

swiss*nuclear*

Fachgruppe Kernenergie der *swisselectric*

Kostenstudie 2016 (KS16)

**Schätzung der Nachbetriebskosten
der Schweizer Kernkraftwerke**

swissnuclear

Fachgruppe Kernenergie der swisselectric

Postfach 1663

CH-4601 Olten

T +41 62 205 20 10

F +41 62 205 20 11

info@swissnuclear.ch

www.swissnuclear.ch

31. Oktober 2016

Zusammenfassung

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

Nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs beginnt der sogenannte Nachbetrieb. Im Nachbetrieb werden die nukleare Sicherheit und der Strahlenschutz aufrechterhalten sowie der Betrieb der Infrastruktur fortgeführt. Der Nachbetrieb endet mit dem Erreichen sowohl der Kernbrennstofffreiheit als auch der Rechtswirksamkeit der Stilllegungsverfügung. Während die im Rückbau anfallenden betrieblichen Aufwendungen Bestandteil der Stilllegungskosten sind, entsprechen die mit dem Nachbetrieb verbundenen 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 Eigentümer zu tragen, die dafür Rückstellungen bilden und die erforderlichen Mittel bereitstellen.

Um sicherzustellen, dass die Fonds über ausreichende finanzielle Mittel verfügen, ist eine umfassende Schätzung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten nötig. Auf Basis dieser Schätzung lassen sich die Beiträge bemessen, welche die Eigentümer der Kernanlagen für die Stilllegung und die nukleare Entsorgung zurückstellen sowie in den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds einzahlen müssen. Diese Kostenschätzung hat gemäss der Verordnung^e über den Stilllegungs- und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen alle fünf Jahre zu erfolgen. Die Kosten des Nachbetriebs müssen die Eigentümer direkt bezahlen. Dennoch werden auch sie jeweils mit der Aktualisierung der Stilllegungs- und Entsorgungskostenstudien neu geschätzt.

Die letzte Schätzung der Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten erfolgte im Jahr 2011. Sie wurde vom Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat sowie von weiteren Gutachtern geprüft. Die Verwaltungskommission des Stilllegungs- und des Entsorgungsfonds für Kernanlagen, im Folgenden kurz Verwaltungskommission genannt, genehmigte anschliessend die Kostenstudie 2011. Diese bildete die Grundlage für die Rückstellungsberechnung und für die Bemessung der Fondsbeiträge in den Jahren 2012–2016.

Im Jahr 2014 beauftragten die Eigentümer der Schweizer Kernanlagen swissnuclear, die neue Kostenstudie in Zusammenarbeit mit den für die Stilllegung und die Entsorgung in der Schweiz verantwortlichen Organisationen wie gesetzlich vorgeschrieben zu aktualisieren und bis Ende 2016 fertigzustellen. Dabei waren die von der Verwaltungskommission festgelegten Vorgaben für die Erstellung der Kostenstudie zu berücksichtigen. Mit dem Mantelbericht [1] und den Berichten zu den Entsorgungs- [2], [3] und den Stilllegungskosten [4] sowie dem hier gegebenen Bericht zu den Nachbetriebskosten wird diesem Auftrag Rechnung getragen. Auch die Empfehlungen aus der Überprüfung der Kostenstudie 2011 waren für die Erstellung der Kostenstudie 2016 zu berücksichtigen. Die Details dazu sind dem Anhang des Mantelberichts [1] zu entnehmen. Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat und unabhängige Kostenprüfer im Auftrag der Verwaltungskommission werden die Kostenstudie 2016 wiederum prüfen.

Als Teil der Vorgaben für die Kostenstudie 2016 definierte die Verwaltungskommission erstmals verbindliche Kostenstrukturen zur Darstellung der geschätzten Stilllegungs- und Entsorgungskosten. Darunter sind Kostenstrukturen zu verstehen, die durchgängig in allen Phasen der Kostenplanung und -feststellung angewendet werden können.

^a Art. 77 Kernenergiegesetz [12].

^b Gemäss Art. 3 Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung [14].

^c Gemäss Art. 2 Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung [14].

^d Art. 31 Abs. 1 Kernenergiegesetz [12].

^e Art. 4 Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung [14].

Verbindliche Kostenstrukturen sollen die Voraussetzungen schaffen, um Kosten transparent zu planen, aussagekräftig zu vergleichen und effektiv zu kontrollieren sowie um den Prozess der Inanspruchnahme von Fondsmitteln effektiv abwickeln zu können.

Die Vorgaben für die Kostenstudie 2016 enthielten zudem Weisungen, wie mit Ungenauigkeiten und Risiken umzugehen ist. Dazu wurde eine Kostengliederung vorgegeben und bei der Ermittlung und der Darstellung der Kosten berücksichtigt.

Die zwei Begriffe Kostengliederung und Kostenstruktur sind voneinander abzugrenzen:

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

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

Die Kostenschätzungen basieren auf dem gesetzlichen und regulatorischen Rahmen per 1. Januar 2015.

Kostenstudien werden jeweils zum Geldwert des Schätzungsjahres durchgeführt^f. Für den direkten Vergleich wurden die in der Kostenstudie 2011 geschätzten Kosten von der Preisbasis 2011 auf die Preisbasis 2016 der Kostenstudie 2016 hochgerechnet. Die verwendete Teuerungsrate von 1.5 Prozent pro Jahr ist in der Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung^g verankert.

Das Ergebnis der im Jahr 2016 vorgenommenen Schätzung der Kosten des Nachbetriebs der Schweizer Kernkraftwerke ist im Vergleich zum Ergebnis der Schätzung aus dem Jahr 2011 in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Nachbetriebskostenschätzung der Schweizer Kernkraftwerke in der Kostenstudie 2016.

| Nachbetriebskosten | KKB | | KKM | | KKG | | KKL | | Total | |
|--------------------------|------------|----|------------|----|------------|----|------------|----|--------------|-----|
| Ausgangskosten | 385 | | 295 | | 344 | | 383 | | 1'406 | |
| Risikominderung | 6 | | 7 | | 4 | | 6 | | 22 | |
| Basiskosten KS16 | 390 | | 302 | | 348 | | 388 | | 1'428 | |
| Prognoseungenauigkeit | 1.9% | 7 | 1.4% | 4 | 1.9% | 7 | 2.0% | 8 | 1.8% | 26 |
| Gefahren | 18.3% | 71 | 13.6% | 41 | 23.1% | 80 | 20.3% | 79 | 19.0% | 271 |
| Chancen | -1.7% | -7 | -2.4% | -7 | -0.5% | -2 | -1.8% | -7 | -1.6% | -23 |
| Sicherheitszuschlag | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Zuschlag auf Basiskosten | 18.5% | 72 | 12.6% | 38 | 24.5% | 85 | 20.5% | 79 | 19.2% | 275 |
| Gesamtkosten KS16 | 462 | | 339 | | 434 | | 468 | | 1'703 | |
| Gesamtkosten KS11 | 512 | | 344 | | 490 | | 496 | | 1'841 | |
| Differenz KS16-KS11 | -50 | | -4 | | -57 | | -28 | | -138 | |
| | -9.7% | | -1.3% | | -11.6% | | -5.6% | | -7.5% | |

Kernkraftwerke Beznau (KKB), Mühleberg (KKM), Gösgen (KKG) und Leibstadt (KKL) Kostenstudie 2016 (KS16) sowie Vergleich mit der Kostenstudie 2011 (KS11) auf der Preisbasis 2016; Angaben in Millionen Franken, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt..

^f So genannte «Overnight» Kosten.

^g Art. 8a Abs. 2 Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung [14].

Ein Vergleich der in der Kostenstudie 2016 geschätzten Nachbetriebskosten mit jenen der teuerungsbereinigten Kostenstudie 2011 zeigt, dass der Nachbetrieb unter Berücksichtigung sämtlicher Zuschläge für alle Werke weniger kostet, als im Jahr 2011 geschätzt wurde. In der Summe betragen die Minderkosten rund 8 Prozent. Dies liegt daran, dass die geschätzten Kosten des Nachbetriebs der Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt, aufgrund einer Verkürzung der Plandauer des Nachbetriebs von fünf auf vier Jahre für die Kernkraftwerke Beznau und Leibstadt sowie auf drei Jahre für das Kernkraftwerk Gösgen, tiefer ausfallen als in der Kostenstudie 2011. Für das Kernkraftwerk Mühleberg führen neu erkannte Möglichkeiten zur Vereinfachung der Anlage und deren Betriebs trotz der unverändert fünf Jahre betragenden Nachbetriebszeit ebenfalls zu niedrigeren Gesamtkosten für den Nachbetrieb. Aus der Einführung der Kostengliederung, die einige Kostenelemente einschliesst, die bislang nicht oder nur teilweise in den Kostenschätzungen berücksichtigt wurden, resultieren jedoch kostenerhöhende Effekte.

Die nächste Kostenschätzung ist für 2021 vorgesehen.

Inhalt

| | |
|---|-----------|
| 1 Ausgangslage | 1 |
| 1.1 Einleitung | 1 |
| 1.2 Gesetzlicher Rahmen | 2 |
| 1.2.1 Verursacherprinzip | 3 |
| 1.2.2 Finanzierung der Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten | 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 Randbedingungen und Annahmen | 10 |
| 2.1 Gesetze, Verordnungen, Richtlinien und andere Vorschriften | 10 |
| 2.1.1 Grundlegende Gesetze und Verordnungen | 10 |
| 2.1.2 Richtlinien und Empfehlungen | 11 |
| 2.1.3 Transportvorschriften | 13 |
| 2.1.4 Normen und Regeln | 13 |
| 2.1.5 Begriffe | 13 |
| 2.2 Randbedingungen und Annahmen zum Nachbetrieb | 14 |
| 3 Methodik der Kostenschätzung | 16 |
| 3.1 Kostenstruktur | 16 |
| 3.2 Kostengliederung | 17 |
| 3.2.1 Vorgaben zur Kostengliederung | 17 |
| 3.2.2 Umsetzung der Kostengliederung | 20 |
| 3.3 Ermittlung der Nachbetriebskosten durch die Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH | 27 |
| 3.3.1 Kalkulationsmodell für die Kostenermittlung | 27 |
| 3.3.2 Erfahrungshintergrund der Kostenschätzung | 28 |
| 4 Massnahmen im Nachbetrieb | 32 |
| 4.1 Brennelemente | 32 |
| 4.2 Betriebsabfälle aus Leistungs- und Nachbetrieb | 33 |
| 4.3 Reaktorabfälle aus dem Leistungsbetrieb | 34 |
| 4.4 Ausserbetriebnahme von Systemen | 35 |
| 4.5 Betrieb der Anlage im Nachbetrieb | 35 |
| 5 Resultat der Schätzungen der Nachbetriebskosten | 37 |
| 5.1 Ausgangskosten, Kosten zur Risikominderung und Basiskosten | 37 |
| 5.2 Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten | 42 |
| 5.3 Zuschlag für Gefahren und Abzug für Chancen | 42 |
| 5.4 Sicherheitszuschlag | 48 |
| 5.5 Gesamtkosten für den Nachbetrieb | 48 |
| A. Anhang | 51 |
| A.1 Referenzen | 51 |
| A.2 Verwendete Abkürzungen | 56 |

Abbildungen

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Übersicht über die Verknüpfung der Teilberichte und die Finanzierung des Nachbetriebs, der Stilllegung und der Entsorgung, inklusive entsprechender Hauptdokumente der Kostenstudie 2016..... | 2 |
| Abbildung 2: Abgrenzung von Leistungsbetrieb, Nachbetrieb und Stilllegung. | 7 |
| Abbildung 3: Kostengliederung für die Kostenstudie 2016 mit insgesamt 9 Kostenelementen, die additiv zu den einzelnen Kostenniveaus und schlussendlich zu den Gesamtkosten führen. | 18 |
| Abbildung 4: Überblick Kalkulationsmodell der Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH. | 27 |
| Abbildung 5: Risikomatrix Nachbetrieb. Risikogruppen sind exemplarisch für alle Schweizer Kernkraftwerke in ein Raster aus Risikoausmass und Eintrittswahrscheinlichkeit eingetragen. Die Gefahren sind in roter und die Chancen in grüner Schrift dargestellt. | 46 |

Tabellen

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Nachbetriebskostenschätzung der Schweizer Kernkraftwerke in der Kostenstudie 2016..... | 4 |
| Tabelle 2: Betriebs- und Stilllegungsdauern der Schweizer Kernkraftwerke, der Zwischenlager an deren Standorten und des zentralen Zwischenlagers der Zwiilag. | 9 |
| Tabelle 3: Abgrenzung der Kosten für die Auslagerung der Brennelemente. | 32 |
| Tabelle 4: Abgrenzung der Kosten für die Betriebsabfälle aus Leistungs- und Nachbetrieb. | 33 |
| Tabelle 5: Abgrenzung der Kosten für Reaktorabfälle. | 34 |
| Tabelle 6: Nachbetriebskostenschätzung für das Kernkraftwerk Beznau: | 40 |
| Tabelle 7: Nachbetriebskostenschätzung für das Kernkraftwerk Mühleberg:..... | 40 |
| Tabelle 8: Nachbetriebskostenschätzung für das Kernkraftwerk Gösgen: | 41 |
| Tabelle 9: Nachbetriebskostenschätzung für das Kernkraftwerk Leibstadt: | 41 |
| Tabelle 10: Kostenzuschläge für Gefahren und Kostenabzüge für Chancen. | 47 |
| Tabelle 11: Nachbetriebskostenschätzung der Schweizer Kernkraftwerke in der Kostenstudie 2016..... | 49 |

1 Ausgangslage

1.1 Einleitung

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

Die Kostenstudie 2016 (KS16) ist im Mantelbericht [1] zusammengefasst und umfasst vier Teilberichte:

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

Der Mantelbericht [1] erläutert die Rahmenbedingungen der Kostenstudie 2016 und insbesondere auch die Neuerungen, die sich im Vergleich zur Kostenstudie 2011 infolge der Einführung der neuen Kostenstrukturen und der Kostengliederung ergeben haben. Er fasst die wichtigsten Resultate der vier Teilberichte zusammen.

Der vorliegende Bericht der Kostenstudie 2016 ist die Teilbericht «Schätzung der Nachbetriebskosten der Schweizer Kernkraftwerke». Er nimmt Bezug auf die im Mantelbericht [1] gegebenen Erläuterungen der Rahmenbedingungen und Neuerungen im Vergleich zur Kostenstudie 2011 [5], [6], [7], [8] und präzisiert diese Angaben hinsichtlich der Spezifika des Nachbetriebs. Die Schätzung der Nachbetriebskosten wird gemäss den neuen Kostenstrukturen vorgenommen und entsprechend der neu 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 Kostenschätzung. Das Kapitel 4 beschreibt die Massnahmen und Aufgaben im Nachbetrieb. Das Resultat der Schätzung der Nachbetriebskosten ist im Kapitel 5 dargestellt.

Mit der endgültigen Einstellung des bestimmungsgemässen Leistungsbetriebs einer Kernanlage wird der Eigentümer gemäss Kernenergiegesetz¹ stilllegungspflichtig. Für ein Kernkraftwerk können die Stilllegungsarbeiten – da sie vom zuständigen Eidgenössischen Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation mittels einer Stilllegungsverfügung angeordnet werden² – nicht a priori unmittelbar nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs beginnen. Gemäss Kernenergiegesetz³ muss der Eigentümer (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.

Der Nachbetrieb beginnt mit der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs und endet mit dem Erreichen sowohl der Kernbrennstofffreiheit als auch der Rechtswirksamkeit 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.

¹ Art. 26 Abs. 1 Bst. a Kernenergiegesetz (KEG) [12].

² Art. 28 KEG [12].

³ Art. 26 Abs. 2 Bst. a KEG [12].

⁴ Art. 26 Abs. 2 Bst. b KEG [12].

Abbildung 1 zeigt, wie der Nachbetrieb vom Leistungsbetrieb und der Stilllegung abzugrenzen ist und wie Bewilligungssituation, Sicherstellung der Finanzierung und Nachbetrieb zusammenhängen.

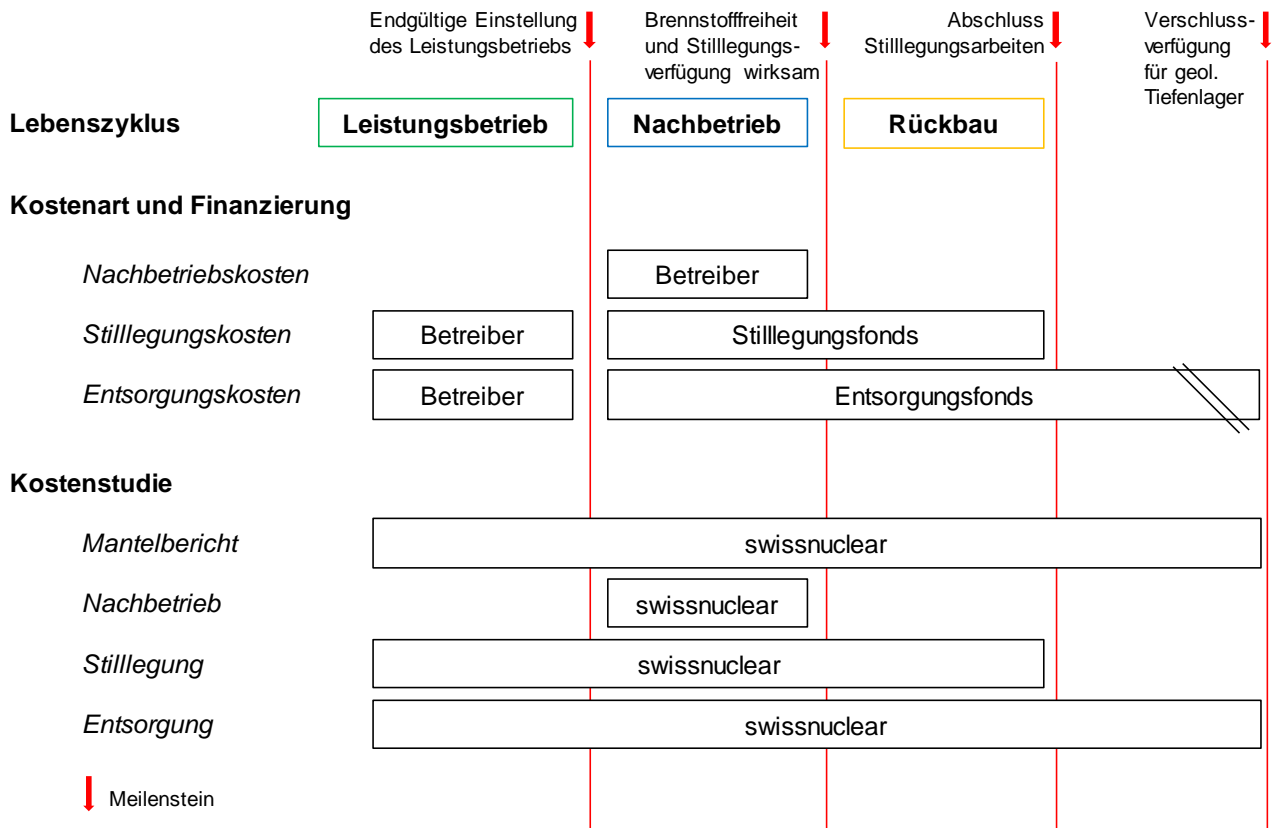


Abbildung 1: Übersicht über die Verknüpfung der Teilberichte und die Finanzierung des Nachbetriebs, der Stilllegung und der Entsorgung, inklusive entsprechender Hauptdokumente der Kostenstudie 2016.

