

swiss*nuclear*

Fachgruppe Kernenergie der *swisselectric*

Kostenstudie 2016 (KS16)

Schätzung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen

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

Die Eigentümer der Schweizer Kernanlagen sind verpflichtet^a, ihre Anlagen nach der endgültigen Ausserbetriebnahme zurückzubauen, alle aus dem Betrieb und dem Rückbau der Anlagen anfallenden radioaktiven Abfälle in geologischen Tiefenlagern zu entsorgen und sämtliche damit verbundenen Kosten zu tragen. Die Finanzierung der Stilllegung von Kernanlagen und der Entsorgung der von diesen verursachten radioaktiven Abfällen ist, um dem Verursacherprinzip gerecht zu werden, in der Schweiz weitgehend gesetzlich geregelt. Zur Sicherstellung der benötigten finanziellen Mittel wurden zwei staatlich kontrollierte Fonds eingerichtet, die von den Eigentümern der Schweizer Kernanlagen geäuft werden. Diese müssen nach Ausserbetriebnahme der Kernanlagen über genügend Mittel verfügen, um die nach diesem Zeitpunkt anfallenden Stilllegungs- und Entsorgungskosten zu decken^b. Darüber hinaus sind die Eigentümer der Kernanlagen verpflichtet, eigene Vorsorge zur Finanzierung der vor der endgültigen Ausserbetriebnahme anfallenden Stilllegungs- und Entsorgungskosten sowie für die Kosten des Nachbetriebs zu treffen.

Die Bemessung der Einzahlungen in die beiden staatlich kontrollierten Fonds, den Stilllegungs- und den Entsorgungsfonds, sowie der Rückstellungen der Eigentümer von Kernanlagen für die Stilllegung und die Entsorgung erfolgt auf Basis einer umfassenden Schätzung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten. Sie hat gemäss der Verordnung über den Stilllegungs- und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen alle fünf Jahre zu erfolgen^c. Mit der Aktualisierung der Stilllegungs- und Entsorgungskostenstudien werden jeweils auch die Kosten für den so genannten Nachbetrieb neu geschätzt, welche die Kernkraftwerke direkt bezahlen.

Die letzte Schätzung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten erfolgte im Jahr 2011. Sie wurde vom Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat sowie von weiteren Gutachtern geprüft und von der Verwaltungskommission des Stilllegungs- und des Entsorgungsfonds für Kernanlagen, im Folgenden Verwaltungskommission genannt, genehmigt. Sie bildet die Grundlage für die Rückstellungsberechnungen sowie für die Festlegung der Fondsbeiträge der Stilllegungs- und Entsorgungspflichtigen in den Jahren 2012–2016. Die Eigentümer der Schweizer Kernanlagen beauftragten swissnuclear im Jahr 2014, zusammen mit den für die Entsorgung in der Schweiz verantwortlichen Organisationen die gesetzlich vorgeschriebene Aktualisierung der Kostenstudie vorzunehmen und bis Ende 2016 fertigzustellen sowie dabei insbesondere die Vorgaben der Verwaltungskommission für die Erstellung der Kostenstudie 2016 zu berücksichtigen. Mit dem vorliegenden Bericht wird diesem Auftrag bezüglich der Schätzung der Stilllegungskosten Rechnung getragen. Auch die Kostenstudie 2016 wird wiederum vom Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat und ausserdem von Kostenprüfern im Auftrag der Verwaltungskommission eingehend geprüft werden. Die Empfehlungen aus der Überprüfung der Kostenstudie 2011 wurden für die Erstellung der Kostenstudie 2016 berücksichtigt. Die Details hierzu sind dem Anhang des Mantelberichts [1] zu entnehmen.

Als Teil der Vorgaben für die Erstellung der Kostenstudie 2016 wurden auch verbindliche Kostenstrukturen für die Darstellung der geschätzten Stilllegungs- und Entsorgungskosten definiert, die durchgängig in allen Phasen der Kostenplanung und -feststellung angewendet werden können. Verbindliche Kostenstrukturen sollen die Voraussetzungen schaffen für eine transparente Kostenplanung, aussagekräftige Kostenvergleiche, ein effektives Kostencontrolling sowie für einen effizienten Abwicklungsprozess zur Inanspruchnahme von Fondsmitteln.

Die Vorgaben für die Erstellung der Kostenstudie 2016 beinhalten auch Weisungen, wie mit Ungenauigkeiten und Risiken umzugehen ist. Dazu wurde eine Kostengliederung vorgegeben, die bei der Ermittlung und der Darstellung der Kosten zu berücksichtigen ist.

^a Art 26 Kernenergiegesetz (KEG) [10].

^b Art 77 KEG [9].

^c Art. 4 Verordnung über den Stilllegungs- und den Entsorgungsfonds (SEFV) [12].

Die Kostengliederung ist vom Begriff der Kostenstruktur abzugrenzen. Während die Kostenstruktur den Projektstrukturplan definiert, der den berechneten Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten zugrunde liegt, bezieht sich die Kostengliederung auf die Zusammensetzung der Gesamtkosten. Sie beinhaltet neben den berechneten Ausgangskosten auch die Kosten für risikomindernde Massnahmen, die Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten und Kostenzuschläge zur Berücksichtigung von Gefahren, 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 Kostenschätzung basiert auf dem gesetzlichen und regulatorischen Rahmen per 1. Januar 2015.

Um die gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen aus laufenden Rückbauprojekten sowie die aktuellen Schweizer Verhältnisse in der Stilllegungskostenstudie zu berücksichtigen, hat swissnuclear die Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH beauftragt, für die Schweizer Kernkraftwerke und die Anlagen der Zwi-lag Zwischenlager Würenlingen AG (Zwi-lag) neue Stilllegungskostenstudien zu erstellen.

Die geschätzten Stilllegungskosten aus der aktuellen Kostenstudie 2016 sind in Tabelle 1 aufgeführt und mit den Ergebnissen der Kostenstudie aus dem Jahr 2011 verglichen. Für den Vergleich wurden die in der Kostenstudie 2011 geschätzten Kosten mit der in der Verordnung^d über den Stilllegungs- und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen vorgegebenen Teuerungsrate von 1.5 Prozent pro Jahr von der Preisbasis 2011 (PB11) auf die Preisbasis 2016 (PB16) der Kostenstudie 2016 hochgerechnet.

Tabelle 1: Stilllegungskostenschätzung der Kostenstudie 2016 und Vergleich mit der Kostenstudie 2011 auf der Preisbasis 2016.

Element der Kostengliederung	KKB ¹⁾		KKM		KKG		KKL		Zwi-lag		Total	
Aufgelaufene Kosten bis 2015	-		19		-		-		-		19	
Zukünftige Kosten ab 2016												
Ausgangskosten	681		423		620		804		94		2'622	
Kosten zur Risikominderung	19		13		14		18		3		67	
Basiskosten	701		436		635		822		96		2'689	
Prognoseungenauigkeiten	12.8%	90	8.3%	36	11.1%	70	11.4%	94	11.5%	11	11.2%	301
Zuschlag für Gefahren	18.0%	126	17.9%	78	18.6%	118	18.1%	149	21.4%	21	18.2%	491
Abzug für Chancen	-2.4%	-17	-1.0%	-5	-2.6%	-16	-6.0%	-49	-6.9%	-7	-3.5%	-94
Sicherheitszuschlag	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-
Zuschlag auf zukünftige Basiskosten	28.4%	199	25.1%	109	27.0%	172	23.5%	193	26.0%	25	26.0%	698
Gesamtkosten	900		564		806		1'015		121		3'406	
Stilllegungskosten bis zur endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs	54		87		52		47		7		247	
Bemessungsgrundlage Fondsbeiträge	845		477		755		968		114		3'160	
Gesamtkosten KS11 PB16	872		524		714		991		102		3'204	
Differenz Absolut	28		39		92		24		19		202	
Differenz (%)	3.2%		7.5%		12.9%		2.4%		18.9%		6.3%	

¹⁾ KKB einschliesslich Zwischenlager Beznau

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

KS16 = Kostenstudie 2016, KS11 = Kostenstudie 2011, PB16 = Preisbasis 2016.

^d Art. 4 SEFV [12].

Die Stilllegungskosten gemäss Kostenstudie 2016 erhöhen sich in der Basisvariante (Abschluss der Stilllegung nach Entlassung aus dem Kernenergiegesetz) gegenüber der Kostenstudie 2011 teuerungsbereinigt um durchschnittlich rund 6.3 Prozent.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass in der Kostenstudie 2011 die Kosten des konventionellen Rückbaus bis zu einer Tiefe von zwei Metern unter der Geländeoberfläche enthalten waren, während in der Kostenstudie 2016 das Stilllegungsziel Abschluss der Stilllegungsarbeiten und Entlassung der Standorte aus dem Kernenergiegesetz zugrunde gelegt wird. Die Stilllegungskosten inklusive der Kosten des konventionellen Rückbaus werden in der Kostenstudie 2016 als Variante ausgewiesen. Die Beobachtung und Analyse von laufenden Rückbauprojekten im Ausland führten zu der Erkenntnis, dass der Demontageaufwand und der Aufwand für die projektbegleitenden Massnahmen im Vergleich zu den Annahmen in der Kostenstudie 2011 nach oben korrigiert werden müssen. Die Erhöhung der Stilllegungskosten resultiert zudem teilweise aus der Einführung der Kostengliederung. Kostenreduzierend wirken Optimierungen im Ablauf und in der Organisation der Rückbauprojekte.

Die nächste Kostenschätzung ist für 2021 vorgesehen.

Inhalt

1	Ausgangslage	1
1.1	Gesetzlicher Rahmen	1
1.1.1	Verursacherprinzip	1
1.1.2	Finanzierung der Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten	2
1.1.3	Rückstellungen für Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten	4
1.1.4	Kostenstudien der Stilllegungs- und Entsorgungspflichtigen	4
1.2	Die Stilllegung	4
1.2.1	Stilllegungsplan	5
1.2.2	Sofortiger Rückbau	5
1.2.3	Späterer Rückbau nach einem gesicherten Einschluss	6
1.2.4	Auswahl der Stilllegungsvariante	6
1.2.5	Abgrenzung Nachbetrieb, Stilllegung, Entsorgung	7
1.3	Betriebs- und Stilllegungsdauern der Kernanlagen	9
2	Randbedingungen, Annahmen und andere Vorgaben	10
2.1	Gesetze, Verordnungen, Richtlinien und andere Vorschriften	10
2.1.1	Gesetze und Verordnungen	10
2.1.2	Richtlinien und Empfehlungen	10
2.1.3	Transportvorschriften	12
2.1.4	Normen und Regeln	12
2.1.5	Begriffe	12
2.2	Randbedingungen, Annahmen und Vorgaben zur Stilllegung	12
2.2.1	Basisprojekte und Varianten	13
2.2.2	Weitere Randbedingungen und Annahmen	13
3	Methodik der Kostenschätzung	17
3.1	Kostenstruktur	17
3.2	Kostengliederung	18
3.2.1	Vorgaben zur Kostengliederung	18
3.2.2	Umsetzung der Kostengliederung	21
3.3	Ermittlung der Stilllegungskosten durch die Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH	28
3.3.1	Kalkulationsmodell für die Kostenermittlung	28
3.3.2	Erfahrungshintergrund der Kostenschätzer	29
4	Einflussfaktoren auf die Stilllegungskosten	32
4.1	Anlageinventar	32

4.2	Massenverteilung	37
4.3	Materialbehandlung und Entsorgung	43
4.3.1	Konditionierung	43
4.3.2	Transport zum geologischen Tiefenlager SMA	49
4.3.3	Zuteilbare Lagerkosten für das geologische Tiefenlager SMA	54
4.4	Ablauf und Dauer der Stilllegung	55
4.4.1	Ablauf der Stilllegung	55
4.4.2	Unterschiede zwischen den Studien 2011 und 2016	56
4.5	Personalaufwand und Kollektivdosis	59
5	Resultat der Schätzung der Stilllegungskosten	65
5.1	Ausgangskosten.....	66
5.2	Risikomindernde Massnahmen.....	68
5.2.1	Organisatorische Massnahmen	69
5.2.2	Technische Massnahmen	72
5.2.3	Kosten zur Risikominderung	73
5.3	Basiskosten.....	76
5.4	Prognoseungenauigkeiten	77
5.5	Gefahren und Chancen.....	80
5.5.1	Kostenzuschläge für Gefahren.....	80
5.5.2	Kostenabzüge für Chancen.....	82
5.5.3	Quantifizierung der Zuschläge für Gefahren und Chancen	82
5.6	Sicherheitszuschlag	85
5.7	Vor endgültiger Einstellung des Leistungsbetriebs anfallende Stilllegungskosten	85
5.8	Gesamtkosten der Stilllegung	87
5.9	Währungsanteile bei den Stilllegungskosten	88
A	Anhänge	89
A.1	Projektstrukturplan	89
A.2	Annahmen und Ergebnisse der Kostenschätzung für die Varianten	94
A.3	Ergebnisse der Kostenstudie gemäss den International Structure of Decommissioning Costing (ISDC) der Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)	98
A.4	Referenzprojekte der Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH in den Niederlanden, Belgien, Slowenien/Kroatien, Frankreich, Italien und in der Schweiz.....	101
A.5	Referenzen.....	103
A.6	Verwendete Abkürzungen.....	106

Abbildungen

Abbildung 1:	Abgrenzung von Leistungsbetrieb, Nachbetrieb und Stilllegung	8
Abbildung 2:	Kostengliederung für die Kostenstudie 2016.	19
Abbildung 3:	Überblick Kalkulationsmodell der Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH.....	28
Abbildung 4:	Voraussichtliche Dauer der Stilllegungs- und Rückbauarbeiten ab EELB, KKB.	57
Abbildung 5:	Voraussichtliche Dauer der Stilllegungs- und Rückbauarbeiten ab EELB, KKM.	58
Abbildung 6:	Voraussichtliche Dauer der Stilllegungs- und Rückbauarbeiten ab EELB, KKG.	58
Abbildung 7:	Voraussichtliche Dauer der Stilllegungs- und Rückbauarbeiten ab EELB, Kernkraftwerk Leibstadt.	59
Abbildung 8:	Risikomatrix Stilllegungskosten (exemplarisch).	84

Tabellen

Tabelle 1:	Stilllegungskostenschätzung der Kostenstudie 2016 und Vergleich mit der Kostenstudie 2011 auf der Preisbasis 2016.	IV
Tabelle 2:	Betriebs- und Stilllegungszeiten der Schweizer Kernkraftwerke, der Zwischenlager an den Standorten der Kernkraftwerke und des zentralen Zwischenlagers der Zwiilag.	9
Tabelle 3:	Erfasste Massen des Kernkraftwerks Beznau (einschliesslich ZwibeZ).	33
Tabelle 4:	Erfasste Massen des Kernkraftwerks Mühleberg.	34
Tabelle 5:	Erfasste Massen des Kernkraftwerks Gösgen.	35
Tabelle 6:	Erfasste Massen des Kernkraftwerks Leibstadt.	36
Tabelle 7:	Erfasste Massen der Zwiilag.	37
Tabelle 8:	Verteilung der Massen aus der kontrollierten Zone auf die Entsorgungsziele, KKB.	38
Tabelle 9:	Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA, KKB.	38
Tabelle 10:	Verteilung der Massen aus der kontrollierten Zone auf die Entsorgungsziele, KKM.	39
Tabelle 11:	Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA, KKM.	39
Tabelle 12:	Verteilung der Massen aus der kontrollierten Zone auf die Entsorgungsziele, KKG.	40
Tabelle 13:	Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA, KKG.	40
Tabelle 14:	Verteilung der Massen aus der kontrollierten Zone auf die Entsorgungsziele, KKL.	41
Tabelle 15:	Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA, KKL.	41
Tabelle 16:	Verteilung der Massen aus der kontrollierten Zone auf die Entsorgungsziele, Zwiilag.	42
Tabelle 17:	Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA, Zwiilag.	42
Tabelle 18:	Verpackungsfaktoren.	44
Tabelle 19:	Verpackte Masse radioaktiver Abfälle und Anzahl Behälter bzw. Container, KKB.	45
Tabelle 20:	Verpackte Masse radioaktiver Abfälle und Anzahl Behälter bzw. Container, KKM.	46
Tabelle 21:	Verpackte Masse radioaktiver Abfälle und Anzahl Behälter bzw. Container, KKG.	47
Tabelle 22:	Verpackte Masse radioaktiver Abfälle und Anzahl Behälter bzw. Container, KKL.	48
Tabelle 23:	Verpackte Masse radioaktiver Abfälle und Anzahl der Behälter bzw. Container, Zwiilag.	49
Tabelle 24:	Kosten für den Transport zum geologischen Tiefenlager SMA, KKB.	50
Tabelle 25:	Kosten für den Transport zum geologischen Tiefenlager SMA, KKM.	51
Tabelle 26:	Kosten für den Transport zum geologischen Tiefenlager SMA, KKG.	52
Tabelle 27:	Kosten für den Transport zum geologischen Tiefenlager SMA, KKL.	53
Tabelle 28:	Kosten für den Transport zum geologischen Tiefenlager SMA, Zwiilag.	54
Tabelle 29:	Vergleich der zuteilbaren Lagerkosten.	55
Tabelle 30:	Personalaufwand und Kollektivdosis nach Arbeitspaket, KKB.	60
Tabelle 31:	Personalaufwand und Kollektivdosis nach Arbeitspaket, KKM.	61
Tabelle 32:	Personalaufwand und Kollektivdosis nach Arbeitspaket, KKG.	62

Tabelle 33:	Personalaufwand und Kollektivdosis nach Arbeitspaket, KKL.	63
Tabelle 34:	Personalaufwand und Kollektivdosis nach Arbeitspaket, Zwiilag Zwischenlager Würenlingen AG.	64
Tabelle 35:	Ausgangskosten für die Stilllegung der KKW Beznau, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt. ...	67
Tabelle 36:	Ausgangskosten für die Stilllegung des Zwischenlagers Beznau und des zentralen Zwischenlagers Würenlingen.	68
Tabelle 37:	Kosten zur Risikominderung bei der Stilllegung der KKW Beznau, Mühleberg, Leibstadt und Gösgen.	74
Tabelle 38:	Kosten für risikomindernde Massnahmen bei der Stilllegung des Zwischenlagers Beznau und des zentralen Zwischenlagers Würenlingen.	75
Tabelle 39:	Basiskosten für die Stilllegung der KKW Beznau, Mühleberg, Leibstadt und Gösgen.	76
Tabelle 40:	Basiskosten für die Stilllegung des Zwischenlagers Beznau und des zentralen Zwischenlagers Würenlingen.	77
Tabelle 41:	Prognoseungenauigkeiten der Kostenschätzung für die Stilllegung der KKW Beznau, Mühleberg, Leibstadt und Gösgen.	78
Tabelle 42:	Prognoseungenauigkeiten der Kostenschätzung für die Stilllegung des Zwischenlagers Beznau und des zentralen Zwischenlagers.	79
Tabelle 43:	Kostenzuschlag Gefahren und Kostenabzug für Chancen.	83
Tabelle 44:	Stilllegungskosten vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs.	86
Tabelle 45:	Vergleich der Stilllegungskosten, KS16 und KS11 (PB16).	87
Tabelle 46:	Funktionale Pakete zur Planung und Kostenermittlung der Stilllegungskosten.	94
Tabelle 47:	Ergebnis der Kostenschätzungen für die Variante 1: Stilllegungskosten einschl. konventioneller Rückbau.	95
Tabelle 48:	Basiskosten und Gesamtkosten gemäss den ISDC für die Stilllegung des Kernkraftwerks Beznau.	98
Tabelle 49:	Basiskosten und Gesamtkosten gemäss den ISDC für die Stilllegung des Kernkraftwerks Mühleberg.	99
Tabelle 50:	Basiskosten und Gesamtkosten gemäss den ISDC für die Stilllegung des Kernkraftwerks Gösgen.	99
Tabelle 51:	Basiskosten und Gesamtkosten gemäss den ISDC für die Stilllegung des Kernkraftwerks Leibstadt.	100
Tabelle 52:	Basiskosten und Gesamtkosten gemäss den ISDC für die Stilllegung des zentralen Zwischenlagers Würenlingen.	100

1 Ausgangslage

Mit den Kostenstudien kommen die Eigentümer der Schweizer Kernkraftwerke 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 und Wiederaufarbeitung [3].
- Schätzung der Nachbetriebskosten der Schweizer Kernkraftwerke [4].
- Schätzung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen (dieser Bericht).

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

Der vorliegende Bericht zur „Schätzung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen“ nimmt Bezug auf die im Mantelbericht [1] enthaltenen Erläuterungen der Rahmenbedingungen und Neuerungen im Vergleich zur Kostenstudie 2011 und präzisiert diese Angaben hinsichtlich der Spezifika der Stilllegung. Die Schätzung der Stilllegungskosten wird gemäss den neuen Kostenstrukturen vorgenommen und entsprechend der neu eingeführten Kostengliederung dargestellt.

In Kapitel 1 des Berichts wird der gesetzliche Rahmen dargelegt und auf die Stilllegung näher eingegangen. Kapitel 2 beschreibt die Randbedingungen, Annahmen und Vorgaben für die Schätzung der Stilllegungskosten. Das verwendete Modell zur Kalkulation der Kosten der Stilllegung, die Kostenstruktur und Kostengliederung für die Präsentation der Ergebnisse der Kostenschätzung sind Gegenstand von Kapitel 3. Die wesentlichen Einflussfaktoren auf die Stilllegungskosten werden in Kapitel 4 aufgezeigt und mit jenen der Kostenstudie von 2011 verglichen. Eine zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der Kostenschätzung findet sich in Kapitel 5.

1.1 Gesetzlicher Rahmen

Das Kernenergiegesetz [9], die Kernenergieverordnung [11], die Verordnung über den Stilllegungsfonds und Entsorgungsfonds für Kernanlagen [12], das Strahlenschutzgesetz [13] und die Strahlenschutzverordnung [14] regeln die Stilllegung von Kernanlagen und die Entsorgung von radioaktiven Abfällen und deren Finanzierung umfassend.

1.1.1 Verursacherprinzip

Die kommerzielle Nutzung der Kernenergie zur Stromproduktion und auch radiologische Anwendungen in Medizin, Industrie und Forschung verursachen radioaktive Abfälle. Im Kernenergiegesetz¹ 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 gemäss Strahlenschutzgesetz² dem Bund abgeliefert werden. Der Abfallverursacher muss für die Kosten der Entsorgung aufkommen.

¹ Art. 31 Abs. 1 KEG[10].

² Art. 27 Strahlenschutzgesetz (StSG) [13].

Die für den Bau und den Betrieb von Infrastrukturanlagen zur Lagerung radioaktiver Abfälle in der Pflicht stehenden Abfallverursacher sind somit der Bund, der die radioaktiven Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung gegen eine Gebühr zu übernehmen hat, und die Betreiber der Kernkraftwerke. Die Entsorgungspflicht ist dann erfüllt³, wenn «*die Abfälle in ein geologisches Tiefenlager verbracht worden sind und die finanziellen Mittel für die Beobachtungsphase und den allfälligen Verschluss sichergestellt sind.*».

1.1.2 Finanzierung der Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten

Die Finanzierung der Stilllegung von Kernanlagen und der Entsorgung der von diesen verursachten radioaktiven Abfällen 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 der Betreiber⁴ zu eigener Vorsorge.

Staatlich kontrollierte Fonds

Das Kernenergiegesetz 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 Kernenergiegesetz⁵ wird unterschieden zwischen Entsorgungskosten, die während des Betriebs und solchen, die nach Ausserbetriebnahme eines Kernkraftwerks anfallen. Die während des Betriebs anfallenden Entsorgungskosten werden gemäss Kernenergiegesetz⁶ von den Eigentümern laufend aus eigenen Mitteln bezahlt.

Die beiden Fonds stellen sicher, dass nach Ausserbetriebnahme⁷ 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 erfolgt auf Basis einer umfassenden Schätzung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten. Diese Kosten müssen gemäss Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung⁸ alle fünf Jahre neu geschätzt werden. Als Berechnungsgrundlage für die Beitragsbemessung wird für die Kernkraftwerke eine Betriebsdauer von 50 Jahren angenommen⁹. Das Kernkraftwerk Mühleberg wird aufgrund einer von der Betreiberin getroffenen Entscheidung den Leistungsbetrieb 2019 nach einer Laufzeit von 47 Jahren endgültig einstellen. Für die Bemessung der Fondsbeiträge und deren Einzahlungen gilt, unabhängig von der tatsächlichen Laufzeit, allerdings auch für dieses Kernkraftwerk eine Laufzeit von 50 Jahren¹⁰.

³ Art. 31 Abs. 2 KEG [10].

⁴ 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.

⁵ Art. 77 Abs. 2 KEG [10].

⁶ Art. 82 KEG [10].

⁷ Gemäss Art. 8 Abs. 2 Bst. a SEFV [12] ist unter endgültiger Ausserbetriebnahme eines Kernkraftwerks 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.

⁸ Art. 4 Abs. 1 SEFV [12].

⁹ Art. 4 Abs. 3 bzw. Art. 8 Abs. 4 SEFV [12].

¹⁰ Art. 9c Abs. 1 SEFV [12].

Jeder Beitragspflichtige hat gegenüber den Fonds einen Anspruch im Umfang seiner geleisteten Beiträge, einschliesslich des Kapitalertrags und abzüglich der Verwaltungskosten. Zusätzlich zur Einzahlungspflicht sieht das Kernenergiegesetz eine Nachschusspflicht der Eigentümer vor. Reicht der Anspruch eines Beitragspflichtigen zur Deckung der Kosten nicht aus, deckt dieser die verbleibenden Kosten aus seinen Mitteln. Weist der Beitragspflichtige nach, dass seine Mittel nicht ausreichen, deckt der Stilllegungs- oder der Entsorgungsfonds die verbleibenden Kosten mit den gesamten Mitteln¹¹. Übersteigen die Zahlungen eines Fonds zu Gunsten eines Berechtigten dessen Anspruch, muss dieser dem Fonds den Differenzbetrag samt einem marktüblichen Zins zurückbezahlen¹². Kann der Berechtigte die Rückerstattung nicht leisten, so müssen die übrigen Beitragspflichtigen und Anspruchsberechtigten des entsprechenden Fonds für den Differenzbetrag aufkommen¹³. 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 beteiligt¹⁴.

Die beiden Fonds stehen unter der Aufsicht des Bundesrats¹⁵. Eine von diesem ernannte Verwaltungskommission¹⁶ ist das Leitungsorgan der Fonds¹⁷. 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 sind¹⁸.

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. Es ist nicht nur sichergestellt, dass die Kosten zur nachhaltigen Beseitigung der Kernanlagen und der von diesen verursachten radioaktiven Abfällen von den Eigentümern getragen werden, sondern auch, dass die 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 Entsorgungskosten¹⁹ noch der von Stilllegungskosten²⁰ – sind als (letzter) Teil der Betriebskosten zu betrachten. Auch sie sind, entsprechend dem im Kernenergiegesetz²¹ verankerten Verursacherprinzip, durch die Eigentümer zu tragen. Der Nachbetrieb wird von den Eigentümern direkt finanziert.

¹¹ Art. 79 Abs. 2 KEG [10].

¹² Art. 80 Abs. 1 KEG [10].

¹³ Art. 80 Abs. 2 KEG [10].

¹⁴ Art. 80 Abs. 4 KEG [10].

¹⁵ Art. 20 Abs. 2, 29a Abs. 1 SEFV [12].

¹⁶ Art. 81 Abs. 2 KEG [10].

¹⁷ Der Bundesrat hat für den Stilllegungs- und den Entsorgungsfonds ein und dieselbe Verwaltungskommission eingesetzt.

¹⁸ Art. 21 Abs. 2, Art. 21a Abs. 1 und Art. 22 Abs. 1bis SEFV [12].

¹⁹ Gemäss Art. 3 SEFV [12].

²⁰ Gemäss Art. 2 SEFV [12].

²¹ Art. 31 Abs. 1 KEG [10].

1.1.3 Rückstellungen für Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten

Die Eigentümer bilden sämtliche aus der Verpflichtung zur Stilllegung der Kernanlagen und der Entsorgung der von diesen verursachten radioaktiven Abfällen künftig entstehenden Aufwendungen in ihren Bilanzen ab. Sie bilden dazu auf Basis der jeweiligen Kostenstudien und gemäss den anzuwendenden Rechnungslegungsvorschriften Rückstellungen für den Nachbetrieb, die Stilllegung und die Entsorgung. Im Zusammenhang mit der Prüfung der Jahresrechnung werden die Rückstellungen von einer externen Revisionsstelle testiert. Während die Verwaltungskommission die Fondsbeiträge festlegt, sind die Eigentümer verantwortlich für die Bildung der Rückstellungen, gemäss den entsprechenden Rechnungslegungsvorschriften²².

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 haben²³. Die Höhe und die zweckgebundene Verwendung der Rückstellungen werden jährlich durch die jeweilige Revisionsstelle geprüft²⁴. Die Eigentümer legen der Verwaltungskommission diesen Prüfbericht vor²⁵.

1.1.4 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 im Jahr 2011. Sie wurde vom Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat geprüft und durch die Verwaltungskommission des Stilllegungs- und des Entsorgungsfonds genehmigt. Sie bildet die Grundlage für die Rückstellungsbildung und die Fondsbeiträge der Stilllegungs- und Entsorgungspflichtigen in den Jahren 2012–2016. Die Eigentümer der Schweizer Kernanlagen beauftragten swissnuclear im Jahr 2014, zusammen mit den für die 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. Mit dem vorliegenden Bericht wird diesem Auftrag bezüglich der Schätzung der Stilllegungskosten Rechnung getragen. Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat und Kostenprüfer werden im Auftrag der Verwaltungskommission die Kostenstudie 2016 wiederum eingehend überprüfen.

1.2 Die Stilllegung

Das Kernenergiegesetz²⁶ schreibt vor, dass wer eine Kernanlage errichten will, bereits als Voraussetzung für die Erteilung einer Rahmenbewilligung für den Bau der Anlage unter anderem ein Konzept für deren Stilllegung einreichen muss. Für die Erteilung der Baubewilligung muss ein Stilllegungsplan für die geplante Anlage vorliegen. Dieser ist während des Betriebs der Anlage durch den Betreiber nachzuführen.

²² Art. 960e Obligationenrecht (OR) [16]; Swiss GAAP FER [17]; IFRS [18].

²³ Art. 82 Abs. 2 Bst. c KEG [10].

²⁴ Vgl. Art. 82 Abs. 3 KEG [10].

²⁵ Art. 19 Abs. 2 SEFV [12].

²⁶ Art. 16 KEG [10].

Für die Stilllegung der Anlage muss der Stilllegungsplan zu einem konkreten Projekt für die vorgesehene Stilllegung weiterentwickelt und den Aufsichtsbehörden vorgelegt werden. Das Stilllegungsprojekt beschreibt die Phasen und den Zeitplan der Stilllegung, die einzelnen Schritte von Demontage und Abbruch, die vorgesehenen Schutzmassnahmen, den Personalbedarf und die Organisation, die Entsorgung der radioaktiven Abfälle sowie die Gesamtkosten und die Sicherstellung der Finanzierung durch die Betreiberin²⁷. Das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation wird in einer Stilllegungsverfügung die Stilllegungsarbeiten anordnen und zudem festlegen, welche Arbeiten einer Freigabe durch die Aufsichtsbehörden bedürfen²⁸.

Mit dem Stilllegungsprojekt wird gemäss Kernenergieverordnung²⁹ der zuständigen Behörde die Gegenüberstellung verschiedener Varianten der Stilllegung sowie die Begründung für die Auswahl der dem Stilllegungsprojekt zugrundeliegenden Variante eingereicht. International werden verschiedene Varianten umgesetzt (siehe zum Beispiel IAEA, Decommissioning Strategies for Facilities Using Radioactive Material, [53]). In der Schweiz kommen aus gesetzlichen³⁰ Gründen allerdings nur die zwei Varianten «Sofortiger Rückbau» oder «Späterer Rückbau nach einem gesicherten Einschluss» in Frage. Die beiden Varianten werden in Kapitel 1.2.2 und 1.2.3 erläutert und die Auswahl für die vorliegende Kostenstudie begründet.

1.2.1 Stilllegungsplan

Die letzte Aktualisierung des Stilllegungsplans durch die Inhaber der Betriebsbewilligungen der Kernanlagen erfolgte 2011. Eine Änderung des Stilllegungsplans ist erforderlich, wenn³¹

- wesentliche Änderungen an einer Kernanlage vorgenommen worden sind,
- wesentliche Anforderungen an die Stilllegung oder an die Beobachtungsphase und den Verschluss geändert worden sind oder
- wesentliche Entwicklungen der Technik dies verlangen.

Für die Schweizer Kernkraftwerke und auch für die Anlagen der Zwiilag treffen diese Kriterien nicht zu. Änderungen an den Anlagen, soweit sie zwischen 2011 und 2015 in Betrieb genommen wurden, sind in der Kostenstudie 2016 berücksichtigt. Für den Rückbau der Kernanlagen kommen gemäss der zugrundeliegenden technischen Planung nur erprobte und bewährte Techniken zum Einsatz.

Für das Kernkraftwerk Mühleberg wurde der Stilllegungsplan im Zuge des Einreichens der Gesuchsunterlagen zum Erlangen der Stilllegungsverfügung zu einem Stilllegungsprojekt weiterentwickelt. Die Aktualisierung der Stilllegungspläne für die übrigen Kernanlagen wird wie geplant 2021 erfolgen.

1.2.2 Sofortiger Rückbau

Die Umsetzung des sofortigen Rückbaus beginnt nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs. Im Nachbetrieb werden die noch vorhandenen radioaktiven Betriebsabfälle konditioniert und wie die Brennelemente in ein Zwischenlager verbracht. Nicht mehr benötigte Systeme werden ausser Betrieb genommen. Soweit nicht schon während des Leistungsbetriebs geschehen, wird das Stilllegungsprojekt erarbeitet. Sobald die Stilllegungsverfügung erlassen und rechtswirksam ist, werden die Stilllegungsarbeiten umgesetzt. Radioaktive Materialien werden dekontaminiert, freigegeben oder einer Abklinglagerung zugeführt beziehungsweise konditioniert.

²⁷ Art. 27 KEG [10].

²⁸ Art. 28 KEG [10].

²⁹ Art. 45 Bst. a KEV [11].

³⁰ Art. 26 Abs. 2 Bst. d in Verbindung mit Art. 31 Abs. 2 Bst. a KEG [10].

³¹ Art. 42 Abs. 2 KEV [11].

Bauwerke, die weder kontaminierte noch aktivierte Bauteile enthalten, werden abgerissen oder können ohne durch die Kernenergiegesetzgebung bedingte Einschränkungen am Standort verbleiben.

1.2.3 Späterer Rückbau nach einem gesicherten Einschluss

Bei der Variante mit einem gesicherten Einschluss erfolgt der endgültige Rückbau der Anlage zeitverzögert. Die Anlage wird gesichert und in einem langfristig sicheren Zustand gehalten. Sie wird erst später dekontaminiert und zurückgebaut. Bis zum Rückbau wird ein Überwachungs- und Wartungsprogramm umgesetzt, um sicherzustellen, dass die erforderliche Sicherheit gewährleistet ist. Die Massnahmen des Nachbetriebs werden auch bei dieser Variante durchgeführt. Erste Dekontaminierungs- oder Rückbauarbeiten können bereits vor dem gesicherten Einschluss erforderlich sein (zum Beispiel um den Einschlussbereich in angemessenem Umfang zu halten). Der wesentliche Teil der Anlage verbleibt jedoch im überwachten Zustand, der von einigen wenigen bis über 50 Jahre dauern kann. Erst danach wird der verbleibende Teil der Anlage zurückgebaut und die Stilllegung abgeschlossen. Anschliessend kann die Anlage aus der Kernenergiegesetzgebung entlassen werden.

1.2.4 Auswahl der Stilllegungsvariante

Die Auswahl der Stilllegungsvariante erfolgt in Übereinstimmung mit der Schweizer Gesetzgebung. Nebst dem Kernenergie- und dem Strahlenschutzgesetz ist die Umweltgesetzgebung wesentlich. Das übergeordnete Ziel bei der Auswahl der Stilllegungsvariante ist, dass die Anlage nach ordnungsgemäsem Abschluss der Stilllegung keine radiologische Gefahrenquelle mehr darstellt und somit nicht mehr der Kernenergiegesetzgebung untersteht³².

Bei der Entscheidungsfindung werden die gesetzlichen Stilllegungspflichten³³ berücksichtigt. Dazu gehören insbesondere die:

- nukleare Sicherheit und Sicherung.
- Verfügbarkeit einer anderen Kernanlage, in welche die in der Anlage vorhandenen Kernmaterialien verbracht werden können.
- Möglichkeiten zur Dekontamination der radioaktiven Teile.
- Möglichkeit, die radioaktiven Materialien zu entsorgen, insbesondere die zeitliche Verfügbarkeit geologischer Tiefenlager.
- Möglichkeit zur Bewachung der Anlage, bis alle nuklearen Gefahrenquellen daraus entfernt sind.

Nebst den gemäss Kernenergiegesetz zu berücksichtigenden Aspekten beeinflussen auch noch andere relevante Aspekte die Entscheidung. Gemäss den international üblichen Standards zum Schutz von Mensch und Umgebung, wie sie zum Beispiel im Regelwerk der Internationalen Atomenergieagentur IAEA [65] als Anforderungen formuliert sind, besteht die bevorzugte Variante im sofortigen Rückbau. Für diese Variante sprechen auch folgende Aspekte:

- Anlagenkenntnisse, die nur das Betriebspersonal haben kann, stehen zur Verfügung, d.h. es gibt keinen Know-how-Verlust.
- Aus dem Betrieb vorhandene Systeme können genutzt werden (zum Beispiel Lüftungssystem, Behandlungseinrichtungen für radioaktive Abfälle).
- Mit zunehmender Wartezeit (gesicherter Einschluss kann über 50 Jahre dauern) verschlechtert sich die Messbarkeit bestimmter Radionuklide.
- Die Entsorgungsstrategie in der Schweiz, zum Beispiel zeitlich befristete Verfügbarkeit eines geologischen Tiefenlagers.

