Kann ein Kernkraftwerk länger als 50 Jahre betrieben werden, kann die Verwaltungskommission eine abweichende Betriebsdauerannahme anordnen³⁴.

Entsprechend den Vorgaben der Verwaltungskommission sind die Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten der Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt für eine Betriebsdauerannahme von 50 sowie 60 Jahren zu ermitteln.

Für die Bemessung der Fondsbeiträge und für die Einzahlungen gilt eine Laufzeitannahme von 50 Jahren³⁵.

Für die Kostenermittlung gilt der in Tabelle 2 gegebene zeitliche Rahmen. Die Stilllegungszeiten sind der Stilllegungsstudie [4] entnommen.

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

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

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

^{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 2020 als «mittleres» Ausserbetriebnahmejahr verwendet. Für die Kostenberechnung wird als Modellannahme von einer Betriebsdauer von 50 Jahre ausgegangen.

^{c)} Dargestellt ist das Stilllegungsziel 3 «vollständiger Rückbau inkl. Entfernung sämtlicher Fundamente».

³⁴ Art. 4 Abs. 3 SEFV [10].

³⁵ Art. 8 Abs. 3 SEFV [10].

2 Vorgaben und Annahmen

2.1 Rechtliche und behördliche Vorgaben

Als Grundlage für die vorliegende Ermittlung der Nachbetriebskosten für die Schweizer Kernkraftwerke dienen die auch in der Stilllegungsstudie [4] aufgeführten und per 1. Januar 2020 rechtsgültigen Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Vorschriften, Normen und Regeln sowie die verwendeten, im Glossar [5] definierten Begriffe.

2.1.1 Grundlegende Gesetze und Verordnungen

Für den Nachbetrieb der Schweizer Kernanlagen sind insbesondere folgende Gesetze und Verordnungen zu erwähnen.

- Strahlenschutzgesetz, StSG [6].
- Strahlenschutzverordnung, StSV [7].
- Kernenergiegesetz, KEG [8].
- Kernenergieverordnung, KEV [9].
- Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung, SEFV [10].
- Safeguardsverordnung, SafGV [13] mit zugehörigen Verordnungen des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation über die Gefährdungsannahmen und Sicherungsmassnahmen für Kernanlagen und Kernmaterialien [14] und über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen [15].
- Kernenergiehaftpflichtgesetz, KHG [11].
- Kernenergiehaftpflichtverordnung, KHV [12].
- Obligationenrecht [16] sowie Rechnungslegungsnormen IFRS [17] und Swiss GAAP FER [18].
- Bundesgesetz über die Arbeit in Industrie, Gewerbe und Handel (Arbeitsgesetz, ArG) [19] mit zugehörigen Verordnungen (ArGV 1 [20], ArgV 2 [21], ArgV 3 [22] und ArgV 4 [23]).
- Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten (Verordnung über die Unfallverhütung VUV) [24].
- Bundesgesetz über die Unfallversicherung [25] und Verordnung über die Unfallversicherung [26].
- Verordnung über sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen in Kernanlagen [27].
- Verordnung über die Sicherheit von Maschinen [28].
- Verordnung über die Personendosimetrie [29].
- Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen [30].
- Gebührenverordnung des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats [31] und Verordnung über die Gebühren im Strahlenschutz [32].
- Übrige Gesetze und Verordnungen des Bundes.
- Gesetze und Verordnungen der Standortkantone der Kernkraftwerke.

2.1.2 Richtlinien und Empfehlungen

Für den Nachbetrieb der Schweizer Kernanlagen sind insbesondere die im Folgenden aufgeführten Richtlinien beziehungsweise Empfehlungen zu erwähnen. Zu beachten ist, dass im Nachbetrieb für die nukleare Sicherheit und den Strahlenschutz grundsätzlich weiterhin dieselben behördlichen Richtlinien gelten wie während des Leistungsbetriebs. Allerdings verlieren einige Aspekte, wie Reaktivitätskontrolle oder Instandhaltung druckführender Komponenten, an Bedeutung. Auch Auslegungsanforderungen sind kaum mehr von Belang.

Richtlinien des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats (ENSI) und anderer Behörden:

- ENSI-A01 Anforderungen an die deterministische Störfallanalyse für Kernanlagen: Umfang, Methodik und Randbedingungen der technischen Störfallanalyse [33].
- ENSI-A03 Periodische Sicherheitsüberprüfung von Kernkraftwerken [34].
- ENSI-A04 Gesuchsunterlagen für freigabepflichtige Änderungen an Kernanlagen [35].
- ENSI-A05 Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Qualität und Umfang [36].
- ENSI-A06 Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Anwendung [37].
- ENSI-A08 Quelltermanalyse: Umfang, Methodik und Randbedingungen [38].
- ENSI-B01 Alterungsüberwachung [39].
- ENSI-B02 Periodische Berichterstattung der Kernanlagen [40].
- ENSI-B03 Meldungen der Kernanlagen [41].
- ENSI-B04 Freimessen von Materialien und Bereichen aus kontrollierten Zonen [42].
- ENSI-B05 Anforderungen an die Konditionierung radioaktiver Abfälle [43].
- ENSI-B06 Sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen: Instandhaltung [44].
- ENSI-B07 Sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen: Qualifizierung der zerstörungsfreien Prüfungen [45].
- ENSI-B09 Ermittlung und Aufzeichnung der Dosis strahlenexponierter Personen [46].
- ENSI-B10 Ausbildung, Wiederholungsschulungen und Weiterbildung von Personal [47].
- ENSI-B11 Notfallübungen [48].
- ENSI-B12 Notfallschutz in Kernanlagen [49].
- ENSI-B13 Ausbildung und Fortbildung des Strahlenschutzpersonals [50].
- ENSI-B14 Instandhaltung sicherheitstechnisch klassierter elektrischer und leittechnischer Ausrüstungen [51].
- ENSI-B17 Betrieb von Zwischenlagern für radioaktive Abfälle [52].
- ENSI-G01 Sicherheitstechnische Klassierung für bestehende Kernkraftwerke [53].
- ENSI-G05 Transport- und Lagerbehälter für die Zwischenlagerung [54].
- ENSI-G07 Organisation von Kernanlagen [55].
- ENSI-G08 Systematische Sicherheitsbewertungen des Betriebs von Kernanlagen [56].
- ENSI-G09 Betriebsdokumentation [57].
- ENSI-G11 Sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen: Planung, Herstellung und Montage [58].
- ENSI-G13 Messmittel für ionisierende Strahlung [59].
- ENSI-G14 Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung aufgrund von Emissionen radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen [60].
- ENSI-G15 Strahlenschutzziele für Kernanlagen [61].
- ENSI-G17 Stilllegung von Kernanlagen [62].

- HSK-R-07 Richtlinie für den überwachten Bereich der Kernanlagen und des Paul Scherrer Instituts [63].
- HSK-R-46 Anforderungen für die Anwendung von sicherheitsrelevanter rechnerbasierter Leittechnik in Kernkraftwerken [64].
- HSK-R-50 Sicherheitstechnische Anforderungen an den Brandschutz in Kernanlagen [65].
- HSK-R-102 Auslegungskriterien für den Schutz von sicherheitsrelevanten Ausrüstungen in Kernkraftwerken gegen die Folgen von Flugzeugabsturz [66].
- Brandschutzvorschriften der Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF), Brandschutznorm und diverse Brandschutzrichtlinien mit verschiedenen Ausgabejahren.

Internationale Empfehlungen

- The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103 [67].
- Leadership and Management for Safety, IAEA General Safety Requirements, No. GSR Part 2 [68].
- Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, IAEA General Safety Requirements No. GSR Part 3 [69].
- Application of the Management System for Facilities and Activities - Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-3.1 [70].
- Decommissioning of Facilities, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 6 [71].
- Decommissioning of Nuclear Power Plants, Research Reactors and Other Nuclear Fuel Cycle Facilities, Specific Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. SSG-47 [72].
- Release of Sites from Regulatory Control on Termination of Practices Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. WS-G-5.1 [73].
- Decommissioning Strategies for Facilities Using Radioactive Material, IAEA Safety Reports Series No. 50 [74].
- State of the Art Technology for Decontamination and Dismantling of Nuclear Facilities, IAEA Technical Report Series No. 395 [75].
- Financial Aspects of Decommissioning, IAEA Safety Related Publications TECDOC-1476 [76].
- Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants - an Internal Overview of Cost Elements, Estimation Practices and Reporting Requirements OECD NEA No. 6831 [77].
- International Structure for Decommissioning Costing (ISDC) of Nuclear Installations, OECD NEA No. 7088 [78].
- Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants, OECD NEA No. 7201 [79].
- Baseline Management System Programme Controls Procedures, United Kingdom Nuclear Decommissioning Authority NDA Doc No PCP-M [80].
- Cost Estimating Guide, U.S. Department of Energy DOE G 413.3-21 [81].

2.1.3 Transportvorschriften

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

Für den Schienentransport:

- Verordnung des UVEK über die Beförderung gefährlicher Güter mit der Eisenbahn und mit Seilbahnen (RSD) [82].
- Übereinkommen über den internationalen Eisenbahnverkehr (COTIF 1980) [83].
- Ordnung für die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter (RID) [84].

Für den Strassentransport:

- Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (SDR) [85].
- Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (ADR) [86].

Vorschriften und Empfehlungen der IAEA:

- Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material (2012 Edition), Specific Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. SSG-26 [87].
- Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, Specific Safety Requirements, IAEA Safety Standards Series No. SSR-6 (Rev.1) [88].

2.1.4 Normen und Regeln

Für die Nachbetriebsstudie werden unter anderem berücksichtigt:

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

2.2 Annahmen und Randbedingungen

Für die Ermittlung der Nachbetriebskosten waren eine Reihe von Randbedingungen, Annahmen und Eingangsdaten festzulegen, die eine Kostenermittlung für ein Projekt überhaupt erst ermöglichen. Die Festlegungen dienen ebenfalls als Basis für die Ermittlung der Stilllegungskosten der KS21.

