



Kostenstudie 2021 (KS21)

*Ermittlung der Stilllegungskosten
der Schweizer Kernanlagen*

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

Zusammenfassung

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

Um dies sicherzustellen, ist eine umfassende Ermittlung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten nötig. Auf Basis dieser Ermittlung lassen sich die Beiträge bemessen, welche die Betreiber der Kernanlagen für die Stilllegung und die nukleare Entsorgung zurückstellen sowie in den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds einzahlen müssen. Die Kostenermittlung hat gemäss der Verordnung^b über den Stilllegungs- und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen alle fünf Jahre zu erfolgen.

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

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

Die für die KS16 neu definierten Kostenstrukturen sind weiterhin gültig und werden in allen Phasen der Kostenplanung und -feststellung angewendet. Verbindliche Kostenstrukturen schaffen die Voraussetzungen für eine transparente Kostenplanung, aussagekräftige Kostenvergleiche, ein effektives Kostencontrolling sowie für einen effizienten Abwicklungsprozess zur Inanspruchnahme von Fondsmitteln.

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

Die zwei Begriffe Kostengliederung und Kostenstruktur sind voneinander abzugrenzen:

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

Die Kostenermittlung basieren auf dem rechtlichen und regulatorischen Rahmen per 1. Januar 2020.

^aArt. 77 des Kernenergiegesetzes [7].

^bArt. 4 der Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung [9].

Um die gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen aus laufenden Rückbauprojekten sowie die aktuellen Schweizer Verhältnisse in der Kostenstudie – Teil Stilllegung zu berücksichtigen, hat swissnuclear die Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH (NIS) beauftragt, für die Schweizer Kernkraftwerke und die Anlagen der Zwiilag Zwischenlager Würenlingen AG (Zwiilag) neue Stilllegungsstudien zu erstellen.

Mit den Vorgaben der Verwaltungskommission für die KS21 werden neu die folgenden drei Stilllegungsziele definiert, die kostenmässig abzubilden sind:

- Stilllegungsziel 1: Entlassung aus der Kernenergiegesetzgebung.
- Stilllegungsziel 2: Vollständiger Rückbau inklusive Entfernung sämtlicher Fundamente bis -2 m ab Oberkante (OK) Terrain.
- Stilllegungsziel 3: Vollständiger Rückbau inklusive Entfernung sämtlicher Fundamente.

Die geschätzten Stilllegungskosten aus der aktuellen KS21 sind in den nachfolgenden Tabelle 1, Tabelle 2 und Tabelle 3 für die Stilllegungsziele 1, 2 und 3 aufgeführt und mit den Ergebnissen der Kostenstudie aus dem Jahr 2016 verglichen. Für den Vergleich wurden die in der KS16 geschätzten Kosten mit der in der Verordnung^c über den Stilllegungs- und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen vorgegebenen Teuerungsrate von 0.5 Prozent pro Jahr von der Preisbasis 2016 (PB16) auf die Preisbasis 2021 (PB21) der KS21 hochgerechnet.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass in der KS16 die Varianten «Abschluss der Stilllegungsarbeiten und Entlassung der Standorte aus der Kernenergiegesetzgebung» und die «Stilllegung einschliesslich konventioneller Rückbau» ausgewiesen wurden [5].

*Tabelle 1: Stilllegungskostenermittlung der Kostenstudie 2021 für das Stilllegungsziel 1.
Vergleich mit der Kostenstudie 2016 auf der Preisbasis 2021.*

Element der Kostengliederung	KKB		KKM		KKG		KKL		ZwibeZ		Zwiilag		Total	
Aufgelaufene Kosten bis 2020	15		119		-		-		-		-		135	
Zukünftige Kosten ab 2021														
Ausgangskosten	625		329		584		668		2		104		2'313	
Kosten zur Risikominderung	17		10		14		15		0		2		58	
Basiskosten	642		340		599		683		2		106		2'371	
Prognoseungenauigkeiten	12.1%	78	9.8%	33	13.9%	83	12.3%	84	17.0%	0	11.0%	12	12.2%	290
Zuschlag für Gefahren	20.1%	129	16.7%	57	20.6%	123	18.7%	128	20.1%	0	20.4%	22	19.4%	459
Abzug für Chancen	-0.4%	-2	-0.5%	-2	-0.4%	-2	-0.4%	-3	-0.4%	0	-0.2%	0	-0.4%	-9
Genereller Sicherheitszuschlag	5.0%	32	5.0%	17	5.0%	30	5.0%	34	5.0%	0	5.0%	5	5.0%	119
Zuschlag auf zukünftige Basiskosten	36.8%	236	31.0%	105	39.1%	234	35.7%	243	41.7%	1	36.2%	38	36.2%	858
Gesamtkosten	894		564		832		926		3		144		3'364	
Gesamtkosten KS16 PB21	958		600		859		1'083		- ⁹⁾		129		3'630	
Differenz	-6.7%	-64	-6.0%	-36	-3.1%	-27	-14.5%	-157	- ⁹⁾	3	11.2%	14	-7.3%	-266

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

KS21 Stilllegungsziel 1: Entlassung aus der Kernenergiegesetzgebung; KS16 Stilllegungsziel: Entlassung aus der Kernenergiegesetzgebung, Kernkraftwerke Beznau (KKB), Mühleberg (KKM), Gösgen (KKG) und Leibstadt (KKL).

Kostenstudie 2021 (KS21), Kostenstudie 2016 (KS16), Preisbasis 2021 (PB21).

⁹⁾ Die Kosten für ZwibeZ sind in den Gesamtkosten für KKB enthalten.

^cArt. 4 der Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung [9].

Tabelle 2: Stilllegungskostenermittlung der Kostenstudie 2021 für das Stilllegungsziel 2.

Element der Kostengliederung	KKB		KKM		KKG		KKL		Zwibez		Zwilag		Total	
Aufgelaufene Kosten bis 2020	15		119		-		-		-		-		135	
Zukünftige Kosten ab 2021														
Ausgangskosten	657		345		621		723		5		126		2'476	
Kosten zur Risikominderung	17		10		14		15		0		2		58	
Basiskosten	674		355		635		737		5		128		2'534	
Prognoseungenauigkeiten	11.9%	80	9.9%	35	13.8%	88	13.5%	100	16.1%	1	13.0%	17	12.6%	320
Zuschlag für Gefahren	19.8%	133	16.4%	58	20.3%	129	18.6%	137	19.8%	1	20.3%	26	19.1%	484
Abzug für Chancen	-0.4%	-3	-0.5%	-2	-0.4%	-3	-0.4%	-3	-0.4%	0	-0.2%	0	-0.4%	-10
Genereller Sicherheitszuschlag	5.0%	34	5.0%	18	5.0%	32	5.0%	37	5.0%	0	5.0%	6	5.0%	127
Zuschlag auf zukünftige Basiskosten	36.3%	244	30.8%	109	38.7%	246	36.7%	271	40.5%	2	38.2%	49	36.3%	921
Gesamtkosten	934		584		880		1'008		6		177		3'589	

Angaben in Millionen Franken, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.
 KS21 Stilllegungsziel 2: Vollständiger Rückbau inkl. Entfernung sämtlicher Fundamente bis -2 m ab Oberkante Terrain.
 Kernkraftwerke Beznau (KKB), Mühleberg (KKM), Gösgen (KKG) und Leibstadt (KKL).
 Kostenstudie 2021 (KS21), Kostenstudie 2016 (KS16), Preisbasis 2021 (PB21).

Tabelle 3: Stilllegungskostenermittlung der Kostenstudie 2021 für das Stilllegungsziel 3.
Vergleich mit der Kostenstudie 2016 auf der Preisbasis 2021.

Element der Kostengliederung	KKB		KKM		KKG		KKL		Zwibez		Zwilag		Total	
Aufgelaufene Kosten bis 2020	15		119		-		-		-		-		135	
Zukünftige Kosten ab 2021														
Ausgangskosten	672		354		634		737		6		133		2'536	
Kosten zur Risikominderung	17		10		14		15		0		2		58	
Basiskosten	690		365		648		752		6		134		2'595	
Prognoseungenauigkeiten	12.1%	83	9.9%	36	13.8%	89	12.7%	96	13.8%	1	13.0%	17	12.4%	323
Zuschlag für Gefahren	19.7%	136	16.1%	59	20.3%	132	18.5%	139	19.7%	1	20.0%	27	19.0%	494
Abzug für Chancen	-0.4%	-3	-0.5%	-2	-0.4%	-3	-0.4%	-3	-0.4%	0	-0.1%	0	-0.4%	-10
Genereller Sicherheitszuschlag	5.0%	34	5.0%	18	5.0%	32	5.0%	38	5.0%	0	5.0%	7	5.0%	130
Zuschlag auf Basiskosten	36.4%	251	30.6%	112	38.7%	251	35.9%	270	38.1%	2	37.9%	51	36.1%	937
Gesamtkosten	956		595		899		1'022		8		185		3'666	
Gesamtkosten KS16 PB21	1'010		626		916		1'158		- ^{a)}		164		3'874	
Differenz	-5.3%	-53	-4.9%	-31	-1.8%	-17	-11.7%	-136	- ^{a)}	8	13.0%	21	-5.4%	-208

Angaben in Millionen Franken, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.
 KS21 Stilllegungsziel 3: Vollständiger Rückbau inklusive Entfernung sämtlicher Fundamente; KS16 Stilllegungsziel 3: Vollständiger Rückbau inklusive Entfernung sämtlicher Fundamente.
 Kernkraftwerke Beznau (KKB), Mühleberg (KKM), Gösgen (KKG) und Leibstadt (KKL).
 Kostenstudie 2021 (KS21), Kostenstudie 2016 (KS16), Preisbasis 2021 (PB21).

^{a)} Die Kosten für Zwibez sind in den Gesamtkosten für KKB enthalten.

Die Stilllegungskosten der KS21 sinken teuerungsbereinigt für das Stilllegungsziel 1 um 7 Prozent und für das Stilllegungsziel 3 um 5 Prozent gegenüber der KS16. Der Zuschlag auf die Basiskosten beträgt in der KS21 rund 36 Prozent auf die zukünftigen Basiskosten.

Die Stilllegungskosten sinken teuerungsbereinigt je nach Kernkraftwerk und Stilllegungsziel um 2 bis 14 Prozent, einzig für das Zwilag ergibt sich eine Kostenerhöhung gegenüber der KS16 um 11 bis 13 Prozent in Abhängigkeit vom Stilllegungsziel. Die wichtigsten Änderungen gegenüber der KS16 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Mit der Überarbeitung der Stilllegungspläne werden die Stilllegungsarbeiten weitgehend mit dem technischen Nachbetrieb (ab EABN) parallelisiert. Dies führt insgesamt zu einer leichten Verkürzung der Gesamtdauer der Stilllegung. Diese Parallelisierung hat auch eine Anpassung der Reduktionsfaktoren der Betriebskosten im Nach- und Rückbaubetrieb entsprechend der neuen Projektmeilensteine notwendig gemacht. Die Verkürzung der Gesamtdauer der Stilllegung hat eine Reduktion der Rückbaubetriebskosten für die Kernkraftwerke zur Folge.

- Das radiologische Inventar aus der Aktivierung durch Neutronenstrahlung wurde neu ermittelt, was bei den Werken teilweise zu leicht reduzierten, aktivierten Komponentenmassen geführt hat. Zudem führt das für die KS21 teilweise angepasste Verpackungskonzept aufgrund der reduzierten Anzahl an Behältern zu reduzierten Anschaffungskosten von Behältern für Stilllegungsabfälle.
- Analog zur KS16 werden die verpackten, radioaktiven Abfälle in der KS21 nach einer Zwischenlagerung in das geologische Tiefenlager SMA verbracht. Die Ermittlung der zuteilbaren Lagerkosten für das geologische Tiefenlager SMA hat eine Erhöhung der spezifischen Kostenansätze pro Behältertyp ergeben, was trotz teilweise reduziertem Behälteraufkommen zu einer Erhöhung der zuteilbaren Tiefenlagerkosten gegenüber der KS16 führt.
- Bei den Anlagen der Zwiilag führen die Aufnahme von seit der KS16 neu errichteten Gebäuden inklusive Anlagentechnik ausserhalb der kontrollierten Zone und neuen Komponenten in der kontrollierten Zone zu einer Erhöhung der Stilllegungskosten.

Die nächste Kostenermittlung ist für 2026 vorgesehen.

Inhalt

1	Ausgangslage	1
1.1	Einleitung	1
1.2	Sicherstellung der Finanzierung von Nachbetrieb, Stilllegung und Entsorgung	2
1.2.1	Verursacherprinzip	2
1.2.2	Finanzierung der Entsorgungs-, Stilllegungs- und Nachbetriebskosten	3
1.2.3	Rückstellungen für Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten	4
1.2.4	Kostenstudien der Stilllegungs- und Entsorgungspflichtigen	4
1.3	Die Stilllegung	5
1.3.1	Stilllegungsplan	5
1.3.2	Varianten der Stilllegung	6
1.3.3	Stilllegungsziele	7
1.3.4	Abgrenzung Nachbetrieb und Stilllegung	8
1.4	Betriebs- und Stilllegungsdauern der Kernanlagen	10
2	Vorgaben und Annahmen	11
2.1	Rechtliche und behördliche Vorgaben	11
2.1.1	Gesetze und Verordnungen	11
2.1.2	Richtlinien und Empfehlungen	12
2.1.3	Transportvorschriften	14
2.1.4	Normen und Regeln	14
2.2	Annahmen und Randbedingungen	15
3	Methodik der Kostenermittlung	19
3.1	Kostenstruktur	19
3.2	Kostengliederung	20
3.2.1	Vorgaben zur Kostengliederung	20
3.2.2	Umsetzung der Kostengliederung	22
3.3	Ermittlung der Stilllegungskosten durch die NIS	27
3.3.1	Kalkulationsmodell für die Kostenermittlung	27
3.3.2	Erfahrungshintergrund der Kostenschätzer	29
4	Einflussfaktoren auf die Stilllegungskosten	33
4.1	Anlageinventar	33
4.2	Massenverteilung	39
4.3	Materialbehandlung und Entsorgung	44
4.3.1	Trennung von radioaktivem und nicht radioaktivem Material	44
4.3.2	Materialbehandlung und Befreiung	45
4.3.3	Abklinglagerung, Ablagerung, Verwertung	45
4.3.4	Konditionierung	46
4.3.5	Transport zum geologischen Tiefenlager SMA	52
4.3.6	Zuteilbare Lagerkosten für das geologische Tiefenlager SMA	53
4.4	Ablauf und Dauer der Stilllegung	53
4.4.1	Ablauf der Stilllegung	53
4.4.2	Dauer der Stilllegung	54
4.5	Personalaufwand und Kollektivdosis	57
5	Resultate der Ermittlung der Stilllegungskosten	65
5.1	Ausgangskosten	67
5.2	Risikomindernde Massnahmen	73
5.2.1	Organisatorische Massnahmen	73
5.2.2	Technische Massnahmen	76
5.2.3	Kosten für Massnahmen zur Risikominderung	77
5.3	Basiskosten	83
5.4	Kostenzuschlag für Prognoseungenauigkeiten	89

5.5	Kostenzuschlag für Gefahren und Kostenabzug für Chancen	95
5.5.1	Kostenzuschläge für Gefahren	95
5.5.2	Kostenabzüge für Chancen	99
5.5.3	Quantifizierung der Kostenfolge von Gefahren und Chancen	100
5.5.4	Risikomatrix	101
5.6	Nicht berücksichtigte Gefahren und Chancen	102
5.7	Genereller Sicherheitszuschlag	102
5.8	Gesamtkosten	103
5.9	Währungsanteile bei den Stilllegungskosten	105
A	Anhänge	107
A.1	Projektstrukturplan	107
A.2	60-jähriger Leistungsbetrieb	113
A.3	Ergebnisse der Kostenstudie gemäss den International Structure of Decommissioning Costing (ISDC) der Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)	114
A.4	Referenzprojekte der Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH in den Niederlanden, Belgien, Slowenien/Kroatien, Frankreich, Italien und in der Schweiz	118
A.5	Referenzen	120
A.6	Verwendete Abkürzungen	125

Abbildungen

1	Übersicht über die Verknüpfung der Teilberichte und die Finanzierung des Nachbetriebs, der Stilllegung und der Entsorgung, inklusive entsprechender Hauptdokumente der KS21.	2
2	Abgrenzung von Leistungsbetrieb, Nachbetrieb und Stilllegung.	9
3	Kostengliederung für die KS21.	20
4	Überblick Kalkulationsmodell und Überleitung in die Kostengliederung für die KS21.	28
5	Voraussichtliche Dauer der Stilllegungs- und Rückbauarbeiten ab EELB für KKB.	54
6	Voraussichtliche Dauer der Stilllegungs- und Rückbauarbeiten ab EELB für KKM.	55
7	Voraussichtliche Dauer der Stilllegungs- und Rückbauarbeiten ab EELB für KKG.	55
8	Voraussichtliche Dauer der Stilllegungs- und Rückbauarbeiten ab EELB für KKL.	55
9	Voraussichtliche Dauer der Stilllegungs- und Rückbauarbeiten ab EEB für Zwibez.	56
10	Voraussichtliche Dauer der Stilllegungs- und Rückbauarbeiten ab EEB für Zwiilag.	56
11	Risikomatrix Stilllegung (exemplarisch).	101

Tabellen

1	Stilllegungskostenermittlung der Kostenstudie 2021 für das Stilllegungsziel 1.	IV
2	Stilllegungskostenermittlung der Kostenstudie 2021 für das Stilllegungsziel 2.	V
3	Stilllegungskostenermittlung der Kostenstudie 2021 für das Stilllegungsziel 3.	V
4	Betriebs- und Stilllegungszeiten der Schweizer Kernkraftwerke sowie der Einrichtungen zur Zwischenlagerung der radioaktiven Abfälle.	10
5	Erfasste Massen des Kernkraftwerks Beznau und Vergleich zur KS16.	34
6	Erfasste Massen des Kernkraftwerks Mühleberg und Vergleich zur KS16.	35
7	Erfasste Massen des Kernkraftwerks Gösgen und Vergleich zur KS16.	36
8	Erfasste Massen des Kernkraftwerks Leibstadt und Vergleich zur KS16.	37
9	Erfasste Massen des Zwibez.	38
10	Erfasste Massen des Zwiilag und Vergleich zur KS16.	38
11	Verteilung der Massen aus der kontrollierten Zone auf die Entsorgungsziele, KKB.	40
12	Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA, KKB.	40
13	Verteilung der Massen aus der kontrollierten Zone auf die Entsorgungsziele, KKM.	41
14	Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA, KKM.	41
15	Verteilung der Massen aus der kontrollierten Zone auf die Entsorgungsziele, KKG.	42
16	Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA, KKG.	42
17	Verteilung der Massen aus der kontrollierten Zone auf die Entsorgungsziele, KKL.	43
18	Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA, KKL.	43
19	Verteilung der Massen aus der kontrollierten Zone auf die Entsorgungsziele, Zwiilag.	44
20	Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA, Zwiilag.	44
21	Gesamtmassen aus der kontrollierten Zone, welche der Abklinglagerung zugeführt werden.	46
22	Verpackungsfaktoren.	47
23	Verpackte Masse radioaktiver Abfälle und Anzahl Behälter bzw. Container und Kosten für den Transport zum geologischen Tiefenlager SMA, KKB.	48
24	Verpackte Masse radioaktiver Abfälle und Anzahl Behälter bzw. Container und Kosten für den Transport zum geologischen Tiefenlager SMA, KKM.	49
25	Verpackte Masse radioaktiver Abfälle und Anzahl Behälter bzw. Container und Kosten für den Transport zum geologischen Tiefenlager SMA, KKG.	50
26	Verpackte Masse radioaktiver Abfälle und Anzahl Behälter bzw. Container und Kosten für den Transport zum geologischen Tiefenlager SMA, KKL.	51
27	Verpackte Masse radioaktiver Abfälle und Anzahl Behälter bzw. Container und Kosten für den Transport zum geologischen Tiefenlager SMA, Zwiilag.	52
28	Vergleich der zuteilbaren Lagerkosten.	53
29	Personalaufwand nach Arbeitspaket für die drei Stilllegungsziele, KKB.	58
30	Kollektivdosis nach Arbeitspaket, KKB.	58

31	Personalaufwand nach Arbeitspaket für die drei Stilllegungsziele, KKM.	59
32	Kollektivdosis nach Arbeitspaket, KKM.	59
33	Personalaufwand nach Arbeitspaket für die drei Stilllegungsziele, KKG.	60
34	Kollektivdosis nach Arbeitspaket, KKG.	60
35	Personalaufwand nach Arbeitspaket für die drei Stilllegungsziele, KKL.	61
36	Kollektivdosis nach Arbeitspaket, KKL.	61
37	Personalaufwand nach Arbeitspaket für die drei Stilllegungsziele, Zwibez.	62
38	Kollektivdosis nach Arbeitspaket, Zwibez.	62
39	Personalaufwand nach Arbeitspaket für die drei Stilllegungsziele, Zwiilag.	63
40	Kollektivdosis nach Arbeitspaket, Zwiilag.	63
41	Stilllegungsziel 1 – Ausgangskosten für die Stilllegung der KKW Beznau, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt.	67
42	Stilllegungsziel 2 – Ausgangskosten für die Stilllegung der KKW Beznau, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt.	68
43	Stilllegungsziel 3 – Ausgangskosten für die Stilllegung der KKW Beznau, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt.	69
44	Stilllegungsziel 1 – Ausgangskosten für die Stilllegung des Zwischenlagers Beznau und des zentralen Zwischenlagers Würenlingen.	70
45	Stilllegungsziel 2 – Ausgangskosten für die Stilllegung des Zwischenlagers Beznau und des zentralen Zwischenlagers Würenlingen.	71
46	Stilllegungsziel 3 – Ausgangskosten für die Stilllegung des Zwischenlagers Beznau und des zentralen Zwischenlagers Würenlingen.	72
47	Stilllegungsziel 1 – Kosten für Massnahmen zur Risikominderung bei der Stilllegung der KKW Beznau, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt.	77
48	Stilllegungsziel 2 – Kosten für Massnahmen zur Risikominderung bei der Stilllegung der KKW Beznau, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt.	78
49	Stilllegungsziel 3 – Kosten für Massnahmen zur Risikominderung bei der Stilllegung der KKW Beznau, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt.	79
50	Stilllegungsziel 1 – Kosten für Massnahmen zur Risikominderung bei der Stilllegung des Zwischenlagers Beznau und des zentralen Zwischenlagers Würenlingen.	80
51	Stilllegungsziel 2 – Kosten für Massnahmen zur Risikominderung bei der Stilllegung des Zwischenlagers Beznau und des zentralen Zwischenlagers Würenlingen.	81
52	Stilllegungsziel 3 – Kosten für Massnahmen zur Risikominderung bei der Stilllegung des Zwischenlagers Beznau und des zentralen Zwischenlagers Würenlingen.	82
53	Stilllegungsziel 1 – Basiskosten für die Stilllegung der KKW Beznau, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt.	83
54	Stilllegungsziel 2 – Basiskosten für die Stilllegung der KKW Beznau, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt.	84
55	Stilllegungsziel 3 – Basiskosten für die Stilllegung der KKW Beznau, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt.	85

56	Stilllegungsziel 1 – Basiskosten für die Stilllegung des Zwischenlagers Beznau und des zentralen Zwischenlagers Würenlingen.	86
57	Stilllegungsziel 2 – Basiskosten für die Stilllegung des Zwischenlagers Beznau und des zentralen Zwischenlagers Würenlingen.	87
58	Stilllegungsziel 3 – Basiskosten für die Stilllegung des Zwischenlagers Beznau und des zentralen Zwischenlagers Würenlingen.	88
59	Stilllegungsziel 1 – Prognoseungenauigkeiten der Kostenermittlung für die Stilllegung der KKW Beznau, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt.	89
60	Stilllegungsziel 2 – Prognoseungenauigkeiten der Kostenermittlung für die Stilllegung der KKW Beznau, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt.	90
61	Stilllegungsziel 3 – Prognoseungenauigkeiten der Kostenermittlung für die Stilllegung der KKW Beznau, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt.	91
62	Stilllegungsziel 1 – Prognoseungenauigkeiten der Kostenermittlung für die Stilllegung des Zwischenlagers Beznau und des zentralen Zwischenlagers Würenlingen.	92
63	Stilllegungsziel 2 – Prognoseungenauigkeiten der Kostenermittlung für die Stilllegung des Zwischenlagers Beznau und des zentralen Zwischenlagers Würenlingen.	93
64	Stilllegungsziel 3 – Prognoseungenauigkeiten der Kostenermittlung für die Stilllegung des Zwischenlagers Beznau und des zentralen Zwischenlagers Würenlingen.	94
65	Kostenzuschlag Gefahren und Kostenabzug für Chancen für das Stilllegungsziel 1.	100
66	Kostenzuschlag Gefahren und Kostenabzug für Chancen für das Stilllegungsziel 2.	100
67	Kostenzuschlag Gefahren und Kostenabzug für Chancen für das Stilllegungsziel 3.	101
68	Stilllegungskostenermittlung der Kostenstudie 2021 für das Stilllegungsziel 1.	103
69	Stilllegungskostenermittlung der Kostenstudie 2021 für das Stilllegungsziel 2.	103
70	Stilllegungskostenermittlung der Kostenstudie 2021 für das Stilllegungsziel 3.	104
71	Funktionale Pakete zur Planung und Kostenermittlung der Stilllegungskosten.	112
72	Basiskosten und Gesamtkosten gemäss den ISDC für die Stilllegung von KKB.	114
73	Basiskosten und Gesamtkosten gemäss den ISDC für die Stilllegung von KKM.	115
74	Basiskosten und Gesamtkosten gemäss den ISDC für die Stilllegung von KKG.	115
75	Basiskosten und Gesamtkosten gemäss den ISDC für die Stilllegung von KKL.	116
76	Basiskosten und Gesamtkosten gemäss den ISDC für die Stilllegung des Zwibez.	116
77	Basiskosten und Gesamtkosten gemäss den ISDC für die Stilllegung des zentralen Zwischenlagers Würenlingen.	117

1 Ausgangslage

1.1 Einleitung

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

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

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

Der Mantelbericht [1] erläutert die Rahmenbedingungen der KS21 und fasst die wichtigsten Resultate der vier Teilberichte zusammen. Der vorliegende Bericht zur «Ermittlung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen» nimmt Bezug auf die im Mantelbericht [1] gegebenen Erläuterungen der Rahmenbedingungen und Neuerungen im Vergleich zur KS16 und präzisiert diese Angaben hinsichtlich der Spezifika der Stilllegung. Die Ermittlung der Stilllegungskosten wird gemäss den in der KS16 eingeführten Kostenstrukturen vorgenommen und entsprechend der damals eingeführten Kostengliederung dargestellt.

In Kapitel 1 des Berichts wird der rechtliche Rahmen dargelegt und auf die Stilllegung näher eingegangen. Kapitel 2 beschreibt die Randbedingungen, Annahmen und Vorgaben für die Ermittlung der Stilllegungskosten. Das verwendete Modell zur Kalkulation der Kosten der Stilllegung, die Kostenstruktur und Kostengliederung für die Präsentation der Ergebnisse der Kostenermittlung sind Gegenstand von Kapitel 3. Die wesentlichen Einflussfaktoren auf die Stilllegungskosten werden in Kapitel 4 aufgezeigt und mit jenen der Kostenstudie von 2016 verglichen. Eine zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der Kostenermittlung findet sich in Kapitel 5.

Abbildung 1 gibt eine Übersicht über die Verknüpfung der Berichte, der KS21 sowie der Finanzierung des Nachbetriebs, der Stilllegung und der Entsorgung.

Die Berichte zur KS21 enthalten zahlreiche Fachbegriffe. Diese wurden in einem Glossar [6] zusammengefasst und erläutert. Das Glossar ist Bestandteil der Kostenstudie.