³² Siehe Art. 29 Abs. 1 KEG [10].

³³ Art. 26 Abs. 2 KEG [9].

- Aufgrund knapper Flächen in der Schweiz ist ein baldmöglichster Rückbau anzustreben.
- Aus Rückbauprojekten von Kernkraftwerken (zum Beispiel Würgassen, Stade, Oberrhein) liegen belastbare Erfahrungen mit sofortigem Rückbau vor.

Deshalb wird in der vorliegenden Stilllegungsstudie zur Ermittlung der zu erwartenden Stilllegungskosten die Variante sofortiger Rückbau gewählt.

Allerdings könnte es sein, dass der sofortige Rückbau angesichts aller bei der Entscheidungsfindung zu berücksichtigenden Aspekte nicht die optimale Lösung ist. Es bleibt daher vorbehalten, dass in einer Revision der Stilllegungsstudie, unter Berücksichtigung weiterer, neuer Aspekte, eine andere Stilllegungsvariante gewählt wird. Der Eigentümer wird in seinem Rückbauprojekt die gewählte Lösung begründen.

1.2.5 Abgrenzung Nachbetrieb, Stilllegung, Entsorgung

Die Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung³⁴ definiert die Stilllegungs- und Entsorgungskosten von Kernanlagen. Hiervon zu unterscheiden sind die Nachbetriebskosten. Die mit dem Nachbetrieb verbundenen Aufwendungen entsprechen weder der Definition von Entsorgungskosten³⁵ noch der Definition von Stilllegungskosten³⁶.

Im verwendeten Stilllegungsmodell wird davon ausgegangen, dass die Anlagen im Anschluss an die endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs in den Nachbetrieb übergehen. Dieser umfasst einerseits diejenigen (betrieblichen) Massnahmen, die für den sicheren Betrieb der noch benötigten Systeme sowie der Einhaltung der Schutzziele notwendig sind. Während des Nachbetriebs müssen die Brennelemente weiterhin gekühlt, gesichert und in Transport- und Lagerbehälter verpackt werden. Der Nachbetrieb endet, wenn sämtliche Brennelemente in ein von der Anlage unabhängiges Zwischenlager überführt worden sind. Die Massnahmen während des Nachbetriebs sind durch die Betriebsbewilligung sowie nach Erlangen der Rechtswirksamkeit der Stilllegungsverfügung durch diese abgedeckt.

Der Übergang vom Betrieb der Anlage zu Stilllegung und Rückbau lässt sich allgemein anhand von drei Zyklen – Leistungsbetrieb, Nachbetrieb und Rückbau – verdeutlichen (siehe Abbildung 1).

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

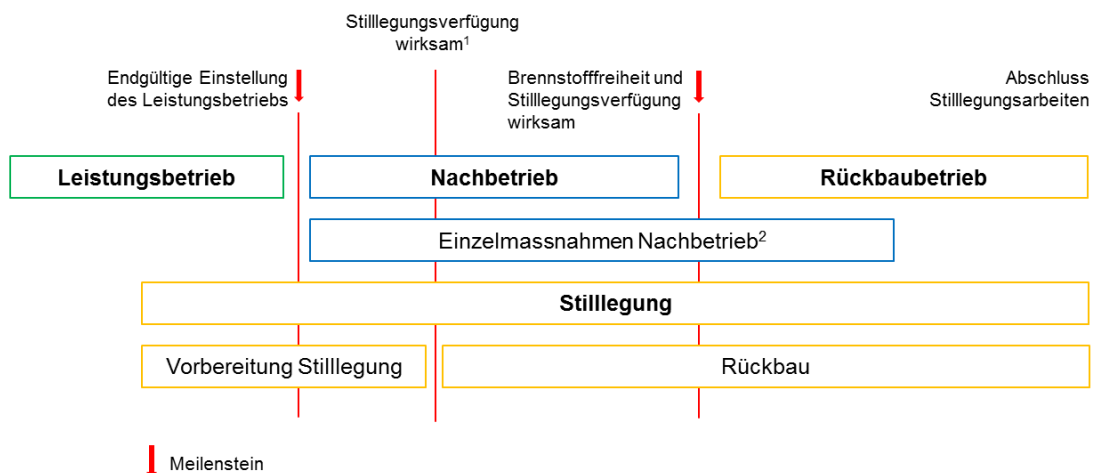
- Massnahmen, die einen infrastrukturbezogenen und damit durchlaufenden Charakter haben (beispielweise Anlagesicherung), werden zunächst vollständig dem Nachbetrieb zugeordnet. Nach dem Erreichen der Kernbrennstofffreiheit erfolgt die Zuordnung dieser Massnahmen vollständig zum Rückbau. Gleiches gilt für Instandhaltungsmassnahmen und Prüfungen an den nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs noch benötigten Systemen. Dabei wird unterstellt, dass die Stilllegungsverfügung bis zum Zeitpunkt der Kernbrennstofffreiheit eines Kernkraftwerks rechtswirksam vorliegt. Sollte dies bis zum Erreichen der Kernbrennstofffreiheit nicht der Fall sein, sind die entsprechenden Massnahmen so lange dem Nachbetrieb zuzuordnen, bis die Stilllegungsverfügung rechtswirksam vorliegt.
- Massnahmen, die bis zum Erreichen der Kernbrennstofffreiheit umsetzbar sind und primär der Aufrechterhaltung der Sicherheit sowie der sicherheitsfördernden Vereinfachung der Anlage dienen, sind grundsätzlich dem Nachbetrieb zuzuordnen. Die Kosten für diese Massnahmen sind von den Eigentümern direkt zu bezahlen und nicht im Stilllegungsfonds sicherzustellen.

³⁴ Art. 2 und Art. 3, SEFV [12].

³⁵ Art. 3 SEFV [12].

³⁶ Art. 2 SEFV [12].

- Rückbaubezogene Massnahmen, die den Rückbau vorbereiten beziehungsweise der Umsetzung des Rückbaus dienen, sind – selbst wenn sie vor dem Erreichen der Kernbrennstofffreiheit anfallen – der Stilllegung zuzuordnen und damit durch den Stilllegungsfonds zu finanzieren, sofern sie nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs anfallen. Umgekehrt sind Massnahmen, die unabhängig vom Rückbau durchzuführen sind (beispielsweise die Entsorgung von noch auf der Anlage vorhandenen Betriebsabfällen), von den Stilllegungsarbeiten beziehungsweise -kosten abzugrenzen und dem Nachbetrieb zuzuordnen. Diese Unterscheidung ist in Abbildung 1 dargestellt.



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 1: Abgrenzung von Leistungsbetrieb, Nachbetrieb und Stilllegung.

Die Kosten des Nachbetriebs wurden im Rahmen der vorliegenden Kostenschätzung für die Schweizerischen Kernanlagen aktualisiert. Die Ergebnisse sind in einem separaten Bericht «Kostenstudie 2016 (KS16), Schätzung der Nachbetriebskosten der Schweizer Kernkraftwerke» [4] dargestellt.

Bereits vorgängig sowie parallel zum Nachbetrieb laufen Stilllegungsarbeiten wie das Erstellen der Unterlagen zum Stilllegungsprojekt und das Erwirken der Stilllegungsverfügung. Der Nachbetrieb ist abgeschlossen, wenn beide Voraussetzungen – Kernbrennstofffreiheit und Rechtskraft der Stilllegungsverfügung – vorliegen. Sobald eine rechtskräftige Stilllegungsverfügung vorliegt, können Rückbauarbeiten durchgeführt werden.

Die Stilllegungskosten einer Kernanlage umfassen die Kosten für die anlagentechnische Vorbereitung der Stilllegung, Planung, Projektierung, Projektleitung und Überwachung der Arbeiten, den Strahlenschutz, die Sicherstellung der Kontaminationsfreiheit des Geländes, den Abbruch aller technischen Einrichtungen und der Gebäude, die Kosten der behördlichen Bewilligungen und Aufsicht, der Bewachung beziehungsweise Überwachung der Anlage sowie alle weiteren Betriebskosten während des Rückbaus³⁷. Zu den Kosten für die Stilllegung zählen auch der Transport und die Entsorgung der bei der Stilllegung anfallenden Abfälle.

Wenn die Stilllegungsarbeiten ordnungsgemäss abgeschlossen sind, stellt das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation fest, dass die Anlage keine radiologische Gefahrenquelle mehr darstellt und somit nicht mehr der Kernenergiegesetzgebung untersteht³⁸.

Falls vorgesehen ist, den Standort für eine beliebige Nachnutzung bereitzustellen, erfolgt anschliessend der konventionelle Rückbau der verbleibenden Anlageteile.

³⁷ Art. 2 SEFV [12].

³⁸ Art. 29 KEG [9].

Die vorliegende Kostenstudie und das Realisierungsprogramm für die Entsorgung werden 2016 in haltlich koordiniert und gleichzeitig beim Bund eingereicht. Die Ergebnisse der aktualisierten Kostenschätzung für die Entsorgung sind in den Berichten «Schätzung der Entsorgungskosten der Schweizer Kernkraftwerke – Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufbereitung» [3] und «Schätzung der Entsorgungskosten der Schweizer Kernkraftwerke – geologische Tiefenlagerung» [2] dargestellt.

1.3 Betriebs- und Stilllegungsdauern der Kernanlagen

Als Berechnungsgrundlage wird für die Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt eine Betriebsdauer von 50 Jahren angenommen³⁹. Für das Kernkraftwerk Mühleberg wird entsprechend dem eingereichten Stilllegungsgesuch eine Betriebsdauer von 47 Jahren angesetzt.

Entsprechend den Vorgaben werden in der Kostenstudie 2016 erstmals die Stilllegungs-, Nachbetriebs- und Entsorgungskosten für eine Betriebsdauer der Kernkraftwerke von 50 Jahren als auch diejenigen für eine 60-jährige Betriebsdauer der Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt ausgewiesen. Die Kosten für die 60-jährige Betriebsdauer der Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt werden dabei in einer Differenzbetrachtung dargestellt.

Für die Kostenschätzung gilt der in Tabelle 2 gegebene zeitliche Rahmen.

Tabelle 2: Betriebs- und Stilllegungszeiten der Schweizer Kernkraftwerke, der Zwischenlager an den Standorten der Kernkraftwerke 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.

³⁹ Art. 8 Abs. 4 SEFV [12].

2 Randbedingungen, Annahmen und andere Vorgaben

Für die Ermittlung der voraussichtlichen Kosten von komplexen Infrastrukturprojekten müssen Annahmen getroffen und Randbedingungen festgelegt werden. Darüber hinaus hängt das Ergebnis der Schätzung auch von den gültigen Gesetzen und Verordnungen, den zu beachtenden Vorschriften, Normen und Richtlinien ab. In den nachstehenden Kapiteln 2.1 und 2.2 werden die Prämissen für die vorliegende Kostenstudie dargestellt.

2.1 Gesetze, Verordnungen, Richtlinien und andere Vorschriften

Als Grundlage für die Stilllegungskostenberechnung für die Schweizer Kernanlagen dienen unter anderem die in den folgenden Abschnitten aufgeführten und per 1. Januar 2015 rechtsgültigen Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Vorschriften, Normen und Regeln sowie die verwendeten, im Glossar [9] definierten Begriffe. Die Auflistung ist nicht abschliessend, nennt aber, ergänzend zu den in Kapitel 1.1 aufgeführten grundlegenden Gesetzen und Verordnungen, die zentralen für die Stilllegung zu beachtenden Regelwerke.

2.1.1 Gesetze und Verordnungen

Ergänzend zu den spezifisch für den Kernenergiesektor geltenden Gesetzen und Verordnungen sind weitere Gesetze und Verordnungen für die vorliegende Kostenstudie massgeblich:

- Bundesgesetz über die Arbeit in Industrie, Gewerbe und Handel (Arbeitsgesetz, ArG) mit zugehörigen Verordnungen (ArGV 1 bis 4) [19] bis [23].
- Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten (Verordnung über die Unfallverhütung [VUV]) [24].
- Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen (VAPK) [52].
- Übrige Gesetze und Verordnungen des Bundes.
- Gesetze und Verordnungen der Standortkantone der Kernkraftwerke.

2.1.2 Richtlinien und Empfehlungen

Für die Stilllegung der Schweizer Kernanlagen sind insbesondere folgende Richtlinien, Empfehlungen und Auslegungsanforderungen für die nukleare Sicherheit und den Strahlenschutz zu erwähnen.

Richtlinien und Auslegungsanforderungen des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats und anderer Behörden:

- A01 – Anforderungen an die deterministische Störfallanalyse für Kernanlagen: Umfang, Methodik und Randbedingungen der technischen Störfallanalyse [25].
- A04 – Gesuchunterlagen für freigabepflichtige Änderungen an Kernanlagen [26].
- A05 – Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Qualität und Umfang [27].
- A06 – Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Anwendung [28].
- A08 – Quelltermanalyse: Umfang, Methodik und Randbedingungen [29].
- B02 – Periodische Berichterstattung der Kernanlagen [30].
- B03 – Meldungen der Kernanlagen [31].
- B04 – Freimessen von Materialien und Bereichen aus kontrollierten Zonen [32].
- B05 – Anforderungen an die Konditionierung radioaktiver Abfälle [33].
- B09 – Ermittlung und Aufzeichnung der Dosis strahlenexponierter Personen [34].
- B10 – Ausbildung, Wiederholungsschulungen und Weiterbildung von Personal [35].
- B11 – Notfallübungen [36].
- B12 – Notfallschutz in Kernanlagen [37].
- B13 – Ausbildung und Fortbildung des Strahlenschutzpersonals [38].
- G01 – Sicherheitstechnische Klassierung für bestehende Kernkraftwerke [39].

- G03 – Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis [40].
- G04 – Auslegung und Betrieb von Lagern für radioaktive Auslegung und Betrieb von Lagern für radioaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente [41].
- G05 – Transport- und Lagerbehälter für die Zwischenlagerung [42].
- G07 – Organisation von Kernanlagen [43].
- G08 – Systematische Sicherheitsbewertungen des Betriebs von Kernanlagen [44].
- G13 – Messmittel für ionisierende Strahlung [45].
- G14 – Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung aufgrund von Emissionen radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen [46].
- G15 – Strahlenschutzziele für Kernanlagen [47].
- G17 – Stilllegung von Kernanlagen [48].
- R07 – Richtlinie für den überwachten Bereich der Kernanlagen und des Paul Scherrer Instituts [49].
- R12 – Erfassung und Meldung der Dosen des strahlenexponierten Personals der Kernanlagen und des Paul Scherrer Instituts [50].
- R49 – Sicherheitstechnische Anforderungen an die Sicherung von Kernanlagen [51].
- Brandschutzvorschriften der Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF), Brandschutznorm und diverse Brandschutzrichtlinien mit verschiedenen Ausgabejahren.
- Decommissioning Strategies for Facilities Using Radioactive Material IAEA Safety Reports Series No. 50 [53].
- Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors Safety Guide IAEA Safety Standards Series No. WS-G-2.1 [54].
- Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors and other Nuclear Fuel Cycle Facilities, Safety Guide, IAEA Safety Standards under development, Working ID DS452 [55].
- Organization and Management for Decommissioning of Large Nuclear Facilities IAEA Technical Reports Series No. 399 [56].
- Release of Sites from Regulatory Control on Termination of Practices Safety Guide IAEA Safety Standards Series No. WS-G-5.1 [57].
- The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection ICRP Publication 103 [58].
- The Management System for Facilities and Activities – Safety Requirements IAEA Safety Standards Series No. GS-R-3 [59].
- Application of the Management System for Facilities and Activities – Safety Guide IAEA Safety Standards Series No. GS-G-3.1 [60].
- Decommissioning of Facilities Using Radioactive Material, Safety Requirements IAEA Safety Standards Series No. WS-R-5, Vienna 2006 [65].
- State of the Art Technology for Decontamination and Dismantling of Nuclear Facilities, IAEA Technical Reports Series No. 395, Vienna 1999 [66].
- Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen Erfahrungen und Perspektiven, Brenk Systemplanung GmbH, Aachen, November 2009 [67].
- International Structure for Decommissioning Costing (ISDC) of Nuclear Installations, Nuclear Energy Agency (NEA), No. 7088, OECD 2012 [68].
- Cost Estimation for Decommissioning – An international Overview of Cost Element, Estimation Practices and Reporting Requirements, Nuclear Energy Agency, NEA N° 6831, OECD 2010 [69].
- Cost of Decommissioning Nuclear Power Plants, Nuclear Energy Agency, NEA N° 7201, OECD 2016 [70].
- Cost Estimating Guide 413.3.21, US Department of Energy, May 2011 [71].
- Financial Aspects of Decommissioning, IAEA-TECDOC-1476, November 2005 [72].

2.1.3 Transportvorschriften

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

- Für den Schienentransport:
 - Verordnung des Eidgenössischen Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation über die Beförderung gefährlicher Güter mit der Eisenbahn und mit Seilbahnen (RSD) [61].
 - Ordnung für die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter (RID).
- Für den Strassentransport:
 - Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (SDR) [62].
 - Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (ADR).
- Vorschriften und Empfehlungen der IAEA:
 - Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material 2012 Edition – Specific Safety Requirements [63].
 - Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material Safety Guide [64].

2.1.4 Normen und Regeln

Für die Stilllegungsstudie 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] zusammengefasst und erläutert. Das Glossar ist Bestandteil der Kostenstudie.

2.2 Randbedingungen, Annahmen und Vorgaben zur Stilllegung

Neben der Kenntnis der erforderlichen Anlagedaten sind für die Schätzung der Stilllegungskosten eine Reihe von Randbedingungen, Annahmen und Eingangsdaten festzulegen, ohne die eine Kostenschätzung für Rückbauprojekte nicht durchführbar ist. Dazu hat die Verwaltungskommission Vorgaben für die Definition der Basisprojekte und der zu betrachtenden Varianten festgelegt. Die Ergebnisse für die Basisprojekte werden in Kapitel 4 und 5 dargestellt. Die Ergebnisse für die betrachteten Varianten sind im Anhang A.2 beschrieben.

Basisprojekte und Varianten sowie die weiteren Randbedingungen, Annahmen und Vorgaben sind in den nachfolgenden Kapiteln näher beschrieben. Sofern nicht explizit erwähnt, gelten die Ausführungen sowohl für die Schweizer Kernkraftwerke als auch für das Zwischenlager des Kernkraftwerks Beznau (ZwibeZ) und das zentrale Zwischenlager Würenlingen (Zwilag).

2.2.1 Basisprojekte und Varianten

In den Kostenschätzungen zur Stilllegung wird als wesentliche Annahme für die Basisprojekte und die betrachteten Varianten davon ausgegangen, dass die kontaminierten und aktivierten Einrichtungen, Komponenten und Bauwerke beziehungsweise Bauteile der Kernanlagen demontiert, entsorgt oder so weit dekontaminiert werden, dass die Anlage so bald wie möglich nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs aus der nuklearen Aufsicht entlassen werden kann (sofortiger Rückbau).

Mit zunehmendem Fortschritt der Stilllegungsarbeiten vermindert sich die radiologische Belastung der Anlage, bis schliesslich keine radiologischen Gefahrenquellen mehr vorhanden sind und die Anlage aus der Aufsicht durch die Kernenergiegesetzgebung entlassen werden kann. In den Basisprojekten wird davon ausgegangen, dass die Stilllegung dann abgeschlossen ist, wenn die Anlage ohne Einschränkung und Aufsicht für andere Zwecke verwendet werden kann.

In den Basisprojekten wird ferner die kalkulatorische Betriebsdauer des Kernkraftwerks Mühleberg mit 47 Jahren angenommen, für die Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt werden die Kosten bei einer kalkulatorischen Betriebsdauer von 50 Jahren ermittelt.

Für die Einrichtungen der Zwiilag und des Zwischenlagers Beznau sieht die Planung vor, dass die Anlagen im Zeitraum von 2071 bis 2076 zurückgebaut werden.

Zusätzlich zu den Basisprojekten werden die Kosten geschätzt unter der Annahme, dass die Anlagen vollständig rückgebaut und sämtliche Fundamente entfernt werden, so dass nach Abschluss der Arbeiten eine beliebige⁴⁰ Nutzung des Areals möglich ist. Der Abbruch der Gebäude mit kontrollierter Zone erfolgt nach der radiologischen Freigabe dieser Bereiche durch die Behörde. Es wird davon ausgegangen, dass alle Gebäude ohne kontrollierte Zone unabhängig davon abgebrochen werden. Potenzielle Kosteneinsparungen aus einem Entfernen der Fundamente nur bis zu einer Tiefe von zwei Metern, anstelle des vollständigen Entfernens, werden als Chance quantifiziert und ausgewiesen. Selbstverständlich werden auch in diesem Fall sämtliche Anlagen und Einrichtungen auch in grösseren Tiefen demontiert, die Gebäudeoberflächen unter die gültigen Freigabewerte dekontaminiert und freigemessen. Anschliessend werden auch diese Bereiche durch die Aufsichtsbehörde radiologisch freigegeben und damit ausgezont. Die Ergebnisse der Kostenstudie für diese Variante werden im Anhang A.2 beschrieben.

Die Auswirkungen eines 60-jährigen Leistungsbetriebs werden zusätzlich abgeschätzt. Die Ergebnisse hierfür sind ebenfalls im Anhang A.2 dargestellt.

2.2.2 Weitere Randbedingungen und Annahmen

Folgende weitere Randbedingungen und Annahmen wurden für die Stilllegungskostenstudie gesetzt:

1. Im Anschluss an die endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs (EELB) folgt der so genannte Nachbetrieb. Wesentliche Aufgaben des Kernkraftwerks im Nachbetrieb sind die Handhabung beziehungsweise der Abtransport der Brennelemente, der Steuerstäbe, der Neutronenquellen sowie sämtlicher vorhandener Betriebsabfälle und -medien. Die Kosten hierfür werden in zweckgebundenen betrieblichen Rückstellungen berücksichtigt. Sie sind nicht Bestandteil der Stilllegungskostenstudie. Im Fall der Zwiilag Zwischenlager Würenlingen AG und des Zwischenlagers Beznau gibt es keinen Nachbetrieb: Die Stilllegung erfolgt durch Rückbau der Anlagen von 2071 bis 2076 nach Überführung aller zwischengelagerten Brennelemente und der radioaktiven Abfälle in das geologische Tiefenlager.

⁴⁰ Eine beliebige Nutzung umfasst auch eine landwirtschaftliche, so dass zur Bereitstellung des Standortes unter anderem auch die Rekultivierung des Geländes gehört.

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 Stilllegung erfolgt planmässig im Anschluss an einen bestimmungsgemässen Betrieb. Für die erforderliche Planung und Unterlagenerstellung für die Stilllegung ist ausreichend Zeit vorhanden.
4. Es wird davon ausgegangen, dass die Stilllegung nach fristgemäßem Einreichen eines den gültigen Gesetzen, Verordnungen und sonstigen Regelungen in der Schweiz entsprechenden Stilllegungsprojektes durch das zuständige Departement ohne weiteres verfügt wird und das Departement gleichzeitig festlegt, welche Arbeiten einer Freigabe durch die Aufsichtsbehörden bedürfen. Es wird davon ausgegangen, dass keine den üblichen Zeitbedarf für Prüfungen und Freigabeverfahren übersteigende, durch Behörden verursachte Verzögerungen auftreten.
5. Die mit dem Stilllegungsprojekt einzureichenden Unterlagen stellen das Gesamtkonzept dar, das unter anderem auch eine Umweltverträglichkeitsprüfung beinhaltet. Nach Verfügung der Stilllegung erfolgt die Bearbeitung der Einzelschritte im Rahmen von Freigaben durch die Behörden.
6. Auswirkungen durch Verzögerungen beziehungsweise Verkürzungen, die durch das Verfahren zum Erwirken der Stilllegungsverfügung wie zum Beispiel öffentliche Einsprachen, oder Beschwerden bedingt sind, werden in der Kostengliederung unter Gefahren beziehungsweise Chancen berücksichtigt.
7. Es wird unterstellt, dass die Aufsichtsbehörde beziehungsweise deren Gutachter den Fortgang der Arbeiten über den gesamten Rückbauzeitraum begleiten.
8. Es wird angenommen, dass zeitnah nach ordnungsgemässigem Abschluss der Stilllegungsarbeiten die Anlage aus der Kernenergiegesetzgebung entlassen wird.
9. Das Radioaktivitätsinventar setzt sich aus zwei Anteilen zusammen (für das zentrale Zwischenlager Würenlingen und das Zwischenlager Beznau: nur kontaminiertes Material):
 - aktiviertes Material (im Bereich des Neutronenfeldes);
 - kontaminiertes Material.
10. Das Inventar des aktivierten Materials wurde für die vorliegende Stilllegungsstudie von der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) bestimmt und für die Kostenstudie zur Verfügung gestellt. Das Inventar an kontaminiertem Material wurde aus vorhandenen anlagespezifischen Daten ermittelt und die für die Stilllegungsstudie zugrunde zu legenden Werte festgelegt. Die natürliche Radioaktivität wird nicht betrachtet.
11. 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 für die Schätzung der Basiskosten werden die in der gültigen Schweizer Strahlenschutzverordnung [14] (Stichtag 1. Januar 2015) aufgeführten Freigabewerte (Freigrenze (LE), Richtwert (CS) und Dosisleistung $\leq 0.1 \mu\text{Sv/h}$ in 10 cm Abstand von der Oberfläche) herangezogen. Die Revision der Strahlenschutzverordnung wird voraussichtlich neue niedrigere Freigabewerte vorsehen. Die möglichen Kostenfolgen der Revision sind in der Kostengliederung berücksichtigt.
12. Alle konventionellen Gebäude und das Gelände des Standortes werden auf Kontamination überprüft. Die Kostenfolgen eventuell vorliegender Kontamination sind in der Kostengliederung unter Gefahren und Chancen berücksichtigt.
13. Die Behandlung radioaktiver Komponenten wird in Abhängigkeit des Kontaminationsgrades und der Dekontaminierbarkeit gewählt. Hierbei kommen insbesondere erprobte und bewährte mechanische Verfahren zum Einsatz; auch chemische Dekontaminationsverfahren mit Wasser, Dampf sowie leichten Lösungsmitteln und Schmelzen werden eingesetzt.

14. Nach einer Systemdekontamination, die im Wesentlichen zur Reduzierung der Dosisleistung durchgeführt wird, werden Anlageteile nur noch zum Zweck der anschliessenden Freigabe dekontaminiert.
15. Für die Behandlung und Konditionierung von demontierten Materialien wird die Verfügbarkeit geeigneter Anlagen am Standort (zum Teil speziell für diese Zwecke neu errichtet) beziehungsweise extern (zum Beispiel Behandlung in der Plasma-Anlage der Zwiilag) unterstellt.
16. Beim Rückbau fallen ausschliesslich schwach- und mittelaktive Abfälle an. Diese werden nach den in der Schweiz gültigen Regelwerken (zum Beispiel Richtlinien des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats) und Vereinbarungen mit der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) konditioniert.
17. Es wird angenommen, dass das geologische Tiefenlager für schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA) ab dem Jahr 2050 zur Einlagerung zur Verfügung steht. Bis zur Einlagerung der Abfälle in das geologische Tiefenlager werden die radioaktiven Abfälle im Zwischenlager der Zwiilag, beziehungsweise im Fall des Kernkraftwerks Beznau auch in dessen Zwischenlager, zwischengelagert.
18. Die technischen Ausführungen der Lagercontainer für die Verpackung radioaktiver Abfälle sind für die vorliegende Stilllegungsstudie von der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) vorgegeben. Die maximale Aktivität je Behälter ist durch die geltenden Transportvorschriften limitiert, nicht durch das geologische Tiefenlager SMA. Die Hohlräume in den Behältern werden mittels geeigneter Füllmaterialien (zum Beispiel zementbasierte Füllmaterialien [33]) vergossen. Darüber hinaus wird angestrebt, den Richtwert von 5 W/m^3 für die spezifische Wärmeleistung pro Gebindevolumen nicht zu überschreiten. Zur Verpackung höher aktivierter Teile werden spezielle, dickwandige Gussbehälter verwendet.
19. Die Kosten für den Transport radioaktiver Stilllegungsabfälle von der Anlage zum Standort des Zwischenlagers und später von dort zum geologischen Tiefenlager werden den Stilllegungskosten zugeordnet. Die Zwischenlagerung der Stilllegungsabfälle wird hingegen vereinfachend den Entsorgungskosten zugeordnet.
20. Die Transportkosten werden mit einem spezifischen Kostenansatz berücksichtigt. In Abhängigkeit vom Abfallgebindetyp kommen unterschiedliche Kostenansätze zur Anwendung. Die Kosten für die nukleare Transportversicherung werden zusätzlich berücksichtigt.
21. Die Gebäudestrukturen innerhalb des Stahlcontainments werden zum Nachweis der Kontaminationsfreiheit noch unter den Bedingungen einer kontrollierten Zone abgebrochen.
22. Für die Schätzung des erforderlichen Personalaufwandes für die Durchführung der Arbeiten werden geeignete Personalqualifikationen festgelegt und entsprechende, aus der Praxis abgeleitete Verrechnungssätze zugrunde gelegt. Es wird unterstellt, dass Personal mit Anlagekenntnissen verfügbar ist.
23. Die Demontage und der Abbruch der kontaminierten und aktivierten Anlageteile werden soweit sinnvoll im Ein- oder im Mehrschichtbetrieb durchgeführt.
24. Die bei der Stilllegung eingesetzten Verfahren und Geräte entsprechen dem heutigen Stand der Technik.
25. Die Bewachung der Anlage erfolgt gemäss den behördlichen Vorgaben.
26. Der erforderliche Aufwand für den Rückbaubetrieb wird definiert und gemäss Kostengliederung und Kostenstruktur berücksichtigt. Die im Rückbaubetrieb anfallenden Personal- und Sachkosten werden auf Basis der Betriebskosten der Schweizer Kernkraftwerke abgeschätzt.

27. Die Versicherungsprämien (nukleare Versicherungen und Sachversicherungen) werden entsprechend der geltenden Gesetzgebung (zum Beispiel Kernenergiehaftpflichtgesetz [15]) berücksichtigt. Für die Haftpflichtversicherung nuklearer Transporte wurde vorsorglich eine Inkraftsetzung der Bestimmungen des revidierten Pariser Übereinkommens angenommen.
28. Die Preisbasis für die vorliegende Kostenschätzung ist der 1. Januar 2016. Sämtliche Kosten werden ohne Mehrwertsteuer ausgewiesen.
29. Es werden die von der Verwaltungskommission des Stilllegungs- und Entsorgungsfonds festgelegten Wechselkurse für die Kostenermittlung verwendet:
USD/CHF = 1.00; EUR/CHF = 1.20; GBP/CHF = 1.50; SEK/CHF = 0.13.
30. Für die Erfassung und Darstellung der Ergebnisse der Kostenschätzung 2016 wird die von einer Arbeitsgruppe der swissnuclear erarbeitete und von der Verwaltungskommission genehmigte Kostenstruktur verwendet.
31. Die Kostenschätzung verwendet die Kostengliederung, wie sie von der Verwaltungskommission für diesen Zweck vorgegeben worden ist. Für die Ermittlung der Kosten werden verschiedene Kostenniveaus berechnet und ausgewiesen. Die verwendete Kostengliederung wird in Kapitel 3.2 des Berichts erläutert.
32. Die Stilllegungskosten werden 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. Die Preisbasis für die vorliegende Kostenschätzung ist der 1. Januar 2016. Sämtliche Kosten werden ohne Mehrwertsteuer ausgewiesen.

3 Methodik der Kostenschätzung

Die Kostenstudie 2016 weist im Vergleich zu den vorherigen Kostenstudien zwei wesentliche Neuerungen auf. Die Verwaltungskommission hat für die Kostenstudie 2016 neue Kostenstrukturen vorgegeben und verlangt, die Ergebnisse der Kostenschätzung in Form einer Kostengliederung darzustellen. In den Kapiteln 3.1 und 3.2 werden diese beiden Neuerungen und ihre Umsetzung in der vorliegenden Kostenstudie 2016 erläutert. In Kapitel 3.3 wird auf die Ermittlung der Stilllegungskosten durch die Firma Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH eingegangen.

3.1 Kostenstruktur

Die Kostenstrukturen für die Kostenstudie 2016 wurden von einer Arbeitsgruppe der swissnuclear in Abstimmung mit der Verwaltungskommission vorgängig zur Erstellung der Kostenstudie ausgearbeitet.

Sie schaffen die Voraussetzung für eine transparente Kostenplanung, aussagekräftige Kostenvergleiche, ein effektives Kostencontrolling und für die effiziente Abwicklung der Inanspruchnahme von Fondsmitteln. Sie werden durchgängig von der Kostenschätzung bis zum Abschluss eines Rückbauprojekts angewendet. Dadurch bieten sie unter anderem die Gewähr für ein effektives Controlling der Kosten in der Projektdurchführung und sorgen für die notwendige Kostentransparenz. Letzteres ist für die Abrechnung von Kosten zwischen Fonds und Eigentümern von besonderer Relevanz, weil die Geschäftsstelle des Stilllegungsfonds gemäss Verordnung⁴¹ die Rechnungen auf formelle Richtigkeit prüft und die termingerechte Zahlung durch die Fonds auslöst.

Die Kostenstrukturen sind so gestaltet, dass sowohl Eigenleistungen der Eigentümer wie auch fremdvergebene Leistungen über Auftragsvergabe, Rechnungsstellung und Kontierung eindeutig und transparent den abzurechnenden Tätigkeiten und Gewerken zugeordnet werden können.

Im Rahmen der Ausarbeitung durch die Arbeitsgruppe wurden zunächst die generellen Anforderungen an die Kostenstrukturen von komplexen Infrastrukturprojekten sowie die spezifischen Anforderungen für die Schweizer Kernanlagen identifiziert. Die Strukturen der Kostenstudie 2011 wurden am erarbeiteten Anforderungsprofil gemessen. Für die Bereiche, in denen Anpassungsbedarf identifiziert wurde, hat die Arbeitsgruppe dann konkrete Vorschläge erarbeitet. Diese wurden von der Verwaltungskommission verbindlich für die Kostenstudie 2016 vorgegeben und werden bei der Darstellung der Ergebnisse in diesem Bericht verwendet.

Damit wird einerseits ein solides Fundament für die spezifische Kostenplanung des anstehenden Projekts Stilllegung des Kernkraftwerks Mühleberg geschaffen und andererseits eine für die Schweizer Kernanlagen allgemein anwendbare Kostenstruktur definiert, die durchgängig im ganzen Prozess der Kostenplanung, -steuerung und -kontrolle eingesetzt werden kann und gleichzeitig Kostenvergleiche zwischen den einzelnen Kernanlagen ermöglicht.

Um die Anforderungen der allgemeinen Anwendbarkeit und der Vergleichbarkeit der Schweizer Kernkraftwerke zu erfüllen, sind die Kostenstrukturen auf den obersten Gliederungsebenen einheitlich. Auf den tieferen Gliederungsebenen sind indessen unterschiedliche Strukturen erforderlich, um den projektspezifischen Anforderungen sowie technologischen Unterschieden zwischen den Anlagen Rechnung zu tragen.

⁴¹ Art. 14 SEFV [12].

Die Kostenstruktur erlaubt eine klare Abgrenzung von Nachbetrieb und Rückbau, was im Hinblick auf die unterschiedlichen Finanzierungsquellen notwendig ist. Wesentliche Änderung in diesem Zusammenhang ist die detaillierte Darstellung des Anlagenpersonals. Während in der Kostenstudie 2011 die Personalkosten als Kostenblock dargestellt worden sind, erfolgt in der Kostenstudie 2016 eine Darstellung der Personalkosten entsprechend der Zuordnung des Personals zu Organisationseinheiten.

Anhang A.1 enthält eine detaillierte Beschreibung des verwendeten Projektstrukturplans zur Darstellung der Resultate der Kostenschätzung und zeigt die Unterschiede zur bisherigen Struktur der Kostenschätzung.

3.2 Kostengliederung

Die zweite wesentliche Neuerung in der Kostenstudie 2016 gegenüber den bisherigen Kostenstudien ist die Darstellung der geschätzten Kosten in Form einer Kostengliederung. Die Kostengliederung liefert im Vergleich zu den in Kapitel 3.1 dargestellten Kostenstrukturen eine andere Sichtweise auf die Kostenschätzung. Während die Kostenstrukturen die Kosten thematisch den Aktivitäten im Projekt zuordnen, trägt die Kostengliederung der Unsicherheit von Kostenschätzungen in Bezug auf die zu erwartenden Kosten während der Projektdurchführung Rechnung. Dies stellt eine grundsätzliche Neuerung gegenüber den bisherigen Kostenstudien dar. Bis zur Kostenstudie 2011 wurden die Kosten von Experten als erfahrungsbasierte beste Punktschätzung ermittelt. Diese Methode berücksichtigt auch eine implizite Risikovorsorge, weist die entsprechenden Beträge jedoch nicht getrennt aus. Zudem wurden Risikopositionen in den bisherigen Kostenstudien in einem geringeren Umfang als in der Kostenstudie 2016 berücksichtigt. Dies ist damit zu begründen, dass die Kostenstudien in der Schweiz alle fünf Jahre aktualisiert werden. Änderungen der gesetzlichen, technischen oder finanziellen Rahmenbedingungen werden zum jeweiligen Zeitpunkt der Kostenschätzung auf den dann aktuellen Stand gebracht. Für die Kostenstudie 2016 wurden mögliche Änderungen dieser Rahmenbedingungen in Bezug auf ihre allfälligen finanziellen Konsequenzen analysiert und als Zuschläge in der Kalkulation berücksichtigt. Die Ergebnisse der Kostenstudie haben demzufolge ein noch höheres Sicherheitsniveau in Bezug auf die Abdeckung von kostenerhöhenden Risiken.