Nebst den im Mantelbericht [1] erläuterten Rahmenbedingungen der Kostenstudie hat swissnuclear für die Ermittlung der Nachbetriebskosten folgende Randbedingungen 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 bedürfen³⁶.
- 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 [7] 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, zum Beispiel zur Behandlung in der Plasma-Anlage der Zwiilag).
- Die anfallenden radioaktiven Abfälle werden nach den zurzeit in der Schweiz gültigen Regelwerken (zum Beispiel Richtlinie ENSI-B05 [43]) beziehungsweise Vereinbarungen mit der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) konditioniert.
- Die Behälter für die Verpackung der Brennelemente und der radioaktiven Abfälle³⁷ 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 Gösigen vorhandenen in das am Standort errichtete Nasslager verbracht. Die Brennelemente der anderen beiden Kernkraftwerke werden in die Anlagen der Zwiilag transportiert und dort zwischengelagert. Dies gilt zu einem späteren Zeitpunkt auch für die Brennelemente aus dem Nasslager des Kernkraftwerks Gösigen.
- Die Kosten für den Betrieb des Zwischenlagers Zwibez des Kernkraftwerks Beznau beziehungsweise des Nasslagers des Kernkraftwerks Gösigen während des Nachbetriebs sind in den Nachbetriebskosten der Kernkraftwerke Beznau beziehungsweise Gösigen 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.

³⁶Die Stilllegungsverfügung des KKM liegt vor.

³⁷Mit Ausnahme der Behälter für Reaktorabfälle aus dem Leistungsbetrieb sowie für diejenigen für Betriebsabfälle aus Leistungs- und Nachbetrieb für den unterjährigen Verbrauch (vgl. Tabelle 3 und Tabelle 4).

- Grundlage der Preisschätzungen für die KS21 sind die erwarteten Kosten zur Preisbasis 1. Januar 2021 (sog. «Overnight»-Kosten).
- Für die Kostenermittlung werden die von der Verwaltungskommission angenommenen, langfristigen Fremdwährungswechselkurse verwendet: EUR/CHF = 1.20; USD/CHF = 1.00.
- 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 sowie 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 KS16 wurde gemäss Vorgaben der Verwaltungskommission eine Kostenstruktur eingeführt und die Kostenermittlung in Form einer Kostengliederung dargestellt. Die Verwendung dieser Kostenstruktur und Kostengliederung wurde für die KS21 weitestgehend beibehalten und ist nachfolgend erläutert.

3.1 Kostenstruktur

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

Die Kostenstrukturen ermöglichen eine Abgrenzung der Tätigkeiten zwischen den direkt durch die Betreiber zu bezahlenden Kosten des Nachbetriebs, und 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, wurden die Kostenstrukturen seit der KS16 vereinheitlicht. Zu diesem Zweck wurden 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, die seit mehr als 40 Jahren auf dem Gebiet des Nachbetriebs und der Stilllegung kerntechnischer Anlagen arbeitet. Die Kalkulation der Nachbetriebskosten für das KKM basiert auf einer detaillierten Planung des Nachbetriebs und der Erfahrung aus dem Nachbetrieb im Jahr 2020. Die Kosten werden im Gegensatz den Werken im Leistungsbetrieb nicht mit Reduktionsfaktoren auf Basis des Leistungsbetriebs ermittelt. Mit der seit 2018 rechtskräftigen Stilllegungsverfügung liegt Rechtssicherheit vor. Die Etablierung des technischen Nachbetriebs konnte in 2020 abgeschlossen werden.

3.2 Kostengliederung

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

3.2.1 Vorgaben zur Kostengliederung

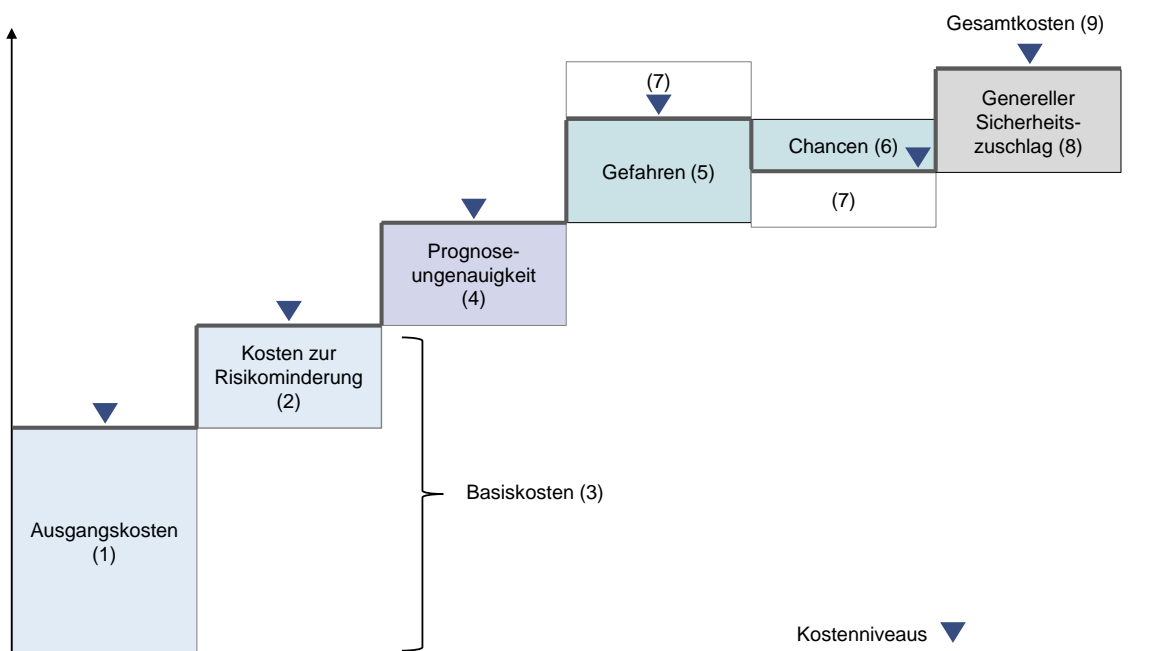
Neben den zu erwartenden Projektkosten sind auch die beinhalteten Zuschläge für projektinhärente Unsicherheiten transparent darzulegen und zu quantifizieren. Die Verwaltungskommission hat für die KS16 die in Abbildung 3 dargestellte Kostengliederung weiterentwickelt. Diese ist auch Bestandteil der Vorgaben für die KS21. Die einzelnen, in Abbildung 3 dargestellten Kostenelemente, die aufsummiert zu Kostenniveaus führen und in den Kostenstudien abzubilden sind, wurden von der Verwaltungskommission wie folgt definiert³⁸:

Ausgangskosten (1)

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

Die Ausgangskosten können auf der Grundlage von geschätzten Mengen (Material, Maschinen und Geräte, Arbeitsstunden usw.), aktuellen Richtpreisen (Einheitspreise oder Pauschalen) und Erfahrungswerten oder prozentual 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 KS21.

³⁸Die Definitionen sind im Wortlaut der Verwaltungskommission unter Verwendung deren Nomenklatur gegeben.

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

Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten (4)

Alle Kostenschätzungen, insbesondere in den frühen Phasen eines Projekts, sind mit Ungenauigkeiten verbunden. Dies betrifft den Leistungsumfang («Scope») sowie die angenommenen Mengen und Preise. Da bei der KS21 nicht mit Vertrauensintervallen gearbeitet wird, müssen diese Ungenauigkeiten mit Zuschlägen berücksichtigt werden. Diese Zuschläge werden «Bottom-up» für jedes Element des Projektstrukturplans in Prozent der Ausgangskosten 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 Leistungsbeschreibs oder des Realisierungsprogrammes infolge veränderter politischer oder regulatorischer Rahmenbedingungen oder infolge von Rechtsmittelverfahren.
- Neue Technologien.

Die Kostenzuschläge für Gefahren wurden «Top-down» auf der Basis einer quantitativen Risikoanalyse ermittelt. Dazu musste 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 KS21 nicht berücksichtigt werden.

Sicherheitszuschlag (8)

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

Gesamtkosten (9)

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

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

3.2.2 Umsetzung der Kostengliederung

Die Kostengliederung wurde auf sämtliche Bereiche der Kostenstudie angewendet. Die Herangehensweise 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 beschäftigen³⁹. Die in der relevanten Literatur beschriebenen Best Practice-Methoden zur Risikoanalyse sehen sowohl Massnahmen der quantitativen wie auch der qualitativen Risikoanalyse vor. Beide Verfahren haben Eingang in die Umsetzung der Kostengliederung gefunden.

Durch die Anwendung der Kostengliederung werden Faktoren, die im Zeitablauf zu Abweichungen von Plankosten führen können, entsprechend dem Planungsstand der jeweiligen Teilbereiche der Kostenermittlung systematisch erfasst. Von besonderer Bedeutung ist einerseits die quantitative und qualitative Risikoanalyse, deren Anwendung im folgenden Kapitel für die einzelnen Elemente der Kostengliederung in allgemeiner Form beschrieben wird. Andererseits ist dies auch die regelmässige Überprüfung der Kostenermittlungen und der Vergleich ihrer Ergebnisse mit laufenden oder abgeschlossenen, vergleichbaren Projekten. In der Schweiz geschieht dies über die fünfjährigen Aktualisierungen der Kostenstudien. In diesem Rahmen wird die Kostenermittlung zur Plausibilisierung auch mit Referenzprojekten oder ähnlichen Tätigkeiten verglichen.

Das Vorgehen bei der Ermittlung der einzelnen, in Abbildung 3 dargestellten Elemente der Kostengliederung wird im Folgenden erläutert.

³⁹Z. B. OECD NEA, Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants [79].

Ausgangskosten

Die Ausgangskosten stellen den Erwartungswert einer Kostenermittlung ohne Zuschläge für Unsicherheiten und Risiken dar. Sie entsprechen in der Kostengliederung einem ersten Niveau, das sich bei einem planmäßigen, 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 eine Kalkulation inhärente Zuschläge für Ungewissheiten und Risiken befinden, müssen diese bei der Ermittlung der Ausgangskosten identifiziert, quantifiziert und den entsprechenden Elementen der Kostengliederung sachgerecht zugeführt werden.

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

Kosten zur Risikominderung

Durch risikomindernde Massnahmen sollen negative Kostenfolgen von Gefahren vermieden oder reduziert und Chancen erkannt und genutzt werden. Unter Kosten 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 Kosten⁴⁰ 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 Schätzungen sind statistisch als Mittelwerte zu interpretieren.