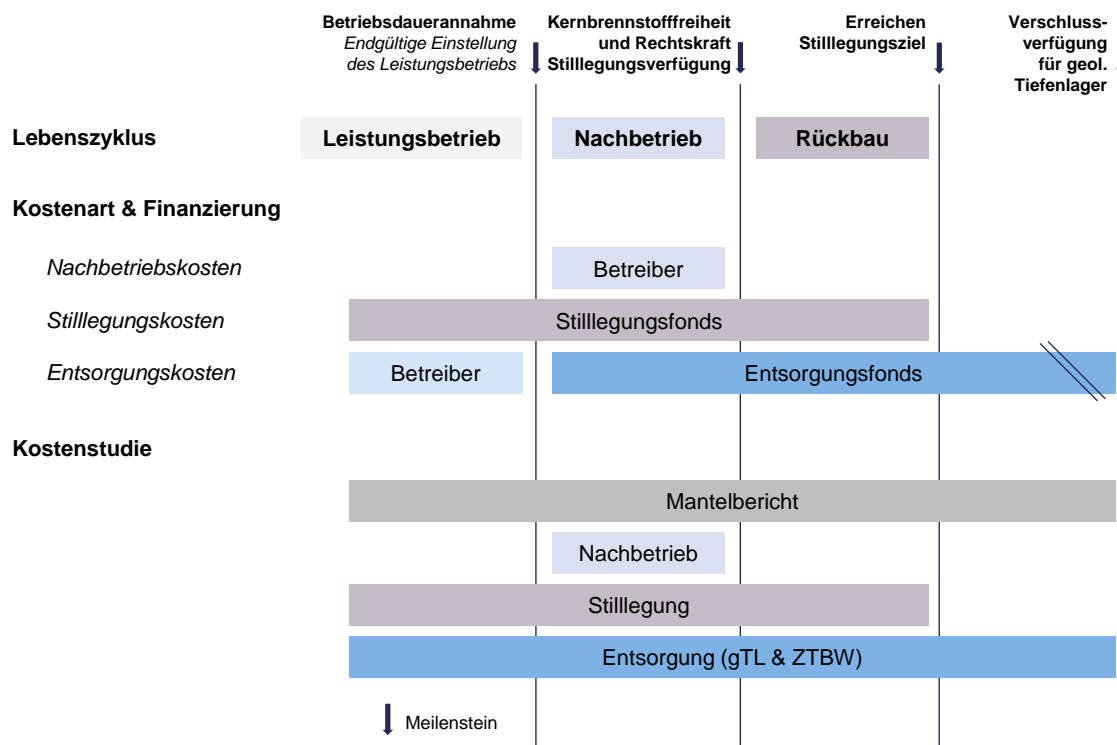


Abbildung 1: Übersicht über die Verknüpfung der Teilberichte und die Finanzierung des Nachbetriebs, der Stilllegung und der Entsorgung, inklusive entsprechender Hauptdokumente der KS21.

1.2 Sicherstellung der Finanzierung von Nachbetrieb, Stilllegung und Entsorgung

Das Kernenergiegesetz [7], die Kernenergieverordnung [8], die Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung [9], das Strahlenschutzgesetz [10] und die Strahlenschutzverordnung [11] formulieren zentrale Anforderungen an die Stilllegung von Kernanlagen und die Entsorgung von radioaktiven Abfällen und deren Finanzierung.

1.2.1 Verursacherprinzip

Die kommerzielle Nutzung der Kernenergie zur Stromproduktion und auch radiologische Anwendungen in Medizin, Industrie und Forschung verursachen radioaktive Abfälle. Im 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.

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».

Das Verursacherprinzip und die Entsorgungspflicht gelten uneingeschränkt auch für die während der Stilllegung der Kernkraftwerke anfallenden radioaktiven Abfälle.

¹Art. 31 Abs. 1 KEG [7].

²Art. 27 Strahlenschutzgesetz (StSG) [10].

³Art. 31 Abs. 2 Bst. a KEG [7].

1.2.2 Finanzierung der Entsorgungs-, Stilllegungs- und Nachbetriebskosten

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

Staatlich kontrollierte Fonds

Die Betreiber der Kernanlagen sind dazu verpflichtet, einen Stilllegungs- und einen Entsorgungsfonds zu bilden sowie an diese Fonds Beiträge zu leisten⁴.

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

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

Die beiden Fonds stellen sicher, dass genügend finanzielle Mittel vorhanden sind, um sämtliche Stilllegungskosten und alle nach endgültiger Ausserbetriebnahme⁵ der Kernkraftwerke anfallenden Entsorgungskosten zu decken. Die Bemessung der in den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds zu leistenden Beiträge sowie der Rückstellungen der Betreiber für die Stilllegung und die Entsorgung erfolgt auf Basis einer umfassenden Ermittlung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten. Diese Kosten müssen gemäss Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung⁶ alle fünf Jahre neu geschätzt werden. Als Berechnungsgrundlage für die Höhe der Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten wird entsprechend den Vorgaben für die Erstellung der KS21 für die Kernkraftwerke eine Betriebsdauer von 50 Jahren angenommen⁷. Für das Kernkraftwerk Mühleberg wird die effektiv erreichte Betriebsdauer von 47 Jahren zugrunde gelegt. Für die Bemessung der Fondsbeiträge und deren Einzahlungen gilt, unabhängig von der tatsächlichen Laufzeit, für alle Kernkraftwerke, einschliesslich des Kernkraftwerks Mühleberg, eine Laufzeit von 50 Jahren⁸.

Jeder Beitragspflichtige hat gegenüber den Fonds einen Anspruch im Umfang seiner geleisteten Beiträge, einschliesslich des Kapitalertrags und abzüglich der Verwaltungskosten. Zusätzlich zur Einzahlungspflicht sieht das Kernenergiegesetz eine Nachschusspflicht der Betreiber vor⁹. Reicht der Anspruch¹⁰ eines Beitragspflichtigen an einen der Fonds zur Deckung der Kosten nicht aus, deckt der Beitragspflichtige die verbleibenden Kosten aus eigenen Mitteln¹¹. Weist der Beitragspflichtige nach, dass seine Mittel nicht ausreichen, deckt der Stilllegungs- beziehungsweise der Entsorgungsfonds die verbleibenden Kosten mit seinen gesamten Mitteln¹². Übersteigen die Zahlungen eines Fonds zu Gunsten eines Berechtigten dessen Anspruch¹³, muss er dem Fonds den Differenzbetrag samt einem marktüblichen Zins zurückbezahlen¹³. Kann der Berechtigte die Rückerstattung nicht leisten, so müssen die übrigen Beitragspflichtigen und Anspruchsberechtigten des entsprechenden Fonds für den Differenzbetrag aufkommen¹⁴. 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 beteiligt¹⁵.

⁴Art. 77 KEG [7].

⁵Gemäss Art. 8 Abs. 2 Bst. a SEFV [9] ist unter endgültiger Ausserbetriebnahme eines Kernkraftwerks die endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs zu verstehen. Für die Kostenstudie 2021 wird daher die endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs als Startzeitpunkt für die Inanspruchnahme der Mittel dem Entsorgungsfonds angenommen. Der Stilllegungsfonds stellt zudem die Stilllegungskosten vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs sicher.

⁶Art. 4 Abs. 1 SEFV [9].

⁷Art. 8 Abs. 3 SEFV [9].

⁸Art. 9c Abs. 1 SEFV [9].

⁹Art. 80 KEG [7].

¹⁰Gemäss Art. 78 Abs. 1 KEG [7] hat jeder Beitragspflichtige gegenüber den Fonds einen Anspruch im Umfang seiner geleisteten Beiträge, einschliesslich des Kapitalertrags und abzüglich des Aufwands.

¹¹Art. 79 Abs. 1 KEG [7].

¹²Art. 79 Abs. 2 KEG [7].

¹³Art. 80 Abs. 1 KEG [7].

¹⁴Art. 80 Abs. 2 KEG [7].

¹⁵Art. 80 Abs. 4 KEG [7].

Die beiden Fonds stehen unter der Aufsicht des Bundesrats¹⁶. Eine von diesem ernannte Verwaltungskommission¹⁷ ist das Leitungsorgan der Fonds¹⁸. Sie setzt zur fachlichen Unterstützung zwei Ausschüsse ein, den Anlageausschuss als Steuerungs-, Koordinations- und Überwachungsorgan für die Vermögensbewirtschaftung sowie den Kostenausschuss für die Kostenberechnung und die Auszahlungen. Die Leitungsgremien der Fonds sind mehrheitlich mit Mitgliedern besetzt, die von den Betreibern der Kernanlagen unabhängig sind¹⁹.

Mit der Einrichtung des Stilllegungs- und des Entsorgungsfonds besteht zusätzlich zur gesetzlichen Kostentragungspflicht der Betreiber der Kernanlagen ein Sicherungsinstrument zur Gewährleistung, dass dem Verursacherprinzip konsequent Rechnung getragen wird. Es ist nicht nur sichergestellt, dass die Kosten zur nachhaltigen Beseitigung der Kernanlagen und der von diesen verursachten radioaktiven Abfälle von den Betreibern getragen werden, sondern auch, dass die nach der Ausserbetriebnahme der Kernanlagen benötigten finanziellen Mittel tatsächlich verfügbar sind.

Eigene Vorsorge der Betreiber

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

Die mit dem Nachbetrieb verbundenen Aufwendungen – sie entsprechen weder der Definition von Entsorgungskosten²⁰ noch der von Stilllegungskosten²¹ – sind als (letzter) Teil der Betriebskosten zu betrachten. Auch sie sind, entsprechend dem im Kernenergiegesetz²² verankerten Verursacherprinzip, durch die Betreiber zu tragen. Der Nachbetrieb wird von den Betreibern direkt finanziert.

1.2.3 Rückstellungen für Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten

Die Betreiber bilden in ihren Bilanzen sämtliche Verpflichtungen für zukünftige Aufwendungen zur Stilllegung der Kernanlagen und zur Entsorgung der von diesen verursachten, radioaktiven Abfällen ab. Sie bilden dazu auf der Basis der jeweiligen Kostenstudien und gemäss den anzuwendenden Rechnungslegungsvorschriften²³ Rückstellungen für den Nachbetrieb, die Stilllegung und die Entsorgung. Im Zusammenhang mit der Prüfung der Jahresrechnung werden die Rückstellungen von einer externen Revisionsstelle testiert²⁶. Während die Festsetzung der Höhe der Fondsbeiträge durch die Verwaltungskommission erfolgt²⁴, sind die Betreiber verantwortlich für die Festlegung der Höhe der Rückstellungen gemäss den entsprechenden Rechnungslegungsvorschriften²⁶.

Die externe Revisionsstelle prüft, ob die Betreiber Rückstellungen für Entsorgungskosten vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs mindestens in Höhe des von der Verwaltungskommission genehmigten Rückstellungsplans gebildet und zweckgebunden verwendet haben²⁵. Die Höhe und die zweckgebundene Verwendung der Rückstellungen werden jährlich durch die jeweilige Revisionsstelle geprüft²⁶. Die Betreiber legen der Verwaltungskommission diesen Prüfbericht vor²⁷.

1.2.4 Kostenstudien der Stilllegungs- und Entsorgungspflichtigen

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

¹⁶Art. 20 Abs. 2, 29a Abs. 1 SEFV [9].

¹⁷Art. 81 Abs. 2 KEG [7] und Art. 23 SEFV [9].

¹⁸Der Bundesrat hat für den Stilllegungs- und den Entsorgungsfonds ein und dieselbe Verwaltungskommission eingesetzt.

¹⁹Art. 21 Abs. 2, Art. 21a Abs. 1 und Art. 22 Abs. 1^{bis} SEFV [9].

²⁰Art. 3 SEFV [9].

²¹Art. 2 SEFV [9].

²²Art. 31 Abs. 1 KEG [7].

²³Art. 960e Obligationenrecht (OR) [18], IFRS [19] bzw. Swiss GAAP FER [20].

²⁴Art. 23 Bst. c SEFV [9].

²⁵Art. 82 Abs. 2 Bst. c KEG [7].

²⁶Vgl. Art. 82 Abs. 3 KEG [7].

²⁷Art. 19 Abs. 2 SEFV [9].

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

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

1.3 Die Stilllegung

Das Kernenergiegesetz²⁸ 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.

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 Betreiber²⁹. 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 bedürfen³⁰.

Mit dem Stilllegungsprojekt wird gemäss Kernenergieverordnung³¹ 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, [10]). In der Schweiz kommen aus gesetzlichen³² Gründen allerdings nur die zwei Varianten «Sofortiger Rückbau» oder «Späterer Rückbau nach einem gesicherten Einschluss» in Frage. Die beiden Varianten werden in Abschnitt 1.3.2 erläutert und die Auswahl für die vorliegende Kostenstudie begründet.

1.3.1 Stilllegungsplan

Die letzte Aktualisierung des Stilllegungsplans durch die Inhaber der Betriebsbewilligungen der Kernanlagen erfolgte 2011.

Der Inhaber einer Betriebsbewilligung hat den Plan für die Stilllegung der Kernanlage oder bei einem geologischen Tiefenlager das Projekt für die Beobachtungsphase und den Plan für den Verschluss alle zehn Jahre zu überprüfen und nachzuführen. Für das Kernkraftwerk Mühleberg liegt seit Juni 2018 eine rechtskräftige Stilllegungsverfügung vor. Die Erkenntnisse aus dem Stilllegungsprojekt wurden als Grundlage für die KS21 verwendet. Für die übrigen Kernanlagen wurden die Stilllegungspläne im Zuge der KS21 aktualisiert.

²⁸ Art. 16 KEG [7].

²⁹ Art. 27 KEG [7].

³⁰ Art. 28 KEG [7].

³¹ Art. 45 Bst. a KEV [8].

³² Art. 26 Abs. 2 Bst. d in Verbindung mit Art. 31 Abs. 2 Bst. a KEG [7].

1.3.2 Varianten der Stilllegung

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 rechtskräftig ist, werden die Stilllegungsarbeiten umgesetzt. Radioaktive Materialien werden dekontaminiert, freigegeben oder einer Abklinglagerung zugeführt beziehungsweise konditioniert. Bauwerke, die weder kontaminierte noch aktivierte Bauteile enthalten, werden abgerissen oder können ohne durch die Kernenergiegesetzgebung bedingte Einschränkungen am Standort verbleiben.

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.

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 untersteht³³.

Bei der Entscheidungsfindung werden die gesetzlichen Stilllegungspflichten³⁴ 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.

Neben den im Kernenergiegesetz formulierten Anforderungen 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 [12] 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).

³³Art. 29 Abs. 1 KEG [7].

³⁴Art. 26 Abs. 2 KEG [7].

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

Auf Basis der vorgenannten rechtlichen Vorgaben und Empfehlungen sowie in Übereinstimmung mit den Vorgaben der Verwaltungskommission für die Erstellung der KS21 wird 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 Betreiber wird in seinem Rückbauprojekt die gewählte Lösung begründen.

1.3.3 Stilllegungsziele

Die Stilllegungsziele sowie die weiteren Randbedingungen, Annahmen und Vorgaben sind in den nachfolgenden Abschnitten 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).

In den Kostenermittlungen zur Stilllegung wird als wesentliche Annahme für die betrachteten drei Stilllegungsziele 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 (EELB) 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 kernenergierechtlichen Bewilligung und Aufsicht entlassen werden kann.

Stilllegungsziel 1

Zur Erreichung des Stilllegungsziels 1 werden sämtliche Anlagen und Einrichtungen in der Anlage demontiert, und die Gebäudeoberflächen werden unter die gültigen Freigabewerte dekontaminiert und freigemessen. Anschliessend werden diese Bereiche radiologisch befreit und durch die Aufsichtsbehörde ausgezont. Es erfolgt kein Gebäudeabbruch. Das Stilllegungsziel 1 ist erreicht, wenn die Stilllegungsarbeiten ordnungsgemäss abgeschlossen wurden und von der Anlage keine radiologische Gefährdung ausgeht. Die Anlage wird aus der Kernenergiegesetzgebung entlassen und kann ohne Einschränkung und Aufsicht für andere Zwecke verwendet werden können.

Gebäudeabbruch

Der Abbruch der Gebäude mit kontrollierter Zone erfolgt bei den Stilllegungszielen 2 und 3 grundsätzlich nach der radiologischen Befreiung und Auszonung von Bereichen mit kontrollierter Zone durch die Aufsichtsbehörde³⁵. Es wird davon ausgegangen, dass alle Gebäude ohne kontrollierte Zone (konventionelle Gebäude) unabhängig davon abgebrochen werden.

Stilllegungsziel 2

Beim Stilllegungsziel 2 werden gegenüber dem Stilllegungsziel 3 potenzielle Kosteneinsparungen beim Gebäudeabbruch quantifiziert und ausgewiesen, die sich aus einem Entfernen der Fundamente bis zu einer Tiefe von -2 Metern ab Oberkante Terrain, anstelle des vollständigen Entfernen ergeben.

³⁵Art. 83 StSV [11].

Stilllegungsziel 3

Beim Stilllegungsziel 3 werden gemäss den Vorgaben der Verwaltungskommission die Kosten unter der Annahme ermittelt, dass die Anlage aus der Kernenergiegesetzgebung entlassen ist und der konventionelle Rückbau inklusive Entfernung sämtlicher Fundamente abgeschlossen wurde.

1.3.4 Abgrenzung Nachbetrieb und Stilllegung

Die Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung³⁶ definiert die Stilllegungs- und Entsorgungskosten von Kernanlagen. Hiervon zu unterscheiden sind die Nachbetriebskosten. Die mit dem Nachbetrieb verbundenen Aufwendungen entsprechen weder der Definition von Entsorgungskosten³⁷ noch der Definition von Stilllegungskosten³⁸.

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

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

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

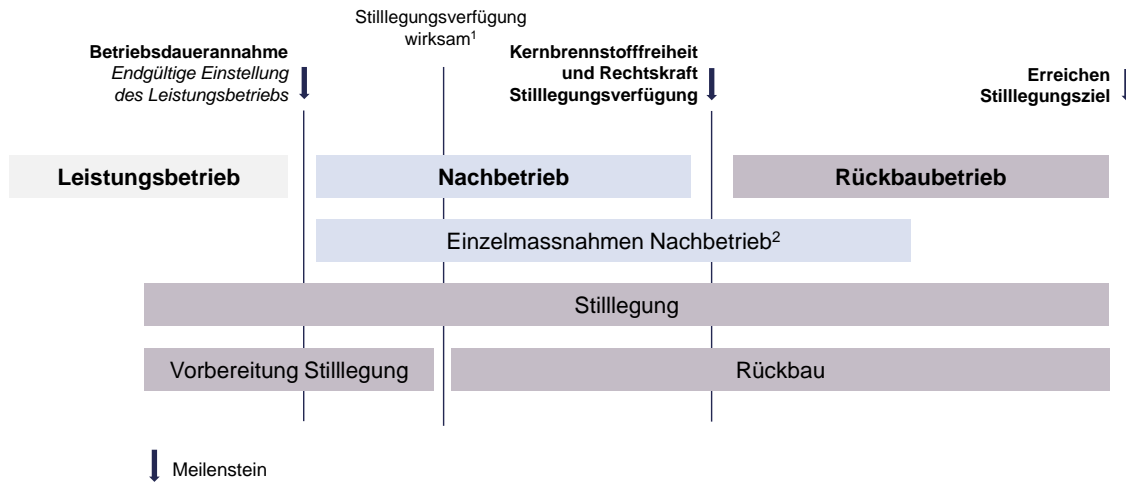
- Massnahmen, die einen infrastrukturbezogenen und damit durchlaufenden Charakter haben (beispielsweise Anlagesicherung), werden zunächst vollständig dem Nachbetrieb zugeordnet. Nach dem Erreichen der Kernbrennstofffreiheit erfolgt die Zuordnung dieser Massnahmen vollständig zum Rückbau. Gleiches gilt für die Instandhaltungsmassnahmen und Prüfungen an den nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs noch benötigten Systemen. Dabei wird unterstellt, dass die Stilllegungsverfügung bis zum Zeitpunkt der Kernbrennstofffreiheit eines Kernkraftwerks rechtskräftig vorliegt. Sollte dies bis zum Erreichen der Kernbrennstofffreiheit nicht der Fall sein, sind die entsprechenden Massnahmen so lange dem Nachbetrieb zuzuordnen, bis die Stilllegungsverfügung rechtskräftig vorliegt.
- Massnahmen, die bis zum Erreichen der Kernbrennstofffreiheit umsetzbar sind und primär der Aufrechterhaltung der Sicherheit sowie der sicherheitsfördernden Vereinfachung der Anlage dienen, sind grundsätzlich den Nachbetriebskosten zuzuordnen. Sie sind daher von den Betreibern direkt zu bezahlen und nicht im Stilllegungsfonds sicherzustellen.
- Rückbaubezogene Massnahmen, die den Rückbau vorbereiten beziehungsweise der Umsetzung des Rückbaus dienen, sind – selbst wenn sie vor dem Erreichen der Kernbrennstofffreiheit anfallen – den Stilllegungskosten zuzuordnen. Umgekehrt sind Massnahmen, die unabhängig vom Rückbau durchzuführen sind (beispielsweise die werksinternen Arbeiten zur Entsorgung auf der Anlage noch vorhandener Betriebsabfälle) von den Stilllegungskosten abzugrenzen und den Nachbetriebskosten zuzuordnen. Exemplarisch ist diese Unterscheidung in Abbildung 2 dargestellt.

Die Kosten des Nachbetriebs wurden im Rahmen der vorliegenden Kostenermittlung für die Schweizerischen Kernanlagen aktualisiert. Die Ergebnisse sind in einem separaten Bericht «Kostenstudie 2021 (KS21), Ermittlung der Nachbetriebskosten der Schweizer Kernkraftwerke» [4] dargestellt.

³⁶Art. 2 und Art. 3 SEFV [9].

³⁷Art. 3 SEFV [9].

³⁸Art. 2 SEFV [9].



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

Abbildung 2: Abgrenzung von Leistungsbetrieb, Nachbetrieb und Stilllegung.

Bereits vorgängig sowie während des Nachbetriebs finden Stilllegungsarbeiten statt. Die Stilllegungsarbeiten vor EELB beinhalten das Erstellen der Unterlagen zum Stilllegungsprojekt und das Erwirken der Stilllegungsverfügung sowie vorbereitende Planungsarbeiten und erste Vorbereitungs- und Umbaumaassnahmen. Der technische Nachbetrieb beginnt mit EELB, es werden in der Anlage Arbeiten durchgeführt, um diese in einen für den Nachbetrieb dauerhaft sicheren Zustand überzuführen. Sobald diese Massnahmen zur Etablierung des technischen Nachbetriebs abgeschlossen sind und die Wirksamkeit der Stilllegungsverfügung vorliegt, ist die endgültige Ausserbetriebnahme (EABN) erreicht. Sodann kann zeitlich überlappend zur anschliessenden Aufrechterhaltung des technischen Nachbetriebs mit den eigentlichen Stilllegungsarbeiten, d. h. mit dem Rückbau der Anlagenteile, begonnen werden. Die Aufrechterhaltung des technischen Nachbetriebs endet mit dem Erreichen der Kernbrennstofffreiheit. Danach wird die Aufrechterhaltung der betrieblichen Infrastruktur im Rahmen dessen, was mit fortschreitendem Rückbau noch benötigt wird, als Rückbaubetrieb fortgesetzt. Der Rückbaubetrieb ist Teil der Stilllegung und wird somit durch den Stilllegungsfonds finanziert.

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 Rückbaus³⁹. Zu den Kosten für die Stilllegung zählen auch der Transport und die Entsorgung der bei der Stilllegung anfallenden Abfälle.

Die vorliegende Kostenstudie und das Entsorgungsprogramm werden inhaltlich koordiniert und gleichzeitig beim Bund eingereicht. Die Ergebnisse der aktualisierten Kostenermittlung für die Entsorgung sind in den Berichten «Ermittlung der Entsorgungskosten – Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufbereitung» [3] und «Ermittlung der Entsorgungskosten – geologische Tiefenlagerung» [2] dargestellt.

³⁹Art. 2 SEFV [9].

1.4 Betriebs- und Stilllegungsdauern der Kernanlagen

Als Berechnungsgrundlage für die Kostenermittlung wird für die Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt eine Betriebsdauer von 50 Jahren angenommen⁴⁰. Für das Kernkraftwerk Mühleberg wird entsprechend der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs im Dezember 2019 eine Betriebsdauer von 47 Jahren angesetzt. Kann ein Kernkraftwerk länger als 50 Jahre betrieben werden, kann die Verwaltungskommission eine abweichende Betriebsdauerannahme anordnen⁴¹.

Entsprechend den Vorgaben der Verwaltungskommission sind die Stilllegungskosten der Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt für eine Betriebsdauerannahme von 50 sowie 60 Jahren zu ermitteln (siehe Anhang A.2). Das Kernkraftwerk Beznau hat im Jahr 2020 das 50. Betriebsjahr vollendet⁴². Da sich das Werk zum Zeitpunkt der KS21 noch im Leistungsbetrieb befindet, wurden die Stilllegungskosten basierend auf einer Betriebsdauerannahme von 60 Jahren ermittelt. Bei einer planmässigen EELB ergeben sich keine Kostenunterschiede («Overnight») zwischen einer Betriebsdauerannahme von 50 Jahren und einer solchen von 60 Jahren.

Für die Einrichtungen der Zwiilag und des Zwischenlagers Beznau sieht die Planung vor, dass die Anlagen im Zeitraum von 2072 bis 2078 zurückgebaut werden.

Für die Bemessung der Fondsbeiträge und für die Einzahlungen gilt eine Laufzeitannahme von 50 Jahren⁴³.

Für die Kostenermittlung gilt der in Tabelle 4 gegebene zeitliche Rahmen.

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

Anlage	IBN von	EELB / EEB ^{a)} bis inkl.	Nachbetrieb		ab	Stilllegung bzw. Rückbau			
			von	bis inkl.		Stilllegungsziel 1		Stilllegungsziel 3	
						Abschluss Stilllegung	Jahre ab EELB bis Abschluss Stilllegung	Abschluss Stilllegung	Jahre ab EELB bis Abschluss Stilllegung
KKB ^{b)}	1970	2020	2021	2024	Die Erarbeitung des Stilllegungsprojekts und Planungen können vor Abschluss des Nachbetriebs oder bereits während des Leistungsbetriebs beginnen.	2030	10	2034	14
KKM	1972	2019	2020	2024		2031	12	2034	15
KKG	1979	2029	2030	2032		2039	10	2043	14
KKL	1984	2034	2035	2038		2045	11	2049	15
KKG Nasslager	2008	2035	kein Nachbetrieb			2036	1	2037	2
ZwibeZ	2008	2071	kein Nachbetrieb			2072	1	2072	1
Zwiilag	2000	2071	kein Nachbetrieb			2076	5	2078	7

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

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

b) Der Einfachheit halber wird für beide Blöcke des KKB das Jahr 1970 als «mittleres» Inbetriebsetzungs- und das Jahr 2020 als «mittleres» Ausserbetriebnahmejahr verwendet. Für die Kostenberechnung wird als Modellannahme von einer Betriebsdauer von 50 Jahre ausgegangen.

⁴⁰ Art. 8 Abs. 3 SEFV [9].

⁴¹ Art. 4 Abs. 3. SEFV [9].

⁴² Der Einfachheit halber wird für beide Blöcke des KKB das Jahr 1970 als «mittleres» Inbetriebsetzungs- und das Jahr 2020 als «mittleres» Ausserbetriebnahmejahr verwendet.

⁴³ Art. 9c Abs. 1 SEFV [9].

2 Vorgaben und Annahmen

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

2.1 Rechtliche und behördliche Vorgaben

Als Grundlage für die Stilllegungskostenberechnung für die Schweizer Kernanlagen dienen unter anderem die in den folgenden Abschnitten aufgeführten und per 1. Januar 2020 rechtsgültigen Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Vorschriften, Normen und Regeln sowie die verwendeten, im Glossar [6] definierten Begriffe. Die Auflistung ist nicht abschliessend, nennt aber, ergänzend zu den in Abschnitt 1.2 aufgeführten grundlegenden Gesetzen und Verordnungen, die zentralen für die Stilllegung zu beachtenden Regelwerken.

2.1.1 Gesetze und Verordnungen

Für die Stilllegung der Schweizer Kernanlagen sind insbesondere folgende Gesetze und Verordnungen zu erwähnen.