Durch die Kostengliederung werden die unterschiedlichen Arten von Unsicherheiten in einem Projekt, beispielsweise Ungewissheiten in Bezug auf Massen, Preise oder Dauern, ebenso wie externe Änderungen des Projektumfelds, beispielsweise aufgrund sich ändernder rechtlicher Vorgaben, umfassend identifiziert und transparent ausgewiesen.

3.2.1 Vorgaben zur Kostengliederung

Die Kostengliederung basiert auf den Empfehlungen aus der Plausibilisierung der 2011 geschätzten Entsorgungskosten der Schweizer Kernanlagen. Die bisherigen Kostenschätzungen basierten auf Punktschätzungen 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 Kosten differenzierter darzustellen: Neben den zu erwartenden Projektkosten sind auch die beinhalteten Zuschläge für projektinhärente Unsicherheiten transparent darzulegen und zu quantifizieren. Die Verwaltungskommission hat den im Plausibilisierungsbericht zu den Entsorgungskosten der Kostenstudie 2011 enthaltenen Entwurf zu der in Abbildung 2 dargestellten Kostengliederung weiterentwickelt. Diese ist Bestandteil der Vorgaben für die Kostenstudie 2016.

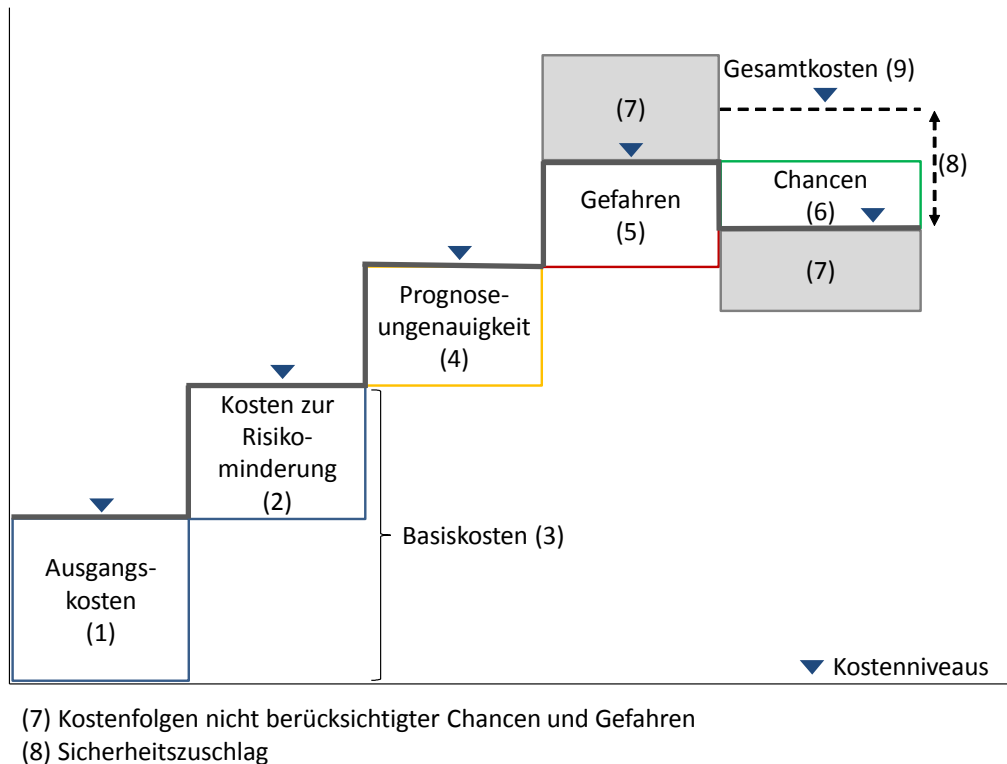


Abbildung 2: Kostengliederung für die Kostenstudie 2016.

Die einzelnen in Abbildung 2 dargestellten 9 Kostenelemente, die kumulativ zu Kostenniveaus und insgesamt zu den Gesamtkosten führen, wurden von der Verwaltungskommission wie folgt definiert⁴².

Ausgangskosten (1)

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

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

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

⁴² Die Definitionen sind im Wortlaut und unter Verwendung der Nomenklatur der Verwaltungskommission 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 (1) + Kosten zur Risikominderung (2) (ohne jegliche Zuschläge).

Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten (4)

Alle Kostenschätzungen, insbesondere in den frühen Phasen eines Projekts, sind mit Ungenauigkeiten verbunden. Dies betrifft den Leistungsumfang (scope) sowie die angenommenen Mengen und Preise. Da bei der 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 und sind für jede Kostenposition in Abhängigkeit von der jeweils vorhandenen Schätzgenauigkeit festgelegt. Sie sind in der Regel jedoch kleiner als die theoretische Genauigkeitsspanne. Diese Einzelwerte werden ausgewiesen, 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 werden «Top-down» auf der Basis einer quantitativen Risikoanalyse ermittelt. Dazu muss für jede relevante Gefahr deren Eintrittswahrscheinlichkeit und Kostenfolge aufgrund von Expertenwissen abgeschätzt werden. Als Kostenzuschlag wird der entsprechende Erwartungswert (Risikowert) in die Gesamtkosten eingerechnet.

Kostenabzüge für Chancen (6)

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, entscheidende Schlüsselgrößen eines Projekts mit zu grossem Optimismus zu prognostizieren, d.h. Kosten und Zeitdauern zu unterschätzen und erwarteten Nutzen zu überschätzen («optimism bias»). Diesem Umstand soll mit einem «Top-down»-Sicherheitszuschlag Rechnung getragen werden, der separat auszuweisen und zu begründen ist.

Gesamtkosten (9)

Summe aus Basiskosten und den weiteren Elementen der Kostengliederung.

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 auch die Empfehlungen internationaler Fachorganisationen berücksichtigt, die sich mit der Frage von Unsicherheiten der Planung oder mit externen Risikofaktoren bei Kostenstudien im nuklearen Umfeld beschäftigen⁴³. 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 bei 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 sind 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. Dabei wird die Kostenschätzung zur Plausibilisierung auch mit Referenzprojekten oder ähnlichen Tätigkeiten verglichen.

Zur Schätzung der in Abbildung 2 dargestellten Elemente der Kostengliederung wurde wie folgt vorgegangen.

Ausgangskosten

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

Beim Ermitteln der Ausgangskosten für die Kostenschätzung der Stilllegung der Schweizer Kernanlagen werden sämtliche Positionen der vorgegebenen Kostenstruktur kalkuliert⁴⁴. Dabei handelt es sich um Kostenelemente, die den Rückbaubetrieb kostenmässig abbilden, sowie um die Projektkosten für das Rückbauprojekt.

⁴³ Z.B. OECD NEA: Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants, NEA No. 7201, 2016 [70].

⁴⁴ Dies entspricht der Vorgabe der Kommission, dass die Kosten «Bottom-up» zu kalkulieren sind.

Die Kosten für die Vielzahl der im Rahmen der Stilllegung einer Kernanlage anfallenden einzelnen Arbeitsschritte werden individuell kalkuliert und über verschiedene Aggregationsstufen zu Arbeitspaketen, (Teil-)Projekten und schliesslich zu Gesamtkosten der Stilllegung zusammengeführt. Dort, wo bei früheren Kostenstudien inhärente Zuschläge für Unsicherheit und Risiken in den Kostenschätzungen enthalten waren, wurden diese für die Kostenstudie 2016 aus den Ausgangskosten extrahiert und in den vorgesehenen Elementen der Kostengliederung ausgewiesen.

Ein Beispiel für eine solche Differenzierung zwischen Ausgangskosten und anderen Elementen der Kostengliederung, die auch in den bisherigen Kostenstudien enthalten waren, ist der Ausweis von risikomindernden Massnahmen in der Kostengliederung. Darunter sind unter anderem einige Teilfunktionen des Projektmanagements zu verstehen, die dazu dienen sollen, die Gefahr von Fehlentwicklungen und drohenden Kostenüberläufen in der Projektabwicklung frühzeitig zu erkennen, zu verhindern oder zumindest in ihrer negativen Ausprägung möglichst weit zu begrenzen. Exemplarisch sei hier das Thema Lieferanten- und Vertragsmanagement genannt. Da verschiedene rückbaubezogene Aktivitäten, die auf dem erfolgskritischen Pfad liegen, durch externe Dienstleister ausgeführt werden, kann die Schlechtleistung oder der Ausfall solcher Dienstleister je nach Zeitpunkt des Schadenseintritts zu Mehraufwendungen und Verzögerungen des Gesamtprojekts führen. Ein intensives Management solcher Vertragsbeziehungen mit Dritten soll das Ausfallrisiko erfolgskritischer Lieferanten so weitgehend wie möglich begrenzen. Diese und ähnliche Tätigkeiten wurden auch in den bisherigen Kostenstudien als Teil der Stilllegungskosten kalkuliert. In der Kostenstudie 2016 wurden sie jedoch identifiziert, quantifiziert und im entsprechenden Element der Kostengliederung separat ausgewiesen.

Kosten zur Risikominderung

Unter Kosten zur Risikominderung werden Aufwendungen für organisatorische und technische Massnahmen verstanden, die von den Betreibern der Kernanlagen im normalen Geschäftsbetrieb umgesetzt werden 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 Brennelementlagerbeckenkühlung. Das Ziel solcher risikomindernden Massnahmen ist es, Risiken zu vermeiden oder zu reduzieren und Chancen zu erkennen und zu nutzen. Die Kosten zur Risikominderung wurden als integraler Bestandteil der Projektstruktur geplant und in den Kostenschätzungen berücksichtigt. In den Unternehmen der Betreiber handelt es sich hierbei insbesondere um nachstehende Massnahmen, Konzepte und Prinzipien:

- Unternehmenscontrolling.
- Projektcontrolling.
- Change Management.
- Mehraugenprinzip.
- Projektorganisation.
- Projektmanagement (insbesondere hinsichtlich Beschaffungen, Lieferanten, Nachforderungen, Vertragsgestaltung- und Vertragseinhaltung, Qualität, Dokumentation, Compliance, Risiken).
- Wissens- und Erfahrungsmanagement.
- Optimierung Rückzugskonzept.
- Beprobung des Areal (Verdachtsflächen).
- Optimierte Verpackungskonzept.
- Zusätzliche Transportwege zur Vermeidung von Engpässen in der Logistikabfolge.
- Ersatzmaterial für technische Ausfälle bei der Logistik beziehungsweise Demontagegerätschaften.
- Verfügbarkeit von Lieferanten sichern.
- Vermeidung des unerwarteten Auftretens (radioaktiv belasteter) Flüssigkeiten.
- Auswertung von Erfahrung ausländischer Rückbauprojekte.

In Kapitel 5.2 werden die vorgenannten Konzepte und ihre Wirkungsweise beschrieben.

Basiskosten

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

Kostenzuschlag für Prognoseungenauigkeiten

Für jedes Element des Projektstrukturplans (PSP-Element) werden die Dauer und die Kosten geschätzt⁴⁵. Dies führt zu einem Erwartungswert, der mit empirischen Vergleichswerten aus laufenden und abgeschlossenen Stilllegungen anderer Kernanlagen verglichen, plausibilisiert und der spezifischen Situation in der jeweiligen Kernanlage angepasst wird. So abgeleitete Kalkulationsfaktoren sind statistisch als Mittelwerte zu interpretieren.

Im gegenwärtigen Planungsstadium sind die für die einzelnen PSP-Elemente vorgesehenen Tätigkeiten mit unterschiedlichen Graden von Planungsunsicherheiten belegt. Für die Bestimmung des Zuschlags für Prognoseungenauigkeiten müssen die relevanten Unsicherheiten für jedes einzelne PSP-Element abgeschätzt werden. Dazu werden Toleranzgrenzen für mögliche Ergebnisschwankungen der Schätzung definiert, welche die spezifische Planungsunsicherheit des betreffenden Elements ausdrücken und dabei ein sehr breites Spektrum des Erfahrungshorizonts eines Kostenschätzers abdecken⁴⁶.

Die Toleranzgrenzen werden in Abhängigkeit von der unterstellten Planungsunsicherheit des PSP-Elements jeweils symmetrisch oder asymmetrisch gewählt. Bei Betriebskosten wird von einer symmetrischen Unsicherheit ausgegangen, da aufgrund der langjährigen Betriebserfahrung keine systematische Unterschätzung der Plankosten zu erwarten 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 PSP-Elements, das in der Regel sowohl variable Kostenanteile wie Personalaufwand oder Demontageleistung je Arbeitsstunde als auch fixe Kostenanteile wie spezifische Werkzeuge oder Hilfsmittel umfasst. Falls ein spezifischer Kostenfaktor einen bestimmenden Einfluss auf die Unsicherheit der Kostenschätzung für ein PSP-Element hat, wird die Unsicherheit dieses Kostenfaktors für die Bestimmung der Toleranzgrenze herangezogen.

Für die Kostenstudie 2016 hat sich gezeigt, dass vier Toleranzgrenzen⁴⁷ das vorhandene Spektrum an Unsicherheiten gut abdecken und die Realität ausreichend genau abbilden. Die Toleranzgrenzen orientieren sich dabei weitestgehend an Empfehlungen aus der relevanten Literatur⁴⁸.

⁴⁵ Der Projektstrukturplan für die Schätzung der Stilllegungskosten wird in Kapitel 3.1 und im Anhang A.1 erläutert.

⁴⁶ Grundsätzlich können auch Ergebnisse ausserhalb der festgelegten Toleranzgrenzen auftreten, aber die Eintrittswahrscheinlichkeit dafür ist so klein, dass solche Ergebnisse für die Kostenschätzung vernachlässigbar sind.

⁴⁷ Klasse A: - 5 % / + 5 %, Klasse B: - 10 % / + 15 %, Klasse C: - 20 % / + 30 %, Klasse D: - 30 % / + 50 % in Anlehnung an die aktuellen Ausarbeitungen von OECD/NEA [70], IAEA [72] und US Department of Energy [71] für die Beschreibung von Unsicherheiten bei der Kostenschätzung von nuklearen Rückbauprojekten beziehungsweise für die Entsorgung. Klasse E: - 20 % / + 20 % und Klasse F: - 30 % / + 30 % wurden ausschliesslich für betriebliche Tätigkeiten bei der Entsorgung verwendet.

⁴⁸ Z.B. US DOE Cost Estimating Guide 413.3.21; 2011 [71]; IAEA Financial Aspects of Decommissioning; IAEA-TECDOC-1476; 2005 [72].

Eine feinere Unterteilung ist nicht sinnvoll, da wegen statistischer Ausgleichseffekte das Ergebnis der Kostenschätzung dadurch 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 PSP-Elementen.

Die Kosten eines PSP-Elements unterliegen einer statistischen Schwankung. Sie sind mit einer Zufallsvariable zu beschreiben. Mittels Schätzung des Mittelwerts sowie einer oberen und unteren Toleranzgrenze lassen sich die Kosten mit einer Wahrscheinlichkeitsfunktion beschreiben. Die Kostenschätzung insgesamt entspricht der Summe der Kosten aller PSP-Elemente. Da die Schätzung für jedes dieser Elemente eine unsichere Grösse (Zufallsvariable) ist, sind auch die summierten Kosten unsicher und können ebenfalls mit einer Wahrscheinlichkeitsverteilung beschrieben werden. Die aus den einzelnen Verteilungen der PSP-Elemente zusammengesetzte Verteilung der summierten Kosten kann näherungsweise sehr gut durch eine fast symmetrische Lognormalverteilung⁴⁹ beschrieben werden.

Wenn die PSP-Elemente unabhängig sind und nicht einzelne Elemente die Kostenberechnung dominieren, geht die Unsicherheit bei einer grossen Anzahl an PSP-Elementen gegen Null. In einem komplexen Projektstrukturplan bestehen jedoch zahlreiche terminliche und sachliche Abhängigkeiten zwischen den einzelnen PSP-Elementen. 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, und die Nachbetriebskosten steigen. Terminliche Abhängigkeiten werden ebenso wie Abhängigkeiten von angesetzten Personalkostensätzen für die Bestimmung der Prognoseungenauigkeiten identifiziert und bei der weiteren Berechnung des Zuschlags berücksichtigt. Bei der Stilllegung werden auch Abhängigkeiten von den Rückbaumassen berücksichtigt.

Die Abhängigkeiten der PSP-Elemente voneinander 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 die Monte-Carlo-Simulation⁵⁰ zur Bestimmung der Wahrscheinlichkeitsverteilung der summierten Kosten verwendet.

In der Monte-Carlo-Simulation zu dieser Kostenstudie werden für die Wahrscheinlichkeitsverteilungen der einzelnen PSP-Elemente eine grosse Anzahl Eingangswerte generiert. Zwischen den PSP-Elementen werden funktionale Abhängigkeiten berücksichtigt, die sich beispielsweise aus der Dauer von Tätigkeiten in der Termin- und Netzplanung ergeben. Unter Berücksichtigung der Unsicherheiten und der 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 rund 20'000 Simulationen zu stabilen Berechnungsergebnissen führt.

⁴⁹ Die Lognormalverteilung ist eine kontinuierliche Wahrscheinlichkeitsfunktion positiver reeller Zahlen und wird z.B. in der Versicherungswirtschaft bei der Modellierung von Schadenshöhen benutzt.

⁵⁰ 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 PSP-Elements als Zufallszahlen innerhalb der zuvor definierten Toleranzgrenzen generiert. Diese zufälligen Werte können für die weiteren Berechnungen als unabhängige Einzelgrössen behandelt werden. Bei der Simulation der Zufallszahlen mittels der Monte-Carlo-Methode lassen sich beliebige Wahrscheinlichkeitsverteilungen und beliebige Abhängigkeitsstrukturen zwischen den Werten berücksichtigen. Das Ergebnis der Simulation ist eine Vielzahl von Einzelergebnissen, die in ihrer Gesamtheit Schlüsse auf die statistischen Eigenschaften des Gesamtergebnisses zulassen.

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

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

- a) sehr unsicher sind,
- b) einen grossen Einfluss auf die 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 der Vorgabe der Verwaltungskommission für den Zuschlag für Prognoseungenauigkeiten für jedes Element der Kostenstruktur berechnet.

Der so ermittelte Zuschlag wurde um einen inhärenten Zuschlag ergänzt, der sich daraus ergibt, dass die Kostenschätzung für die Stilllegung mittels Kalkulationsfaktoren berechnet wird, die aus Ist-Kosten von abgeschlossenen oder in Durchführung befindlichen Projekten abgeleitet sind. In den zum Vergleich und zur Plausibilisierung der Kostenschätzung herangezogenen empirischen Vergleichsdaten sind kostenerhöhende, zu einer Abweichung von den Ausgangskosten führende Effekte von kleinen Abweichungen und Verzögerungen der Projekte bereits enthalten. Um der Anforderung der Verwaltungskommission nach definitionsgemässer Abbildung aller Elemente der Kostengliederung nachzukommen, muss dieser inhärente Zuschlag für Prognoseungenauigkeit im Rahmen der Bestimmung der Ausgangskosten quantifiziert und im Gesamtzuschlag für Prognoseungenauigkeiten ausgewiesen werden. Die Quantifizierung der inhärenten Prognoseungenauigkeiten erfolgt ebenso wie bei der zuvor beschriebenen Komponente des Zuschlags auf der Ebene der PSP-Elemente.

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

Kostenzuschläge für Gefahren und Kostenabzüge für Chancen

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

Gemäss Vorgabe der Verwaltungskommission wurden die Kostenzuschläge für Gefahren auf der Basis einer quantitativen Risikoanalyse ermittelt. Dazu musste für jede relevante Gefahr deren Eintrittswahrscheinlichkeit und Kostenfolge 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, Schadens- beziehungsweise Chancenpotenzial) bewertet. Die Beschreibung der Gefahren und Chancen, die Bewertung von Schadensausmass 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 Kostenzuschläge für Gefahren und Kostenabzüge für Chancen werden nicht auf die einzelnen PSP-Elemente der Kalkulation zurückgerechnet. Die Zuschläge und Abzüge erfolgen auf die ermittelten Basiskosten. Zuschläge und Abzüge wurden unter Verwendung von Ereignisbäumen berechnet. Es 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 Simulationen wurde untersucht, inwieweit der Saldo aus Gefahrenzuschlägen und Chancenabzügen die möglichen Kostenfolgen unterschiedlichster Eintrittsszenarien von Gefahren- beziehungsweise Chancenkombinationen abdeckt⁵¹. 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 Gefahren und Chancen, die in die Berechnung der Gefahrenzuschläge und Chancenabzüge für die jeweiligen Kernanlagen eingegangen sind, wurden im Rahmen der Risikobetrachtung zur Kostenstudie 2016 eine Vielzahl weiterer Chancen und Gefahren identifiziert und evaluiert, jedoch in der Kostengliederung nicht explizit berücksichtigt. Dies weil sie bereits über andere, berücksichtigte Gefahren und Chancen abgedeckt sind, weil es sich um versicherte Risiken handelt oder weil sie über berücksichtigte risikomindernde Massnahmen wirkungsvoll reduziert werden können.

Die Chancen und Gefahren sind für jede Kostenstudie im Hinblick auf ihre Relevanz, das heisst auf 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 werden, da einzelne Gefahren und Chancen eintreten und damit obsolet werden, während andere eliminiert werden können.

Kostenfolgen von nicht berücksichtigten Gefahren/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 bereits 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 kann daher nicht verbreitet werden.

⁵¹ Die Monte-Carlo-Simulation für die Gefahren und Chancen unterscheidet sich von derjenigen für die Prognoseungenauigkeiten. Für die Bestimmung des Zuschlags für Prognoseungenauigkeiten werden die Ergebnisse der PSP-Elemente der Kalkulation des Kostenschätzers einer Monte-Carlo-Simulation unterzogen. Bei den Chancen und Gefahren sind es die Risikowerte, die sich als Ergebnisse der Ereignisbäume für die einzelnen Chancen und Gefahren ergeben.

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.

Daneben sind bei der Stilllegung im Wesentlichen Behinderungen und Verzögerungen der Rückbauaktivitäten durch nicht bekannte technische Schwierigkeiten, Naturereignisse oder sonstige Einflüsse höherer Gewalt zu berücksichtigen. In diesem Zusammenhang ist von einem möglichen Schadensausmass in einer Grössenordnung von 20 Prozent der Stilllegungskosten bei einer äusserst geringen Eintrittswahrscheinlichkeit auszugehen.

Sicherheitszuschlag

Der zusätzliche Sicherheitszuschlag soll der Neigung von Projektanten Rechnung tragen, besonders in frühen Projektphasen Risiken und Kosten systematisch zu unterschätzen⁵². Mit den anderen Elementen der Kostengliederung, der Berücksichtigung risikomindernder Massnahmen, dem Zuschlag für Prognoseungenauigkeiten, dem Zuschlag für Gefahren und dem Abzug für Chancen wurde 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 Stilllegungsprojekte⁵³. Die Kostengliederung deckt somit den aktuellen Stand der Diskussion zu diesem Thema umfassend ab.

Die Kostenschätzung für die Stilllegung wurde nicht durch die Eigentümer 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 im Rückbau dienen Angaben der Eigentümer 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, wirkungsvoll vorgebeugt. Es gibt somit keinen Grund für einen weiteren, zusätzlichen Sicherheitszuschlag.

⁵² In den Vorgaben zur Kostengliederung wird dies als „Optimism Bias“ bezeichnet.

⁵³ s. z.B. OECD-NEA: Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants; US DOE Cost Estimating Guide 413.3.21; IAEA-TECDOC-1476, Financial Aspects of Decommissioning. [70] [71] [72].

3.3 Ermittlung der Stilllegungskosten durch die Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH

Anfang 2015 betraute die swissnuclear im Auftrag der Eigentümer der Schweizer Kernanlagen die Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH (nachfolgend NIS genannt) mit der Schätzung der Stilllegungskosten für die Schweizer Kernkraftwerke und die Anlagen der Zwiilag. Die NIS hat umfangreiche Erfahrungen auf dem Gebiet der Kostenschätzungen für Nuklearprojekte und hat ein speziell für diesen Sektor zugeschnittenes Kalkulationsmodell entwickelt, das, wie schon in den Vorgängerstudien in den Jahren 2001, 2006 und 2011, auch für die vorliegende Studie Kostenstudie 2016 eingesetzt wird.

3.3.1 Kalkulationsmodell für die Kostenermittlung

Das von NIS eingesetzte Kalkulationsmodell basiert auf einem Bottom-up-Ansatz. Dabei werden die Kosten auf der Ebene der Arbeitsschritte kalkuliert und nach oben aggregiert. Als Software zur Berechnung verwendet die NIS die firmeneigene Software Cora/Calcom.

Cora/Calcom ist ein Programmsystem für die Planung von Rückbauprojekten, die Ermittlung von Kosten, Personalaufwand und Strahlenbelastung sowie der Komponentenerfassung mit integrierter Abfallentsorgungsplanung bei kerntechnischen Anlagen. Die generelle Struktur der Berechnung ist in Abbildung 3 dargestellt.

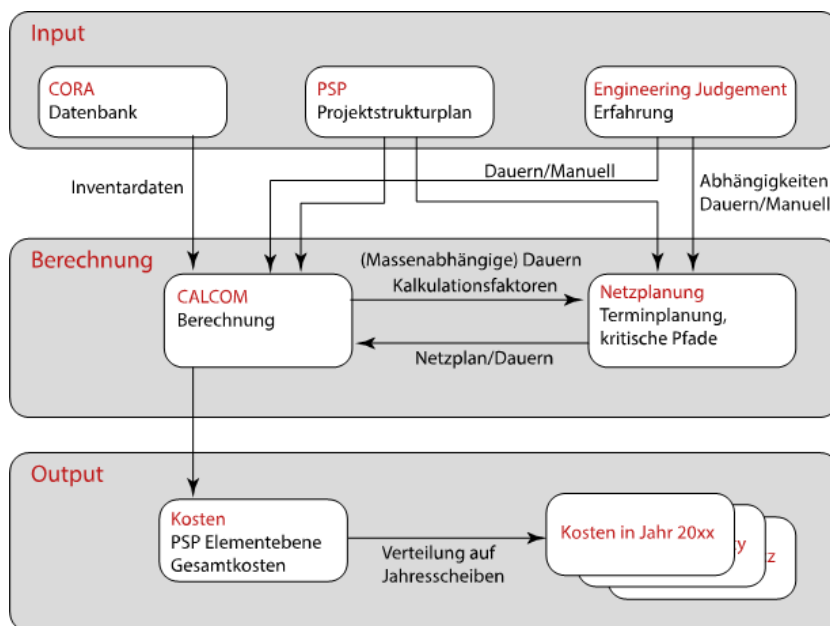


Abbildung 3: Überblick Kalkulationsmodell der Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH.

In Cora/Calcom werden die Kosten für die einzelnen PSP-Elemente beziehungsweise Arbeitsschritte berechnet. Ausserdem werden weitere Informationen zum Projekt ausgegeben, wie zum Beispiel Kostenfluss oder Personenkapazität. Das Programmsystem gliedert sich in die zwei Module Cora und Calcom.

Cora ist der Front-End-Teil der Kalkulationssoftware für die massengestützte Kalkulation. In Cora sind alle für die Entsorgungsplanung notwendigen anlagenspezifischen Eingangsdaten erfasst. Dies sind beispielsweise Massen, technische Komponentendaten, Raumdaten, Aktivitätswerte einschliesslich Kontamination und Aktivierung sowie Dosisleistungswerte, aber auch Referenzdaten für die Verpackung und die Entsorgungsziele.

Calcom ist das Modul zur Kalkulation von Personalaufwendungen und Strahlenexposition sowie von Personal- und Sachkosten mit den in Cora gespeicherten Inventardaten einer Anlage und unter Berücksichtigung von Erfahrungswerten aus anderen Umrüst- und Revisionsmassnahmen sowie Rückbauprojekten.

In Calcom sind für die Kalkulation Arbeitsfaktoren, spezifische Kostenfaktoren, Einzelpreise und Verbrauchswerte hinterlegt. Die Arbeitsfaktoren sind aufgrund von Schrittfolgen von Demontagen hergeleitet und mit Werten aus Projekten mit vergleichbaren Tätigkeiten substantiiert worden. Sie sind erfahrungs- und analogiebasiert. Die Verbrauchswerte sind aus der Praxis abgeleitet, skaliert und mit Gewichtungsfaktoren versehen.

Inventardaten aus der Cora-Datenbank, der Projektstrukturplan (PSP) und die Terminplanung bilden die Grundlage für die Kostenberechnungen in Calcom. Der Terminplan ist wesentlich, um die Dauern und ihre Verknüpfungen beziehungsweise Abhängigkeiten in Calcom abzubilden. Die Terminplanung wird basierend auf dem PSP von der NIS erstellt. Sie basiert auf der Erfahrung und Expertise der NIS. Die Terminplanung (Netzplan) wird als Input an Calcom übergeben.

Für die Kostenermittlung wird ein Rückbaukonzept angenommen, das dem heutigen Stand der Technik entspricht, mit den Verfahren und Techniken, die in den zurzeit laufenden Rückbauprojekten eingesetzt werden. Die ermittelten Stilllegungskosten setzen sich im Wesentlichen zusammen aus:

- Personalkosten.
- Sachkosten, zum Beispiel: Investitionen (zum Beispiel Neueinrichtungen, Fernhantierungseinrichtungen, Verbrauchsmittel wie Betriebsmedien, Kleidung, Dekontaminationsmittel, Werkzeuge).
- Entsorgungskosten, zum Beispiel: Kosten für externe Behandlung von Materialien (Plasma-Anlage der Zwiilag, Schmelzanlage).
- Deponiekosten.
- Behälterkosten.
- Transportkosten.
- zuteilbare Lagerkosten.

NIS kalkuliert grundsätzlich auf Expertenwissen und Erfahrung basierende «Best Estimate Kosten». Dabei werden die Ist-Kosten realer Rückbauprojekte, wo vorhanden, als empirische Ex-post-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».

Die Verwendung von Ex-post-Erfahrungswerten und die Kalibrierung der Kostenschätzung mit Ex-post-Daten realer in Durchführung befindlicher oder durchgeführter Rückbauprojekte führt dazu, dass die Kostenschätzungen der NIS auch Kostenelemente enthalten, die in der von der Verwaltungskommission vorgegebenen Kostengliederung den Basiskosten, aber auch anderen Kostenblöcken wie Gefahren oder Prognoseungenauigkeiten zuzuordnen sind.

3.3.2 Erfahrungshintergrund der Kostenschätzer

Die Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH (NIS) arbeitet seit über 35 Jahren auf dem Gebiet der Stilllegung kerntechnischer Anlagen und konnte durch die Mitarbeit an laufenden deutschen Stilllegungsprojekten (zum Beispiel Kernkraftwerke Stade, Würgassen und Obrigheim) wesentliche praktische Erfahrungen gewinnen, die auch in die Berechnungsgrundlagen der Kostenstudie 2016 eingeflossen sind. Darüber hinaus dienen die Kostenschätzungen für die übrigen Stilllegungsprojekte deutscher Kernkraftwerke als Referenzen. Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt der NIS liegt auf der Ermittlung der Kosten für die Stilllegung und den Abbau von Anlagen des Kernbrennstoffkreislaufes (zum Beispiel Wiederaufbereitungsanlage Karlsruhe). Die daraus gewonnenen Erfahrungen haben ebenfalls Eingang in die Berechnungsgrundlagen der Kostenstudie 2016 gefunden.

Diese Kostenermittlungen dienen beispielsweise zur Festlegung der notwendigen Rückstellungen für alle Leistungsreaktoren in Deutschland und in der Schweiz. Auch in anderen Ländern wurden Stilllegungsstudien erstellt und Stilllegungskosten ermittelt, zum Beispiel in den Niederlanden, Belgien, Slowenien, Frankreich und Italien.

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 so genannte Referenzstudien nachgewiesen. Diese wurden im Auftrag der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke e.V. (VDEW) von NIS erstellt. Diese Referenzstudien sind auch wesentlicher Bestandteil der Schweizer Stilllegungsstudien von 1980. Praktische Erfahrungen, die im Rahmen des Rückbaus stillgelegter Anlagen gewonnen wurden, sowie die Weiterentwicklung der Technik und Veränderungen in der Genehmigungspraxis führten zu mehrfachen Aktualisierungen der Referenzstudien durch die NIS. In diesen Studien werden die folgenden Aspekte einer Stilllegung behandelt:

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

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

Neben der Berechnung der Stilllegungskosten für noch in Betrieb befindliche Kernkraftwerke in Deutschland berechnet NIS auch Stilllegungskosten von Anlagen, die sich bereits in der Stilllegung befinden. Beispielhaft sind zu nennen:

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

Die Flexibilität der Methodik und des Rechenprogramms erlauben es darüber hinaus, auch für andere kern-technische Anlagen des Kernbrennstoffkreislaufes die Stilllegungskosten zu ermitteln. Dies wurde inklusive der Erstellung der dazugehörigen Stilllegungskonzepte von NIS zum Beispiel für folgende Anlagen in Deutschland durchgeführt:

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

Daneben wird von der NIS die Methodik der Stilllegungskostenermittlung für Kernkraftwerke und andere Anlagen des Kernbrennstoffkreislaufes auch ausserhalb Deutschlands eingesetzt. Die ermittelten Ergebnisse werden dort zur Rückstellung von finanziellen Mitteln für die Stilllegung oder für die Budgetierung und Kostenkontrolle bei konkreten Stilllegungsprojekten verwendet. Im Anhang 4 ist eine Liste mit Referenzprojekten der Firma NIS ausserhalb Deutschlands aufgeführt.

Das Qualitätsmanagementsystem der NIS erfüllt die Anforderungen der DIN EN ISO 9001:2008 und der KTA Regel 1401 für ihre Ingenieur-, Dienst- und Beratungsleistungen. Das Qualitätsmanagementsystem nach DIN EN ISO 9001:2008 ist zertifiziert durch eine akkreditierte Prüfstelle (BSI Management Systems und Umweltgutachter GmbH). Darüber hinaus verfügt NIS über die Eignungsbestätigung zur Qualitätssicherung gemäss KTA 1401 der VGB-Arbeitsgemeinschaft «Auftragnehmerbeurteilung».

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

- 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 bzgl. 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 der Zwiilag.

4 Einflussfaktoren auf die Stilllegungskosten

Seit der letzten kompletten Überarbeitung der Stilllegungskostenstudie im Jahr 2011 sind eine Reihe kommerzieller Kernkraftwerke stillgelegt und rückgebaut worden oder befinden sich zurzeit im Rückbau. Die gewonnenen Erfahrungen aus diesen Rückbauprojekten stehen für die Planung anderer Rückbauprojekte weitgehend zur Verfügung. Dazu zählen die Kostenermittlung für die Anlagen in Greifswald und Rheinsberg, Anpassung und Abgleich der Ergebnisse bei den Kernkraftwerken Würgassen, Mühlheim-Kärlich, Stade, Obrigheim, Krümmel sowie weiterer Anlagen.

Sofern anwendbar, sind diese Kenntnisse auch in der vorliegenden Stilllegungsstudie für die Schweizer Kernkraftwerke berücksichtigt worden. Dadurch ergeben sich Änderungen im Ablauf, im Aufwand und in den Kosten für die Stilllegung. Die wesentlichen Änderungen werden in diesem Kapitel dargestellt und begründet.

4.1 Anlageinventar

Eine wesentliche Voraussetzung für die Stilllegungsplanung und -kostenermittlung ist die Kenntnis des Anlageinventars, das abgebaut und abgebrochen werden soll.

Hierbei sind das physikalische Inventar (zum Beispiel Massen der Komponenten und Einrichtungen, Gebäudemassen), und der radiologische Zustand zum Zeitpunkt der Stilllegung relevant. Das Inventar für die vorliegende Studie basiert auf der Aktualisierung des Inventars aus der Kostenstudie 2011. Dieses wurde überprüft und wo nötig angepasst. Gegebenenfalls bestehende Unsicherheiten wurden in den Prognoseungenauigkeiten berücksichtigt. Bei der Erfassung des Inventars wurden alle Massen erhoben, auch diejenigen, die den konventionellen Rückbau betreffen. Das radiologische Inventar wurde von der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) ermittelt und die Ergebnisse der NIS für die weiteren Auswertungen zur Verfügung gestellt.

Wichtig für die Ermittlung der Stilllegungskosten ist die Kenntnis der Komponenten, Einrichtungen und Gebäudemassen innerhalb und ausserhalb der kontrollierten Zone. Für die Stilllegungsplanung und -kostenermittlung sind die Komponenten und Einrichtungen innerhalb der kontrollierten Zone von wesentlicher Bedeutung.

In den Basisprojekten werden nur die Massen des nuklearen Rückbaus ausgewiesen. Zum Vergleich mit den Vorgängerstudien werden die Ergebnisse der Massenerhebung in Tabelle 3 bis Tabelle 7 jedoch in der gleichen Gliederung wie in der Vorgängerstudie, einschliesslich der konventionellen Massen, abgebildet. Die Vergleichbarkeit ist allerdings dadurch eingeschränkt, dass für die Kostenstudie 2011 ein Rückbau der Gebäude bis zu einer Tiefe von zwei Metern unterhalb der Oberfläche vorgegeben war. Für die Kostenstudie 2016 sind auch Gebäudemassen unterhalb von zwei Metern grundlegend neu bewertet und ausgewiesen. Dies führt für alle Kernkraftwerke zu einer deutlichen Erhöhung der Gesamtmassen.

Das radiologische Inventar setzt sich aus kontaminiertem und aktiviertem Material zusammen. Für die Stilllegungsplanung und -kostenermittlung werden alle Komponenten und Einrichtungen innerhalb der kontrollierten Zone als kontaminiert beziehungsweise aktiviert angesehen, bis messtechnisch nachgewiesen ist, dass die Radioaktivität unterhalb der vorgeschriebenen Grenzwerte der gültigen Strahlenschutzverordnung [14] liegt.

Für die Kostenstudie 2016 wurden wie in der Kostenstudie 2011 alle Komponenten und Einrichtungen einer Kontaminationsklasse zugeordnet. Die Zuordnung wurde von Mitarbeitern der Kernkraftwerke überprüft und auf den neuesten Kenntnisstand gebracht. Die Radioaktivitätswerte wurden von der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) neu berechnet.