Im gegenwärtigen, den Kostenermittlungen zugrundeliegenden Planungsstadium sind die für die einzelnen Projektstrukturplan-Elemente (PSP-Elemente) vorgesehenen Tätigkeiten mit unterschiedlichen Graden der Planungsunsicherheit belegt. Für die Bestimmung des Zuschlags für Prognoseungenauigkeiten 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 abdecken⁴¹.

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.

⁴⁰Der Projektstrukturplan für die Ermittlung der Nachbetriebskosten ist in Abschnitt 3.1 erläutert.

⁴¹Grundsätzlich können auch Ergebnisse ausserhalb der festgelegten Toleranzgrenzen auftreten, aber die Eintrittswahrscheinlichkeit dafür ist so klein, dass solche Ergebnisse für die Kostenermittlung vernachlässigbar sind.

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.

Für die KS21 hat sich gezeigt, dass vier Toleranzgrenzen⁴² das vorhandene Spektrum an Unsicherheiten gut abdecken und die Realität ausreichend genau abbilden. Die Toleranzgrenzen orientieren sich dabei weitestgehend an Empfehlungen in der relevanten Literatur⁴³. 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 näherungsweise sehr gut durch eine fast symmetrische Lognormalverteilung⁴⁴ 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-Simulation⁴⁵ zur Bestimmung der Wahrscheinlichkeitsverteilung der summierten Kosten verwendet.

⁴²Klasse A: - 5 % / + 5 %, Klasse B: - 10 % / + 15 %, Klasse C: - 20 % / + 30 %, Klasse D: - 30 % / + 50 % in Anlehnung an aktuelle Ausarbeitungen von IAEA [76], OECD/NEA [79] und U. S. Department of Energy [81] für die Beschreibung von Unsicherheiten bei der Kostenermittlung von nuklearen Rückbauprojekten bzw. für die Entsorgung.

Klasse E: - 20 % / + 20 % und Klasse F: - 30 % / + 30 % wurden ausschliesslich für betriebliche Tätigkeiten bei der Entsorgung verwendet.

⁴³U. S. DOE, Cost Estimating Guide [81]; IAEA, Financial Aspects of Decommissioning, TECDOC1476 [76] usw.

⁴⁴Die Lognormalverteilung ist eine kontinuierliche Wahrscheinlichkeitsfunktion positiver reeller Zahlen und wird z. B. in der Versicherungswirtschaft bei der Modellierung von Schadenshöhen benutzt.

⁴⁵Die Monte-Carlo-Simulation ist ein Verfahren, bei der eine Vielzahl bestimmter Wahrscheinlichkeitsverteilungen folgender, diskreter Werte für eine beliebige Rechenoperation generiert wird. Im vorliegenden Fall werden die Kosten eines PSP-Elements als Zufallszahlen innerhalb der zuvor definierten Toleranzgrenzen generiert. Diese zufälligen Werte können für die weiteren Berechnungen als unabhängige Einzelgrössen behandelt werden. Bei der Simulation der Zufallszahlen mittels der Monte-Carlo-Methode lassen sich beliebige Wahrscheinlichkeitsverteilungen und beliebige Abhängigkeitsstrukturen zwischen den Werten berücksichtigen. Das Ergebnis der Simulation ist eine Vielzahl von Einzelergebnissen, die in ihrer Gesamtheit Schlüsse auf die statistischen Eigenschaften des Gesamtergebnisses zulässt.

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

Die Prognoseungenauigkeiten sind gemäss 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 wird zukünftig tendenziell zu einem abnehmenden Zuschlag für Prognoseungenauigkeiten führen.

Kostenzuschläge für Gefahren und Kostenabzüge für Chancen

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

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

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

Die einzelnen Gefahren und Chancen sind diskrete Ereignisse, deren Eintreten 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, Schadensbeziehungsweise Chancenpotenzial) untersucht. Die Beschreibung der Gefahren und Chancen, die Bewertung von Gefahrenaussmass und Chancenpotenzial sowie der Eintrittswahrscheinlichkeiten erfolgten im Rahmen von mehreren Expertenworkshops, an denen Vertreter sämtlicher Kernanlagen beteiligt waren. Ein unabhängiges Risikoboard sichtete und kommentierte die Ergebnisse der Workshops und auch die der Validierung. Die Empfehlungen des Risikoboads flossen anschliessend in die Bewertung der Gefahren und Chancen ein.

Die Kostenzuschläge für Gefahren und Kostenabzüge für Chancen werden nicht auf die einzelnen PSP-Elemente der Kalkulation zurückgerechnet. Die Zuschläge und Abzüge erfolgen auf die ermittelten 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-Simulation⁴⁶ wurde untersucht, inwieweit der Saldo aus Gefahrenzuschlägen und Chancenabzügen die möglichen Kostenfolgen unterschiedlichster Eintrittsszenarien von Gefahrenbeziehungsweise 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.

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 KS21 eine Vielzahl weiterer Chancen und Gefahren identifiziert und evaluiert, jedoch in der Kostengliederung nicht explizit berücksichtigt. Die Gründe dafür lassen sich differenzieren. Es gibt Gefahren und Chancen, die bereits über andere, berücksichtigte Gefahren und Chancen abgedeckt sind, versicherte Gefahren sowie Gefahren, die über berücksichtigte risikomindernde Massnahmen wirkungsvoll reduziert werden konnten.

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

Kostenfolgen von nicht berücksichtigten Gefahren und Chancen

Relevant im Zusammenhang mit unbekanntem oder aussergewöhnlichen Ereignissen mit sehr niedriger Eintrittshäufigkeit und sehr grossen Auswirkungen ist vor allem das Gefährdungspotenzial durch Freisetzung von Radioaktivität. Für Nachbetrieb und 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 der ursprünglich vorhandenen.

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 ganz erheblich. Die in einem theoretischen Schadensfall anfallenden Kosten sind über die nukleare Haftpflichtversicherung der Betreiber hinreichend abgedeckt. Die Deckungssumme pro Kernkraftwerk beträgt 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 KS21 ist der generelle Sicherheitszuschlag so zu berechnen, dass nach Einschätzung zum Zeitpunkt der Fertigstellung der KS21 die Wahrscheinlichkeit einer allfälligen Kostenüberschreitung auf maximal 20 Prozent beschränkt wird.

⁴⁶Die 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.

3.3 Ermittlung der Nachbetriebskosten durch die Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH

3.3.1 Kalkulationsmodell für die Kostenermittlung

Zur Berechnung der Nachbetriebskosten verwendet die Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH (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 realistischer Weise zu Beginn des Nachbetriebs höher und am Ende tiefer.⁴⁷

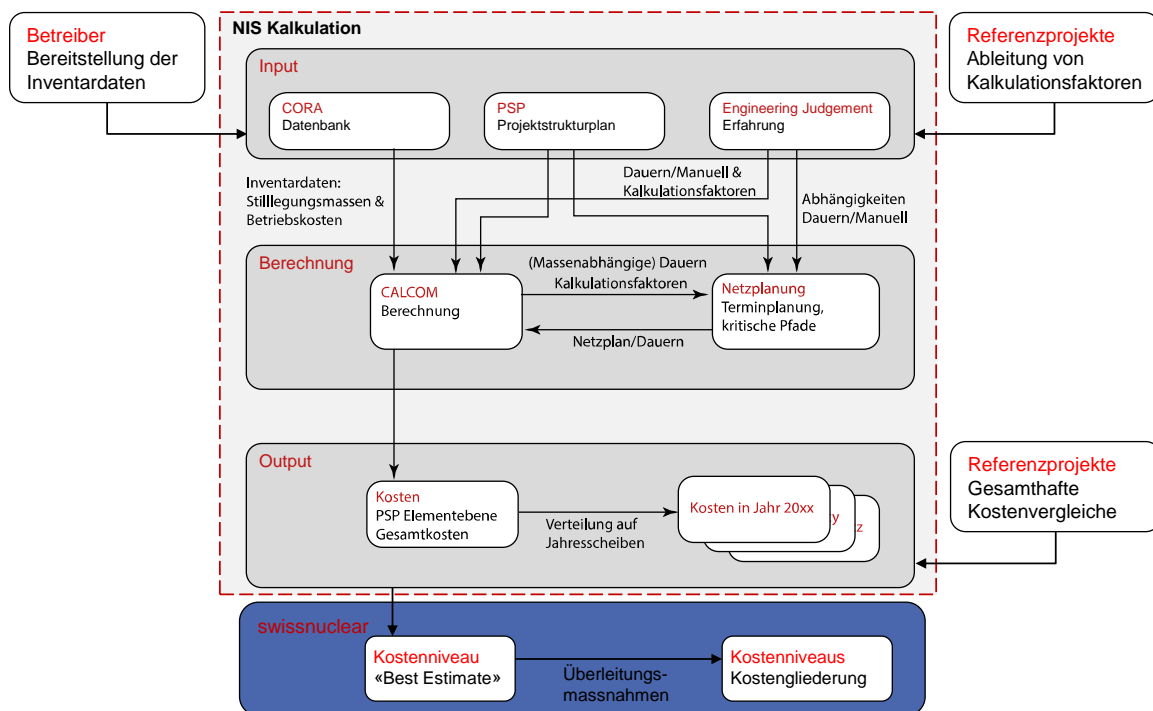


Abbildung 4: Überblick Kalkulationsmodell und Überleitung in die Kostengliederung für die KS21.

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 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.

⁴⁷Zur Ermittlung der Nachbetriebskosten für das KKM siehe den entsprechenden Hinweis in Kapitel 3.1.

Mittels Cora erfolgt eine massengestützte Kalkulation. In Cora sind alle für die Entsorgungsplanung notwendigen anlagenspezifischen 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 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 der NIS erstellt und basiert auf deren Erfahrung und Wissen bzw. auf eigenen Planungen der Werke. Die Terminplanung (Netzplan) wird als Input an Calcom übergeben.