- Strahlenschutzgesetz, StSG [10].
- Strahlenschutzverordnung, StSV [11].
- Kernenergiegesetz, KEG [7].
- Kernenergieverordnung, KEV [8].
- Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung, SEFV [9].
- Safeguardsverordnung, SafGV [13] mit zugehörigen Verordnungen des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation über die Gefährdungsannahmen und Sicherheitsmassnahmen für Kernanlagen und Kernmaterialien [14] und über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen [15].
- Kernenergiehaftpflichtgesetz, KHG [16].
- Kernenergiehaftpflichtverordnung, KHV [17].
- Obligationenrecht [18] sowie Rechnungslegungsnormen IFRS [19] und Swiss GAAP FER [20].
- Bundesgesetz über die Arbeit in Industrie, Gewerbe und Handel (Arbeitsgesetz, ArG) [21] mit zugehörigen Verordnungen (ArGV 1 [22], ArGV 2 [23], ArGV 3 [24] und ArGV 4 [25]).
- Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten (Verordnung über die Unfallverhütung VUV) [26].
- Bundesgesetz über die Unfallversicherung [27] und Verordnung über die Unfallversicherung [28].
- Verordnung über sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen in Kernanlagen [29].
- Verordnung über die Sicherheit von Maschinen [30].
- Verordnung über die Personendosimetrie [31].
- Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen [32].
- Gebührenverordnung des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats [33] und Verordnung über die Gebühren im Strahlenschutz [34].
- 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 des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats und anderer Behörden:

- ENSI-A01 Anforderungen an die deterministische Störfallanalyse für Kernanlagen: Umfang, Methodik und Randbedingungen der technischen Störfallanalyse [35].
- ENSI-A03 Periodische Sicherheitsüberprüfung von Kernkraftwerken [36].
- ENSI-A04 Gesuchsunterlagen für freigabepflichtige Änderungen an Kernanlagen [37].
- ENSI-A05 Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Qualität und Umfang [38].
- ENSI-A06 Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Anwendung [39].
- ENSI-A08 Quelltermanalyse: Umfang, Methodik und Randbedingungen [40].
- ENSI-B01 Alterungsüberwachung [41].
- ENSI-B02 Periodische Berichterstattung der Kernanlagen [42].
- ENSI-B03 Meldungen der Kernanlagen [43].
- ENSI-B04 Freimessen von Materialien und Bereichen aus kontrollierten Zonen [44].
- ENSI-B05 Anforderungen an die Konditionierung radioaktiver Abfälle [45].
- ENSI-B06 Sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen: Instandhaltung [46].
- ENSI-B07 Sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen: Qualifizierung der zerstörungsfreien Prüfungen [47].
- ENSI-B09 Ermittlung und Aufzeichnung der Dosis strahlenexponierter Personen [48].
- ENSI-B10 Ausbildung, Wiederholungsschulungen und Weiterbildung von Personal [49].
- ENSI-B11 Notfallübungen [50].
- ENSI-B12 Notfallschutz in Kernanlagen [51].
- ENSI-B13 Ausbildung und Fortbildung des Strahlenschutzpersonals [52].
- ENSI-B14 Instandhaltung sicherheitstechnisch klassierter elektrischer und leittechnischer Ausrüstungen [53].
- ENSI-B17 Betrieb von Zwischenlagern für radioaktive Abfälle [54].
- ENSI-G01 Sicherheitstechnische Klassierung für bestehende Kernkraftwerke [55].
- ENSI-G05 Transport- und Lagerbehälter für die Zwischenlagerung [56].
- ENSI-G07 Organisation von Kernanlagen [57].
- ENSI-G08 Systematische Sicherheitsbewertungen des Betriebs von Kernanlagen [58].
- ENSI-G09 Betriebsdokumentation [59].
- ENSI-G13 Messmittel für ionisierende Strahlung [60].
- ENSI-G14 Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung aufgrund von Emissionen radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen [61].
- ENSI-G15 Strahlenschutzziele für Kernanlagen [62].
- ENSI-G17 Stilllegung von Kernanlagen [63].
- HSK-R07 Richtlinie für den überwachten Bereich der Kernanlagen und des Paul Scherrer Instituts [64].
- HSK-R-46 Anforderungen für die Anwendung von sicherheitsrelevanter rechnerbasierter Leittechnik in Kernkraftwerken [65].

- HSK-R-50 Sicherheitstechnische Anforderungen an den Brandschutz in Kernanlagen [66].
- Brandschutzvorschriften der Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen (VKF), Brandschutznorm und diverse Brandschutzrichtlinien mit verschiedenen Ausgabejahren.

Internationale Empfehlungen:

- Decommissioning Strategies for Facilities Using Radioactive Material, IAEA Safety Reports Series No. 50 [67].
- Decommissioning of Nuclear Power Plants, Research Reactors and Other Nuclear Fuel Cycle Facilities, Specific Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. SSG-47 [68].
- Release of Sites from Regulatory Control on Termination of Practices Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. WS-G-5.1 [69].
- The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103 [70].
- Leadership and Management for Safety, General Safety Requirements, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 2 [71].
- Application of the Management System for Facilities and Activities, Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-3.1 [72].
- State of the Art Technology for Decontamination and Dismantling of Nuclear Facilities, IAEA Technical Reports Series No. 395, Vienna 1999 [73].
- Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen - Erfahrungen und Perspektiven, Brenk Systemplanung GmbH, Aachen, November 2009 [74].
- International Structure for Decommissioning Costing (ISDC) of Nuclear Installations, Nuclear Energy Agency (NEA), No. 7088, OECD 2012 [75].
- Cost Estimation for Decommissioning – An international Overview of Cost Element, Estimation Practices and Reporting Requirements, Nuclear Energy Agency, NEA N° 6831, OECD 2010 [76].
- Cost of Decommissioning Nuclear Power Plants, Nuclear Energy Agency, NEA N° 7201, OECD 2016 [77].
- Cost Estimating Guide 413.3.21, U. S. Department of Energy, May 2011 [78].
- Financial Aspects of Decommissioning, IAEA-TECDOC-1476, November 2005 [79].
- Disposal of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Requirements No. SSR-5 [80].
- The Management of System for the Processing, Handling and Storage of Radioactive Waste, IAEA Safety Guide No. GS-G-3.3 [82].
- Decommissioning of Facilities, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 6 [83].
- The Safety Case and Safety Assessment for the Predisposal Management of Radioactive Waste, IAEA General Safety Guide No. GSG-3 [84].
- Safety Assessment for the Decommissioning of Facilities Using Radioactive Material, IAEA Safety Standards No. WS-G-5.2 [85].
- The Management System for the Disposal of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards No. GS-G-3.4 [86].
- Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste, IAEA Safety Standards No. SSG-29 [87].
- Predisposal Management of Radioactive Waste from Nuclear Power Plants and Research Reactors, IAEA Safety Standards No. SSG-40 [88].

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

Für den Strassentransport:

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

Vorschriften und Empfehlungen der IAEA:

- Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, Specific Safety Requirements, IAEA Safety Standards Series No. SSR-6 (Rev.1) [81].
- Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material (2012 Edition), Specific Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. SSG-26 [94].

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).

2.2 Annahmen und Randbedingungen

Neben der Kenntnis der erforderlichen Anlagedaten sind für die Ermittlung der Stilllegungskosten eine Reihe von Randbedingungen, Annahmen und Eingangsdaten festzulegen, ohne die eine Kostenermittlung für Rückbauprojekte nicht durchführbar ist.

Nachfolgend werden weitere Randbedingungen und Annahmen für die Kostenstudie – Teil Stilllegung aufgelistet.

Projektumfang – Betrieb, Nachbetrieb und Stilllegung:

- Im Anschluss an die endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs (EELB) folgen bei den KKW der Nachbetrieb und mit Kernbrennstofffreiheit der Rückbaubetrieb. Die Nachbetriebskosten setzen sich hauptsächlich aus den Betriebskosten der Anlage in diesem Zeitraum zusammen. Im Rahmen der Kostenstudie erfolgt die Abgrenzung des Nachbetriebs vom Rückbaubetrieb zum Zeitpunkt zu dem sowohl die Stilllegungsverfügung rechtskräftig vorliegt als auch die Kernbrennstofffreiheit erreicht ist⁴⁴. Dies ist der Fall, wenn die Stilllegungsverfügung in Rechtskraft erwachsen oder allfälligen Beschwerden die aufschiebende Wirkung entzogen ist. Somit umfasst der Nachbetrieb als Element der Kostenstudie die Zeitspanne bis zu diesem Zeitpunkt. Ab diesem Zeitpunkt gehen die Aufgaben des Nachbetriebs in den Rückbaubetrieb über. Sie werden dann Bestandteil der Stilllegungskosten. Die Stilllegungskosten schliessen die erforderlichen Vorbereitungsmaßnahmen zur Stilllegung (Planung, Erstellen Gesuchsunterlagen für die Stilllegungsverfügung sowie vorbereitende Arbeiten in der Anlage) mit ein. Während des Nachbetriebs laufen Rückbauarbeiten. Die Kosten hierfür werden getrennt dem Nachbetrieb bzw. der Stilllegung zugeordnet.
- Die Stilllegung erfolgt durch sofortigen Rückbau der Anlage, d. h. ohne einen sogenannten sicheren Einschluss.
- Die Stilllegung erfolgt planmässig im Anschluss an die EELB. Für die erforderliche Planung und Unterlagenerstellung für die Stilllegung ist ein ausreichender Zeitraum einkalkuliert. Die Stilllegungsverfügung wird mit Erreichen der Endgültigen Ausserbetriebnahme der Anlage (EABN) umfassend rechtswirksam. Zu diesem Zeitpunkt beginnen die Rückbauarbeiten. Zwischen EELB und EABN kann das Departement in der Stilllegungsverfügung die Durchführung von vorbereitenden Massnahmen anordnen.
- Die folgenden zu erreichenden Stilllegungsziele werden gemäss den Vorgaben der Verwaltungskommission betrachtet:
 - Stilllegungsziel 1: Entlassung aus der Kernenergiegesetzgebung.
 - Stilllegungsziel 2: Vollständiger Rückbau inkl. Entfernung sämtlicher Fundamente bis -2 m ab Oberkante Terrain.
 - Stilllegungsziel 3: Vollständiger Rückbau inkl. Entfernung sämtlicher Fundamente.
- Die Gebäudestrukturen innerhalb des Stahlcontainments beim Druckwasserreaktor (KKB und KKG) werden zum Nachweis der Kontaminationsfreiheit noch unter Bedingungen einer kontrollierten Zone abgebrochen.
- Der Abbruch der Gebäude mit kontrollierter Zone erfolgt nach der Auszonung dieser Bereiche nach Freigabe durch die Behörde. Alle anderen Gebäude werden davon unabhängig abgebrochen.
- 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 (z. B. im Strassenbau) verwendet (konservative Annahme).
- Für die Zwischenlager gilt:
 - Die Stilllegung erfolgt planmässig im Anschluss an einen bestimmungsgemässen Betrieb.
 - 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.

⁴⁴Einzelmassnahmen des Nachbetriebs können möglicherweise auch zeitlich nach Vorliegen der beiden Voraussetzungen anfallen.

- Für die weitere Behandlung und Konditionierung von demontierten Materialien wird – falls erforderlich – die Verfügbarkeit geeigneter Anlagen am Standort (z. T. speziell für diese Zwecke neu errichtet) unterstellt. Anlageteile werden nur zum Zweck der anschliessenden Freigabe dekontaminiert.
- Anlagen und Einrichtungen werden auch in grösseren Tiefen demontiert und die Gebäudeoberflächen – falls erforderlich – unter die gültigen Freigabewerte dekontaminiert, freigemessen und ausgezont.

Genehmigungen, Dokumentation:

- Die mit dem Stilllegungsprojekt einzureichenden Unterlagen stellen das Gesamtkonzept dar, welches u. a. auch eine Umweltverträglichkeitsprüfung beinhaltet. Nach Verfügung der Stilllegung erfolgt die Bearbeitung der Einzelschritte wie in der Stilllegungsverfügung angeordnet, ggf. im Rahmen von Freigaben durch die Behörden (KEV, Art. 47 [8]).
- Die Stilllegungsverfügung liegt rechtzeitig und wirksam vor. Es wird davon ausgegangen, dass die Stilllegung nach fristgemäßem Einreichen eines den gültigen Gesetzen, Verordnungen und sonstigen Regelungen in der Schweiz entsprechenden Stilllegungsprojektes durch das zuständige Departement ohne weiteres verfügt wird und das Departement gleichzeitig festlegt, welche Arbeiten einer Freigabe durch die Aufsichtsbehörden bedürfen.
- Auswirkungen durch Verzögerungen, die durch das Verfahren zum Erwirken der Stilllegungsverfügung bedingt sind, werden bei der Ermittlung der Basiskosten nicht berücksichtigt, sind aber in der Kostengliederung als Kostenzuschläge für Gefahren enthalten.
- Auswirkungen der Beteiligung der Öffentlichkeit am Verfahren zum Erwirken der Stilllegungsverfügung werden bei der Ermittlung der Basiskosten nicht berücksichtigt, sind aber in der Kostengliederung als Kostenzuschläge für Gefahren enthalten.
- Es wird unterstellt, dass die Aufsichtsbehörden den Fortgang der Arbeiten über den gesamten Rückbauzeitraum bis zur Entlassung aus dem KEG begleiten.

Radiologische Daten:

- Das Radioaktivitätsinventar setzt sich aus zwei Anteilen zusammen (Kernkraftwerke, bei den Zwischenlagern – sofern vorhanden – nur kontaminiertes Material):
 - Aktiviertes Material (im Bereich des Neutronenfeldes).
 - Kontaminiertes Material.
- Die Höhe der Aktivierung der Komponenten, die einer Neutronenbestrahlung ausgesetzt sind, wird von der Nagra mittels Aktivierungsberechnung für die KS21 neu bestimmt.
- Für jede Anlage wird ein Referenznuklidvektor («Finger-Print») bestimmt für die Ableitung des jeweiligen Kontaminationsbeitrags in der KS21.
- Die bisherige Einteilung in die Klassen «leicht dekontaminierbar», «mittel dekontaminierbar» und «schwer dekontaminierbar» aus der KS16 werden für die KS21 beibehalten.
- Bei allen Einrichtungen in der kontrollierten Zone wird so lange eine Kontamination unterstellt, bis messtechnisch nachgewiesen ist, dass die Kontamination unterhalb der zulässigen Befreiungsgrenzen liegt. Als Grundlage hierfür gelten die in der gültigen Schweizer Strahlenschutzverordnung [11] aufgeführten Befreiungsgrenzen.
- Alle konventionellen Gebäude und das Gelände des Standortes werden auf Kontamination überprüft. Es wird unterstellt, dass keine Kontamination vorliegt. Die Kalkulationsansätze für die Prüfung auf eine mögliche Kontamination ausserhalb der kontrollierten Zone werden analog zur KS16 angenommen, d. h. mit einem Pauschalbetrag je Standort.
- Die Behandlungsstrategie radioaktiver Komponenten wird in Abhängigkeit des Kontaminationsgrades und der Möglichkeit der Dekontaminierbarkeit gewählt. Hierbei wird eine chemische Dekontamination nur in einem geringen Umfang vorgesehen. Das Schmelzen ist als externe Dienstleistung im Ausland vorgesehen.

- Nach der allenfalls erforderlichen In-Situ Dekontamination der Kreisläufe, die im Wesentlichen zur Reduzierung der Dosisleistung durchgeführt wird⁴⁵, werden Anlageteile nur dann noch weiter dekontaminiert, wenn sie anschliessend radiologisch befreit werden können.
- Für die weitere Behandlung und Konditionierung von demontierten Materialien wird die Verfügbarkeit geeigneter Anlagen am Standort (zum Teil speziell für diese Zwecke neu errichtet) bzw. extern (z. B. Behandlung in der Plasma-Anlage der Zwiilag) unterstellt. Die Verarbeitung von Rohabfall in der Plasma-Anlage wird mit einem spezifischen Preis berücksichtigt, welcher den Prozess von der Abfallannahme «am Zaun» bis zum Abschluss der Herstellung eines endlagerfähigen 200-Liter-Abfallfasses, eingelagert im Zwischenlagergebäude beinhaltet.
- Zwiilag spezifisch:
 - Das Radioaktivitätsinventar besteht nur aus kontaminierten Anlagenteilen.
 - Zur Bestimmung der Menge an kontaminiertem Material werden vorhandene anlagenspezifische Daten analysiert und die für die KS21 zugrunde zu legenden Werte festgelegt. Die natürliche Radioaktivität wird nicht betrachtet.

Transport und Entsorgung:

- Beim Rückbau anfallende radioaktive Abfälle gehören ausschliesslich der Kategorie schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA) an. Diese werden nach den in der Schweiz gültigen Regelwerken (zum Beispiel ENSI-Richtlinien) bzw. Vereinbarungen mit der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) konditioniert.
- 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 Zwiilag oder im Zwischenlager Zwibez (KKB) zwischengelagert.
- Die technischen Ausführungen der Lagercontainer für die Verpackung radioaktiver Abfälle werden für die Kostenstudie von der Nagra definiert. Die maximale Aktivität je Container ist durch die geltenden Transportvorschriften limitiert, nicht durch das geologische Tiefenlager SMA. Die Hohlräume in den Containern werden mittels geeigneter Füllmaterialien (z. B. kontaminiertes Betongranulat oder zementbasierte Füllmaterialien) vergossen. Darüber hinaus wird angestrebt, den Zielwert von 5 W/m^3 für die spezifische Wärmeleistung je Gebinde nicht zu überschreiten. Zur Verpackung höher aktivierter Teile werden spezielle, dickwandige Behälter des Typs B(U) verwendet.
- Die Berechnung der erforderlichen Containeranzahl erfolgt mit den spezifischen Verpackungsfaktoren bzw. anhand einer spezifischen Verpackungsplanung.
- Für die Ermittlung der zuteilbaren Lagerkosten für das geologische Tiefenlager SMA werden spezifische Kostenansätze pro Behältertyp verwendet.
- Die Transportkosten radioaktiver Abfälle von den Anlagen zum Zwischenlager und später zum geologischen Tiefenlager werden den Stilllegungskosten zugeordnet. Die Zwischenlagerung selbst wird in den Entsorgungskosten berücksichtigt.
- Zu den Transportkosten fallen zusätzlich Kosten für eine nukleare Haftpflichtversicherung an.

Kalkulationsgrundlagen:

- Zur Planung der Demontagereihenfolge und Kostenermittlung werden die erforderlichen Massnahmen hierarchisch auf den verschiedenen Ebenen des Projekt- und Kostenstrukturplanes zusammengefasst.
- Die Personal- und Sachkosten des Rückbaubetriebes werden über Reduktionsfaktoren dem jeweiligen Projektfortschritt angepasst, sofern noch keine konkrete Planung für die KS21 zugrunde gelegt worden ist.
- Um die Qualität der Datenerfassung zu spezifizieren, werden den Inputdaten definierte Härtegrade zugewiesen.

⁴⁵Die Kosten für die In-Situ Dekontamination der Kreisläufe sind Bestandteil der Nachbetriebskosten.

- Sämtliche Gebäude bzw. Gebäudebereiche werden bezüglich des Kontaminationszustands in die Kategorien leicht, mittel und schwer eingeteilt.
- Der erforderliche Oberflächenabtrag der Fussböden, Wände und Decken zur Gebäudedekontamination werden basierend auf Erfahrungswerten und gemäss Kontaminationszustand festgelegt.
- Zur Sanierung und Beseitigung von Gefahrstoffen aus den Anlagen wird analog zur KS16 ein pauschaler Betrag zugrunde gelegt.
- 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 Dosisleistungswerte werden in verschiedene Dosisleistungsklassen eingeteilt.
- Die Ermittlung des Personalaufwandes bzw. der Personalkosten zur Durchführung der erforderlichen Arbeiten basiert auf sogenannten spezifischen Arbeitsfaktoren und zugrunde gelegter Personalqualifikationen.
- Für das Eigenpersonal werden Hierarchie- und Qualitätsstufen inkl. der Verrechnungssätze verwendet. Der Rückbau der konventionellen Gebäude wird von Fremdpersonal ausgeführt. Für den Abbruch der Gebäude werden spezielle Verrechnungssätze berücksichtigt.
- Die verwendeten Personalsets (Anzahl Personal und deren Qualifikation) werden tätigkeitsbezogen erstellt. Dabei wird unterstellt, dass das Personal über Rückbauerfahrung verfügt.
- Die Bewachung des Areals erfolgt bis zum Erreichen der Kernbrennstofffreiheit im Wesentlichen unverändert zum Leistungsbetrieb. Für die KS21 wird ab der Kernbrennstofffreiheit eine reduzierte Bewachung und die Einrichtung einer technischen Überwachung angenommen.
- Für die Erstellung und Einreichung des Stilllegungsprojektes sowie der Unterlagen für Nach- und Rückbaubetrieb, Planung der Rückbauprojekte und die Projektleitung wird unterstellt, dass Eigenpersonal zum Einsatz kommt.
- Die Demontage kontaminierter und aktivierter Komponenten sowie der Abbruch des aktivierten biologischen Schildes werden für die Kalkulation der Kosten je nach terminlicher Anforderung in Ein- oder im Mehrschichtbetrieb durchgeführt.
- Aktivierte Betonstrukturen werden nicht gebrochen, sondern grundsätzlich als ganze Stücke herausgeschnitten und inkl. innenliegender allfälliger Armierung komplett in den LC-86 eingestellt oder der Abklinglagerung, allenfalls der Ablagerung oder Verwertung zugeführt.
- Die bei der Stilllegung eingesetzten Verfahren und Geräte entsprechen dem heutigen Stand der Technik.
- Seit der KS16 neu installierte Gebäude und Einrichtungen an den Standorten werden berücksichtigt.
- Für das Kernkraftwerk Beznau wurde in den Jahren 2016 – 2020 ein Projekt zur vorbereitenden Stilllegungsplanung durchgeführt. Die Ergebnisse dieses Projekts sind in die KS21 eingeflossen.
- Für die Ermittlung der Stilllegungskosten des Kernkraftwerks Mühleberg wurden die Erkenntnisse aus dem Stilllegungsprojekt als Grundlage für die KS21 verwendet. Darüber hinaus konnte der Projektstand bis zum Jahr 2020 bei der Kalkulation berücksichtigt werden.

3 Methodik der Kostenermittlung

In der KS16 wurde gemäss Vorgaben der Verwaltungskommission eine Kostenstruktur eingeführt und die Kostenermittlung in Form einer Kostengliederung dargestellt. Die Verwendung dieser Kostenstruktur und Kostengliederung wurde für die KS21 weitestgehend beibehalten und ist nachfolgend erläutert.

3.1 Kostenstruktur

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

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

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

Um die Anforderung an die allgemeine Anwendbarkeit und die Vergleichbarkeit unter den Schweizer Kernkraftwerken zu erfüllen, wurden die Kostenstrukturen seit der KS16 vereinheitlicht. Zu diesem Zweck wurden die obersten drei Gliederungsebenen der Kostenstrukturen für alle Anlagen gleich definiert. Auf den tieferen Gliederungsebenen sind indessen unterschiedliche Strukturen erforderlich, um den projektspezifischen Anforderungen sowie technologischen Unterschieden zwischen den Anlagen Rechnung zu tragen.

Die Betreiber schätzen den Personalbedarf im Nachbetrieb sowie die anfallenden Sachkosten auf der Basis der Betriebskosten des jeweiligen Kernkraftwerks im Leistungsbetrieb. Daraus werden mittels zeitlich variierender, werkspezifischer Reduktionsfaktoren die Kosten über den gesamten Zeitraum des Nachbetriebs berechnet. Das Personal wird im Nachbetrieb entsprechend den betrieblichen Aufgaben den jeweiligen Organisationseinheiten und damit organisationsspezifischen Kostenpositionen zugeordnet. Die Methode und die Reduktionsfaktoren basieren auf der Erfahrung der NIS, die seit mehr als 45 Jahren auf dem Gebiet des Nachbetriebs und der Stilllegung kerntechnischer Anlagen arbeitet. Die Kalkulation der Nachbetriebskosten für das KKM basiert auf einer detaillierten Planung des Nachbetriebs und der Erfahrung aus dem Nachbetrieb im Jahr 2020. Die Kosten werden im Gegensatz den Werken im Leistungsbetrieb nicht mit Reduktionsfaktoren auf Basis des Leistungsbetriebs ermittelt. Mit der seit 2018 rechtskräftigen Stilllegungsverfügung liegt Rechtssicherheit vor. Die Etablierung des technischen Nachbetriebs konnte in 2020 abgeschlossen werden.

Die ermittelten Kosten werden für alle Kernkraftwerke nach einheitlichen Kriterien ermittelt. Aber auch werkspezifische Faktoren werden von der NIS berücksichtigt. Das Ergebnis ist eine für alle Werke nahezu identische Kostenstruktur auf den Gliederungsebenen eins bis drei. Während die Anforderung der Einheitlichkeit auch bei Kostenstudien vor 2011 weitgehend erfüllt war, waren dort die auf dem damaligen Rechenmodell basierenden Kostenstrukturen speziell auf die Kostenermittlung in einem frühen Stadium ausgerichtet. Sie eignen sich deshalb nur sehr bedingt für die zum damaligen Zeitpunkt noch nicht geforderte, detaillierte, aktivitätsorientierte Darstellung der Stilllegungs- und Nachbetriebskosten.

Auf der ersten Gliederungsebene der Kostenstrukturen wird zwischen Nachbetrieb und Stilllegung unterschieden, um die anfallenden Kosten eindeutig dem direkt durch die Betreiber zu bezahlenden Nachbetrieb beziehungsweise der Stilllegung zuordnen zu können. Mit der KS16 wurde zudem eine detaillierte Darstellung der Personalkosten eingeführt, diese werden entsprechend der Zuordnung zu Organisationseinheiten in den jeweiligen Nachbetriebsaktivitäten dargestellt.

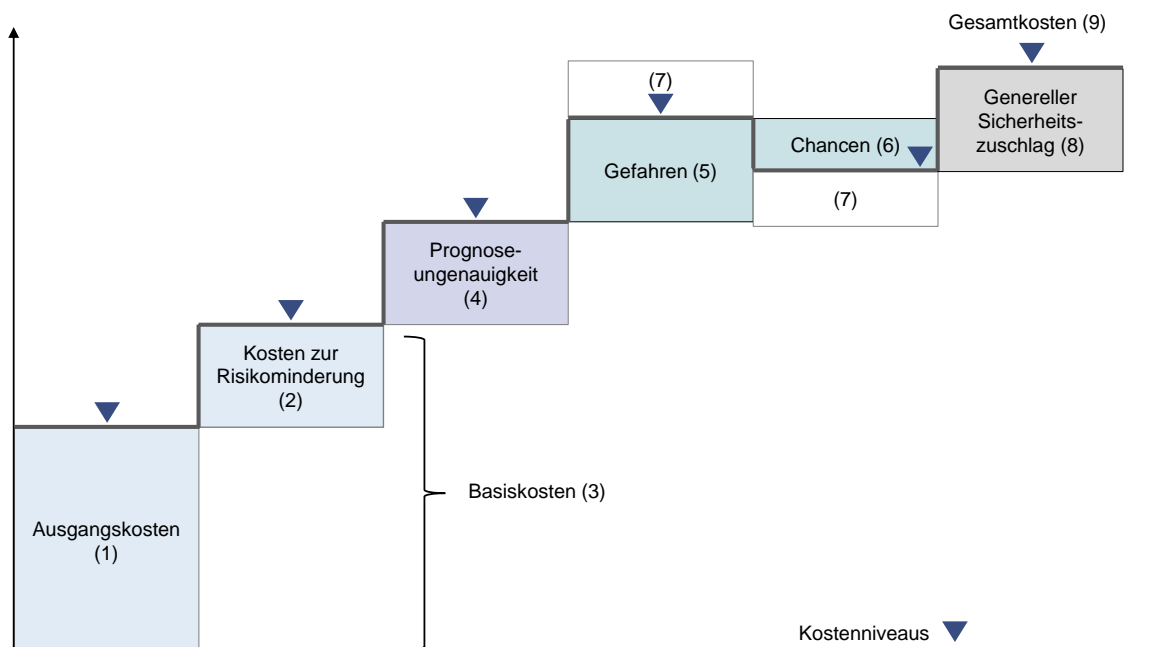
Anhang A.1 enthält eine detaillierte Beschreibung des verwendeten Projektstrukturplans zur Darstellung der Resultate der Kostenermittlung.