1.2 Gesetzlicher Rahmen

Das Strahlenschutzgesetz [10], die Strahlenschutzverordnung [11], das Kernenergiegesetz [12], die Kernenergieverordnung [13] sowie die Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung [14] regeln die Stilllegung von Kernanlagen und die Entsorgung von radioaktiven Abfällen sowie deren Finanzierung umfassend.

1.2.1 Verursacherprinzip

Die kommerzielle Nutzung der Kernenergie zur Stromproduktion und auch radiologische Anwendungen in Medizin, Industrie, Forschung verursachen radioaktive Abfälle. Im Kernenergiegesetz⁵ 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 werden⁶. Der Abfallverursacher muss für die Kosten der Entsorgung aufkommen.

Die für den Bau und Betrieb von Infrastrukturanlagen zur Lagerung radioaktiver Abfälle in der Pflicht stehenden Abfallverursacher sind somit der Bund, der die radioaktiven Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung gegen eine Gebühr zu übernehmen hat, und die Betreiber der Kernkraftwerke. Die Entsorgungspflicht ist dann erfüllt⁷, 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 Verursacherprinzip⁵ und die Entsorgungspflicht⁷ gelten uneingeschränkt auch für die während des Nachbetriebs anfallenden radioaktiven Abfälle.

1.2.2 Finanzierung der Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten

Die Finanzierung der Stilllegung von Kernanlagen und der Entsorgung der von diesen verursachten radioaktiven Abfälle ist, um dem Verursacherprinzip gerecht zu werden, in der Schweiz weitgehend gesetzlich geregelt; einerseits durch staatlich kontrollierte Fonds und andererseits durch die Verpflichtung der Eigentümer beziehungsweise Betreiber⁸ zu eigener Vorsorge.

Staatlich kontrollierte Fonds

Das Kernenergiegesetz⁹ verpflichtet die Eigentümer der Kernanlagen, einen Stilllegungs- und einen Entsorgungsfonds zu bilden sowie an diese Fonds Beiträge zu leisten.

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

Der Entsorgungsfonds soll die Kosten für die Entsorgung der radioaktiven Betriebsabfälle und der abgebrannten Brennelemente nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs eines Kernkraftwerks decken. Der Entsorgungsfonds wurde im Jahr 2000 gegründet. Im Kernenergiegesetz¹⁰ wird unterschieden zwischen Entsorgungskosten, die während des Betriebs und solchen, die nach Ausserbetriebnahme eines Kernkraftwerks anfallen. Die während des Betriebs anfallenden Entsorgungskosten werden gemäss Kernenergiegesetz¹¹ von den Eigentümern direkt aus eigenen Mitteln bezahlt.

⁵ Art. 31 Abs. 1 KEG [12].

⁶ Art. 27 Strahlenschutzgesetz (StSG) [10].

⁷ Art. 31 Abs. 2 Bst. a KEG [12].

⁸ Die Eigentümer der Schweizer Kernanlagen betreiben diese selbst. Daher betreffen die Verpflichtungen des Betreibers direkt auch den Eigentümer. In der Kostenstudie 2016 werden die Begriffe «Eigentümer» und «Betreiber» als Synonyme verwendet.

⁹ Art. 77 KEG [12].

¹⁰ Art. 77 Abs. 2 KEG [12].

¹¹ Art. 82 KEG [12].

Die beiden Fonds stellen sicher, dass nach endgültiger Ausserbetriebnahme¹² der Kernkraftwerke genügend finanzielle Mittel vorhanden sind, um sämtliche noch ausstehenden Entsorgungs- und Stilllegungsaufwendungen zu decken. Die Bemessung der in den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds zu leistenden Beiträge sowie der Rückstellungen der Eigentümer für die Stilllegung und die Entsorgung erfolgt auf Basis einer umfassenden Schätzung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten. Diese Kosten müssen gemäss Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung¹³ alle fünf Jahre neu geschätzt werden. Als Berechnungsgrundlage wird für die Kernkraftwerke eine Betriebsdauer von 50 Jahren angenommen¹⁴. Für das Kernkraftwerk Mühleberg wird aufgrund der getroffenen Entscheidung, den Leistungsbetrieb 2019 endgültig einzustellen, von 47 Jahren ausgegangen. Für die Bemessung der Fondsbeiträge wird, unabhängig von der tatsächlichen Laufzeit für alle Kernkraftwerke, einschliesslich des Kernkraftwerks Mühleberg, eine Laufzeit von 50 Jahren angenommen¹⁵.

Zusätzlich zur Einzahlungspflicht sieht das Kernenergiegesetz eine Nachschusspflicht der Eigentümer vor¹⁶. Reicht der Anspruch¹⁷ eines Beitragspflichtigen an einen der Fonds zur Deckung der Kosten nicht aus, deckt der Beitragspflichtige die verbleibenden Kosten aus eigenen Mitteln¹⁸. Weist der Beitragspflichtige nach, dass seine Mittel nicht ausreichen, deckt der Stilllegungs- beziehungsweise der Entsorgungsfonds die verbleibenden Kosten mit seinen gesamten Mitteln¹⁹. Übersteigen die Zahlungen eines Fonds zu Gunsten eines Berechtigten dessen Anspruch¹⁷, muss er dem Fonds den Differenzbetrag samt einem marktüblichen Zins zurückbezahlen²⁰. Kann der Berechtigte die Rückerstattung nicht leisten, so müssen die übrigen Beitragspflichtigen und Anspruchsberechtigten des entsprechenden Fonds für den Differenzbetrag aufkommen²¹. 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 beteiligt²².

Die beiden Fonds stehen unter der Aufsicht des Bundesrats²³. Eine von diesem ernannte Verwaltungskommission²⁴ ist das Leitungsorgan der Fonds²⁵. Im Folgenden wird sie kurz als Verwaltungskommission bezeichnet. Sie setzt zur fachlichen Unterstützung zwei Ausschüsse ein, den Anlageausschuss als Steuerungs-, Koordinations- und Überwachungsorgan für die Vermögensbewirtschaftung sowie den Kostenausschuss für die Kostenberechnung und die Auszahlungen. Die Leitungsgremien der Fonds sind mehrheitlich mit Mitgliedern besetzt, die von den Eigentümern der Kernanlagen unabhängig sind²⁶.

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

¹² Unter endgültiger Ausserbetriebnahme eines Kernkraftwerks ist die endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs zu verstehen. Für die Kostenstudie 2016 wird daher die endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs als Startzeitpunkt für die Inanspruchnahme der Mittel aus dem Stilllegungs- und dem Entsorgungsfonds angenommen.

¹³ Art. 4 Abs. 1 Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung (SEFV) [14].

¹⁴ Gemäss Art. 4 Abs. 4 bzw. Art. 8 Abs. 4 SEFV [14].

¹⁵ Art. 9c Abs. 1 SEFV [14].

¹⁶ Art. 80 KEG [12].

¹⁷ Gemäss Art. 78 Abs. 1 KEG [12] hat jeder Beitragspflichtige gegenüber den Fonds einen Anspruch im Umfang seiner geleisteten Beiträge, einschliesslich des Kapitalertrags und abzüglich des Aufwands.

¹⁸ Art. 79 Abs. 1 KEG [12].

¹⁹ Art. 79 Abs. 2 KEG [12].

²⁰ Art. 80 Abs. 1 KEG [12].

²¹ Art. 80 Abs. 2 KEG [12].

²² Art. 80 Abs. 4 KEG [12].

²³ Art. 20 Abs. 2, 29a Abs. 1 SEFV [14].

²⁴ Art. 81 Abs. 2 KEG [12] und Art. 23 SEFV [14].

²⁵ Der Bundesrat hat für den Stilllegungs- und den Entsorgungsfonds ein und dieselbe Verwaltungskommission eingesetzt.

²⁶ Art. 21 Abs. 2, Art. 21a Abs. 1 und Art. 22 Abs. 1^{bis} SEFV [14].

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

Eigene Vorsorge der Eigentümer

Vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs anfallende Entsorgungskosten werden durch die Eigentümer direkt bezahlt. Im November 2015 hat die Verwaltungskommission entschieden, dass in Anlehnung an die Vorgehensweise bei den Entsorgungskosten die vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs anfallenden Stilllegungskosten, wie zum Beispiel das Erstellen des Stilllegungsprojekts und das Erwirken der Stilllegungsverfügung, ebenfalls direkt durch die Eigentümer zu bezahlen sind.

Die mit dem Nachbetrieb verbundenen Aufwendungen – sie entsprechen weder der Definition von Entsorgungskosten²⁷ noch der von Stilllegungskosten²⁸ – sind als (letzter) Teil der Betriebskosten zu betrachten. Auch sie sind, entsprechend dem im Kernenergiegesetz²⁹ verankerten Verursacherprinzip, durch die Eigentümer zu tragen. Der Nachbetrieb wird von den Eigentümern direkt finanziert.

1.2.3 Rückstellungen für Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten

Die Eigentümer bilden in ihren Bilanzen sämtliche Verpflichtungen für zukünftige Aufwendungen zur Stilllegung der Kernanlagen und zur Entsorgung der von diesen verursachten radioaktiven Abfälle ab. Sie bilden dazu auf der Basis der jeweiligen Kostenstudien und gemäss den anzuwendenden Rechnungslegungsvorschriften³⁰ Rückstellungen für den Nachbetrieb, die Stilllegung und die Entsorgung. Im Zusammenhang mit der Prüfung der Jahresrechnung werden die Rückstellungen von einer externen Revisionsstelle testiert³⁰. Während die Festsetzung der Höhe der Fondsbeiträge durch die Verwaltungskommission erfolgt³¹, sind die Eigentümer verantwortlich für die Festlegung der Höhe der Rückstellungen gemäss den entsprechenden Rechnungslegungsvorschriften³⁰.

Die externe Revisionsstelle prüft, ob die Eigentümer Rückstellungen für Stilllegungs- und Entsorgungskosten vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs mindestens in Höhe des von der Verwaltungskommission genehmigten Rückstellungsplans gebildet und zweckgebunden verwendet haben³². Die Höhe und die zweckgebundene Verwendung der Rückstellungen werden jährlich durch die jeweilige Revisionsstelle geprüft³³. Die Eigentümer legen der Verwaltungskommission diesen Prüfbericht vor³⁴.

1.2.4 Kostenstudien der Stilllegungs- und Entsorgungspflichtigen

Zur Schätzung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten werden umfassende Kostenstudien erstellt beziehungsweise aktualisiert. Mit der Aktualisierung der Stilllegungs- und Entsorgungskostenstudien werden jeweils auch die Kosten für den Nachbetrieb neu geschätzt.

Die letzte Schätzung der Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten erfolgte Jahr 2011. Sie wurde vom Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat (Ensi) geprüft und hinsichtlich Stilllegungs- und Entsorgungskosten durch die vom Bundesrat eingesetzte Verwaltungskommission genehmigt. Sie bildet die Grundlage für die Bemessung der Rückstellungen und Fondsbeiträge der Stilllegungs- und Entsorgungspflichtigen in den Jahren 2012–2016.

²⁷ Gemäss Art. 3 SEFV [14].

²⁸ Gemäss Art. 2 SEFV [14].

²⁹ Art. 31 Abs. 1 KEG [12].

³⁰ Art. 960e Obligationenrecht (OR) [19], IFRS [20] bzw. Swiss GAAP FER [21].

³¹ Art. 23 Bst. c SEFV [14].

³² Art. 82 Abs. 2 Bst. c KEG [12].

³³ Vgl. Art. 82 Abs. 3 KEG [12].

³⁴ Art. 19 Abs. 2 SEFV [14].

Die Eigentümer der Schweizer Kernanlagen beauftragten swissnuclear im Jahr 2014, zusammen mit den für die nukleare Entsorgung in der Schweiz verantwortlichen Organisationen die gesetzlich vorgeschriebene Aktualisierung der Kostenstudie erneut vorzunehmen und bis Ende 2016 fertigzustellen sowie dabei insbesondere die von der Verwaltungskommission festgelegten Vorgaben für die Erstellung der Kostenstudie 2016 zu berücksichtigen. Wie bisher hat swissnuclear gleichzeitig auch die Nachbetriebskosten neu geschätzt. Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat und Kostenprüfer im Auftrag der Verwaltungskommission werden wiederum die Kostenstudie 2016 eingehend überprüfen.

1.3 Der Nachbetrieb

1.3.1 Abgrenzung Nachbetrieb und Stilllegung

Der Ablauf der Stilllegung der Schweizer Kernkraftwerke ist im Teilbericht Schätzung der Stilllegungskosten [4] beschrieben, der auf für jede Anlage individuell erstellten Stilllegungsstudien basiert. Diese entsprechen dem in der Kernenergieverordnung³⁵ geforderten Stilllegungsplan.

Das verwendete Stilllegungsmodell setzt einen Zustand der Anlage zu Beginn der Rückbauarbeiten voraus, der sich vom Zustand der Anlage während des Leistungsbetriebs unter anderem dadurch unterscheidet, dass sich keine Brennelemente mehr in der Anlage befinden und dass alle nicht mehr benötigten Betriebsmedien sowie die Betriebsabfälle von der Anlage entfernt sind, beziehungsweise entfernt werden. Direkt nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs beginnt der Nachbetrieb. Abweichend davon sieht das Stilllegungsprojekt für das Kernkraftwerk Mühleberg nach erfolgter endgültiger Ausserbetriebnahme eine weitgehende Parallelisierung von Nachbetrieb und Rückbau vor, die für die Kostenstudie 2016 auch Grundlage zur Ermittlung der Nachbetriebs- und Stilllegungskosten für das Kernkraftwerk Mühleberg ist. Für die Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt wird für die Berechnung der Kosten wie bisher davon ausgegangen, dass die Rückbauarbeiten erst nach Abschluss des Nachbetriebs beginnen.

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 auch Massnahmen zur Vorbereitung der Stilllegung. Die Massnahmen während des Nachbetriebs sind durch die Betriebsbewilligung sowie nach Erlangen der Rechtswirksamkeit der Stilllegungsverfügung durch diese abgedeckt (vergleiche Abbildung 1).

Der Übergang vom Betrieb der Anlage zu Stilllegung und Rückbau lässt sich allgemein anhand von drei Zyklen – Leistungsbetrieb, Nachbetrieb und Rückbau – verdeutlichen (siehe Abbildung 2).

Für die Kostenstudie 2016 wurde durch die Verwaltungskommission die folgende Zuordnung der Aufwendungen zur Kenntnis genommen:

- Massnahmen, die einen infrastrukturbezogenen und damit durchlaufenden Charakter haben (beispielsweise Anlagesicherung), werden zunächst vollständig dem Nachbetrieb zugeordnet. Nach dem Erreichen der Brennstofffreiheit 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 Brennstofffreiheit eines Kernkraftwerks rechtswirksam vorliegt. Sollte dies bis zum Erreichen der Brennstofffreiheit nicht der Fall sein, sind die entsprechenden Massnahmen so lange dem Nachbetrieb zuzuordnen, bis die Stilllegungsverfügung rechtswirksam vorliegt.
- Massnahmen, die bis zum Erreichen der Brennstofffreiheit umsetzbar sind und primär der Aufrechterhaltung der Sicherheit sowie der sicherheitsfördernden Vereinfachung der Anlage dienen, sind grundsätzlich dem Nachbetrieb zuzuordnen, die Kosten dafür daher von den Eigentümern direkt zu bezahlen und nicht im Stilllegungsfonds sicherzustellen.

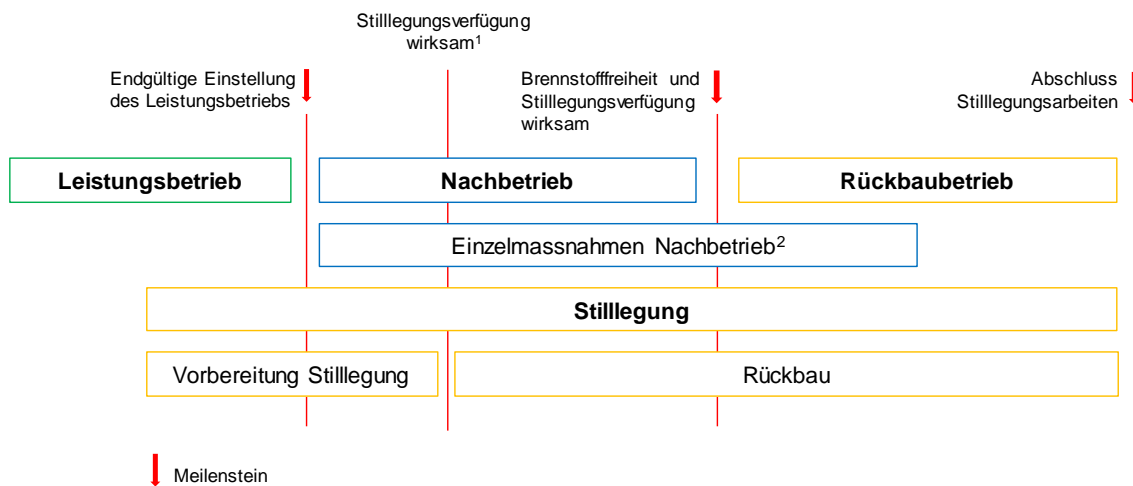
³⁵ Art. 42 Kernenergieverordnung (KEV) [13].

- Rückbaubezogene Massnahmen, die den Rückbau vorbereiten beziehungsweise der Umsetzung des Rückbaus dienen, sind – selbst wenn sie vor dem Erreichen der Brennstofffreiheit anfallen – der Stilllegung zuzuordnen. Umgekehrt sind Massnahmen, die unabhängig vom Rückbau durchzuführen sind (beispielsweise die werksinternen Arbeiten zur Entsorgung auf der Anlage noch vorhandener Betriebsabfälle) von den Rückbauarbeiten beziehungsweise -kosten abzugrenzen und dem Nachbetrieb zuzuordnen. Exemplarisch ist diese Unterscheidung in Abbildung 2 dargestellt.

Während des Nachbetriebs werden alle sicherheitstechnischen Funktionen im Kernkraftwerk aufrechterhalten und die Voraussetzungen und Auflagen für die Betriebsbewilligung eingehalten. Hierzu werden die Kühlung der Brennelemente, die Überwachung, der Strahlenschutz, die Instandhaltung (Inspektion, Wartung, Instandsetzung), die wiederkehrenden Prüfungen, die Administration, Materialwirtschaft und Verwaltung im erforderlichen Masse fortgeführt. Die Aktivitäten erfolgen in zwei Etappen:

- Unmittelbar nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs werden in einem ersten Schritt die sicherheitstechnisch notwendigen Arbeiten der Ausserbetriebnahme durchgeführt, um insbesondere die Kühlung der Brennelemente im Brennelementlagerbecken nachhaltig zu gewährleisten. Zudem werden alle Brennelemente in das Brennelementlagerbecken transportiert. Dort werden sie weiterhin gekühlt und gegen unerwünschte Einwirkungen gesichert aufbewahrt.
- In einem zweiten Schritt werden sämtliche Brennelemente in Transport- und Lagerbehälter verpackt und in ein von der Anlage unabhängiges Lager überführt. Auch die konditionierten Betriebsabfälle werden in ein zentrales 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.