Die 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 der 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

Die NIS arbeitet seit über 45 Jahren auf dem Gebiet der Stilllegung kerntechnischer Anlagen. Insbesondere konnten durch die Beteiligung an den zurzeit laufenden deutschen Stilllegungsprojekten wesentliche praktische Erfahrungen gewonnen werden, die auch in die Berechnungsgrundlagen der KS21 eingeflossen sind. Darüber hinaus dienen die Kostenermittlung für die übrigen Stilllegungsprojekte deutscher Kernkraftwerke als weitere Referenzen.

Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt der NIS liegt auf der Ermittlung der Kosten für die Stilllegung und den Rückbau von Anlagen des Kernbrennstoffkreislaufs. Die daraus gewonnenen Erfahrungen haben ebenfalls Eingang die Berechnungsgrundlagen der KS21 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 so genannten Referenzstudien nachgewiesen. Diese wurden im Auftrag der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke⁴⁸ von der 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 Randbedingungen für die Ermittlung der Stilllegungskosten.

Die NIS ermittelt auf regelmässiger Basis die Stilllegungskosten für die deutschen Kernkraftwerke. Dabei werden die Vorgaben, Annahmen und Randbedingungen 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 noch in Betrieb befindliche Kernkraftwerke in Deutschland berechnet die 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 Würzgassen, 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 NIS zum Beispiel für folgende Anlagen in Deutschland durchgeführt:

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

⁴⁸Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke e. V. (VDEW), Wirtschaftsverband zur Förderung der Elektrizitätswirtschaft, gegründet 1950 und 2007 im Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) aufgegangen.

Daneben wird von der 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 NIS wendet für ihre Ingenieur-, Dienst- und Beratungsleistungen ein Qualitätsmanagementsystem an, das die international üblichen Normen für Qualitätsmanagementsysteme⁴⁹ und die in Deutschland verbindlichen Anforderungen an die Lieferanten und Dienstleister für Kernkraftwerke⁵⁰ erfüllt. Dieses Qualitätsmanagementsystem ist durch eine akkreditierte Prüfstelle⁵¹ zertifiziert⁵². Darüber hinaus verfügt die NIS über die Eignungsbestätigung⁵³ zur Qualitätssicherung gemäss deutschem Regelwerk⁵⁰.

Die Methodik der Kostenermittlung für 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 2001 der Schweizer Kernkraftwerke durch die Schweizerische Aufsichtsbehörde HSK (heute Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat) (Schweiz, 2002).
- PricewaterhouseCoopers Aktiengesellschaft Wirtschaftsprüfungsgesellschaft (Deutschland, 2007), Auditierung der Kostenermittlung für die deutschen Kernkraftwerke.
- Expert Mission der IAEA bezüglich Stilllegungskostenermittlung für das Kernkraftwerk Krško (2010).
- Die KS16 wurde im Jahr 2017 durch das ENSI / TÜV Nord / Basler & Hofmann und zusätzlich im Auftrag des STENFO durch NRG (Niederlande) und Atkins (UK, USA) geprüft.

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

Die 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 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 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 NIS an den Stilllegungsprojekten ist somit gewährleistet, dass die Kostenermittlungen auf realistischen Grundlagen und belastbaren Basisdaten beruhen.

⁴⁹DIN EN ISO 9001:2015 [90].

⁵⁰KTA Regel 1401 [89].

⁵¹BSI Group Deutschland GmbH, Frankfurt am Main, Deutschland.

⁵²Nach DIN EN ISO 9001:2015 [90].

⁵³Ausgestellt von der VGB-Arbeitsgemeinschaft «Auftragnehmerbeurteilung».

4 Massnahmen im Nachbetrieb

Für die Schweizer Kernkraftwerke wurde auf Basis der in Abschnitt 2.2 genannten Randbedingungen 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, Entsorgungsstrategien usw.

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 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, d. h. mit dem Rückbau der Anlagenteile, begonnen werden. Die Aufrechterhaltung des technischen Nachbetriebs endet mit dem Erreichen der Kernbrennstofffreiheit. 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, des Strahlenschutzes (inkl. der Umgebungsüberwachung) sowie dem Betrieb der für diesen noch benötigten Systemen und Anlageninfrastruktur.

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

- Konditionierung und Verpackung⁵⁴ der aus dem Leistungsbetrieb noch vorhandenen Betriebsabfälle.
- Konditionierung und Verpackung⁵⁴ der während des Nachbetriebs entstehenden Betriebsabfälle.
- Konditionierung und Verpackung⁵⁴ der Reaktorabfälle (diese können bereits während des Leistungsbetriebs angefallen sein oder im Nachbetrieb anfallen).
- Ausserbetriebnahme bzw. Anpassungen nicht mehr benötigter Systeme bzw. Teilsysteme.

Die Abgrenzung der im Nachbetriebszeitraum anfallenden Kosten bezüglich Betriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten sind in Tabelle 3 bis Tabelle 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 der Zwiilag oder, im Falle des Kernkraftwerks Beznau, ins Zwibez verbracht. Im Kernkraftwerk Gösgen werden die Brennelemente ins Nasslager transferiert und erst später, nach Abschluss des Nachbetriebs, in das zentrale Zwischenlager der Zwiilag verbracht.

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

⁵⁴ Insbesondere das Bereitstellen als Versandstücke für den Transport in ein externes Zwischenlager.

Tabelle 3: Abgrenzung der Kosten für die Auslagerung der Brennelemente.

Brennelemente	Nachbetriebskosten	Stilllegungskosten	Entsorgungskosten
Brennelement-Handhabung vor Ort (inkl. Beladen der Behälter)	X		
Behälterkosten			X
Transport zum zentralen Zwischenlager der Zwiilag			X
Umverpacken in den Anlagen der Zwiilag (falls erforderlich)			X
Zwischenlagerung (Zwibez HAA, KKG-Nasslager)			X
Zwischenlagerung (Zwiilag)			X
Transport zum geologischen Tiefenlager HAA			X
Zuteilbare Kosten im geologischen Tiefenlager HAA			X

4.2 Betriebsabfälle aus Leistungs- und Nachbetrieb

Die Überführung der Betriebsabfälle in ein unabhängiges 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 Zwiilag behandelt beziehungsweise konditioniert. Die Kosten für die Handhabung vor Ort, einschliesslich der durch den Abtransport der restlichen Betriebsabfälle aus dem Zwischenlager anfallenden, 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 werden von der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) in der Entsorgungsstudie berücksichtigt.

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

Betriebsabfälle aus Leistungs- und Nachbetrieb	Nachbetriebskosten	Stilllegungskosten	Entsorgungskosten
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 der Zwiilag			X
Behandlung von Betriebsabfällen in den Anlagen der Zwiilag			X
Umverpacken in den Anlagen der Zwiilag (falls erforderlich)			X
Zwischenlagerung in den Anlagen der Zwiilag			X
Zwischenlagerung im Zwibez (KKB)			X
Transport zum geologischen Tiefenlager SMA			X
Zuteilbare Kosten im geologischen Tiefenlager SMA			X

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

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. Mit der in der KS21 eingeführten zeitlichen Überlappung von technischen Nachbetriebs und Stilllegungstätigkeiten wird das Personal sukzessive 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:

- Betriebs-sachkosten, 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 sowie 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 basieren⁵⁵.

⁵⁵Zur Ermittlung der Nachbetriebskosten für das KKM siehe den entsprechenden Hinweis in Kapitel 3.1.

5 Resultate der Ermittlung der Nachbetriebskosten

Die hier vorgenommene Kostenermittlung umfasst alle im Nachbetrieb fortzuführenden Massnahmen zur Aufrechterhaltung der nuklearen Sicherheit 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 (Ebene 3 der Kostenstruktur). Auf dieser Ebene ist die Struktur der Kosten für alle Kernanlagen weitestgehend identisch. Sie erlaubt somit unabhängig von Kraftwerkstyp und technischen Unterschieden einen direkten Vergleich von Kosten und anderen Kennzahlen. Auf noch 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 NIS auf Grund ihrer Erfahrung festlegt⁵⁶.

In Tabelle 6 bis Tabelle 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 dargestellt, das heisst die betrieblichen Aufwendungen ab endgültiger Einstellung des Leistungsbetriebs bis zum Erreichen der Kernbrennstofffreiheit und dem Vorhandensein 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 sowie die Bewachung beziehungsweise Überwachung des Areals,
 - die behördliche Begleitung des Betriebs,
 - den Anlagebetrieb mit dem Betriebspersonal,
 - die Werkstätten mit dem dafür benötigten Personal,

⁵⁶Zur Ermittlung der Nachbetriebskosten für das KKM siehe den entsprechenden Hinweis in Kapitel 3.1.

- 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 umfasst die Handhabung der Brennelemente in der Anlage, ihre Verpackung zum Zweck des Abtransports und dessen Durchführung bis zum Ausgang aus dem Areal⁵⁷.
 - Die Aufwendungen für die weiteren Massnahmen des Nachbetriebs umfassen:
 - die Konditionierung und Verpackung⁵⁸ der sich noch auf der Anlage befindlichen oder im Nachbetrieb anfallenden radioaktiven Abfälle, soweit nicht durch gesonderte Rückstellungen abgedeckt⁵⁹,
 - die Ausserbetriebnahme von Systemen zwecks deren Bereitstellung für den Rückbau sowie
 - systemtechnische Anpassungen, wie beispielsweise die Nachrüstung von Sicherheitssystemen, und Vereinfachungen der Anlage zwecks damit einhergehenden Gewinns an Sicherheit.

In Tabelle 6 bis Tabelle 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 sowie den Zuschlag für Prognoseungenauigkeit.

Ausgangskosten

Aus den Tabellen ist ersichtlich, dass der überwiegende Teil der Ausgangskosten, der je nach Werk zwischen 90 und 96 Prozent ausmacht, für den eigentlichen Betrieb der Anlage anfällt. Über die Hälfte dieser Kosten fallen für die drei PSP-Elemente Anlagebetrieb, Prüfung und Instandhaltung sowie Betriebs- und Unterhaltssachkosten an, bei KKM ist dieser Anteil mit 32 Prozent etwas geringer. Zwischen 6 und 14 Prozent der Ausgangskosten sind für die behördliche Begleitung aufzuwenden, zwischen 6 und 8 Prozent für die Sicherung der Anlage, zwischen 7 und 14 Prozent für die Überwachung, zwischen 4 und 9 Prozent für Informatik und höchstens 1 Prozent für den Betrieb der Lagereinrichtungen. Verwaltung, Administration und sonstiger betrieblicher Aufwand machen zwischen 11 und 20 Prozent aus.