3.2 Kostengliederung

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

3.2.1 Vorgaben zur Kostengliederung

Neben den zu erwartenden Projektkosten sind auch die beinhalteten Zuschläge für projektinhärente Unsicherheiten transparent darzulegen und zu quantifizieren. Die Verwaltungskommission hat für die KS16 die in Abbildung 3 dargestellte Kostengliederung weiterentwickelt. Diese ist auch Bestandteil der Vorgaben für die KS21. Die einzelnen, in Abbildung 3 dargestellten Kostenelemente, die aufsummiert zu Kostenniveaus führen und in den Kostenstudien abzubilden sind, wurden von der Verwaltungskommission wie folgt definiert⁴⁶:



(7) Auflistung von nicht berücksichtigten Gefahren / Chancen

Abbildung 3: Kostengliederung für die KS21.

Ausgangskosten (1)

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

⁴⁶Die Definitionen sind im Wortlaut der Verwaltungskommission unter Verwendung deren Nomenklatur gegeben.

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

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

Kosten zur Risikominderung (2)

Die Kosten bereits ausgeführter oder geplanter Massnahmen zur Risikominderung werden analog wie die Ausgangskosten - ohne jegliche Zuschläge - ermittelt. Solche risikomindernden Massnahmen können Gefahren eindämmen oder Chancen unterstützen und sind mit der Erarbeitung des Chancen- und Gefahrenkatalogs abzustimmen.

Basiskosten (3)

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

Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten (4)

Alle Kostenermittlungen, insbesondere in den frühen Phasen eines Projekts, sind mit Ungenauigkeiten verbunden. Dies betrifft den Leistungsumfang (Scope) sowie die angenommenen Mengen und Preise. Da bei der KS21 nicht mit Vertrauensintervallen gearbeitet wird, müssen diese Ungenauigkeiten mit Zuschlägen berücksichtigt werden. Diese Zuschläge werden «Bottom-up» für jedes Element des Projektstrukturplans in Prozent der Ausgangskosten beziehungsweise der Kosten für die risikomindernden Massnahmen ermittelt. Diese Zuschläge sind spezifisch für jede Kostenposition zu beziffern in Abhängigkeit von der jeweils vorhandenen Schätzgenauigkeit; sie sind in der Regel jedoch kleiner als die theoretische Genauigkeitsspanne. Diese Einzelwerte werden einzeln ausgewiesen und begründet und auf das Niveau der Gesamtkosten aggregiert.

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

Kostenzuschläge für Gefahren (5)

Kostenzuschläge infolge der Berücksichtigung von absehbaren Gefahrenpotenzialen, zum Beispiel:

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

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

Kostenabzüge für Chancen (6)

Kostenreduktionen infolge der Berücksichtigung von absehbaren Chancenpotenzialen, zum Beispiel:

- Neue Technologien.
- Alternative Konzepte.
- Beschleunigte Bewilligungsverfahren.

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

Auflistung von nicht berücksichtigten Gefahren/Chancen (7)

Aussergewöhnliche Ereignisse (Gefahren und Chancen) mit sehr niedriger, meist unbekannter Eintrittshäufigkeit und sehr grossen Auswirkungen (so genannte High-Impact-/Low-Frequency-Ereignisse) werden in den Gesamtkosten nicht berücksichtigt, jedoch identifiziert, separat erfasst und – wo möglich mit geschätzten absoluten Kosten und Eintretenswahrscheinlichkeiten beziffert. Zudem ist zu begründen, wieso diese bei der KS21 nicht berücksichtigt werden.

Genereller Sicherheitszuschlag (8)

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

Gesamtkosten (9)

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

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

3.2.2 Umsetzung der Kostengliederung

Die Kostengliederung wurde auf sämtliche Bereiche der Kostenstudie angewendet. Die Herangehensweisen für die drei Teilbereiche Nachbetrieb, Stilllegung und Entsorgung sind vergleichbar und erfüllen die in Abschnitt 3.2.1 dargestellten Vorgaben. Zudem wurden bei dem hier vorgestellten Konzept zur Umsetzung der Kostengliederung auch die Empfehlungen internationaler Fachorganisationen berücksichtigt, die sich mit der Frage von Unsicherheiten der Planung oder mit externen Risikofaktoren bei Kostenstudien im nuklearen Umfeld beschäftigen⁴⁷. Die in der relevanten Literatur beschriebenen Best Practice-Methoden zur Risikoanalyse sehen sowohl Massnahmen der quantitativen wie auch der qualitativen Risikoanalyse vor. Beide Verfahren haben Eingang in die Umsetzung der Kostengliederung gefunden.

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

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

⁴⁷Z. B. OECD NEA: Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants NEA No. 7201, 2016 [77].

Ausgangskosten

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

Beim Ermitteln der Ausgangskosten für die Kostenermittlung der Stilllegung der Schweizer Kernanlagen werden sämtliche Positionen der vorgegebenen Kostenstruktur kalkuliert⁴⁸. Dabei handelt es sich vorwiegend um Kostenelemente, die den Rückbaubetrieb kostenmässig abbilden, sowie um die Projektkosten für das Rückbauprojekt.

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 Kostenermittlungen enthalten waren, wurden diese seit der KS16 aus den Ausgangskosten extrahiert und in den vorgesehenen Elementen der Kostengliederung ausgewiesen.

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

Kosten für Massnahmen zur Risikominderung

Durch risikomindernde Massnahmen sollen negative Kostenfolgen von Gefahren vermieden oder reduziert und Chancen erkannt und genutzt werden. Unter Kosten für Massnahmen zur Risikominderung werden Aufwendungen verstanden, die sowohl durch technische Massnahmen als auch durch prozessuale und (Projekt-) Management-Massnahmen verursacht werden und die bereits bei den Betreibern von Kernanlagen im normalen Geschäftsbetrieb umgesetzt sind. Dazu zählen zum Beispiel in den Managementsystemen der betreffenden Unternehmen verankerte Grundsätze des Projekt- und Risikomanagements ebenso wie gezielte technische Massnahmen. Die Kosten für Massnahmen zur Risikominderung wurden als integraler Bestandteil der Projektstruktur geplant und in den Kostenermittlungen berücksichtigt. 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.
- Beprobung des Areals (Verdachtsflächen).
- Zusätzliche Transportwege zur Vermeidung von Engpässen in der Logistikabfolge.
- Ersatzmaterial für technische Ausfälle bei der Logistik beziehungsweise Demontagegerätschaften.
- Verfügbarkeit von Lieferanten sichern.

⁴⁸Dies entspricht der Vorgabe der Kommission, dass die Kosten «Bottom-up» zu kalkulieren sind.

- Vermeidung des unerwarteten Auftretens (radioaktiv belasteter) Flüssigkeiten.
- Auswertung von Erfahrung ausländischer Rückbauprojekte.

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

Basiskosten

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

Kostenzuschlag für Prognoseungenauigkeiten

Jedes einzelne Element im Projektstrukturplan wird bezüglich Dauer und Kosten bewertet⁴⁹. 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. Die aus diesen Vergleichswerten abgeleiteten Kalkulationsfaktoren sind statistisch als Mittelwerte zu interpretieren.

Im gegenwärtigen, den Kostenermittlungen zugrundeliegenden Planungsstadium sind die für die einzelnen Projektstrukturplan-Elemente (PSP-Elemente) vorgesehenen Tätigkeiten mit unterschiedlichen Graden der Planungsunsicherheit belegt. Für die Bestimmung des Zuschlags für Prognoseungenauigkeiten müssen die relevanten Unsicherheiten für jedes einzelne PSP-Element abgeschätzt werden.

Dazu werden Toleranzgrenzen für mögliche Ergebnisschwankungen der Schätzung definiert, welche die spezifische Planungsunsicherheit des betreffenden Elements ausdrücken und dabei ein sehr breites Spektrum des Erfahrungshorizonts eines Kostenschätzers abdecken⁵⁰.

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

Für die KS21 hat sich gezeigt, dass vier Toleranzgrenzen⁵¹ das vorhandene Spektrum an Unsicherheiten gut abdecken und die Realität ausreichend genau abbilden. Die Toleranzgrenzen orientieren sich dabei weitestgehend an Empfehlungen aus der relevanten Literatur⁵².

Eine feinere Unterteilung ist nicht sinnvoll, da wegen statistischer Ausgleichseffekte das Ergebnis der Kostenermittlung 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 Kostenermittlung nicht sensitiv auf Fehleinschätzungen in einzelnen PSP-Elementen.

⁴⁹Der Projektstrukturplan für die Ermittlung der Stilllegungskosten wird in Abschnitt 3.1 und im Anhang A.1 erläutert.

⁵⁰Grundsätzlich können auch Ergebnisse ausserhalb der festgelegten Toleranzgrenzen auftreten, aber die Eintrittswahrscheinlichkeit dafür ist so klein, dass solche Ergebnisse für die Kostenermittlung vernachlässigbar sind.

⁵¹Klasse A: - 5 % / + 5 %, Klasse B: - 10 % / + 15 %, Klasse C: - 20 % / + 30 %, Klasse D: - 30 % / + 50 % in Anlehnung an die aktuellen Ausarbeitungen von OECD/NEA [77], IAEA [79] und U. S. Department of Energy [78] für die Beschreibung von Unsicherheiten bei der Kostenermittlung von nuklearen Rückbauprojekten beziehungsweise für die Entsorgung. Klasse E: - 20 % / + 20 % und Klasse F: - 30 % / + 30 % wurden ausschliesslich für betriebliche Tätigkeiten bei der Entsorgung verwendet.

⁵²Z. B. U. S. DOE Cost Estimating Guide 413.3.21, 2011 [78]; IAEA Financial Aspects of Decommissioning, IAEA-TECDOC-1476, 2005 [79].

Die Kosten eines PSP-Elements unterliegen einer statistischen Schwankung. Sie sind mit einer Zufallsvariable zu beschreiben. Mittels Schätzung des Mittelwerts sowie einer oberen und unteren Toleranzgrenze lassen sich die Kosten mit einer Wahrscheinlichkeitsfunktion beschreiben. Die Kostenermittlung insgesamt entspricht der Summe der Kosten aller PSP-Elemente. Da die Schätzung für jedes dieser Elemente eine unsichere Grösse (Zufallsvariable) ist, sind auch die summierten Kosten unsicher und können ebenfalls mit einer Wahrscheinlichkeitsverteilung beschrieben werden. Die aus den einzelnen Verteilungen der PSP-Elemente zusammengesetzte Verteilung der summierten Kosten kann näherungsweise sehr gut durch eine fast symmetrische Lognormalverteilung⁵³ beschrieben werden.

Wenn die PSP-Elemente unabhängig sind und nicht einzelne Elemente die Kostenberechnung dominieren, geht die Unsicherheit bei einer grossen Anzahl an PSP-Elementen gegen Null. In einem komplexen Projektstrukturplan bestehen jedoch zahlreiche terminliche und sachliche Abhängigkeiten zwischen den einzelnen PSP-Elementen. Viele PSP-Elemente stehen in verschiedenen Abhängigkeitsbeziehungen zueinander.

So ergibt sich zum Beispiel die Dauer des Nach- oder des Rückbaubetriebs eines Kernkraftwerks aus der summarischen Dauer der Aktivitäten entlang des kritischen Pfads des Projektplans. Verzögert sich beispielsweise der Abtransport der Brennelemente, verlängert sich entsprechend auch der Nachbetrieb, 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 zwischen den PSP-Elementen führen zu einer Vergrösserung der Unsicherheiten im Ergebnis. Die Konvergenz der Unsicherheit verringert sich. Die Abhängigkeiten führen dazu, dass eine analytische Lösung zur Bestimmung des Zuschlags für Prognoseungenauigkeiten nicht ohne weiteres zu berechnen ist. Daher wird als methodisches Hilfsmittel für die Zuschlagsermittlung die Monte-Carlo-Simulation⁵⁴ 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.

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

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

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

⁵³Die Lognormalverteilung ist eine kontinuierliche Wahrscheinlichkeitsfunktion positiver reeller Zahlen und wird z. B. in der Versicherungswirtschaft bei der Modellierung von Schadenshöhen benutzt.

⁵⁴Die 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.

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 mit Ausnahme der zeitvariablen Gefahren und Chancen unabhängig vom Eintreten anderer Gefahren und Chancen ist. Im Rahmen der Risikoanalyse wurde eine Vielzahl von Risikoszenarien untersucht. Diese wurden hinsichtlich ihrer Relevanz (Auslöser, Eintrittswahrscheinlichkeit, Schadensbeziehungsweise Chancenpotenzial) untersucht. Die Beschreibung der Gefahren und Chancen, die Bewertung von Gefahrenausmass und Chancenpotenzial sowie der Eintrittswahrscheinlichkeiten erfolgten im Rahmen von mehreren Expertenworkshops, an denen Vertreter sämtlicher Kernanlagen beteiligt waren. Ein unabhängiges Risikoboard sichtete und kommentierte die Ergebnisse der Workshops und auch die der Validierung. Die Empfehlungen des Risikoboards flossen anschliessend in die Bewertung der Gefahren und Chancen ein.

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

Das Eintreten von Gefahren und Chancen ist unsicher, und die Anzahl der berücksichtigten Chancen und Gefahren ist begrenzt. Es ist nicht zu erwarten, dass alle Gefahren und Chancen im Projektverlauf eintreten werden. Mittels Monte-Carlo-Simulationen wurde untersucht, inwieweit der Saldo aus Gefahrenzuschlägen und Chancenabzügen die möglichen Kostenfolgen unterschiedlichster Eintrittsszenarien von Gefahrenbeziehungsweise Chancenkombinationen abdeckt⁵⁵. Die Untersuchung hat ergeben, dass die Kostenfolgen der häufigsten Gefahren- beziehungsweise Chancenkombinationen mit dem festgelegten Zuschlag, der sich rechnerisch als Differenz des Zuschlags für Gefahren und des Abzugs für Chancen ergibt, hinreichend abgedeckt sind.

Neben den zuvor beschriebenen Gefahren und Chancen, die in die Berechnung der Gefahrenzuschläge und Chancenabzüge für die jeweiligen Kernanlagen gingen, wurden im Rahmen der Risikobetrachtung zur KS21 eine Vielzahl weiterer Chancen und Gefahren identifiziert und evaluiert, jedoch in der Kostengliederung nicht explizit berücksichtigt. Die Gründe dafür lassen sich differenzieren. Es gibt Gefahren und Chancen, die bereits über andere, berücksichtigte Gefahren und Chancen abgedeckt sind, versicherte Gefahren sowie Gefahren, die über berücksichtigte risikomindernde Massnahmen wirkungsvoll reduziert werden konnten.

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

⁵⁵Die 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.

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 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.

Damit verbunden sinkt das mögliche Schadensausmass für Schadensfälle mit Freisetzung von radioaktiv belastetem Material erheblich. Die in einem theoretischen Schadensfall anfallenden Kosten sind über die nukleare Haftpflichtversicherung der Betreiber hinreichend abgedeckt. Die Deckungssumme pro Kernkraftwerk beträgt 1 Milliarde Franken.

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

Genereller Sicherheitszuschlag

Entsprechend den Vorgaben für die Erstellung der KS21 ist der generelle Sicherheitszuschlag so zu berechnen, dass nach Einschätzung zum Zeitpunkt der Fertigstellung der KS21 die Wahrscheinlichkeit einer allfälligen Kostenüberschreitung auf maximal 20 Prozent beschränkt wird.

3.3 Ermittlung der Stilllegungskosten durch die NIS

Im Jahr 2019 beauftragte swissnuclear im Auftrag der Betreiber der Schweizer Kernanlagen die NIS mit der Ermittlung der Stilllegungskosten für die Schweizer Kernkraftwerke und die Anlagen der Zwiilag. Die NIS hat umfangreiche Erfahrungen auf dem Gebiet der Kostenermittlungen für Nuklearprojekte und entwickelte ein speziell für diesen Sektor zugeschnittenes Kalkulationsmodell, das, wie schon in den Vorgängerstudien in den Jahren 2001, 2006, 2011 und 2016, auch für die vorliegende KS21 eingesetzt wurde.

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 4 dargestellt.

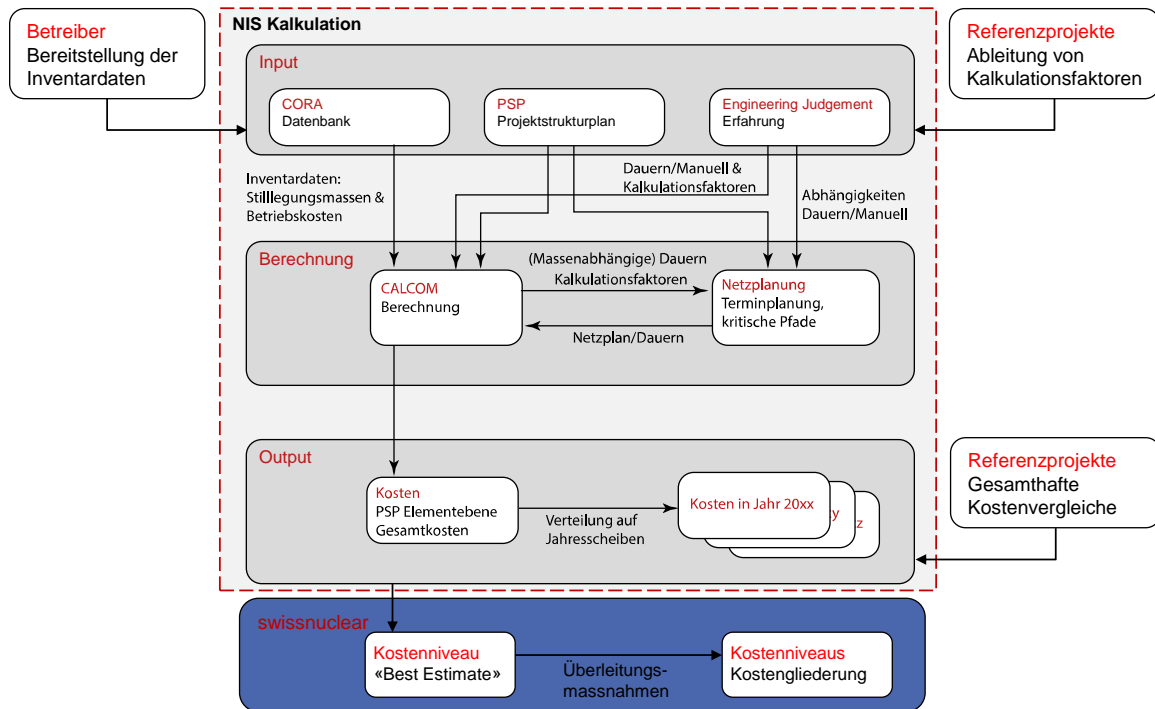


Abbildung 4: Überblick Kalkulationsmodell und Überleitung in die Kostengliederung für die KS21.

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 unter Berücksichtigung von allenfalls vorhandenen Terminplanungen der Betreiber 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. Darüber hinaus ist beim KKM das Stilllegungsprojekt und die Stilllegungsverfügung Grundlage der Kostenermittlung. Die ermittelten Stilllegungskosten setzen sich im Wesentlichen zusammen aus:

- Personalkosten.
- Sachkosten, zum Beispiel: Investitionen (zum Beispiel Neueinrichtungen, Fernhandlungseinrichtungen, 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 Kostenermittlung beigezogen. Diese Vergleichswerte dienen als Orientierungsgrösse und Plausibilisierung für den beschriebenen «Bottom-up»-Ansatz.

Die Verwendung von Ex-post-Erfahrungswerten und die Kalibrierung der Kostenermittlung mit Ex-post-Daten realer in Durchführung befindlicher oder durchgeführter Rückbauprojekte führen dazu, dass die Kostenermittlungen 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. Entsprechend erfolgt eine Überleitung der «Best-Estimate-Kalkulation» in die Elemente der Kostengliederung. Bei der Berechnung der Kostenzuschläge wird die «Best-Estimate-Kalkulation» um zusätzliche Positionen entsprechend der detaillierten Bewertung von Unsicherheiten und Risiken sowie einen zusätzlichen generellen Sicherheitszuschlag ergänzt.

3.3.2 Erfahrungshintergrund der Kostenschätzer

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

Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt der NIS liegt auf der Ermittlung der Kosten für die Stilllegung und den Rückbau von Anlagen des Kernbrennstoffkreislaufs. Die daraus gewonnenen Erfahrungen haben ebenfalls Eingang die Berechnungsgrundlagen der KS21 gefunden.

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

In Deutschland besteht gemäss den Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke, ähnlich wie in der Schweiz, die Forderung, bereits vor Inbetriebnahme eines Kernkraftwerkes die Stilllegung konzeptionell nachzuweisen. Darüber hinaus enthalten die Betriebsgenehmigungen einiger Kernkraftwerke die Auflage, einen Stilllegungsnachweis vorzulegen und ihn in bestimmten Zeitabständen zu aktualisieren. Aus diesen Gründen wurde die konzeptionelle Machbarkeit der Stilllegung von Kernkraftwerken am Beispiel eines Druckwasser- und eines Siedewasserreaktors bereits 1977 durch die so genannten Referenzstudien nachgewiesen.

Diese wurden im Auftrag der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke⁵⁶ von der NIS erstellt. Diese Referenzstudien sind auch wesentlicher Bestandteil der Schweizer Stilllegungsstudien von 1980. Praktische Erfahrungen, die im Rahmen des Rückbaus stillgelegter Anlagen gewonnen wurden, sowie die Weiterentwicklung der Technik und Veränderungen in der Genehmigungspraxis führten zu mehrfachen Aktualisierungen der Referenzstudien.

In diesen Referenzstudien werden die folgenden Aspekte einer Stilllegung behandelt:

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

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

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

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

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

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

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

⁵⁶Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke e. V. (VDEW), Wirtschaftsverband zur Förderung der Elektrizitätswirtschaft, gegründet 1950 und 2007 im Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) aufgegangen.

Die NIS wendet für ihre Ingenieur-, Dienst- und Beratungsleistungen ein Qualitätsmanagementsystem an, das die international üblichen Normen für Qualitätsmanagementsysteme⁵⁷ und die in Deutschland verbindlichen Anforderungen an die Lieferanten und Dienstleister für Kernkraftwerke⁵⁸ erfüllt. Dieses Qualitätsmanagementsystem ist durch eine akkreditierte Prüfstelle⁵⁹ zertifiziert⁶⁰. Darüber hinaus verfügt die NIS über die Eignungsbestätigung⁶¹ zur Qualitätssicherung gemäss deutschem Regelwerk⁶².

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

- Bundesamt für Finanzen und Länderfinanzbehörden (Deutschland, 1997).
- Technische Universität Delft im Auftrag des niederländischen Ministeriums für Soziales und Arbeit (Niederlande, 1997).
- Beurteilung der Stilllegungsstudien 2001 der Schweizer Kernkraftwerke durch die Schweizerische Aufsichtsbehörde HSK (heute Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat) (Schweiz, 2002).
- PricewaterhouseCoopers Aktiengesellschaft Wirtschaftsprüfungsgesellschaft (Deutschland, 2007), Auditierung der Kostenermittlung für die deutschen Kernkraftwerke.
- Expert Mission der IAEA bezüglich Stilllegungskostenermittlung für das Kernkraftwerk Krško (2010).
- Die KS16 wurde im Jahr 2017 durch das ENSI/TÜV Nord/Basler & Hofmann und zusätzlich im Auftrag des STENFO durch NRG (Niederlande) und Atkins (UK, USA) geprüft.

⁵⁷DIN EN ISO 9001:2015 [96].

⁵⁸KTA Regel 1401 [95].

⁵⁹BSI Group Deutschland GmbH, Frankfurt am Main, Deutschland.

⁶⁰DIN EN ISO 9001:2015 [96].

⁶¹Ausgestellt von der VGB-Arbeitsgemeinschaft «Auftragnehmerbeurteilung».

⁶²KTA Regel 1401 [95].

4 Einflussfaktoren auf die Stilllegungskosten

Seit der letzten kompletten Überarbeitung der Stilllegungskostenstudie im Jahr 2016 wurden international eine Reihe kommerzieller Kernkraftwerke stillgelegt und befinden sich zurzeit im Rückbau. Die gewonnenen Erfahrungen aus diesen Rückbauprojekten stehen für die Planung anderer Rückbauprojekte weitgehend zur Verfügung.

Sofern anwendbar, sind diese Kenntnisse auch in der vorliegenden Kostenstudie – Teil Stilllegung für die Schweizer Kernanlagen 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.

Wie in Abschnitt 1.3.1 beschrieben, werden zusammen mit der KS21 auch die Stilllegungspläne der Kernanlagen mit Ausnahme des Kernkraftwerks Mühleberg aktualisiert. Eine wichtige Neuerung ist dabei die weitgehende Überlappung von Nachbetrieb (ab EABN) und Rückbau. Aus den Erfahrungen bei der Stilllegung des Kernkraftwerks Mühleberg und der vorbereitenden Stilllegungsplanung für das Kernkraftwerk Beznau ergeben sich zudem Anpassungen bei Arbeitsfaktoren und Reduktionsfaktoren zur Kalkulation der Stilllegungsgewerke und Rückbaubetriebskosten.

4.1 Anlageinventar

Eine wesentliche Voraussetzung für die Stilllegungsplanung und -kostenermittlung ist die Kenntnis des Anlageinventars, das demontiert bzw. abgerissen 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 Anlageninventar wird für die Kostenstudien regelmässig überprüft und erforderlichenfalls aktualisiert. Das Anlageninventar für das Kernkraftwerk Beznau wurde im Rahmen der vorbereitenden Stilllegungsplanung grundlegend überarbeitet.

Gegebenenfalls bestehende Unsicherheiten werden in den Prognoseungenauigkeiten berücksichtigt. Bei der Erfassung des Inventars werden alle Massen erhoben, auch diejenigen, die den konventionellen Rückbau betreffen.

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.

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 [11] liegt. Die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) ermittelt die Aktivierungsaktivität für das aktivierte Inventar und stellt die Ergebnisse der NIS für die weiteren Auswertungen zur Verfügung.

Die Tabelle 5 (KKB), Tabelle 6 (KKM), Tabelle 7 (KKG) und Tabelle 8 (KKL) geben einen Überblick über Komponenten- und Gebäudemassen (Primärmassen) innerhalb und ausserhalb kontrollierter Zonen der Kernkraftwerke. Die Massen des Zwischenlagers der Zwiilag sind in der Tabelle 10 aufgeführt. Die in Tabelle 5 bis Tabelle 10 dargestellte Massenerhebung weist auch einen Vergleich mit der KS16 aus.

Kernkraftwerk Beznau

Tabelle 5: Erfasste Massen des Kernkraftwerks Beznau und Vergleich zur KS16.

	KS16 ^{a)} [Mg]	KS21 [Mg]	Differenz [Mg]
Kontrollierte Zone			
Komponentenmasse	16'217	13'732	-2'484
Komponentenmasse ^{b)}		930	930
Gebäudemasse (> -2 m)	170'778	151'917	-18'861
Gebäudemasse (< -2 m)	86'694	77'117	-9'577
Zwischensumme	273'689	243'696	-29'992
Ausserhalb kontrollierte Zone			
Komponentenmasse	21'280	21'128	-153
Gebäudemasse (> -2 m)	131'780	128'673	-3'107
Gebäudemasse (< -2 m)	33'212	49'076	15'864
Zwischensumme	186'272	198'876	12'604
Gesamt zu demontierende Masse	459'960	442'572	-17'388

a) Inklusive Zwibez.

b) Bereits ausgebaute Grosskomponenten.

Bei den Änderungen der Komponentenmassen für das KKB in der kontrollierten Zone handelt es sich hauptsächlich um eine detaillierte Neuaufnahme der Massen des Anlageninventars. Dies ist eine Tätigkeit, die im vorbereitenden Stilllegungsprojekt des KKB durchgeführt wurde. Die aus dem Jahr 2010 stammende konservative Massenschätzung, die hauptsächlich auf Berücksichtigung von Einheitsmassen für Komponentenklassen basierte, konnte deutlich geschärft werden. Für die Schätzung der Komponentenmassen ausserhalb der kontrollierten Zone konnten die Daten aus der KS16 weitestgehend übernommen werden. Die Gebäudemassen innerhalb wie ausserhalb der kontrollierten Zone wurden ebenfalls überprüft. Für einige Gebäudemassen ergab sich teilweise eine Neuordnung und teilweise eine Aktualisierung der Massenschätzung.