Die Tabelle 3 (KKB), Tabelle 4 (KKM), Tabelle 5 (KKG) und Tabelle 6 (KKL) geben einen Überblick über Komponenten- und Gebäudemassen innerhalb und ausserhalb kontrollierter Zonen der Kernkraftwerke. Die Massen des Zwischenlagers der Zwilag sind in der Tabelle 7 aufgeführt.

Kernkraftwerk Beznau

Tabelle 3: Erfasste Massen des Kernkraftwerks Beznau (einschliesslich Zwibez).

	Studie 2011 [Mg]	Studie 2016 [Mg]	Differenz [Mg]
Kontrollierte Zone			
Komponentenmasse	14'991	16'217	1'226
Gebäudemasse (> -2 m)	179'613	170'778	-8'835
Gebäudemasse (< -2 m) ¹		86'694	
Zwischensumme	194'604	273'689	
Ausserhalb kontrollierte Zone			
Komponentenmasse	17'732	21'280	3'548
Gebäudemasse (> -2 m)	116'708	131'780	15'072
Gebäudemasse (< -2 m) ¹		33'212	
Zwischensumme	134'440	186'272	
Gesamt zu demontierende Masse	329'044	459'960	

¹ In der Kostenstudie 2011 war vorgegeben, dass Gebäude nur bis zu einer Tiefe von 2 m unter Geländeniveau rückgebaut werden.

Die Datenerfassung ergab für die kontrollierte Zone eine um 1'226 Mg höhere Masse an zu demontierenden Einrichtungen gegenüber der Kostenstudie 2011. Seit der Kostenstudie 2011 wurden ausserhalb der kontrollierten Zone zwei Gebäude für eine autonome Notstromversorgung neu errichtet und in den Massen erfasst.

Kernkraftwerk Mühleberg

Tabelle 4: Erfasste Massen des Kernkraftwerks Mühleberg.

	Studie 2011 [Mg]	Studie 2016 [Mg]	Differenz [Mg]
Kontrollierte Zone			
Komponentenmasse ^{1,2}	11'986	11'214	-772
Gebäudemasse (> -2 m) ²	65'915	65'915	-
Gebäudemasse (<- 2 m) ³		49'197	
Zwischensumme	77'901	126'326	
Ausserhalb kontrollierte Zone			
Komponentenmasse	3'690	3'856	166
Gebäudemasse (> -2 m)	43'373	43'373	-
Gebäudemasse (< -2 m) ³		22'084	
Zwischensumme	47'063	69'313	
Gesamt zu demontierende Masse ¹	124'964	195'639	

¹ Studie 2016 exkl. 16.1 Mg Reaktorabfälle (bereits im Nachbetrieb entsorgt).

² Biologischer Schild gilt hier als Komponente (1'392 Mg).

³ In der Kostenstudie 2011 war vorgegeben, dass Gebäude nur bis zu einer Tiefe von 2 m unter Geländeniveau rückgebaut werden.

Die aktualisierte Datenerfassung ergab für die kontrollierte Zone eine um 772 Mg reduzierte Masse an zu demontierenden Einrichtungen.

Die Massen ausserhalb der kontrollierten Zone haben sich um 166 Mg erhöht.

Kernkraftwerk Gösgen

Tabelle 5: Erfasste Massen des Kernkraftwerks Gösgen.

	Studie 2011 [Mg]	Studie 2016 [Mg]	Differenz [Mg]
Kontrollierte Zone			
Komponentenmasse	13'189	12'193	-996
Gebäudemasse (> -2 m)	162'433	159'543	-2'890
Gebäudemasse (< -2 m) ¹		69'164	
Zwischensumme	175'622	240'900	
Ausserhalb kontrollierte Zone			
Komponentenmasse	22'694	23'406	712
Gebäudemasse (> -2 m)	260'861	277'413	16'552
Gebäudemasse (< -2 m) ¹		34'344	
Zwischensumme	283'555	335'162	
Gesamt zu demontierende Masse	459'177	576'062	

¹ In der Kostenstudie 2011 war vorgegeben, dass Gebäude nur bis zu einer Tiefe von 2 m unter Geländeniveau rückgebaut werden.

Die aktualisierte Datenerfassung ergab für die kontrollierte Zone eine um 996 Mg reduzierte Masse an zu demontierenden Komponenten und Einrichtungen. Die Reduzierung ist auch darauf zurückzuführen, dass im Unterschied zur Kostenstudie 2011 nicht mehr von der Einrichtung einer kontrollierten Zone im Maschinenhaus ausgegangen wird und mit weniger Massen aus dem Reaktorgebäude gerechnet wird.

Die Masse ausserhalb der kontrollierten Zone (Komponenten und Gebäudemasse > -2 m) hat sich um 17'264 Mg erhöht. Dies ist im Wesentlichen auf verschiedene Neu- und Anbauten seit der letzten Kostenstudie zurückzuführen.

Kernkraftwerk Leibstadt

Tabelle 6: Erfasste Massen des Kernkraftwerks Leibstadt.

	Studie 2011 [Mg]	Studie 2016 [Mg]	Differenz [Mg]
Kontrollierte Zone			
Komponentenmasse	27'360	26'868	-492
Gebäudemasse (> -2 m)	263'811	280'086	16'275
Gebäudemasse (< -2 m) ¹		122'213	
Zwischensumme	291'171	429'167	
Ausserhalb kontrollierte Zone			
Komponentenmasse	6'847	9'333	2'486
Gebäudemasse (> -2 m)	282'201	306'694	24'493
Gebäudemasse (< -2 m) ¹	-	1'799	
Zwischensumme	289'048	317'825	
Gesamt zu demontierende Masse	580'219	746'992	

¹ In der Kostenstudie 2011 war vorgegeben, dass Gebäude nur bis zu einer Tiefe von 2 m unter Geländeniveau rückgebaut werden.

Die Massen für die kontrollierte Zone haben sich gegenüber der letzten Kostenstudie um 15'783 Mg erhöht. Dies ist im Wesentlichen auf eine seit der Kostenstudie 2011 neu erstellte und jetzt erfasste Lagerhalle für die Einlagerung und Behandlung von kontaminierten Bauteilen zurückzuführen. Ausserhalb der kontrollierten Zone haben sich die Massen bei den zu demontierenden Einrichtungen und Gebäuden seit der letzten Kostenstudie um 26'979 Mg erhöht. In der Kostenstudie 2016 wird ein neu errichtetes Büro- und Restaurantgebäude zusätzlich erfasst.

Zwilag

Tabelle 7: Erfasste Massen der Zwilag.

	Studie 2011 [Mg]	Studie 2016 [Mg]	Differenz [Mg]
Kontrollierte Zone			
Lucens-Inventar	262	262	-
Komponentenmasse	4'475	4'475	-
Gebäudemasse (> -2 m)	154'656	154'656	-
Gebäudemasse (< -2 m)	43'293	43'293	-
Zwischensumme	202'686	202'686	-
Ausserhalb kontrollierte Zone			
Komponentenmasse	464	464	-
Gebäudemasse (> -2 m)	8'938	8'938	-
Gebäudemasse (< -2 m)	1'342	1'342	-
Zwischensumme	10'744	10'744	-
Gesamt zu demontierende Masse	213'430	213'430	-

Die erfassten Massen für das Zwilag sind seit der letzten Studie unverändert.

4.2 Massenverteilung

Damit, wie im Strahlenschutzgesetz⁵⁴ verlangt, möglichst wenig radioaktive Abfälle entstehen, werden radioaktive und nicht radioaktive Materialien getrennt und die radioaktiven Materialien, wenn möglich und für die Freigabe sinnvoll, dekontaminiert.

Daraus ergibt sich eine Aufteilung der Massen aus der kontrollierten Zone auf die beiden Entsorgungsziele Freigabe beziehungsweise geologische Tiefenlagerung.

Einen Vergleich der Massen pro Entsorgungsziel (Kostenstudie 2011 zu Kostenstudie 2016) zeigen Tabelle 8 (KKB), Tabelle 10 (KKM), Tabelle 12 (KKG) und Tabelle 14 (KKL). Die Massen pro Entsorgungsziel des Zwischenlagers der Zwilag sind in der Tabelle 16 aufgeführt.

Die radioaktiven Abfälle ergeben sich aus den kontaminierten beziehungsweise aktivierten Primärmassen⁵⁵ und den beim Rückbau und der Materialbehandlung anfallenden Sekundärmassen⁵⁶.

Die Aufteilung der radioaktiven Abfälle nach Primär- und Sekundärmassen zeigen Tabelle 9 (KKB), Tabelle 11 (KKM), Tabelle 13 (KKG) und Tabelle 15 (KKL) im Vergleich der beiden betrachteten Stilllegungskostenstudien von 2011 und 2016. Die Masse für die Verpackung (Behälter beziehungsweise Container) der radioaktiven Abfälle ist in den angegebenen Werten nicht enthalten.

⁵⁴ Art. 25 Abs. 2 StSG [13].

⁵⁵ Einschliesslich eingebrachter Zusatzmassen.

⁵⁶ Als Primärmasse wird die Masse aller Komponenten und Einrichtungen der Kernanlage verstanden, die zu Beginn der Stilllegung vorhanden ist. Als Sekundärmasse wird die Masse der Verbrauchsmittel und des Verbrauchsmaterials verstanden, das während des Rückbaus anfällt (z.B. Zonenkleidung, Folien, Dekontaminationsmittel, Flüssigkeiten) [9].

Die Reduzierung der Mengen an radioaktiven Abfällen ist im Wesentlichen auf folgende Faktoren zurückzuführen:

- Neue Bewertung der Kontamination der Anlagensysteme führt zu weniger radioaktivem Abfall.
- Anteil des radioaktiven Abfalls aus der Oberflächendekontamination der Gebäudestrukturen hat sich reduziert.

In den Stilllegungsplänen wird angestrebt, dass möglichst wenig metallisches Material in das geologische Tiefenlager SMA eingebracht wird. Daher wurde die Möglichkeit berücksichtigt, schwach kontaminiertes beziehungsweise aktiviertes Material zum Einschmelzen an einen Schmelzbetrieb, der eine entsprechende Umgangsbewilligung besitzt, zu bringen. Über den Schmelzvorgang lässt sich eine Dekontamination erzielen, die es erlaubt, das erzeugte Schmelzgut anschliessend freizugeben. Die Radioaktivität sammelt sich in den dabei entstehenden Schlacken und Filterstäuben, die zurückgenommen und als radioaktiver Abfall entsorgt werden.

Kernkraftwerk Beznau

Tabelle 8: Verteilung der Massen aus der kontrollierten Zone auf die Entsorgungsziele, KKB.

Entsorgungsziele	Masse aus kontrollierter Zone		
	Studie 2011 [Mg]	Studie 2016 [Mg]	Differenz [Mg]
Freigabe ¹	191'281	271'036	79'755
Geologisches Tiefenlager	4'302	4'058	-244
Gesamt	195'583	275'094	79'511

¹ inkl. Zusatzmassen.

Tabelle 9: Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA, KKB.

	Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA		
	Studie 2011 [Mg]	Studie 2016 [Mg]	Differenz [Mg]
Radioaktive Abfälle aus Primärmassen	3'821	3'702	-119
- Kontaminierte Massen	1'081	1'032	-49
- Aktivierte Massen (z.B. RDB-Einbauten, RDB)	615	615	0
- Beton (z.B. aktivierter Beton, Oberflächenabtrag)	2'125	2'054	-71
Radioaktive Abfälle aus Sekundärmassen	481	356	-125
Gesamt	4'302	4'058	-244

Kernkraftwerk Mühleberg

Tabelle 10: Verteilung der Massen aus der kontrollierten Zone auf die Entsorgungsziele, KKM.

Entsorgungsziele	Masse aus kontrollierter Zone		
	Studie 2011 [Mg]	Studie 2016 [Mg]	Differenz [Mg]
Freigabe ¹	75'649	124'482	48'833
Geologisches Tiefenlager ²	2'957	2'854	-103
Gesamt²	78'606	127'336	48'730

¹ exkl. 16.1 Mg Reaktorabfälle (bereits im Nachbetrieb entsorgt), biologischer Schild gilt hier als Komponente, inkl. freigebener Gebäudestruktur, inkl. Zusatzmassen.

² exkl. 16.1 Mg Reaktorabfälle (bereits im Nachbetrieb entsorgt), inkl. Zusatzmassen, inkl. 261 Mg Sekundärabfall.

Tabelle 11: Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA, KKM.

	Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA		
	Studie 2011 [Mg]	Studie 2016 [Mg]	Differenz [Mg]
Radioaktive Abfälle aus Primärmassen	2'682	2'593	-89
- Kontaminierte Massen	1'253	989	-264
- Aktivierte Massen (z.B. RDB-Einbauten, RDB)	386	630	244
- Beton (z.B. aktivierter Beton, Oberflächenabtrag)	1'043	974	-69
Radioaktive Abfälle aus Sekundärmassen	275	261	-14
Gesamt¹	2'957	2'854	-103

¹ exkl. 16.1 Mg Reaktorabfälle (bereits im Nachbetrieb entsorgt), inkl. Zusatzmassen, inkl. 261 Mg Sekundärabfall.

Kernkraftwerk Gösgen

Tabelle 12: Verteilung der Massen aus der kontrollierten Zone auf die Entsorgungsziele, KKG.

Entsorgungsziele	Masse aus kontrollierter Zone		
	Studie 2011 [Mg]	Studie 2016 [Mg]	Differenz [Mg]
Freigabe ¹	173'220	239'179	65'959
Geologisches Tiefenlager	2'992	3'077	85
Gesamt	176'212	242'256	66'044

¹ inkl. Zusatzmassen.

Tabelle 13: Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA, KKG.

	Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA		
	Studie 2011 [Mg]	Studie 2016 [Mg]	Differenz [Mg]
Radioaktive Abfälle aus Primärmassen	2'626	2'721	95
- Kontaminierte Massen	1'006	1'643	637
- Aktivierte Massen (z.B. RDB-Einbauten, RDB)	526	556	30
- Beton (z.B. aktivierter Beton, Oberflächenabtrag)	1'094	522	-572
Radioaktive Abfälle aus Sekundärmassen	366	356	-10
Gesamt	2'992	3'077	85

Kernkraftwerk Leibstadt

Tabelle 14: Verteilung der Massen aus der kontrollierten Zone auf die Entsorgungsziele, KKL.

Entsorgungsziele	Masse aus kontrollierter Zone		
	Studie 2011 [Mg]	Studie 2016 [Mg]	Differenz [Mg]
Freigabe ¹	285'825	424'345	138'520
Geologisches Tiefenlager	6'479	6'458	-21
Gesamt	292'304	430'803	138'499

¹ inkl. Zusatzmassen.

Tabelle 15: Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA, KKL.

	Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA		
	Studie 2011 [Mg]	Studie 2016 [Mg]	Differenz [Mg]
Radioaktive Abfälle aus Primärmassen	5'715	5'722	8
- Kontaminierte Massen	1'860	1'867	8
- Aktivierte Massen (z.B. RDB-Einbauten, RDB)	2'353	2'353	-1
- Beton (z.B. aktivierter Beton, Oberflächenabtrag)	1'502	1'503	1
Radioaktive Abfälle aus Sekundärmassen	764	736	-28
Gesamt	6'479	6'458	-21

Zwilag

Tabelle 16: Verteilung der Massen aus der kontrollierten Zone auf die Entsorgungsziele, Zwilag.

Entsorgungsziele	Masse aus kontrollierter Zone		
	Studie 2011 [Mg]	Studie 2016 [Mg]	Differenz [Mg]
Freigabe ¹	12'204	202'171	189'967
Geologisches Tiefenlager	529	524	-5
Gesamt	12'733	202'695	189'962

¹ inkl. Zusatzmassen.

Tabelle 17: Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA, Zwilag.

	Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA		
	Studie 2011 [Mg]	Studie 2016 [Mg]	Differenz [Mg]
Radioaktive Abfälle aus Primärmassen	223	223	-
- Kontaminierte Massen	223	223	-
Radioaktive Abfälle aus Sekundärmassen	44	39	-5
- Kontaminierte Massen aus Demontage und Behandlung	15	10	-5
- Oberflächenabtrag aus Gebäudedekontamination	29	29	-
Lucens-Inventar	262	262	-
Gesamt	529	524	-5

4.3 Materialbehandlung und Entsorgung

Die bei der Stilllegung einer Kernanlage anfallenden Materialien müssen gemäss den bestehenden gesetzlichen und behördlichen Regelungen und sonstigen Vorschriften entsorgt werden. Dabei wird wie folgt unterschieden:

Nicht radioaktive Materialien

Als nicht radioaktive Materialien werden die während der Stilllegung anfallenden Materialien, Gegenstände, Anlagen und Anlagenteile bezeichnet, die weder kontaminiert noch aktiviert sind. Dies gilt analog für Gebäude und Bodenflächen.

Radioaktive Materialien

Als radioaktive Materialien werden die während der Stilllegung anfallenden Materialien, Gegenstände, Anlagen und Anlagenteile bezeichnet, die kontaminiert beziehungsweise aktiviert sind oder sein können. Radioaktive Materialien werden entweder als radioaktiver Abfall entsorgt oder nach Dekontamination, Freisetzung und Freigabe konventionell entsorgt oder weiterverwendet. Dies gilt analog für Gebäude und Bodenflächen.

Als Grundlage für die Kostenermittlung wird das im Folgenden beschriebene Konzept verwendet.

4.3.1 Konditionierung

Für die Verpackung der anfallenden radioaktiven Abfälle sind folgende Behälter beziehungsweise Container vorgesehen⁵⁷:

- Fässer (200 l).
- Presskartuschen (180 l) – die beim Hochdruck-Pressen entstehenden Pellets werden in Fässer oder Lagercontainer verpackt.
- MOSAIK Typ II.
- Lagercontainer LC 84.
- Lagercontainer LC 86.

Generell werden bei der Verpackung der radioaktiven Abfälle in Fässer oder Lagercontainer die Hohlräume zum Beispiel mit Zement verfüllt.

Die anfallenden radioaktiven Abfälle werden nach den in der Schweiz gültigen Regelwerken (zum Beispiel Richtlinie HSK-B05/d [33]) beziehungsweise Vereinbarungen mit der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) konditioniert. Es wird von der Verfügbarkeit des geologischen Tiefenlagers SMA ab 2050 ausgegangen.

Die Berechnung der erforderlichen Anzahl Container wird auf der Basis von Verpackungsfaktoren, d.h. Masse an Abfall je Behälter, durchgeführt. Die verwendeten Daten sind in Tabelle 18 zusammengestellt. Mehrfachverpackungen, zum Beispiel Verpacken von Materialien in 180 l-Pressstromeln, die nach dem Hochdruck-Pressen dann als Pellets in 200 l-Fässer verpackt werden, werden ebenfalls berücksichtigt.

⁵⁷ Hinweis: Die genannten Behälterbezeichnungen sind exemplarisch zu verstehen. In einem konkreten Stilllegungsprojekt können auch andere Behälter Verwendung finden, wenn sie die technischen Anforderungen erfüllen.

Tabelle 18: Verpackungsfaktoren.

Behälter- bzw. Container - Typ	Abfallart	Verpackte Masse [kg]	
		Studie 2011	Studie 2016
180 I-Presskartusche	Stahl	nicht verwendet	140
	Mischmaterial		100
	Isolation		40
	Ausmauerung/Schlacke		200
	Staub		40
200 I-Fass	Stahl	240	240
	Glaskokille	340	340
	Stahl		420
	Mischmaterial		400
	Isolation		200
	Konzentrate / Harze	100	100
	Ausmauerung/Schlacke		400
	Staub		200
	Dekontgranulat	450	400
	HDW-Abtrag/Konzentrat		125
MOSAIK Type II	Stahl	770	770
MOSAIK Type II (mit 20 mm Zusatz Abschirmung)	Harze	nicht verwendet	370
	Stahl		630
MOSAIK Type II (mit 40 mm Zusatz Abschirmung)	Harze	nicht verwendet	300
	Stahl		540
MOSAIK Type II (mit 50 mm Zusatz Abschirmung)	Stahl	nicht verwendet	500
MOSAIK Type II (mit 60 mm Zusatz Abschirmung)	Stahl	460	460
MOSAIK Type II (mit 80 mm Zusatz Abschirmung)	Stahl	nicht verwendet	380
MOSAIK Type II (mit 100 mm Zusatz Abschirmung)	Stahl	nicht verwendet	320
MOSAIK Type II (mit 110 mm Zusatz Abschirmung)	Stahl	nicht verwendet	290
MOSAIK Type II (mit 120 mm Zusatz Abschirmung)	Stahl	nicht verwendet	260
MOSAIK Type II (mit 140 mm Zusatz Abschirmung)	Stahl	210	nicht verwendet
Lagercontainer - LC 1	Normalbeton	15'410	nicht verwendet
Lagercontainer - LC 2	Stahl	12'730	nicht verwendet
	Normalbeton	7'780	
Lagercontainer - LC 2 (mit 80 mm Zusatz-Abschirmung)	Stahl	9'920	nicht verwendet
Lagercontainer - LC 84	Stahl	nicht verwendet	6'040
	Stahl	nicht verwendet	9'190
	Isolierung	nicht verwendet	1'600
Lagercontainer - LC 84-25	Stahl	nicht verwendet	2'300
	Stahl	nicht verwendet	3'780
	Stahl	nicht verwendet	5'750
	Isolierung	nicht verwendet	1'025
Lagercontainer - LC 86	Normalbeton	nicht verwendet	5'110
	Schwerbeton	nicht verwendet	4'440
	Stahl	nicht verwendet	7'700

Die verpackte Masse und die erzeugten Lagerbehälter zeigen Tabelle 19 (KKB), Tabelle 20 (KKM), Tabelle 21 (KKG) und Tabelle 22 (KKL) im Vergleich.

Tabelle 23 zeigt für das Zwischenlager der Zwilag die Menge an radioaktivem Abfall je Behältertyp und die Anzahl der erzeugten Behälter.

Kernkraftwerk Beznau

Tabelle 19: Verpackte Masse radioaktiver Abfälle und Anzahl Behälter bzw. Container, KKB.

Studie 2016		
Behälter-Typ	Verpackte Masse [Mg]	Anzahl Behälter bzw. Container
200 I-Fass \leq 175 mSv/h	581	1'986
Lagercontainer - LC 84	1'695	186
Lagercontainer - LC 84-25	187	68
Lagercontainer - LC 86	1'474	278
MOSAIK Type II	2	2
MOSAIK Type II / 20mm Pb	10	26
MOSAIK Type II / 40mm Pb	10	32
MOSAIK Type II / 50mm Pb	53	106
MOSAIK Type II / 80mm Pb	26	67
MOSAIK Type II / 100mm Pb	4	11
MOSAIK Type II / 120mm Pb	17	67
Gesamt	4'058	2'830
Studie 2011		
Behälter-Typ	Verpackte Masse [Mg]	Anzahl Behälter bzw. Container
200 I-Fass \leq 175 mSv/h	706	2'166
Lagercontainer - LC 1	163	9
Lagercontainer - LC 2	3'056	331
LC 2 mit 40 mm Pb	245	13
LC 2 mit 50 mm Pb	13	4
MOSAIK Type II / 20mm Pb	10	32
MOSAIK Type II / 40mm Pb	10	26
MOSAIK Type II / 50mm Pb	53	105
MOSAIK Type II / 80mm Pb	26	69
MOSAIK Type II / 100mm Pb	4	11
MOSAIK Type II / 140mm Pb	18	83
Gesamt	4'302	2'849
Differenz Studie 2016 /Studie 2011	-244	-19

Im Vergleich zur Kostenstudie 2011 verringert sich die verpackte Masse um 244 Mg und es werden 19 Behälter weniger benötigt.

Kernkraftwerk Mühleberg

Tabelle 20: Verpackte Masse radioaktiver Abfälle und Anzahl Behälter bzw. Container, KKM.

Studie 2016		
Behälter-Typ	Verpackte Masse [Mg]	Anzahl Behälter bzw. Container
200 I-Fass \leq 175 mSv/h	386	1'163
Lagercontainer - LC 84	1'816	221
Lagercontainer - LC 84-25	71	13
Lagercontainer - LC 86	522	97
MOSAIK Type II	5	6
MOSAIK Type II / 20mm Pb	4	10
MOSAIK Type II / 40mm Pb	4	12
MOSAIK Type II / 80mm Pb	10	27
MOSAIK Type II / 110mm Pb	36	125
Gesamt¹	2'854	1'675
¹ exkl. 16.1 Mg Reaktorabfälle (bereits im Nachbetrieb entsorgt).		
Studie 2011		
Behälter-Typ	Verpackte Masse [Mg]	Anzahl Behälter bzw. Container
200 I-Fass \leq 175 mSv/h	391	1'198
Lagercontainer - LC 1	548	35
Lagercontainer - LC 2	1'877	162
LC 2 mit 20 mm Pb	81	3
LC 2 mit 80 mm Pb	11	1
MOSAIK Type II / 20mm Pb	4	10
MOSAIK Type II / 40mm Pb	4	12
MOSAIK Type II / 80mm Pb	17	45
MOSAIK Type II / 110mm Pb	24	83
Gesamt	2'957	1'549
Differenz Studie 2016 /Studie 2011	-103	126

Im Vergleich zur Kostenstudie 2011 verringert sich die verpackte Masse um 103 Mg. Es werden 126 Behälter mehr benötigt.

Kernkraftwerk Gösgen

Tabelle 21: Verpackte Masse radioaktiver Abfälle und Anzahl Behälter bzw. Container, KKG.

Studie 2016		
Behälter-Typ	Verpackte Masse [Mg]	Anzahl Behälter bzw. Container
200 I-Fass ≤ 175 mSv/h	500	1'508
Lagercontainer - LC 84	1'284	170
Lagercontainer - LC 84-25	188	40
Lagercontainer - LC 86	1'034	187
MOSAIK Type II	10	14
MOSAIK Type II / 20mm Pb	8	22
MOSAIK Type II / 40mm Pb	13	36
MOSAIK Type II / 60mm Pb	23	50
MOSAIK Type II / 110mm Pb	17	57
Gesamt	3'077	2'084
Studie 2011		
Behälter-Typ	Verpackte Masse [Mg]	Anzahl Behälter bzw. Container
200 I-Fass ≤ 175 mSv/h	511	1'520
Lagercontainer - LC 1	542	32
Lagercontainer - LC 2	1'752	169
LC 2 mit 20 mm Pb	116	5
LC 2 mit 80 mm Pb	13	1
MOSAIK Type II / 20mm Pb	8	22
MOSAIK Type II / 40mm Pb	11	32
MOSAIK Type II / 60mm Pb	23	50
MOSAIK Type II / 110mm Pb	17	58
Gesamt	2'992	1'889
Differenz Studie 2016 /Studie 2011	85	195

Die verpackte Masse erhöht sich gegenüber der Kostenstudie 2011 um 85 Mg und die Anzahl der Behälter steigt um 195.

Kernkraftwerk Leibstadt

Tabelle 22: Verpackte Masse radioaktiver Abfälle und Anzahl Behälter bzw. Container, KKL.

Studie 2016		
Behälter-Typ	Verpackte Masse [Mg]	Anzahl Behälter bzw. Container
200 I-Fass ≤ 175 mSv/h	1'150	3'415
Lagercontainer - LC 84	4'337	636
Lagercontainer - LC 84-25	7	2
Lagercontainer - LC 86	861	154
MOSAIK Type II	17	22
MOSAIK Type II / 20 mm Pb	6	17
MOSAIK Type II / 40 mm Pb	6	20
MOSAIK Type II / 60 mm Pb	54	118
MOSAIK Type II / 80 mm Pb	21	54
Gesamt	6'458	4'439

Studie 2011		
Behälter-Typ	Verpackte Masse [Mg]	Anzahl Behälter bzw. Container
200 I-Fass ≤ 175 mSv/h	1'178	3'470
Lagercontainer - LC 1	1'112	70
Lagercontainer - LC 2	4'081	327
LC 2 mit 80 mm Pb	21	2
MOSAIK Type II / 20mm Pb	6	17
MOSAIK Type II / 40mm Pb	6	20
MOSAIK Type II / 60mm Pb	54	118
MOSAIK Type II / 80mm Pb	21	54
Gesamt	6'479	4'078

Differenz Studie 2016 /Studie 2011	-21	361
---	------------	------------

Die verpackte Masse vermindert sich leicht gegenüber der Kostenstudie 2011 um 21 Mg. Es werden allerdings 361 Behälter mehr benötigt.

Zwilag

Tabelle 23: *Verpackte Masse radioaktiver Abfälle und Anzahl der Behälter bzw. Container, Zwilag.*

Studie 2016		
Behälter-Typ	Verpackte Masse [Mg]	Anzahl Behälter bzw. Container
Lucens - Inventar	262	45
200 I-Fass	30	88
Lagercontainer - LC 84	168	23
Lagercontainer - LC 86	66	13
Gesamt	524	169
Studie 2011		
Behälter-Typ	Verpackte Masse [Mg]	Anzahl Behälter bzw. Container
Lucens - Inventar	262	23
200 I-Fass	35	106
Lagercontainer - LC 2	233	23
Gesamt	529	152
Differenz Studie 2016 /Studie 2011	-5	17

Die verpackte Masse vermindert sich leicht gegenüber der Kostenstudie 2011 um 5 Mg. Es werden 17 Behälter mehr benötigt.

4.3.2 Transport zum geologischen Tiefenlager SMA

Die verpackten radioaktiven Abfälle werden aus dem Zwischenlager in das geologische Tiefenlager SMA verbracht, sobald dieses in Betrieb ist.

Die Transportkosten werden mit spezifischen Kostenansätzen für jede Anlage angesetzt: Sie bestehen aus Kosten für die Transportlogistik und Kosten für die nukleare Haftpflichtversicherung.

Tabelle 24 (KKB), Tabelle 25 (KKM), Tabelle 26 (KKG) und Tabelle 27 (KKL) zeigen, dass die in der Kostenstudie 2016 gegenüber der Kostenstudie 2011 verpackte Massen und Transportkosten sich nur unwesentlich verändert haben.

Kernkraftwerk Beznau

Tabelle 24: Kosten für den Transport zum geologischen Tiefenlager SMA, KKB.

Studie 2016			
Behälter-Typ	Verpackte Masse	Anzahl Behälter bzw. Container	Kosten für Transport ins geologische Tiefenlager SMA
	[Mg]		[MCHF]
200-I Fass \leq 175 mSv/h	581	1'986	0.31
Lagercontainer - LC 84	1'695	186	1.03
Lagercontainer - LC 84-25	187	68	0.38
Lagercontainer - LC 86	1'474	278	1.55
MOSAIK Type II	2	2	0.01
MOSAIK Type II / 20mm Pb	10	26	0.15
MOSAIK Type II / 40mm Pb	10	32	0.18
MOSAIK Type II / 50mm Pb	53	106	0.61
MOSAIK Type II / 80mm Pb	26	67	0.39
MOSAIK Type II / 100mm Pb	4	11	0.07
MOSAIK Type II / 120mm Pb	17	67	0.38
Gesamt	4'058	2'830	5.06

Studie 2011			
Behälter-Typ	Verpackte Masse	Anzahl Behälter bzw. Container	Kosten für Transport ins geologische Tiefenlager SMA
	[Mg]		[MCHF]
200I-Fass \leq 175 mSv/h	706	2'166	0.57
Lagercontainer - LC 1	163	9	0.09
Lagercontainer - LC 2	3'056	331	3.56
LC 2 mit 40 mm Pb	245	13	0.13
LC 2 mit 50 mm Pb	13	4	0.04
MOSAIK Type II / 20mm Pb	10	32	0.17
MOSAIK Type II / 40mm Pb	10	26	0.14
MOSAIK Type II / 50mm Pb	53	105	0.57
MOSAIK Type II / 80mm Pb	26	69	0.37
MOSAIK Type II / 100mm Pb	4	11	0.06
MOSAIK Type II / 140mm Pb	18	83	0.45
Gesamt	4'302	2'849	6.16

Kernkraftwerk Mühleberg

Tabelle 25: Kosten für den Transport zum geologischen Tiefenlager SMA, KKM.

Studie 2016			
Behälter-Typ	Verpackte Masse	Anzahl Behälter bzw. Container	Kosten für Transport ins geologische Tiefenlager SMA
	[Mg]		[MCHF]
200 I-Fass \leq 175 mSv/h	386	1'163	0.18
Lagercontainer - LC 84	1'816	221	1.24
Lagercontainer - LC 84-25	71	13	0.07
Lagercontainer - LC 86	522	97	0.55
MOSAIK Type II	5	6	0.04
MOSAIK Type II / 20mm Pb	4	10	0.05
MOSAIK Type II / 40mm Pb	4	12	0.06
MOSAIK Type II / 80mm Pb	10	27	0.14
MOSAIK Type II / 110mm Pb	36	125	0.69
Gesamt	2'854	1'675	3.03

Studie 2011			
Behälter-Typ	Verpackte Masse	Anzahl Behälter bzw. Container	Kosten für Transport ins geologische Tiefenlager SMA
	[Mg]		[MCHF]
200 I-Fass \leq 175 mSv/h	391	1'198	0.32
Lagercontainer - LC 1	548	35	0.37
Lagercontainer - LC 2	1'877	162	1.75
LC 2 mit 20 mm Pb	81	3	0.04
LC 2 mit 80 mm Pb	11	1	0.01
MOSAIK Type II / 20mm Pb	4	10	0.05
MOSAIK Type II / 40mm Pb	4	12	0.06
MOSAIK Type II / 80mm Pb	17	45	0.24
MOSAIK Type II / 110mm Pb	24	83	0.45
Gesamt	2'957	1'549	3.30

Kernkraftwerk Gösgen

Tabelle 26: Kosten für den Transport zum geologischen Tiefenlager SMA, KKG.

Studie 2016			
Behälter-Typ	Verpackte Masse	Anzahl Behälter bzw. Container	Kosten für Transport ins geologische Tiefenlager SMA
	[Mg]		[MCHF]
200 I-Fass ≤ 175 mSv/h	500	1'508	0.23
Lagercontainer - LC 84	1'284	170	0.94
Lagercontainer - LC 84-25	188	40	0.22
Lagercontainer - LC 86	1'034	187	1.05
MOSAIK Type II	10	14	0.08
MOSAIK Type II / 20mm Pb	8	22	0.13
MOSAIK Type II / 40mm Pb	13	36	0.20
MOSAIK Type II / 60mm Pb	23	50	0.29
MOSAIK Type II / 110mm Pb	17	57	0.33
Gesamt	3'077	2'084	3.47

Studie 2011			
Behälter-Typ	Verpackte Masse	Anzahl Behälter bzw. Container	Kosten für Transport ins geologische Tiefenlager SMA
	[Mg]		[MCHF]
200 I-Fass ≤ 175 mSv/h	511	1'520	0.41
Lagercontainer - LC 1	542	32	0.35
Lagercontainer - LC 2	1'752	169	1.82
LC 2 mit 20 mm Pb	116	5	0.05
LC 2 mit 80 mm Pb	13	1	0.01
MOSAIK Type II / 20mm Pb	8	22	0.12
MOSAIK Type II / 40mm Pb	11	32	0.17
MOSAIK Type II / 60mm Pb	23	50	0.27
MOSAIK Type II / 110mm Pb	17	58	0.31
Gesamt	2'992	1'889	3.52

Kernkraftwerk Leibstadt

Tabelle 27: Kosten für den Transport zum geologischen Tiefenlager SMA, KKL.

Studie 2016			
Behälter-Typ	Verpackte Masse	Anzahl Behälter bzw. Container	Kosten für Transport ins geologische Tiefenlager SMA
	[Mg]		[MCHF]
200 I-Fass \leq 175 mSv/h	1'150	3'415	0.52
Lagercontainer - LC 84	4'337	636	3.47
Lagercontainer - LC 84-25	7	2	0.01
Lagercontainer - LC 86	861	154	0.84
MOSAIK Type II	17	22	0.12
MOSAIK Type II / 20mm Pb	6	17	0.09
MOSAIK Type II / 40mm Pb	6	20	0.11
MOSAIK Type II / 60mm Pb	54	118	0.66
MOSAIK Type II / 80mm Pb	21	54	0.30
Gesamt	6'458	4'439	6.13

Studie 2011			
Behälter-Typ	Verpackte Masse	Anzahl Behälter bzw. Container	Kosten für Transport ins geologische Tiefenlager SMA
	[Mg]		[MCHF]
200-I Fass \leq 175 mSv/h	1'178	3'470	0.93
Lagercontainer - LC 1	1'112	70	0.75
Lagercontainer - LC 2	4'081	327	3.52
LC 2 mit 80 mm Pb	21	2	0.02
MOSAIK Type II / 20mm Pb	6	17	0.09
MOSAIK Type II / 40mm Pb	6	20	0.11
MOSAIK Type II / 60mm Pb	54	118	0.64
MOSAIK Type II / 80mm Pb	21	54	0.29
Gesamt	6'479	4'078	6.36

Zwilag

Tabelle 28: Kosten für den Transport zum geologischen Tiefenlager SMA, Zwilag.

Studie 2016			
Behälter-Typ	Verpackte Masse	Anzahl Behälter bzw. Container	Kosten für Transport ins geologische Tiefenlager SMA
	[Mg]		[MCHF]
Lucens - Inventar	262	45	0.22
200 I-Fass	30	88	0.02
Lagercontainer - LC 84	168	23	0.14
Lagercontainer - LC 86	66	13	0.08
Gesamt	525	169	0.45

Studie 2011			
Behälter-Typ	Verpackte Masse	Anzahl Behälter bzw. Container	Kosten für Transport ins geologische Tiefenlager SMA
	[Mg]		[MCHF]
Lucens - Inventar	262	23	0.05
200 I-Fass	35	106	0.03
Lagercontainer - LC 2	233	23	0.25
Gesamt	529	152	0.33

4.3.3 Zuteilbare Lagerkosten für das geologische Tiefenlager SMA

Die zuteilbaren Lagerkosten der Stilllegungsabfälle im geologischen Tiefenlager SMA wurden von der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) wie bis anhin auf Grenzkostenbasis ermittelt. Es wird angenommen, dass den Stilllegungskosten nur noch die für die Einlagerung der Stilllegungsabfälle zusätzlich erforderlichen Aufwendungen, wie zum Beispiel für das Auffahren von weiteren Stollen, zusätzliche Betriebskosten und ähnliche Zusatzkosten, zugerechnet werden. Alle anderen Kosten des SMA-Lagers werden den Entsorgungskosten [2] zugeordnet.