Für die innerbetriebliche Handhabung der Brennelemente fallen zwischen 1 und 3 Prozent der gesamten Ausgangskosten an.

Für die weiteren Massnahmen des Nachbetriebs beträgt der Anteil an den gesamten Ausgangskosten 4 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 in der KS16 eingeführte Kostenstruktur weiterhin umsetzbar ist und aussagekräftige Kostenvergleiche erlaubt.

⁵⁷Aufwendungen für den Transport ausserhalb des Werkareals zählen zu den Entsorgungskosten (vgl. [3]).

⁵⁸Insbesondere das Bereitstellen als Versandstücke für den Transport in ein externes Zwischenlager.

⁵⁹Aufwendungen 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. Aufwendungen für die Konditionierung radioaktiver Abfälle, die als Folge der Stilllegung zu entsorgen sind – die eigentlichen Stilllegungsabfälle (unabhängig davon, wann die Entsorgungspflicht entstanden ist) und die nach Abschluss des Nachbetriebs anfallenden Betriebsabfälle (Rückbaubetriebsabfälle) – zählen zu den Stilllegungskosten (vgl. [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 sowie
- im Kernkraftwerk Mühleberg ein optimiertes Konzept für den Brennelementabtransport.

Die Aufwendungen zur Risikominderung sind zu den Ausgangskosten zu addieren. Sie betragen relativ zu diesen 1.5 bis 2 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 Tabelle 6 bis Tabelle 9 ersichtlich, betragen die Basiskosten für den Nachbetrieb der Schweizer Kernkraftwerke zwischen 233 und 368 Millionen Franken. Sie hängen nicht von der installierten Leistung ab, wohl jedoch von der Komplexität der jeweiligen Anlage, aber vor allem auch von der Dauer⁶⁰ des Nachbetriebs.

⁶⁰Siehe Abschnitt 1.3.2 und Tabelle 2 in Abschnitt 1.4.

Tabelle 6: Nachbetriebskostenermittlung für das Kernkraftwerk Beznau.

Kostenstrukturelement (bis Ebene 3)	AK	RM	BK	PU	
	[MCHF]	[MCHF]	[MCHF]	[MCHF]	[%]
Betrieb bis Brennelementfreiheit	362.30	5.60	367.90	19.07	5.2%
Betrieb – Standort bezogen	334.16	5.60	339.76	15.83	
Verwaltung/Administration	26.57	4.40	30.97	1.79	
Überwachung	28.51		28.51	1.78	
Sicherung/Arealüberwachung	29.45		29.45	2.01	
Behördliche Begleitung Betrieb	34.87		34.87	0.43	
Fachabteilungen Betrieb Anlage	92.69		92.69	0.70	
Werkstätten	1.52		1.52	0.09	
Prüfung und Instandhaltung	47.19		47.19	4.02	
Instandhaltungsprojekte					
Betrieb IT	14.73		14.73	0.19	
Betriebs- und Unterhaltsachkosten	47.11		47.11	3.90	
Betrieb Lagereinrichtungen	1.67		1.67	0.12	
Sonstige betriebl. Aufwendungen	9.85	1.20	11.05	0.81	
Handhabung Brennelemente	6.81		6.81	0.48	
Handhabung und Verpackung BE	6.81		6.81	0.48	
Massnahmen bis Brennelement-Freiheit	21.33		21.33	2.76	
Behandlung, Verpackung und Entsorgung der Betriebsabfälle	21.33		21.33	2.76	
Ausserbetriebnahme von Systemen					
Systemtechnische Anpassungen					

PU_{gesamt} auch in % der BK, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

Ausgangskosten (AK), Kosten zur Risikominderung (RM), Basiskosten (BK) sowie Zuschlag für Prognoseunsicherheit (PU).

Tabelle 7: Nachbetriebskostenermittlung für das Kernkraftwerk Mühleberg.

Kostenstrukturelement (bis Ebene 3)	AK	RM	BK	PU	
	[MCHF]	[MCHF]	[MCHF]	[MCHF]	[%]
Betrieb bis Brennelementfreiheit	228.36	4.45	232.81	9.06	3.9%
Betrieb – Standort bezogen	218.69	4.45	223.14	8.75	
Verwaltung/Administration	16.58	3.25	19.83	0.16	
Überwachung	32.07		32.07	1.20	
Sicherung/Arealüberwachung	13.96		13.96	0.08	
Behördliche Begleitung Betrieb	32.56		32.56	2.23	
Anlagebetrieb	35.91		35.91	0.15	
Werkstätten	1.66		1.66	0.09	
Prüfung und Instandhaltung	12.26		12.26	0.67	
Instandhaltungsprojekte					
Betrieb IT	20.93		20.93	0.90	
Betriebs- und Unterhaltsachkosten	25.25		25.25	1.48	
Betrieb Lagereinrichtungen	1.14		1.14	0.06	
Sonstige betriebl. Aufwendungen	26.37	1.20	27.57	1.73	
Handhabung Brennelemente	1.44		1.44		
Handhabung und Verpackung BE	1.44		1.44		
Massnahmen bis Brennelement-Freiheit	8.23		8.23	0.31	
Behandlung, Verpackung und Entsorgung der Betriebsabfälle	5.89		5.89	0.19	
Ausserbetriebnahme von Systemen					
Systemtechnische Anpassungen	2.35		2.35	0.12	

PU_{gesamt} auch in % der BK, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

Ausgangskosten (AK), Kosten zur Risikominderung (RM), Basiskosten (BK) sowie Zuschlag für Prognoseunsicherheit (PU).

Tabelle 8: Nachbetriebskostenermittlung für das Kernkraftwerk Gösgen.

Kostenstrukturelement (bis Ebene 3)	AK	RM	BK	PU	
	[MCHF]	[MCHF]	[MCHF]	[MCHF]	[%]
Betrieb bis Brennelementfreiheit	284.45	4.20	288.65	16.58	5.7%
Betrieb – Standort bezogen	262.84	4.20	267.04	14.79	
Verwaltung/Administration	28.25	3.30	31.55	1.84	
Überwachung	21.64		21.64	1.29	
Sicherung/Arealüberwachung	18.97		18.97	0.94	
Behördliche Begleitung Betrieb	23.22		23.22	1.61	
Anlagebetrieb	58.14		58.14	3.42	
Werkstätten	11.91		11.91	0.54	
Prüfung und Instandhaltung	38.64		38.64	1.78	
Instandhaltungsprojekte					
Betrieb IT	19.05		19.05	0.84	
Betriebs- und Unterhaltsachkosten	38.48		38.48	1.96	
Betrieb Lagereinrichtungen					
Sonstige betriebl. Aufwendungen	4.53	0.90	5.43	0.58	
Handhabung Brennelemente	9.21		9.21	0.12	
Handhabung und Verpackung BE	9.21		9.21	0.12	
Massnahmen bis Brennelement-Freiheit	12.40		12.40	1.67	
Behandlung, Verpackung und Entsorgung der Betriebsabfälle	12.40		12.40	1.67	
Ausserbetriebnahme von Systemen					
Systemtechnische Anpassungen					

PU_{gesamt} auch in % der BK, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

Ausgangskosten (AK), Kosten zur Risikominderung (RM), Basiskosten (BK) sowie Zuschlag für Prognoseunsicherheit (PU).

Tabelle 9: Nachbetriebskostenermittlung für das Kernkraftwerk Leibstadt.

Kostenstrukturelement (bis Ebene 3)	AK	RM	BK	PU	
	[MCHF]	[MCHF]	[MCHF]	[MCHF]	[%]
Betrieb bis Brennelementfreiheit	330.95	5.60	336.55	17.82	5.3%
Betrieb – Standort bezogen	297.76	5.60	303.36	14.75	
Verwaltung / Administration	37.34	4.40	41.74	1.36	
Überwachung	22.74		22.74	1.56	
Sicherung / Arealüberwachung	23.98		23.98	0.58	
Behördliche Begleitung Betrieb	18.71		18.71	0.55	
Anlagebetrieb	67.88		67.88	5.12	
Werkstätten	5.31		5.31	0.12	
Prüfung und Instandhaltung	62.70		62.70	3.61	
Instandhaltungsprojekte					
Betrieb IT	15.49		15.49	0.64	
Betriebs- und Unterhaltsachkosten	32.61		32.61	0.90	
Betrieb Lagereinrichtungen	0.59		0.59	0.03	
Sonstige betriebl. Aufwendungen	10.41	1.20	11.61	0.28	
Handhabung Brennelemente	8.03		8.03	0.45	
Handhabung und Verpackung BE	8.03		8.03	0.45	
Massnahmen bis Brennelement-Freiheit	25.17		25.17	2.62	
Behandlung, Verpackung und Entsorgung der Betriebsabfälle	25.17		25.17	2.62	
Ausserbetriebnahme von Systemen					
Systemtechnische Anpassungen					

PU_{gesamt} auch in % der BK, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

Ausgangskosten (AK), Kosten zur Risikominderung (RM), Basiskosten (BK) sowie Zuschlag für Prognoseunsicherheit (PU).

5.2 Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten

Tabelle 6 bis Tabelle 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 zwischen 9 und 19 Millionen Franken. Für alle Kernkraftwerke beträgt der Zuschlag rund 4 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. 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 Nutzensausmass wird durch drei Szenarien repräsentiert: hohes Nutzensausmass, geringes Nutzensausmass und kein Nutzensausmass.

Die Ergebnisse werden von einem unabhängigen Risikoboard gesichtet und kommentiert. Die Empfehlungen des Risikoboards sind in die Bewertung der Gefahren und Chancen eingeflossen.

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, z. B. Nicht-Bewilligung einer neuen Organisation am Standort oder zusätzliche Aufgaben.

Zusätzliche behördliche Forderungen

Während Planung oder Durchführung des Nachbetriebs werden von den Behörden, vorgängig noch nicht bekannte Zusatzanforderungen gestellt (zusätzlich zu den erwarteten Forderungen), 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, 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 konnten 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. Sofern 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. Der Know-how-Verlust kann nur (evtl. zeitlich begrenzt) extern eingekauft 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 die Rahmenbedingungen (gesetzliche Vorschriften) für die Entsorgung der Betriebsabfälle, wie z. B. Dosisleistung pro Behälter oder Konditionierungsvorschriften geändert oder die Behälterkosten steigen über die normale Inflation hinaus an.