1.3.2 Dauer des Nachbetriebs



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.

Für die bisherigen Kostenstudien wurde modellhaft davon ausgegangen, dass der Nachbetrieb für alle Schweizer Kernkraftwerke einheitlich fünf Jahre dauert. Die Schweizer Kernkraftwerke gingen dabei auf der Grundlage einer konservativen Abschätzung davon aus, dass fünf Jahre nötig sind, um sämtliche sich zum Zeitpunkt der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs im Kernkraftwerk befindlichen Brennelemente in ein externes Nasslager, Zwischenlager, geologisches Tiefenlager oder in eine Wiederaufarbeitungsanlage abzutransportieren. Neuere Untersuchungen unter Berücksichtigung der Zwischenlager an den Standorten (Zwibez in Beznau und Nasslager in Gösgen) sowie der Neuerungen auf dem Gebiet der Transportbehälter haben gezeigt, dass der Abtransport der Brennelemente im Fall der Kernkraftwerke Beznau und Leibstadt innert vier und im Fall des Kernkraftwerks Gösgen bereits innert drei Jahren zu bewerkstelligen ist. Einzig im Kernkraftwerk Mühleberg wird die Brennstofffreiheit nicht früher als innerhalb von fünf Jahren erreicht. Für die Kostenstudie 2016 wird daher die Dauer des Nachbetriebs für das Kernkraftwerk Gösgen auf drei, für die Kernkraftwerke Beznau und Leibstadt auf vier und für das Kernkraftwerk Mühleberg auf fünf Jahre angesetzt.

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

1.4 Betriebsdauer der Kernkraftwerke

Als Berechnungsgrundlage wird für die Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt eine Betriebsdauer von 50 Jahren angenommen³⁶. Für das Kernkraftwerk Mühleberg wird entsprechend dem eingereichten Stilllegungsgesuch eine Betriebsdauer von 47 Jahren angesetzt. Kann ein Kernkraftwerk länger als 50 Jahre betrieben werden, passt das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation die Berechnungsgrundlage an³⁶.

Entsprechend den Vorgaben werden in der Kostenstudie 2016 erstmals die Stilllegungs-, Nachbetriebs- und Entsorgungskosten für eine Betriebsdauer von 50 Jahren und für die Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt auch für eine von 60 Jahren ermittelt und für letztere in einer Differenzbetrachtung³⁷ ausgewiesen. Relevant für die Einzahlungen in den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds bleiben jedoch die Kostenschätzungen basierend auf einer Betriebsdauer von 50 Jahren beziehungsweise 47 Jahren für das Kernkraftwerk Mühleberg³⁸.

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

³⁶ Gemäss Art. 8 Abs. 3 SEFV [14].

³⁷ Da die Betriebsdauer keinen Einfluss auf die Kosten des Nachbetriebs hat, entfällt die Differenzbetrachtung für die Kostenschätzung des Nachbetriebs.

³⁸ Gemäss Art. 4 Abs. 4 SEFV [14].

Tabelle 2: Betriebs- und Stilllegungsdauern der Schweizer Kernkraftwerke, der Zwischenlager an deren Standorten und des zentralen Zwischenlagers der Zwiilag.

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

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

IBN: Inbetriebnahme; EELB: Endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs.

2 Randbedingungen und Annahmen

2.1 Gesetze, Verordnungen, Richtlinien und andere Vorschriften

Als Grundlage für die vorliegende Schätzung der Nachbetriebskosten für die Schweizer Kernkraftwerke dienen die auch in der Stilllegungsstudie [4] aufgeführten und per 1. Januar 2015 rechtsgültigen Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Vorschriften, Normen und Regeln sowie die verwendeten, im Glossar [9] definierten Begriffe. Die absehbaren finanziellen Auswirkungen der geplanten Revision der Strahlenschutzverordnung³⁹ sind in der Kostenschätzung als Gefahr berücksichtigt und der entsprechende Kostenzuschlag ist ausgewiesen.

2.1.1 Grundlegende Gesetze und Verordnungen

- Strahlenschutzgesetz [10].
- Strahlenschutzverordnung [11].
- Kernenergiegesetz [12].
- Kernenergieverordnung [13].
- Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung, SEFV [14].
- Safeguardsverordnung [15] mit zugehörigen Verordnungen des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation über die Gefährdungsannahmen und Sicherungsmassnahmen für Kernanlagen und Kernmaterialien [16] und über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen [17].
- Kernenergiehaftpflichtverordnung [18].
- Obligationenrecht [19] sowie Rechnungslegungsnormen IFRS [20] und Swiss GAAP FER [21].
- Bundesgesetz über die Arbeit in Industrie, Gewerbe und Handel (Arbeitsgesetz, ArG) [22] mit zugehörigen Verordnungen (ArGV 1 [23], ArGV 2 [24], ArGV 3 [25] und ArGV 4 [26]).
- Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten (Verordnung über die Unfallverhütung [VUV]) [27].
- Bundesgesetz über die Unfallversicherung [28] und Verordnung über die Unfallversicherung [29].
- Verordnung über sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen in Kernanlagen [30].
- Verordnung über die Sicherheit von Maschinen [31].
- Verordnung über die Personendosimetrie [32].
- Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen [33].
- Gebührenverordnung des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats [34] und Verordnung über die Gebühren im Strahlenschutz [35].
- Grundlagenpapier des Bundesamts für Gesundheit zur Revision der Verordnungen im Strahlenschutz [36].
- Übrige Gesetze und Verordnungen des Bundes.
- Gesetze und Verordnungen der Standortkantone der Kernkraftwerke.

³⁹ Vgl. Grundlagenpapier zur Revision der Verordnungen im Strahlenschutz [36].

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 Vorschriften 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:

- A01 Anforderungen an die deterministische Störfallanalyse für Kernanlagen: Umfang, Methodik und Randbedingungen der technischen Störfallanalyse [37].
- A04 Gesuchsunterlagen für freigabepflichtige Änderungen an Kernanlagen [38].
- A05 Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Qualität und Umfang [39].
- A06 Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Anwendung [40].
- A08 Quelltermanalyse: Umfang, Methodik und Randbedingungen [41].
- B01 Alterungsüberwachung [42].
- B02 Periodische Berichterstattung der Kernanlagen [43].
- B03 Meldungen der Kernanlagen [44].
- B04 Freimessen von Materialien und Bereichen aus kontrollierten Zonen [45].
- B05 Anforderungen an die Konditionierung radioaktiver Abfälle [46].
- B06 Sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen: Instandhaltung [47].
- B09 Ermittlung und Aufzeichnung der Dosis strahlenexponierter Personen [48].
- B10 Ausbildung, Wiederholungsschulungen und Weiterbildung von Personal [49].
- B11 Notfallübungen [50].
- B12 Notfallschutz in Kernanlagen [51].
- B13 Ausbildung und Fortbildung des Strahlenschutzpersonals [52].
- G01 Sicherheitstechnische Klassierung für bestehende Kernkraftwerke [53].
- G04 Auslegung und Betrieb von Lagern für radioaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente [54].
- G05 Transport- und Lagerbehälter für die Zwischenlagerung [55].
- G07 Organisation von Kernanlagen [56].
- G08 Systematische Sicherheitsbewertungen des Betriebs von Kernanlagen [57].
- G09 Betriebsdokumentation [58].
- G11 Sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen: Planung, Herstellung und Montage [59].
- G13 Messmittel für ionisierende Strahlung [60].
- G14 Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung aufgrund von Emissionen radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen [61].
- G15 Strahlenschutzziele für Kernanlagen [62].
- G17 Stilllegung von Kernanlagen [63].
- R-07 Richtlinie für den überwachten Bereich der Kernanlagen und des Paul Scherrer Instituts [64].
- R-12 Erfassung und Meldung der Dosen des strahlenexponierten Personals der Kernanlagen und des Paul Scherrer Instituts [65].
- R-30 Aufsichtsverfahren beim Bau und Betrieb von Kernanlagen [66].
- R-46 Anforderungen für die Anwendung von sicherheitsrelevanter rechnerbasierter Leittechnik in Kernkraftwerken [67].

- R-50 Sicherheitstechnische Anforderungen an den Brandschutz in Kernanlagen [68].
- R-101 Auslegungskriterien für Sicherheitssysteme von Kernkraftwerken mit Leichtwasser-Reaktoren [69].
- R-102 Auslegungskriterien für den Schutz von sicherheitsrelevanten Ausrüstungen in Kernkraftwerken gegen die Folgen von Flugzeugabsturz [70].
- R-103 Anlageinterne Massnahmen gegen die Folgen schwerer Unfälle [71].
- KE-R-15 Sicherheitstechnische Anforderungen an die Sicherung von Kernanlagen [72].
- Kanton 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 [73].
- The Management System for Facilities and Activities – Safety Requirements, IAEA Safety Standards Series No. GS-R-3 [74].
- Application of the Management System for Facilities and Activities – Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-3.1 [75].
- Organization and Management for Decommissioning of Large Nuclear Facilities, IAEA Technical Reports Series No. 399 [76].
- Decommissioning of Facilities Using Radioactive Material, Safety Requirements, IAEA Safety Standards Series No. WS-R-5 [77].
- Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. WS-G-2.1 [78].
- Release of Sites from Regulatory Control on Termination of Practices Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. WS-G-5.1 [79].
- Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors and other Nuclear Fuel Cycle Facilities, Safety Guide, IAEA Safety Standards under development No. DS452 [80].
- Decommissioning Strategies for Facilities Using Radioactive Material, IAEA Safety Reports Series No. 50 [81].
- State of the Art Technology for Decontamination and Dismantling of Nuclear Facilities, IAEA Technical Report Series No. 395 [82].
- Financial Aspects of Decommissioning, IAEA Safety Related Publications TECDOC-1476 [83].
- Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants – an Internal Overview of Cost Elements, Estimation Practices and Reporting Requirements OECD NEA No. 6831 [84].
- International Structure for Decommissioning Costing (ISDC) of Nuclear Installations, OECD NEA No. 7088 [85].
- Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants, OECD NEA No. 7201 [86].
- Baseline Management System Programme Controls Procedures, United Kingdom Nuclear Decommissioning Authority NDA Doc No PCP-M [87].
- Cost Estimating Guide, U.S. Department of Energy DOE G 413.3-21 [88].

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) [89].
- Übereinkommen über den internationalen Eisenbahnverkehr (COTIF 1980) [90].
- Ordnung für die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter (RID) [91].

Für den Strassentransport

- Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (SDR) [92].
- Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (ADR) [93].

Vorschriften und Empfehlungen der IAEA:

- Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, Specific Safety Requirements (2012 Edition), IAEA Safety Standards Series No. SSR-6 [94].
- 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 [95].
- Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material (2012 Edition), IAEA Specific Safety Requirements No. TS-R-1 [96].
- Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. TS-G-1.1 (Revision1) [97].

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).

2.1.5 Begriffe

Die Berichte zur Kostenstudie 2016 enthalten zahlreiche Fachbegriffe. Diese wurden in einem Glossar [9] zusammengestellt und erläutert. Das Glossar ist Bestandteil der Kostenstudie.

2.2 Randbedingungen und Annahmen zum Nachbetrieb

Für die Schätzung der Nachbetriebskosten waren eine Reihe von Randbedingungen, Annahmen und Eingangsdaten festzulegen, die eine Kostenschätzung für ein Projekt überhaupt erst ermöglichen. Die Festlegungen dienen ebenfalls als Basis für die Stilllegungsschätzung der Kostenstudie 2016.

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

1. Der Nachbetrieb folgt unmittelbar im Anschluss an die endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs.
2. Für die Kostenstudie 2016 wird davon ausgegangen, dass die Stilllegungsverfügung spätestens mit Erreichen der Kernbrennstofffreiheit, jedoch möglicherweise schon vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs rechtswirksam ist.
3. Die Massnahmen des Nachbetriebs sind langfristig vorgeplant und unterstellen einen bestimmungsgemässen Betrieb.
4. Es wird davon ausgegangen, dass keine den üblichen Zeitbedarf für Prüfungen und Freigabeverfahren übersteigende, durch Behörden verursachte Verzögerungen auftreten.
5. Es wird unterstellt, dass die Aufsichtsbehörde den Fortgang der Arbeiten über den gesamten Zeitraum des Nachbetriebs beobachtet und begleitet.
6. 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 Freigabewerte liegt. Als Grundlage hierfür gelten die in der gültigen Schweizer Strahlenschutzverordnung [11] aufgeführten Freigabewerte (Freigrenzen [LE], Richtwerte [CS] und Dosisleistung $\leq 0.1 \mu\text{Sv/h}$ in 10 cm Abstand von der Oberfläche).
7. Die im Nachbetrieb eingesetzten Verfahren und Geräte entsprechen dem heutigen Stand der Technik.
8. 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).
9. Die anfallenden radioaktiven Abfälle werden nach den zurzeit in der Schweiz gültigen Regelwerken (zum Beispiel Ensi Richtlinie B05 [46]) beziehungsweise Vereinbarungen mit der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) konditioniert.
10. Die Behälter für die Verpackung der Brennelemente und der radioaktiven Abfälle⁴⁰ werden in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt. Deren Kosten werden in der Entsorgungskostenstudie [3] ermittelt.

⁴⁰ Mit 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).

11. Die im Kernkraftwerk Beznau vorhandenen Brennelemente werden zur Zwischenlagerung in das am Standort errichtete Zwischenlager Zwibez und die im Kernkraftwerk Gösgen vorhandenen in das am Standort errichtete Nasslager 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 Gösgen.
12. Die Kosten für den Betrieb des Zwischenlagers Zwibez des Kernkraftwerks Beznau beziehungsweise des Nasslagers des Kernkraftwerks Gösgen während des Nachbetriebs sind in den Nachbetriebskosten der Kernkraftwerke Beznau beziehungsweise Gösgen enthalten.
13. Die im Nachbetrieb anfallenden Personal- und Sachkosten werden auf Basis der Betriebskosten der Schweizer Kernkraftwerke abgeschätzt.
14. 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. Allerdings gelten die hier dokumentierten Überlegungen zum Nachbetrieb nahezu unverändert ebenfalls für den Fall des späteren Rückbaus nach einem gesicherten Einschluss, da vorausgesetzt wird, dass der betriebliche Zustand der Anlage zu Beginn der Arbeiten zur Herleitung eines sicheren Einschlusses vergleichbar dem Zustand bei einem sofortigen Rückbau ist. Der Einfluss der Art des Rückbaus (sofort oder später) auf die Nachbetriebskosten ist daher marginal.
15. Grundlage der Preisschätzungen für die Kostenstudie 2016 sind die erwarteten Kosten⁴¹ zur Preisbasis 1. Januar 2016.
16. Für die Kostenermittlung werden die von der Verwaltungskommission angenommenen, langfristigen Fremdwährungswechselkurse verwendet:
EUR/CHF = 1.20; USD/CHF = 1.00; GBP/CHF = 1.50; SEK/CHF = 0.13.
17. Für die Darstellung der Ergebnisse der Kostenschätzung wird die von einer Arbeitsgruppe der swissnuclear erarbeitete und von der Verwaltungskommission genehmigte Kostenstruktur verwendet.
18. Bei der Kostenschätzung 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 – falls erforderlich – einen Sicherheitszuschlag beinhaltet. Die Kosten werden realistisch, jedoch ohne zusätzliche Sicherheitszuschläge nach bestem Expertenwissen zu heutigen Marktpreisen geschätzt.
19. Um der mit der Berechnung der Kosten für den Nachbetrieb verbundenen Unsicherheit Rechnung zu tragen, werden die Nachbetriebskosten in regelmässigen Abständen neu berechnet. Die Kostenschätzung erfolgt jeweils auf Basis einer bestmöglichen Berücksichtigung aktueller technisch-wissenschaftlicher Erkenntnisse und gestützt auf die zum Zeitpunkt der Berechnung gültigen Preise.

⁴¹ So genannte «Overnight» Kosten.

3 Methodik der Kostenschätzung

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

3.1 Kostenstruktur

In Abstimmung mit der Verwaltungskommission hat eine von swissnuclear eingesetzte Arbeitsgruppe einheitliche, vergleichbare und abwicklungsorientierte Kostenstrukturen erarbeitet. Sie basieren auf den Vorgaben für die Erstellung der Kostenstudie 2016 betreffend verbindlicher Kostenstrukturen, welche die Voraussetzungen für eine transparente Kostenplanung, aussagekräftige Kostenvergleiche, ein effektives Kostencontrolling sowie einen effizienten Abwicklungsprozess zur Inanspruchnahme von Fondsmitteln schaffen sollen. 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. Zur Entwicklung und Ausgestaltung der von der Verwaltungskommission Ende 2014 zur Umsetzung genehmigten Kostenstrukturen sei auf den Mantelbericht [1] verwiesen.

Die Kostenstrukturen grenzen die der Stilllegung und Entsorgung und damit die der Sicherstellung durch die Fonds zuordenbaren Tätigkeiten und Massnahmen von allen anderen ab. Sie ermöglichen insbesondere auch die Abgrenzung der Nachbetriebs- von den Stilllegungskosten.

Die Kostenstrukturen 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 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.

Die Betreiber schätzen den Personalbedarf im Nachbetrieb sowie die anfallenden Sachkosten auf der Basis der Betriebskosten des jeweiligen Kernkraftwerks. Daraus werden mittels zeitlich variierender Reduktionsfaktoren die Kosten über den gesamten Zeitraum des Nachbetriebs berechnet. Die Methode und die Reduktionsfaktoren basieren auf der Erfahrung der Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH, die seit mehr als 35 Jahren auf dem Gebiet des Nachbetriebs und der Stilllegung kerntechnischer Anlagen arbeitet.

Die geschätzten Kosten werden für alle Kernkraftwerke nach einheitlichen Kriterien ermittelt. Aber auch werkspezifische Faktoren werden von der Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH berücksichtigt. Das Ergebnis ist eine für alle Werke nahezu identische Kostenstruktur auf den Gliederungsebenen eins bis drei. Während die Anforderung der Einheitlichkeit auch bei früheren Kostenstudien weitgehend erfüllt war, waren dort die auf dem damaligen Rechenmodell basierenden Kostenstrukturen speziell auf die Kostenschätzung in einem frühen Stadium ausgerichtet. Sie eignen sich deshalb nur sehr bedingt für die zum damaligen Zeitpunkt noch nicht geforderte, detaillierte, aktivitätsorientierte Darstellung der Stilllegungs- und Nachbetriebskosten.

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.

Eine wesentliche Neuerung ist die detaillierte Darstellung der Personalkosten. Während sie in der Kostenstudie 2011 als eigener Kostenblock dargestellt wurden, sind sie in der Kostenstudie 2016 entsprechend der Zuordnung zu Organisationseinheiten in den jeweiligen Nachbetriebsaktivitäten dargestellt.