Für die Kostenstudie 2016 ergeben sich die in Tabelle 29 aufgeführten Grenzkosten.

Tabelle 29: Vergleich der zuteilbaren Lagerkosten.

Anlage	Grenzkosten		Differenz	Differenz in %
	KS11	KS16 ¹⁾		
KKB	34.91	35.24	0.32	0.9%
KKM	19.74	20.17	0.44	2.2%
KKG	21.34	24.66	3.32	15.6%
KKL	39.20	44.75	5.55	14.1%
Zwilag	2.49	2.87	0.38	15.2%
Summe	117.68	127.69	10.01	8.5%

¹⁾ Basiskosten

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

Preisbasis 2016, KS11 = Kostenstudie 2011, KS16 = Kostenstudie 2016

4.4 Ablauf und Dauer der Stilllegung

Der Schätzung der Kosten für die Stilllegung der Kernanlagen liegen die in Kapitel 1.3 zusammengefassten Betriebsjahre und Stilllegungszeiten zugrunde. Die Annahmen zu den Betriebsjahren sind für die Basisvariante von der Verwaltungskommission vorgegeben.

In den Kapiteln 4.4.1 und 4.4.2 wird der Ablauf und die resultierende Dauer der Stilllegung erläutert und aufgezeigt, welche Erkenntnisse seit der Kostenstudie 2011 gewonnen worden und in der vorliegenden Kostenstudie 2016 berücksichtigt sind.

4.4.1 Ablauf der Stilllegung

Die vorliegende Kostenschätzung basiert auf der Stilllegungsvariante sofortiger Rückbau nach einem ordnungsgemässen Betrieb mit den Abschnitten:

- Erstellen und Einreichen der Unterlagen zum Stilllegungsprojekt und Erwirken der Stilllegungsverfügung.
- Rückbau aller nuklearen Einrichtungen und Entfernen der radiologischen Gefahrenquellen.

Nach dem Entfernen der radioaktiven Gefahrenquellen vom Standort verbleibt noch der konventionelle Abbruch der verbleibenden, inaktiven Anlagebereiche. Die Anlagen stellen zu diesem Zeitpunkt keine radiologische Gefahrenquelle mehr dar und sind nach der radiologischen Freigabe durch die zuständige Behörde aus der Aufsicht durch die Kernenergiegesetzgebung entlassen. Gemäss den Vorgaben werden in einer Variante zu den Basisprojekten auch die Kosten für den konventionellen Abbruch berechnet. Einzelheiten zu dieser Variante sind im Anhang A.2 dargestellt.

Die Arbeiten des ersten Abschnitts (Stilllegungsprojekt und Stilllegungsverfügung) beginnen bereits während der letzten Betriebsjahre oder während des Nachbetriebs, der sich direkt an die endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs anschliesst. Im Falle der Zwilag Zwischenlager Würenlingen AG wird das Stilllegungsprojekt während der letzten Betriebsjahre erstellt und die Stilllegungsverfügung erwirkt.

Der Rückbau (zweiter Abschnitt) erfolgt, sobald die Rechtswirksamkeit der Stilllegungsverfügung eingetreten ist. Hierbei ist nicht ausgeschlossen, dass Massnahmen, die technisch zur Stilllegung gehören beziehungsweise deren Vorbereitung dienen, bereits während des Nachbetriebs unter der Betriebsbewilligung ausgeführt werden. Ebenso ist es möglich, dass Gebäudestrukturen, die konventionell abgebrochen werden können, bereits während des nuklearen Rückbaus abgebrochen werden, etwa um Platz für die weiteren Rückbauarbeiten zu schaffen.

Der Nachbetrieb und die Stilllegung sind entsprechend der unterschiedlichen rechtlichen Grundlage (Bewilligung beziehungsweise Verfügung) sowie technisch und kostenmässig klar voneinander abgegrenzt, können jedoch zeitlich überlappend stattfinden. Da die Dauer des Nachbetriebs einen Einfluss auf den Ablauf der Stilllegung hat, wird dessen Umfang kurz erläutert.

Im Wesentlichen wird der Ablauf im Nachbetrieb durch die in der Anlage vorhandenen Brennelemente beziehungsweise durch deren Abtransport bestimmt. Die Dauer des Nachbetriebs hängt neben anlagespezifischen Gegebenheiten in erster Linie von den Eigenschaften der Brennelemente ab, die sich nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs noch im Reaktordruckgefäss oder im Brennelementlagerbecken befinden. Diese Eigenschaften sind von Kernbrennstoff zu Kernbrennstoff unterschiedlich. Um eine Aussage über die Dauer des Nachbetriebs zu treffen, muss die Zeitspanne bestimmt werden, mit der aus heutiger Sicht das Entfernen des Kernbrennstoffs aus dem Kernkraftwerk erfolgen kann. Aus eingehenden Untersuchungen der einzelnen Kernkraftwerke in der Schweiz hat sich gezeigt, dass der Abtransport sämtlicher heute bekannter Kernladungen je nach Anlage innerhalb von drei bis fünf Jahren möglich ist. Für die Kostenstudie 2016 wird für die Schweizer Kernkraftwerke anlagespezifisch eine entsprechende Dauer des Nachbetriebs angenommen. Für das Kernkraftwerk Beznau und das Kernkraftwerk Leibstadt wird eine Dauer des Nachbetriebs von vier Jahren erwartet, beim Kernkraftwerk Gösgen sind es drei Jahre bis zum Erreichen der Kernbrennstofffreiheit und beim Kernkraftwerk Mühleberg fünf Jahre.

4.4.2 Unterschiede zwischen den Studien 2011 und 2016

Die Kostenstudie 2011 und die Kostenstudie 2016 untersuchen beide die Stilllegungsvariante sofortiger Rückbau nach einem ordnungsgemässen Betrieb. Gegenüber der Kostenstudie 2011, in der ein 50-jähriger Betrieb der Anlagen unterstellt wurde, werden in der Kostenstudie 2016 mehrere Szenarien betrachtet. Für das Kernkraftwerk Mühleberg wird im Basisprojekt von einer Betriebsdauer von 47 Jahren ausgegangen, für Kernkraftwerk Beznau, Kernkraftwerk Gösgen und Kernkraftwerk Leibstadt werden die Kosten im Basisprojekt für 50 Jahre Betrieb berechnet und ausgewiesen. In der Kostenstudie 2011 wurde für alle Kraftwerke ein fünfjähriger Nachbetrieb im Anschluss an die endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs angenommen.

Aus Stilllegungsprojekten von Kernkraftwerken in Deutschland ergeben sich einige Empfehlungen zur Optimierung der Dauer des Nachbetriebs und Rückbaus. Diese Erfahrungen wurden zum Teil schon in der Kostenstudie 2011 berücksichtigt und sind vollumfänglich in die Kostenstudie 2016 integriert. Im Einzelnen geht es darum,

- die vorbereitende Planung und das Erarbeiten des Stilllegungsprojekts bereits während des Leistungsbetriebs anzugehen mit dem Ziel, die Dauer der Stilllegung nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs zu verkürzen,
- die Entsorgungsaktivitäten für die ausgedienten Brennelemente zu optimieren, um die Dauer des Nachbetriebs zu reduzieren,
- rückbauorientierte Arbeiten, soweit möglich, bereits während des Nachbetriebs auszuführen, um die Zeitspanne zwischen endgültiger Einstellung des Leistungsbetriebs und Abschluss der Stilllegungsarbeiten zu optimieren und

- aktivierte Komponenten (zum Beispiel den Reaktordruckbehälter mitsamt Einbauten) zu einem früheren Zeitpunkt zu demontieren, damit wasserführende Systeme zu einem möglichst frühen Zeitpunkt ausser Betrieb genommen werden können und so weniger Zeit und Ressourcen für den Rückbaubetrieb aufgewendet werden müssen.

Die Erfahrungen aus laufenden Stilllegungsprojekten zeigen auch, dass

- die Demontage aktivierter Komponenten aufwändiger ist und
- ein höherer Aufwand für die Restdemontage von kontaminierten Komponenten sowie für Gebäude-dekontamination und -freigabe eingeplant werden muss.

In der vorliegenden Studie führen die vorgenannten Empfehlungen und Erfahrungen aus der Praxis in Summe zu einer leichten Erhöhung der benötigten Personenjahre gegenüber der Vorgängerstudie, bei einer Verkürzung der jeweiligen Projektdauer.

Die Ergebnisse der Kostenstudie 2016 im Hinblick auf die Projektdauer der Basisprojekte ab dem Zeitpunkt der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs sind für die Kraftwerke in Abbildung 4 bis Abbildung 7 dargestellt.

Im Fall der Zwiilag Zwischenlager Würenlingen AG wird das Stilllegungsprojekt während den drei letzten Betriebsjahren erstellt. Es wird davon ausgegangen, dass die rechtskräftige Stilllegungsverfügung ebenfalls bereits vor der Einstellung des Betriebs erwirkt werden kann. Für die Stilllegung werden nach der Einstellung des Betriebs wie in der Kostenstudie 2011 fünf Jahre veranschlagt.

Kernkraftwerk Beznau

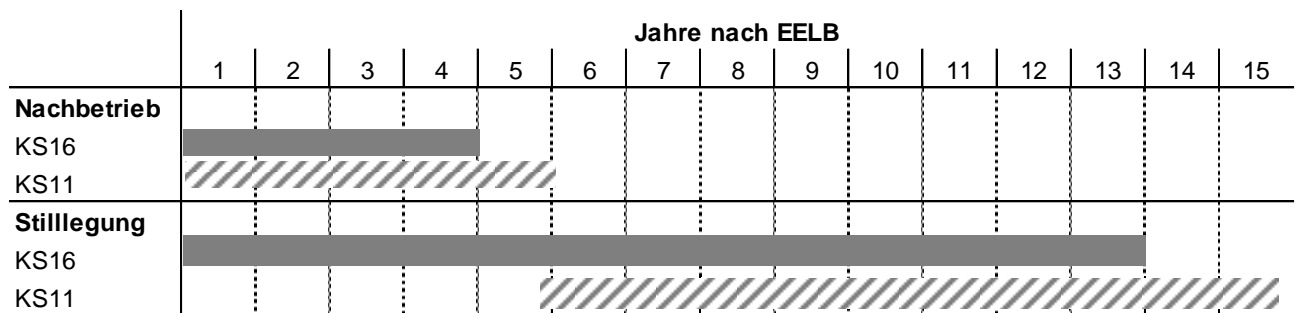


Abbildung 4: Voraussichtliche Dauer der Stilllegungs- und Rückbauarbeiten ab EELB, KKB.

Die Änderungen im Ablauf und der kalkulierten Dauer führen zu einer Verkürzung des Projektes um mehr als ein Jahr.

Kernkraftwerk Mühleberg

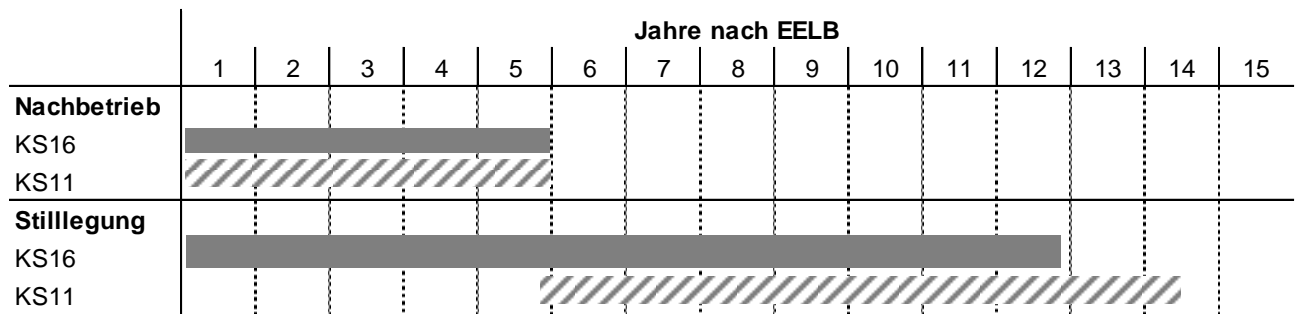


Abbildung 5: Voraussichtliche Dauer der Stilllegungs- und Rückbauarbeiten ab EELB, KKM.

Mit den Änderungen im Ablauf und der kalkulierten Dauer verkürzt sich das Projekt um rund zwei Jahre, gerechnet ab EELB.

Kernkraftwerk Gösgen

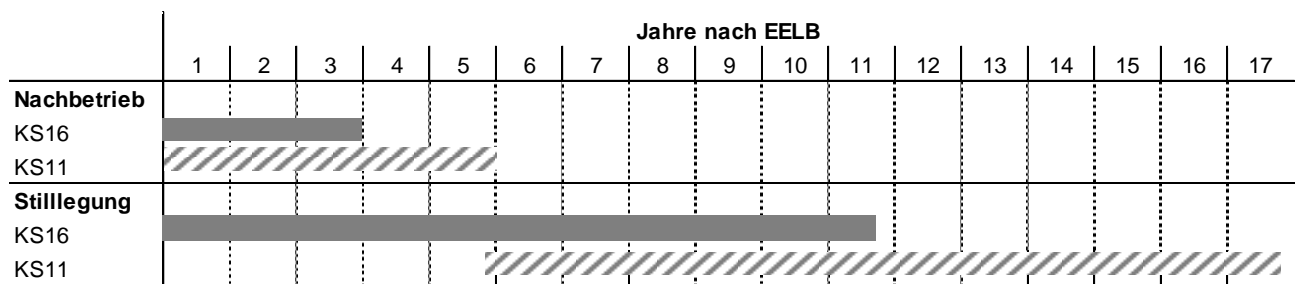


Abbildung 6: Voraussichtliche Dauer der Stilllegungs- und Rückbauarbeiten ab EELB, KKG.

Im Vergleich zur Kostenstudie 2011 tragen die Verkürzung der Nachbetriebsdauer von fünf auf drei Jahre und die vorverschobene Stilllegung des Nasslagers zu einer deutlichen Verkürzung der Projektdauer bei.

In Summe führen die Änderungen im Ablauf und der kalkulierten Dauer zu einer Verkürzung des Gesamtprojektes um rund sechs Jahre. Die Dauer für den Rückbau bleibt im Wesentlichen unverändert.

Kernkraftwerk Leibstadt

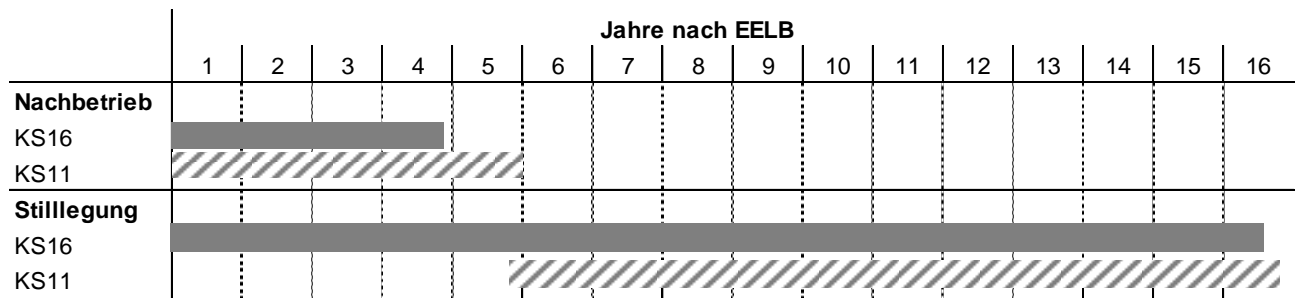


Abbildung 7: Voraussichtliche Dauer der Stilllegungs- und Rückbauarbeiten ab EELB, Kernkraftwerk Leibstadt.

Die Berücksichtigung der Empfehlungen und Praxiserfahrungen führen beim Kernkraftwerk Leibstadt nur zu einer unwesentlichen Verkürzung der Projektdauer.

4.5 Personalaufwand und Kollektivdosis

Wie in der Kostenstudie 2011 wird der personelle Aufwand für den Rückbaubetrieb, ausgehend vom Personalbestand zum Zeitpunkt der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs der Anlage unter Berücksichtigung des Projektfortschrittes über Reduktionsstufen und -faktoren, berücksichtigt.

Das benötigte Personal und seine Qualifikation für die Stilllegungs- und Rückbauarbeiten werden anhand der geplanten Aufgaben ermittelt. Der Arbeitsaufwand für die Stilllegungs- und Rückbauarbeiten wird zu meist unter Verwendung spezifischer Faktoren (zum Beispiel Personenstunden/kg) im Zusammenhang mit den Massen oder anderen anlagespezifischen Kenndaten berechnet. Neben den eigentlichen Demontagetätigkeiten gibt es begleitende Massnahmen wie Projekt- und Bauleitung, Aufsicht vor Ort, Strahlenschutz vor Ort, interne Transporte, begleitende Dekontamination, Durchführungsplanung oder Gerüstbau. Der Aufwand für diese projektbegleitenden Massnahmen ist eng korreliert mit dem Aufwand für die eigentlichen Demontagetätigkeiten und wird in Abhängigkeit von diesem auf der Grundlage von Erfahrungen aus laufenden Rückbauprojekten kalkuliert.

Nach Kalkulation sämtlicher Arbeitsschritte erhält man eine Aussage zum Personalaufwand über die Projektlaufzeit. Das Eigenpersonal wird, wie oben erwähnt, ausgehend vom Personalbestand zum Zeitpunkt der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs über die Reduktionsfaktoren der Rückbaustufen berücksichtigt.

In der Kostenstudie 2016 werden die Erkenntnisse aus aktuell laufenden Rückbauprojekten in der Kalkulation berücksichtigt. Insbesondere im funktionalen Paket Abbau von Komponenten und Einrichtungen ist ein höherer Personalaufwand als in der Kostenstudie 2011 festzustellen.

Der ermittelte Personalaufwand der Kostenstudie 2016 ist in Tabelle 30 (KKB), Tabelle 31 (KKM), Tabelle 32 (KKG) und Tabelle 33 (Kernkraftwerk Leibstadt) dem ermittelten Aufwand der Kostenstudie 2011 gegenübergestellt. Der Personalaufwand der Zwiilag Zwischenlager Würenlingen AG sind in Tabelle 34 aufgeführt.

Wird ein Arbeitsschritt in der kontrollierten Zone durchgeführt, wird zur Berechnung der zu erwartenden Kollektivdosis der kalkulierte Arbeitsaufwand dieses Arbeitsschrittes mit einem Dosisleistungsmittelwert multipliziert. Die den Arbeitsschritten zugewiesenen Dosisleistungsmittelwerte werden im Modell zur Berechnung in verschiedene Dosisleistungsklassen eingeteilt. Diese basieren auf Erfahrungen bei Revisionsmassnahmen und beim Rückbau von Kernkraftwerken. Die zu erwartende Kollektivdosis bei der Stilllegung der Kernanlagen kann ebenfalls Tabelle 30 (KKB), Tabelle 31 (KKM), Tabelle 32 (KKG), Tabelle 33 (KKL) und Tabelle 34 (Zwiilag) entnommen werden.

Kernkraftwerk Beznau

Tabelle 30: Personalaufwand und Kollektivdosis nach Arbeitspaket, KKB.

KKB - Stilllegungsstudie 2011			KKB - Stilllegungsstudie 2016			Differenz	
Funktionales Arbeitspaket - KS11	Personal-aufwand [Jahre]	Kollektiv-dosis [Sv]	Funktionales Arbeitspaket- KS16	Personal-aufwand [Jahre]	Kollektiv-dosis [Sv]	Personal-aufwand [Jahre]	Kollektiv-dosis [Sv]
Stilllegungsprojekt sowie Stilllegungsverfügung	95	<0.1	Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	94	<0.1	-1.0	-
Vorbereitungsmassnahmen	124	0.6	Vorbereitungs- und Umbaumasnahmen für den Rückbau - Standortbezogen	50	1.2	20.0	0.6
			Vorbereitungs- und Umbaumasnahmen für den Rückbau Blockbezogen	94			
Demontage der kontrollierten Zone - Block 1 und 2	90	8.4	Abbau der Komponenten und Einrichtungen	979	9.2	208.0	0.8
Demontage RDB-Einbauten und Demontage RDB – Block 1 und 2	178						
Demontage Biologischer Schild – Block 1 und 2	95						
Restdemontage Einrichtungen der kontrollierten Zone – Block 1 und 2	147						
Dekontamination und Freigabe Gebäude	121						
Demontage Einrichtungen konventioneller Bereich	140						
Materialbehandlung und Entsorgung	288	2.8	Behandlung und Verpackung	238	2.9	-50.0	0.1
Rückbaubetrieb	1'779	1.4	Rückbaubetrieb	1'219	1.4	-386.0	-
			Projektleitung Rückbau	174			
Stilllegung und Rückbau Zwischenlager	36	<0.1	Stilllegung und Rückbau Zwischenlager	26	0.1	-10.0	<0.1
Gesamt	3'093	13.2		2'874	14.8	-219.0	1.5

Kernkraftwerk Mühleberg

Tabelle 31: Personalaufwand und Kollektivdosis nach Arbeitspaket, KKM.

KKM - Stilllegungsstudie 2011			KKM - Stilllegungsstudie 2016			Differenz	
Funktionales Arbeitspaket - KS11	Personal-aufwand [Jahre]	Kollektiv-dosis [Sv]	Funktionales Arbeitspaket- KS16	Personal-aufwand [Jahre]	Kollektiv-dosis [Sv]	Personal-aufwand [Jahre]	Kollektiv-dosis [Sv]
Stilllegungsprojekt sowie Stilllegungsverfügung	86	<0.1	Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	51		-35	-
Vorbereitungsmassnahmen	40	0.2	Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen für den Rückbau - Standortbezogen	6	0.3	-12	0.1
			Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen für den Rückbau Blockbezogen	22			
Demontage der kontrollierten Zone	69	3.4	Abbau der Komponenten und Einrichtungen	608	4.0	146	0.6
Demontage RDB-Einbauten und Demontage RDB	58						
Demontage Biologischer Schild	58						
Restdemontage Einrichtungen der kontrollierten Zone	87						
Dekontamination und Freigabe Gebäude	117						
Demontage Einrichtungen konventioneller Bereich	73						
Materialbehandlung und Entsorgung	250	2.8	Behandlung und Verpackung	247	2.3	-3	-0.5
Rückbaubetrieb	863	0.8	Rückbaubetrieb	669	0.6	93	-0.2
			Projektleitung Rückbau	287			
Gesamt	1'701	7.2		1'891	7.2	189.8	-0.0

Kernkraftwerk Gösgen

Tabelle 32: Personalaufwand und Kollektivdosis nach Arbeitspaket, KKG.

KKG - Stilllegungsstudie 2011			KKG - Stilllegungsstudie 2016			Differenz	
Funktionales Arbeitspaket - KS11	Personal-aufwand [Jahre]	Kollektiv-dosis [Sv]	Funktionales Arbeitspaket- KS16	Personal-aufwand [Jahre]	Kollektiv-dosis [Sv]	Personal-aufwand [Jahre]	Kollektiv-dosis [Sv]
Stilllegungsprojekt sowie Stilllegungsverfügung	86	<0.1	Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	84	<0.1	-2	-
Vorbereitungsmassnahmen	89	0.5	Vorbereitungs- und Umbaumasnahmen für den Rückbau - Standortbezogen	50	0.6	14	0.1
			Vorbereitungs- und Umbaumasnahmen für den Rückbau Blockbezogen	53			
Demontage der kontrollierten Zone	123	6.3	Abbau der Komponenten und Einrichtungen	711	6.3	67	-
Demontage RDB-Einbauten und Demontage RDB	120						
Demontage Biologischer Schild	13						
Restdemontage Einrichtungen der kontrollierten Zone	72						
Dekontamination und Freigabe Gebäude	170						
Demontage Einrichtungen konventioneller Bereich	146						
Materialbehandlung und Entsorgung	228	3.5	Behandlung und Verpackung	262	2.9	34	-0.6
Rückbaubetrieb	1'226	1.2	Rückbaubetrieb	1'093	1.3	10	0.1
			Projektleitung Rückbau	143			
Gesamt	2'273	11.5		2'396	11.1	123.0	-0.4

Kernkraftwerk Leibstadt

Tabelle 33: Personalaufwand und Kollektivdosis nach Arbeitspaket, KKL.

KKL - Stilllegungsstudie 2011			KKL - Stilllegungsstudie 2016			Differenz	
Funktionales Arbeitspaket - KS11	Personal-aufwand [Jahre]	Kollektiv-dosis [Sv]	Funktionales Arbeitspaket- KS16	Personal-aufwand [Jahre]	Kollektiv-dosis [Sv]	Personal-aufwand [Jahre]	Kollektiv-dosis [Sv]
Stilllegungsprojekt sowie Stilllegungsverfügung	85	<0.1	Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	88	<0.1	3	-
Vorbereitungsmassnahmen	79	0.6	Vorbereitungs- und Umbaumasnahmen für den Rückbau - Standortbezogen	47	0.7	17	0.1
			Vorbereitungs- und Umbaumasnahmen für den Rückbau Blockbezogen	49			
Demontage der kontrollierten Zone	244	8.7	Abbau der Komponenten und Einrichtungen	1'116	10.1	199	1.4
Demontage RDB-Einbauten und Demontage RDB	168						
Demontage Biologischer Schild	101						
Restdemontage Einrichtungen der kontrollierten Zone	206						
Dekontamination und Freigabe Gebäude	149						
Demontage Einrichtungen konventioneller Bereich	49						
Materialbehandlung und Entsorgung	523	8.2	Behandlung und Verpackung	502	5.3	-21	-2.9
Rückbaubetrieb	1'776	1.4	Rückbaubetrieb	1'509	1.5	-54	0.1
			Projektleitung Rückbau	213			
Gesamt	3'380	18.9		3'524	17.6	144.0	-1.3

Zwilag

Tabelle 34: Personalaufwand und Kollektivdosis nach Arbeitspaket, Zwilag Zwischenlager Würenlingen AG.

Zwilag - Stilllegungsstudie 2011			Zwilag - Stilllegungsstudie 2016			Differenz	
Funktionales Arbeitspaket - KS11	Personalaufwand [Jahre]	Kollektivdosis [Sv]	Funktionales Arbeitspaket- KS16	Personalaufwand [Jahre]	Kollektivdosis [Sv]	Personalaufwand [Jahre]	Kollektivdosis [Sv]
Stilllegungsprojekt sowie Stilllegungsverfügung	12	-	Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	12	<0.01	-	-
Vorbereitungsmassnahmen	6	-	Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen für den Rückbau	6	<0.01	-	-
Demontage Einrichtungen der kontrollierten Zone	112	0.16	Abbau der Komponenten und Einrichtungen	165	0.21	35	0.05
Dekontamination und Freigabe Gebäude	17						
Demontage Einrichtungen konventioneller Bereich	1						
Materialbehandlung und Entsorgung	36	0.04	Behandlung und Verpackung	23	0.03	-13	-0.01
Rückbaubetrieb	121	-	Rückbaubetrieb	154	0.01	33	0.01
Gesamt	305	0.2		360	0.3	55.0	0.1

5 Resultat der Schätzung der Stilllegungskosten

Für die Präsentation der Ergebnisse der Schätzung der Stilllegungskosten wird die von der Verwaltungskommission verbindlich vorgegebene Struktur verwendet. Dabei werden die Kosten der funktionalen Pakete detailliert bis auf die Ebene der technischen Projekte und betrieblichen Organisationseinheiten. Auf dieser Ebene ist die Struktur der Kosten für alle Kernanlagen identisch und erlaubt somit unabhängig von Kraftwerkstyp und technischen Unterschieden der Anlagen einen direkten Vergleich von Kosten und anderen Kennzahlen, was auf tieferen Gliederungsebenen nicht mehr möglich ist. Aufgrund der detaillierteren Präsentation der Ergebnisse gegenüber der Vorgängerstudie und der Weiterentwicklung der Kostenstruktur lässt sich auf dieser Ebene kein direkter Vergleich mit der Kostenstudie 2011 anstellen.

Der Rückbaubetrieb ist Teil der Stilllegungskosten. Die Kosten für den Rückbaubetrieb beinhalten die erforderlichen Betriebs- und Unterhaltssachkosten sowie die übrigen betrieblichen Aufwendungen. Hierzu gehört auch die Bewachung der Anlage. Anhang A.1 enthält eine detaillierte Beschreibung der für den Rückbaubetrieb relevanten Elemente des verwendeten Projektstrukturplans. Die einführenden Bemerkungen zum Vergleich der Kosten der Kostenstudie 2016 mit den Werten der Kostenstudie 2011 treffen auch auf die Kosten des Rückbaubetriebs zu. Die Kosten wurden in beiden Studien auf unterschiedliche Art und Weise ermittelt. In der Kostenstudie 2011 wurden die Kosten von NIS auf Basis der damals vorhandenen Information über eine Abschätzung des erforderlichen Personal- und Sachkostenaufwands kalkuliert und in einer nach Kostenarten gegliederten Struktur ausgewiesen. Die Kosten für den Rückbaubetrieb in der Kostenstudie 2016 basieren auf der neu nach funktionalen Kriterien aufgebauten Kostenstruktur und sind darüber hinaus noch nach Kostenniveaus differenziert.

Die für den Rückbaubetrieb angenommene Organisationsstruktur basiert neben betrieblichen Anforderungen auf den Anforderungen aus der Kernenergieverordnung⁵⁸ mit klarer Zuweisung der Verantwortlichkeiten. In der Kernenergieverordnung⁵⁹ ist geregelt, welche Tätigkeiten und Sachbereiche durch die Organisation wahrzunehmen sind. Die für die Stilllegung relevanten Tätigkeiten und Sachbereiche sind:

- Betrieb der Anlage in allen Betriebszuständen;
- Instandhaltung, Material- und Prüftechnik sowie technische Unterstützung;
- Strahlenschutz und radioaktive Abfälle;
- Wasserchemie und Einsatz chemischer Hilfsstoffe;
- Notfallplanung und Notfallbereitschaft;
- Überwachung und Bewertung der nuklearen Sicherheit;
- Sicherung;
- Sicherstellung der Qualität der durch Auftragnehmer erbrachten Leistungen;
- Aus- und Weiterbildung des Personals;
- Förderung des Sicherheitsbewusstseins.

Wie in der Kostenstudie 2011 wurden die jährlichen Kosten für den Rückbaubetrieb aus Angaben der Kernkraftwerkeigentümer abgeleitet. Die Kosten basieren auf den Einschätzungen bezüglich des aktuell anzunehmenden Aufwands beziehungsweise auf den Kosten zum Zeitpunkt der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs, bereinigt um Sondereffekte und korrigiert um festgelegte Reduktionsfaktoren.

Die Reduktionsfaktoren orientieren sich am Projektfortschritt und sind an das Erreichen bestimmter vordefinierter Meilensteine geknüpft. So ist gemäss Kernenergiegesetz⁶⁰ beispielsweise die Bewachung der Anlage sicherzustellen, bis alle nuklearen Gefahrenquellen aus der Anlage entfernt sind.

⁵⁸ Art. 45 Bst. g KEV [11].

⁵⁹ Art. 30 Abs. 1 KEV [11].

⁶⁰ Art. 26 Abs. 2 Bst. e KEG [9].

Mit Ende des Nachbetriebs ist das Gefährdungspotenzial einer Kernanlage signifikant kleiner. Die Schutzziele Kontrolle der Reaktivität und Kühlung der Brennelemente werden obsolet. Nach Freigabe durch die Aufsichtsbehörde können Sicherungsmassnahmen aufgehoben werden⁶¹. Daher wird für die Kostenstudie 2016 davon ausgegangen, dass nach erreichter Kernbrennstofffreiheit anstelle der Bewachung eine Überwachung des Areals installiert wird.

Die Präsentation der Ergebnisse der Kostenschätzung folgt der verwendeten Kostengliederung. Ausgangskosten, risikomindernde Massnahmen, Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten sind auf Ebene der PSP-Elemente ermittelt und auf Ebene der technischen Projekte und betrieblichen Organisationseinheiten der Kostenstruktur dargestellt. Die Kostenzuschläge für Gefahren und Kostenabzüge für Chancen werden nicht auf die einzelnen PSP-Elemente der Kalkulation zurückgerechnet, sondern erfolgen gesamthaft als Zuschlag beziehungsweise Abzug auf die ermittelten Basiskosten. Die Abbildung der Gesamtkosten in den folgenden Abschnitten erfolgt pro Kostenniveau separat sowie als Gesamtkosten unter Berücksichtigung der Zuschläge und Abzüge für die Gefahren und Chancen.

5.1 Ausgangskosten

Die Berechnung der Ausgangskosten erfolgt durch die NIS mittels deren Kalkulationsmodells (vgl. Kap 3.3.1). Die von der Firma NIS darauf basierend berechneten Kosten enthalten nebst den eigentlichen Ausgangskosten ebenfalls Kosten zur Risikominderung für Massnahmen, die in der Planung bereits vorgesehen sind und somit als inhärente Zuschläge statt den Ausgangskosten dem Kostenelement Risikominderung zugewiesen werden.

⁶¹ Art 47 Bst. e KEV [11].

Tabelle 35: Ausgangskosten für die Stilllegung der KKW Beznau, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Ausgangskosten							
	KKB		KKM		KKG		KKL	
Stilllegung und Rückbau KKW	100%	676.49	100%	422.90	100%	620.34	100%	804.14
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	2.8%	18.72	3.3%	13.87	2.7%	16.73	2.2%	17.60
Planerische Vorarbeiten		14.38		-		12.39		13.29
Erstellung der Gesuchsunterlagen		3.94		2.36		3.94		3.90
Stilllegungsverfügung		0.40		11.51		0.40		0.40
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen - Standortbezogen	4.5%	30.60	5.3%	22.51	4.8%	30.04	3.5%	27.86
Umbau und Neueinrichtungen		30.60		22.51		30.04		27.86
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen - Blockbezogen	2.0%	13.55	1.5%	6.42	1.4%	8.53	1.0%	7.75
Ausserbetriebnahme Systeme		6.02		0.48		4.08		3.92
In-Situ Dekontamination Kreisläufe		6.76		2.27		3.99		3.39
Systemtechnische Anpassungen		0.77		3.40		0.45		0.44
Umbau und Neueinrichtungen		-		0.27		-		-
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	24.8%	168.00	25.9%	109.66	21.2%	131.24	24.1%	193.41
Abbau Vorlaufend / Mobil		1.96		2.82		2.98		1.04
Abbau Kontaminiert		31.00		21.26		25.28		54.24
Abbau Aktiviert		59.24		33.57		37.41		58.10
Abbau Betonstrukturen		4.09		3.47		6.77		3.84
Abbau restlicher Einrichtungen		23.57		18.03		7.63		31.19
Abbau ausserhalb Kontrollierter Zone		23.79		11.95		18.10		16.20
Dekontamination und Freigabe Gebäude		22.71		16.98		31.48		27.19
Nachweisführung Areal / ex Areal Projekt		1.64		1.58		1.60		1.60
Behandlung und Verpackung	17.3%	116.88	20.2%	85.34	16.9%	104.80	21.4%	172.20
Nachzerlegung und Behandlung		6.95		9.99		8.35		23.42
Dekontamination von Einzelteilen		5.40		8.83		6.89		20.44
Konditionierung und Verpackung		90.50		58.37		64.92		113.66
Freimessung / konv. Entsorgung / Erlöse		15.98		7.81		24.54		13.69
Abbau Einrichtungen zum Rückbau und zur Materialbehandlung		-1.96		0.34		0.09		0.99
Rückbaubetrieb	44.1%	298.64	33.1%	140.17	48.6%	301.78	43.5%	349.74
Verwaltung / Administration		18.57		11.26		32.36		30.87
Überwachung		17.29		22.58		9.94		23.10
Sicherung / Arealüberwachung		40.06		20.81		28.11		41.32
Behördliche Begleitung		26.09		13.21		19.58		20.76
Fachabteilung Betrieb Anlage		93.12		13.81		64.10		76.47
Werkstätten		6.12		5.38		28.33		8.30
Laufende Prüfung und Instandhaltung		9.13		8.93		25.43		40.07
Instandhaltungsprojekte		3.65		1.58		2.47		7.12
Betrieb IT		13.44		4.69		5.06		17.35
Betriebs- und Unterhaltsachkosten		56.93		30.92		69.11		52.76
Betrieb Lagereinrichtungen		-		2.40		0.65		-
Sonstige betriebliche Aufwendungen		14.22		4.61		16.67		31.61
Projektleitung Rückbau	4.5%	30.11	10.6%	44.93	4.4%	27.23	4.4%	35.59
Gesamtprojektleitung		6.40		29.92		5.63		7.36
Übergeordnete Planungsmassnahmen		11.22		15.01		9.92		13.05
Leitung Teilprojekte		12.49		-		11.68		15.18

Angaben in Millionen Franken, Kosten KKB sind ohne die Rückbaukosten des Zwischenlagers Beznau ausgewiesen. Letztere werden gesondert in Tabelle 36 ausgewiesen. Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

Tabelle 36: Ausgangskosten für die Stilllegung des Zwischenlagers Beznau und des zentralen Zwischenlagers Würenlingen.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Ausgangskosten			
		Zwibez		Zwilag
Stilllegung und Rückbau Zwischenlager	100%	4.98	100%	93.53
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	19.5%	0.97	2.9%	2.69
Planerische Vorarbeiten		0.97		1.97
Erstellung der Gesuchsunterlagen		-		0.72
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen für den Rückbau	1.7%	0.09	1.6%	1.47
Umbau und Neueinrichtungen		0.09		1.03
Ausserbetriebnahmen		-		0.32
Anpassung Infrastruktur		-		0.11
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	39.5%	1.97	27.7%	25.94
Abbau Kontaminiert		0.90		19.81
Dekontamination der Gebäude		0.67		5.51
Abbau ausserhalb Kontrollierter Zone		0.40		0.55
Nachweisführung Areal / ex Areal		-		0.08
Behandlung und Verpackung	14.3%	0.71	8.1%	7.55
Nachzerlegung und Behandlung		0.17		0.89
Dekontamination von Einzelteilen		0.04		0.75
Konditionierung und Verpackung		0.33		4.30
Freimessung		0.17		1.61
Rückbaubetrieb	24.9%	1.24	59.7%	55.88
Laufende Prüfung und Instandhaltung				3.43
Überwachung		-		3.06
Sicherung / Arealüberwachung		-		4.43
Betriebs- und Unterhaltssachkosten und Behörde		1.24		44.96

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

5.2 Risikomindernde Massnahmen

Risikomindernde Massnahmen basieren auf den Planungs- und Steuerungsprozessen der Betreiber. Dabei geht es einerseits um organisatorische und andererseits um technische Massnahmen, die von den Betreibern im Rahmen ihrer Geschäftstätigkeit umgesetzt werden, mit dem Ziel, Risiken zu vermeiden oder zu reduzieren und Chancen zu erkennen und zu nutzen.