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 sich entweder im Eintrittsfall als Risiko und somit kostenerhöhend auswirken oder ein Potenzial zur Kostenminderung beinhalten und sind deshalb sowohl als Risiko als auch als Chance erfasst. Dies trifft auf die nachfolgend aufgeführten Chancenpotenziale zu.

Geringe Verkürzung der Nachbetriebsdauer durch frühzeitige Kernbrennstofffreiheit um 6 Monate

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

Kostenveränderungen aus betrieblichen und technischen Gründen

Gebührenaufwand

Geringere Ausgangskosten für Abgaben, Beiträge und Gebühren.

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 KS21 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 KS21 aufgrund der analysierten Gefahren und Chancen ein Zuschlag von netto 18 bis 22 Prozent zu den Basiskosten addiert wird, für das Kernkraftwerk Mühleberg beträgt dieser Zuschlag lediglich 2 Prozent aufgrund des bereits fortgeschrittenen Nachbetriebs.

Tabelle 10: Kostenzuschläge für Gefahren und Kostenabzüge für Chancen.

	KKB	KKM	KKG	KKL	Total
Kostenzuschlag für Gefahren	68	5	64	69	206
in % der Basiskosten	18.5%	2.2%	22.2%	20.5%	16.8%
Kostenabzug für Chancen	0	0	0	0	-2
in % der Basiskosten	-0.1%	-0.1%	-0.2%	-0.1%	-0.1%
Kostenzuschlag insgesamt für Gefahren und Chancen	68	5	64	68	205
in % der Basiskosten	18.4%	2.1%	22.1%	20.3%	16.7%

Angaben in Millionen Franken, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.
Zur Ermittlung der Nachbetriebskosten für das KKM siehe den entsprechenden Hinweis in Kapitel 3.1.

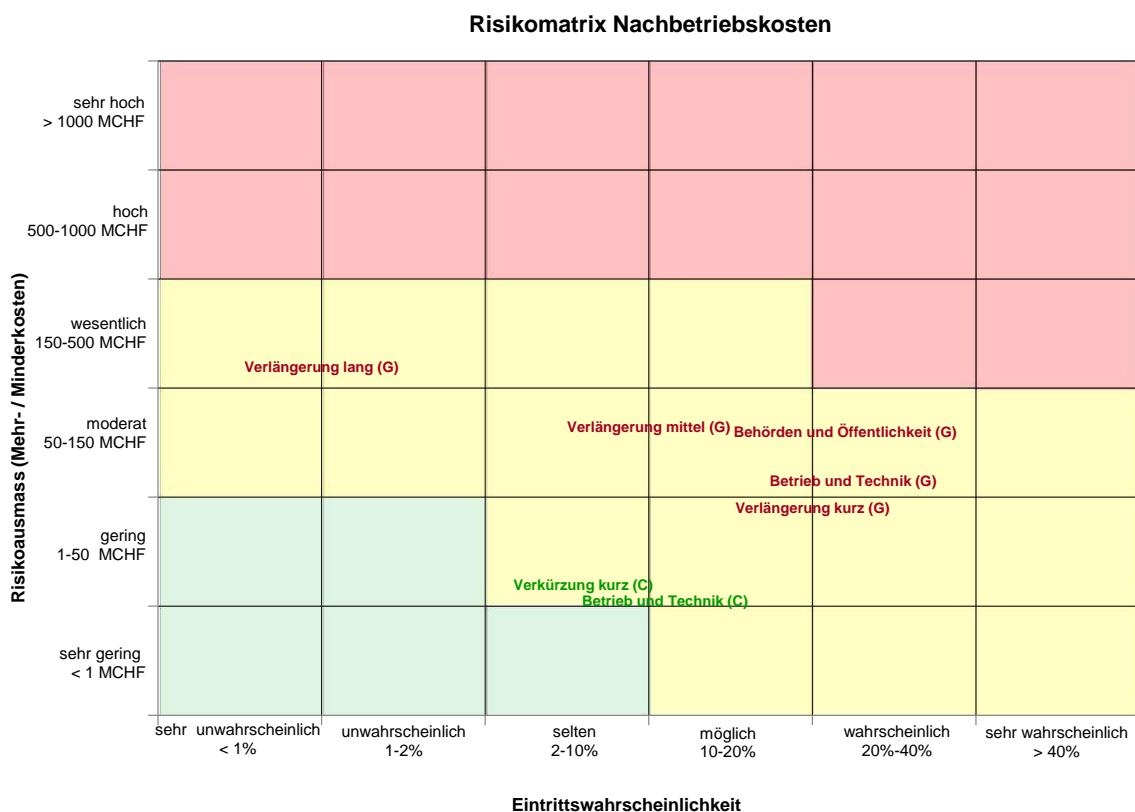
5.3.4 Risikomatrix

Für die Schweizer Kernkraftwerke wurden im Rahmen der Erstellung der KS21 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) werden in grün dargestellt. Abbildung 5 zeigt exemplarisch die für den Nachbetrieb der Kernkraftwerke ermittelte Risikomatrix.

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

Die gelbe Fläche der Risikomatrix wird für die Ermittlung der Kostenzuschläge für Gefahren beziehungsweise Kostenabzüge für Chancen berücksichtigt. Die Gefahren- und Chancencluster, die in diese Kategorie einzuordnen sind, werden in 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) werden 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 lassen sich differenzieren. Es gibt Gefahren und Chancen, die bereits über andere berücksichtigte Gefahren und Chancen abgedeckt sind, versicherte Gefahren und Gefahren, die über berücksichtigte risikomindernde Massnahmen weitestgehend vermieden werden konnten. Zusätzlich 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 unbekanntem oder aussergewöhnlichen Ereignissen mit sehr niedriger Eintrittshäufigkeit und sehr grossen Auswirkungen ist vor allem das Gefährdungspotenzial durch Freisetzung von Radioaktivität. Für Nachbetrieb und für 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 der ursprünglich vorhandenen.

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 sowie auf aktuellen Marktpreisen. Die Kostenermittlung für den Nachbetrieb wurden durch die Betreiber der Kernkraftwerke und die 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 noch ausstehenden Nachbetriebskosten des seit Ende 2019 im Nachbetrieb befindlichen Kernkraftwerks Mühleberg liegen in einer mit der KS16 vergleichbaren Grössenordnung. Die Kostenstrukturen und die Kostengliederung wurden gegenüber der KS16 nicht verändert, somit wird auch eine Vergleichbarkeit der Zuschlagsniveaus gewährleistet. Das Toleranzniveau gegenüber allfälligen Kostenüberschreitungen entspricht demjenigen, das für die KS16 zugrunde gelegt wurde. Es haben sich zwischen den Abgabeterminen für die beiden Kostenstudien 2016 und 2021 keine Erkenntnisse ergeben, die für eine abweichende Festlegung des generellen Sicherheitszuschlags sprechen. Die Anwendung eines zusätzlichen generellen Sicherheitszuschlags ist deshalb nicht angebracht.

Dementsprechend ist der generelle Sicherheitszuschlag für den Nachbetrieb für die KS21 gleich Null.

5.6 Gesamtkosten

Im Folgenden sind die Ergebnisse der Bestimmung der Nachbetriebskosten entsprechend der Kostengliederung zusammengestellt. Für die einzelnen Elemente der Ebene 3 der Kostenstruktur sind die Ausgangskosten sowie zu addierende Kosten für getroffene Massnahmen zur Risikominderung bestimmt. Zu den so erhaltenen Basiskosten werden, wiederum für die PSP-Elemente der Ebene 3, Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten addiert, woraus sich prognostizierte Kosten ergeben. Zu diesen werden Zuschläge für Gefahren und Abzüge für Chancen sowie ein genereller Sicherheitszuschlag addiert. Diese Zuschläge werden nicht für die einzelnen PSP-Elemente der Kalkulation berechnet, sondern erfolgen gesamthaft als Zuschlag beziehungsweise Abzug auf die prognostizierten Kosten. Die so erhaltenen Gesamtkosten werden mit dem Ergebnis der KS16 verglichen.

Die hier vorgenommene Kostenermittlung umfasst alle im Nachbetrieb fortzuführenden Massnahmen zur Aufrechterhaltung der nuklearen Sicherheit 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 technischen Nachbetriebs stehen.

Mittels der Reduktionsfaktoren und der Kostenangaben der Betreiber wurden die Kosten eines mittleren Nachbetriebsjahres bestimmt. Der Personal- und Sachaufwand wird während der Dauer des Nachbetriebs durch Aufgabenverschiebungen und Ausserbetriebnahmen von Systemen abnehmen, das heisst die Kosten werden realistischer Weise zu Beginn des Nachbetriebs höher und am Ende tiefer sein.

Tabelle 11 zeigt die Kosten des Nachbetriebs der Schweizer Kernkraftwerke. Nebst den Gesamtkosten ist auch deren Aufschlüsselung gemäss der in Abschnitt 3.2 erläuterten Kostengliederung dargestellt. Die Resultate der KS16 sind zum Vergleich aufgeführt. Die Vergleiche werden jeweils zum Geldwert des Schätzungsjahres durchgeführt. Für den direkten Vergleich wurden die in der KS16 ermittelten Kosten mit der in der Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung [10] verankerten und im Rückstellungsmodell berücksichtigten Teuerungsrate von 0.5 Prozent⁶¹ von der Preisbasis 2016 auf die Preisbasis 2021 hochgerechnet. Teuerungsbereinigt sind für alle Schweizer Kernkraftwerke die Gesamtkosten des Nachbetriebs niedriger als in der KS16 – insgesamt rund 10 Prozent.

In der KS21 sind nicht nur die Nachbetriebskosten, sondern auch deren Veränderung für die einzelnen Anlagen vergleichbar. Dies aufgrund der bereits der KS16 zugrundeliegenden einheitlichen Basis für die Annahmen zum Nachbetrieb.