3.2 Kostengliederung

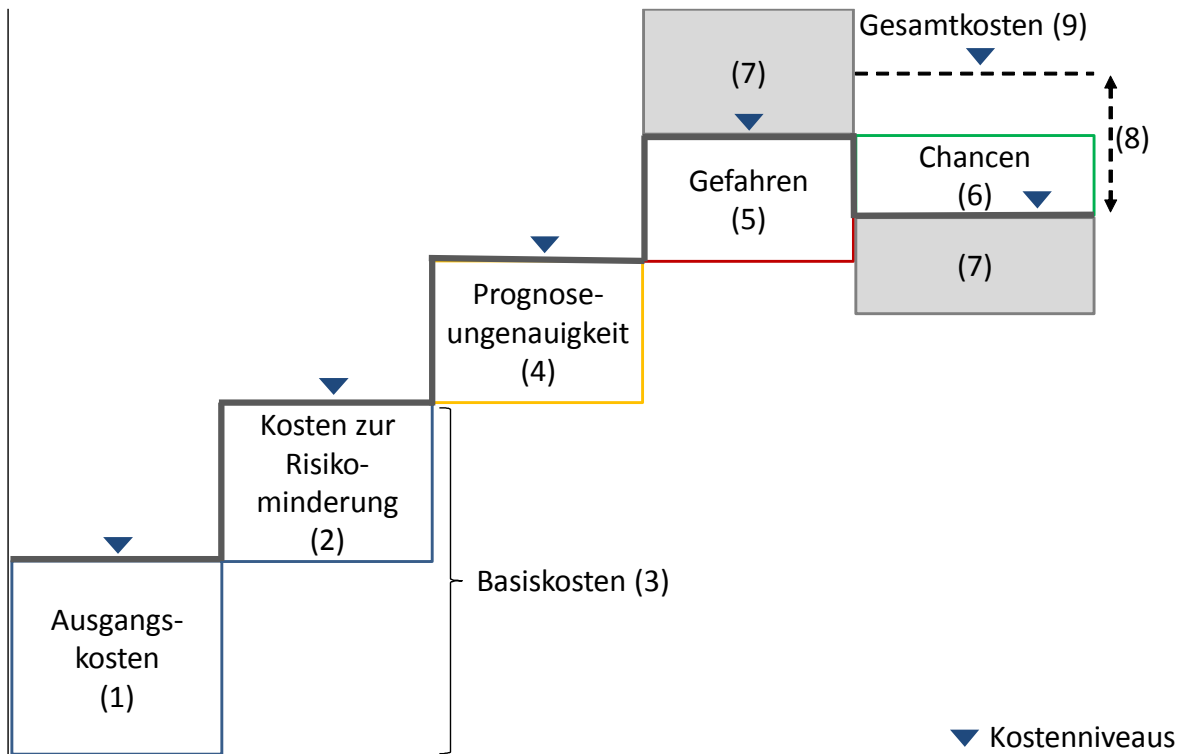
Die Kostengliederung soll die bei Kostenschätzungen unvermeidlichen Risiken und Ungewissheiten berücksichtigen. Die Kostengliederung ist vom Begriff der Kostenstruktur abzugrenzen. Während die Kostenstrukturen den Projektstrukturplan definieren, der den berechneten Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten 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 – falls erforderlich – einen Sicherheitszuschlag.

3.2.1 Vorgaben zur Kostengliederung

Die Kostengliederung basiert auf den Empfehlungen der Plausibilisierung der Kostenstudie 2011 für den Bereich Entsorgung. Die bisherigen Kostenschätzungen beruhten auf Punktschätzungen⁴² für die einzelnen Bereiche Nachbetrieb, Stilllegung und Entsorgung. Die mit der Durchführung der Plausibilisierung der Entsorgungskosten in der Kostenstudie 2011 beauftragten, auf dem Gebiet der nuklearen Entsorgung und auf Projektmanagement spezialisierten Beratungsunternehmen haben vorgeschlagen, die Kostenschätzungen differenzierter darzustellen: Neben den zu erwartenden Projektkosten sind auch die beinhalteten Zuschläge für projekthäufige Unsicherheiten transparent darzulegen und zu quantifizieren. Die Verwaltungskommission hat den im Plausibilisierungsbericht zu den Entsorgungskosten der Kostenstudie 2011 enthaltenen Entwurf zu der in Abbildung 3 dargestellten Kostengliederung weiterentwickelt. Diese ist Bestandteil der Vorgaben für die Kostenstudie 2016.

⁴² «Best Estimate» Schätzungen.

Die einzelnen, in Abbildung 3 dargestellten Kostenelemente, die aufsummiert zu Kostenniveaus führen und in den Kostenstudien abzubilden sind, wurden von der Verwaltungskommission wie folgt definiert⁴³:



(7) Kostenfolgen nicht berücksichtigter Chancen und Gefahren

Abbildung 3: Kostengliederung für die Kostenstudie 2016 mit insgesamt 9 Kostenelementen, die additiv zu den einzelnen Kostenniveaus und schlussendlich zu den Gesamtkosten führen.

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.

⁴³ Die 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.

Basiskosten (3)

Ausgangskosten plus Kosten zur Risikominderung (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 Kostenstudie 2016 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 in Abhängigkeit von der jeweils vorhandenen Schätzgenauigkeit zu beziffern; 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)

Als Kostenzuschläge infolge der Berücksichtigung von absehbaren Gefahrenpotenzialen gelten 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 ist der entsprechende Erwartungswert (Risikowert) in die Gesamtkosten eingerechnet.

Kostenabzüge für Chancen (6)

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

- Neue Technologien.
- Alternative Konzepte.

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

Kostenfolgen 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-oder Black-Swan-Ereignisse) werden in den Gesamtkosten nicht berücksichtigt, jedoch identifiziert, separat erfasst und mit grob geschätzten, absoluten Kosten beziffert.

Sicherheitszuschlag (8)

Projektverantwortliche zeigen in der Regel eine systematische Tendenz («optimism bias»), entscheidende Schlüsselgrössen eines Projekts mit zu grossem Optimismus zu prognostizieren, das heisst Kosten und Zeitdauern zu unterschätzen und erwarteten Nutzen zu überschätzen. Diesem Umstand soll mit einem «Top-down» Sicherheitszuschlag Rechnung getragen werden, der separat auszuweisen und zu begründen ist.

Gesamtkosten (9)

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

3.2.2 Umsetzung der Kostengliederung

Die Kostengliederung wurde auf sämtliche Bereiche der Kostenstudie angewendet. Die Herangehensweisen für die drei Teilbereiche Nachbetrieb, Stilllegung und Entsorgung sind vergleichbar und erfüllen die im Kapitel 3.2.1 dargestellten Vorgaben. Zudem wurden bei dem hier vorgestellten Konzept zur Umsetzung der Kostengliederung auch die Empfehlungen internationaler Fachorganisationen berücksichtigt, die sich mit der Frage von Unsicherheiten der Planung oder mit externen Risikofaktoren bei Kostenstudien im nuklearen Umfeld beschäftigen⁴⁴. Die in der relevanten Literatur beschriebenen Best Practice-Methoden zur Risikoanalyse sehen sowohl Massnahmen der quantitativen wie auch der qualitativen Risikoanalyse vor. Beide Verfahren haben Eingang in die Umsetzung der Kostengliederung gefunden.

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

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

⁴⁴ S. z.B. OECD NEA: Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants [86].

Ausgangskosten

Die Ausgangskosten stellen den Erwartungswert einer Kostenschätzung ohne Zuschläge für Unsicherheiten und Risiken dar. Sie entsprechen in der Kostengliederung einem untersten Niveau, das sich bei einem optimalen, abweichungsfreien Projektablauf ergibt. Weder Kosteneffekte, die durch zeitliche Verschiebungen in der Projektabwicklung zu Abweichungen von der ursprünglichen Kostenplanung führen, noch solche, die auf Unsicherheiten in der Planung oder auf eingetretene Gefahren beziehungsweise Chancen zurückzuführen sind, werden berücksichtigt. Sofern sich in den Grundlagen für eine Kalkulation inhärente Zuschläge für Ungewissheiten und Risiken befinden, müssen diese bei der Ermittlung der Ausgangskosten identifiziert, quantifiziert und den entsprechenden Elementen der Kostengliederung sachgerecht zugeführt werden.

Beim Ermitteln der Ausgangskosten für die Kostenschätzung des Nachbetriebs der Schweizer Kernkraftwerke werden sämtliche Positionen⁴⁵ der vorgegebenen Kostenstrukturen kalkuliert. Dabei handelt es sich einerseits um betriebsbezogene Kostenelemente, die den Nachbetrieb kostenmässig erfassen, und andererseits gegebenenfalls um projektbezogene Tätigkeiten zur Planung von Nachbetriebstätigkeiten, wie zum Beispiel Systemausserbetriebnahmen.

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

Ein Beispiel für eine solche Differenzierung zwischen Ausgangskosten und anderen Elementen der Kostengliederung ist die Anpassung der Nachbetriebsdauer für die Kernkraftwerke Beznau, Leibstadt und Gösgen. Die bisherigen Kostenstudien gingen einheitlich von einer konservativ abgeschätzten Nachbetriebsdauer von fünf Jahren aus. In der Kostenstudie 2016 wurde eine differenziertere Betrachtung der Nachbetriebsdauern angestellt. Im Kernkraftwerk Mühleberg wird – aufgrund von Erwägungen hinsichtlich der Logistik des Transports der Brennelemente zum zentralen Zwischenlager – weiterhin von einem fünfjährigen Nachbetrieb ausgegangen. Bei den Kernkraftwerken Beznau und Leibstadt kann die Nachbetriebsdauer auf vier Jahre reduziert werden, da technische Abklärungen der zu erwartenden Verfügbarkeit von Transport- und Lagerbehältern und der Entladungsplanung der Brennelementelagerbecken ergeben haben, dass das Erreichen der Brennstofffreiheit innerhalb dieser Zeit möglich ist. Beim Kernkraftwerk Gösgen reichen dafür drei Jahre, da es über ein externes Nasslager für abgebrannte Brennelemente verfügt. Sämtliche dieser Annahmen zur Nachbetriebsdauer setzen voraus, dass innerhalb der vorgesehenen Zeit auch eine rechtswirksame Stilllegungsverfügung erlangt werden kann. Kürzere oder längere Nachbetriebsdauern aufgrund unterschiedlicher Ursachen werden als Chancen beziehungsweise Gefahren ausgewiesen. Sie finden daher in den Ausgangskosten keine Berücksichtigung.

Kosten zur Risikominderung

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

⁴⁵ Dies entspricht der Vorgabe der Verwaltungskommission, dass die Kosten «Bottom-up» zu kalkulieren sind.

Basiskosten

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

Prognoseungenauigkeiten

Jedes einzelne Element im Projektstruktur-Plan wird bezüglich Dauer und Kosten⁴⁶ geschätzt. Dies führt zu einem Erwartungswert, der mit empirischen Vergleichswerten aus laufenden und abgeschlossenen Stilllegungen anderer Kernanlagen verglichen und plausibilisiert sowie der spezifischen Situation in der jeweiligen Kernanlage angepasst wird. Die aus diesen Vergleichswerten abgeleiteten Kalkulationsfaktoren sind statistisch als Mittelwerte zu interpretieren.

Im gegenwärtigen, den Kostenschätzungen zugrundeliegenden Planungsstadium sind die für die einzelnen Projektstruktur-Plan-Elemente vorgesehenen Tätigkeiten mit unterschiedlichen Graden der Planungsunsicherheit belegt. Für die Bestimmung des Zuschlags für Prognoseungenauigkeiten sind die relevanten Unsicherheiten für jedes einzelne Projektstruktur-Plan-Element abzuschätzen. Dazu werden Toleranzgrenzen für mögliche Ergebnisschwankungen der Schätzung definiert, welche die spezifische Planungsunsicherheit des betreffenden Elements ausdrücken und dabei ein sehr breites Spektrum des Erfahrungshorizonts eines Kostenschätzers abdecken.⁴⁷

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

⁴⁶ Der Projektstruktur-Plan für die Schätzung der Nachbetriebskosten ist in Kapitel 3.1 erläutert.

⁴⁷ Grundsätzlich können auch Ergebnisse ausserhalb der festgelegten Toleranzgrenzen auftreten, aber die Eintrittswahrscheinlichkeit dafür ist so klein, dass solche Ergebnisse für die Kostenschätzung vernachlässigbar sind.

Für die Kostenstudie 2016 hat sich gezeigt, dass vier Toleranzgrenzen⁴⁸ das vorhandene Spektrum an Unsicherheiten gut abdecken und die Realität ausreichend genau abbilden. Die Toleranzgrenzen orientieren sich dabei weitestgehend an Empfehlungen in der relevanten Literatur⁴⁹. Eine feinere Unterteilung ist nicht sinnvoll, da aufgrund statistischer Ausgleichseffekte das Ergebnis der Kostenschätzung nicht signifikant beeinflusst wird. Eine Vielzahl unterschiedlicher Toleranzgrenzen würde die Bestimmung des Zuschlags für Prognoseungenauigkeiten sehr erschweren und die Qualität der Schätzung nicht verbessern. Ausserdem reagiert das Ergebnis der Kostenschätzung nicht sensitiv auf Fehleinschätzungen in einzelnen Projektstruktur-Plan-Elementen.

Die Kosten eines Projektstruktur-Plan-Elements unterliegen einer statistischen Schwankung. Sie sind mit einer Zufallsvariable zu beschreiben. Mittels Schätzung des Mittelwerts sowie einer oberen und unteren Toleranzgrenze lassen sich die Kosten mit einer Wahrscheinlichkeitsfunktion beschreiben. Die Kostenschätzung insgesamt entspricht der Summe der Kosten aller Projektstruktur-Plan-Elemente. Da die Schätzung für jedes dieser Elemente eine unsichere Grösse (Zufallsvariable) ist, sind auch die summierten Kosten unsicher und können ebenfalls mit einer Wahrscheinlichkeitsverteilung beschrieben werden. Die aus den einzelnen Verteilungen der Projektstruktur-Plan-Elemente zusammengesetzte Verteilung der summierten Kosten kann näherungsweise sehr gut durch eine fast symmetrische Lognormalverteilung⁵⁰ beschrieben werden.

Wenn die Projektstruktur-Plan-Elemente unabhängig sind und nicht einzelne Elemente die Kostenberechnung dominieren, geht die Unsicherheit bei einer grossen Anzahl an von Elementen gegen Null. In einem komplexen Projektstruktur-Plan bestehen jedoch zahlreiche terminliche und sachliche Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Projektstruktur-Plan-Elementen. Damit stehen viele dieser Elemente 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 Projektstruktur-Plan-Elementen führen zu einer Vergrösserung der Unsicherheiten im Ergebnis. Die Konvergenz der Unsicherheit verringert sich. Die Abhängigkeiten führen dazu, dass eine analytische Lösung zur Bestimmung des Zuschlags für Prognoseungenauigkeiten nicht ohne weiteres zu berechnen ist. Daher wird als methodisches Hilfsmittel für die Zuschlagsermittlung eine einfache Monte-Carlo-Simulation⁵¹ zur Bestimmung der Wahrscheinlichkeitsverteilung der summierten Kosten verwendet.

⁴⁸ Klasse A: - 5 % / + 5 %, Klasse B: - 10 % / + 15 %, Klasse C: - 20 % / + 30 %, Klasse D: - 30 % / + 50 % in Anlehnung an aktuelle Ausarbeitungen von IAEA [83], OECD/NEA [86] und US Department of Energy [88] für die Beschreibung von Unsicherheiten bei der Kostenschätzung 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.

⁴⁹ S. z.B. US DOE, Cost Estimating Guide 413.3.21 [88]; IAEA, Financial Aspects of Decommissioning, TECDOC-1476 [83] etc.

⁵⁰ Die Lognormalverteilung ist eine kontinuierliche Wahrscheinlichkeitsfunktion positiver reeller Zahlen und wird z.B. in der Versicherungswirtschaft bei der Modellierung von Schadenshöhen benutzt.

⁵¹ Die 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 Projektstruktur-Plan-Elements als Zufallszahlen innerhalb der zuvor definierten Toleranzgrenzen generiert. Diese zufälligen Werte können für die weiteren Berechnungen als unabhängige Einzelgrössen behandelt werden. Bei der Simulation der Zufallszahlen mittels der Monte-Carlo-Methode lassen sich beliebige Wahrscheinlichkeitsverteilungen und beliebige Abhängigkeitsstrukturen zwischen den Werten berücksichtigen. Das Ergebnis der Simulation ist eine Vielzahl von Einzelergebnissen, die in ihrer Gesamtheit Schlüsse auf die statistischen Eigenschaften des Gesamtergebnisses zulässt.

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

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

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

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

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

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

Kostenabzüge für Chancen und Kostenzuschläge für Gefahren

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

Gemäss Vorgabe der Verwaltungskommission wurden die Kostenzuschläge für Gefahren auf der Basis einer quantitativen Risikoanalyse ermittelt. Dazu musste für jede relevante Gefahr deren Eintrittswahrscheinlichkeit und Kostenfolge aufgrund von Expertenwissen abgeschätzt werden. Auch die Bewertung der Gefahren und Chancen hinsichtlich Eintrittswahrscheinlichkeit und Risikoausmass unterliegt einer Unsicherheit. Zur Berücksichtigung dieser Unsicherheit und zur Ermittlung des Kostenzuschlags für Gefahren beziehungsweise des Kostenabzugs für Chancen wurde die gleiche Vorgehensweise wie bei der Ermittlung des Zuschlags für Prognoseungenauigkeiten gewählt.

Die einzelnen Gefahren und Chancen sind diskrete Ereignisse, deren Eintreten unabhängig vom Eintreten anderer Chancen und Gefahren ist. Im Rahmen der Risikoanalyse wurde eine Vielzahl von Risikoszenarien untersucht. Diese wurden hinsichtlich ihrer Relevanz (Auslöser, Eintrittswahrscheinlichkeit, Schadensbeziehungsweise Chancenpotenzial) untersucht. Die Beschreibung der Gefahren und Chancen, die Bewertung von Gefahrenausmass und Chancenpotenzial sowie der Eintrittswahrscheinlichkeiten erfolgten im Rahmen von mehreren Expertenworkshops, an denen Vertreter sämtlicher Kernanlagen beteiligt waren. Zwei Unternehmen mit fundierter Erfahrung mit konkreten nuklearen Rückbauprojekten haben im Auftrag der swissnuclear die so erarbeitete Bewertung der Gefahren und Chancen validiert.

Ein mit unabhängigen Vertretern aus Wissenschaft und Industrie besetztes Risikoboard sichtete und kommentierte die Ergebnisse der Workshops und auch die der Validierung. Die Empfehlungen des Risikoboads flossen anschliessend in die Bewertung der Gefahren und Chancen ein.

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

Das Eintreten von Gefahren und Chancen ist unsicher, und die Anzahl der berücksichtigten Chancen und Gefahren ist begrenzt. Es ist nicht zu erwarten, dass alle Gefahren und Chancen im Projektverlauf eintreten werden. Mittels Monte-Carlo-Simulation⁵² wurde untersucht, inwieweit der Saldo aus Gefahrenzuschlägen und Chancenabzügen die möglichen Kostenfolgen unterschiedlichster Eintrittsszenarien von Gefahren- beziehungsweise Chancenkombinationen abdeckt. Die Untersuchung hat ergeben, dass die Kostenfolgen der häufigsten Gefahren- beziehungsweise Chancenkombinationen mit dem festgelegten Zuschlag, der sich rechnerisch als Differenz des Zuschlags für Gefahren und des Abzugs für Chancen ergibt, hinreichend abgedeckt sind.

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

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

Kostenfolgen von nicht berücksichtigten Gefahren und Chancen

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 eine Milliarde Franken.