5.2.1 Organisatorische Massnahmen

Unternehmenscontrolling

Das Controlling nimmt zur Steuerung des Unternehmens Planungs-, Koordinations- und Kontrollaufgaben wahr, um die Unternehmensführung mit den dazu notwendigen Instrumenten und Informationen zu versorgen. Ein wesentlicher Fokus liegt auf der Steuerung der Wirtschaftlichkeit und Rentabilität sowie Liquidität des Unternehmens durch Budgetverwaltung und entsprechender Feinplanung. In diesem Prozess wird auch das Projekt zur Stilllegung der Kernanlage mitbetrachtet. Durch regelmässigen Abgleich zwischen geplanter und eingetretener Entwicklung werden Abweichungen sichtbar und stossen einen Diskussions- und Gegensteuerungsprozess auf oberster Management-Ebene an.

Projektcontrolling

In Abgrenzung zum Unternehmenscontrolling unterstützt das Projektcontrolling die Projektleitung beim Erreichen der Projektziele. Das Projektcontrolling unterstützt die Projektleitung und die Teilprojektleiter bei der Mittelfristplanung, bei der jährlichen Budgetierung sowie bei der Abschätzung der Vorschau für das laufende Geschäftsjahr. Das Projektcontrolling ist ferner das Bindeglied zur Verrechnung der anfallenden Kosten mit den Stilllegungs- und Entsorgungsfonds.

Change Management

Der erfolgte Rückbau eines Kernkraftwerks bedeutet für die Mitarbeitenden den Abbau des Arbeitsplatzes. Dieser Aspekt kann zu einer Demotivation führen, so dass der Rückbau nicht effizient durchgeführt und als „Projekt“ angesehen wird, das nach gewissen Plan- und Zielvorgaben umgesetzt werden muss. Dieser psychologische Aspekt kann hohe Auswirkungen haben. Bereits im Nachbetrieb kann er ein erhebliches Risiko darstellen, das sich auf die gesamte Stilllegung auswirkt. Die Betreiber entwickeln daher bereits vorgängig zur endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs ein an den Anforderungen der einzelnen Abwicklungsabschnitte orientiertes Personalanforderungskonzept und eine dazugehörige Qualifikationsmatrix, in der die benötigten Qualifikationen mit den verfügbaren Ressourcen verknüpft werden. Weiterhin benötigte Ressourcen werden frühzeitig mit den veränderten Tätigkeitsprofilen vertraut gemacht und bei Bedarf entsprechend qualifiziert.

Mehr-Augen-Prinzip

Wichtige Entscheidungen werden nicht von einer einzelnen Person getroffen, kritische Tätigkeiten werden nicht von einer einzelnen Person durchgeführt. Ziel ist es, das Risiko von Fehlern und Missbrauch zu reduzieren. Das Mehr-Augen-Prinzip ist bei einer Vielzahl von unternehmensinternen Arbeitsprozessen zu finden, die als kritisch gewertet werden. Kritisch sind Prozesse immer dann, wenn sie bei einer nicht ordnungsgemässen Durchführung Personenschäden oder erhebliche finanzielle Auswirkungen zur Folge haben können. Sämtliche Beziehungen eines Unternehmens nach aussen, zum Beispiel Ausschreibungen und Verträge mit Lieferanten, unterliegen dem Mehr-Augen-Prinzip.

Projektorganisation

Die Projektorganisation hat die Entwicklung einer geeigneten Aufbau- und Ablauforganisation zur effizienten Projektplanung, -abwicklung und -steuerung zum Ziel. Der Projektfortschritt bedingt eine regelmässige Überprüfung und Anpassung der Organisation an die Anforderungen des Projekts. Zur Projektorganisation gehört zudem die Einrichtung geeigneter Führungs- und Steuerungsgremien und -instrumente. Die bedarfsorientierte Anpassung der Projektorganisation bietet die Chance zur Optimierung der zeitlichen Projektabwicklung und damit auch zur Kostenoptimierung.

Rückbauprojekte sind Infrastrukturprojekte mit grosser finanzieller Tragweite für die Eigentümer der Kernanlagen. Die Projektsteuerungsgremien werden daher auch Mitglieder der jeweiligen Unternehmensbereichsleitung beziehungsweise Konzernleitung umfassen.

Beschaffungsmanagement

Das Beschaffungsmanagement hat zum Ziel, im Hinblick auf die Lebenszykluskosten das wirtschaftlich günstigste Angebot für die Beschaffung von Lieferungen und Leistungen zu ermitteln und deren regelkonforme Vergabe sicher zu stellen. Sofern Beschaffungen dem öffentlichen Vergaberecht unterliegen, hat das Beschaffungsmanagement zudem die Aufgabe, das Risiko der Einsprache durch unterlegene Anbieter durch einen professionellen und verfahrenskonformen Beschaffungsprozess zu vermindern. Zum Beschaffungsmanagement gehört ferner die kontinuierliche Beobachtung der Marktentwicklung für zu beschaffende Lieferungen und Leistungen mit dem Ziel, die eigenen Beschaffungskosten zu optimieren.

Lieferantenmanagement

Unter Lieferantenmanagement wird die systematische Steuerung von Lieferantenbeziehungen verstanden, mit den folgenden Kernaufgaben:

- Bewertung und Auswahl der Zulieferer (Lieferantenbewertung).
- Entwicklung des Leistungsniveaus der Lieferanten.
- Entscheidung, auf welcher Stufe der Lieferant in die Wertschöpfungskette einbezogen werden soll.

Dem Ausfallrisiko von Lieferanten kann durch frühzeitigen Aufbau von möglichen Alternativlieferanten begegnet werden und die gezielte Steuerung der Beschaffungsvolumina soll Abhängigkeiten des Projekts von einzelnen Lieferanten vorbeugen.

Das operative Lieferantenmanagement verfolgt zudem die Ziele, die Leistung der Lieferanten zu erhöhen und die Beschaffungskosten zu senken. Eine transparente Lieferantenbasis und die objektive Vergleichbarkeit der Lieferantenleistung ermöglichen es der Projektleitung, sich auf die besten Lieferanten zu konzentrieren, nicht wettbewerbsfähige Lieferanten auszuschliessen und bestehende Lieferantenbeziehungen gegen potenzielle abzuwägen.

Claim Management

Claim Management behandelt die Identifikation und Dokumentation von Ablaufstörungen beziehungsweise Abweichungen bei Lieferanten und Dienstleistern während Vertragsbeziehungen jeglicher Art, einschliesslich der Konsequenzen und Durchsetzung von Ansprüchen und Forderungen gegenüber Vertragsparteien. Dies bedeutet insbesondere

- Erkennen und Dokumentieren von Leistungsänderungen und Leistungsstörungen.
- Kooperation der verschiedenen Projektbeteiligten und Fachstellen.
- Strategien im Umgang mit Dritten (Preisgestaltung, Verhandlungen, Forderungsmanagement, Nachtragsmanagement).
- Berechtigte Nachforderungen gegenüber Dritten erkennen und durchsetzen.
- Eingehende Nachforderungen von Dritten auf Anspruchsgrundlage prüfen und unberechtigte Ansprüche abwehren.

Vertragsmanagement

Das Vertragsmanagement als Teildisziplin des Projektmanagements hat die umfassende Kontrolle über alle externen vertraglichen Beziehungen des Projekts zum Ziel. Es umfasst insbesondere die Vertragsausführungskontrolle, das Vertragscontrolling und die Archivierung der Verträge. Vertragsmanagement ist eine gemeinsame Tätigkeit der technischen und kaufmännischen Projektleitung in Kooperation mit dem Projektcontrolling und den für rechtliche Aspekte zuständigen Stellen.

Über ein professionelles Vertragsmanagement werden die folgenden internen Projektrisiken minimiert:

- Nichteinhalten der gesetzlichen Vorschriften.
- Ungleicher Informationsstand oder fehlende Aktualität.
- Schwieriges Auffinden von Verträgen.
- Inhaltliche Risiken von Verträgen.
- Verlust von Verträgen beziehungsweise Vertragsbestandteilen.
- Versäumnis von Fristen, Vertragsoptionen.
- Mangelhafter Bearbeitungsprozess.
- Intransparenter Genehmigungs- beziehungsweise Freigabeprozess.
- Hohe Durchlaufzeiten für Rechnungsprüfung und -bearbeitung.

Vertragsmanagement unterstützt die Forderung nach Bilanz- und Revisionssicherheit der externen Verpflichtungen.

Versicherungsmanagement

Im Rahmen der Funktion Versicherungsmanagement werden die obligatorischen und fakultativen Versicherungen rund um ein Rückbauprojekt zusammengefasst. Neben den obligatorischen Haftpflicht- und Elementarschadenversicherungen existieren am Versicherungsmarkt zahlreiche weitere Produkte, die im Rahmen einer Risikoanalyse auf ihre Vorteilhaftigkeit hin zu untersuchen sind. Darüber hinaus umfasst das Thema Versicherungsmanagement auch das Management der Versicherungsanforderungen, die in vertraglichen Beziehungen mit Lieferanten eingefordert werden.

Qualitätsmanagement

Es ist notwendig, zur Vermeidung von Fehlern systematisch vorzugehen. Dies bedingt optimale Arbeitsabläufe und zur Behebung von Schwachstellen systematisches Lernen aus Erfahrungen. Dazu braucht es Methoden, die nicht von Individuen oder Organisationseinheiten einzeln angewendet, sondern verknüpft, einem übergeordneten Zweck dienend, umfassend im Betrieb zur Führung der gesamten Geschäftstätigkeit implementiert werden. Die Gesamtheit derart implementierter Methoden wird als Managementsystem bezeichnet.

Ein Ansatz für den Erfolg ist ein Managementsystem, das darauf ausgerichtet ist, eine ständige Verbesserung der Qualität zu erreichen. Es umfasst sämtliche Geschäftsprozesse, beginnend beim Design einer zu beschaffenden Ware oder Dienstleistung und endend mit einer nachvollziehbaren Dokumentation sowie Erkenntnissen, die systematisch zur Verbesserung des Systems genutzt werden. Moderne Managementsysteme bezwecken nebst der Optimierung der Qualität auch die von Umweltbelastung und Arbeitsschutz. Sie fassen die verschiedenen Anforderungen in einer gemeinsamen Struktur zusammen und sind konsequent auf die Erfüllung der Erwartungen betroffener Anspruchsgruppen ausgerichtet.

Details zur Umsetzung des Managementsystems im Stilllegungsprojekt werden im Rahmen der Einführung eines projektspezifischen Qualitätsmanagementsystems⁶² geregelt. Das Kernstück eines solchen bildet ebenfalls der Kreislauf der ständigen Verbesserungen (Plan – Do – Check – Act). Verbesserungsmassnahmen werden über die etablierten Führungs- und Geschäftsprozesse umgesetzt und im Rahmen von Management Reviews periodisch auf ihre Wirksamkeit und Angemessenheit überprüft.

In der Schweiz verfügt jeder Betreiber einer Kernanlage über ein dem Stand der nuklearen Sicherheits- und Sicherungstechnik entsprechendes Managementsystem⁶³, das für die Abläufe in der Organisation eindeutige Zuordnungen der Verantwortlichkeiten und der Kompetenzen beschreibt sowie gewährleistet, dass sicherheits- und sicherungsrelevante Aufgaben in einem Management-Kreislauf erfasst und systematisch geplant, durchgeführt, kontrolliert, dokumentiert, intern und extern periodisch überprüft und angepasst werden.

⁶² Entsprechend der Forderung in Art. 45 Bst. h KEV [11].

⁶³ Gemäss IAEA GS-R-3 in der Regel zertifiziert nach der Norm ISO-9001 [59].

Für die Stilllegung wird dieses System so weiterentwickelt, dass es unter Einbezug bereits vorhandener Verfahren zur Vermeidung von Fehlern und zum Lernen aus Erfahrung auch die während des Rückbaus auftretenden sicherheitsrelevanten Anlagezustände und Abläufe klar, kohärent, angemessen detailliert und verbindlich festlegt. Ferner wird das System berücksichtigen, dass eine Kernanlage im Rückbau als ein aus den Teilen Mensch, Technik und Organisation bestehendes soziotechnisches System anzusehen ist, bei dem sowohl die einzelnen Systemteile als auch deren Wechselwirkungen zu berücksichtigen sind.

Dokumentenmanagement

Das Dokumentenmanagement ist eine zentrale Funktion innerhalb des technischen und kommerziellen Projektmanagements und unterstützt das Vertrags- und Nachforderungsmanagement durch Schaffung der notwendigen Voraussetzungen für die wirtschaftlich optimierte Kontrolle und Führung von Lieferantenbeziehungen. Es unterstützt insbesondere bei der Abwehr von unberechtigten Nachforderungen von Lieferanten, die bei unvollständiger oder nicht plausibler Vertragsdokumentation zu Mehrausgaben gegenüber der Planung führen können.

Compliance Management

Unter Compliance werden die Vorgaben für das regelkonforme Verhalten des Unternehmens und seiner Mitarbeitenden verstanden. Die Richtlinien sollen dazu dienen, die ethischen Wertvorstellungen im unternehmerischen Geschäftsgebaren darzulegen (Verhaltenskodex). Compliance Management dient somit neben der Einhaltung von Gesetzen und ethischen Standards auch der Kontrolle operativer Risiken.

Risikomanagement

Das aktive Management von Risiken ist einer der wesentlichen Erfolgsfaktoren für die Abwicklung von Projekten. Es ist integraler Bestandteil der Corporate Governance der Betreiber. Das oberste Ziel des Risikomanagements ist es, einen Beitrag zur nachhaltigen Sicherung der Geschäftstätigkeit zu leisten. Das Risikomanagement beinhaltet eine systematische Analyse bestehender und antizipierter Risiken und setzt Massnahmen zur Vermeidung oder Begrenzung negativer Auswirkungen um.

Wissens- und Erfahrungsmanagement

Derzeit befinden sich in Europa zahlreiche Rückbauprojekte in unterschiedlichen Stadien der Umsetzung. Ein regelmässiger Austausch mit anderen Projekten sowie die systematische Sammlung und Analyse von Informationen aus anderen Rückbauprojekten soll dabei unterstützen, Fehlentwicklung in den eigenen Projekten zu vermeiden beziehungsweise von erfolgreich umgesetzten Innovationen zu profitieren.

5.2.2 Technische Massnahmen

Beprobung des Areals (Verdachtsflächen) deutlich vor Abschluss von Demontagearbeiten in der kontrollierten Zone

Antizipation eventueller Probleme und Vermeidung von Verzögerungen bei der Freigabe nach Demontage. Vorproben zeigen Schwachstellen auf und sichern das Ergebnis.

Zusätzliche Transportwege zur Vermeidung von Engpässen in der Logistikabfolge

Zusätzliche Transportwege für die von der Logistik betroffenen Gebäudebereiche. Vermeidung von Verzögerungen beim Rückbau durch Materialstau in der Anlage.

Ersatzmaterial für technische Ausfälle bei der Logistik, beziehungsweise Demontagegerätschaften

Redundante Hebezeuge und Flurförderfahrzeuge vorhalten, um Stillstände zu vermeiden.

Annahmepflicht konventioneller Deponien absichern

Mit Deponiebetrieben die Annahme des zu deponierenden Materials sicherstellen und dazu frühzeitig entsprechende Vereinbarungen treffen.

Verfügbarkeit von Lieferanten sichern

Prämien für Vorhaltung von Leistungsreserven vereinbaren.

Gutachten

Vorbeugende Klärung von Rechtsfragen.

Optimiertes Brennelement-Transportkonzept (KKM)

Studie zum Transportkonzept der Brennelemente, um die Möglichkeit einer Verkürzung der Nachbetriebsdauer zu bewirken sowie vermehrt Parallelarbeiten zu ermöglichen.

Vermeidung des unerwarteten Austretens (radioaktiv belasteter) Flüssigkeiten während der Demontage

Frühzeitige Identifikation noch vorhandener Flüssigkeiten in den zu demontierenden Systemen. Erstellung und Umsetzung eines entsprechenden Prüf- und Probenahmeplans.

5.2.3 Kosten zur Risikominderung

In Tabelle 37 sind die Kosten für die risikomindernden Massnahmen für die Kernkraftwerke und in Tabelle 38 für die Zwischenlager Beznau und Zwiilag Zwischenlager Würenlingen AG aufgeführt. Kosten zur Risikominderung werden auf Ebene 3 der Kostenstruktur dargestellt.

Tabelle 37: Kosten zur Risikominderung bei der Stilllegung der KKW Beznau, Mühleberg, Leibstadt und Gösgen.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Kosten zur Risikominderung							
	KKB	KKM	KKG	KKL				
Stilllegung und Rückbau KKW	100%	18.96	100%	13.13	100%	14.38	100%	17.61
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-
Planerische Vorarbeiten	-	-	-	-	-	-	-	-
Erstellung der Gesuchsunterlagen	-	-	-	-	-	-	-	-
Stilllegungsverfügung	-	-	-	-	-	-	-	-
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen - Standortbezogen	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-
Umbau und Neueinrichtungen	-	-	-	-	-	-	-	-
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen - Blockbezogen	7.9%	1.50	5.7%	0.75	3.5%	0.50	0.0%	-
Ausserbetriebnahme Systeme	1.50	0.75	0.50	-	-	-	-	-
In-Situ Dekontamination Kreisläufe	-	-	-	-	-	-	-	-
Systemtechnische Anpassungen	-	-	-	-	-	-	-	-
Umbau und Neueinrichtungen	-	-	-	-	-	-	-	-
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	19.5%	3.70	13.0%	1.70	18.1%	2.60	15.3%	2.70
Abbau Vorlaufend / Mobil	-	-	-	-	-	-	-	-
Abbau Kontaminiert	0.20	0.20	0.10	0.20	-	-	-	-
Abbau Aktiviert	1.50	1.50	1.50	1.50	-	-	-	-
Abbau Betonstrukturen	-	-	-	-	-	-	-	-
Abbau restlicher Einrichtungen	-	-	-	-	-	-	-	-
Abbau ausserhalb Kontrollierter Zone	-	-	-	-	-	-	-	-
Dekontamination und Freigabe Gebäude	2.00	-	1.00	1.00	-	-	-	-
Nachweisführung Areal / ex Areal Projekt	-	-	-	-	-	-	-	-
Behandlung und Verpackung	5.8%	1.10	8.8%	1.15	8.3%	1.20	6.2%	1.10
Nachzerlegung und Behandlung	-	-	-	-	-	-	-	-
Dekontamination von Einzelteilen	-	-	-	-	-	-	-	-
Konditionierung und Verpackung	1.10	1.15	1.20	1.10	-	-	-	-
Freimessung / konv. Entsorgung / Erlöse	-	-	-	-	-	-	-	-
Abbau Einrichtungen zum Rückbau und zur Materialbehandlung	-	-	-	-	-	-	-	-
Rückbaubetrieb	55.1%	10.45	57.1%	7.50	57.0%	8.20	65.3%	11.50
Verwaltung / Administration	8.60	6.00	6.70	8.90	-	-	-	-
Überwachung	-	-	-	-	-	-	-	-
Sicherung / Arealüberwachung	-	-	-	-	-	-	-	-
Behördliche Begleitung	-	-	-	-	-	-	-	-
Fachabteilung Betrieb Anlage	-	-	-	-	-	-	-	-
Werkstätten	-	-	-	-	-	-	-	-
Laufende Prüfung und Instandhaltung	-	-	-	-	-	-	-	-
Instandhaltungsprojekte	-	-	-	-	-	-	-	-
Betrieb IT	-	-	-	-	-	-	-	-
Betriebs- und Unterhaltsachkosten	-	-	-	-	-	-	-	-
Betrieb Lagereinrichtungen	-	-	-	-	-	-	-	-
Sonstige betriebliche Aufwendungen	1.85	1.50	1.50	2.60	-	-	-	-
Projektleitung Rückbau	11.7%	2.21	15.4%	2.03	13.0%	1.88	13.1%	2.31
Gesamtprojektleitung	0.21	0.53	0.18	0.21	-	-	-	-
Übergeordnete Planungsmassnahmen	2.00	1.50	1.70	2.10	-	-	-	-
Leitung Teilprojekte	-	-	-	-	-	-	-	-

Angaben in Millionen Franken, Kosten KKB sind ohne die Kosten für risikomindernde Massnahmen des Zwischenlagers Beznau ausgewiesen. Letztere werden gesondert in Tabelle 38 ausgewiesen. Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

Tabelle 38: *Kosten für risikomindernde Massnahmen bei der Stilllegung des Zwischenlagers Beznau und des zentralen Zwischenlagers Würenlingen.*

Arbeitspaket-Bezeichnung	Kosten zur Risikominderung			
	ZwibeZ		Zwilag	
Stilllegung und Rückbau Zwischenlager		0.10		2.85
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	0.0%	-	0.0%	-
Planerische Vorarbeiten		-		-
Erstellung der Gesuchsunterlagen		-		-
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen für den Rückbau	0.0%	-	0.0%	-
Umbau und Neueinrichtungen		-		-
Ausserbetriebnahmen		-		-
Anpassung Infrastruktur		-		-
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	0.0%	-	7.0%	0.20
Abbau Kontaminiert		-		0.20
Dekontamination der Gebäude		-		-
Abbau ausserhalb Kontrollierter Zone		-		-
Nachweisführung Areal / ex Areal		-		-
Behandlung und Verpackung	0.0%	-	22.8%	0.65
Nachzerlegung und Behandlung		-		-
Dekontamination von Einzelteilen		-		-
Konditionierung und Verpackung		-		0.25
Freimessung		-		0.40
Rückbaubetrieb	100.0%	0.10	70.2%	2.00
Laufende Prüfung und Instandhaltung		-		-
Überwachung		-		-
Sicherung / Arealüberwachung		-		-
Betriebs- und Unterhaltssachkosten und Behörde		0.10		2.00

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

5.3 Basiskosten

Die Basiskosten ergeben sich durch Summierung der Ausgangskosten und der Kosten für risikomindernde Massnahmen. Die Basiskosten werden auf Ebene 3 der Kostenstruktur dargestellt.

Tabelle 39: Basiskosten für die Stilllegung der KKW Beznau, Mühleberg, Leibstadt und Gösgen.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Basiskosten							
		KKB		KKM		KKG		KKL
Stilllegung und Rückbau KKW	100%	695.45	100%	436.03	100%	634.71	100%	821.75
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	2.7%	18.72	3.2%	13.87	2.6%	16.73	2.1%	17.60
Planerische Vorarbeiten		14.38		-		12.39		13.29
Erstellung der Gesuchsunterlagen		3.94		2.36		3.94		3.90
Stilllegungsverfügung		0.40		11.51		0.40		0.40
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen - Standortbezogen	4.4%	30.60	5.2%	22.51	4.7%	30.04	3.4%	27.86
Umbau und Neueinrichtungen		30.60		22.51		30.04		27.86
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen - Blockbezogen	2.2%	15.05	1.6%	7.17	1.4%	9.03	0.9%	7.75
Ausserbetriebnahme Systeme		7.52		1.23		4.58		3.92
In-Situ Dekontamination Kreisläufe		6.76		2.27		3.99		3.39
Systemtechnische Anpassungen		0.77		3.40		0.45		0.44
Umbau und Neueinrichtungen				0.27				
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	24.7%	171.70	25.5%	111.36	21.1%	133.84	23.9%	196.11
Abbau Vorlaufend / Mobil		1.96		2.82		2.98		1.04
Abbau Kontaminiert		31.20		21.46		25.38		54.44
Abbau Aktiviert		60.74		35.07		38.91		59.60
Abbau Betonstrukturen		4.09		3.47		6.77		3.84
Abbau restlicher Einrichtungen		23.57		18.03		7.63		31.19
Abbau ausserhalb Kontrollierter Zone		23.79		11.95		18.10		16.20
Dekontamination und Freigabe Gebäude		24.71		16.98		32.48		28.19
Nachweisführung Areal / ex Areal Projekt		1.64		1.58		1.60		1.60
Behandlung und Verpackung	17.0%	117.98	19.8%	86.49	16.7%	106.00	21.1%	173.30
Nachzerlegung und Behandlung		6.95		9.99		8.35		23.42
Dekontamination von Einzelteilen		5.40		8.83		6.89		20.44
Konditionierung und Verpackung		91.60		59.52		66.12		114.76
Freimessung / konv. Entsorgung / Erlöse		15.98		7.81		24.54		13.69
Abbau Einrichtungen zum Rückbau und zur Materialbehandlung		-1.96		0.34		0.09		0.99
Rückbaubetrieb	44.4%	309.09	33.9%	147.67	48.8%	309.98	44.0%	361.24
Verwaltung / Administration		27.17		17.26		39.06		39.77
Überwachung		17.29		22.58		9.94		23.10
Sicherung / Arealüberwachung		40.06		20.81		28.11		41.32
Behördliche Begleitung		26.09		13.21		19.58		20.76
Fachabteilung Betrieb Anlage		93.12		13.81		64.10		76.47
Werkstätten		6.12		5.38		28.33		8.30
Laufende Prüfung und Instandhaltung		9.13		8.93		25.43		40.07
Instandhaltungsprojekte		3.65		1.58		2.47		7.12
Betrieb IT		13.44		4.69		5.06		17.35
Betriebs- und Unterhaltskosten		56.93		30.92		69.11		52.76
Betrieb Lagereinrichtungen		-		2.40		0.65		-
Sonstige betriebliche Aufwendungen		16.07		6.11		18.17		34.21
Projektleitung Rückbau	4.6%	32.32	10.8%	46.96	4.6%	29.10	4.6%	37.90
Gesamtprojektleitung		6.61		30.45		5.81		7.57
Übergeordnete Planungsmassnahmen		13.22		16.51		11.62		15.15
Leitung Teilprojekte		12.49		-		11.68		15.18

Angaben in Millionen Franken, Kosten KKB sind ohne die Basiskosten des Zwischenlagers Beznau ausgewiesen. Letztere werden gesondert in Tabelle 40 ausgewiesen. Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

Tabelle 40: Basiskosten für die Stilllegung des Zwischenlagers Beznau und des zentralen Zwischenlagers Würenlingen.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Basiskosten			
		ZwibeZ		Zwilag
Stilllegung und Rückbau Zwischenlager	100%	5.08	100%	96.38
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	19.1%	0.97	2.8%	2.69
Planerische Vorarbeiten		0.97		1.97
Erstellung der Gesuchsunterlagen				0.72
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen für den Rückbau	1.7%	0.09	1.5%	1.47
Umbau und Neueinrichtungen		0.09		1.03
Ausserbetriebnahmen				0.32
Anpassung Infrastruktur				0.11
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	38.8%	1.97	27.1%	26.14
Abbau Kontaminiert		0.90		20.01
Dekontamination der Gebäude		0.67		5.51
Abbau ausserhalb Kontrollierter Zone		0.40		0.55
Nachweisführung Areal / ex Areal				0.08
Behandlung und Verpackung	14.1%	0.71	8.5%	8.20
Nachzerlegung und Behandlung		0.17		0.89
Dekontamination von Einzelteilen		0.04		0.75
Konditionierung und Verpackung		0.33		4.55
Freimessung		0.17		2.01
Rückbaubetrieb	26.4%	1.34	60.1%	57.88
Laufende Prüfung und Instandhaltung				3.43
Überwachung				3.06
Sicherung / Arealüberwachung				4.43
Betriebs- und Unterhaltssachkosten und Behörde		1.34		46.96

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

5.4 Prognoseungenauigkeiten

Die Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten wurden derart bestimmt, dass die prognostizierten Kosten mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht überschritten werden. Sie wurden gemäss der in Kapitel 3.2.2 beschriebenen Vorgehensweise berechnet. Tabelle 41 zeigt die Zuschläge für die Kernkraftwerke und in Tabelle 42 sind die Zuschläge für die Zwischenlager Beznau und da zentrale Zwischenlager Würenlingen aufgeführt.

Tabelle 41: Prognoseungenauigkeiten der Kostenschätzung für die Stilllegung der KKW Beznau, Mühleberg, Leibstadt und Gösgen.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Kostenzuschlag für Prognoseungenauigkeiten							
	KKB		KKM		KKG		KKL	
Kostenzuschlag auf Basiskosten	in %	MCHF	in %	MCHF	in %	MCHF	in %	MCHF
Stilllegung und Rückbau KKW	12.8%	89.27	8.3%	35.97	11.1%	70.16	11.4%	94.03
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	0.6%	4.36	0.1%	0.60	0.6%	4.09	0.5%	3.99
Planerische Vorarbeiten		3.38		-		3.06		2.93
Erstellung der Gesuchsunterlagen		0.88		0.09		0.93		0.97
Stilllegungsverfügung		0.11		0.51		0.10		0.10
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen - Standortbezogen	1.0%	6.99	0.9%	3.96	1.2%	7.42	0.8%	6.41
Umbau und Neueinrichtungen		6.99		3.96		7.42		6.41
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen - Blockbezogen	0.5%	3.47	0.2%	0.89	0.3%	2.12	0.2%	1.71
Ausserbetriebnahme Systeme		1.93		0.27		1.12		0.95
In-Situ Dekontamination Kreisläufe		1.36		0.39		0.91		0.67
Systemtechnische Anpassungen		0.17		0.20		0.10		0.09
Umbau und Neueinrichtungen				0.04				
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	3.7%	25.75	3.8%	16.72	3.1%	19.59	3.4%	27.69
Abbau Vorlaufend / Mobil		0.22		0.34		0.32		0.12
Abbau Kontaminiert		4.85		2.53		3.58		6.61
Abbau Aktiviert		10.27		6.69		6.73		10.18
Abbau Betonstrukturen		0.57		0.52		0.76		0.41
Abbau restlicher Einrichtungen		2.86		2.48		1.08		3.48
Abbau ausserhalb Kontrollierter Zone		3.96		1.58		2.50		2.22
Dekontamination und Freigabe Gebäude		2.64		2.15		4.22		4.25
Nachweisführung Areal / ex Areal Projekt		0.38		0.42		0.39		0.43
Behandlung und Verpackung	2.4%	16.79	2.9%	12.70	1.9%	12.20	2.7%	22.36
Nachzerlegung und Behandlung		0.54		1.00		0.59		2.10
Dekontamination von Einzelteilen		0.42		0.87		0.57		1.79
Konditionierung und Verpackung		11.38		8.35		7.33		14.75
Freimessung / konv. Entsorgung / Erlöse		2.56		1.09		2.60		2.45
Abbau Einrichtungen zum Rückbau und zur Materialbehandlung		1.89		1.39		1.11		1.27
Rückbaubetrieb	4.2%	29.05	0.1%	0.33	3.6%	22.88	3.5%	29.15
Verwaltung / Administration		2.57		0.04		2.88		3.24
Überwachung		1.63		0.05		0.73		1.88
Sicherung / Arealüberwachung		3.65		0.04		2.00		3.17
Behördliche Begleitung		2.47		0.03		1.47		1.70
Fachabteilung Betrieb Anlage		8.80		0.03		4.73		6.23
Werkstätten		0.58		0.01		2.09		0.68
Laufende Prüfung und Instandhaltung		0.87		0.02		1.92		3.27
Instandhaltungsprojekte		0.35		0.00		0.18		0.58
Betrieb IT		1.27		0.01		0.37		1.41
Betriebs- und Unterhaltsachkosten		5.35		0.07		5.11		4.21
Betrieb Lagereinrichtungen		-		0.01		0.05		-
Sonstige betriebliche Aufwendungen		1.52		0.01		1.34		2.78
Projektleitung Rückbau	0.4%	2.85	0.2%	0.77	0.3%	1.86	0.3%	2.71
Gesamtprojektleitung		0.55		0.50		0.39		0.55
Übergeordnete Planungsmassnahmen		1.10		0.27		0.77		1.10
Leitung Teilprojekte		1.20		-		0.70		1.06

Angaben in Millionen Franken, Kosten KKB sind ohne die Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten bei der Stilllegung des Zwischenlagers Beznau ausgewiesen. Letztere werden gesondert in Tabelle 42 ausgewiesen. Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

Tabelle 42: Prognoseungenauigkeiten der Kostenschätzung für die Stilllegung des Zwischenlagers Beznau und des zentralen Zwischenlagers.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Kostenzuschlag für Prognoseungenauigkeiten			
	Zwibez		Zwilag	
Kostenzuschlag auf Basiskosten	in %	MCHF	in %	MCHF
Stilllegung und Rückbau Zwischenlager	12.1%	0.61	11.5%	11.11
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	3.8%	0.19	0.6%	0.62
Planerische Vorarbeiten		0.19		0.45
Erstellung der Gesuchsunterlagen				0.17
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen für den Rückbau	0.4%	0.02	0.4%	0.36
Umbau und Neueinrichtungen		0.02		0.26
Ausserbetriebnahmen				0.08
Anpassung Infrastruktur				0.03
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	4.0%	0.20	3.9%	3.71
Abbau Kontaminiert		0.09		2.83
Dekontamination der Gebäude		0.07		0.66
Abbau ausserhalb Kontrollierter Zone		0.04		0.20
Nachweisführung Areal / ex Areal				0.02
Behandlung und Verpackung	1.8%	0.09	1.0%	0.97
Nachzerlegung und Behandlung		0.02		0.10
Dekontamination von Einzelteilen		0.00		0.09
Konditionierung und Verpackung		0.03		0.51
Freimessung		0.04		0.26
Rückbaubetrieb	2.1%	0.11	5.7%	5.45
Laufende Prüfung und Instandhaltung				0.32
Überwachung				0.29
Sicherung / Arealüberwachung				0.42
Betriebs- und Unterhaltssachkosten und Behörde		0.11		4.42

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

5.5 Gefahren und Chancen

Unter der Leitung von swissnuclear identifizierte ein Kreis von Experten aus allen Schweizer Kernkraftwerken und den mit der Entsorgung radioaktiver Abfälle beauftragten Organisationen gemeinsam und unter Berücksichtigung werkspezifischer Gegebenheiten die Gefahren und Chancen, welche die Stilllegungskosten 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 Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten erhöht, um der Unsicherheit der Expertenschätzungen Rechnung zu tragen.

Für jede Gefahr wurden zwei Szenarien betrachtet – eines mit ungünstigem Verlauf und relativ hohen Auswirkungen, ein anderes mit relativ günstigem Verlauf und entsprechend geringeren Auswirkungen. Der Zuschlag ergibt sich durch die Summierung und Gewichtung der Ergebnisse beider Szenarien. Analog wurde für die Chancen vorgegangen.

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

In Kapitel 5.5.1 wird zunächst auf die identifizierten und berücksichtigten Gefahren einzeln eingegangen. Anschliessend werden in Kapitel 5.5.2 die bestehenden Chancenpotenziale dargestellt und beurteilt.

5.5.1 Kostenzuschläge für Gefahren

Gebührenaufwand, Versicherungen, Konzessionen

Erhöhung von Gebühren, Behördenaufwänden (einschliesslich Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat), Versicherungskosten, Ausgaben für Konzessionen und ähnliches, die in den heutigen Ist-Kosten vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs noch nicht berücksichtigt sind.

Entwicklung der Energiekosten (Strom und Heizöl)

Aufgrund von Preissteigerungen kommt es zu einer Erhöhung der Bezugskosten für Strom und Heizöl.

Ausstehende Klärung der Genehmigungsstruktur in der Schweiz

Der genaue Ablauf des Genehmigungsweges ist nicht exakt bis in alle Ebenen definiert.

Verzögerungen durch Einsprachen und Beschwerden

Nach Erhalt der Stilllegungsverfügung gibt es weitere durch die Öffentlichkeit zustimmungspflichtige Bewilligungen. Durch Einsprachen aus der Öffentlichkeit kann sich die Erteilung von Bewilligungen verzögern, was zu einer Verlängerung der Projektlaufzeit führt.

Verzögerungen bei der Entlassung aus der nuklearen Aufsicht

Das Behördenverfahren zur Entlassung der Kernanlage aus der nuklearen Aufsicht verzögert sich nach Abschluss der Dekontamination und Freimessung der Anlage.

Senkung der Freigabegrenzen für radioaktive Reststoffe einschliesslich der Kosten der Abklinglagerung

Alles Material aus der kontrollierten Zone ist auf Radioaktivität zu prüfen. Die Freigabegrenzwerte in der Strahlenschutzverordnung definieren die Schwelle, unter der ein Material als inaktiv betrachtet werden darf (Freigabemessung). Werden diese Werte gesenkt, so erhöht sich der Anteil an Material, das als radioaktiv betrachtet werden muss.

Veränderung der Annahmebedingungen des geologischen Tiefenlagers

Falls die bereits produzierten Abfallgebinde die bis spätestens zum Zeitpunkt des Einlagerns ins geologische Tiefenlager gültigen Annahmebedingungen nicht erfüllen, müssen sie eventuell am Ort der Zwischenlagerung umgepackt oder sogar neu konditioniert werden. Beispiele könnten sein: Zusatzabschirmungen, Verbot bestimmter Materialien, Mengenbeschränkungen bestimmter Materialien pro Gebinde, Abmessungen.