Die Nachbetriebskosten betragen für die Schweizer Kernkraftwerke zwischen 321 und 455 Millionen Franken. Die Gesamtsumme der Nachbetriebskosten beträgt rund 1.6 Milliarden Franken. Die Gesamtkosten des Nachbetriebes fallen um 19 bis 76 Millionen Franken tiefer aus als in der KS16.

⁶¹Art. 8a Abs. 4 SEFV [10].

Tabelle 11: Nachbetriebskostenermittlung der Kostenstudie 2021. Vergleich mit der Kostenstudie 2016 auf der Preisbasis 2021.

Element der Kostengliederung	KKB		KKM		KKG		KKL		Total	
Aufgelaufene Kosten bis 2020	74									
Zukünftige Kosten ab 2021										
Ausgangskosten	362		228		284		331		1'206	
Kosten zur Risikominderung	6		4		4		6		20	
Basiskosten	368		233		289		337		1'226	
Prognoseungenauigkeiten	5.2%	19	3.9%	9	5.7%	17	5.3%	18	5.1%	63
Zuschlag für Gefahren	18.5%	68	2.2%	5	22.2%	64	20.5%	69	16.8%	206
Abzug für Chancen	-0.1%	0	-0.1%	0	-0.2%	0	-0.1%	0	-0.1%	-2
Genereller Sicherheitszuschlag	–		–		–		–		–	
Zuschlag auf zukünftige Basiskosten	23.6%	87	6.0%	14	27.8%	80	25.6%	86	21.8%	267
Gesamtkosten	455		321		369		423		1'567	
Gesamtkosten KS16 PB21	474		348		445		480		1'746	
Differenz	-4.1%	-19	-7.7%	-27	-17.1%	-76	-11.9%	-57	-10.2%	-179

Angaben in Millionen Franken, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.
 Nachbetriebsdauer KKB und KKL 4 Jahre, KKM 4.5 Jahre und KKG 3 Jahre.
 Kernkraftwerke Beznau (KKB), Mühleberg (KKM), Gösgen (KKG) und Leibstadt (KKL).
 Kostenstudie 2021 (KS21), Kostenstudie 2016 (KS16), Preisbasis 2021 (PB21).

Ein Vergleich der in der KS21 ermittelten Nachbetriebskosten mit jenen der teuerungsbereinigten KS16 zeigt, dass der Nachbetrieb unter Berücksichtigung sämtlicher Zuschläge für alle Werke weniger kostet als im Jahr 2016. In der Summe betragen die Minderkosten 179 Millionen Franken beziehungsweise rund zehn Prozent. Die Nachbetriebskosten für das Kernkraftwerk Beznau liegen mit einer Reduktion von rund vier Prozent in einer ähnlichen Grössenordnung. Die Nachbetriebskosten für das Kernkraftwerk Mühleberg reduzieren sich aufgrund der Reduktion der Nachbetriebsdauer von sechs Monaten um rund acht Prozent. Die Nachbetriebskosten für die Kernkraftwerke Gösgen und Leibstadt fallen rund 17 und 12 Prozent tiefer aus. Dies ist auf eine Aktualisierung der Eingangsdaten für die Berechnung der Nachbetriebskosten an die aktuelle Situation im Leistungsbetrieb zurückzuführen.

A Anhang

A.1 Referenzen

- [1] swissnuclear, Kostenstudie 2021 (KS21) Mantelbericht, SN-AN-21.194, Olten, Schweiz, 2021.
- [2] swissnuclear, Kostenstudie 2021 (KS21) Ermittlung der Entsorgungskosten – Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung, SN-AN-21.195, Olten, Schweiz, 2021.
- [3] swissnuclear, Kostenstudie 2021 (KS21) Ermittlung der Entsorgungskosten – Geologische Tiefenlagerung, SN-AN-21.198, Olten, Schweiz, 2021.
- [4] swissnuclear, Kostenstudie 2021 (KS21) Ermittlung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen, SN-AN-21.197, Olten, Schweiz, 2021.
- [5] swissnuclear, Kostenstudie 2021 (KS21) Abkürzungen, Begriffe, Glossar, SN-AN-21.199, Olten, Schweiz, 2021.
- [6] SR 814.50 Strahlenschutzgesetz (StSG) vom 22. März 1991 (Stand 1. Mai 2017).
- [7] SR 814.501 Strahlenschutzverordnung (StSV) vom 26. April 2017 (Stand 1. Februar 2019).
- [8] SR 732.1 Kernenergiegesetz (KEG) vom 21. März 2003 (Stand 1. Januar 2020).
- [9] SR 732.11 Kernenergieverordnung (KEV) vom 10. Dezember 2004 (Stand 1. Februar 2019).
- [10] SR 732.17 Verordnung über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen (Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung, SEFV) vom 7. Dezember 2007 (Stand 1. Januar 2020).
- [11] SR 732.44 Kernenergiehaftpflichtgesetz (KHG), vom 18. März 1983 (Stand am 1. Januar 2011).
- [12] SR 732.441 Kernenergiehaftpflichtverordnung (KHV) vom 5. Dezember 1983 (Stand am 15. Februar 2015).
- [13] SR 732.12 Safeguardsverordnung (SaV) vom 21. März 2012 (Stand am 1. Juli 2016).
- [14] SR 732.112.1 Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und Sicherungsmassnahmen für Kernanlagen und Kernmaterialien vom 16. April 2008 (Stand am 1. Mai 2008).
- [15] SR 732.112.2 Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen vom 17. Juni 2009 (Stand am 1. Februar 2019).
- [16] SR 220 Bundesgesetz betreffend die Ergänzung des Schweizerischen Zivilgesetzbuches (Fünfter Teil: Obligationenrecht) vom 30. März 1911 (Stand am 1. Januar 2020).
- [17] International Financial Reporting Standards (IFRS); www.ifrs.org.
- [18] Schweizer Standards für die Rechnungslegung in Unternehmen, Generally Accepted Accounting Principles, Fachempfehlungen zur Rechnungslegung; www.fer.ch (Swiss GAAP FER).
- [19] SR 822.11 Bundesgesetz über die Arbeit in Industrie, Gewerbe und Handel (Arbeitsgesetz, ArG) vom 13. März 1964 (Stand am 9. Dezember 2018).
- [20] SR 822.111 Verordnung 1 zum Arbeitsgesetz (ArGV 1) vom 10. Mai 2000 (Stand am 1. Januar 2016).
- [21] SR 822.112 Verordnung 2 zum Arbeitsgesetz (ArGV 2) (Sonderbestimmungen für bestimmte Gruppen von Betrieben oder Arbeitnehmern und Arbeitnehmerinnen) vom 10. Mai 2000 (Stand am 1. April 2019).
- [22] SR 822.113 Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz (ArGV 3) (Gesundheitsschutz) vom 18. August 1993 (Stand am 1. Oktober 2015).
- [23] SR 822.114 Verordnung 4 zum Arbeitsgesetz (ArGV 4) (Industrielle Betriebe, Plangenehmigung und Betriebsbewilligung) vom 18. August 1993 (Stand am 1. Mai 2015).
- [24] SR 832.30 Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten (Verordnung über die Unfallverhütung, VUV) vom 19. Dezember 1983 (Stand am 1. Mai 2018).
- [25] SR 832.20 Bundesgesetz über die Unfallversicherung (UVG) vom 20. März 1981 (Stand am 1. Januar 2020).

- [26] SR 832.202 Verordnung über die Unfallversicherung (UVV) vom 20. Dezember 1982 (Stand am 1. April 2018).
- [27] SR 732.13 Verordnung über sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen in Kernanlagen (VBRK) vom 9. Juni 2006 (Stand am 1. Januar 2009).
- [28] SR 819.14 Verordnung über die Sicherheit von Maschinen (Maschinenverordnung, MaschV) vom 2. April 2008 (Stand am 15. Januar 2017).
- [29] SR 814.501.43 Verordnung des EDI über die Personen- und Umgebungsdosimetrie (Dosimetrierordnung) vom 26. April 2017 (Stand am 1. Januar 2018).
- [30] SR 732.143.1 Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen (VAPK) vom 9. Juni 2006 (Stand am 1. Januar 2009).
- [31] SR 732.222 Gebührenverordnung des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats (Gebührenverordnung ENSI) vom 9. September 2008 (Stand am 1. Januar 2009).
- [32] SR 814.56 Verordnung über die Gebühren im Strahlenschutz (GebV-StS) vom 26. April 2017 (Stand am 1. Januar 2018).
- [33] ENSI-A01 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen A01/d, Technische Sicherheitsanalyse für bestehende Kernanlagen: Umfang, Methodik und Randbedingungen, Ausgabe Januar 2020.
- [34] ENSI-A03 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen A03/d, Periodische Sicherheitsüberprüfung von Kernkraftwerken, Ausgabe Oktober 2014 (Änderung vom Oktober 2018).
- [35] ENSI-A04 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen A04/d, Gesuchsunterlagen für freigabepflichtige Änderungen an Kernanlagen, Revision 1 vom 24. September 2009 (Änderung vom 13. April 2016).
- [36] ENSI-A05 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen A05/d, Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Qualität und Umfang, Ausgabe Januar 2018.
- [37] ENSI-A06 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen A06/d, Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Anwendungen, Ausgabe November 2015.
- [38] ENSI-A08 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen A08/d, Quelltermanalyse: Umfang, Methodik und Randbedingungen, Ausgabe Februar 2010.
- [39] ENSI-B01 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B01/d, Alterungsüberwachung, Ausgabe August 2011.
- [40] ENSI-B02 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B02/d, Periodische Berichterstattung der Kernanlagen, Ausgabe September 2008, Revision 5 vom 30. Juni 2015.
- [41] ENSI-B03 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B03/d, Meldungen der Kernanlagen, Ausgabe September 2008, Revision 4 vom 28. November 2016.
- [42] ENSI-B04 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B04/d, Befreiung von Kontroll- und Überwachungsbereichen sowie Materialien von der Bewilligungspflicht und Aufsicht, Ausgabe 26. November 2018.
- [43] ENSI-B05 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B05/d, Anforderungen an die Konditionierung radioaktiver Abfälle, Ausgabe Februar 2007, Revision 1 vom 20. Dezember 2018.
- [44] ENSI-B06 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B06/d, Sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen: Instandhaltung, Revision 2 vom 1. Juni 2013.
- [45] ENSI-B07 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B07/d, Sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen: Qualifizierung der zerstörungsfreien Prüfungen, Ausgabe September 2008.
- [46] ENSI-B09 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B09/d, Ermittlung und Aufzeichnung der Dosis strahlenexponierter Personen, Ausgabe Juli 2018.
- [47] ENSI-B10 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B10/d, Ausbildung, Wiederholungsschulung und Weiterbildung von Personal, Ausgabe Oktober 2010.
- [48] ENSI-B11 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B11/d, Notfallübungen, Ausgabe November 2007, Revision 1 vom 1. Januar 2013 (geändert am 23. Dezember 2015).