⁵² Die Monte-Carlo-Simulation für die Chancen und Gefahren unterscheidet sich von derjenigen für die Prognoseungenauigkeiten. Für die Bestimmung des Zuschlags für Prognoseungenauigkeiten werden die Ergebnisse der Projektstruktur-Plan-Elemente der Kalkulation des Kostenschätzers einer Monte-Carlo-Simulation unterzogen. Bei den Chancen und Gefahren sind es die Risikowerte, die sich als Ergebnisse der Ereignisbäume für die einzelnen Chancen und Gefahren ergeben.

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

Sicherheitszuschlag

Der Sicherheitszuschlag soll der Neigung von Projektanten Rechnung tragen, besonders in frühen Projektphasen Risiken und Kosten systematisch zu unterschätzen und eigene Leistungen sowie Leistungen Dritter zu überschätzen⁵³. Mit den anderen Elementen der Kostengliederung, der Berücksichtigung risikomindernder Massnahmen, dem Zuschlag für Prognoseungenauigkeiten, dem Zuschlag für Gefahren und dem Abzug für Chancen, wurden eine Reihe wirksamer Instrumente eingeführt, um einer allfälligen Neigung zu unberechtigtem Optimismus in der Kostenschätzung entgegen zu wirken. Diese Instrumente entsprechen den Empfehlungen internationaler Organisationen, wie OECD-NEA und IAEA, für die Berücksichtigung von Unsicherheit in der Kostenschätzung für Stilllegungsprojekte⁵⁴. Damit deckt die Kostengliederung den aktuellen Stand der Diskussion zu diesem Thema umfassend ab.

Die Kostenschätzungen für Nachbetrieb und Stilllegung wurden nicht durch die Betreiber der Kernanlagen, sondern durch einen unabhängigen Gutachter durchgeführt. Seine Kostenschätzungen werden regelmässig von Wirtschaftsprüfern im Hinblick auf ihre Plausibilität und Belastbarkeit untersucht. Als Input für die Schätzung der Betriebskosten in Nachbetrieb und Stilllegung dienen Angaben der Betreiber zu den jährlichen, im Leistungsbetrieb entstehenden Kosten, die auf langjähriger, vielfach verifizierter Erfahrung der Betreiber basieren.

Die Kostenschätzungen für die Rückbauaktivitäten werden durch den externen Gutachter mit Ist-Kosten aus laufenden und abgeschlossenen Stilllegungsprojekten plausibilisiert. Deshalb ist nicht zu erwarten, dass der externe Gutachter die zu erwartenden Kosten systematisch unterschätzt.

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

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

⁵³ In den Vorgaben der Verwaltungskommission zur Kostengliederung 2016 wird dies als «optimism bias» bezeichnet.

⁵⁴ S. z.B. OECD NEA, Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants [86]; US DOE, Cost Estimating Guide 413.3.21 [88]; IAEA, Financial Aspects of Decommissioning, TECDOC-1476 [83] etc.

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 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 Reduktionsfaktoren angesetzt, die auf Erfahrungen in aktuellen Stilllegungen basieren. Mittels der Reduktionsfaktoren und der Kostenangaben des Betreibers werden die Kosten eines mittleren Nachbetriebsjahrs ermittelt. Der Personal- und Sachaufwand während des Nachbetriebs nimmt durch Aufgabenverschiebungen und Ausserbetriebnahmen von Systemen ab, das heisst die Kosten sind realistischerweise zu Beginn des Nachbetriebs höher und am Ende tiefer. Genauere Aussagen zur Verteilung der Kosten erhält man erst zu einem späteren Zeitpunkt und nach detaillierter Planung des Nachbetriebs.

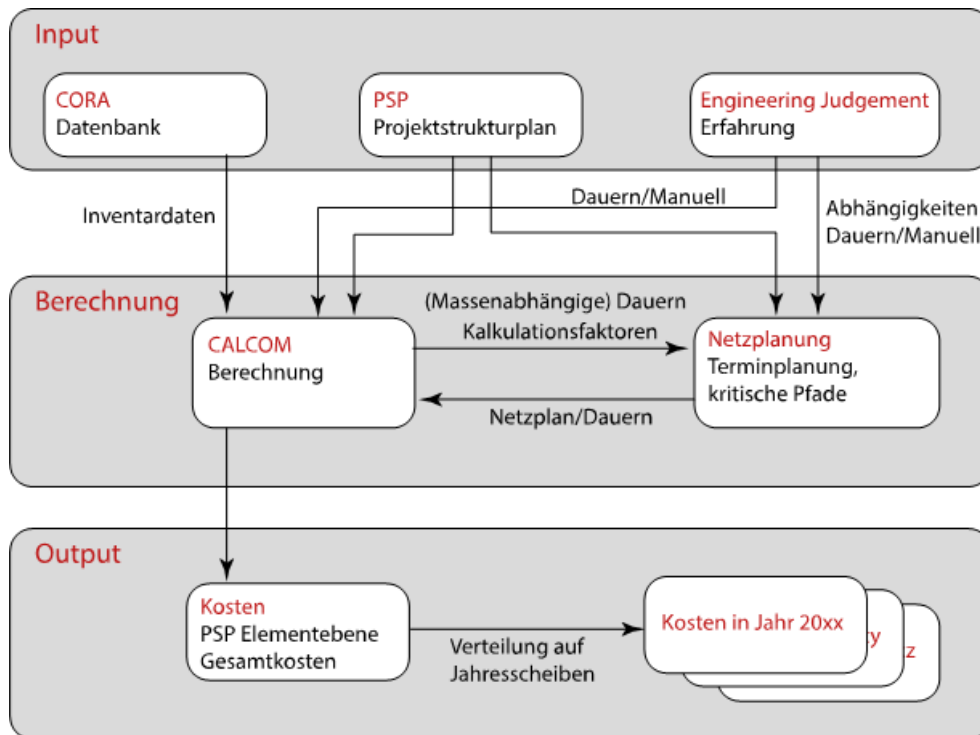


Abbildung 4: Überblick Kalkulationsmodell der Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH.

Wie in Abbildung 4 dargestellt, werden die Kosten auf der untersten Ebene des Projektstrukturplans (Ebene der Projektstruktur-Plan-Elemente, Arbeitsschritte) kalkuliert und nach oben aggregiert. Als Software zur Berechnung verwendet die Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH die firmeneigene Software Cora/Calcom.

Cora/Calcom ist ein für kerntechnische Anlagen anzuwendendes 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 Projektstruktur-Plan-Elemente beziehungsweise Arbeitsschritte. Ausserdem werden weitere Informationen zum Projekt ausgegeben, wie zum Beispiel Kostenfluss oder Personenkapazität. Das Programmsystem gliedert sich in die zwei Module Cora und Calcom.

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

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

Calcom enthält Kalkulationsfaktoren, wie Arbeitsfaktoren, spezifische Kostenfaktoren, Einzelpreise und Verbrauchswerte. Die Kalkulationsfaktoren basieren auf der Erfahrung der Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH. 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 Projektstruktur-Plan, 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 Projektstruktur-Plans von der Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH erstellt und basiert auf deren Erfahrung und Wissen. Die Terminplanung (Netzplan) wird als Input an Calcom übergeben.

Die Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH 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 Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH 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 Kostenschätzung

Die Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH arbeitet seit über 35 Jahren auf dem Gebiet der Stilllegung kerntechnischer Anlagen. Insbesondere konnten durch die Beteiligung an den zurzeit laufenden deutschen Stilllegungsprojekten (zum Beispiel Kernkraftwerke Stade, Würgassen, Obrigheim) wesentliche praktische Erfahrungen gewonnen werden, die auch in die Berechnungsgrundlagen der Kostenstudie 2016 eingeflossen sind. Darüber hinaus dienen die Kostenschätzungen für die übrigen Stilllegungsprojekte deutscher Kernkraftwerke als weitere Referenzen.

Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt der Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH liegt auf der Ermittlung der Kosten für die Stilllegung und den Abbau von Anlagen des Kernbrennstoffkreislaufs (zum Beispiel Wiederaufbereitungsanlage Karlsruhe). Die daraus gewonnenen Erfahrungen haben ebenfalls Eingang die Berechnungsgrundlagen der Kostenstudie 2016 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, Holland, 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 Elektrizitätswerke⁵⁵ von der Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH 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 Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH 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 Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH auch Stilllegungskosten von Anlagen, die sich bereits in der Stilllegung befinden. Beispielfhaft sind zu nennen:

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

⁵⁵ Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke e. V. (VDEW), Wirtschaftsverband zur Förderung der Elektrizitätswirtschaft, gegründet 1950 und 2007 im Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) aufgegangen.

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

- Pilotkonditionierungsanlage Gorleben.
- Urananreicherungsanlage in Gronau.
- Wiederaufarbeitungsanlage in Karlsruhe (Aktualisierung 2015).
- Anlagen zur Behandlung, Verbrennung, Dekontamination und Konditionierung radioaktiver Abfälle des Forschungszentrums Karlsruhe (Aktualisierung 2015).

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

Die Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH wendet für ihre Ingenieur-, Dienst- und Beratungsleistungen ein Qualitätsmanagementsystem an, das die international üblichen Normen für Qualitätsmanagementsysteme⁵⁶ und die in Deutschland verbindlichen Anforderungen an die Lieferanten und Dienstleister für Kernkraftwerke⁵⁷ erfüllt. Dieses Qualitätsmanagementsystem ist durch eine akkreditierte Prüfstelle⁵⁸ zertifiziert⁵⁹. Darüber hinaus verfügt die Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH über die Eignungsbestätigung⁶⁰ zur Qualitätssicherung gemäss deutschem Regelwerk⁶¹.

Die Methodik der Kostenermittlung für die Stilllegung von Kernkraftwerken wurde auch von verschiedenen externen Organisationen geprüft und als nachvollziehbar und zutreffend bewertet. Beispiel sind:

- 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).
- TÜV Nord Ensys, Hannover im Auftrag des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats, Prüfung der Kostenstudien 2011 zur Stilllegung der Schweizerischen Kernanlagen Beznau, Gösgen, Leibstadt, Mühleberg und des zentralen Zwischenlagers der Zwiilag.

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

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

⁵⁶ DIN EN ISO 9001:2008 [98].

⁵⁷ KTA Regel 1401 [99].

⁵⁸ BSI Management Systems und Umweltgutachter GmbH, Frankfurt am Main, Deutschland.

⁵⁹ Nach DIN EN ISO 9001:2008 [98].

⁶⁰ Ausgestellt von der VGB-Arbeitsgemeinschaft «Auftragnehmerbeurteilung».

⁶¹ KTA Regel 1401 [99].

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

4 Massnahmen im Nachbetrieb

Für die Schweizer Kernkraftwerke wurde auf Basis der in Kapitel 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 und so weiter.

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

- Konditionierung und Verpackung⁶² der aus dem Leistungsbetrieb noch vorhandenen Betriebsabfälle.
- Konditionierung und Verpackung⁶² der während des Nachbetriebs entstehenden Betriebsabfälle.
- Konditionierung und Verpackung⁶² der Reaktorabfälle (diese können bereits während des Leistungsbetriebs angefallen sein oder im Nachbetrieb anfallen).
- Ausserbetriebnahme nicht mehr benötigter Systeme.
- Ordnungsgemässer Betrieb (einschliesslich aller Wartungs- und Instandhaltungsmassnahmen) der noch benötigten Systeme und allgemeiner Anlagebetrieb (sogenannter Nachbetrieb).

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 Gösigen 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.

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 |

⁶² Insbesondere das Bereitstellen als Versandstücke für den Transport in ein externes Zwischenlager.

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 (primär 200-l-Fässer); für Abfälle aus mehreren Perioden können die Behälterkosten den Entsorgungskosten zugeordnet sein | X | | X |
| Konditionierung von Betriebsabfällen vor Ort | X | | |
| Handhabung vor Ort (inkl. Beladen der Behälter) | X | | |
| Transport zum zentralen Zwischenlager der Zwiilag | | | X |
| Interner Transport und Zwischenlagerung im Zwibez SAA | | | X |
| Behandlung von Betriebsabfällen in den Anlagen der Zwiilag | | | X |
| Umverpacken in den Anlagen der Zwiilag (falls erforderlich) | | | X |
| Zwischenlagerung (Zwiilag) | | | X |
| Transport zum geologischen Tiefenlager SMA | | | X |
| Zuteilbare Kosten im geologischen Tiefenlager SMA | | | X |

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 Unterwasser-Zerlegeanlage werden die Reaktorabfälle konditioniert, das heisst gebindegerecht zerlegt und in entsprechende Behälter verpackt.

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

Die Abgrenzung zwischen Nachbetriebs- und Entsorgungskosten erfolgt wie in Tabelle 5 gezeigt. Sie betrifft allerdings nur die Reaktorabfälle aus dem Leistungsbetrieb und die bei dessen endgültiger Einstellung entstehenden. 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 aus dem Leistungsbetrieb | 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 | | |
| Interner Transport und Zwischenlagerung im Zwibez (KKB) | | | X |
| Transport zum zentralen Zwischenlager der Zwiilag | | | X |
| Umverpacken in den Anlagen der Zwiilag (falls erforderlich) | | | X |
| Zwischenlagerung (Zwiilag) | | | X |
| Transport zum geologischen Tiefenlager SMA | | | X |
| Zuteilbare Kosten im geologischen Tiefenlager SMA | | | X |

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. Für den sicheren Betrieb nicht mehr benötigte Systeme und Komponenten werden entleert, getrocknet 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 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 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.

Folgende Sachkosten müssen nach der endgültigen Ausserbetriebnahme der Anlage weiterhin berücksichtigt werden:

- **Betriebssachkosten**, zum Beispiel für
 - Hilfs- und Betriebsstoffe,
 - Energiekosten (zum Beispiel Strombezug).
- **Unterhaltssachkosten**, zum Beispiel für
 - laufende Instandhaltung,
 - Behördenkosten (zum Beispiel Ensi).
- **Umgebungsüberwachung.**
- **Allgemeine Aufwendungen**, 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 Kostenschätzung des Nachbetriebs je nach Kostenart mittlere Reduktionsfaktoren angesetzt, die auf Erfahrungen aus aktuellen Stilllegungen basieren.

5 Resultat der Schätzungen der Nachbetriebskosten

Die hier vorgenommene Kostenschätzung 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 dem Nachbetrieb stehen.

Für die Darstellung der Ergebnisse der Schätzung der Stilllegungskosten 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 weitgehend 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 zur Risikominderung und Basiskosten

Die Basiskosten setzen sich aus Ausgangskosten und den Kosten für risikomindernde Massnahmen zusammen. Die Betreiber ermitteln normalisierte Jahreskosten eines durchschnittlichen Betriebsjahrs. Die Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH berechnet nach den Angaben der Betreiber die Ausgangskosten und die risikomindernden Massnahmen. 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 ergeben sich als Summe der Jahreskosten über die angenommene Dauer des Nachbetriebs. Dabei werden die normalisierten Jahreskosten mit Reduktionsfaktoren versehen, die Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft auf Grund ihrer Erfahrung festlegt.

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 Kapitel 5.2 diskutierten Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten (PU). Letztere sind zu den einzelnen Elementen der Kostenstruktur zu addieren.

Die erste Ebene des Projektstruktur-Plans 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 Brennstofffreiheit und dem Vorhandensein einer rechtswirksamen Stilllegungsverfügung.

Auf der zweiten Ebene des Projektstruktur-Plans 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,

- 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 Areal⁶³.
- Die Aufwendungen für die weiteren Massnahmen des Nachbetriebs, umfassen
 - die Konditionierung und Verpackung⁶⁴ der sich noch auf der Anlage befindlichen oder im Nachbetrieb anfallenden radioaktiven Abfälle, soweit nicht durch gesonderte Rückstellungen abgedeckt⁶⁵,
 - 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 Projektstruktur-Plans 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 94 und 97 Prozent ausmacht, für den eigentlichen Betrieb der Anlage anfällt. Über die Hälfte dieser Kosten, je nach Werk zwischen 53 und 61 Prozent, fallen für die vier Projektstruktur-Plan-Elemente Anlagebetrieb, Prüfung und Instandhaltung, Werkstätten sowie Betriebs- und Unterhaltssachkosten an. Zwischen 6 und 10 Prozent der Ausgangskosten sind für die behördliche Begleitung aufzuwenden, zwischen 5 und 9 Prozent für die Sicherung der Anlage, zwischen 3 und 6 Prozent für die Überwachung, zwischen 2 und 5 Prozent für Informatik, zwischen 1 und 4 Prozent für Instandhaltungsprojekte und höchstens 1 Prozent für den Betrieb der Lagereinrichtungen. Verwaltung, Administration und sonstiger betrieblicher Aufwand machen bei den älteren Kernkraftwerken 11 beziehungsweise 7 Prozent aus und bei den neueren etwas über 16 Prozent. Dieser Unterschied liegt daran, dass die Zuordnung der Kosten zu den Projektstruktur-Plan-Elementen der Ebene 3 bei den neueren Werken aufgrund der noch relativ zeitfernen Ausserbetriebnahme noch nicht in gleicher Granularität erfolgen konnte wie bei den älteren.

Für die innerbetriebliche Handhabung der Brennelemente fallen in den Kernkraftwerken Beznau und Mühleberg knapp 2 Prozent und im Kernkraftwerk Gösgen gut 3.5 Prozent der gesamten Ausgangskosten an. Im Kernkraftwerk Leibstadt sind diese Aufwendungen in den eigentlichen Betriebskosten enthalten, deren Anteil an den gesamten Ausgangskosten im Vergleich zu den anderen Werken gut 2 Prozent höher ist.

⁶³ Aufwendungen für den Transport ausserhalb des Werkareals zählen zu den Entsorgungskosten (vgl. [3]).

⁶⁴ Insbesondere das Bereitstellen als Versandstücke für den Transport in ein externes Zwischenlager.

⁶⁵ Aufwendungen für die Konditionierung der radioaktiven Abfälle, für welche die Entsorgungspflicht vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs entstanden ist, fallen nicht notwendigerweise unter die Nachbetriebskosten, werden aber in jedem Fall von den Betreibern ebenfalls direkt bezahlt. 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]).

Für die weiteren Massnahmen des Nachbetriebs beträgt der Anteil an den gesamten Ausgangskosten zwischen 1 und 4 Prozent. Diese Massnahmen bestehen mit einer Ausnahme ausschliesslich aus solchen zur Konditionierung der radioaktiven Abfälle. Einzig im Kernkraftwerk Mühleberg wird aufgrund der fortgeschrittenen Konkretisierung des Stilllegungsprojekts ein Anteil für systemtechnische Anpassungen ausgewiesen. Dieser trägt allerdings deutlich weniger als 1 Prozent zu den Ausgangskosten bei. Weil die Ausserbetriebnahme von Systemen eng verbunden ist mit den Tätigkeiten des Anlagebetriebs, war die Zuordnung zum entsprechenden Element des Projektstruktur-Plans nicht möglich.

Bei der Berechnung der Ausgangskosten hat sich gezeigt, dass die gegenüber früheren Kostenstudien neue Kostenstruktur umsetzbar ist und aussagekräftige Kostenvergleiche erlaubt.

Kosten 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 im Fall der Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt bis zu 1.5 Prozent und im Kernkraftwerk Mühleberg rund 2.5 Prozent der Ausgangskosten. Mit fortschreitender Planung der Ausserbetriebnahme werden vermutlich weitere Möglichkeiten zur Risikominderung erkannt und entsprechende Vorsorgen getroffen. Da die Prozesse des Nachbetriebs gut bekannt sind, ist jedoch nicht davon auszugehen, dass für die Risikominderung wesentlich mehr Aufwendungen entstehen werden.