Änderungen der Verpackung für das geologische Tiefenlager

Während der Stilllegung gebräuchliche Verpackungen werden nicht mehr akzeptiert. Das geplante Vorgehen, kontaminiertes Betongranulat als Zuschlagsstoff für die Befüllung der Lagerbehälter für metallische radioaktive Abfälle zu verwenden, kann nicht umgesetzt werden.

Auftreten von Alpha-Kontamination

Während des laufenden Betriebs vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs tritt ein Brennelementschaden auf. Hierbei kommt es zu einer umfänglichen Kontamination des Primärkreislaufes und der angeschlossenen Systeme (sowie beim Siedewasserreaktor der Turbine, des Kondensators und anderer Komponenten). Die defekten Brennelemente werden noch während des laufenden Betriebs aus dem Reaktor-druckbehälter entfernt. Eine Restkontamination inklusive einer Alpha-Kontamination im Primärkreislauf bleibt zurück.

Verfügbarkeit von externen Spezialisten

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

Kontamination in konventionellen Gebäuden und auf dem Kraftwerksgelände beziehungsweise Mehraufwand bei der Dekontamination der nuklearen Anlagenteile

Bei den konventionellen Gebäuden und dem Gelände verursacht nicht erwartete Kontamination höheren Aufwand für Dekontamination. Bei der Dekontamination der nuklearen Anlagenteile müssen zusätzliche nicht geplante statische Sicherungsmassnahmen ergriffen werden.

Entwicklung bei eingesetzten Verfahren und Geräten

Aufgrund von externen Faktoren – zum Beispiel Forderungen des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats – müssen andere Verfahren und Geräte für die Stilllegung eingesetzt werden, als in der Planung berücksichtigt wurden.

Abbruchmaterial kann nicht zu 80 Prozent kostenneutral verwertet werden

Es wird davon ausgegangen, dass der anfallende Betonschutt zerkleinert, von der Bewehrung getrennt und danach zu 20 Prozent auf eine Deponie gebracht und zu 80 Prozent kostenneutral anderweitig (zum Beispiel im Strassenbau) verwertet wird. Sollte dies nicht möglich sein, weil sich beispielsweise keine Abnehmer für konventionellen Bauschutt finden oder wegen regulatorischer Hürden, muss auch dieser kostenpflichtig entsorgt werden.

Unerwartet hohes Auftreten konventioneller Schadstoffe

Es treten deutlich höhere Mengen an konventionellen Schadstoffen auf als geplant. Grund hierfür kann zum Beispiel ein unzureichendes Schadstoffkataster (für ältere Anlagen) sein.

Mehraufwand für die Primärkreislaufdekontamination

Die Primärkreislaufdekontamination kann nicht wie geplant durchgeführt werden oder erfordert einen höheren Aufwand als geplant.

Marktentwicklung bei spezifischen Tätigkeiten mit nuklearem Rückbau-Know-how

Mit zunehmender Nachfrage bei den europäischen nuklearen Rückbauprojekten könnte es zu Konzentration auf dem Anbietermarkt und zu einer Verknappung der Expertise kommen.

Ausfall eines wichtigen Vertragspartners

Während des Rückbaus kommt es zum Ausfall eines relevanten Vertragspartners. Es wird davon ausgegangen, dass die einzelnen Rückbauprojekte in Losen vergeben werden. Der Ausfall eines Partners könnte eine Neuausschreibung der Leistungen mit der Gefahr eines Projektverzugs und den damit verbundenen Mehrkosten zur Folge haben.

5.5.2 Kostenabzüge für Chancen

Manche Ereignisse können sich entweder im Eintrittsfall als Risiko und somit kostenerhöhend auswirken oder ein Potenzial zur Kostenminderung beinhalten und sind deshalb sowohl als Risiko wie auch als Chance erfasst. Dies trifft auf die ersten drei der im Folgenden einzeln aufgeführten Chancenpotenziale zu.

Gebührenaufwand, Versicherungen, Konzessionen

Geringere Ausgangskosten für Versicherungen, Konzession, niedrigerer Behördenaufwand.

Entwicklung der Energiekosten (Strom und Heizöl)

Aufgrund von Preisrückgängen kommt es zu einer Reduktion der Bezugskosten für Strom und Heizöl.

Entwicklung bei eingesetzten Verfahren und Geräten

Es stehen andere, bessere Verfahren und Geräte für die Stilllegung zur Verfügung als in der Planung berücksichtigt.

Parallelisierung von Nachbetrieb und Rückbau

Bereits während des Nachbetriebs können Rückbautätigkeiten durchgeführt werden. Dadurch ergibt sich neben den Synergien aus der Parallelisierung im Nachbetrieb vor allem eine verkürzte Projektlaufzeit.

Einrichtung von gemeinsamen Bearbeitungskapazitäten

Es werden von den Betreibern gemeinsam Anlagen zur Behandlung und Konditionierung von Materialien aus dem Rückbau angeschafft.

Vollständiger Rückbau sämtlicher Anlagenteile bis 2 Meter unter der Oberfläche

Diese Chance ist nur anwendbar für die Variante vollständiger Rückbau. Anstelle eines vollständigen Entfernens aller Fundamente werden Gebäudestrukturen sowohl für den nuklearen Teil wie auch für den konventionellen Teil nur bis zu einer Tiefe von 2 Metern zurückgebaut, so dass Kosten eingespart werden.

Stilllegungskosten Zwiilag Zwischenlager Würenlingen AG: Keine Umkonditionierung der Lucens-Abfälle

Für die Einlagerung der Rückstände ins Tiefenlager wird keine aufwendige Umkonditionierung notwendig. Dadurch fallen die Kosten niedriger aus als geschätzt.

5.5.3 Quantifizierung der Zuschläge für Gefahren und Chancen

Gemäss Vorgabe für die Kostenstudie 2016 wurden die Kostenzuschläge für Gefahren auf der Basis einer quantitativen Risikoanalyse ermittelt. Dazu wurde für jede der oben beschriebenen Gefahren deren Eintrittswahrscheinlichkeit und Kostenfolge aufgrund von Expertenwissen abgeschätzt. Der so errechnete Zuschlag wurde in die Gesamtkosten eingerechnet. Mit Chancen wurde analog verfahren.

Die Zuschläge für Gefahren und Abzüge für Chancen wurden nicht auf die einzelnen PSP-Elemente der Kalkulation zurückgerechnet. Die Zuschläge und Abzüge erfolgen auf die ermittelten Basiskosten. Tabelle 43 zeigt die anzubringenden Zuschläge für Gefahren und Abzüge für Chancen für jede der untersuchten Anlagen.

Tabelle 43: Kostenzuschlag Gefahren und Kostenabzug für Chancen.

	KKB ¹⁾	KKM	KKG	KKL	Zwilag	Total
Kostenzuschlag für Gefahren	126	78	118	149	21	491
in % der Basiskosten	18.0%	17.9%	18.6%	18.1%	21.4%	18.2%
Kostenabzug für Chancen	-17	-5	-16	-49	-7	-94
in % der Basiskosten	-2.4%	-1.0%	-2.6%	-6.0%	-6.9%	-3.5%
Kostenzuschlag insgesamt für Gefahren und Chancen	109	73	102	99	14	398
in % der Basiskosten	15.6%	16.9%	16.0%	12.1%	14.7%	14.8%

¹⁾ KKB einschliesslich Zwischenlager Beznau

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

Für die Schweizer Kernanlagen wurden im Rahmen der Erstellung der Kostenstudie 2016 die kostenerhöhenden Risiken und kostenmindernden Chancen der nuklearen Rückbauprojekte analysiert. Das Ergebnis dieser Analyse ist ein Risikoprofil, das für alle untersuchten Anlagen ähnlich ist. Für die Erstellung des Risikoprofils wurden die in den Kapiteln 5.5.1 und 5.5.2 einzeln beschriebenen Risiken und Chancen gruppiert und die Gruppierungen nach Eintrittswahrscheinlichkeit und Kostenfolge bei Eintritt des Risikos oder der Chance in einer Risikomatrix dargestellt. Abbildung 8 zeigt exemplarisch die für die Stilllegung der Kernanlagen ermittelte Risikomatrix.

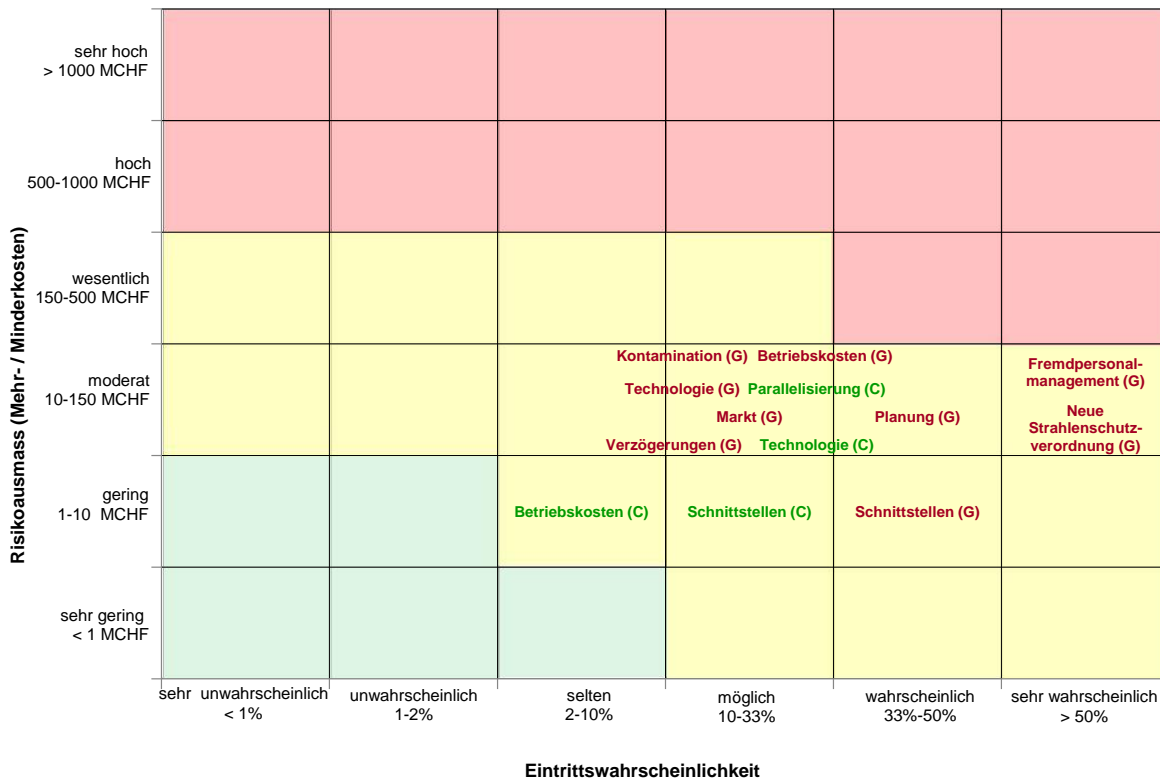


Abbildung 8: Risikomatrix Stilllegungskosten (exemplarisch).

Die Zuschläge in der Kostenstudie 2016 beziehen sich auf Risiken und Chancen mit geringen bis wesentlichen Kostenfolgen bei gleichzeitig seltenem bis sehr wahrscheinlichem Eintritt (gelb eingefärbter Bereich der Risikomatrix). Risiken und Chancen mit geringen und sehr geringen Kostenfolgen und sehr unwahrscheinlichem oder unwahrscheinlichem Eintritt haben nur geringe Auswirkungen auf die Gesamtkosten des Projekts und sind daher vernachlässigbar (grün eingefärbter Bereich der Risikomatrix). Sie sind zudem auch über die Prognoseungenauigkeiten berücksichtigt. Der Rückbau von Kernanlagen ist grundsätzlich technisch gelöst. Realdaten und Erfahrungen aus bereits in Abwicklung befindlichen beziehungsweise bereits abgewickelten Rückbauprojekten sind verfügbar und werden bei der Planung und Durchführung berücksichtigt. Aus diesen Gründen steht nicht zu erwarten, dass sich Risiken mit sehr hohen Kostenfolgen bei der Durchführung des definierten Ablaufs ergeben werden. Jede andere Erwartung würde eine Anpassung der Rückbauplanung auslösen (rot eingefärbter Bereich der Risikomatrix).

Kostenfolgen nicht berücksichtigter Gefahren und Chancen

Im Rahmen der Risikobetrachtung wurden über die in Kapitel 5.5.1 und Kapitel 5.5.2 aufgeführten Risiken hinaus eine Vielzahl weiterer Chancen und Gefahren identifiziert und evaluiert, jedoch in der Kostengliederung nicht explizit berücksichtigt. Die Gründe für die Nichtberücksichtigung lassen sich differenzieren. Es gibt Gefahren und Chancen, die bereits über andere, berücksichtigte Gefahren und Chancen abgedeckt sind, versicherte Gefahren und Gefahren, die über berücksichtigte risikomindernde Massnahmen weitestgehend vermieden werden können. Zusätzlich wurde eine Anzahl von Chancen beziehungsweise Kostenoptimierungspotenzialen identifiziert, die keinen Eingang in die Kostengliederung fanden. Es handelt sich dabei um Potenziale, die für eine Quantifizierung und Berücksichtigung in einer Kostenstudie weiterer Analysen 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 zwei Prozent der ursprünglich vorhanden gewesenen. 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.

5.6 Sicherheitszuschlag

Der in Kapitel 3.2.2 als letztes Element der Kostengliederung diskutierte Sicherheitszuschlag soll der Neigung von Projektanten Rechnung tragen, Risiken systematisch zu unterschätzen und eigene Leistungen sowie jene Dritter zu überschätzen. Mit der Kostengliederung und vor allem in ihrer Umsetzung wurden eine Reihe sehr wirksamer Instrumente eingeführt, um einer allfälligen Neigung zu unberechtigtem Optimismus in der Kostenschätzung entgegen zu wirken. Unabhängige Gutachter führten die Kostenschätzung durch, ein auf Risikoanalysen in Infrastrukturprojekten spezialisiertes unabhängiges 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 ebenfalls unabhängiges Risikoboard überprüft. Somit würde ein weiterer Sicherheitszuschlag der ansonsten sehr transparenten Methodik der Kostengliederung einen nicht transparenten, pauschalen Zuschlag hinzufügen. Dieser würde sich zudem nicht an der über die anderen Elemente der Kostengliederung abgedeckten Planungsunsicherheit orientieren. Es gibt daher keinen Grund für einen weiteren Sicherheitszuschlag.

5.7 Vor endgültiger Einstellung des Leistungsbetriebs anfallende Stilllegungskosten

Die Verwaltungskommission hat im November 2015 entschieden, dass in Anlehnung an die Vorgehensweise bei den Entsorgungskosten die Stilllegungskosten vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs direkt und laufend durch die Eigentümer zu bezahlen und daher nicht im Stilllegungsfonds sicherzustellen sind. Die Stilllegungskosten vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs werden daher in dieser Studie gesondert ausgewiesen. Sie sind in den in Kapitel 5 ausgewiesenen Gesamtkosten enthalten.

Die Stilllegungspläne für die Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt sowie das zentrale Zwischenlager der Zwilag werden planmässig 2021 angepasst. Insofern werden die erwarteten vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs anfallenden Stilllegungskosten für die betreffenden Werke pauschal ausgewiesen.

Vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs fallen insbesondere Kosten im Zusammenhang mit der Erarbeitung des Stilllegungsprojekts und dem Erwirken der Stilllegungsverfügung sowie für übergeordnete planerische Aufgaben im Rahmen der Gesamtprojektleitung an. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 44 zusammengefasst.

Tabelle 44: Stilllegungskosten vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs.

Stilllegungskosten vor EELB	EELB	Stilllegungs- kosten vor EELB
Kernkraftwerk Beznau ¹⁾	2020	54
Kernkraftwerk Mühleberg	2019	87
Kernkraftwerk Gösgen	2029	52
Kernkraftwerk Leibstadt	2034	47
Zwischenlager Würenlingen	2071	7
Gesamtsumme		247

¹⁾ Kernkraftwerk Beznau einschliesslich Zwischenlager Beznau.

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

5.8 Gesamtkosten der Stilllegung

Die Resultate der Kostenschätzung sind in der Tabelle 45 zusammengefasst.

Tabelle 45: Vergleich der Stilllegungskosten, KS16 und KS11 (PB16).

Element der Kostengliederung	KKB ¹⁾		KKM		KKG		KKL		Zwilag		Total	
Aufgelaufene Kosten bis 2015	-		19		-		-		-		19	
Zukünftige Kosten ab 2016												
Ausgangskosten	681		423		620		804		94		2'622	
Kosten zur Risikominderung	19		13		14		18		3		67	
Basiskosten	701		436		635		822		96		2'689	
Prognoseungenauigkeiten	12.8%	90	8.3%	36	11.1%	70	11.4%	94	11.5%	11	11.2%	301
Zuschlag für Gefahren	18.0%	126	17.9%	78	18.6%	118	18.1%	149	21.4%	21	18.2%	491
Abzug für Chancen	-2.4%	-17	-1.0%	-5	-2.6%	-16	-6.0%	-49	-6.9%	-7	-3.5%	-94
Sicherheitszuschlag	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-
Zuschlag auf zukünftige Basiskosten	28.4%	199	25.1%	109	27.0%	172	23.5%	193	26.0%	25	26.0%	698
Gesamtkosten	900		564		806		1'015		121		3'406	
Stilllegungskosten bis zur endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs	54		87		52		47		7		247	
Bemessungsgrundlage Fondsbeiträge	845		477		755		968		114		3'160	
Gesamtkosten KS11 PB16	872		524		714		991		102		3'204	
Differenz Absolut	28		39		92		24		19		202	
Differenz (%)	3.2%		7.5%		12.9%		2.4%		18.9%		6.3%	

¹⁾ KKB einschliesslich Zwischenlager Beznau

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

PB16 = Preisbasis 2016, KS11 = Kostenstudie 2011, KS16 = Kostenstudie 2016.

Die Stilllegungskosten für alle Schweizer Kernanlagen belaufen sich auf 3'406 Millionen Franken. Die Stilllegungskosten der Kostenstudie 2011 sind ebenfalls aufgeführt und mit den Kosten der Kostenstudie 2016 auf Preisbasis 1. Januar 2016 verglichen.

Die Stilllegungskosten der Kostenstudie 2016 steigen teuerungsbereinigt um sechs Prozent gegenüber der Kostenstudie 2011. Ein Auslöser für die Kostensteigerung ist die Einführung der Kostengliederung. Der Zuschlag auf die Basiskosten beträgt in der Kostenstudie 2016 26 Prozent auf die zukünftigen Basiskosten.

Die wichtigsten Änderungen gegenüber der Kostenstudie 2011 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Erkenntnisse aus laufenden Rückbauprojekten im Ausland wirken sich teilweise kostenerhöhend aus. Dies betrifft insbesondere in Vergleichsprojekten beobachtete Mehraufwände beim Restausbau von Einrichtungen in der kontrollierten Zone sowie bei projektbegleitenden Massnahmen wie zum Beispiel Gerüstbau und begleitender Strahlenschutz in den nuklearen Rückbaugewerken.
- Die geplante Revision der Strahlenschutzverordnung verursacht in Verbindung mit der Berücksichtigung der Abklinglagerung einen erhöhten Dekontaminations- und Verpackungsaufwand, einen Anstieg der anteiligen Stilllegungsabfälle und Kosten für die Errichtung und den Betrieb der Abklinglager. Die Mehrkosten sind in Form eines Gefahrenzuschlags zu den Basiskosten berücksichtigt.
- Die Analyse der Fremdpersonalkostensätze auf Basis aktueller Beauftragungen führte zu einer Kostenanpassung.

- Kostenreduzierend wirken sich neue Erkenntnisse bei der Zusammensetzung von Arbeitsteams in den Rückbaugewerken sowie zum Teil reduzierte Rückbaubetriebskosten aus.
- Die Berücksichtigung von Chancen, insbesondere der Chance der Überlappung von Nachbetriebs- und Stilllegungsaktivitäten, hat bei den Kernkraftwerken Beznau, Gösgen und Leibstadt tiefere Kosten zur Folge. Beim Kernkraftwerk Mühleberg ist dies aufgrund des vorliegenden Stilllegungsprojekts schon in den Basiskosten berücksichtigt.
- Eine weitere Veränderung gegenüber den Resultaten der Kostenstudie 2011 ist mit dem in der Basisvariante betrachteten Stilllegungsziel zu begründen. In der Kostenstudie 2011 waren die Kosten des konventionellen Rückbaus bis zu einer Tiefe von zwei Metern unter der Geländeoberfläche enthalten. In der Basisvariante der Kostenstudie 2016 wird das Stilllegungsziel Abschluss der Stilllegungsarbeiten und Entlassung der Standorte aus dem Kernenergiesetz zugrunde gelegt. Das bedeutet, dass das Stilllegungsziel erreicht ist, wenn sämtliche nuklearen Stilllegungsarbeiten abgeschlossen sind und vom Standort keine radiologische Gefährdung mehr ausgeht. Die am Standort verbleibenden Gebäude und Einrichtungen können einer anderweitigen Verwendung zugeführt werden. Zusätzlich zu der hier beschriebenen Basisvariante werden die Stilllegungskosten inklusive der Kosten des konventionellen Rückbaus in der Kostenstudie 2016 als Variante im Teilbericht Kostenschätzung der Stilllegungskosten ausgewiesen.

Die vergleichsweise starke Erhöhung der Stilllegungskosten des Kernkraftwerks Gösgen ist darauf zurückzuführen, dass sich aufgrund des kurzen Nachbetriebs die Rückbaubetriebskosten zu Beginn des Rückbaus noch auf einem höheren Niveau befinden. Bei den Stilllegungskosten der Anlagen der Zwilag führen hauptsächlich die Einführung der Kostengliederung und neue Erkenntnisse aus Vergleichsprojekten zu einer Kostensteigerung.

5.9 Währungsanteile bei den Stilllegungskosten

Die ermittelten Stilllegungskosten für die Schweizer Kernkraftwerke sind in Schweizer Franken angegeben. Da bis heute keine grösseren Rückbauprojekte auf kerntechnischem Gebiet in der Schweiz abgewickelt wurden, ist der Bestand an Firmen, die auf diesem Gebiet tätig sind, noch gering. Deshalb erscheint es aus heutiger Sicht wahrscheinlich, dass einige Lieferungen und Leistungen für den Rückbau eines Kernkraftwerkes im Ausland eingekauft werden müssen. Diese Lieferungen und Leistungen sind auf dem europäischen Markt verfügbar (zum Beispiel in Frankreich oder Deutschland), so dass eine Aufteilung der Stilllegungskosten in Schweizer Franken und Euro momentan ausreichend ist.

Ausländische Firmen dürften vor allem für folgende Aufgaben bei der Stilllegung der Schweizer Kernanlagen als Vertragspartner in Frage kommen:

- Lieferung von hoch abschirmenden Behältern für die Lagerung radioaktiver Abfälle.
- Fernhantierungseinrichtungen für die Demontage der Einbauten des Reaktordruckbehälters und des Reaktordruckbehälters selbst.
- Verfahren zur Systemdekontamination.
- Personelle Unterstützung bei der Planung und Durchführung des Rückbaus.

Legt man die geschätzten Kosten für die oben genannten Lieferungen und Leistungen in den Stilllegungskosten zugrunde, dürfte der Fremdwährungsanteil in der Grössenordnung von rund 20 Prozent liegen.

In der Kostenstudie 2016 sind alle Kosten in Schweizer Franken ausgewiesen.

A Anhänge

A.1 Projektstrukturplan

In den Vorgängerstudien wurden zur Planung und Kostenermittlung die Massnahmen der Stilllegung in einem Projektstrukturplan hierarchisch auf verschiedenen Ebenen zusammengestellt. Die Inhalte und damit die zu kalkulierenden Kosten wurden in Arbeitspaketen zusammengefasst. Die in der Kostenstudie 2011 für die Stilllegungsprojekte verwendete Kostenstruktur wird von dem mit der Schätzung beauftragten Unternehmen seit vielen Jahren für die Kostenschätzung von Rückbauprojekten verwendet. Es handelt sich um eine standardisierte Kostenstruktur, die sich besonders für Kostenermittlungen in einer frühen Planungsphase eignet. Die Struktur ist indessen für die konkrete Projektplanung und -durchführung zu wenig detailliert und flexibel, um den planerischen, technischen und kaufmännischen Anforderungen gerecht zu werden. Deshalb wechseln viele Betreiber mit der Konkretisierung der Projekte auf Strukturvarianten mit mehr Detailtiefe und Flexibilität.

Für die vorliegende Kostenstudie 2016 wurden daher die Kostenstrukturen der Kostenstudie 2011 für den Bereich Stilllegung weiterentwickelt und angepasst. Damit wird einerseits eine verbindliche Basis für die Kostenplanung der Stilllegung des Kernkraftwerks Mühleberg geschaffen. Andererseits wird eine für die Schweizer Kernanlagen allgemein anwendbare Kostenstruktur festgelegt, die sich durchgehend in der Kostenplanung, -steuerung und -kontrolle anwenden lässt und so aussagekräftige Kostenvergleiche ermöglicht. Die neue Kostenstruktur orientiert sich an den Anforderungen der Eigentümer und des Stilllegungsfonds in der Projektabwicklung. Sie weist im Gegensatz zur bisherigen Struktur eine rein funktionale Gliederung auf der Ebene der Hauptaktivitäten auf.

Die Kostenstruktur der Kostenstudie 2016 ist auf die Erfordernisse der Projektabwicklung ausgerichtet. Die Arbeitspakete auf der zweiten Gliederungsebene wurden im Vergleich zur Kostenstudie 2011 umgruppiert und gestrafft. Die wesentliche Anpassung ist die Verdichtung der in der Vorgängerstudie detailliert geplanten Demontagemassnahmen für die Arbeitspakete kontrollierte Zone, Reaktordruckbehälter, dessen Einbauten, biologischer Schild und Drywell (Sicherheitsbehälter), Restdemontage kontrollierte Zone, Dekontamination sowie Freigabe in ein einziges funktionales Paket. Die Gliederung in einzelne Massnahmen erfolgt nun auf den nachgelagerten Gliederungsebenen. Weiter wird die bisher auf mehrere Arbeitspakete verteilte Projektleitung aufgrund der Bedeutung für das Gesamtprojekt in einem eigenen funktionalen Paket zusammengefasst. Die Kostenstruktur ist bis zur dritten Gliederungsebene fixiert und für alle Kernanlagen einheitlich. Ab der vierten Gliederungsebene ist die Definition der Kostenstruktur aus abwicklungstechnischer Sicht betreiberindividuell festgelegt.

Die Gesamtheit der Stilllegungsaktivitäten ist in der verwendeten Projektstruktur in acht funktionalen Paketen abgebildet. Sie geben den Gesamtumfang der Stilllegungsmassnahmen wieder. Für die Ermittlung der Stilllegungskosten werden die aufgeführten Massnahmen in Arbeits- und Kostenschritten zusammengefasst. Die Inhalte der funktionalen Pakete sind nachfolgend kurz erläutert:

Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung

Für die Stilllegung muss der Eigentümer der Kernanlage der zuständigen Aufsichtsbehörde innerhalb einer von dieser festgesetzten Frist ein Projekt für die vorgesehene Stilllegung vorlegen. Dieses Stilllegungsprojekt legt für die Stilllegung die Phasen und den Zeitplan, die einzelnen Schritte von Demontage und Abriss, die Schutzmassnahmen, den Personalbedarf und die Organisation, die Entsorgung der radioaktiven Abfälle, die Gesamtkosten sowie die Sicherstellung der Finanzierung durch die Betreiberin dar⁶⁸.

⁶⁸ Art. 27 Abs. 2 KEG [9].

Die zum Stilllegungsprojekt einzureichenden Unterlagen sind in der Kernenergieverordnung⁶⁹ festgelegt. Hierzu gehören:

- die Beschreibung und Auswahl der Stilllegungsvariante.
- die Ermittlung des radiologischen Zustands der Anlage.
- die Darlegung der einzelnen Massnahmen des Rückbaus.
- die Beschreibung des Freigabeverfahrens.
- die Beschreibung der Sicherungsmassnahmen und Störfallbetrachtungen.
- Ausführungen zur Personalorganisation und der erforderlichen Anzahl an geeignetem und fachlich ausgewiesenem Personal.
- das Qualitätsmanagementprogramm.
- ein Umweltverträglichkeitsbericht.
- die Zusammenstellung sämtlicher für die Stilllegung anfallender Kosten und der Nachweis für die Sicherstellung der Finanzierung.

Das zuständige Departement wird in einer Stilllegungsverfügung die Stilllegungsarbeiten anordnen und zudem festlegen, welche Arbeiten einer Freigabe durch die Aufsichtsbehörde bedürfen.

Vorbereitungs- und Umbaumasnahmen für den Rückbau – standortbezogen

In diesem funktionalen Paket werden die zur Vorbereitung des Rückbaus notwendigen Umbaumasnahmen und Neueinrichtungen zusammengefasst.

Für die Stilllegung werden so weit möglich vorhandene Betriebssysteme eingesetzt, jedoch sind für die Demontagen und die Entsorgung einige Vorbereitungsarbeiten am Standort und in den Gebäuden notwendig. Hierbei handelt es sich im Wesentlichen um:

- Modifikationen und Neueinrichtungen an der Infrastruktur, um sie an die Anforderungen der Stilllegung anzupassen.
- Modifikationen verschiedener Einrichtungen (zum Beispiel Brandschutz, Lüftung, Abwasser, Hebezeuge, Transportmittel), eventuell auch Neueinrichtungen.
- In begrenztem Umfang auch bauliche Ergänzungen beziehungsweise Umbauten (zum Beispiel Vergrösserung von Durchgängen).
- Einrichtung verschiedener Lagerplätze.
- Beschaffung der Geräte und Einrichtungen für Dekontamination, Konditionierung und Entsorgung, Freimessanlage usw.

Vorbereitungs- und Umbaumasnahmen für den Rückbau – blockbezogen

Die Kosten für Massnahmen zur Ausserbetriebnahme von nicht mehr benötigten Systemen, die Kosten für die In-Situ-Dekontamination der Kreisläufe sowie die für systemtechnische Anpassungen und Ersatzsysteme sind in diesem Paket zusammengefasst. Die Ausserbetriebnahme von Systemen kann direkt nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs im Rahmen der noch geltenden Betriebsbewilligung durchgeführt werden.

Um die Dosisleistung in der Anlage zu reduzieren und damit die Rückbauarbeiten zu vereinfachen, werden verschiedene Kreisläufe dekontaminiert. Die bei der Dekontamination anfallenden radioaktiven Abfälle werden entsprechend dem Schweizer Regelwerk⁷⁰ konditioniert, ggf. unter Verwendung von Gussbehältern. Die Kosten für die Konditionierung und die Behälter werden dem funktionalen Paket «Behandlung, Verpackung, Entsorgung, einschliesslich Endlagerung» zugeordnet.

⁶⁹ Art. 45 KEV [11].

⁷⁰ Ensi-B05 [33] sowie Vereinbarungen mit der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra).

Im Rahmen des Rückbaus werden verschiedene Systeme zwar weiterhin benötigt, jedoch nicht in derselben Dimension wie während des Betriebs. Um sowohl Instandhaltungsaufwand als auch Aufwand für wiederkehrende Prüfungen einzusparen, werden neue Systeme installiert. Darunter können zum Beispiel Systeme wie Heizung, Abwasser oder Druckluftversorgung fallen.

Abbau der Komponenten und Einrichtungen

Im funktionalen Paket «Abbau der Komponenten und Einrichtungen» werden kostenmässig alle Projekte zusammengefasst, die von der Vorbereitung des Abbaus bis zur Nachweisführung der Kontaminationsfreiheit der Gebäude und des Geländes der kontrollierten Zone notwendig sind. Die einzelnen Projekte in diesem funktionalen Paket werden nach einem gleichartigen, standardisierten Vorgehen gegliedert:

- Vorlaufende Planung (Vor- und Konzeptplanung, Vergabe, Detailplanungen).
- Projektbegleitende Massnahmen (Projekt- und Bauleitung, Aufsicht vor Ort, Strahlenschutz vor Ort, interner Transport, begleitende Dekontamination, Durchführungsplanung, Gerüstbau).
- Vorbereitungsarbeiten, zum Beispiel systemtechnische Massnahmen, bautechnische Massnahmen.
- Durchführung, zum Beispiel Demontage Komponenten im Reaktorgebäude, Teildemontage Infrastruktur Reaktorgebäude.

Jeder einzelne dieser Projektschritte wird gesondert kalkuliert. Inhaltlich lassen sich folgende Projekte unterscheiden:

- «Abbau Vorlaufend/Mobil» beinhaltet frühzeitige Massnahmen zur Vorbereitung auf den Abbau von Komponenten und Einrichtungen wie das Entfernen mobiler Einrichtungen, das Abisolieren von Systemen, Asbestentsorgung und Gefahrstoffsanierung.
- Der Abbau kontaminierter Einrichtungen und Systeme, die für die Demontage der aktivierten Teile nicht mehr benötigt werden. Die Projekte werden anlagenspezifisch definiert und kalkuliert. Solche in der Kostenstudie berücksichtigte, anlagenspezifische Projekte betreffen beispielsweise die Brennelementwechsellaschine, Lagergestelle im Brennelementbecken, Hauptkühlmittelleitungen und -pumpen, Motoren, Dampferzeuger, Druckhalter und Abblasebehälter, Komponenten im Reaktorgebäude, Komponenten im Ringraum, Komponenten im Hilfsanlagegebäude, Komponenten im Nasslager einschliesslich Kühltürme und andere.
- Zum Abbau aktivierter Komponenten und Einrichtungen gehören die Demontage des Reaktordruckbehälters und seiner Einbauten sowie des biologischen Schildds.
Die Demontage der Einbauten erfolgt aufgrund der Aktivierung der Bauteile fernbedient und unter Wasser. Nach der Installation der Zerlegeeinrichtungen und der Montage eines abgeschirmten Steuerhauses erfolgt der Rückbau von oben nach unten. Zur Ermittlung der Kosten für die Projektdurchführung werden folgende Kostenbestandteile einzeln kalkuliert:

- Einrichten der Baustelle, Druckbehälter-Deckel abheben und absetzen.
- Demontieren Steuerstabführungseinsätze, oberes Kerngerüst, Kernumfassung, Kernbehälter und unterer Rost mit Stauplatte.
- Auflösen der Baustelle.

Nach den Einbauten erfolgt die Demontage des Reaktordruckbehälters selbst. Folgende Massnahmen werden in der Kalkulation berücksichtigt:

- Einrichten Baustelle.
- Verpacken Reaktordruckbehälter-Bolzen/Muttern/U-Scheiben.
- Zerlegen des Reaktordruckbehälterdeckels.
- Demontage/Zerlegen Reaktordruckbehälterflansch inkl. Stutzenring.
- Demontage/Zerlegen konischer Schuss unter Stutzenring.
- Demontage/Zerlegen zylindrische Schüsse.
- Zerlegen Kalotte.

- Demontage Reaktordruckbehälterisolierung und als letzter Schritt.
- das Auflösen der Baustelle.

Beim Rückbau des biologischen Schilds fallen folgende Arbeiten an:

- Einrichten Baustelle.
 - Demontage Isolierung Unterteil.
 - Demontage Biologischer Schild inkl. Liner.
 - Schreddern des Biologischen Schildes inkl. Liner.
 - Auflösen der Baustelle.
- Jede Arbeit wird einzeln kalkuliert und kostenmässig berücksichtigt.
 - Nach Abschluss der aktivierten Abbauarbeiten werden die Betonstrukturen des Brennelementbeckens sowie des Reaktorraums unter nuklearen Bedingungen herausgebrochen. Die Kosten für die damit im Zusammenhang stehenden Arbeiten werden in der Projektgruppe «Abbau Betonstrukturen» ausgewiesen.
 - Der Abbau der restlichen Einrichtungen schliesst sich an die Demontage der aktivierten Komponenten und Einrichtungen an. Dieser beinhaltet die Demontage der noch vorhandenen Systeme und Komponenten wie elektrische Einrichtungen, Kabel/Kabelpitschen, Hebezeuge, Lüftungsanlage, Stahlbau.
 - Der Abbau ausserhalb der kontrollierten Zone betrifft die Demontage der konventionellen Einrichtungen am Standort. In der Kalkulation werden neben den Demontagekosten auch die Deponiekosten inkl. Transport sowie Erlöse aus dem Verkauf von ausgebautem Material berücksichtigt.
 - Die Projekte zur Dekontamination der Gebäude umfassen die Summe der Kosten aller Massnahmen zur Dekontamination und Freimessung der Gebäudestrukturen in der kontrollierten Zone. Die Kosten hierfür wurden nach folgendem Schema ermittelt: Detailplanung, Unterlagererstellung, Gerätekosten, projektbegleitende Massnahmen, Dekontamination, Dekontamination der Gebäudeoberflächen (Abtrag), Handling Oberflächenabtrag, Freigabemessung und Freigabeverfahren.
 - Die Projekte «Auszonung der Gebäude und Nachweisführung Areal sowie ex Areal» beinhalten die Kosten für die Nachweisführung der Kontaminationsfreiheit der Gebäude und des Geländes der kontrollierten Zone.