Kernkraftwerk Mühleberg

Tabelle 6: Erfasste Massen des Kernkraftwerks Mühleberg und Vergleich zur KS16.

	KS16 [Mg]	KS21 [Mg]	Differenz [Mg]
Kontrollierte Zone			
Komponentenmasse ^{a),b)}	11'214	12'453	1'239
Gebäudemasse (> -2 m)	65'915	68'297	2'382
Gebäudemasse (< -2 m)	49'197	50'238	1'041
Zwischensumme	126'326	130'987	4'661
Ausserhalb kontrollierte Zone			
Komponentenmasse	3'856	4'471	615
Gebäudemasse (> -2 m)	43'373	46'157	2'784
Gebäudemasse (< -2 m)	22'084	21'314	-770
Zwischensumme	69'313	71'942	2'629
Gesamt zu demontierende Masse	195'639	202'929	7'290

a) exkl. 16.1 Mg Reaktorabfälle (bereits im Nachbetrieb entsorgt).

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

Für die KS21 wurden die Komponentenmassen aktualisiert und neue Massen für die Gebäude ermittelt. Die Erhöhung der Komponentenmasse in der kontrollierten Zone ist im Wesentlichen auf die Aktualisierung und Aufnahme der Splitterschutzsteine im Maschinenhaus zurückzuführen, welche bereits konventionell auf einer Deponie entsorgt wurden. Die aktualisierte Datenerfassung ergab für die kontrollierte Zone eine um 4'661 Mg erhöhte Masse an zu demontierenden Einrichtungen. Die Massen ausserhalb der kontrollierten Zone haben sich um 2'629 Mg erhöht. Der Massenzuwachs erklärt sich unter anderem aus den seit der KS16 neu erstellten Gebäude (z. B. Drucklufthalle).

Kernkraftwerk Gösgen

Tabelle 7: Erfasste Massen des Kernkraftwerks Gösgen und Vergleich zur KS16.

	KS16 [Mg]	KS21 [Mg]	Differenz [Mg]
Kontrollierte Zone			
Komponentenmasse	12'193	12'163	-29
Gebäudemasse (> -2 m)	159'543	159'543	
Gebäudemasse (< -2 m)	69'164	69'164	
Zwischensumme	240'900	240'871	-29
Ausserhalb kontrollierte Zone			
Komponentenmasse	23'406	23'406	
Gebäudemasse (> -2 m)	277'413	280'608	3'195
Gebäudemasse (< -2 m)	34'344	42'258	7'915
Zwischensumme	335'162	346'272	11'110
Gesamt zu demontierende Masse	576'062	587'143	11'081

Die aktualisierte Datenerfassung ergab für die kontrollierte Zone eine um 29 Mg reduzierte Masse an zu demontierenden Komponenten und Einrichtungen. Die Reduzierung ist auch darauf zurückzuführen, dass im Bereich des Reaktordruckbehälters bei der Datenerfassung ein doppelt gezähltes Teilstück korrigiert wurde.

Die Masse ausserhalb der kontrollierten Zone hat sich um 11'110 Mg erhöht aufgrund eines seit der KS16 neu erstellten Gebäudes (Deionatbecken).

Kernkraftwerk Leibstadt

Tabelle 8: Erfasste Massen des Kernkraftwerks Leibstadt und Vergleich zur KS16.

	KS16	KS21	Differenz
	[Mg]	[Mg]	[Mg]
Kontrollierte Zone			
Komponentenmasse	26'868	26'477	-392
Gebäudemasse (> -2 m)	280'086	280'086	
Gebäudemasse (< -2 m)	122'213	122'213	
Zwischensumme	429'167	428'775	-392
Ausserhalb kontrollierte Zone			
Komponentenmasse	9'333	9'354	21
Gebäudemasse (> -2 m)	306'694	310'462	3'769
Gebäudemasse (< -2 m)	1'799	1'799	
Zwischensumme	317'825	321'615	3'790
Gesamt zu demontierende Masse	746'992	750'390	3'398

Die Massen für die kontrollierte Zone haben sich gegenüber der letzten Kostenstudie um 3'398 Mg erhöht. Die Komponentenmassen in der kontrollierten Zone haben sich seit der KS16 um 392 Mg reduziert, diese Anpassung beruht auf neuen Erkenntnissen aus der Aktivierungsberechnung im Bereich des biologischen Schildes.

Die Massen ausserhalb der kontrollierten Zone haben sich um 3'790 Mg aufgrund einer verbesserten Datenerfassung der Gebäudestrukturen und Einrichtungen erhöht.

Zwibez

Tabelle 9: Erfasste Massen des Zwibez.

	KS21
	[Mg]
Ausserhalb kontrollierte Zone	
Komponentenmasse	516
Gebäudemasse (> -2 m)	25'872
Gebäudemasse (< -2 m)	12'788
Gesamt zu demontierende Masse	39'176

Zwilag

Tabelle 10: Erfasste Massen des Zwilag und Vergleich zur KS16.

	KS16	KS21	Differenz
	[Mg]	[Mg]	[Mg]
Kontrollierte Zone			
Komponentenmasse	4'475	8'316	3'841
Gebäudemasse (> -2 m)	154'656	154'656	
Gebäudemasse (< -2 m)	43'293	43'293	
Zwischensumme	202'424	206'265	3'841
Ausserhalb kontrollierte Zone			
Komponentenmasse	464	998	534
Gebäudemasse (> -2 m)	8'938	12'576	3'639
Gebäudemasse (< -2 m)	1'343	1'343	
Zwischensumme	10'744	14'917	4'173
Lucens-Inventar	262	263	2
Gesamt zu demontierende Masse	213'429	221'445	8'015

Innerhalb der kontrollierten Zone ergab eine Aktualisierung der Daten eine um 3'841 Mg höhere Masse an zu demontierenden Einrichtungen. Die Erhöhung der Massen ist nahezu vollumfänglich den mobilen Einrichtungen zuzuordnen. Bei den mobilen Einrichtungen handelt sich um 850 Lagercontainer (20-Fuss-Fachwerkcontainer, je ca. 4.5 Mg), welche für die Einlagerung der Abfallgebinde verwendet werden und als Masse ergänzt wurden. Die Gebäudemassen der kontrollierten Zone sind im Vergleich zur KS16 unverändert.

Die Gesamtmasse ausserhalb der kontrollierten Zone hat sich aufgrund der Aufnahme der neu errichteten Gebäude sowohl für die Komponentenmasse als auch der Gebäudemasse um insgesamt 4'173 Mg erhöht.

4.2 Massenverteilung

Damit, wie im Strahlenschutzgesetz⁶³ verlangt, möglichst wenig radioaktive Abfälle entstehen, werden radioaktive und nicht radioaktive Materialien getrennt und die radioaktiven Materialien, wenn möglich und für die Befreiung sinnvoll, dekontaminiert.

Daraus ergibt sich eine Aufteilung der Massen aus der kontrollierten Zone auf die Entsorgungsziele radiologische Befreiung (ggf. nach vorheriger Abklinglagerung) beziehungsweise geologische Tiefenlagerung. Des Weiteren werden die Entsorgungspfade Ablagerung und Verwertung geprüft.

Einen Vergleich der Massen pro Entsorgungsziel (KS16 zu KS21) zeigen Tabelle 11 (KKB), Tabelle 13 (KKM), Tabelle 15 (KKG) und Tabelle 17 (KKL). Die Massen pro Entsorgungsziel des Zwischenlagers der Zwilag sind in der Tabelle 19 aufgeführt.

Die radioaktiven Abfälle ergeben sich aus den kontaminierten beziehungsweise aktivierten Primärmassen⁶⁴ und den beim Rückbau und der Materialbehandlung anfallenden Sekundärmassen⁶⁵.

Die Aufteilung der radioaktiven Abfälle nach Primär- und Sekundärmassen zeigen Tabelle 12 (KKB), Tabelle 14 (KKM), Tabelle 16 (KKG) und Tabelle 18 (KKL) im Vergleich der beiden betrachteten Stilllegungskostenstudien von 2016 und 2021. Die Masse für die Verpackung (Behälter beziehungsweise Container) der radioaktiven Abfälle ist in den angegebenen Werten nicht enthalten.

Für KKB reduzieren sich im Vergleich zur KS16 die Mengen an radioaktiven Abfällen, was auf folgende Faktoren zurückzuführen ist:

- Grundsätzlich neue Ermittlung der Massen von Einrichtungen, Komponenten und zum Teil auch von einzelnen Gebäudemassen.
- Neubeurteilung und Einteilung der Massen in Kontaminationsklassen.
- Leicht höherer Anteil des zum Schmelzen vorgesehenen Materials.

Die Erhöhung der Mengen an radioaktiven Abfällen für KKG ist im Wesentlichen auf verfeinerte Aktivierungsberechnungen im Bereich des Primärkreises zurückzuführen. Bei KKL ist die Reduktion der Mengen an radioaktiven Abfällen auf eine im Vergleich zur KS16 reduzierte Masse innerhalb des Drywells zurückzuführen. Die Reduzierung der Mengen an radioaktiven Abfällen ist beim KKM im Wesentlichen auf einen hohen Anteil des zum Schmelzen vorgesehenen Materials und durch die Berücksichtigung einer Abklinglagerung zurückzuführen.

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.

⁶³Art. 25 Abs. 2 StSG [10].

⁶⁴In den Tabellen 12, 14, 16, 18 und 20 werden bei den Primärmassen auch radioaktive Abfälle eingebrachter Zusatzmassen (Masse aus den speziell für den Rückbau der Anlage neu installierten Komponenten und Einrichtungen) ausgewiesen.

⁶⁵Als 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) [6].

Kernkraftwerk Beznau

Tabelle 11: Verteilung der Massen aus der kontrollierten Zone auf die Entsorgungsziele, KKB.

Entsorgungsziele	Masse aus kontrollierter Zone		
	KS16 [Mg]	KS21 [Mg]	Differenz [Mg]
Freigabe ^{a)}	271'036	241'614	-29'422
Geologisches Tiefenlager	4'058	3'578	-479
Gesamt	275'094	245'192	-29'902

^{a)} inkl. Zusatzmassen.

Tabelle 12: Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA, KKB.

	Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA		
	KS16 [Mg]	KS21 [Mg]	Differenz [Mg]
Radioaktive Abfälle aus Primärmassen	3'702	3'133	-569
Kontaminierte Massen	1'032	515	-517
Aktivierte Massen (z. B. RDB-Einbauten, RDB)	615	512	-103
Beton (z. B. aktivierter Beton, Oberflächenabtrag)	2'054	2'105	51
Radioaktive Abfälle aus Sekundärmassen	356	446	90
Gesamt	4'058	3'578	-479

Kernkraftwerk Mühleberg

Tabelle 13: Verteilung der Massen aus der kontrollierten Zone auf die Entsorgungsziele, KKM.

Entsorgungsziele	Masse aus kontrollierter Zone		
	KS16 [Mg]	KS21 [Mg]	Differenz [Mg]
Freigabe	124'532	129'209	4'667
Geologisches Tiefenlager ^{a)}	2'854	2'812	-42
Gesamt	127'386	132'021	4'625

^{a)} exkl. 16.1 Mg Reaktorabfälle, deren Entsorgung anderweitig gedeckt ist.

Tabelle 14: Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA, KKM.

	Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA		
	KS16 [Mg]	KS21 [Mg]	Differenz [Mg]
Radioaktive Abfälle aus Primärmassen	2'593	2'528	-65
Kontaminierte Massen	989	850	-139
Aktivierte Massen (z. B. RDB-Einbauten, RDB)	630	396	-234
Beton (z. B. aktivierter Beton, Oberflächenabtrag)	974	1'282	308
Radioaktive Abfälle aus Sekundärmassen	261	284	23
Gesamt ^{a)}	2'854	2'812	-42

^{a)} exkl. 16.1 Mg Reaktorabfälle, deren Entsorgung anderweitig gedeckt ist.

Kernkraftwerk Gösgen

Tabelle 15: Verteilung der Massen aus der kontrollierten Zone auf die Entsorgungsziele, KKG.

Entsorgungsziele	Masse aus kontrollierter Zone		
	KS16 [Mg]	KS21 [Mg]	Differenz [Mg]
Freigabe ^{a)}	239'179	238'969	-210
Geologisches Tiefenlager	3'077	3'296	219
Gesamt	242'256	242'265	9

^{a)} inkl. Zusatzmassen.

Tabelle 16: Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA, KKG.

	Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA		
	KS16 [Mg]	KS21 [Mg]	Differenz [Mg]
Radioaktive Abfälle aus Primärmassen	2'721	2'902	181
Kontaminierte Massen	1'643	992	-651
Aktivierete Massen (z. B. RDB-Einbauten, RDB)	556	517	-39
Beton (z. B. aktivierter Beton, Oberflächenabtrag)	522	1'394	872
Radioaktive Abfälle aus Sekundärmassen	356	394	38
Gesamt	3'077	3'296	219

Kernkraftwerk Leibstadt

Tabelle 17: Verteilung der Massen aus der kontrollierten Zone auf die Entsorgungsziele, KKL.

Entsorgungsziele	Masse aus kontrollierter Zone		
	KS16 [Mg]	KS21 [Mg]	Differenz [Mg]
Freigabe ^{a)}	424'345	424'401	56
Geologisches Tiefenlager	6'458	6'126	-333
Gesamt	430'803	430'526	-277

^{a)} inkl. Zusatzmassen.

Tabelle 18: Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA, KKL.

	Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA		
	KS16 [Mg]	KS21 [Mg]	Differenz [Mg]
Radioaktive Abfälle aus Primärmassen	5'722	5'275	-448
Kontaminierte Massen	1'867	2'754	887
Aktivierte Massen (z. B. RDB-Einbauten, RDB)	2'353	1'077	-1'276
Beton (z. B. aktivierter Beton, Oberflächenabtrag)	1'503	1'443	-59
Radioaktive Abfälle aus Sekundärmassen	736	851	115
Gesamt	6'458	6'126	-333

Zwilag

Tabelle 19: Verteilung der Massen aus der kontrollierten Zone auf die Entsorgungsziele, Zwilag.

Entsorgungsziele	Masse aus kontrollierter Zone		
	KS16	KS21	Differenz
	[Mg]	[Mg]	[Mg]
Freigabe ^{a)}	202'171	206'009	3'838
Geologisches Tiefenlager	524	534	10
Gesamt	202'696	206'543	3'848

^{a)} inkl. Zusatzmassen.

Tabelle 20: Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA, Zwilag.

	Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA		
	KS16	KS21	Differenz
	[Mg]	[Mg]	[Mg]
Radioaktive Abfälle aus Primärmassen	252	256	3
Kontaminierte Massen	223	227	4
Oberflächenabtrag aus Gebäudedekontamination	29	29	-1
Radioaktive Abfälle aus Sekundärmassen	10	15	5
Lucens-Inventar	262	263	2
Gesamt	524	534	10

4.3 Materialbehandlung und Entsorgung

4.3.1 Trennung von radioaktivem und nicht radioaktivem Material

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.

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 und Freimessung konventionell entsorgt oder weiterverwendet.

4.3.2 Materialbehandlung und Befreiung

Nach der Demontage kann eine Materialbehandlung durch Nachzerlegung und Dekontamination erforderlich sein. Die Nachzerlegung erfolgt mit dem Ziel, demontierte Bauteile auf die erforderliche Geometrie für Dekontamination und Freimessung zu bringen. Es werden dafür in der Regel die bereits bei der Demontage eingesetzten Zerlegetechniken eingesetzt. Die Nachzerlegung der demontierten Bauteile zur weiteren Materialbehandlung erfolgen hauptsächlich mit mechanischen und thermischen Trennverfahren.

Die Dekontamination dient der Beseitigung oder Verminderung von radioaktiven Verunreinigungen, d. h. von Oberflächen- oder Volumenkontamination mittels chemischer oder physikalischer Verfahren, z. B. durch Abwaschen oder Reinigung mit Chemikalien. Das Ziel der Dekontamination ist die Reduktion der Aktivität zur radiologischen Befreiung des Materials. Zusätzlich werden dadurch die Strahlenexposition und Inkorporationsgefahr des Personals und das Potenzial zur Kontaminationsverschleppung bei den nachfolgenden Arbeiten gesenkt.

Bei der Auswahl der anzuwendenden Verfahren werden Aspekte der Bedienbarkeit, der Zugänglichkeit, des erforderlichen Strahlenschutzes, des Ressourcenaufwands, des Zeit-, Lager- und Dekontaminationsaufwands sowie der insgesamt zu erwartende Sekundärabfall und dessen Entsorgungsweg berücksichtigt.

Die Befreiung von Materialien von der strahlenschutzrechtlichen Bewilligung und behördlichen Aufsicht durch die Freimessung ist der messtechnische Nachweis, dass die Freimesskriterien für die Befreiung von Materialien eingehalten sind. Die Anforderungen an die Freimessung von Material aus Kontroll- und Überwachungsbereichen sind in der Richtlinie ENSI-B04 [44] definiert. Die Kriterien für die Freimessung sind in Art. 84 und Art. 106 StSV [11] festgelegt. Das Vorgehen zur Freimessung ist in Abschnitt 9.2. der Richtlinie ENSI-B04 [44] beschrieben.

4.3.3 Abklinglagerung, Ablagerung, Verwertung

Im Rahmen der Totalrevision der Strahlenschutzverordnung [11] wurden die Befreiungsgrenzen für radioaktive Nuklide teilweise erheblich gesenkt. Dadurch entstanden zusätzliche Mengen radioaktiver Abfälle mit geringer Aktivität, die vor dem 1. Januar 2018 (alte Strahlenschutzverordnung) freigemessen und beliebig verwendet werden konnten.

Neben der Abklinglagerung (Art. 117 StSV [11]) eröffnet die Strahlenschutzverordnung weitere alternative Entsorgungspfade für Abfälle mit geringer Aktivität. Dazu gehört die Ablagerung auf einer Deponie (Art. 114 StSV [11]) sowie die Verwertung (Art. 115 StSV [11])⁶⁶. Diese Entsorgungspfade sind grundsätzlich gegenüber der geologischen Tiefenlagerung zu bevorzugen, da sie ressourcenschonend sind und die radioaktiven Abfälle für die geologische Tiefenlagerung reduzieren (vgl. Gebot der Minimierung von radioaktivem Abfall gemäss Art. 50 KEV [8]).

Insbesondere muss die Abklinglagerung gemäss Art. 117 StSV [11] angewendet werden, wenn:

- keine gesamthaft günstigere Alternative für Mensch und Umwelt zur Verfügung steht und
- deren Aktivität aufgrund des radioaktiven Zerfalls spätestens 30 Jahre nach dem Ende der Verwendung des ursprünglichen Materials so weit abgeklungen ist, dass sie nach Art. 106 StSV [11] freigemessen oder nach Art. 115 StSV [11] verwertet werden können.

Ziel ist es, einen grossen Teil der radioaktiven Abfälle, gegebenenfalls nach einer allfälligen Abklinglagerung als inaktiv zu befreien und diese dann konventionell zu entsorgen. Bei den für Abklinglagerung geeigneten Materialien handelt es sich vorwiegend um Metall.

⁶⁶Gem. Art. 51a KEV [8] besteht im Sinne von Art. 31 KEG [7] keine Entsorgungspflicht für radioaktive Abfälle mit geringer Aktivität, die über die in den Art. 111 – 116 StSV [11] beschriebenen Entsorgungspfade an die Umwelt abgegeben werden dürfen.

Tabelle 21: Gesamtmassen aus der kontrollierten Zone, welche der Abklinglagerung zugeführt werden.

	Gesamtmasse für die Abklinglagerung
	[Mg]
Kernkraftwerk Beznau	1'521
Kernkraftwerk Mühleberg	1'801
Kernkraftwerk Gösgen	817
Kernkraftwerk Leibstadt	8'150
Gesamtsumme	12'289

Neben der Abklinglagerung wird geprüft, ob Abfälle mit geringer Aktivität den Entsorgungspfaden Verwertung und Ablagerung zugeführt werden können. Die Zuordnung von Materialien zu diesen Entsorgungspfaden erfolgt im Rahmen der detaillierten Entsorgungsplanung der Kernanlagen.

4.3.4 Konditionierung

Radioaktive Materialien, die als radioaktive Abfälle der Tiefenlagerung zugeführt werden, sind zu konditionieren.

Unter Konditionierung wird gem. Art. 3 lit. g KEG [7] die Gesamtheit der Operationen verstanden, mit welcher radioaktive Abfälle für die Zwischenlagerung und für die Lagerung in ein geologisches Tiefenlager vorbereitet werden. Das Ergebnis der Konditionierung ist das Abfallgebände. Es besteht aus den radioaktiven Abfällen und deren transport- und endlagerfähiger Verpackung.

Für die Verpackung der anfallenden radioaktiven Abfälle sind folgende Behälter beziehungsweise Container vorgesehen⁶⁷:

- 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-84-plus.
- Lagercontainer LC-86.

Generell werden bei der Verpackung der radioaktiven Abfälle in Fässer oder Lagercontainer die Hohlräume zum Beispiel mit Betongranulat aus der Gebäudedekontamination oder Mörtel verfüllt.

Die anfallenden radioaktiven Abfälle werden nach den in der Schweiz gültigen Regelwerken (Richtlinie ENSI-B05/d [45]) beziehungsweise Vereinbarungen mit der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) konditioniert. Es wird von der Verfügbarkeit des geologischen Tiefenlagers zur Einlagerung für schwach und mittelaktive Abfälle (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 22 zusammengestellt. Mehrfachverpackungen, zum Beispiel Verpacken von Materialien in 180 l-Pressstromein, die nach dem Hochdruck-Pressen dann als Pellets in 200 l-Fässer verpackt werden, werden ebenfalls berücksichtigt.

⁶⁷Hinweis: Die genannten Behälterbezeichnungen sind exemplarisch zu verstehen. In einem konkreten Stilllegungsprojekt können auch andere Behälter Verwendung finden, wenn sie die technischen Anforderungen erfüllen.

Tabelle 22: Verpackungsfaktoren.

Behälter- bzw. Container - Typ	Abfallart	Verpackte Masse [kg]	
		KS16	KS21
180 I-Presskartusche	Mischmaterial leicht	100	100
	Mischmaterial Standard	140	150
	Isolation	40	60
	Ausmauerung/Schlacke	200	150
	Staub	40	45
200 I-Fass	Stahl	240	320
	Edelstahl	-	170
	Glaskille	340	340
	Mischmaterial leicht	400	400
	Mischmaterial Standard	420	450
	Isolation	200	300
	Konzentrate / Harze	100	200
	Ausmauerung/Schlacke	400	170 - 300
	Staub	200	50 - 225
	Dekontgranulat	400	540
	HDW-Abtrag/Konzentrat	125	250
MOSAIK Type II	Edelstahl	770	744
MOSAIK Type II (mit 20 mm Zusatz Abschirmung)	Edelstahl	630	651 - 727
MOSAIK Type II (mit 25 mm Zusatz Abschirmung)	Edelstahl	-	606
MOSAIK Type II (mit 30 mm Zusatz Abschirmung)	Edelstahl	-	600
MOSAIK Type II (mit 35 mm Zusatz Abschirmung)	Edelstahl	-	563
MOSAIK Type II (mit 45 mm Zusatz Abschirmung)	Edelstahl	-	772
MOSAIK Type II (mit 55 mm Zusatz Abschirmung)	Edelstahl	-	470 - 531
MOSAIK Type II (mit 65 mm Zusatz Abschirmung)	Edelstahl	-	442 - 791
MOSAIK Type II (mit 75 mm Zusatz Abschirmung)	Edelstahl	-	413
MOSAIK Type II (mit 90 mm Zusatz Abschirmung)	Edelstahl	-	225 - 592
MOSAIK Type II (mit 110 mm Zusatz Abschirmung)	Edelstahl	290	523
Lagercontainer - LC-84	Beton (normal/schwer)	-	6'080
	Edelstahl	6'040	2'508 - 8'705
	Stahl	6'040	4'955 - 5'182
	Isolierung	1'600	1'400
Lagercontainer - LC-84-plus	Edelstahl	3'780	2'121 - 2'508
	Stahl	3'780	2'292
Lagercontainer - LC-86	Normalbeton	5'110	4'545 - 6'372
	Stahl	7'700	7'350
	Isolierung	-	3'705

Die verpackte Masse und die erzeugten Lagerbehälter zeigen Tabelle 23 (KKB), Tabelle 24 (KKM), Tabelle 25 (KKG) und Tabelle 26 (KKL) im Vergleich. Tabelle 27 zeigt für das Zwischenlager der Zwiilag die Menge an radioaktivem Abfall je Behältertyp und die Anzahl der erzeugten Behälter.

Kernkraftwerk Beznau

Tabelle 23: Verpackte Masse radioaktiver Abfälle und Anzahl Behälter bzw. Container und Kosten für den Transport zum geologischen Tiefenlager SMA, KKB.

KS21			
Behälter-Typ	Verpackte Masse [Mg]	Anzahl Behälter bzw. Container	Kosten für Transport ins geologische Tiefenlager SMA [MCHF]
200-l Fass	473	1'292	0.10
Lagercontainer - LC-84	1'113	130	0.36
Lagercontainer - LC-84-plus	135	60	0.17
Lagercontainer - LC-86	1'751	340	0.95
MOSAIK Type II / 20 mm Pb ^{a)}	6	8	0.23
MOSAIK Type II / 45 mm Pb	11	14	0.05
MOSAIK Type II / 55 mm Pb	13	24	0.08
MOSAIK Type II / 65 mm Pb	33	42	0.15
MOSAIK Type II / 90 mm Pb	24	40	0.14
MOSAIK Type II / 110 mm Pb	21	40	0.14
Gesamt	3'578	1'990	2.37

^{a)} inkl. Kosten für Behälter aus In-Situ Dekontamination der Kreisläufe.

KS16			
Behälter-Typ	Verpackte Masse [Mg]	Anzahl Behälter bzw. Container	Kosten für Transport ins geologische Tiefenlager SMA [MCHF]
200-l Fass	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 / 20 mm Pb	10	26	0.15
MOSAIK Type II / 40 mm Pb	10	32	0.18
MOSAIK Type II / 50 mm Pb	53	106	0.61
MOSAIK Type II / 80 mm Pb	26	67	0.39
MOSAIK Type II / 100 mm Pb	4	11	0.07
MOSAIK Type II / 120 mm Pb	17	67	0.38
Gesamt	4'058	2'830	5.06
Differenz KS21 / KS16	-480	-840	

Im Vergleich zur KS16 verringert sich die verpackte Masse um 480 Mg. Es werden 840 Behälter weniger benötigt.

Kernkraftwerk Mühleberg

Tabelle 24: Verpackte Masse radioaktiver Abfälle und Anzahl Behälter bzw. Container und Kosten für den Transport zum geologischen Tiefenlager SMA, KKM.

KS21			
Behälter-Typ	Verpackte Masse [Mg]	Anzahl Behälter bzw. Container	Kosten für Transport ins geologische Tiefenlager SMA [MCHF]
200 I-Fass	153	621	0.51
200 I-Fass (Zwilag)	142	417	-
200 I-Fass inkl. Einstellkorb	61	361	0.29
Lagercontainer - LC-84	2'027	291	0.73
Lagercontainer - LC-86	416	84	0.21
MOSAIK Type II / 90 mm (inkl. Einstellkorb)	13	52	0.11
Gesamt	2'812	1'826	1.85

KS16			
Behälter-Typ	Verpackte Masse [Mg]	Anzahl Behälter bzw. Container	Kosten für Transport ins geologische Tiefenlager SMA [MCHF]
200 I-Fass	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 / 20 mm Pb	4	10	0.05
MOSAIK Type II / 40 mm Pb	4	12	0.06
MOSAIK Type II / 80 mm Pb	10	27	0.14
MOSAIK Type II / 110 mm Pb	36	125	0.69
Gesamt	2'854	1'675	3.03

Differenz KS21 / KS16	-42	151	
------------------------------	------------	------------	--

Im Vergleich zur KS16 verringert sich die verpackte Masse um 42 Mg. Es werden 151 Behälter mehr benötigt.