Basiskosten

Wie aus Tabelle 6 bis Tabelle 9 ersichtlich, betragen die Basiskosten für den Nachbetrieb der Schweizer Kernkraftwerke zwischen 300 und 390 Millionen Franken. Sie hängen nicht von der installierten Leistung ab, wohl jedoch von der Komplexität der jeweiligen Anlage, aber vor allem auch von der Dauer⁶⁶ des Nachbetriebs.

⁶⁶ Siehe Kapitel 1.3.2 und Tabelle 2 in Kapitel 1.4.

Tabelle 6: Nachbetriebskostenschätzung für das Kernkraftwerk Beznau.
 Ausgangskosten (AK), Kosten zur Risikominderung (RM), Basiskosten (BK) sowie Zuschlag für Prognoseunsicherheit (PU); alles in Millionen Franken (PU_{gesamt} auch in % BK), Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

| Kostenstrukturelement (bis Ebene 3) | AK | RM | BK | PU | |
|--------------------------------------|--------|-----|--------|------|------|
| Betrieb bis Brennelementfreiheit | 384.59 | 5.6 | 390.19 | 7.29 | 1.9% |
| Betrieb – Standort bezogen | 366.28 | 5.6 | 371.88 | 7.12 | |
| Verwaltung/Administration | 26.31 | 4.4 | 30.71 | 0.55 | |
| Überwachung | 18.54 | | 18.54 | 0.33 | |
| Sicherung/Arealüberwachung | 27.85 | | 27.85 | 0.5 | |
| Behördliche Begleitung Betrieb | 34.54 | | 34.54 | 0.62 | |
| Anlagebetrieb | 117.22 | | 117.22 | 2.09 | |
| Werkstätten | 6.92 | | 6.92 | 0.12 | |
| Prüfung und Instandhaltung | 19.11 | | 19.11 | 0.34 | |
| Instandhaltungsprojekte | 10.2 | | 10.2 | 0.18 | |
| Betrieb IT | 17.49 | | 17.49 | 0.31 | |
| Betriebs- und Unterhaltsachkosten | 67.71 | | 67.71 | 1.69 | |
| Betrieb Lagereinrichtungen | 3.2 | | 3.2 | 0.06 | |
| Sonstige betriebl. Aufwendungen | 17.2 | 1.2 | 18.4 | 0.33 | |
| Handhabung Brennelemente | 6.89 | | 6.89 | 0.12 | |
| Handhabung und Verpackung BE | 6.89 | | 6.89 | 0.12 | |
| Massnahmen bis Brennelement-Freiheit | 11.42 | | 11.42 | 0.05 | |
| Konditionierung Betriebsabfälle | 11.42 | | 11.42 | 0.05 | |
| Ausserbetriebnahme von Systemen | | | | | |
| Systemtechnische Anpassungen | | | | | |

Tabelle 7: Nachbetriebskostenschätzung für das Kernkraftwerk Mühleberg.
 Ausgangskosten (AK), Kosten zur Risikominderung (RM), Basiskosten (BK) sowie Zuschlag für Prognoseunsicherheit (PU); alles in Millionen Franken (PU_{gesamt} auch in % BK), Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

| Kostenstrukturelement (bis Ebene 3) | AK | RM | BK | PU | |
|--------------------------------------|--------|-----|--------|------|------|
| Betrieb bis Brennelementfreiheit | 294.52 | 7 | 301.52 | 4.23 | 1.4% |
| Betrieb – Standort bezogen | 276.86 | 7 | 283.86 | 3.71 | |
| Verwaltung/Administration | 13.04 | 5.5 | 18.54 | 0.24 | |
| Überwachung | 18.35 | | 18.35 | 0.24 | |
| Sicherung/Arealüberwachung | 27 | | 27 | 0.35 | |
| Behördliche Begleitung Betrieb | 27.99 | | 27.99 | 0.36 | |
| Anlagebetrieb | 58.97 | | 58.97 | 0.73 | |
| Werkstätten | 15.77 | | 15.77 | 0.19 | |
| Prüfung und Instandhaltung | 17.67 | | 17.67 | 0.22 | |
| Instandhaltungsprojekte | 4.47 | | 4.47 | 0.05 | |
| Betrieb IT | 14.58 | | 14.58 | 0.19 | |
| Betriebs- und Unterhaltsachkosten | 68.86 | | 68.86 | 1.01 | |
| Betrieb Lagereinrichtungen | 2.97 | | 2.97 | 0.04 | |
| Sonstige betriebl. Aufwendungen | 7.18 | 1.5 | 8.68 | 0.11 | |
| Handhabung Brennelemente | 5.52 | | 5.52 | 0.1 | |
| Handhabung und Verpackung BE | 5.52 | | 5.52 | 0.1 | |
| Massnahmen bis Brennelement-Freiheit | 12.14 | | 12.14 | 0.43 | |
| Konditionierung Betriebsabfälle | 11.48 | | 11.48 | 0.38 | |
| Ausserbetriebnahme von Systemen | | | | | |
| Systemtechnische Anpassungen | 0.66 | | 0.66 | 0.04 | |

Tabelle 8: Nachbetriebskostenschätzung für das Kernkraftwerk Gösgen.
 Ausgangskosten (AK), Kosten zur Risikominderung (RM), Basiskosten (BK) sowie Zuschlag für Prognoseunsicherheit (PU); alles in Millionen Franken (PU_{gesamt} auch in % BK), Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

| Kostenstrukturelement (bis Ebene 3) | AK | RM | BK | PU | |
|--------------------------------------|--------|-----|--------|------|------|
| Betrieb bis Brennelementfreiheit | 344.08 | 4.2 | 348.28 | 6.51 | 1.9% |
| Betrieb – Standort bezogen | 327.32 | 4.2 | 331.52 | 6.17 | |
| Verwaltung/Administration | 37.73 | 3.3 | 41.03 | 0.73 | |
| Überwachung | 10.44 | | 10.44 | 0.19 | |
| Sicherung/Arealüberwachung | 18.2 | | 18.2 | 0.33 | |
| Behördliche Begleitung Betrieb | 24.6 | | 24.6 | 0.44 | |
| Anlagebetrieb | 67.34 | | 67.34 | 1.2 | |
| Werkstätten | 29.76 | | 29.76 | 0.53 | |
| Prüfung und Instandhaltung | 47.94 | | 47.94 | 0.86 | |
| Instandhaltungsprojekte | 2.59 | | 2.59 | 0.05 | |
| Betrieb IT | 5.31 | | 5.31 | 0.09 | |
| Betriebs- und Unterhaltsachkosten | 65.3 | | 65.3 | 1.41 | |
| Betrieb Lagereinrichtungen | 0.28 | | 0.28 | 0.01 | |
| Sonstige betriebl. Aufwendungen | 17.82 | 0.9 | 18.72 | 0.33 | |
| Handhabung Brennelemente | 12.51 | | 12.51 | 0.13 | |
| Handhabung und Verpackung BE | 12.51 | | 12.51 | 0.13 | |
| Massnahmen bis Brennelement-Freiheit | 4.25 | | 4.25 | 0.21 | |
| Konditionierung Betriebsabfälle | 4.25 | | 4.25 | 0.21 | |
| Ausserbetriebnahme von Systemen | | | | | |
| Systemtechnische Anpassungen | | | | | |

Tabelle 9: Nachbetriebskostenschätzung für das Kernkraftwerk Leibstadt.
 Ausgangskosten (AK), Kosten zur Risikominderung (RM), Basiskosten (BK) sowie Zuschlag für Prognoseunsicherheit (PU); alles in Millionen Franken (PU_{gesamt} auch in % BK), Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

| Kostenstrukturelement (bis Ebene 3) | AK | RM | BK | PU | |
|--------------------------------------|--------|-----|--------|------|------|
| Betrieb bis Brennelementfreiheit | 382.81 | 5.6 | 388.41 | 7.86 | 2.0% |
| Betrieb – Standort bezogen | 371.39 | 5.6 | 376.99 | 7.33 | |
| Verwaltung / Administration | 32.26 | 4.4 | 36.66 | 0.68 | |
| Überwachung | 21.3 | | 21.3 | 0.39 | |
| Sicherung / Arealüberwachung | 23.58 | | 23.58 | 0.43 | |
| Behördliche Begleitung Betrieb | 23.34 | | 23.34 | 0.43 | |
| Anlagebetrieb | 70.49 | | 70.49 | 1.3 | |
| Werkstätten | 7.65 | | 7.65 | 0.14 | |
| Prüfung und Instandhaltung | 67.55 | | 67.55 | 1.24 | |
| Instandhaltungsprojekte | 16.31 | | 16.31 | 0.3 | |
| Betrieb IT | 20.86 | | 20.86 | 0.38 | |
| Betriebs- und Unterhaltsachkosten | 57.7 | | 57.7 | 1.45 | |
| Betrieb Lagereinrichtungen | | | | | |
| Sonstige betriebl. Aufwendungen | 30.34 | 1.2 | 31.54 | 0.58 | |
| Handhabung Brennelemente | | | | | |
| Handhabung und Verpackung BE | | | | | |
| Massnahmen bis Brennelement-Freiheit | 11.41 | | 11.41 | 0.53 | |
| Konditionierung Betriebsabfälle | 11.41 | | 11.41 | 0.53 | |
| Ausserbetriebnahme von Systemen | | | | | |
| Systemtechnische Anpassungen | | | | | |

5.2 Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten

Tabelle 6 bis Tabelle 9 in Kapitel 5.1 enthalten neben dem Kostenniveau Basiskosten auch die Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten. Die in Kapitel 5.1 beschriebene Herleitung der Basiskosten beruht auf einer Schätzung des Aufwandes für die einzelnen Elemente des Projektstruktur-Plans. Diese Schätzungen 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 vier und acht Millionen Franken. Für die Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt beträgt der Zuschlag rund 2 Prozent der Basiskosten. Für das Kernkraftwerk Mühleberg ist der Zuschlag mit rund 1.4 Prozent der Basiskosten etwas kleiner, was mit der in diesem Werk weiter fortgeschrittenen Nachbetriebsplanung zusammenhängt.

5.3 Zuschlag für Gefahren und Abzug für Chancen

Für die Kostenstudie 2016 identifizierte ein Kreis von Experten aus allen Schweizer Kernkraftwerken und den mit der Entsorgung radioaktiver Abfälle beauftragten Organisationen gemeinsam, unter Berücksichtigung werkspezifischer Gegebenheiten, die Gefahren und Chancen, welche die Nachbetriebskosten beeinflussen. Eintrittswahrscheinlichkeit und Kostenfolge jeder relevanten Gefahr und Chance wurden aufgrund von Expertenwissen abgeschätzt. Auf der Basis einer Risikoanalyse wurden Risikowerte als Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Kostenfolge berechnet. Die Risikowerte wurden ähnlich wie bei der Ermittlung der Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten erhöht, um der Unsicherheit der Expertenschätzungen Rechnung zu tragen.

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

Die Ergebnisse wurden von einem mit unabhängigen Vertretern aus Wissenschaft und Industrie besetzten Risikoboard gesichtet und kommentiert. Die Empfehlungen des Risikoboads sind in die Bewertung der Gefahren und Chancen eingeflossen.

Im Folgenden sind die für den Nachbetrieb wichtigsten Gefahren und Chancen erläutert.

Dauer des Nachbetriebs

Das mit Abstand grösste Kostenrisiko entsteht aus einer Verlängerung der Nachbetriebsdauer über den im Projektplan veranschlagten Zeitplan hinaus. Eine solche Verlängerung kann aus Verzögerungen im Behördenprozess, Beschwerden beziehungsweise Einsprachen oder einer Verzögerung beim Abtransport der Brennelemente resultieren. Für den Abschluss des Nachbetriebs ist es notwendig, dass die Stilllegungsverfügung wirksam und die Anlage brennstofffrei ist. Falls aus Verfahrens- oder anderen Gründen, wie zum Beispiel Beschwerden respektive Einsprachen, die Stilllegungsverfügung bis zum Erreichen der technischen Voraussetzungen für die Beendigung des Nachbetriebs nicht vorliegt oder gesonderte Bewilligungen ausstehen für Arbeiten, die zwingend noch während des Nachbetriebs durchzuführen sind, verlängert sich die Dauer des Nachbetriebs. Dasselbe gilt, falls die Brennstofffreiheit nicht in der vorgesehenen Zeit erreicht wird, sei es aufgrund einer geringeren Frequenz des Abtransports der Brennelemente zum zentralen Zwischenlager der Zwiilag, aufgrund reduzierter Annahmefähigkeit der Zwiilag oder aufgrund von Engpässen bei der Beschaffung oder (Re-)Lizenzierung von Brennelementbehältern. Mit einer Verlängerung der Nachbetriebsdauer, die nur sehr bedingt für das Vorziehen späterer (während des Rückbaus) vorgesehener Arbeiten genutzt werden kann, verlängert sich der durch die Betreiber zu finanzierende Zeitraum. Das führt direkt zu einer erheblichen Erhöhung der Nachbetriebskosten.

Falls die Stilllegungsverfügung rechtzeitig wirksam wird, besteht andererseits aber auch die Möglichkeit, dass durch besondere Massnahmen, wie zum Beispiel den Einsatz alternativer Transportbehälter, die Brennstofffreiheit früher erreicht werden kann und Kosten eingespart werden können.

Das Schadensausmass einer Verlängerung des Nachbetriebs ist – unabhängig von deren Ursache – durch die Dauer der Verlängerung beziehungsweise die während dieser Zeit anfallenden Kosten bestimmt. Zur Abschätzung dieser Kosten wurden drei Szenarien mit gleichen Ursachen, aber unterschiedlicher Dauer der Verlängerung betrachtet. Diesen Szenarien mit einer Verlängerung des Nachbetriebs um 6, 12 und 24 Monate wurden Eintrittswahrscheinlichkeiten zugeordnet. Das Schadensausmass wurde aus den drei Szenarien als mit deren Eintrittswahrscheinlichkeit gewichtete Summe der während der Verlängerung anfallenden Nachbetriebskosten bestimmt.

Zur Berechnung des Chancenpotenzials wurden zwei Szenarien mit einer Verkürzung der Nachbetriebsdauer um sechs Monate beziehungsweise zwölf Monate angenommen. Diesen Szenarien wurden ebenfalls Eintrittswahrscheinlichkeiten zugeordnet. Das Chancenpotenzial wurde aus den beiden Szenarien als mit deren Eintrittswahrscheinlichkeit gewichtete Summe der mit der Dauer der Verkürzung multiplizierten durchschnittlichen Nachbetriebskosten abzüglich der Zusatzaufwendungen zum Erreichen der Verkürzung berechnet. Im Kernkraftwerk Gösgen sieht man allerdings keine Möglichkeit, die bereits auf drei Jahre reduzierte Nachbetriebsdauer noch weiter zu verkürzen. Deshalb wurde dort dieses Chancenpotenzial auf null gesetzt.

Vorzeitige Ausserbetriebnahme

Ein Kostenrisiko ist die vorzeitige endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs aufgrund eines politischen oder regulatorischen Entscheids. Solch vorzeitige und entsprechend unvorbereitete Ausserbetriebnahmen haben grosse Auswirkungen auf die Kosten. Sie führen sowohl zu einer Verlängerung des Nachbetriebs als auch zu einer Erhöhung der Jahreskosten. Da die Vorbereitung auf die endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs nicht oder nur teilweise möglich ist, können während des Nachbetriebs vorgesehene, kosten-senkende Massnahmen nur mit Zeitverzug eingeleitet und umgesetzt werden. Zudem entstehen Kosten aus bestehenden Instandhaltungs- und gegebenenfalls Nachrüstverträgen, die zu sistieren sind.

Freigaben für System-Ausserbetriebnahmen werden nicht erteilt

Eine Gefahr besteht darin, dass die Aufsichtsbehörde für vorgesehene, freigabepflichtige System-Ausserbetriebnahmen erforderliche Freigaben nicht rechtzeitig erteilt beziehungsweise nicht rechtzeitig erteilen kann (beispielsweise aufgrund Personalmangels). Wenn ein System nicht wie geplant ausser Betrieb genommen werden kann, fallen während des Nachbetriebs – unter Umständen für einen längeren Zeitraum – die mit dem System verbundenen Betriebskosten weiterhin an, insbesondere für Instandhaltung, Versicherungen und Prüfungen und so weiter. Dies führt zu signifikanten Mehrkosten.

Behördliche Forderungen

Es besteht die Gefahr, dass während des Nachbetriebs oder seiner Planung die Behörden heute noch nicht bekannte Zusatzanforderungen stellen. Dies würde in der Kostenstudie nicht berücksichtigte, zusätzliche Ressourcen binden (Material, Personal für Studien, Prüfungen und ähnliches) und so zu einer Erhöhung der Ausgangsbasis für die Betriebskosten führen. In der Folge würden sowohl die Eigenleistungen als auch die externen Kosten (zum Beispiel für Studien oder Expertisen) steigen.

Aufwand für Gebühren

Es besteht grundsätzlich die Möglichkeit einer signifikanten, über die normale Teuerung hinausgehenden Erhöhung von Gebühren und Behördenaufwänden, die in den heutigen Kosten nicht berücksichtigt sind. Dadurch entstehen Mehraufwendungen im Vergleich zur Kostenschätzung.

Falls die Verfahren optimal ablaufen, kann sich der Aufwand für Gebühren allerdings auch als geringer herausstellen als in der Kostenschätzung angenommen.

Nukleare Haftpflichtversicherung

In den Basiskosten wird davon ausgegangen, dass aufgrund des stark abnehmenden nuklearen Gefährdungspotenzials die Kosten der nuklearen Haftpflichtversicherung nach 6 Monaten für 6 Monate auf 75 Prozent der Kosten während des Leistungsbetriebs reduziert werden und ab dem zweiten Nachbetriebsjahr auf 50 Prozent⁶⁷. Falls die Versicherer die zur Berechnung der Basiskosten angenommene Reduktion der nuklearen Haftpflichtversicherung nicht oder nicht in vollem Ausmass akzeptieren, entstehen Mehrkosten.

Personalreduktion erfolgt nicht im geplanten Umfang

Es besteht das Risiko, dass im Nachbetrieb das Personal nicht im geplanten Umfang reduziert werden kann, weil veränderte Rahmenbedingungen mehr Personal erforderlich machen als im Basisszenario vorgesehen. Gründe dafür können behördliche Auflagen sein, beispielsweise eine nicht rechtzeitig erfolgte Freigabe einer neuen Organisation am Standort.

Durch Fluktuation verlorene Expertise

Ein weiteres Risiko besteht darin, dass durch Personalfluktuation verloren gegangene Expertise teurer extern beschafft werden müssen. Denn noch während des Leistungsbetriebs, bei der Planung des Nachbetriebs oder auch erst im Nachbetrieb selbst könnten (für den Nachbetrieb) wichtige Know-how-Träger verloren gehen, die möglicherweise nur extern und aufgrund der Marktsituation nur zu höheren Kosten ersetzt werden können. Dadurch können im Vergleich zur ursprünglichen Kostenschätzung Mehraufwendungen entstehen.