- [49] ENSI-B12 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B12/d, Notfallschutz in Kernanlagen, Ausgabe August 2019.
- [50] ENSI-B13 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B13/d, Ausbildung und Fortbildung des Strahlenschutzpersonals, Ausgabe November 2010.
- [51] ENSI-B14 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B14/d, Instandhaltung sicherheitstechnisch klassierter elektrischer und leittechnischer Ausrüstungen, Ausgabe Dezember 2010.
- [52] ENSI-B17 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B17/d, Betrieb von Zwischenlagern für radioaktive Abfälle, Ausgabe Januar 2020.
- [53] ENSI-G01 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G01/d, Sicherheitstechnische Klassierung für bestehende Kernkraftwerke, Ausgabe Januar 2011.
- [54] ENSI-G05 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G05/d, Transport- und Lagerbehälter für die Zwischenlagerung, Ausgabe April 2008 (Änderung vom 20. Dezember 2018).
- [55] ENSI-G07 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G07/d, Organisation von Kernanlagen, Ausgabe Juli 2013.
- [56] ENSI-G08 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G08/d, Systematische Sicherheitsbewertungen des Betriebs von Kernanlagen, Juni 2015.
- [57] ENSI-G09 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G09/d, Betriebsdokumentation, Ausgabe Juni 2014 (Änderung vom 19. August 2019).
- [58] ENSI-G11 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G11/d, Sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen: Planung, Herstellung und Montage, Ausgabe Februar 2009, Revision 2 vom Juni 2013.
- [59] ENSI-G13 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G13/d, Messmittel für ionisierende Strahlung, Ausgabe Oktober 2015 (Änderung vom 23. November 2018).
- [60] ENSI-G14 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G14/d, Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung aufgrund von Emissionen radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen, Ausgabe Februar 2008, Revision 1 vom 21. Dezember 2009.
- [61] ENSI-G15 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G15/d, Strahlenschutzziele für Kernanlagen, Ausgabe November 2010.
- [62] ENSI-G17 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G17/d, Stilllegung von Kernanlagen, Ausgabe April 2014.
- [63] HSK-R-07 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen R-07/d, Richtlinie für den überwachten Bereich der Kernanlagen und des Paul Scherrer Institutes, Ausgabe Juni 1995.
- [64] HSK-R-46 Richtlinie für schweizerische Kernanlagen R-46/d, Anforderungen für die Anwendung von sicherheitsrelevanter rechnerbasierter Leittechnik in Kernkraftwerken, Ausgabe April 2005.
- [65] HSK-R-50 Richtlinie für schweizerische Kernanlagen R-50/d, Sicherheitstechnische Anforderungen an den Brandschutz in Kernanlagen, Ausgabe März 2003.
- [66] HSK-R-102 Richtlinie für schweizerische Kernanlagen R-102/d, Auslegungskriterien für den Schutz von sicherheitsrelevanten Ausrüstungen in Kernkraftwerken gegen die Folgen von Flugzeugabsturz, Dezember 1986, Neudruck Januar 1993.

- [67] ICRP Publication 103, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection; Ann. ICRP 37 (2-4), 2007.
- [68] IAEA GSR Part 2, Leadership and Management for Safety, General Safety Requirements, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 2, Vienna 2016.
- [69] IAEA GSR Part 3, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, General Safety Requirements, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3, Vienna 2014.
- [70] IAEA GS-G-3.1 Application of the Management System for Facilities and Activities; Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-3.1; STI/PUB/1253 (ISBN 92-0-106606-6), Vienna 2006.
- [71] IAEA, GSR Part 6, Decommissioning of Facilities, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 6, STI/PUB/1652, Vienna 2014.
- [72] IAEA SSG-47 Decommissioning of Nuclear Power Plants, Research Reactors and Other Nuclear Fuel Cycle Facilities, Specific Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. SSG-47, Vienna 2018.
- [73] IAEA WS-G-5.1 Release of Sites from Regulatory Control on Termination of Practices, Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. WS-G-5.1; STI/PUB/1244 (ISBN 92-0-101606-9), Vienna 2006.
- [74] IAEA SRS No 50 Decommissioning Strategies for Facilities Using Radioactive Material, Safety Reports Series No. 50; STI/PUB/1281 (ISBN 92-0-113206-9), Vienna 2007.
- [75] IAEA TRS No. 395 State of the Art Technology for Decontamination and Dismantling of Nuclear Facilities, IAEA Technical Report Series, Vienna 1999.
- [76] IAEA TECDOC-1476 Safety Related Publications, Financial Aspects of Decommissioning, Vienna, November 2005.
- [77] OECD, Nuclear Energy Agency NEA, Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants - an Internal Overview of Cost Elements, Estimation Practices and Reporting Requirements, NEA No. 6831 (ISBN 978-92-64-99133-0), OECD 2010.
- [78] OECD, Nuclear Energy Agency NEA, International Structure for Decommissioning Costing (ISDC) of Nuclear Installations, NEA No. 7088 (ISBN 978-92-64-99173-6), OECD 2012.
- [79] OECD, Nuclear Energy Agency NEA, Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants, NEA No. 7201, OECD 2016.
- [80] NDA PCP-M United Kingdom Nuclear Decommissioning Authority, Baseline Management System Programme Controls Procedures, Doc No: PCP-M Rev. 3, March 2019.
- [81] U. S. DOE G 413.3-21A U. S. Department of Energy, Cost Estimating Guide, Washington D. C., June 2018.
- [82] SR 742.412 Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter mit Eisenbahnen und Seilbahnen (RSD), vom 31. Oktober 2012 (Stand am 1. Januar 2019).
- [83] SR 0.742.403.1, Übereinkommen über den internationalen Eisenbahnverkehr (COTIF 1980), vom 9. Mai 1980 (Stand am 8. August 2006).
- [84] Convention relative aux transports internationaux ferroviaires (COTIF), Appendice C – Règlement concernant le transport international ferroviaire des marchandises dangereuses (RID), applicable à partir du 1er janvier 2015.
- [85] SR 741.621 Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (SDR), vom 29. November 2002 (Stand am 1. Januar 2019).
- [86] SR 0.741.621 Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (ADR), vom 30. September 1957 (Stand am 19. Juni 2019).

- [87] IAEA SSG-26, Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material (2012 Edition), Specific Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. SSG-26, Vienna 2014.
- [88] IAEA SSR-6 (Rev. 1), Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, Specific Safety Requirements, IAEA Safety Standards Series No. SSR-6 (Rev.1); Vienna 2018.
- [89] Sicherheitstechnische Regel des Kerntechnischen Ausschusses (KTA, Deutschland), KTA 1401 Allgemeine Anforderungen an die Qualitätssicherung, Fassung 2013-11.
- [90] Deutsches Institut für Normung e.V., DIN EN ISO 9001 (2015) Qualitätsmanagementsysteme - Anforderungen (ISO/DIS 9001:2015), Berlin: Beuth.

A.2 Verzeichnis der Abkürzungen

Abkürzung	Erläuterung
Abs.	Absatz
ADR	Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse
AK	Ausgangskosten
Art.	Artikel
BK	Basiskosten
Bst.	Buchstabe
CHF	Schweizer Franken
EABN	Endgültige Ausserbetriebnahme
EEB	Endgültige Einstellung des Betriebs
EELB	Endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
HAA	Hochaktive Abfälle
HSK	Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (heute ENSI)
IAEA	International Atomic Energy Agency
IBN	Inbetriebnahme
ICRP	International Commission on Radiological Protection
ISDC	International Structure for Decommissioning Costing of Nuclear Installations
KEG	Kernenergiegesetz
KEV	Kernenergieverordnung
KKB	Kernkraftwerk Beznau
KKG	Kernkraftwerk Gösgen
KKL	Kernkraftwerk Leibstadt
KKM	Kernkraftwerk Mühleberg
KS16	Kostenstudie 2016
KS21	Kostenstudie 2021
m, m ³	Meter, Kubikmeter
MCHF	Millionen Schweizer Franken (Mio. CHF)
Mg	Megagramm (Tonne)
Mio.	Millionen
Nagra	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle
NEA	Nuclear Energy Agency
NIS	Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OR	Obligationenrecht
PB16	Preisbasis 01.01.2016
PB21	Preisbasis 01.01.2021
PSP	Projektstrukturplan

PSP-Element	Element im Projektstrukturplan
PU	Prognoseungenauigkeit
RID	Ordnung über die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter
RM	Kosten für risikomindernde Massnahmen
RSD	Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter mit Eisenbahnen und Seilbahnen
SDR	Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse
SEFV	Verordnung über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen
SEV	Schweizer Elektrotechnischer Verein
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
SMA	Schwach- und mittelaktive Abfälle
STENFO	Stilllegungsfonds für Kernanlagen und Entsorgungsfonds für Kernkraftwerke
StSG	Strahlenschutzgesetz
StSV	Strahlenschutzverordnung
US DOE	United States Department of Energy
usw.	Und so weiter
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
VGB	Verband der Grosskessel-Besitzer e.V., Fachverband der Strom- und Wärmeerzeugung als freiwilliger Zusammenschluss der Kraftwerksbetreiber und -hersteller
VKF	Vereinigung kantonaler Feuerversicherungen
z. B.	Zum Beispiel
Zwibez	Zwischenlager Beznau
Zwilag	Zwilag Zwischenlager Würenlingen AG

swissnuclear

Postfach 1663, 4601 Olten

T +41 62 205 20 10

F +41 62 205 20 11

info@swissnuclear.ch

medien@swissnuclear.ch

www.swissnuclear.ch

www.kernenergie.ch