Kernkraftwerk Gösgen

Tabelle 25: Verpackte Masse radioaktiver Abfälle und Anzahl Behälter bzw. Container und Kosten für den Transport zum geologischen Tiefenlager SMA, KKG.

KS21			
Behälter-Typ	Verpackte Masse [Mg]	Anzahl Behälter bzw. Container	Kosten für Transport ins geologische Tiefenlager SMA [MCHF]
200 I-Fass	525	1'383	0.22
Lagercontainer - LC-84	1'531	227	0.91
Lagercontainer - LC-84-plus	13	6	0.02
Lagercontainer - LC-86	1'172	216	0.86
MOSAIK Type II	6	8	0.04
MOSAIK Type II / 20 mm Pb ^{a)}	14	21	0.35
MOSAIK Type II / 30 mm Pb	25	41	0.21
MOSAIK Type II / 55 mm Pb	1	3	0.02
MOSAIK Type II / 75 mm Pb	10	24	0.12
Gesamt	3'296	1'928	2.74

^{a)} inkl. Kosten für Behälter aus In-Situ Dekontamination der Kreisläufe.

KS16			
Behälter-Typ	Verpackte Masse [Mg]	Anzahl Behälter bzw. Container	Kosten für Transport ins geologische Tiefenlager SMA [MCHF]
200 I-Fass	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 / 20 mm Pb	8	22	0.13
MOSAIK Type II / 40 mm Pb	13	36	0.20
MOSAIK Type II / 60 mm Pb	23	50	0.29
MOSAIK Type II / 110 mm Pb	17	57	0.33
Gesamt	3'077	2'084	3.47
Differenz KS21 / KS16	219	-156	

Die verpackte Masse erhöht sich gegenüber der KS16 um 219 Mg. Die Anzahl der Behälter verringert sich um 156.

Kernkraftwerk Leibstadt

Tabelle 26: Verpackte Masse radioaktiver Abfälle und Anzahl Behälter bzw. Container und Kosten für den Transport zum geologischen Tiefenlager SMA, KKL.

KS21			
Behälter-Typ	Verpackte Masse [Mg]	Anzahl Behälter bzw. Container	Kosten für Transport ins geologische Tiefenlager SMA [MCHF]
200 I-Fass	1'261	3'210	0.49
Lagercontainer - LC-84	3'422	606	2.18
Lagercontainer - LC-84-plus	25	10	0.04
Lagercontainer - LC-86	1'338	214	0.77
MOSAIK Type II / 25 mm Pb ^{a)}	20	33	0.31
MOSAIK Type II / 35 mm Pb	10	17	0.08
MOSAIK Type II / 55 mm Pb	15	31	0.14
MOSAIK Type II / 65 mm Pb	23	51	0.23
MOSAIK Type II / 90 mm Pb	13	38	0.17
Gesamt	6'126	4'210	4.40

^{a)} inkl. Kosten für Behälter aus In-Situ Dekontamination der Kreisläufe.

KS16			
Behälter-Typ	Verpackte Masse [Mg]	Anzahl Behälter bzw. Container	Kosten für Transport ins geologische Tiefenlager SMA [MCHF]
200 I-Fass	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 / 20 mm Pb	6	17	0.09
MOSAIK Type II / 40 mm Pb	6	20	0.11
MOSAIK Type II / 60 mm Pb	54	118	0.66
MOSAIK Type II / 80 mm Pb	21	54	0.30
Gesamt	6'458	4'439	6.13
Differenz KS21 / KS16	-332	-229	

Die verpackte Masse vermindert sich gegenüber der KS16 um 332 Mg. Es werden 229 Behälter weniger benötigt.

Zwilag

Tabelle 27: Verpackte Masse radioaktiver Abfälle und Anzahl Behälter bzw. Container und Kosten für den Transport zum geologischen Tiefenlager SMA, Zwilag.

KS21			
Behälter-Typ	Verpackte Masse [Mg]	Anzahl Behälter bzw. Container	Kosten für Transport ins geologische Tiefenlager SMA [MCHF]
Lucens - Inventar	263	50	- ^{a)}
200 l-Fass	38	114	- ^{a)}
Lagercontainer - LC-84	167	27	- ^{a)}
Lagercontainer - LC-86	66	13	- ^{a)}
Gesamt	534	204	- ^{a)}

^{a)} Die Kosten für den Transport ins geologische Tiefenlager SMA ist Bestandteil der Betriebskosten von Zwilag.

KS16			
Behälter-Typ	Verpackte Masse [Mg]	Anzahl Behälter bzw. Container	Kosten für Transport ins geologische Tiefenlager SMA [MCHF]
Lucens - Inventar	262	45	0.22
200 l-Fass	30	88	0.02
Lagercontainer - LC-84	168	23	0.14
Lagercontainer - LC-86	66	13	0.08
Gesamt	525	169	0.45
Differenz KS21 / KS16	9	35	

Die verpackte Masse erhöht sich leicht gegenüber der KS16 um 9 Mg. Es werden 35 Behälter mehr benötigt.

4.3.5 Transport zum geologischen Tiefenlager SMA

Die verpackten radioaktiven Abfälle werden in die beiden Zwischenlager verbracht und dort eingelagert. Die Abfälle werden aus den Zwischenlagern 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 23 (KKB), Tabelle 24 (KKM), Tabelle 25 (KKG), Tabelle 26 (KKL) und Tabelle 27 (Zwilag) zeigen, dass die in der KS21 gegenüber der KS16 verpackte Massen und Transportkosten sich nur unwesentlich verändert haben.

4.3.6 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. Aufgrund der Überführung der Angaben der Nagra in die Kostengliederung ergibt sich gegenüber den Daten der Nagra eine geringfügige Abweichung. Für weiterführende Informationen wird auf den Bericht «Ermittlung der Entsorgungskosten – geologische Tiefenlagerung» [2] verwiesen. 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 KS21 ergeben sich die in Tabelle 28 aufgeführten Grenzkosten.

Tabelle 28: Vergleich der zuteilbaren Lagerkosten.

Anlage	Grenzkosten ^{a)}		Differenz	Differenz [%]
	KS16	KS21		
KKB	35.24	37.06	1.83	4.93%
KKM	20.17	22.17	2.00	9.01%
KKG	24.66	29.94	5.28	17.62%
KKL	44.75	53.09	8.34	15.71%
Zwilag	2.87	3.65	0.78	21.44%
Summe	127.69	145.91	18.22	12.49%

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

^{a)} Basiskosten.

4.4 Ablauf und Dauer der Stilllegung

Der Ermittlung der Kosten für die Stilllegung der Kernanlagen liegen die in Abschnitt 1.4 zusammengefassten Betriebsjahre und Stilllegungszeiten zugrunde.

In Abschnitt 4.4.1 und 4.4.2 wird der Ablauf und die resultierende Dauer der Stilllegung erläutert und aufgezeigt, welche Erkenntnisse seit der KS16 gewonnen worden und in der vorliegenden KS21 berücksichtigt sind.

4.4.1 Ablauf der Stilllegung

Die vorliegende Kostenermittlung 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 (Stilllegungsziel 1).
- Konventioneller Abbruch der verbleibenden, inaktiven Anlagebereiche (Stilllegungsziel 2 und 3).

Die Arbeiten des ersten Abschnitts (Stilllegungsprojekt und Stilllegungsverfügung) beginnen bereits während der letzten Betriebsjahre.

Der nukleare Rückbau (zweiter Abschnitt) erfolgt, sobald die Rechtskraft der Stilllegungsverfügung eingetreten ist. Massnahmen, die technisch zur Stilllegung gehören beziehungsweise deren Vorbereitung dienen, werden bereits während des Nachbetriebs ausgeführt. Während der Etablierung des Technischen Nachbetriebs, d. h. der Zeitspanne zwischen EELB und EABN, können durch das Departement in der Stilllegungsverfügung die Stilllegung vorbereitende Massnahmen angeordnet werden. Mit Erreichen der EABN wird die Stilllegungsverfügung umfassend rechtswirksam und die eigentlichen Stilllegungsarbeiten werden umgesetzt. Es ist möglich, dass Gebäudestrukturen ohne Kontrollbereich bereits während des nuklearen Rückbaus abgebrochen werden, etwa um Platz für die weiteren Rückbauarbeiten zu schaffen.

Während des konventionellen Rückbaus (Abschnitt 3) erfolgt der Abbruch der verbliebenen Gebäude und Infrastruktureinrichtungen. Die Anlagen stellen zu diesem Zeitpunkt keine radiologische Gefahrenquelle mehr dar und sind während dieses Abschnittes und nach der vorgängigen radiologischen Befreiung durch die zuständige Behörde aus der Bewilligung und Aufsicht durch die Kernenergiegesetzgebung entlassen worden.

4.4.2 Dauer der Stilllegung

Die KS16 und die KS21 untersuchen beide die Stilllegungsvariante sofortiger Rückbau nach einem ordnungsgemässen Betrieb. Für das Kernkraftwerk Mühleberg beträgt die Betriebsdauer 47 Jahre, für die Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt werden die Kosten für eine Betriebsdauerannahme von 50 Jahre berechnet und ausgewiesen. Die Auswirkungen eines 60-jährigen Leistungsbetriebs werden zusätzlich abgeschätzt und im Anhang A.2 dargestellt.

Aus Stilllegungen von Kernkraftwerken im In- und Ausland sowie aus der vorbereitenden Stilllegungsplanung des Kernkraftwerks Beznau und dem im Rückbau befindlichen Kernkraftwerk Mühleberg ergeben sich einige Erkenntnisse und Erfahrungen zur Dauer des Nachbetriebs und Rückbaus.

Die Ergebnisse der KS21 im Hinblick auf die Gesamtdauer der Stilllegung sind den nachfolgenden Abbildungen dargestellt.

Kernkraftwerk Beznau

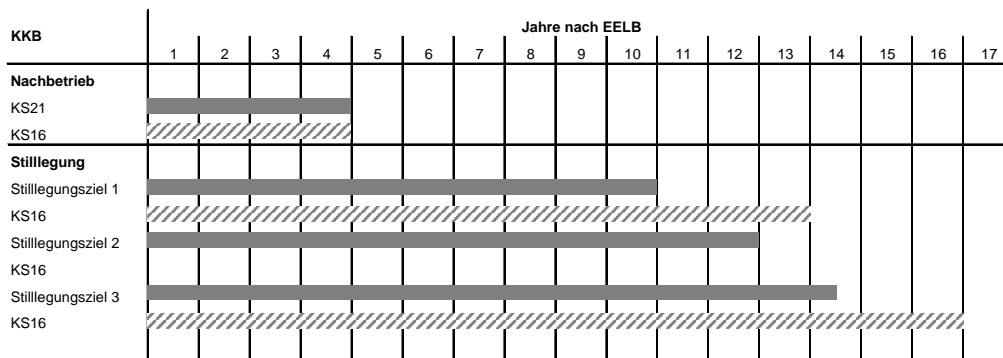


Abbildung 5: Voraussichtliche Dauer der Stilllegungs- und Rückbauarbeiten ab EELB für KKB.

Die zeitliche Überlappung von Nachbetrieb und Rückbau führen für KKB zu einer Verkürzung des Projektes um zwei bis drei Jahre.

Kernkraftwerk Mühleberg

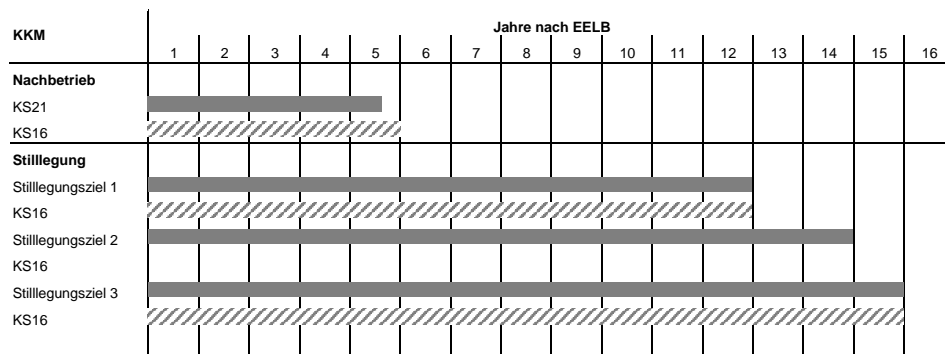


Abbildung 6: Voraussichtliche Dauer der Stilllegungs- und Rückbauarbeiten ab EELB für KKM.

Die voraussichtliche Dauer der Stilllegungs- und Rückbauarbeiten bleiben gegenüber der KS16 für die Stilllegungsziele 1 und 3 unverändert.

Kernkraftwerk Gösgen

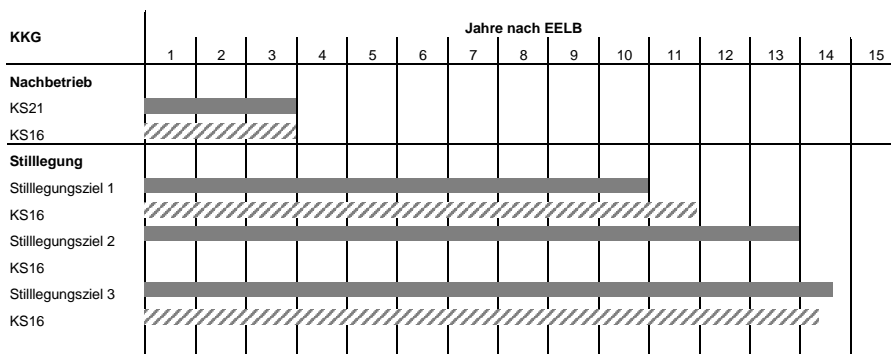


Abbildung 7: Voraussichtliche Dauer der Stilllegungs- und Rückbauarbeiten ab EELB für KKG.

Die Dauer für den Rückbau bleibt im Wesentlichen unverändert.

Kernkraftwerk Leibstadt

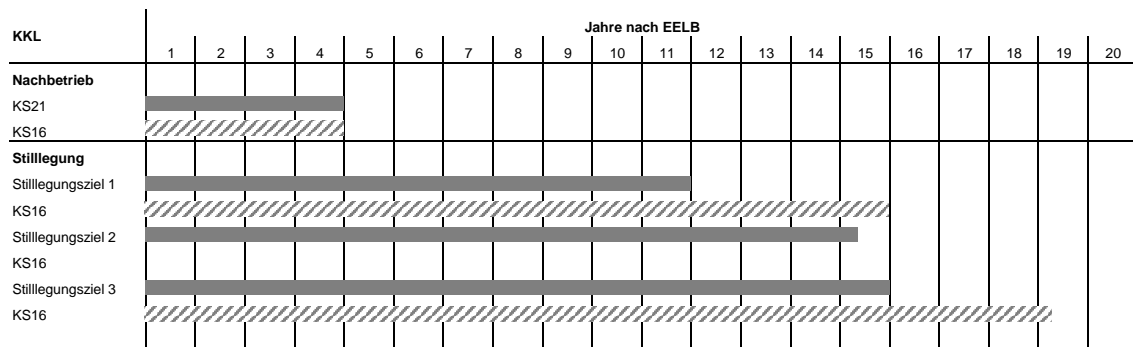


Abbildung 8: Voraussichtliche Dauer der Stilllegungs- und Rückbauarbeiten ab EELB für KKL.

Die zeitliche Überlappung von Nachbetrieb und Rückbau führen zu einer Verkürzung des Projektes um drei bis vier Jahre.

Zwibez

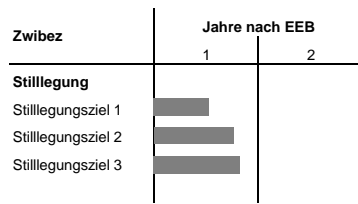


Abbildung 9: Voraussichtliche Dauer der Stilllegungs- und Rückbauarbeiten ab EEB für Zwibez.

Die Stilllegungs- und Rückbauarbeiten für Zwibez dauern für alle drei Stilllegungsziele weniger als ein Jahr.

Zwilag

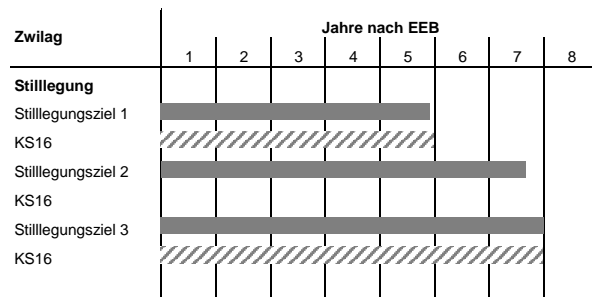


Abbildung 10: Voraussichtliche Dauer der Stilllegungs- und Rückbauarbeiten ab EEB für Zwilag.

Die voraussichtliche Projektdauer für die Stilllegungs- und Rückbauarbeiten für Zwilag ist im Wesentlichen unverändert.

4.5 Personalaufwand und Kollektivdosis

Wie in der KS16 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. Für das Kernkraftwerk Mühleberg wurde der personelle Aufwand für den Rückbaubetrieb auf Basis der Erfahrung aus dem Nachbetrieb ermittelt. Für die Kernkraftwerke Beznau, Leibstadt und Mühleberg wird in der KS21 der Einsatz von Eigenpersonal neben dem Rückbaubetrieb auch in den Stilllegungsarbeiten vorgesehen.

Das benötigte Personal und seine Qualifikation für die Stilllegungsarbeiten werden anhand der geplanten Aufgaben ermittelt. Der Arbeitsaufwand für die Stilllegungsarbeiten wird zumeist 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.

In der KS21 werden die Erkenntnisse aus aktuell laufenden Rückbauprojekten in der Kalkulation berücksichtigt. Der ermittelte Personalaufwand der KS21 für die drei Stilllegungsziele sind in Tabelle 29 (KKB), Tabelle 31 (KKM), Tabelle 33 (KKG) und Tabelle 35 (KKL) dargestellt. Der Personalaufwand für das Zwibez sind in Tabelle 37 und für die Zwiilag Zwischenlager Würenlingen AG in Tabelle 39 aufgeführt. In der vorliegenden Kostenstudie führt die Überlappung von Nachbetrieb und Rückbau bei den Kernkraftwerken Beznau, Gösgen und Leibstadt bei unveränderter Nachbetriebsdauer zu einer Reduktion der Gesamtdauer der Stilllegung und somit zu einer Reduktion der Personenjahre. Diese ist hauptsächlich auf die Verkürzung der Rückbaubetriebsdauer zurückzuführen. Beim Kernkraftwerk Mühleberg bleibt bei einer Verkürzung des Nachbetriebs die Gesamtdauer der Stilllegung unverändert. Entsprechend verlängert sich die Dauer des Rückbaubetriebs und dies resultiert in einer Erhöhung der Personenjahre.

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 aus Tabelle 30 (KKB), Tabelle 32 (KKM), Tabelle 34 (KKG), Tabelle 36 (KKL), Tabelle 38 (Zwibez) und Tabelle 40 (Zwiilag) entnommen werden.

Kernkraftwerk Beznau

Tabelle 29: Personalaufwand nach Arbeitspaket für die drei Stilllegungsziele, KKB.

Personalaufwand [Jahre]	Stilllegungsziel 1			Stilllegungsziel 2	Stilllegungsziel 3
	KS16	KS21	Differenz	KS21	KS21
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	94	3	-91	3	3
Vorbereitungs- und Umbaumasnahmen für den Rückbau - Standortbezogen	50	31	-19	31	31
Vorbereitungs- und Umbaumasnahmen für den Rückbau - Blockbezogen	94	71	-23	71	71
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	979	779	-200	779	779
Behandlung und Verpackung	238	231	-7	231	231
Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen	-	-	-	115	163
Rückbaubetrieb	1'219	865	-354	878	886
Projektleitung Rückbau	174	263	89	266	268
Gesamt	2'848	2'244	-604	2'375	2'432

Tabelle 30: Kollektivdosis nach Arbeitspaket, KKB.

Kollektivdosis [Sv]	Stilllegungsziel 1		
	KS16	KS21	Differenz
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	< 0.1	-	< 0.1
Vorbereitungs- und Umbaumasnahmen für den Rückbau - Standortbezogen	0.2	< 0.1	-0.2
Vorbereitungs- und Umbaumasnahmen für den Rückbau - Blockbezogen	1.0	0.3	-0.7
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	9.2	7.7	-1.5
Behandlung und Verpackung	2.9	2.0	-1.0
Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen	-	-	-
Rückbaubetrieb	1.3	0.9	-0.4
Projektleitung Rückbau	0.1	< 0.1	< 0.1
Gesamt	14.7	11.0	-3.7

Kernkraftwerk Mühleberg

Tabelle 31: Personalaufwand nach Arbeitspaket für die drei Stilllegungsziele, KKM.

Personalaufwand [Jahre]	Stilllegungsziel 1			Stilllegungsziel 2	Stilllegungsziel 3
	KS16	KS21	Differenz	KS21	KS21
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	51	-	-51	-	-
Vorbereitungs- und Umbaumasnahmen für den Rückbau - Standortbezogen	6	13	6	13	13
Vorbereitungs- und Umbaumasnahmen für den Rückbau - Blockbezogen	22	45	23	45	45
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	608	591	-17	591	591
Behandlung und Verpackung	247	186	-61	186	186
Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen	-	-	-	62	92
Rückbaubetrieb	669	342	-327	345	346
Projektleitung Rückbau	287	50	-237	53	54
Gesamt	1'891	1'227	-664	1'295	1'327

Tabelle 32: Kollektivdosis nach Arbeitspaket, KKM.

Kollektivdosis [Sv]	Stilllegungsziel 1		
	KS16	KS21	Differenz
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	-	-	-
Vorbereitungs- und Umbaumasnahmen für den Rückbau - Standortbezogen	< 0.1	-	-
Vorbereitungs- und Umbaumasnahmen für den Rückbau - Blockbezogen	0.2	0.1	-0.1
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	4.0	4.9	0.9
Behandlung und Verpackung	2.3	2.0	-0.3
Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen	-	-	-
Rückbaubetrieb	0.4	-	-0.4
Projektleitung Rückbau	0.2	-	-0.2
Gesamt	7.2	7.0	-0.2

Kernkraftwerk Gösgen

Tabelle 33: Personalaufwand nach Arbeitspaket für die drei Stilllegungsziele, KKG.

Personalaufwand [Jahre]	Stilllegungsziel 1			Stilllegungsziel 2	Stilllegungsziel 3
	KS16	KS21	Differenz	KS21	KS21
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	84	84	0	84	84
Vorbereitungs- und Umbaumasnahmen für den Rückbau - Standortbezogen	50	31	-19	31	31
Vorbereitungs- und Umbaumasnahmen für den Rückbau - Blockbezogen	53	34	-19	34	34
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	711	716	5	716	716
Behandlung und Verpackung	262	249	-13	249	249
Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen	-	-	-	152	205
Rückbaubetrieb	1'093	905	-188	919	922
Projektleitung Rückbau	143	160	17	167	169
Gesamt	2'396	2'180	-216	2'354	2'411

Tabelle 34: Kollektivdosis nach Arbeitspaket, KKG.

Kollektivdosis [Sv]	Stilllegungsziel 1		
	KS16	KS21	Differenz
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	< 0.1	< 0.1	-
Vorbereitungs- und Umbaumasnahmen für den Rückbau - Standortbezogen	0.1	0.1	0.0
Vorbereitungs- und Umbaumasnahmen für den Rückbau - Blockbezogen	0.5	0.3	-0.2
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	6.3	6.3	0.0
Behandlung und Verpackung	2.9	2.2	-0.7
Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen	-	-	-
Rückbaubetrieb	1.2	0.7	-0.5
Projektleitung Rückbau	0.1	0.1	0.0
Gesamt	11.2	9.8	-1.4

Kernkraftwerk Leibstadt

Tabelle 35: Personalaufwand nach Arbeitspaket für die drei Stilllegungsziele, KKL.

Personalaufwand [Jahre]	Stilllegungsziel 1			Stilllegungsziel 2	Stilllegungsziel 3
	KS16	KS21	Differenz	KS21	KS21
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	88	84	-4	84	84
Vorbereitungs- und Umbaumasnahmen für den Rückbau - Standortbezogen	47	29	-18	29	29
Vorbereitungs- und Umbaumasnahmen für den Rückbau - Blockbezogen	49	35	-14	35	35
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	1'116	1'138	22	1'138	1'138
Behandlung und Verpackung	502	406	-96	406	406
Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen	-	-	-	226	271
Rückbaubetrieb	1'509	720	-789	756	763
Projektleitung Rückbau	213	284	71	292	294
Gesamt	3'524	2'696	-828	2'966	3'020

Tabelle 36: Kollektivdosis nach Arbeitspaket, KKL.

Kollektivdosis [Sv]	Stilllegungsziel 1		
	KS16	KS21	Differenz
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	< 0.1	< 0.1	-
Vorbereitungs- und Umbaumasnahmen für den Rückbau - Standortbezogen	0.2	< 0.1	-0.2
Vorbereitungs- und Umbaumasnahmen für den Rückbau - Blockbezogen	0.5	0.3	-0.2
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	10.1	10.0	-0.1
Behandlung und Verpackung	5.3	4.7	-0.6
Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen	-	-	-
Rückbaubetrieb	1.3	0.5	-0.9
Projektleitung Rückbau	0.2	0.1	0.0
Gesamt	17.5	15.7	-1.9

Zwibez

Tabelle 37: Personalaufwand nach Arbeitspaket für die drei Stilllegungsziele, Zwibez.

Personalaufwand [Jahre]	Stilllegungsziel 1			Stilllegungsziel 2	Stilllegungsziel 3
	KS16	KS21	Differenz	KS21	KS21
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	5	5	0	5	5
Vorbereitungs- und Umbaumaassnahmen für den Rückbau	1	-	-1	-	-
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	11	5	-6	5	5
Behandlung und Verpackung	3	-	-3	-	-
Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen		-	-	11	16
Rückbaubetrieb und Projektleitung	7	2	-5	4	5
Gesamt	27	12	-15	26	32

Tabelle 38: Kollektivdosis nach Arbeitspaket, Zwibez.

Kollektivdosis [Sv]	Stilllegungsziel 1		
	KS16	KS21	Differenz
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	-	-	-
Vorbereitungs- und Umbaumaassnahmen für den Rückbau	-	-	-
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	< 0.1	-	< 0.1
Behandlung und Verpackung	< 0.1	-	< 0.1
Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen	-	-	-
Rückbaubetrieb und Projektleitung	< 0.1	-	< 0.1
Gesamt	0.1	0.0	-0.1

Zwilag

Tabelle 39: Personalaufwand nach Arbeitspaket für die drei Stilllegungsziele, Zwilag.

Personalaufwand [Jahre]	Stilllegungsziel 1			Stilllegungsziel 2	Stilllegungsziel 3
	KS16	KS21	Differenz	KS21	KS21
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	12	11	-1	11	11
Vorbereitungs- und Umbaumaassnahmen für den Rückbau	6	5	-1	5	5
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	165	153	-12	153	153
Behandlung und Verpackung	23	32	9	32	32
Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen	-	-	-	73	90
Rückbaubetrieb	154	197	43	215	219
Projektleitung Rückbau	-	-	-	-	-
Gesamt	359	399	40	490	511

Tabelle 40: Kollektivdosis nach Arbeitspaket, Zwilag.

Kollektivdosis [Sv]	Stilllegungsziel 1		
	KS16	KS21	Differenz
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	0.0	0.0	0.0
Vorbereitungs- und Umbaumaassnahmen für den Rückbau	0.0	0.0	0.0
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	0.2	0.2	0.0
Behandlung und Verpackung	0.0	0.0	0.0
Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen	-	-	-
Rückbaubetrieb	0.0	0.0	0.0
Projektleitung Rückbau	-	-	-
Gesamt	0.3	0.2	0.0

5 Resultate der Ermittlung der Stilllegungskosten

Für die Präsentation der Ergebnisse der Ermittlung der Stilllegungskosten wird die von der Verwaltungskommission verbindlich vorgegebene Struktur verwendet. Dabei werden die Kosten der Stilllegungsarbeiten und des Rückbaubetriebs detailliert auf verschiedenen Ebenen dargestellt. Die ersten drei Ebenen der Kostenstruktur sind für alle Kernanlagen identisch und erlauben somit unabhängig von Kraftwerkstyp und technischen Unterschieden der Anlagen einen direkten Vergleich von Kosten und anderen Kennzahlen, was auf tieferen Gliederungsebenen nicht durchgehend möglich ist.