Brennelementschäden verbunden mit erheblicher Kontamination

Als technisch bedingtes Risiko ist das Auftreten von Brennelementschäden zu nennen. Sie können noch während des Leistungsbetriebs eine erhebliche Kontamination der mit Reaktorwasser in Kontakt stehenden Systeme verursachen, beim Siedewasserreaktor einschliesslich Turbine, Kondensator sowie der Systeme zur Kondensatreinigung und zur Speisewasservorwärmung. Obschon in einem solchen Fall die defekten Brennelemente noch während des Leistungsbetriebs aus dem Reaktordruckbehälter entfernt würden, bestünde die Gefahr, dass eine Restkontamination inklusive einer Alpha-Kontamination im Primärkreislauf zurückbleibt. Dies würde zusätzliche Ressourcen an Personal, Strahlenschutzmaterial sowie zusätzlichen Aufwand für Überwachung benötigen und so zur Erhöhung der Nachbetriebskosten führen.

⁶⁷ Die Brennelemente machen 98 Prozent des Aktivitätsinventars eines Kernkraftwerks aus. Mit deren fortschreitendem Abtransport reduziert sich dieses signifikant. Daher ist eine Reduktion der Prämie für die nukleare Haftpflichtversicherung naheliegend.

Erhöhter Aufwand für die Entsorgung noch unbehandelter Betriebsabfälle

Ein weiteres technisch bedingtes Risiko ist ein Mehraufwand für die Konditionierung der sich noch unbehandelt auf der Anlage befindlichen Betriebsabfälle. Darunter fallen insbesondere aus dem Leistungsbetrieb stammende Kernbauteile, wie Steuerelemente, neutronenabsorbierende Einsätze, Neutronenquellen, Messlanzen, Brennelementkästen und Blindelemente, Kastenbefestigungen und so weiter. Ausserdem sind im Nachbetrieb die übrigen Betriebsabfälle, wie Filterkerzen, Schlämme, Ionentauscherharze und Mischabfälle sowie die Betriebsmedien zu entsorgen. Während des Nachbetriebs oder bereits zuvor könnten sich für die Entsorgung der Betriebsabfälle die regulatorischen Rahmenbedingungen oder die Anforderungen der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) ändern oder die Behälterkosten stärker steigen als die Inflation. Dies würde Mehraufwendungen im Vergleich zur ursprünglichen Kostenschätzung verursachen.

Entwicklung der Energiekosten

Es besteht die Gefahr, dass die Bezugskosten für Strom und Heizöl stärker steigen als die Inflation. Dies würde im Vergleich zur ursprünglichen Kostenschätzung Mehraufwendungen zur Folge haben.

Allerdings können die Preise für Strom und Heizöl auch sinken, was eine Chance für Minderkosten gegenüber der Kostenschätzung ist.

Quantifizierung der Kostenfolgen von Gefahren und Chancen

Im Rahmen der Kostenstudie 2016 wurden die Risiken und Chancen für den Nachbetrieb analysiert. Das Ergebnis dieser Analyse ist ein Risikoprofil, das für alle Schweizer Kernkraftwerke ähnlich ist. Für die Erstellung des Risikoprofils wurden die oben beschriebenen Risiken in Gruppen eingeteilt. Diese Risikogruppen umfassen einerseits die Gefahren, Mehrkosten in Kauf nehmen zu müssen, die durch

- Verzögerungen beziehungsweise eine Verlängerung der Nachbetriebsdauer, unterteilt in
 - starke,
 - mittlere und
 - geringe Verzögerungen,
- Behörden und Öffentlichkeit oder
- durch Betrieb und Technik,

bedingt sind, und andererseits die Chancen, dass sich Minderkosten ergeben durch

- eine Verkürzung der Nachbetriebsdauer oder
- aus betrieblichen oder technischen Gründen.

Abbildung 5 zeigt eine Darstellung der identifizierten Risikogruppen in einer Risikomatrix in Form eines Rasters. Auf der Abszisse ist die Eintrittswahrscheinlichkeit, unterteilt in die Klassen «sehr unwahrscheinlich» bis «sehr wahrscheinlich» und auf der Ordinate das Schadensausmass, unterteilt in die Klassen «sehr gering» bis «sehr hoch», dargestellt. Risiken mit geringem oder sehr geringem Schadensausmass, die gleichzeitig sehr unwahrscheinlich bis selten sind (grün eingefärbter Bereich der Risikomatrix), haben nur geringe Auswirkungen auf die Gesamtkosten und werden bereits über die Prognoseungenauigkeiten berücksichtigt. Risiken mit hohem bis sehr hohem Schadensausmass und Risiken mit wesentlichem Schadensausmass, deren Eintreten wahrscheinlich oder sehr wahrscheinlich ist (rot eingefärbter Bereich der Risikomatrix) werden bei der Planung des Nachbetriebs berücksichtigt. Daher ist nicht zu erwarten, dass im Nachbetrieb mit solchen Risiken zu rechnen ist. Jede andere Erwartung würde eine Anpassung der Planung des Nachbetriebs auslösen.

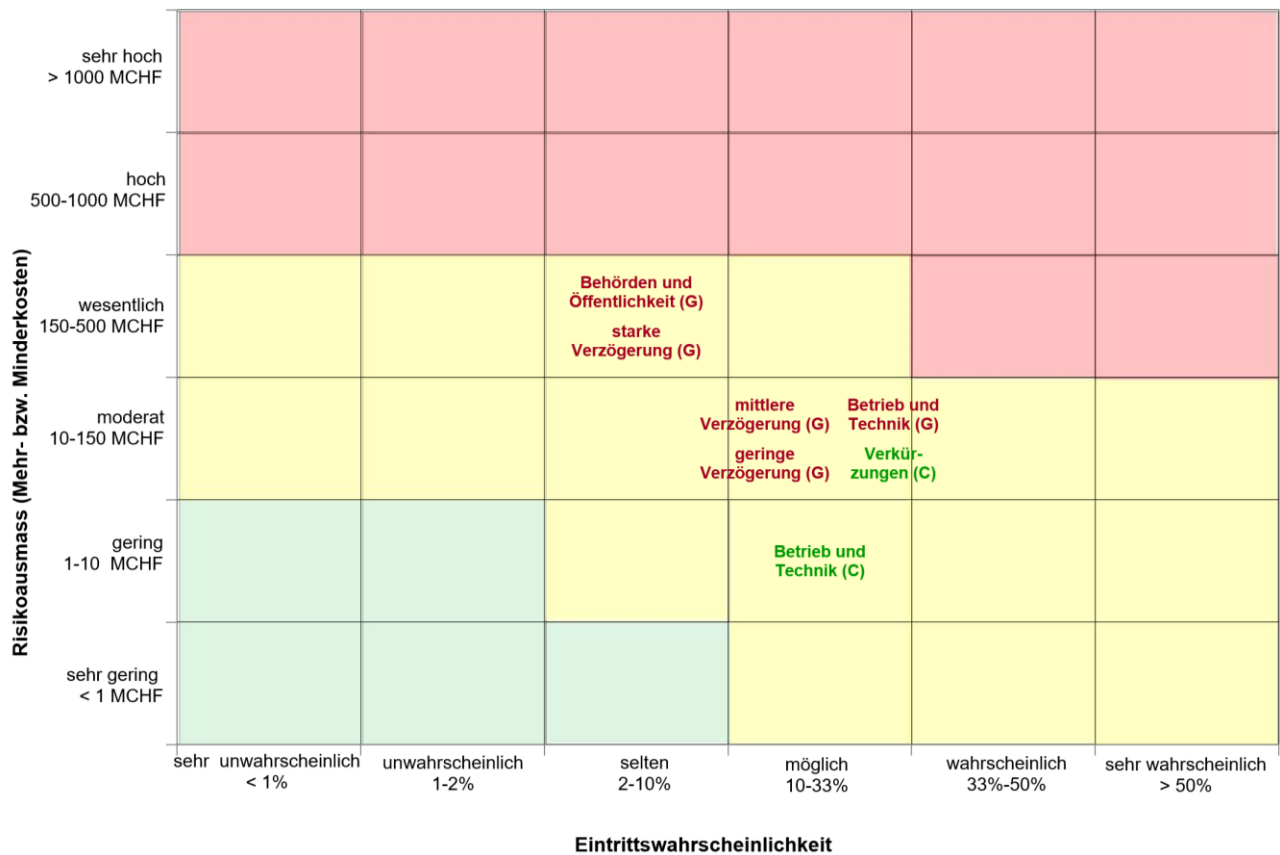


Abbildung 5: Risikomatrix Nachbetrieb. Risikogruppen sind exemplarisch für alle Schweizer Kernkraftwerke in ein Raster aus Risikoausmass und Eintrittswahrscheinlichkeit eingetragen. Die Gefahren sind in roter und die Chancen in grüner Schrift dargestellt.

In Abbildung 5 ist exemplarisch jede der oben genannten Risikogruppen einem Feld im Raster der Risikomatrix zugeordnet. Es ist ersichtlich, dass die Eintrittswahrscheinlichkeiten der identifizierten Risiken in eine der beiden Klassen «selten» oder «möglich» und die Schadensausmasse in zwei Fällen in die Klasse «wesentlich» und in den restlichen in die Klassen «gering» oder «moderat» fallen. Die sich als Produkt aus Schadensausmass und Eintrittswahrscheinlichkeit ergebenden Risikowerte betragen für die einzelnen Risikogruppen höchstens wenige zehn Millionen Franken und der daraus abgeleitete Zuschlag zu den Basiskosten des Nachbetriebs bis zu 80 Millionen Franken (vergleiche Tabelle 10).

Zuschlag für Gefahren und Chancen insgesamt

Die oben beschriebenen Kostenrisiken werden insgesamt zu den Basiskosten addiert. Die Kostenzuschläge für Gefahren und Kostenabzüge für Chancen der Tabelle 10 zu entnehmen. Es ist ersichtlich, dass in der Kostenstudie 2016 aufgrund der analysierten Gefahren und Chancen ein Zuschlag von netto 11 bis 23 Prozent zu den Basiskosten addiert wird.

Für die Kernkraftwerke Beznau und Leibstadt beträgt der Zuschlag für Gefahren 18 beziehungsweise 20 Prozent der Basiskosten und der Abzug für Chancen rund 2 Prozent, so dass für diese Werke der an den Basiskosten anzubringende Zuschlag insgesamt rund 17 beziehungsweise 18 Prozent beträgt.

Für das Kernkraftwerk Gösgen ist der Zuschlag für Gefahren etwas höher als in den vorerwähnten Werken. Aufgrund der im Kernkraftwerk Gösgen fehlenden Möglichkeit, die Dauer des Nachbetriebs weiter zu verkürzen, beträgt der Abzug für Chancen lediglich ein halbes Prozent, so dass der Zuschlag auf die Basiskosten aufgrund der betrachteten Risiken rund 23 Prozent ausmacht.

Im Kernkraftwerk Mühleberg resultiert aufgrund der weiter fortgeschrittenen Planung der Ausserbetriebnahme im Vergleich zu den anderen Werken ein kleinerer Zuschlag für Gefahren, und es werden mehr Chancen gesehen. Der Zuschlag für Gefahren beträgt rund 14 Prozent der Basiskosten und der Abzug für Chancen etwa 2.5 Prozent. Damit ergibt sich ein an den Basiskosten anzubringender Risikozuschlag von insgesamt rund 11 Prozent.

Tabelle 10: Kostenzuschläge für Gefahren und Kostenabzüge für Chancen.

| Zuschläge bzw. Abzüge für | Kostenrisiko [Millionen Franken] | | | | total |
|---|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | KKB | KKM | KKG | KKL | |
| Gefahren | 71 | 41 | 80 | 79 | 271 |
| | 18.3% | 13.6% | 23.1% | 20.3% | 19.0% |
| Chancen | -7 | -7 | -2 | -7 | -23 |
| | -1.7% | -2.4% | -0.5% | -1.8% | -1.6% |
| Zuschlag netto für Gefahren und Chancen | 65 | 34 | 79 | 72 | 249 |
| | 16.6% | 11.2% | 22.6% | 18.4% | 17.4% |

Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

Kostenfolgen nicht berücksichtigter Gefahren und Chancen

Im Rahmen der Risikobetrachtung wurden über die im Kapitel 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 Kostenoptimierungspotenziale 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 ganz erheblich.

5.4 Sicherheitszuschlag

Der am Schluss von Kapitel 3.2.2 als letztes Element der Kostengliederung diskutierte zusätzliche Sicherheitszuschlag soll der Neigung von Projektanten Rechnung tragen, Risiken und Kosten systematisch zu unterschätzen. Mit der Kostengliederung wurden eine Reihe wirksamer Instrumente eingeführt, um einer allfälligen Neigung zu unberechtigtem Optimismus in der Kostenschätzung entgegen zu wirken. Ausserdem führten unabhängige Gutachter die Kostenschätzung durch, ein auf Risikoanalysen in Infrastrukturprojekten spezialisiertes Unternehmen arbeitete die Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten aus, und die durch eine Vielzahl von Experten in einem mehrstufigen Verfahren erarbeitete Bewertung der Gefahren und Chancen wurde durch ein unabhängiges Risikoboard überprüft. Die Umsetzung der Kostengliederung hat gezeigt, dass durch diese Elemente ein hinreichend hohes Sicherheitsniveau erreicht wurde und damit ein darüber hinausgehender zusätzlicher Sicherheitszuschlag nicht erforderlich ist.

5.5 Gesamtkosten für den Nachbetrieb

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 Projektstruktur-Plan-Elemente der Ebene 3, Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten addiert, woraus sich prognostizierte Kosten ergeben. Zu diesen werden Zuschläge für Gefahren und Abzüge für Chancen sowie – falls notwendig – ein Sicherheitszuschlag addiert. Diese Zuschläge werden nicht für die einzelnen Projektstruktur-Plan-Elemente der Kalkulation berechnet, sondern erfolgen gesamthaft als Zuschlag beziehungsweise Abzug auf die prognostizierten Kosten. Die so erhaltenen Gesamtkosten werden mit dem Ergebnis der Kostenstudie 2011 verglichen.

Die hier vorgenommene Kostenschätzung 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 dem Nachbetrieb 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. Genauere Aussagen zum zeitlichen Verlauf der anfallenden Kosten erhält man erst zu einem späteren Zeitpunkt und nach detaillierter Planung des Nachbetriebs.

Tabelle 11 zeigt die Kosten des Nachbetriebs der Schweizer Kernkraftwerke. Nebst den Gesamtkosten ist auch deren Aufschlüsselung gemäss der in Kapitel 3.2 erläuterten Kostengliederung dargestellt. Die Resultate der Kostenstudie 2011 sind zum Vergleich aufgeführt [7]. Die Schätzungen werden jeweils zum Geldwert des Schätzungsjahres durchgeführt. Für den direkten Vergleich wurden die in der Kostenstudie 2011 geschätzten Kosten mit der in der Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung [14] verankerten und im Rückstellungsmodell berücksichtigten Teuerungsrate von 1.5 Prozent⁶⁸ von der Preisbasis 2011 auf die Preisbasis 2016 hochgerechnet. Teuerungsbereinigt sind für alle Schweizer Kernkraftwerke die Gesamtkosten des Nachbetriebs niedriger als in der Kostenstudie 2011 – insgesamt um rund 8 Prozent.

⁶⁸ Gemäss Art. 8a Abs. 2 SEFV [14].

In der Kostenstudie 2016 sind nicht nur die geschätzten Nachbetriebskosten, sondern im Prinzip auch deren Veränderung für die einzelnen Anlagen vergleichbar. Dies aufgrund der bereits der Kostenstudie 2011 zugrundeliegenden einheitlichen Basis für die Annahmen zum Nachbetrieb. Die Vergleichbarkeit mit der Kostenstudie 2011 wird allerdings erschwert durch die Einführung einer neuen Kostengliederung, die einige Kostenelemente einschliesst, die bislang nicht oder nur teilweise in den Kostenschätzungen berücksichtigt wurden. Ausserdem ist bei einem Vergleich zu beachten, dass die Dauer des Nachbetriebs nicht mehr für alle Anlagen fünf Jahre beträgt, sondern für die Kernkraftwerke Beznau und Leibstadt auf vier und für das Kernkraftwerk Gösgen auf drei Jahre verkürzt wurde, was für diese Anlagen eine Reduktion der Nachbetriebskosten zur Folge hat.

Die Nachbetriebskosten betragen für die Schweizer Kernkraftwerke zwischen 339 und 468 Millionen Franken. Die Gesamtsumme der Nachbetriebskosten beträgt rund 1.7 Milliarden Franken.

Die geschätzten Gesamtkosten des Nachbetriebs der Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt fallen – aufgrund der Verkürzung der Plandauer des Nachbetriebs von fünf auf vier Jahre für die Kernkraftwerke Beznau und Leibstadt sowie auf drei Jahre für das Kernkraftwerk Gösgen – tiefer aus als in der Kostenstudie 2011. Für das Kernkraftwerk Mühleberg ergeben sich aus erst im Rahmen der Vorbereitung der Ausserbetriebnahme erkannten Anlageanpassungen (beispielsweise Autarkie des Brennelementlagerbeckens) Möglichkeiten zur Vereinfachung der Anlage und des Anlagenbetriebs. Dies führt auch im Kernkraftwerk Mühleberg, trotz der unverändert fünf Jahre betragenden Nachbetriebsdauer, zu niedrigeren Gesamtkosten des Nachbetriebs.

Tabelle 11: Nachbetriebskostenschätzung der Schweizer Kernkraftwerke in der Kostenstudie 2016 Darstellung der Kostengliederung sowie im Vergleich zur Kostenstudie 2011; angegeben sind die Kosten für den gesamten Nachbetrieb. Dessen Dauer ist in der Kostenstudie 2016 gegenüber der Kostenstudie 2011 von einheitlich 5 Jahren für KKB und KKL auf 4 und für KKG auf 3 Jahre reduziert; Angaben in Millionen Franken auf Preisbasis 2016.

| Nachbetriebskosten | KKB | | KKM | | KKG | | KKL | | Total | |
|---------------------------|------------|----|------------|----|------------|----|------------|----|--------------|-----|
| Ausgangskosten | 385 | | 295 | | 344 | | 383 | | 1'406 | |
| Risikominderung | 6 | | 7 | | 4 | | 6 | | 22 | |
| Basiskosten KS16 | 390 | | 302 | | 348 | | 388 | | 1'428 | |
| Prognoseungenauigkeit | 1.9% | 7 | 1.4% | 4 | 1.9% | 7 | 2.0% | 8 | 1.8% | 26 |
| Gefahren | 18.3% | 71 | 13.6% | 41 | 23.1% | 80 | 20.3% | 79 | 19.0% | 271 |
| Chancen | -1.7% | -7 | -2.4% | -7 | -0.5% | -2 | -1.8% | -7 | -1.6% | -23 |
| Sicherheitszuschlag | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Zuschlag auf Basiskosten | 18.5% | 72 | 12.6% | 38 | 24.5% | 85 | 20.5% | 79 | 19.2% | 275 |
| Gesamtkosten KS16 | 462 | | 339 | | 434 | | 468 | | 1'703 | |
| Gesamtkosten KS11 | 512 | | 344 | | 490 | | 496 | | 1'841 | |
| Differenz KS16-KS11 | -50 | | -4 | | -57 | | -28 | | -138 | |
| | -9.7% | | -1.3% | | -11.6% | | -5.6% | | -7.5% | |

KS16: Kostenstudie 2016; KS11: Kostenstudie 2011.
 Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

Aus der neu eingeführten Kostengliederung, die einige Kostenelemente einschliesst, die bislang nicht oder nur teilweise in den Kostenschätzungen berücksichtigt wurden, resultieren jedoch für alle Werke kostenerhöhende Effekte.