Behandlung, Verpackung, Entsorgung inkl. Endlagerung

Nach der Demontage der Einrichtungen werden die demontierten Teile bereits am Entstehungsort (Einbauort) grob vorsortiert und zur weiteren Behandlung gegeben. Danach erfolgt nach einer entsprechenden Freimessung⁷¹ die Freigabe oder, falls eine Freigabe nicht möglich ist, die Konditionierung als radioaktiver Abfall. Das funktionale Paket Behandlung, Verpackung, Entsorgung inkl. geologischer Tiefenlagerung beinhaltet im Wesentlichen die Kalkulation der Kosten für folgende Aktivitäten:

- Nachzerlegen und Behandlung mit den Teilschritten Nachzerlegung Primärmaterial, Kabel Schreddern, begleitende Massnahmen, Wartung und Instandhaltung.
- Dekontamination von Einzelteilen mit den Teilschritten Dekontamination von Primärmaterial, Behandlung Sekundärabfälle (Verdampfen), begleitende Massnahmen, Wartung und Instandhaltung.
- Konditionierung und Verpackung mit den Teilschritten, Hochdruck-Pressen-Primärabfälle, Hochdruck-Pressen-Sekundärabfälle, Konditionierung und Verpackung radioaktiver Abfall, Abfallbehälter, externe Bearbeitung (inkl. Transport), Transportkosten geologisches Tiefenlager, zuteilbare Kosten geologisches Tiefenlager, begleitende Massnahmen, Wartung und Instandhaltung.
- Freimessung, konventionelle Entsorgung, Erlöse mit den Teilschritten Freimessen Reststoffe, konventionelle Entsorgung (kostenneutral), konventionelle Entsorgung (Deponiegebühren), Erlöse, begleitende Massnahmen, Wartung und Instandhaltung.

⁷¹ Ensi-B04 [32].

- Abbau Einrichtungen zum Rückbau und zur Materialbearbeitung mit den Teilschritten Demontage Servicebereich Maschinenhaus, Erlöse aus dem Verkauf der Einrichtungen.
- Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen (Kosten hierfür werden in der Basisvariante nicht ausgewiesen).

Das funktionale Paket „Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen“ beinhaltet die erforderlichen Aufwendungen für die Beseitigung der gesamten Gebäudestrukturen (inkl. aller Fundamente) und die Rekultivierung des Geländes. Die hier ermittelten Kosten betreffen den Abbruch und die Beseitigung aller Gebäude und Gebäudestrukturen der kontrollierten und nicht kontrollierten Zone sowie die Erlöse aus dem Verkauf von Materialien.

Rückbaubetrieb

Das funktionale Paket Rückbaubetrieb umfasst alle Leistungen, um den Betrieb der Baustelle zu ermöglichen und aufrecht zu erhalten. In diesem funktionalen Paket sind die erforderlichen Betriebs- und Unterhalts-sachkosten sowie die übrigen Aufwendungen zusammengefasst. Hierzu gehört auch die Bewachung der Anlage bis zur Entlassung des Standortes aus dem Kernenergiegesetz⁷². Für die vorliegende Kostenermittlung wird angenommen, dass die Behörden beziehungsweise von ihr beauftragte Gutachter den Fortgang der Arbeiten permanent überwachen. Die wesentlichen Aufwendungen sind in den folgenden Paketen zusammengefasst:

- Verwaltung/Administration (Kraftwerksleitung, Verwaltung, Technische Dienste, Notfallorganisation, Informatik).
- Überwachung (Strahlenschutz, Personenüberwachung, Dosimetrie, Umgebungsüberwachung, Arbeitsschutz, Brandschutz, Kontrollbereichseingang, Abfallentsorgung, radiochemisches Labor).
- Sicherung/Arealüberwachung (Leitung Sicherung, Wachmannschaft, Pforte).
- Behördliche Begleitung des Betriebs (Aufsichtsbehörde, Gutachten, Abnahmen).
- Fachabteilung Betrieb Anlagen (Betrieb, Kommandoraum, Aus- und Weiterbildung, Maschinentech-nik, Elektrotechnik, Leittechnik, Bautechnik, Feuerwehr).
- Werkstätten (Maschinentech-nik, Elektrotechnik, Leittechnik, Schweisserei, Atemschutzwerkstatt, Gerüstbau, heisse Wäscherei, Sanitärbereich, Reinigung Kontrollbereich).
- Laufende Prüfung und Instandhaltung (Maschinentech-nik, Elektrotechnik, Leittechnik, Bautechnik).
- Instandhaltungsprojekte (Maschinentech-nik, Elektrotechnik, Leittechnik, Bautechnik).
- Betrieb IT (Hardware, Software, Lizenzen, IT-Projekte) .
- Betriebs- und Unterhaltssachkosten (Strom, Heizöl, Hilfs- und Betriebsstoffe, Wasser, nukleare Ver-sicherungen, Sach- und Vermögensversicherungen, Abgaben, Beiträge, Gebühren, Reisekosten, Repräsentationskosten, Vergütung und Spesen, Mieten und Benutzungsentschädigungen, Doku-mentation, Gutachten, Studien, Beratung und Dienstleistungen, Betriebskleidung, Post, Rundfunk, Telefon, Büromaterial, Einrichtungen, Büro- und Verwaltungsaufwand).
- Betrieb Lagereinrichtungen (Lager Brennelemente, Lager radioaktive Abfälle, Materiallager, Notfall-lager).
- Sonstige betriebliche Aufwendungen (allgemeine Dienstleistungen, Aussenanlagen, Fuhrpark, Anla-genreinigung konventionell, Abfallentsorgung konventionell, Supportleistungen Konzern, Konzessi-onsabgaben, Gebäudeinstandhaltung, Personalrestaurant, Betriebs- und Geschäftsausstattungen, Öffentlichkeitsarbeit, Erlöse).
- Die Höhe der Aufwendungen ist an bestimmte Rückbaufortschritte geknüpft, um den Fortgang der Stilllegung entsprechend zu berücksichtigen.

⁷² Gemäss Art. 26 Abs. 2 Bst. e KEG [9] in Verbindung mit Art. 47 Bst. e KEV [11].

Projektleitung Rückbau

In diesem funktionalen Paket sind die übergeordneten Tätigkeiten, wie zum Beispiel die Anlagen- und Projektleitung, die Projektkoordination (zum Beispiel Betreuung und Steuerung der Fremdfirmen) und die übergeordnete Bauleitung, zusammengefasst.

Tabelle 46 gibt eine Übersicht der für die Kostenstudie 2016 vorgegebenen Projektstruktur im Vergleich zu der in der Vorgängerstudie verwendeten Struktur. Aufgrund der erheblichen Veränderungen sind Kostenvergleiche zwischen den beiden Studien nur eingeschränkt und auf der Ebene der funktionalen Pakete (Gliederungsebene 2 der Kostenstruktur) möglich. Weitere Einschränkungen für die Vergleichbarkeit der Ergebnisse beider Studien ergeben sich aus den Vorgaben zur Kostengliederung.

Tabelle 46: Funktionale Pakete zur Planung und Kostenermittlung der Stilllegungskosten.

Projekt- und Kostenstruktur Stilllegung	
Stilllegungsstudie 2011	Stilllegungsstudie 2016
Stilllegungsprojekt sowie Stilllegungsverfügung	Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung
Vorbereitungsmassnahmen	Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen für den Rückbau – standortbezogen
	Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen für den Rückbau – blockbezogen
Demontage der kontrollierten Zone	Abbau der Komponenten und Einrichtungen – blockbezogen
Demontage Einbauten und Demontage des Reaktordruckbehälters	
Demontage Biologischer Schild	
Restdemontage Einrichtungen der kontrollierten Zone	
Dekontamination und Freigabe Gebäude	
Demontage Einrichtungen konventioneller Bereich	
Konventioneller Abriss	Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen
Materialbehandlung und Entsorgung	Behandlung und Verpackung
Rückbaubetrieb	Rückbaubetrieb
	Projektleitung Rückbau
Rückbau Zwischenlager	Stilllegung und Rückbau Zwischenlager *)

*) Die verwendete Kostenstruktur für die Stilllegung und den Rückbau der Zwischenlager ist analog aufgebaut wie diejenige für die Kernkraftwerke.

A.2 Annahmen und Ergebnisse der Kostenschätzung für die Varianten

Die zu betrachtenden Varianten betreffen zwei Erweiterungen gegenüber den Basisprojekten. In einer ersten Variante wird davon ausgegangen, dass das Stilllegungsprojekt erst dann abgeschlossen ist, wenn die Kernanlagen vollständig zurückgebaut sind. Dies schliesst gegenüber den Basisprojekten auch den konventionellen Rückbau als Projektbestandteil mit ein und führt somit zu höheren Kosten für das Gesamtprojekt. Die zweite Variante untersucht die Auswirkungen eines 60-jährigen Leistungsbetriebs auf die Stilllegungskosten.

A.2.1 Variante 1: Stilllegung einschl. konventioneller Rückbau

Bei dieser Variante werden die Kosten unter der Annahme geschätzt, dass die Anlage vollständig rückgebaut und sämtliche Fundamente entfernt werden, so dass nach Abschluss der Arbeiten eine beliebige⁷³ Nutzung des Areals möglich ist. Der Abbruch der Gebäude mit kontrollierter Zone erfolgt nach der radiologischen Freigabe⁷⁴ dieser Bereiche. Es wird davon ausgegangen, dass alle Gebäude ohne kontrollierte Zone unabhängig davon abgebrochen werden. Potenzielle Kosteneinsparungen aus einem Entfernen der Fundamente nur bis zu einer Tiefe von 2 Metern unter der Erdoberfläche, anstelle des vollständigen Entferns, werden als Chance quantifiziert und ausgewiesen. Hierbei werden Anlagen und Einrichtungen jedoch auch in grösseren Tiefen demontiert und die Gebäudeoberflächen unter die gültigen Freigabewerte dekontaminiert, freigemessen und radiologisch freigegeben.

Der beim konventionellen Abbruch der Gebäude anfallende Betonschutt wird zerkleinert und von der Armierung getrennt. Danach wird er zu 20 Prozent auf eine Deponie gebracht und zu 80 Prozent kostenneutral anderweitig (zum Beispiel im Strassenbau) verwertet.

Der Projektumfang ist in dieser Variante gegenüber der Basisvariante um die Kosten für konventionellen Rückbau und um die nach Abschluss der Stilllegung noch anfallenden Betriebskosten erweitert. Alle in den Basisprojekten enthaltenen Arbeitspakete werden vollständig durchgeführt. Der konventionelle Rückbau folgt zeitlich auf den nuklearen Rückbau. Die Projektdauer verlängert sich daher um die Dauer, die für den konventionellen Rückbau benötigt wird (KKB 2 Jahre, KKM 3 Jahre, KKG 2 Jahre, KKL 3 Jahre, Zwiilag 2 Jahre). Die Kosten für diese Variante fallen deshalb höher aus als für die Basisprojekte. In Tabelle 47 sind die Ergebnisse der Kostenschätzung für die Variante 1 für jede der Kernanlagen zusammengefasst.

Tabelle 47: Ergebnis der Kostenschätzungen für die Variante 1: Stilllegungskosten einschl. konventioneller Rückbau.

Arbeitspaket-Bezeichnung	KKB ¹		KKM ²		KKG		KKL		Zwiilag		Total	
Basiskosten Variante 1	746		478		682		884		123		2'913	
Kostenzuschlag für Prognoseungenauigkeiten	12.7%	95	8.1%	39	11.3%	77	11.5%	102	12.3%	15	11.3%	328
Kostenzuschlag für Gefahren	17.2%	128	16.4%	79	17.6%	120	17.2%	152	18.1%	22	17.2%	501
Kostenabzug für Chancen	-2.8%	-21	-1.5%	-7	-3.0%	-20	-6.0%	-53	-5.7%	-7	-3.7%	-109
Gesamtkosten Stilllegung einschl. konventioneller Rückbau	948		588		859		1'085		154		3'634	
Gesamtkosten Stilllegung Basisvariante	900		564		806		1'015		121		3'406	
Differenz (in Millionen Franken)	48		24		53		70		32		228	

¹ KKB einschl. Kosten für den Rückbau des Zwibez

² Basiskosten einschl. bereits aufgelaufener Kosten

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

⁷³ Eine beliebige Nutzung umfasst insbesondere auch eine landwirtschaftliche, die vorgängig einer Rekultivierung des Standortes bedarf.

⁷⁴ Gemäss Ensi-B04 [32].

A.2.2 Variante 2: 60-jähriger Leistungsbetrieb

Die Rückbaukosten werden im Wesentlichen vom radiologischen Zustand der jeweiligen Anlage zum Zeitpunkt der Stilllegung bestimmt.

Die Erfahrungen aus dem Rückbau von Kernkraftwerken zeigen, dass die einsetzbaren Techniken und die Vorgehensweise bei der Demontage weitgehend vom radioaktiven Inventar und den örtlichen Dosisleistungen bestimmt sind. Von der Aktivität der radioaktiven Nuklide hängt es ausserdem ab, welche Entsorgungs- und Verwertungsmöglichkeiten genutzt werden können.

Das für die Stilllegung relevante radioaktive Inventar setzt sich aus drei Bestandteilen zusammen:

- durch Neutronenstrahlung aktiviertes Material des Reaktordruckbehälters, seiner Einbauten, des biologischen Schildes sowie, in geringem Umfang, aktivierte Teile des Primärsystems.
- durch radioaktive Medien während des Betriebs kontaminierte Systeme und Komponenten.
- durch luftgetragene Partikel während des Betriebs (und eventuell auch während des Rückbaus) kontaminierte Systeme, Komponenten und Gebäudestrukturen.

Zur Ermittlung des Aktivierungsaufbaus an den oben genannten Komponenten gibt es geprüfte und mit Messungen verifizierte Berechnungsmodelle, mit denen sich nachweisen lässt, dass sich das durch Neutronenstrahlung aktivierte Inventar durch Aktivierung schon nach einigen Jahren auf einem konstanten Niveau einpendelt. Der Aufbau der Aktivierung durch die Neutronenstrahlung wird durch das Abklingen der einzelnen Nuklide immer weiter ausgeglichen bis eine Sättigung eintritt. Durch eine Verlängerung der Betriebsdauer von 50 auf 60 Jahre ändert das Aktivitätsniveau nicht wesentlich. Demnach werden sich auch die Stilllegungskosten aufgrund der Aktivierung nicht ändern.

Kontamination baut sich während des Betriebs auf und baut sich durch Revisions- und Dekontaminationsmassnahmen sowie durch Austausch von Komponenten ab. Die Kontamination wird sich deshalb zwischen einem 50-jährigen und 60-jährigen Betrieb nur unwesentlich verändern.

Der technische Zustand eines Kernkraftwerkes wird durch die Anforderungen des sicheren Betriebes bestimmt. Werden während des Betriebes technische Mängel festgestellt, werden diese sofort durch Reparatur oder Austausch von Komponenten beseitigt. Revisionsmassnahmen gewährleisten zudem eine ständige Überprüfung. Der technische Zustand eines Kernkraftwerkes wird sich daher bei einer Laufzeitverlängerung um 10 Jahre nicht nennenswert auf die zu erwartenden Rückbaukosten auswirken.

Die Ergebnisse für diese Variante unterscheiden sich von den Ergebnissen der Basisprojekte im zeitlichen Anfall der Kosten für den Rückbau. Bei einem 60-jährigen Leistungsbetrieb der Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt fallen die Stilllegungsabfälle später an, und die Abklingzeit bis zur Einlagerung ins geologische Tiefenlager ist kürzer als bei 50 Jahren Betrieb. Dadurch werden für die Verpackung der radioaktiven Abfälle andere Gebinde notwendig, die höhere Dosisleistungen aufnehmen können. Die Anzahl Gebinde pro Transport reduziert sich, und die Transportkosten steigen.

Beim Kernkraftwerk Leibstadt wird bei einem 60-jährigen Leistungsbetrieb nicht zum zentralen Zwischenlager der Zwiilag transportiert, sondern direkt zur Oberflächenanlage des geologischen Tiefenlagers SMA. Somit entfallen die Transporte vom Kraftwerk zum zentralen Zwischenlager der Zwiilag und die Transporte vom zentralen Zwischenlager der Zwiilag zum geologischen Tiefenlager.

Die unterschiedliche Transportlogistik hat ausserdem einen Einfluss auf die Verteilung der Kosten der Kernenergiehaftpflichtversicherung. Dies betrifft auch das Kernkraftwerk Mühleberg unbeschadet der Betriebsdauer von 47 Jahren.

Beim Kernkraftwerk Beznau wird in der Basisvariante von der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs schon im Jahr 2020 ausgegangen. Bei einer Verlängerung auf 60 Jahre steht erheblich mehr Zeit für die vorbereitende Planung und die Organisation der Stilllegung zur Verfügung. Deshalb wird gegenüber einer Stilllegung nach 50 Jahren Betrieb die Chance Synergien aus der Parallelisierung von Nachbetrieb und Rückbau zu realisieren höher eingestuft.

Gegenüber den Basisprojekten und der in Anhang A.2.1 dargestellten Variante 1: Stilllegung einschl. konventioneller Rückbau werden bei einem 60-jährigen Leistungsbetrieb für das Kernkraftwerk Mühleberg keine Mehrkosten erwartet, beim Kernkraftwerk Gösgen sind die Kosten um 0.8 Millionen Franken höher. Beim Kernkraftwerk Leibstadt sind auf Grund der oben beschriebenen Direktanlieferung zum geologischen Tiefenlager 3.8 Millionen Franken weniger Kosten zu erwarten. Die Realisierung von Synergien durch die Parallelisierung von Nachbetrieb und Rückbau führt beim Kernkraftwerk Beznau zu tieferen Kosten. Der Effekt gegenüber den Varianten mit 50 Jahren Betriebszeit beträgt 28.5 Millionen Franken.

A.3 Ergebnisse der Kostenstudie gemäss den International Structure of Decommissioning Costing (ISDC) der Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)

Die Anwendung von verbindlichen Kostenstrukturen schafft die Voraussetzungen für eine transparente, vergleichbare und in der Projektabwicklung effiziente Kostenerfassung und -darstellung. Damit soll insbesondere sichergestellt werden, dass keine materiellen Abweichungen im Ausweis der Kosten zwischen Kostenplanung und Projektabwicklung entstehen und so Kostenschätzung und effektiver Kostenanfall im Zeitverlauf vergleichbar sind. Weiter sollen die Kostenstrukturen internationale Vergleiche der Projekte ermöglichen.

Mit der International Structure for Decommissioning Costing (ISDC) of Nuclear Installations [68], deren Entwicklung von der International Atomic Energy Agency (IAEA), der Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) und der European Commission (EC) initiiert und koordiniert wurde, existiert eine standardisierte Kostenstruktur für den Rückbau kerntechnischer Anlagen. Grundsätzlich baut die International Structure for Decommissioning Costing dabei auf die Ausarbeitungen der International Atomic Energy Agency zur Abwicklung einer Stilllegung in Phasen und auf die Klassifizierung radioaktiver Abfälle auf.

Die Arbeitsgruppe der swissnuclear zur Ausarbeitung der Kostenstrukturen für die Kostenstudie 2016 untersuchte die Anwendbarkeit der International Structure for Decommissioning Costing und ist dabei zum Schluss gekommen, dass die in den International Structure for Decommissioning Costing propagierten Kostenstrukturen international nicht sehr weit verbreitet angewendet werden und gemessen an den Anforderungen der Kommission und der Betreiber der Kernanlagen Defizite aufweisen. Deshalb wurde für die Kostenstudie 2016 die International Structure for Decommissioning Costing nur zur ergänzenden Darstellung der Ergebnisse berücksichtigt. In Tabelle 48 bis Tabelle 52 sind die Basiskosten und die Gesamtkosten für die Basisvariante und die Variante 1: Stilllegung einschliesslich konventioneller Rückbau für die Schweizer Kernanlagen in der International Structure for Decommissioning Costing dargestellt.

Tabelle 48: Basiskosten und Gesamtkosten gemäss den ISDC für die Stilllegung des Kernkraftwerks Beznau.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Basisvariante		Variante 1 ¹⁾	
	Basis-kosten	Gesamt-kosten	Basis-kosten	Gesamt-kosten
Rückbau Kernkraftwerk (inkl. Stilllegung und Rückbau Zwischenläger und Abklinglagerung)	700.5	899.6	745.7	947.7
Pre-decommissioning actions	21.6	27.8	23.0	29.3
Facility shutdown activities	10.8	13.9	11.5	14.6
Additional activities for safe enclosure or entombment	0.0	0.0	0.0	0.0
Dismantling activities within the controlled area	104.2	133.9	111.0	141.0
Waste processing, storage and disposal	145.4	186.8	154.8	196.7
Site infrastructure and operation	191.3	245.6	203.6	258.7
Conventional dismantling, demolition and site restoration	16.6	21.3	17.7	22.4
Project management, engineering and support	166.7	214.1	177.5	225.5
Research and development	0.0	0.0	0.0	0.0
Fuel and nuclear material	3.1	4.0	3.3	4.2
Miscellaneous expenditures	40.7	52.3	43.4	55.1

¹⁾ Variante 1: Stilllegungskosten einschliesslich konventioneller Rückbau.

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

Tabelle 49: *Basiskosten und Gesamtkosten gemäss den ISDC für die Stilllegung des Kernkraftwerks Mühleberg.*

Arbeitspaket-Bezeichnung	Basisvariante		Variante 1 ¹⁾	
	Basis-kosten	Gesamt-kosten	Basis-kosten	Gesamt-kosten
Rückbau Kernkraftwerk (inkl. Stilllegung und Rückbau Zwischenläger und Abklinglagerung)	454.6	563.9	478.1	588.3
Pre-decommissioning actions	8.9	11.0	9.4	11.5
Facility shutdown activities	3.4	4.2	3.6	4.4
Additional activities for safe enclosure or entombment	0.0	0.0	0.0	0.0
Dismantling activities within the controlled area	83.9	104.1	88.3	108.6
Waste processing, storage and disposal	98.3	122.0	103.4	127.3
Site infrastructure and operation	82.7	102.6	87.0	107.1
Conventional dismantling, demolition and site restoration	8.9	11.1	9.4	11.6
Project management, engineering and support	143.2	177.6	150.6	185.3
Research and development	0.0	0.0	0.0	0.0
Fuel and nuclear material	0.0	0.0	0.0	0.0
Miscellaneous expenditures	25.1	31.2	26.4	32.5

¹⁾ Variante 1: Stilllegungskosten einschliesslich konventioneller Rückbau.

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

Tabelle 50: *Basiskosten und Gesamtkosten gemäss den ISDC für die Stilllegung des Kernkraftwerks Gösgen.*

Arbeitspaket-Bezeichnung	Basisvariante		Variante 1 ¹⁾	
	Basis-kosten	Gesamt-kosten	Basis-kosten	Gesamt-kosten
Rückbau Kernkraftwerk (inkl. Stilllegung und Rückbau Zwischenläger und Abklinglagerung)	634.7	806.4	682.4	859.3
Pre-decommissioning actions	18.8	23.8	20.2	25.4
Facility shutdown activities	5.8	7.4	6.2	7.8
Additional activities for safe enclosure or entombment	0.0	0.0	0.0	0.0
Dismantling activities within the controlled area	87.3	111.0	93.9	118.2
Waste processing, storage and disposal	127.6	162.1	137.2	172.7
Site infrastructure and operation	161.4	205.1	173.5	218.5
Conventional dismantling, demolition and site restoration	5.7	7.2	6.1	7.7
Project management, engineering and support	167.5	212.8	180.1	226.8
Research and development	0.0	0.0	0.0	0.0
Fuel and nuclear material	0.0	0.0	0.0	0.0
Miscellaneous expenditures	60.6	77.0	65.2	82.1

¹⁾ Variante 1: Stilllegungskosten einschliesslich konventioneller Rückbau.

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

Tabelle 51: *Basiskosten und Gesamtkosten gemäss den ISDC für die Stilllegung des Kernkraftwerks Leibstadt.*

Arbeitspaket-Bezeichnung	Basisvariante		Variante 1 ¹⁾	
	Basis-kosten	Gesamt-kosten	Basis-kosten	Gesamt-kosten
Rückbau Kernkraftwerk (inkl. Stilllegung und Rückbau Zwischenläger und Abklinglagerung)	821.8	1015.1	883.8	1084.9
Pre-decommissioning actions	19.7	24.4	21.2	26.0
Facility shutdown activities	5.5	6.7	5.9	7.2
Additional activities for safe enclosure or entombment	0.0	0.0	0.0	0.0
Dismantling activities within the controlled area	115.9	143.1	124.6	153.0
Waste processing, storage and disposal	181.4	224.0	195.0	239.4
Site infrastructure and operation	225.6	278.6	242.6	297.8
Conventional dismantling, demolition and site restoration	10.8	13.3	11.6	14.2
Project management, engineering and support	216.8	267.8	233.1	286.2
Research and development	0.0	0.0	0.0	0.0
Fuel and nuclear material	0.0	0.0	0.0	0.0
Miscellaneous expenditures	46.2	57.1	49.7	61.0

¹⁾ Variante 1: Stilllegungskosten einschliesslich konventioneller Rückbau.

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

Tabelle 52: *Basiskosten und Gesamtkosten gemäss den ISDC für die Stilllegung des zentralen Zwischenlagers Würenlingen.*

Arbeitspaket-Bezeichnung	Basisvariante		Variante 1 ¹⁾	
	Basis-kosten	Gesamt-kosten	Basis-kosten	Gesamt-kosten
Stilllegung und Rückbau Zwischenläger	96.4	121.4	123.4	153.8
Pre-decommissioning actions	3.1	3.9	4.0	4.9
Facility shutdown activities	0.2	0.3	0.3	0.4
Additional activities for safe enclosure or entombment	0.0	0.0	0.0	0.0
Dismantling activities within the controlled area	13.3	16.8	17.1	21.3
Waste processing, storage and disposal	9.7	12.2	12.4	15.5
Site infrastructure and operation	20.6	26.0	26.4	32.9
Conventional dismantling, demolition and site restoration	0.5	0.7	0.7	0.9
Project management, engineering and support	34.6	43.6	44.3	55.2
Research and development	0.0	0.0	0.0	0.0
Fuel and nuclear material	0.0	0.0	0.0	0.0
Miscellaneous expenditures	14.3	18.0	18.3	22.8

¹⁾ Variante 1: Stilllegungskosten einschliesslich konventioneller Rückbau.

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

A.4 Referenzprojekte der Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH in den Niederlanden, Belgien, Slowenien/Kroatien, Frankreich, Italien und in der Schweiz

Für folgende Anlagen hat NIS Stilllegungskonzepte entwickelt und die damit verbundenen Stilllegungskosten ermittelt (zum Teil inzwischen mehrfach aktualisiert):

Niederlande

- Kernkraftwerk Borssele, Druckwasserreaktor 480 MWel (netto), Betrieb seit 1973
Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (zuletzt aktualisiert 2015).
- Kernkraftwerk Dodewaard, Siedewasserreaktor 58 MWel (brutto) von General Electric, Betrieb ab 1969, Stilllegung seit März 1997. Während der Betriebszeit Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (1994); mit Beginn der Stilllegung Nachführung der Stilllegungskosten (1997, 1999, zuletzt aktualisiert 2015). Die Stilllegungskostenermittlung von 1997 wurde im Auftrag des niederländischen Ministeriums für Soziales und Arbeit von der TU Delft einer umfangreichen Untersuchung unterzogen, und die Ergebnisse konnten verifiziert werden.
- Forschungsreaktor der Uni Delft 2 MWth, Betrieb seit 1963; Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (2015).
- Forschungsreaktor des Forschungszentrums in Petten 45 MWth, Betrieb seit 1962
Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (2005, Aktualisierung 2015).

Belgien

- Tihange 1, Druckwasserreaktor 962 MWel (netto), Betrieb seit 1975
Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (zuletzt aktualisiert 2013).
- Tihange 2, Druckwasserreaktor 1'008 MWel (netto), Betrieb seit 1983
Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (zuletzt aktualisiert 2013).
- Tihange 3, Druckwasserreaktor 1'015 MWel (netto), Betrieb seit 1985
Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (zuletzt aktualisiert 2013).
- Doel 1/2, Doppelblockanlage mit Druckwasserreaktor 392 beziehungsweise 433 MWel (netto), Betrieb seit 1975; Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (zuletzt aktualisiert 2013).
- Doel 3, Druckwasserreaktor 1'006 MWel (netto), Betrieb seit 1982
Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (zuletzt aktualisiert 2013).
- Doel 4, Druckwasserreaktor 1'008 MWel (netto), Betrieb seit 1985
Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (zuletzt aktualisiert 2013).
- MOX Brennelemente-Fabrik in Dessel
Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (zuletzt aktualisiert 2007).

Slowenien/Kroatien

- Krško, Druckwasserreaktor 664 MWel (brutto), Betrieb seit 1981
Ermittlung der Stilllegungskosten zur Bildung von Rückstellungen (zuletzt aktualisiert 2010).
Die Ergebnisse der Studie wurden 2010 in einer Expert Mission der IAEA einer eingehenden Überprüfung unterzogen und bestätigt.

Frankreich

- Cattenom, Druckwasserreaktor 1'300 MWel (brutto), Betrieb seit 1986
Ermittlung der Stilllegungskosten zur Bildung von Rückstellungen (2008).

Italien

- Caorso, Siedewasserreaktor 840 MWel von Ansaldo/Getesco, Betrieb ab 1978, Stilllegung seit 1990; Stilllegungskostenermittlung zur Budgetierung des Stilllegungsprojektes (1999).
- Trino Vercellese, Druckwasserreaktor 260 MWel von Westinghouse, Betrieb ab 1964, Stilllegung seit 1990; Stilllegungskostenermittlung zur Budgetierung des Stilllegungsprojektes (1999).
- Garigliano, Siedewasserreaktor 160 MWel von Igeosa, Betrieb ab 1963, Stilllegung seit 1982; Stilllegungskostenermittlung zur Budgetierung des Stilllegungsprojektes (2000).

Schweiz

- Beznau; Doppelblockanlage mit Druckwasserreaktor 2 x 380 MWel von Westinghouse, Betrieb seit 1969 beziehungsweise 1971; Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (zuletzt aktualisiert 2011).
- Gösgen, Druckwasserreaktor 1'020 MWel von Siemens/KWU, Betrieb seit 1979 Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (zuletzt aktualisiert 2011).
- Leibstadt, Siedewasserreaktor 1'220 MWel von General Electric, Betrieb seit 1984 Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (zuletzt aktualisiert 2011).
- Mühleberg, Siedewasserreaktor 373 MWel von General Electric, Betrieb seit 1972 Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (zuletzt aktualisiert 2011).

A.5 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 und Wiederaufarbeitung, swissnuclear Bericht FGK-AN.16.002, Olten, Schweiz.
- [4] Kostenstudie 2016 (KS16), Schätzung der Nachbetriebskosten der Schweizer Kernkraftwerke, swissnuclear Bericht FGK-AN.16.003, Olten, 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 Nachbetriebskosten 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-16.044.GS, Rev. 0, Olten Schweiz.
- [10] Kernenergiegesetz vom 21. März 2003 (KEG), SR 732.1, Stand 1. Januar 2009.
- [11] Kernenergieverordnung vom 10. Dezember 2004 (KEV), SR 732.11, Stand 1. Januar 2009.
- [12] Verordnung vom 7. Dezember 2007 über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen (Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung, SEFV), SR 732.17, Stand 1. Januar 2016.
- [13] Strahlenschutzgesetz (StSG) vom 22. März 1991, SR 814.50, Stand 1. Januar 2007.
- [14] Strahlenschutzverordnung (StSV) vom 22. Juni 1994, SR 814.501, Stand 1. Januar 2014.
- [15] Kernenergiehaftpflichtgesetz (KHG) vom 18. März 1983, SR 732.44, Stand 1. Januar 2011.
- [16] SR 220 Bundesgesetz betreffend die Ergänzung des Schweizerischen Zivilgesetzbuches (Fünfter Teil: Obligationenrecht) vom 30. März 1911, Stand 1. Januar 2013).
- [17] Schweizer Standards für die Rechnungslegung in Unternehmen, Generally Accepted Accounting Principles, Fachempfehlungen zur Rechnungslegung; www.fer.ch (Swiss GAAP Fer).
- [18] International Financial Reporting Standards (IFRS); www.ifrs.org.
- [19] Bundesgesetz vom 13. März 1964 über die Arbeit in Industrie, Gewerbe und Handel (Arbeitsgesetz, ArG), SR 822.11, Stand 1. Dezember 2013.
- [20] Verordnung 1 zum Arbeitsgesetz (ArGv 1) vom 10. Mai 2000, SR 822.111, Stand 1. Januar 2016.
- [21] Verordnung 2 zum Arbeitsgesetz (ArGV 2) vom 10. Mai 2000, (Sonderbestimmungen für bestimmte Gruppen von Betrieben oder Arbeitnehmern und Arbeitnehmerinnen), SR 822.112, Stand 1. Januar 2016.
- [22] Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz (ArGV 3) vom 18. August 1993, (Gesundheitsvorsorge) SR 822.113, Stand 1. Oktober 2015.

- [23] Verordnung 4 zum Arbeitsgesetz (ArGV 4) vom 18. August 1993, (Industrielle Betriebe, Plangenehmigung und Betriebsbewilligung), SR 822.114, Stand 1. Mai 2015.
- [24] Verordnung vom 19. Dezember 1983 über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten, (Verordnung über die Unfallverhütung [VUV]), SR 832.30, Stand 1. Januar 2016.
- [25] Anforderungen an die deterministische Störfallanalyse für Kernanlagen: Umfang, Methodik und Randbedingungen der technischen Störfallanalyse, ENSI-A01.
- [26] Gesuchsunterlagen für freigabepflichtige Änderungen an Kernanlagen, ENSI-A04/d Juli 2008, Revision vom 24. September 2009.
- [27] Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Qualität und Umfang, ENSI-A05.
- [28] Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Anwendung, ENSI-A06.
- [29] Quelltermanalyse: Umfang, Methodik und Randbedingungen, ENSI-A08.
- [30] Periodische Berichterstattung der Kernanlagen, ENSI-B02.
- [31] Meldungen der Kernanlagen, ENSI-B03.
- [32] Freimessen von Materialien und Bereichen aus kontrollierten Zonen, ENSI-B04/d, 27. August 2009.
- [33] Anforderungen an die Konditionierung radioaktiver Abfälle, HSK-B05/d, 12. Februar 2007.
- [34] Ermittlung und Aufzeichnung der Dosis strahlenexponierter Personen, ENSI-B09.
- [35] Ausbildung, Wiederholungsschulungen und Weiterbildung von Personal, ENSI-B10/d.
- [36] Notfallübungen, ENSI-B11.
- [37] Notfallschutz in Kernanlagen, ENSI-B12.
- [38] Ausbildung und Fortbildung des Strahlenschutzpersonals, ENSI-B13/d, 3. November 2010.
- [39] Sicherheitstechnische Klassierung für bestehende Kernkraftwerke, ENSI-G01.
- [40] Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis, ENSI-G03/d, 2. April 2009.
- [41] Auslegung und Betrieb von Lagern für radioaktive Abfälle und abgebrannter Brennelemente ENSI-G04/d, 30. Juni 2015.
- [42] Transport- und Lagerbehälter für die Zwischenlagerung, HSK-G05/d, 28. April 2008.
- [43] Organisation von Kernanlagen, ENSI-G07/d, 28. Juni 2013.
- [44] Systematische Sicherheitsbewertungen des Betriebs von Kernanlagen, ENSI-G08.
- [45] Messmittel für ionisierende Strahlung, ENSI-G13/d, 16. November 2015.
- [46] Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung, ENSI-G14/d, 21. Dezember 2009.
- [47] Strahlenschutzziele für Kernanlagen, ENSI-G15/d, 8. November 2010.
- [48] Stilllegung von Kernanlagen, ENSI-G17/d, 1. April 2014.
- [49] Richtlinie für den überwachten Bereich der Kernanlagen und des Paul Scherrer Instituts HSK-R-07/d, 1. Juni 1995.
- [50] Erfassung und Meldung der Dosen des strahlenexponierten Personals der Kernanlagen und des Paul Scherrer Instituts, HDK-R-12, Oktober 1997.
- [51] Sicherheitstechnische Anforderungen an die Sicherung von Kernanlagen, HSK-R-49/d.

- [52] Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen (VAPK), 732.143.1, Stand 1. Januar 2009.
- [53] Decommissioning Strategies for Facilities Using Radioactive Material, IAEA Safety Reports Series No. 50, Vienna 2007.
- [54] Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors, Safety Guide IAEA Safety Standards Series No. WS-G-2.1, Vienna 1999.
- [55] Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors and other Nuclear Fuel Cycle Facilities, Safety Guide, IAEA Safety Standards under development, Working ID DS452.
- [56] Organization and Management for Decommissioning of Large Nuclear Facilities IAEA Technical Reports Series No. 399, Vienna 2001.
- [57] Release of Sites from Regulatory Control on Termination of Practices, Safety Guide IAEA Safety Standards Series No. WS-G-5.1, Vienna 2006.
- [58] The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection ICRP Publication 103, 2007.
- [59] The Management System for Facilities and Activities – Safety Requirements IAEA Safety Standards Series No. GS-R-3.
- [60] Application of the Management System for Facilities and Activities – Safety Guide IAEA Safety Standards Series no. GS-G-3.1.
- [61] Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter mit Eisenbahnen und mit Seilbahnen (RSD), SR 742. 412, Stand 1. Januar 2015.
- [62] Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (SDR), SR 741.621 Stand 1. Januar 2015.
- [63] Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, 2012 Edition Specific Safety Requirements, IAEA Safety Standards Series No. TS-R-1, Vienna 2013.
- [64] Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material (2012 Edition) Specific Safety Guide, Vienna 2014.
- [65] Decommissioning of Facilities Using Radioactive Material, Safety Requirements IAEA Safety Standards Series No. WS-R-5, Vienna 2006.
- [66] State of the Art Technology for Decontamination and Dismantling of Nuclear Facilities IAEA Technical Report Series No. 395, Vienna 1999.
- [67] Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen Erfahrungen und Perspektiven, Brenk Systemplanung GmbH, Aachen, November 2009.
- [68] International Structure for Decommissioning Costing (ISDC) of Nuclear Installations, Nuclear Energy Agency (NEA), No. 7088, OECD 2012.
- [69] Cost Estimation for Decommissioning – An international Overview of Cost Elements, Estimation Practices and Reporting Requirements, Nuclear Energy Agency (NEA) No. 6831, OECD 2010.
- [70] Cost of Decommissioning Nuclear Power Plants, Nuclear Energy Agency, NEA N° 7201, OECD 2016.
- [71] Cost Estimating Guide 413.3.21 US Department of Energy, May 2011.
- [72] Financial Aspects of Decommissioning, IAEA-TECDOC-1476, November 2005.

A.6 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