Anhang A.1 enthält eine detaillierte Beschreibung der PSP-Elemente des für die KS21 verwendeten Projektstrukturplans, nachfolgend werden die PSP-Elemente auf der zweiten Ebene kurz erläutert.

Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung

Für die Stilllegung muss der Betreiber einer 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 Betreiber dar. Die zum Stilllegungsprojekt einzureichenden Unterlagen sind in der Kernenergieverordnung festgelegt.

Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen für den Rückbau – standortbezogen

In diesem funktionalen Paket werden die zur Vorbereitung des Rückbaus notwendigen Umbaumassnahmen 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.

Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen für den Rückbau – blockbezogen

Die Kosten für Massnahmen zur Ausserbetriebnahme von nicht mehr benötigten Systemen sowie die für systemtechnische Anpassungen und Ersatzsysteme sind in diesem Paket zusammengefasst. Die Ausserbetriebnahme von obsoleten Systemen kann direkt nach EELB im Rahmen der noch geltenden Betriebsbewilligung durchgeführt werden.

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, Lüftung, elektrische Versorgung, 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.

Behandlung und Verpackung

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 Freimessung die radiologische Befreiung oder, falls eine radiologische Befreiung nicht möglich ist, die Konditionierung als radioaktiver Abfall.

Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen

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 Unterhaltssachkosten sowie die übrigen Aufwendungen zusammengefasst. Hierzu gehört auch die Bewachung bzw. Überwachung der Anlage bis zur Entlassung des Standortes aus dem Kernenergiegesetz. Für die vorliegende Kostenermittlung wird angenommen, dass die Behörden beziehungsweise von ihrem beauftragten Gutachter den Fortgang der Arbeiten permanent überwachen.

Wie in der KS16 wurden die jährlichen Kosten für den Rückbaubetrieb aus Angaben der Kernkraftwerksgesamtheit abgeleitet. Die Kosten basieren auf den Einschätzungen bezüglich des aktuell anzunehmenden Aufwands beziehungsweise auf den Kosten zum Zeitpunkt der EELB, 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 Kernenergiegesetz⁶⁸ beispielsweise die Bewachung der Anlage sicherzustellen, bis alle nuklearen Gefahrenquellen aus der Anlage entfernt sind.

Mit Ende des Nachbetriebs ist das Gefährdungspotenzial einer Kernanlage signifikant kleiner. Die Schutzziele Kontrolle der Reaktivität und Kühlung der Brennelemente entfallen. Nach Freigabe durch die Aufsichtsbehörde können Sicherungsmassnahmen aufgehoben werden⁶⁹. Daher wird für die KS21 davon ausgegangen, dass nach erreichter Kernbrennstofffreiheit anstelle der Bewachung eine Überwachung des Areals installiert wird.

Projektleitung Rückbau

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

Die Präsentation der Ergebnisse der Kostenermittlung 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 sowie der generelle Sicherheitszuschlag 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 und des generellen Sicherheitszuschlags.

⁶⁸Art. 26 Abs. 2 Bst. e KEG [7].

⁶⁹Art 47 Bst. e KEV [8].

5.1 Ausgangskosten

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

Tabelle 41: Stilllegungsziel 1 – Ausgangskosten für die Stilllegung der KKW Beznau, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Ausgangskosten – Stilllegungsziel 1							
		KKB		KKM		KKG		KKL
Stilllegung KKW	100.0%	624.83	100.0%	329.42	100.0%	584.17	100.0%	668.16
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	0.2%	1.28	0.0%	0.00	2.9%	16.68	2.5%	16.73
Planerische Vorarbeiten		-		-		12.38		12.38
Erstellung der Gesuchsunterlagen		0.87		-		3.90		3.94
Stilllegungsverfügung		0.41		-		0.41		0.41
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen – Standortbezogen	11.7%	72.86	1.3%	4.34	9.3%	54.44	7.6%	50.66
Umbau und Neueinrichtungen		72.86		4.34		54.44		50.66
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen - Blockbezogen	2.1%	13.20	8.0%	26.50	0.7%	4.23	0.7%	4.89
Ausserbetriebnahme Systeme		4.88		2.36		3.78		4.44
In-Situ Dekontamination Kreisläufe		-		-		-		-
Systemtechnische Anpassungen		8.32		7.18		0.45		0.45
Umbau und Neueinrichtungen		-		16.96		-		-
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	24.8%	154.69	34.1%	112.22	23.9%	139.37	32.1%	214.69
Abbau Vorlaufend / Mobil		3.64		1.08		5.10		1.93
Abbau Kontaminiert		17.20		39.68		26.16		55.60
Abbau Aktiviert		59.15		27.64		34.60		63.30
Abbau Betonstrukturen		2.90		3.09		8.59		3.82
Abbau restlicher Einrichtungen		16.16		15.91		8.60		37.48
Abbau ausserhalb Kontrollierter Zone		24.29		6.92		19.52		21.94
Dekontamination und Freigabe Gebäude		29.74		16.28		35.16		28.94
Nachweisführung Areal / ex Areal Projekt		1.62		1.63		1.64		1.68
Behandlung und Verpackung	17.8%	111.39	22.0%	72.61	17.2%	100.56	25.0%	167.29
Nachzerlegung und Behandlung		10.59		14.31		11.40		33.49
Dekontamination von Einzelteilen		2.96		4.16		3.43		9.85
Konditionierung und Verpackung		88.42		39.09		59.89		106.97
Freimessung / konv. Entsorgung / Erlöse		8.04		13.65		22.78		16.28
Abbau Einrichtungen zum Rückbau und zur Materialbehandlung		1.39		1.40		3.05		0.70
Rückbaubetrieb	33.3%	208.12	32.2%	106.13	41.1%	240.34	24.1%	160.81
Verwaltung / Administration		12.18		6.88		19.85		23.79
Überwachung		22.21		10.82		28.12		19.05
Sicherung / Arealüberwachung		30.43		10.37		33.88		24.95
Behördliche Begleitung		23.63		13.99		24.35		4.56
Fachabteilung Betrieb Anlage		41.24		16.90		43.68		26.86
Werkstätten		0.98		1.27		7.71		2.16
Laufende Prüfung und Instandhaltung		30.08		10.13		27.18		22.83
Instandhaltungsprojekte		-		0.00		-		-
Betrieb IT		7.83		12.98		19.58		9.85
Betriebs- und Unterhaltsachkosten		34.64		17.97		32.90		22.03
Betrieb Lagereinrichtungen		0.24		0.76		-		-
Sonstige betriebliche Aufwendungen		4.65		4.05		3.09		4.74
Projektleitung Rückbau	10.1%	63.29	2.3%	7.62	4.9%	28.55	7.9%	53.10
Gesamtprojektleitung		16.08		2.84		4.17		15.00
Übergeordnete Planungsmassnahmen		36.63		4.78		12.13		24.40
Leitung Teilprojekte		10.59		-		12.26		13.69

Angaben in Millionen Franken. Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.
Kosten KKB sind ohne die Ausgangskosten des Zwischenlagers Beznau ausgewiesen.

Tabelle 42: Stilllegungsziel 2 – Ausgangskosten für die Stilllegung der KKW Beznau, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Ausgangskosten – Stilllegungsziel 2							
		KKB		KKM		KKG		KKL
Stilllegung KKW	100.0%	656.72	100.0%	344.90	100.0%	620.52	100.0%	722.68
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	0.2%	1.28	0.0%	0.00	2.7%	16.79	2.3%	16.67
Planerische Vorarbeiten		-		-		12.43		12.33
Erstellung der Gesuchsunterlagen		0.88		-		3.96		3.93
Stilllegungsverfügung		0.41		-		0.41		0.41
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen – Standortbezogen	11.2%	73.51	1.3%	4.32	8.7%	54.18	7.0%	50.86
Umbau und Neueinrichtungen		73.51		4.32		54.18		50.86
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen - Blockbezogen	2.0%	13.13	7.7%	26.56	0.7%	4.27	0.7%	4.94
Ausserbetriebnahme Systeme		4.86		2.35		3.83		4.50
In-Situ Dekontamination Kreisläufe		-		0.00		-		-
Systemtechnische Anpassungen		8.27		7.18		0.44		0.44
Umbau und Neueinrichtungen		-		17.03		-		-
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	23.6%	154.97	32.5%	112.21	22.5%	139.46	29.7%	214.35
Abbau Vorlaufend / Mobil		3.65		1.08		5.07		1.94
Abbau Kontaminiert		17.25		39.61		25.95		55.43
Abbau Aktiviert		59.29		27.68		35.01		63.70
Abbau Betonstrukturen		2.91		3.08		8.62		3.88
Abbau restlicher Einrichtungen		16.12		15.88		8.58		37.21
Abbau ausserhalb Kontrollierter Zone		24.28		6.90		19.39		21.62
Dekontamination und Freigabe Gebäude		29.85		16.34		35.24		28.93
Nachweisführung Areal / ex Areal Projekt		1.62		1.65		1.61		1.64
Behandlung und Verpackung	17.0%	111.50	21.1%	72.65	16.2%	100.67	23.1%	167.22
Nachzerlegung und Behandlung		10.62		14.29		11.40		33.52
Dekontamination von Einzelteilen		2.96		4.15		3.43		9.83
Konditionierung und Verpackung		88.50		39.12		60.01		106.76
Freimessung / konv. Entsorgung / Erlöse		8.04		13.65		22.79		16.35
Abbau Einrichtungen zum Rückbau und zur Materialbehandlung		1.39		1.43		3.04		0.76
Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen	3.7%	24.59	4.2%	14.56	4.4%	27.11	6.1%	44.40
Abbruch Gebäude Anlage kontroll. Zone		11.45		7.58		9.87		20.58
Abbruch Sonstige Gebäude		13.15		6.98		17.23		23.81
Rückbaubetrieb	32.6%	213.98	30.9%	106.51	40.0%	247.98	23.5%	169.76
Verwaltung / Administration		13.84		7.29		22.64		27.51
Überwachung		22.67		10.82		28.25		20.16
Sicherung / Arealüberwachung		30.80		10.38		34.01		24.26
Behördliche Begleitung		25.55		13.98		24.99		5.51
Fachabteilung Betrieb Anlage		41.53		16.90		44.12		26.56
Werkstätten		0.99		1.27		7.61		2.16
Laufende Prüfung und Instandhaltung		30.06		10.14		27.72		23.09
Instandhaltungsprojekte		-		0.00		-		-
Betrieb IT		7.91		12.98		19.23		10.45
Betriebs- und Unterhaltsachkosten		35.72		17.95		35.41		24.47
Betrieb Lagereinrichtungen		0.25		0.76		-		-
Sonstige betriebliche Aufwendungen		4.66		4.04		4.00		5.59
Projektleitung Rückbau	9.7%	63.75	2.3%	8.08	4.8%	30.05	7.5%	54.47
Gesamtprojektleitung		16.28		3.30		4.51		15.29
Übergeordnete Planungsmassnahmen		37.00		4.78		12.75		24.99
Leitung Teilprojekte		10.47		-		12.78		14.20

Angaben in Millionen Franken, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.
Kosten KKB sind ohne die Ausgangskosten des Zwischenlagers Beznau ausgewiesen.

Tabelle 43: Stilllegungsziel 3 – Ausgangskosten für die Stilllegung der KKW Beznau, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Ausgangskosten – Stilllegungsziel 3							
		KKB		KKM		KKG		KKL
Stilllegung KKW	100.0%	672.47	100.0%	354.47	100.0%	633.88	100.0%	737.21
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	0.2%	1.29	0.0%	0.00	2.6%	16.75	2.3%	16.86
Planerische Vorarbeiten		0.00		-		12.42		12.47
Erstellung der Gesuchsunterlagen		0.88		-		3.93		3.98
Stilllegungsverfügung		0.41		-		0.40		0.41
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen – Standortbezogen	10.8%	72.92	1.2%	4.38	8.6%	54.47	6.9%	50.62
Umbau und Neueinrichtungen		72.92		4.38		54.47		50.62
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen - Blockbezogen	1.9%	13.11	7.5%	26.54	0.7%	4.30	0.7%	4.84
Ausserbetriebnahme Systeme		4.86		2.36		3.86		4.40
In-Situ Dekontamination Kreisläufe		-		-		-		-
Systemtechnische Anpassungen		8.25		7.18		0.45		0.44
Umbau und Neueinrichtungen		-		17.01		-		-
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	23.0%	154.83	31.6%	112.15	21.9%	139.09	29.2%	215.28
Abbau Vorlaufend / Mobil		3.65		1.09		5.08		1.93
Abbau Kontaminiert		17.16		39.51		26.08		56.07
Abbau Aktiviert		59.33		27.57		34.77		63.54
Abbau Betonstrukturen		2.91		3.07		8.45		3.85
Abbau restlicher Einrichtungen		16.11		16.08		8.54		37.38
Abbau ausserhalb Kontrollierter Zone		24.22		6.90		19.34		22.00
Dekontamination und Freigabe Gebäude		29.85		16.30		35.20		28.91
Nachweisführung Areal / ex Areal Projekt		1.60		1.61		1.64		1.59
Behandlung und Verpackung	16.6%	111.37	20.5%	72.61	15.9%	100.52	22.7%	167.24
Nachzerlegung und Behandlung		10.59		14.27		11.42		33.53
Dekontamination von Einzelteilen		2.96		4.16		3.44		9.83
Konditionierung und Verpackung		88.39		39.12		59.87		106.87
Freimessung / konv. Entsorgung / Erlöse		8.05		13.67		22.74		16.29
Abbau Einrichtungen zum Rückbau und zur Materialbehandlung		1.38		1.40		3.05		0.72
Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen	5.6%	37.79	6.7%	23.73	6.2%	39.25	7.4%	54.52
Abbruch Gebäude Anlage kontroll. Zone		18.34		12.79		17.90		30.67
Abbruch Sonstige Gebäude		19.45		10.93		21.34		23.85
Rückbaubetrieb	32.3%	217.01	30.1%	106.77	39.3%	249.28	23.4%	172.66
Verwaltung / Administration		14.75		7.46		23.27		28.49
Überwachung		22.95		10.82		28.46		20.42
Sicherung / Arealüberwachung		30.57		10.37		33.85		24.50
Behördliche Begleitung		27.44		14.05		26.30		5.74
Fachabteilung Betrieb Anlage		41.29		16.90		43.88		26.56
Werkstätten		0.99		1.27		7.65		2.19
Laufende Prüfung und Instandhaltung		29.82		10.14		27.39		22.95
Instandhaltungsprojekte		0.00		0.00		-		-
Betrieb IT		7.93		12.98		19.45		10.56
Betriebs- und Unterhaltsachkosten		36.24		17.95		35.67		25.46
Betrieb Lagereinrichtungen		0.24		0.76		-		-
Sonstige betriebliche Aufwendungen		4.79		4.05		3.36		5.79
Projektleitung Rückbau	9.5%	64.14	2.3%	8.31	4.8%	30.21	7.5%	55.17
Gesamtprojektleitung		16.36		3.53		4.55		15.39
Übergeordnete Planungsmassnahmen		37.15		4.78		12.87		25.24
Leitung Teilprojekte		10.63		-		12.78		14.55

Angaben in Millionen Franken, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.
Kosten KKB sind ohne die Ausgangskosten des Zwischenlagers Beznau ausgewiesen.

Tabelle 44: Stilllegungsziel 1 – Ausgangskosten für die Stilllegung des Zwischenlagers Beznau und des zentralen Zwischenlagers Würenlingen.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Ausgangskosten – Stilllegungsziel 1			
		ZwibeZ		Zwilag
Stilllegung Zwischenlager	100.0%	2.19	100.0%	103.92
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	49.4%	1.08	2.6%	2.75
Planerische Vorarbeiten		0.22		1.77
Erstellung der Gesuchsunterlagen		0.78		0.77
Stilllegungsverfügung		0.08		0.21
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen für den Rückbau	0.0%	0.00	1.6%	1.64
Umbau und Neueinrichtungen		-		1.20
Ausserbetriebnahmen		-		0.33
Systemtechnische Anpassungen		-		0.11
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	41.6%	0.91	27.8%	28.88
Abbau Kontaminiert		-		21.10
Dekontamination der Gebäude		-		6.25
Abbau ausserhalb Kontrollierter Zone		0.75		1.33
Auszonung der Gebäude		-		-
Nachweisführung Areal / ex Areal		0.16		0.20
Behandlung und Verpackung	0.0%	0.00	8.1%	8.38
Nachzerlegung und Behandlung		-		1.33
Dekontamination von Einzelteilen		-		0.34
Konditionierung und Verpackung		-		4.46
Freimessung / konv. Entsorgung / Erlöse		-		2.03
Abbau Einrichtungen zum Rückbau und zur		-		0.23
Materialbehandlung		-		-
Rückbaubetrieb	8.9%	0.20	59.9%	62.27
Verwaltung / Administration		-		6.86
Überwachung		-		5.88
Sicherung / Arealüberwachung		-		5.94
Behördliche Begleitung des Betriebes		-		2.11
Fachabteilungen Betrieb Anlage		-		5.00
Werkstätten		-		2.07
Laufende Prüfung und Instandhaltung		-		4.66
Instandhaltungsprojekte (Erneuerungsprojekte)		-		3.32
IT		-		3.42
Betriebs- und Unterhaltssachkosten		0.20		15.97
Betrieb Lagereinrichtungen		-		-
Sonstige Betriebliche Aufwendungen		-		7.04

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

Tabelle 45: Stilllegungsziel 2 – Ausgangskosten für die Stilllegung des Zwischenlagers Beznau und des zentralen Zwischenlagers Würenlingen.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Ausgangskosten – Stilllegungsziel 2			
		ZwibeZ		Zwilag
Stilllegung Zwischenlager	100.0%	4.52	100.0%	126.35
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	23.6%	1.07	2.2%	2.73
Planerische Vorarbeiten		0.22		1.77
Erstellung der Gesuchsunterlagen		0.76		0.76
Stilllegungsverfügung		0.08		0.20
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen für den Rückbau	0.0%	0.00	1.3%	1.65
Umbau und Neueinrichtungen		-		1.22
Ausserbetriebnahmen		-		0.32
Systemtechnische Anpassungen		-		0.11
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	20.0%	0.90	22.8%	28.83
Abbau Kontaminiert		-		21.06
Dekontamination der Gebäude		-		6.23
Abbau ausserhalb Kontrollierter Zone		0.75		1.33
Auszonung der Gebäude		-		-
Nachweisführung Areal / ex Areal		0.15		0.20
Behandlung und Verpackung	0.0%	0.00	6.6%	8.38
Nachzerlegung und Behandlung		-		1.33
Dekontamination von Einzelteilen		-		0.34
Konditionierung und Verpackung		-		4.45
Freimessung / konv. Entsorgung / Erlöse		-		2.03
Abbau Einrichtungen zum Rückbau und zur		-		0.23
Materialbehandlung		-		-
Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen	40.7%	1.84	12.1%	15.28
Abbruch Gebäude Anlage		1.84		14.32
Abbruch Sonstiger Gebäude		-		0.96
Rückbaubetrieb	15.7%	0.71	55.0%	69.48
Verwaltung / Administration		-		7.88
Überwachung		-		6.25
Sicherung / Arealüberwachung		-		6.00
Behördliche Begleitung des Betriebes		-		2.20
Fachabteilungen Betrieb Anlage		-		5.15
Werkstätten		-		2.18
Laufende Prüfung und Instandhaltung		-		4.85
Instandhaltungsprojekte (Erneuerungsprojekte)		-		3.93
IT		-		3.55
Betriebs- und Unterhaltssachkosten		0.71		19.84
Betrieb Lagereinrichtungen		-		-
Sonstige Betriebliche Aufwendungen		-		7.63

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

Tabelle 46: Stilllegungsziel 3 – Ausgangskosten für die Stilllegung des Zwischenlagers Beznau und des zentralen Zwischenlagers Würenlingen.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Ausgangskosten – Stilllegungsziel 3			
		Zwibez		Zwilag
Stilllegung Zwischenlager	100.0%	5.59	100.0%	132.68
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	19.4%	1.09	2.1%	2.74
Planerische Vorarbeiten		0.23		1.77
Erstellung der Gesuchsunterlagen		0.78		0.77
Stilllegungsverfügung		0.08		0.20
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen für den Rückbau	0.0%	0.00	1.2%	1.65
Umbau und Neueinrichtungen		-		1.22
Ausserbetriebnahmen		-		0.32
Systemtechnische Anpassungen		-		0.11
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	16.2%	0.91	21.7%	28.79
Abbau Kontaminiert		-		21.02
Dekontamination der Gebäude		-		6.23
Abbau ausserhalb Kontrollierter Zone		0.75		1.33
Auszonung der Gebäude		0.15		-
Nachweisführung Areal / ex Areal		-		0.20
Behandlung und Verpackung	0.0%	0.00	6.3%	8.35
Nachzerlegung und Behandlung		-		1.33
Dekontamination von Einzelteilen		-		0.34
Konditionierung und Verpackung		-		4.45
Freimessung / konv. Entsorgung / Erlöse		-		2.01
Abbau Einrichtungen zum Rückbau und zur		-		0.22
Materialbehandlung		-		-
Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen	49.7%	2.78	15.0%	19.86
Abbruch Gebäude Anlage		2.78		18.76
Abbruch Sonstiger Gebäude		-		1.10
Rückbaubetrieb	14.7%	0.82	53.7%	71.30
Verwaltung / Administration		-		7.98
Überwachung		-		6.35
Sicherung / Arealüberwachung		-		6.04
Behördliche Begleitung des Betriebes		-		2.24
Fachabteilungen Betrieb Anlage		-		5.18
Werkstätten		-		2.22
Laufende Prüfung und Instandhaltung		-		4.89
Instandhaltungsprojekte (Erneuerungsprojekte)		-		4.03
IT		-		3.58
Betriebs- und Unterhaltssachkosten		0.82		21.00
Betrieb Lagereinrichtungen		-		-
Sonstige Betriebliche Aufwendungen		-		7.78

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 Projektentwicklung und damit auch zur Kostenoptimierung.

Rückbauprojekte sind Infrastrukturprojekte mit grosser finanzieller Tragweite für die Betreiber 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 sicherzustellen. 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 Revisionsicherheit 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 Qualitätsmanagementsystems⁷⁰ 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 Managementsystem⁷¹, 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 anpasst werden.

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.

⁷⁰Entsprechend der Forderung in Art. 45 Bst. h KEV [8]

⁷¹Gemäss IAEA GS-R-3 in der Regel zertifiziert nach der Norm ISO-9001 [71].

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 Demontearbeiten 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.

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 für Massnahmen zur Risikominderung

In Tabelle 47 bis Tabelle 49 sind die Kosten für die risikomindernden Massnahmen für die Kernkraftwerke und in Tabelle 50 bis Tabelle 52 für die Zwischenlager aufgeführt. Kosten für Massnahmen zur Risikominderung werden auf Ebene 3 der Kostenstruktur dargestellt.

Tabelle 47: Stilllegungsziel 1 – Kosten für Massnahmen zur Risikominderung bei der Stilllegung der KKW Beznau, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Kosten zur Risikominderung – Stilllegungsziel 1							
	KKB	KKM	KKG	KKL				
Stilllegung KKW	100.0%	17.45	100.0%	10.15	100.0%	14.38	100.0%	14.50
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00
Planerische Vorarbeiten	-	-	-	-	-	-	-	-
Erstellung der Gesuchsunterlagen	-	-	-	-	-	-	-	-
Stilllegungsverfügung	-	-	-	-	-	-	-	-
Vorbereitungs- und Umbaumasnahmen – Standortbezogen	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00
Umbau und Neueinrichtungen	-	-	-	-	-	-	-	-
Vorbereitungs- und Umbaumasnahmen - Blockbezogen	8.6%	1.50	0.0%	0.00	3.5%	0.50	0.0%	0.00
Ausserbetriebnahme Systeme	1.50	-	0.50	-	-	-	-	-
In-Situ Dekontamination Kreisläufe	-	-	-	-	-	-	-	-
Systemtechnische Anpassungen	-	-	-	-	-	-	-	-
Umbau und Neueinrichtungen	-	-	-	-	-	-	-	-
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	21.2%	3.70	16.8%	1.70	18.8%	2.70	18.6%	2.70
Abbau Vorlaufend / Mobil	-	-	-	-	-	-	-	-
Abbau Kontaminiert	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Abbau Aktiviert	1.50	1.50	1.50	1.50	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	-	1.00	1.00
Nachweisführung Areal / ex Areal Projekt	-	-	-	-	-	-	-	-
Behandlung und Verpackung	6.3%	1.10	4.9%	0.50	7.7%	1.10	6.9%	1.00
Nachzerlegung und Behandlung	-	-	-	-	-	-	-	-
Dekontamination von Einzelteilen	-	-	-	-	-	-	-	-
Konditionierung und Verpackung	1.10	0.50	1.10	0.50	1.10	0.50	1.10	1.00
Freimessung / konv. Entsorgung / Erlöse	-	-	-	-	-	-	-	-
Abbau Einrichtungen zum Rückbau und zur Materialbehandlung	-	-	-	-	-	-	-	-
Rückbaubetrieb	45.3%	7.90	69.0%	7.00	57.0%	8.20	54.5%	7.90
Verwaltung / Administration	6.60	5.6	6.70	5.80	6.70	5.80	6.70	5.80
Überwachung	-	-	-	-	-	-	-	-
Sicherung / Arealüberwachung	-	-	-	-	-	-	-	-
Behördliche Begleitung	-	-	-	-	-	-	-	-
Fachabteilung Betrieb Anlage	-	-	-	-	-	-	-	-
Werkstätten	-	-	-	-	-	-	-	-
Laufende Prüfung und Instandhaltung	-	-	-	-	-	-	-	-
Instandhaltungsprojekte	-	-	-	-	-	-	-	-
Betrieb IT	-	-	-	-	-	-	-	-
Betriebs- und Unterhaltskosten	-	-	-	-	-	-	-	-
Betrieb Lagereinrichtungen	-	-	-	-	-	-	-	-
Sonstige betriebliche Aufwendungen	1.30	1.40	1.50	2.10	1.50	2.10	1.50	2.10
Projektleitung Rückbau	18.6%	3.25	9.3%	0.95	13.0%	1.88	20.0%	2.90
Gesamtprojektleitung	3.25	0.25	1.88	1.20	1.88	1.20	1.88	1.20
Übergeordnete Planungsmassnahmen	-	0.7	-	1.7	-	1.7	-	1.7
Leitung Teilprojekte	-	-	-	-	-	-	-	-

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

Tabelle 48: Stilllegungsziel 2 – Kosten für Massnahmen zur Risikominderung bei der Stilllegung der KKW Beznau, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Kosten zur Risikominderung – Stilllegungsziel 2							
		KKB		KKM		KKG		KKL
Stilllegung KKW	100.0%	17.45	100.0%	10.15	100.0%	14.38	100.0%	14.50
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	0.0%	0,00	0.0%	0,00	0.0%	0,00	0.0%	0,00
Planerische Vorarbeiten		-		-		-		-
Erstellung der Gesuchsunterlagen		-		-		-		-
Stilllegungsverfügung		-		-		-		-
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen – Standortbezogen	0.0%	0,00	0.0%	0,00	0.0%	0,00	0.0%	0,00
Umbau und Neueinrichtungen		-		-		-		-
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen - Blockbezogen	8.6%	1,50	0.0%	0,00	3.5%	0,50	0.0%	0,00
Ausserbetriebnahme Systeme		1.50		-		0.50		-
In-Situ Dekontamination Kreisläufe		-		-		-		-
Systemtechnische Anpassungen		-		-		-		-
Umbau und Neueinrichtungen		-		-		-		-
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	21.2%	3,70	16.8%	1,70	18.8%	2,70	18.6%	2,70
Abbau Vorlaufend / Mobil		-		-		-		-
Abbau Kontaminiert		0.20		0.20		0.20		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	6.3%	1,10	4.9%	0,50	7.7%	1,10	6.9%	1,00
Nachzerlegung und Behandlung		-		-		-		-
Dekontamination von Einzelteilen		-		-		-		-
Konditionierung und Verpackung		1.10		0.50		1.10		1.00
Freimessung / konv. Entsorgung / Erlöse		-		-		-		-
Abbau Einrichtungen zum Rückbau und zur Materialbehandlung		-		-		-		-
Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen	0.0%	0,00	0.0%	0,00	0.0%	0,00	0.0%	0,00
Abbruch Gebäude Anlage kontroll. Zone		-		-		-		-
Abbruch Sonstige Gebäude		-		-		-		-
Rückbaubetrieb	45.3%	7,90	69.0%	7,00	57.0%	8,20	54.5%	7,90
Verwaltung / Administration		6.60		5.60		6.70		5.80
Überwachung		-		-		-		-
Sicherung / Arealüberwachung		-		-		-		-
Behördliche Begleitung		-		-		-		-
Fachabteilung Betrieb Anlage		-		-		-		-
Werkstätten		-		-		-		-
Laufende Prüfung und Instandhaltung		-		-		-		-
Instandhaltungsprojekte		-		-		-		-
Betrieb IT		-		-		-		-
Betriebs- und Unterhaltsachkosten		-		-		-		-
Betrieb Lagereinrichtungen		-		-		-		-
Sonstige betriebliche Aufwendungen		1.30		1.40		1.50		2.10
Projektleitung Rückbau	18.6%	3,25	9.3%	0,95	13.0%	1,88	20.0%	2,90
Gesamtprojektleitung		3.25		0.25		1.88		1.20
Übergeordnete Planungsmassnahmen		-		0.70		-		1.70
Leitung Teilprojekte		-		-		-		-