In Tabelle 11 fällt auf, dass im Fall des Kernkraftwerks Gösgen angesichts der dort um 40 Prozent reduzierten Nachbetriebsdauer die Reduktion der Nachbetriebskosten um 11.5 Prozent nur moderat ausgefallen ist. Dies liegt daran, dass sich für das Kernkraftwerk Gösgen die Jahreskosten des Betriebs erhöht haben. Für die Kernkraftwerke Beznau und Leibstadt haben sich die Jahreskosten nur geringfügig geändert, so dass dort die Kostenreduktion zwar auch nicht der Reduktion der Nachbetriebsdauer um 20 Prozent, jedoch angesichts der sich aus der Kostengliederung ergebenden kostenerhöhenden Effekte dennoch in etwa den Erwartungen entspricht.

Ein Vergleich der in der Kostenstudie 2016 geschätzten Nachbetriebskosten mit jenen der Kostenstudie 2011 zeigt, dass der Nachbetrieb unter Berücksichtigung sämtlicher Zuschläge für alle Werke weniger kostet als im Jahr 2011 geschätzt wurde. In der Summe betragen die Minderkosten knapp 140 Millionen Franken beziehungsweise 7.5 Prozent.

A. Anhang

A.1 Referenzen

- [1] Kostenstudie 2016 (KS16), Mantelbericht; swissnuclear Bericht FGK-AN-16.001, Olten, Schweiz.
- [2] Kostenstudie 2016 (KS16), Schätzung der Entsorgungskosten der Schweizer Kernkraftwerke – geologische Tiefenlagerung); swissnuclear Bericht FGK-AN-16.043, Olten, Schweiz.
- [3] Kostenstudie 2016 (KS16), Schätzung der Entsorgungskosten der Schweizer Kernkraftwerke – Zwischenlagerung, Transporte, Behälter; Wiederaufarbeitung), swissnuclear Bericht FGK-AN-16.002, Olten, Schweiz.
- [4] Kostenstudie 2016 (KS16), Schätzung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen; swissnuclear Bericht FGK-AN-16.004, Schweiz.
- [5] Kostenstudie 2011 (KS11) Mantelbericht, swissnuclear Bericht FGK-11.061.GS Rev. 0, Olten, Schweiz.
- [6] Kostenstudie 2011 (KS11), Schätzung der Entsorgungskosten der Schweizer Kernkraftwerke, swissnuclear Bericht FGK-11.054.GS Rev. 0, Olten, Schweiz.
- [7] Kostenstudie 2011 (KS11), Schätzung der Kosten der Nachbetriebsphase der Schweizer Kernkraftwerke; swissnuclear Bericht FGK-11.055.GS Rev. 0, Olten, Schweiz.
- [8] Kostenstudie 2011 (KS11), Schätzung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen; swissnuclear Bericht FGK-11.056.GS Rev. 0, Olten, Schweiz.
- [9] Glossar KS16 – Abkürzungen / Begriffe / Glossar zur Kostenstudie 2016 (KS16); swissnuclear Bericht FGK-AN-16.044.GS, Rev. 0, Olten Schweiz.
- [10] SR 814.50 Strahlenschutzgesetz (StSG) vom 22. März 1991 (Stand 1. Januar 2007).
- [11] SR 814.501 Strahlenschutzverordnung (StSV) vom 22. Juni 1994 (Stand 1. Januar 2014).
- [12] SR 732.1 Kernenergiegesetz vom 21. März 2003 (KEG) (Stand 1. Januar 2009).
- [13] SR 732.11 Kernenergieverordnung vom 10. Dezember 2004 (KEV) (Stand 1. Mai 2012).
- [14] SR 732.17 Verordnung über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen (Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung, SEFV) vom 7. Dezember 2007 (Stand 1. Januar 2015).
- [15] SR 732.12 Safeguardsverordnung vom 21. März 2012 (Stand am 1. Januar 2013).
- [16] 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).
- [17] SR 732.112.2 Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen vom 17. Juni 2009 (Stand am 1. August 2009).
- [18] SR 732.441 Kernenergiehaftpflichtverordnung (KHV) vom 5. Dezember 1983 (Stand am 1. Januar 2008).
- [19] SR 220 Bundesgesetz betreffend die Ergänzung des Schweizerischen Zivilgesetzbuches (Fünfter Teil: Obligationenrecht) vom 30. März 1911 (Stand am 1. Juli 2014).
- [20] International Financial Reporting Standards (IFRS); www.ifrs.org.
- [21] Schweizer Standards für die Rechnungslegung in Unternehmen, Generally Accepted Accounting Principles, Fachempfehlungen zur Rechnungslegung; www.fer.ch (Swiss GAAP FER).
- [22] SR 822.11 Bundesgesetz über die Arbeit in Industrie, Gewerbe und Handel (Arbeitsgesetz, ArG) vom 13. März 1964 (Stand am 1. Dezember 2013).
- [23] SR 822.111 Verordnung 1 zum Arbeitsgesetz (ArGV 1) vom 10. Mai 2000 (Stand am 1. Juni 2014).

- [24] SR 822.112 Verordnung 2 zum Arbeitsgesetz (ArGV 2) (Sonderbestimmungen für bestimmte Gruppen von Betrieben oder Arbeitnehmern und Arbeitnehmerinnen) vom 10. Mai 2000 (Stand am 1. September 2014).
- [25] SR 822.113 Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz (ArGV 3) (Gesundheitsschutz) vom 18. August 1993 (Stand am 1. Mai 2010).
- [26] SR 822.114 Verordnung 4 zum Arbeitsgesetz (ArGV 4) (Industrielle Betriebe, Plangenehmigung und Betriebsbewilligung) vom 18. August 1993 (Stand am 1. Juni 2009).
- [27] SR 832.30 Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten (Verordnung über die Unfallverhütung, VUV) vom 19. Dezember 1983 (Stand am 1. Mai 2012).
- [28] SR 832.20 Bundesgesetz über die Unfallversicherung (UVG) vom 20. März 1981 (Stand am 1. Januar 2013).
- [29] SR 832.202 Verordnung über die Unfallversicherung (UVV) vom 20. Dezember 1982 (Stand am 1. Januar 2014).
- [30] SR 732.13 Verordnung über sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen in Kernanlagen (VBRK) vom 9. Juni 2006 (Stand am 1. Januar 2009).
- [31] SR 819.14 Verordnung über die Sicherheit von Maschinen (Maschinenverordnung, MaschV) vom 2. April 2008 (Stand am 15. Dezember 2011).
- [32] SR 814.501.43 Verordnung über die Personendosimetrie (Dosimetrieverordnung) vom 7. Oktober 1999 (Stand am 1. Januar 2013).
- [33] SR 732.143.1 Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen (VAPK) vom 9. Juni 2006 (Stand am 1. Januar 2009).
- [34] SR 732.222 Gebührenverordnung des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats (Gebührenverordnung ENSI) vom 9. September 2008 (Stand am 1. Januar 2009).
- [35] SR 814.56 Verordnung über die Gebühren im Strahlenschutz (GStSV) vom 5. Juli 2006 (Stand am 1. Januar 2014).
- [36] Grundlagenpapier zur Revision der Verordnungen im Strahlenschutz; Bundesamt für Gesundheit (BAG); Version für die Anhörung, Oktober 2015.
- [37] Ensi-A01 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen A01/d, Anforderungen an die deterministische Störfallanalyse für Kernanlagen: Umfang, Methodik und Randbedingungen der technischen Störfallanalyse; Ausgabe Juli 2009.
- [38] Ensi-A04 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen A04/d, Gesuchsunterlagen für freigabepflichtige Änderungen an Kernanlagen; Ausgabe Juli 2008, Revision 1 vom 24. September 2009.
- [39] Ensi A05 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen A05/d, Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Qualität und Umfang; Ausgabe Januar 2009.
- [40] Ensi A06 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen A06/d, Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Anwendungen; Ausgabe Mai 2008.
- [41] Ensi A08 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen A08/d, Quelltermanalyse: Umfang, Methodik und Randbedingungen; Ausgabe Februar 2010.
- [42] Ensi B01 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B01/d, Alterungsüberwachung; Ausgabe August 2011.
- [43] Ensi B02 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B02/d, Periodische Berichterstattung der Kernanlagen; Ausgabe September 2008.
- [44] Ensi B03 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B03/d, Meldungen der Kernanlagen Ausgabe September 2008, Revision 3 vom 1. März 2012.
- [45] Ensi B04 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B04/d, Freimessen von Materialien und Bereichen aus kontrollierten Zonen; Ausgabe August 2009.

- [46] Ensi B05 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B05/d, Anforderungen an die Konditionierung radioaktiver Abfälle; Ausgabe Februar 2007.
- [47] Ensi B06 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B06/d, Sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen: Instandhaltung; Ausgabe vom 31. Mai 2013.
- [48] Ensi B09 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B09/d, Ermittlung und Aufzeichnung der Dosis strahlenexponierter Personen; Ausgabe Juli 2011.
- [49] Ensi B10 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B10/d, Ausbildung, Wiederholungsschulung und Weiterbildung von Personal; Ausgabe Oktober 2010.
- [50] Ensi B11 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B11/d, Notfallübungen; Ausgabe November 2007, Revision 1 vom 1. Januar 2013 (geändert am 23. Dezember 2015).
- [51] Ensi B12 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B12/d, Notfallschutz in Kernanlagen; Ausgabe April 2009.
- [52] Ensi B13 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B13/d, Ausbildung und Fortbildung des Strahlenschutzpersonals; Ausgabe November 2010.
- [53] Ensi G01 Richtlinie für die schweizerischen Kernkraftwerke G01/d, Sicherheitstechnische Klassierung für bestehende Kernkraftwerke; Ausgabe Januar 2011.
- [54] Ensi G04 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G04/d, Auslegung und Betrieb von Lagern für radioaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente; Ausgabe September 2010, Revision 1 vom 1. März 2012.
- [55] HSK-G05 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G05, Transport- und Lagerbehälter für die Zwischenlagerung; April 2008.
- [56] Ensi-G07 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G07/d, Organisation von Kernanlagen; Ausgabe Juli 2013.
- [57] Ensi-G08 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G08/d, Systematische Sicherheitsbewertungen des Betriebs von Kernanlagen; Entwurf für die externe Anhörung, 1. Januar 2014.
- [58] Ensi-G09 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G09/d, Betriebsdokumentation; Ausgabe Juni 2014.
- [59] Ensi G11 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G11/d, Sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen: Planung, Herstellung und Montage; Ausgabe Februar 2009, Revision 2 vom 1. Juni 2013.
- [60] HSK-G13 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G13/d, Strahlenschutzmessmittel in Kernanlagen: Konzepte, Anforderungen und Prüfungen; Ausgabe Februar 2008.
- [61] 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.
- [62] Ensi-G15 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G15/d, Strahlenschutzziele für Kernanlagen; Ausgabe November 2010.
- [63] Ensi-G17 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G17/d, Stilllegung von Kernanlagen; Ausgabe April 2014.
- [64] HSK-R-07 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen R-07/d, Richtlinie für den überwachten Bereich der Kernanlagen und des Paul-Scherrer-Institutes; Juni 1995.
- [65] HSK-R-12 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen R-12/d, Erfassung und Meldung der Dosen des strahlenexponierten Personals der Kernanlagen und des Paul-Scherrer-Instituts; Oktober 1997.

- [66] HSK-R-30 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen R-30/d, Aufsichtsverfahren beim Bau und Betrieb von Kernanlagen; Juli 1992, Neudruck Januar 1993.
- [67] HSK-R-46 Richtlinie für schweizerische Kernanlagen R-46/d, Anforderungen für die Anwendung von sicherheitsrelevanter rechnerbasierter Leittechnik in Kernkraftwerken; April 2005.
- [68] HSK R-50 Richtlinie für schweizerische Kernanlagen R-50/d, Sicherheitstechnische Anforderungen an den Brandschutz in Kernanlagen; März 2003.
- [69] HSK-R-101 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen R-101/d, Auslegungskriterien für Sicherheitssysteme von Kernkraftwerken mit Leichtwasser-Reaktoren; Mai 1987.
- [70] 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.
- [71] HSK-R-103 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen R-103/d, Anlageinterne Massnahmen gegen die Folgen schwerer Unfälle; November 1989, Neudruck Januar 1993.
- [72] KE-R-15 – Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen R-49/d, KE-R-15/d, Sicherheitstechnische Anforderungen an die Sicherung von Kernanlagen; Dezember 2003.
- [73] ICRP Publication 103, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection; Ann. ICRP 37 (2-4), 2007.
- [74] IAEA GS-R-3 The Management System for Facilities and Activities, Safety Requirements, IAEA Safety Standards Series No. GS-R-3; STI/PUB/1252 (ISBN:92-0-106506-X); Vienna 2006.
- [75] 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.
- [76] IAEA TecRS No. 399 Organization and Management for Decommissioning of Large Nuclear Facilities, Technical Reports Series No. 399; STI/DOC/010/399 (ISBN:92-0-102300-6); Vienna 2001.
- [77] IAEA WS-R-5 Decommissioning of Facilities Using Radioactive Material, Safety Requirements IAEA Safety Standards Series; Vienna 2006.
- [78] IAEA WS-G-2.1 Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors Safety Guide IAEA Safety Standards Series No. WS-G-2.1; STI/PUB/1079 (ISBN:92-0-102599-8); Vienna 1999.
- [79] 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.
- [80] IAEA DS452 Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors and other Nuclear Fuel Cycle Facilities, Safety Guide, IAEA Safety Standards under development; Vienna 2014.
- [81] 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.
- [82] IAEA TRS No. 395 State of the Art Technology for Decontamination and Dismantling of Nuclear Facilities IAEA Technical Report Series; Vienna 1999.
- [83] IAEA TECDOC-1476 Safety Related Publications, Financial Aspects of Decommissioning; Vienna, November 2005.
- [84] Organisation for Economic Co-operation and Development OECD, Nuclear Energy Agency NEA, Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants – an Internal Overview of Cost Elements, Estimation Practices and Reporting Requirements, NEA No. 6831 (ISBN 978-92-64-99133-0); OECD 2010.
- [85] Organisation for Economic Co-operation and Development OECD, Nuclear Energy Agency NEA, International Structure for Decommissioning Costing (ISDC) of Nuclear Installations, NEA No. 7088 (ISBN 978-92-64-99173-6); OECD 2012.

- [86] Organisation for Economic Co-operation and Development OECD, Nuclear Energy Agency NEA, Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants, NEA No. 7201, OECD 2016.
- [87] NDA PCP-M United Kingdom Nuclear Decommissioning Authority, Baseline Management System Programme Controls Procedures, Doc No PCP-M Rev2; 18 April 2013.
- [88] DOE G 413.3-21 U.S. Department of Energy, Cost Estimating Guide, Washington D.C., 5-9-2011.
- [89] SR 742.412 Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter mit Eisenbahnen und Seilbahnen (RSD) vom 31. Oktober 2012 (Stand am 1. Januar 2015).
- [90] SR 0.742.403.1 Convention relative aux transports internationaux ferroviaires (COTIF 1980); Conclue à Berne le 9 mai 1980; Approuvée par l'Assemblée fédérale le 24 juin 1983; Instrument de ratification déposé par la Suisse le 8 novembre 1983; Entrée en vigueur pour la Suisse le 1er mai 1985 (Etat le 8 août 2006).
- [91] Convention relative aux transports internationaux ferroviaires (COTIF), Appendice C – Règlement concernant le transport international ferroviaire des marchandises dangereuses (RID); applicable à partir du 1^{er} janvier 2015.
- [92] SR 741.621 Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (SDR) vom 29. November 2002 (Stand am 1. Januar 2015).
- [93] SR 0.741.621 Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (ADR); Conclu à Genève le 30 septembre 1957; Approuvé par l'Assemblée fédérale le 4 décembre 1969; Instrument de ratification déposé le 20 juin 1972; Entré en vigueur pour la Suisse le 20 juillet 1972; Annexes A et B amendées les 29 janvier 1968, 26 octobre 1970 et le 30 décembre 1971 (Etat le 1er janvier 2015).
- [94] IAEA SSR-6 Safety Standards Series No. SSR-6 Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material (2012 Edition), Specific Safety Requirements; STI/PUB/1570 (ISBN:978-92-0-133310-0); Vienna 2012.
- [95] IAEA SSG-26 Safety Standards Series No. SSG-26 Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material (2012 Edition), Specific Safety Guide; Vienna 2014.
- [96] IAEA TS-R-1 Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material (2012 Edition), Specific Safety Requirements, IAEA Safety Standards Series No. IAEA TS-R-1; 2013.
- [97] IAEA TS-G-1.1 Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material – Safety Guide IAEA Safety Standards Series No. TS-G-1.1 (Revision 1) ISBN 978-92-0-101408-5; 2002.
- [98] Deutsches Institut für Normung e.V., DIN EN ISO 9001 (2008) Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen (ISO/DIS 9001:2008); Berlin: Beuth.
- [99] Sicherheitstechnische Regel des Kerntechnischen Ausschusses (KTA, Deutschland), KTA 1401 Allgemeine Anforderungen an die Qualitätssicherung, Fassung 2013-11.

A.2 Verwendete Abkürzungen

| Abkürzung | Erläuterung |
|-------------------|---|
| Art. | Artikel |
| Bst. | Buchstabe |
| CHF | Schweizer Franken |
| EELB | Endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs |
| ENSI, Ensi | Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat |
| HSK | Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen |
| IAEA | International Atomic Energy Agency |
| IBN | Inbetriebnahme |
| KEG | Kernenergiegesetz |
| KEV | Kernenergieverordnung |
| KKB | Kernkraftwerk Beznau |
| KKG | Kernkraftwerk Gösgen |
| KKL | Kernkraftwerk Leibstadt |
| KKM | Kernkraftwerk Mühleberg |
| KKW | Kernkraftwerk |
| KS11 | Kostenstudie 2011 |
| KS16 | Kostenstudie 2016 |
| m, m ³ | Meter, Kubikmeter |
| MCHF | Millionen Schweizer Franken (Mio. CHF) |
| Mg | Megagramm (10 ⁶ Gramm) |
| MW _{el} | Megawatt elektrisch (elektrische Reaktorleistung) |
| MW _{th} | Megawatt thermisch (thermische Reaktorleistung) |
| Nagra | Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle |
| NIS | Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH |
| OR | Obligationenrecht |
| PB11 | Preisbasis 01.01.2011 |
| PB16 | Preisbasis 01.01.2016 |
| PSP | Projektstrukturplan |
| PSP-Element | Element im Projektstrukturplan |
| RDB | Reaktordruckbehälter |
| RID | Ordnung über die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter |
| 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 |
| SMA-Lager | Geologisches Tiefenlager für schwach- und mittelaktive Abfälle |
| StSG | Strahlenschutzgesetz |
| StSV | Strahlenschutzverordnung |
| VGB | Verband der Grosskessel-Besitzer e.V., Fachverband der Strom- und Wärmeerzeugung als freiwilliger Zusammenschluss der Kraftwerksbetreiber und -hersteller |
| WAK | Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe |
| z.B. | zum Beispiel |
| usw. | und so weiter |
| Zwibez | Zwischenlager Beznau |
| Zwilag | Zwilag Zwischenlager Würenlingen AG |