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

Tabelle 49: Stilllegungsziel 3 – Kosten für Massnahmen zur Risikominderung bei der Stilllegung der KKW Beznau, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Kosten zur Risikominderung – Stilllegungsziel 3							
		KKB		KKM		KKG		KKL
Stilllegung KKW	100.0%	17.45	100.0%	10.15	100.0%	14.38	100.0%	14.50
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	0.0%	0,00	0.0%	0,00	0.0%	0,00	0.0%	0,00
Planerische Vorarbeiten		-		-		-		-
Erstellung der Gesuchsunterlagen		-		-		-		-
Stilllegungsverfügung		-		-		-		-
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen – Standortbezogen	0.0%	0,00	0.0%	0,00	0.0%	0,00	0.0%	0,00
Umbau und Neueinrichtungen		-		-		-		-
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen - Blockbezogen	8.6%	1,50	0.0%	0,00	3.5%	0,50	0.0%	0,00
Ausserbetriebnahme Systeme		1.50		-		0.50		-
In-Situ Dekontamination Kreisläufe		-		-		-		-
Systemtechnische Anpassungen		-		-		-		-
Umbau und Neueinrichtungen		-		-		-		-
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	21.2%	3,70	16.8%	1,70	18.8%	2,70	18.6%	2,70
Abbau Vorlaufend / Mobil		-		-		-		-
Abbau Kontaminiert		0.20		0.20		0.20		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	6.3%	1,10	4.9%	0,50	7.7%	1,10	6.9%	1,00
Nachzerlegung und Behandlung		-		-		-		-
Dekontamination von Einzelteilen		-		-		-		-
Konditionierung und Verpackung		1.10		0.50		1.10		1.00
Freimessung / konv. Entsorgung / Erlöse		-		-		-		-
Abbau Einrichtungen zum Rückbau und zur Materialbehandlung		-		-		-		-
Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen	0.0%	0,00	0.0%	0,00	0.0%	0,00	0.0%	0,00
Abbruch Gebäude Anlage kontroll. Zone		-		-		-		-
Abbruch Sonstige Gebäude		-		-		-		-
Rückbaubetrieb	45.3%	7,90	69.0%	7,00	57.0%	8,20	54.5%	7,90
Verwaltung / Administration		6.60		5.60		6.70		5.80
Überwachung		-		-		-		-
Sicherung / Arealüberwachung		-		-		-		-
Behördliche Begleitung		-		-		-		-
Fachabteilung Betrieb Anlage		-		-		-		-
Werkstätten		-		-		-		-
Laufende Prüfung und Instandhaltung		-		-		-		-
Instandhaltungsprojekte		-		-		-		-
Betrieb IT		-		-		-		-
Betriebs- und Unterhaltsachkosten		-		-		-		-
Betrieb Lagereinrichtungen		-		-		-		-
Sonstige betriebliche Aufwendungen		1.30		1.40		1.50		2.10
Projektleitung Rückbau	18.6%	3,25	9.3%	0,95	13.0%	1,88	20.0%	2,90
Gesamtprojektleitung		3.25		0.25		1.88		1.20
Übergeordnete Planungsmassnahmen		-		0.70		-		1.70
Leitung Teilprojekte		-		-		-		-

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

Tabelle 50: Stilllegungsziel 1 – Kosten für Massnahmen zur Risikominderung bei der Stilllegung des Zwischenlagers Beznau und des zentralen Zwischenlagers Würenlingen.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Kosten zur Risikominderung – Stilllegungsziel 1			
		ZwibeZ		Zwilag
Stilllegung Zwischenlager	100.0%	0.10	0.0%	1.74
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	0.0%	0.00	0.0%	0.00
Planerische Vorarbeiten		-		-
Erstellung der Gesuchsunterlagen		-		-
Stilllegungsverfügung		-		-
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen für den Rückbau	0.0%	0.00	0.0%	0.00
Umbau und Neueinrichtungen		-		-
Ausserbetriebnahmen		-		-
Systemtechnische Anpassungen		-		-
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	0.0%	0.00	0.0%	0.20
Abbau Kontaminiert		-		0.20
Dekontamination der Gebäude		-		-
Abbau ausserhalb Kontrollierter Zone		-		-
Auszonung der Gebäude		-		-
Nachweisführung Areal / ex Areal		-		-
Behandlung und Verpackung	0.0%	0.00	0.0%	0.54
Nachzerlegung und Behandlung		-		-
Dekontamination von Einzelteilen		-		-
Konditionierung und Verpackung		-		0.14
Freimessung / konv. Entsorgung / Erlöse		-		0.40
Abbau Einrichtungen zum Rückbau und zur		-		-
Materialbehandlung		-		0.00
Rückbaubetrieb	100.0%	0.10	0.0%	1.00
Verwaltung / Administration		-		1.00
Überwachung		-		-
Sicherung / Arealüberwachung		-		-
Behördliche Begleitung des Betriebes		-		-
Fachabteilungen Betrieb Anlage		-		-
Werkstätten		-		-
Laufende Prüfung und Instandhaltung		-		-
Instandhaltungsprojekte (Erneuerungsprojekte)		-		-
IT		-		-
Betriebs- und Unterhaltssachkosten		0.10		-
Betrieb Lagereinrichtungen		-		-
Sonstige Betriebliche Aufwendungen		-		-

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

Tabelle 51: Stilllegungsziel 2 – Kosten für Massnahmen zur Risikominderung bei der Stilllegung des Zwischenlagers Beznau und des zentralen Zwischenlagers Würenlingen.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Kosten zur Risikominderung – Stilllegungsziel 2			
		ZwibeZ		Zwilag
Stilllegung Zwischenlager	100.0%	0.10	100.0%	1.74
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	0.0%	0.00	0.0%	0.00
Planerische Vorarbeiten		-		-
Erstellung der Gesuchsunterlagen		-		-
Stilllegungsverfügung		-		-
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen für den Rückbau	0.0%	0.00	0.0%	0.00
Umbau und Neueinrichtungen		-		-
Ausserbetriebnahmen		-		-
Systemtechnische Anpassungen		-		-
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	0.0%	0.00	11.5%	0.20
Abbau Kontaminiert		-		0.20
Dekontamination der Gebäude		-		-
Abbau ausserhalb Kontrollierter Zone		-		-
Auszonung der Gebäude		-		-
Nachweisführung Areal / ex Areal		-		-
Behandlung und Verpackung	0.0%	0.00	31.0%	0.54
Nachzerlegung und Behandlung		-		-
Dekontamination von Einzelteilen		-		-
Konditionierung und Verpackung		-		0.14
Freimessung / konv. Entsorgung / Erlöse		-		0.40
Abbau Einrichtungen zum Rückbau und zur		-		-
Materialbehandlung		-		-
Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen	0.0%	0.00	0.0%	0.00
Abbruch Gebäude Anlage		-		-
Abbruch Sonstiger Gebäude		-		-
Rückbaubetrieb	100.0%	0.10	57.5%	1.00
Verwaltung / Administration		-		1.00
Überwachung		-		-
Sicherung / Arealüberwachung		-		-
Behördliche Begleitung des Betriebes		-		-
Fachabteilungen Betrieb Anlage		-		-
Werkstätten		-		-
Laufende Prüfung und Instandhaltung		-		-
Instandhaltungsprojekte (Erneuerungsprojekte)		-		-
IT		-		-
Betriebs- und Unterhaltssachkosten		0.10		-
Betrieb Lagereinrichtungen		-		-
Sonstige Betriebliche Aufwendungen		-		-

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

Tabelle 52: Stilllegungsziel 3 – Kosten für Massnahmen zur Risikominderung bei der Stilllegung des Zwischenlagers Beznau und des zentralen Zwischenlagers Würenlingen.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Kosten zur Risikominderung – Stilllegungsziel 3			
		ZwibeZ		Zwilag
Stilllegung Zwischenlager	100.0%	0.10	100.0%	1.74
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	0.0%	0.00	0.0%	0.00
Planerische Vorarbeiten		-		-
Erstellung der Gesuchsunterlagen		-		-
Stilllegungsverfügung		-		-
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen für den Rückbau	0.0%	0.00	0.0%	0.00
Umbau und Neueinrichtungen		-		-
Ausserbetriebnahmen		-		-
Systemtechnische Anpassungen		-		-
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	0.0%	0.00	11.5%	0.20
Abbau Kontaminiert		-		0.20
Dekontamination der Gebäude		-		-
Abbau ausserhalb Kontrollierter Zone		-		-
Auszonung der Gebäude		-		-
Nachweisführung Areal / ex Areal		-		-
Behandlung und Verpackung	0.0%	0.00	31.0%	0.54
Nachzerlegung und Behandlung		-		-
Dekontamination von Einzelteilen		-		-
Konditionierung und Verpackung		-		0.14
Freimessung / konv. Entsorgung / Erlöse		-		0.40
Abbau Einrichtungen zum Rückbau und zur		-		-
Materialbehandlung		-		-
Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen	0.0%	0.00	0.0%	0.00
Abbruch Gebäude Anlage		-		-
Abbruch Sonstiger Gebäude		-		-
Rückbaubetrieb	100.0%	0.10	57.5%	1.00
Verwaltung / Administration		-		1.00
Überwachung		-		-
Sicherung / Arealüberwachung		-		-
Behördliche Begleitung des Betriebes		-		-
Fachabteilungen Betrieb Anlage		-		-
Werkstätten		-		-
Laufende Prüfung und Instandhaltung		-		-
Instandhaltungsprojekte (Erneuerungsprojekte)		-		-
IT		-		-
Betriebs- und Unterhaltssachkosten		0.10		-
Betrieb Lagereinrichtungen		-		-
Sonstige Betriebliche Aufwendungen		-		-

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 53: Stilllegungsziel 1 – Basiskosten für die Stilllegung der KKW Beznau, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Basiskosten – Stilllegungsziel 1							
		KKB		KKM		KKG		KKL
Stilllegung KKW	100.0%	642,28	100.0%	339,56	100.0%	598,55	100.0%	682,66
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	0.2%	1,28	0.0%	0,00	2.8%	16,68	2.5%	16,73
Planerische Vorarbeiten		-		-		12,38		12,38
Erstellung der Gesuchsunterlagen		0,87		-		3,90		3,94
Stilllegungsverfügung		0,41		-		0,41		0,41
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen – Standortbezogen	11.3%	72,86	1.3%	4,34	9.1%	54,44	7.4%	50,66
Umbau und Neueinrichtungen		72,86		4,34		54,44		50,66
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen - Blockbezogen	2.3%	14,70	7.8%	26,50	0.8%	4,73	0.7%	4,89
Ausserbetriebnahme Systeme		6,38		2,36		4,28		4,44
In-Situ Dekontamination Kreisläufe		-		0,00		-		-
Systemtechnische Anpassungen		8,32		7,18		0,45		0,45
Umbau und Neueinrichtungen		-		16,96		-		-
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	24.7%	158,39	33.5%	113,92	23.7%	142,07	31.8%	217,39
Abbau Vorlaufend / Mobil		3,64		1,08		5,10		1,93
Abbau Kontaminiert		17,40		39,88		26,36		55,80
Abbau Aktiviert		60,65		29,14		36,10		64,80
Abbau Betonstrukturen		2,90		3,09		8,59		3,82
Abbau restlicher Einrichtungen		16,16		15,91		8,60		37,48
Abbau ausserhalb Kontrollierter Zone		24,29		6,92		19,52		21,94
Dekontamination und Freigabe Gebäude		31,74		16,28		36,16		29,94
Nachweisführung Areal / ex Areal Projekt		1,62		1,63		1,64		1,68
Behandlung und Verpackung	17.5%	112,49	21.5%	73,11	17.0%	101,66	24.7%	168,29
Nachzerlegung und Behandlung		10,59		14,31		11,40		33,49
Dekontamination von Einzelteilen		2,96		4,16		3,43		9,85
Konditionierung und Verpackung		89,52		39,59		60,99		107,97
Freimessung / konv. Entsorgung / Erlöse		8,04		13,65		22,78		16,28
Abbau Einrichtungen zum Rückbau und zur Materialbehandlung		1,39		1,40		3,05		0,70
Rückbaubetrieb	33.6%	216,02	33.3%	113,13	41.5%	248,54	24.7%	168,71
Verwaltung / Administration		18,78		12,48		26,55		29,59
Überwachung		22,21		10,82		28,12		19,05
Sicherung / Arealüberwachung		30,43		10,37		33,88		24,95
Behördliche Begleitung		23,63		13,99		24,35		4,56
Fachabteilung Betrieb Anlage		41,24		16,90		43,68		26,86
Werkstätten		0,98		1,27		7,71		2,16
Laufende Prüfung und Instandhaltung		30,08		10,13		27,18		22,83
Instandhaltungsprojekte		-		0,00		0,00		-
Betrieb IT		7,83		12,98		19,58		9,85
Betriebs- und Unterhaltsachskosten		34,64		17,97		32,90		22,03
Betrieb Lagereinrichtungen		0,24		0,76		-		-
Sonstige betriebliche Aufwendungen		5,95		5,45		4,59		6,84
Projektleitung Rückbau	10%	66,54	2.5%	8,57	5.1%	30,43	8.2%	56,00
Gesamtprojektleitung		19,33		3,09		6,04		16,20
Übergeordnete Planungsmassnahmen		36,63		5,48		12,13		26,10
Leitung Teilprojekte		10,59		-		12,26		13,69

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

Tabelle 54: Stilllegungsziel 2 – Basiskosten für die Stilllegung der KKW Beznau, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Basiskosten – Stilllegungsziel 2							
		KKB		KKM		KKG		KKL
Stilllegung KKW	100.0%	674.17	100.0%	355.04	100.0%	634.89	100.0%	737.18
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	0.2%	1.28	0.0%	0.00	2.6%	16.79	2.3%	16.67
Planerische Vorarbeiten		-		-		12,43		12,33
Erstellung der Gesuchsunterlagen		0,88		-		3,96		3,93
Stilllegungsverfügung		0,41		-		0,41		0,41
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen – Standortbezogen	10.9%	73.51	1.2%	4.32	8.5%	54.18	6.9%	50.86
Umbau und Neueinrichtungen		73,51		4,32		54,18		50,86
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen - Blockbezogen	2.2%	14.63	7.5%	26.56	0.8%	4.77	0.7%	4.94
Ausserbetriebnahme Systeme		6,36		2,35		4,33		4,50
In-Situ Dekontamination Kreisläufe		-		-		-		-
Systemtechnische Anpassungen		8,27		7,18		0,44		0,44
Umbau und Neueinrichtungen		-		17,03		-		-
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	23.5%	158.67	32.1%	113.91	22.4%	142.16	29.4%	217.05
Abbau Vorlaufend / Mobil		3,65		1,08		5,07		1,94
Abbau Kontaminiert		17,45		39,81		26,15		55,63
Abbau Aktiviert		60,79		29,18		36,51		65,20
Abbau Betonstrukturen		2,91		3,08		8,62		3,88
Abbau restlicher Einrichtungen		16,12		15,88		8,58		37,21
Abbau ausserhalb Kontrollierter Zone		24,28		6,90		19,39		21,62
Dekontamination und Freigabe Gebäude		31,85		16,34		36,24		29,93
Nachweisführung Areal / ex Areal Projekt		1,62		1,65		1,61		1,64
Behandlung und Verpackung	16.7%	112.60	20.6%	73.15	16.0%	101.77	22.8%	168.22
Nachzerlegung und Behandlung		10,62		14,29		11,40		33,52
Dekontamination von Einzelteilen		2,96		4,15		3,43		9,83
Konditionierung und Verpackung		89,60		39,62		61,11		107,76
Freimessung / konv. Entsorgung / Erlöse		8,04		13,65		22,79		16,35
Abbau Einrichtungen zum Rückbau und zur Materialbehandlung		1,39		1,43		3,04		0,76
Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen	3.6%	24.59	4.1%	14.56	4.3%	27.11	6.0%	44.40
Abbruch Gebäude Anlage kontroll. Zone		11,45		7,58		9,87		20,58
Abbruch Sonstige Gebäude		13,15		6,98		17,23		23,81
Rückbaubetrieb	32.9%	221.88	32.0%	113.51	40.4%	256.18	24.1%	177.66
Verwaltung / Administration		20,44		12,89		29,34		33,31
Überwachung		22,67		10,82		28,25		20,16
Sicherung / Arealüberwachung		30,80		10,38		34,01		24,26
Behördliche Begleitung		25,55		13,98		24,99		5,51
Fachabteilung Betrieb Anlage		41,53		16,90		44,12		26,56
Werkstätten		0,99		1,27		7,61		2,16
Laufende Prüfung und Instandhaltung		30,06		10,14		27,72		23,09
Instandhaltungsprojekte		-		-		-		0,00
Betrieb IT		7,91		12,98		19,23		10,45
Betriebs- und Unterhaltsachkosten		35,72		17,95		35,41		24,47
Betrieb Lagereinrichtungen		0,25		0,76		-		-
Sonstige betriebliche Aufwendungen		5,96		5,44		5,50		7,69
Projektleitung Rückbau	9.9%	67.00	2.5%	9.03	5.0%	31.92	7.8%	57.37
Gesamtprojektleitung		19,53		3,55		6,39		16,49
Übergeordnete Planungsmassnahmen		37,00		5,48		12,75		26,69
Leitung Teilprojekte		10,47		-		12,78		14,20

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

Tabelle 55: Stilllegungsziel 3 – Basiskosten für die Stilllegung der KKW Beznau, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Basiskosten – Stilllegungsziel 3							
		KKB		KKM		KKG		KKL
Stilllegung KKW	100.0%	689.92	100.0%	364.62	100.0%	648.26	100.0%	751.71
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	0.2%	1.29	0.0%	0.00	2.6%	16.75	2.2%	16.86
Planerische Vorarbeiten		-		-		12.42		12.47
Erstellung der Gesuchsunterlagen		0.88		-		3.93		3.98
Stilllegungsverfügung		0.41		-		0.40		0.41
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen – Standortbezogen	10.6%	72.92	1.2%	4.38	8.4%	54.47	6.7%	50.62
Umbau und Neueinrichtungen		72.92		4.38		54.47		50.62
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen - Blockbezogen	2.1%	14.61	7.3%	26.54	0.7%	4.80	0.6%	4.84
Ausserbetriebnahme Systeme		6.36		2.36		4.36		4.40
In-Situ Dekontamination Kreisläufe		-		-		0.00		-
Systemtechnische Anpassungen		8.25		7.18		0.45		0.44
Umbau und Neueinrichtungen		-		17.01		-		-
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	23.0%	158.53	31.2%	113.85	21.9%	141.79	29.0%	217.98
Abbau Vorlaufend / Mobil		3.65		1.09		5.08		1.93
Abbau Kontaminiert		17.36		39.71		26.28		56.27
Abbau Aktiviert		60.83		29.07		36.27		65.04
Abbau Betonstrukturen		2.91		3.07		8.45		3.85
Abbau restlicher Einrichtungen		16.11		16.08		8.54		37.38
Abbau ausserhalb Kontrollierter Zone		24.22		6.90		19.34		22.00
Dekontamination und Freigabe Gebäude		31.85		16.30		36.20		29.91
Nachweisführung Areal / ex Areal Projekt		1.60		1.61		1.64		1.59
Behandlung und Verpackung	16.3%	112.47	20.1%	73.11	15.7%	101.62	22.4%	168.24
Nachzerlegung und Behandlung		10.59		14.27		11.42		33.53
Dekontamination von Einzelteilen		2.96		4.16		3.44		9.83
Konditionierung und Verpackung		89.49		39.62		60.97		107.87
Freimessung / konv. Entsorgung / Erlöse		8.05		13.67		22.74		16.29
Abbau Einrichtungen zum Rückbau und zur Materialbehandlung		1.38		1.40		3.05		0.72
Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen	5.5%	37.79	6.5%	23.73	6.1%	39.25	7.3%	54.52
Abbruch Gebäude Anlage kontroll. Zone		18.34		12.79		17.90		30.67
Abbruch Sonstige Gebäude		19.45		10.93		21.34		23.85
Rückbaubetrieb	32.6%	224.91	31.2%	113.77	39.7%	257.48	24.0%	180.56
Verwaltung / Administration		21.35		13.06		29.97		34.29
Überwachung		22.95		10.82		28.46		20.42
Sicherung / Arealüberwachung		30.57		10.37		33.85		24.50
Behördliche Begleitung		27.44		14.05		26.30		5.74
Fachabteilung Betrieb Anlage		41.29		16.90		43.88		26.56
Werkstätten		0.99		1.27		7.65		2.19
Laufende Prüfung und Instandhaltung		29.82		10.14		27.39		22.95
Instandhaltungsprojekte		-		-		-		-
Betrieb IT		7.93		12.98		19.45		10.56
Betriebs- und Unterhaltsachkosten		36.24		17.95		35.67		25.46
Betrieb Lagereinrichtungen		0.24		0.76		-		-
Sonstige betriebliche Aufwendungen		6.09		5.45		4.86		7.89
Projektleitung Rückbau	9.8%	67.39	2.5%	9.25	4.9%	32.08	7.7%	58.07
Gesamtprojektleitung		19.61		3.77		6.43		16.59
Übergeordnete Planungsmassnahmen		37.15		5.48		12.87		26.94
Leitung Teilprojekte		10.63		-		12.78		14.55

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

Tabelle 56: Stilllegungsziel 1 – Basiskosten für die Stilllegung des Zwischenlagers Beznau und des zentralen Zwischenlagers Würenlingen.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Basiskosten - Stilllegungsziel 1			
		ZwibeZ		Zwilag
Stilllegung Zwischenlager	100.0%	2.29	100.0%	105.66
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	47.3%	1.08	2.6%	2.75
Planerische Vorarbeiten		0.22		1.77
Erstellung der Gesuchsunterlagen		0.78		0.77
Stilllegungsverfügung		0.08		0.21
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen für den Rückbau	0.0%	0.00	1.6%	1.64
Umbau und Neueinrichtungen		-		1.20
Ausserbetriebnahmen		-		0.33
Systemtechnische Anpassungen		-		0.11
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	39.8%	0.91	27.5%	29.08
Abbau Kontaminiert		-		21.30
Dekontamination der Gebäude		-		6.25
Abbau ausserhalb Kontrollierter Zone		0.75		1.33
Auszonung der Gebäude		0.16		-
Nachweisführung Areal / ex Areal		-		0.20
Behandlung und Verpackung	0.0%	0.00	8.4%	8.92
Nachzerlegung und Behandlung		-		1.33
Dekontamination von Einzelteilen		-		0.34
Konditionierung und Verpackung		-		4.60
Freimessung / konv. Entsorgung / Erlöse		-		2.43
Abbau Einrichtungen zum Rückbau und zur		-		0.23
Materialbehandlung		-		-
Rückbaubetrieb	12.9%	0.30	59.9%	63.27
Verwaltung / Administration		-		7.86
Überwachung		-		5.88
Sicherung / Arealüberwachung		-		5.94
Behördliche Begleitung des Betriebes		-		2.11
Fachabteilungen Betrieb Anlage		-		5.00
Werkstätten		-		2.07
Laufende Prüfung und Instandhaltung		-		4.66
Instandhaltungsprojekte (Erneuerungsprojekte)		-		3.32
IT		-		3.42
Betriebs- und Unterhaltssachkosten		0.30		15.97
Betrieb Lagereinrichtungen		-		-
Sonstige Betriebliche Aufwendungen		-		7.04

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

Tabelle 57: Stilllegungsziel 2 – Basiskosten für die Stilllegung des Zwischenlagers Beznau und des zentralen Zwischenlagers Würenlingen.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Basiskosten - Stilllegungsziel 2			
		ZwibeZ		Zwilag
Stilllegung Zwischenlager	100.0%	4.62	100.0%	128.09
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	23.1%	1.07	2.1%	2.73
Planerische Vorarbeiten		0.22		1.77
Erstellung der Gesuchsunterlagen		0.76		0.76
Stilllegungsverfügung		0.08		0.20
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen für den Rückbau	0.0%	0.00	1.3%	1.65
Umbau und Neueinrichtungen		-		1.22
Ausserbetriebnahmen		-		0.32
Systemtechnische Anpassungen		-		0.11
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	19.6%	0.90	22.7%	29.03
Abbau Kontaminiert		-		21.26
Dekontamination der Gebäude		-		6.23
Abbau ausserhalb Kontrollierter Zone		0.75		1.33
Auszonung der Gebäude		0.15		-
Nachweisführung Areal / ex Areal		-		0.20
Behandlung und Verpackung	0.0%	0.00	7.0%	8.92
Nachzerlegung und Behandlung		-		1.33
Dekontamination von Einzelteilen		-		0.34
Konditionierung und Verpackung		-		4.59
Freimessung / konv. Entsorgung / Erlöse		-		2.43
Abbau Einrichtungen zum Rückbau und zur		-		0.23
Materialbehandlung		-		-
Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen	39.8%	1.84	11.9%	15.28
Abbruch Gebäude Anlage		1.84		14.32
Abbruch Sonstiger Gebäude		-		0.96
Rückbaubetrieb	17.6%	0.81	55.0%	70.48
Verwaltung / Administration		-		8.88
Überwachung		-		6.25
Sicherung / Arealüberwachung		-		6.00
Behördliche Begleitung des Betriebes		-		2.20
Fachabteilungen Betrieb Anlage		-		5.15
Werkstätten		-		2.18
Laufende Prüfung und Instandhaltung		-		4.85
Instandhaltungsprojekte (Erneuerungsprojekte)		-		3.93
IT		-		3.55
Betriebs- und Unterhaltssachkosten		0.81		19.84
Betrieb Lagereinrichtungen		-		-
Sonstige Betriebliche Aufwendungen		-		7.63

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

Tabelle 58: Stilllegungsziel 3 – Basiskosten für die Stilllegung des Zwischenlagers Beznau und des zentralen Zwischenlagers Würenlingen.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Basiskosten - Stilllegungsziel 3			
		ZwibeZ		Zwilag
Stilllegung Zwischenlager	100.0%	5.69	100.0%	134.42
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	19.1%	1.09	2.0%	2.74
Planerische Vorarbeiten		0.23		1.77
Erstellung der Gesuchsunterlagen		0.78		0.77
Stilllegungsverfügung		0.08		0.20
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen für den Rückbau	0.0%	0.00	1.2%	1.65
Umbau und Neueinrichtungen		-		1.22
Ausserbetriebnahmen		-		0.32
Systemtechnische Anpassungen		-		0.11
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	15.9%	0.91	21.6%	28.99
Abbau Kontaminiert		-		21.22
Dekontamination der Gebäude		-		6.23
Abbau ausserhalb Kontrollierter Zone		0.75		1.33
Auszonung der Gebäude		0.15		-
Nachweisführung Areal / ex Areal		-		0.20
Behandlung und Verpackung	0.0%	0.00	6.6%	8.89
Nachzerlegung und Behandlung		-		1.33
Dekontamination von Einzelteilen		-		0.34
Konditionierung und Verpackung		-		4.59
Freimessung / konv. Entsorgung / Erlöse		-		2.41
Abbau Einrichtungen zum Rückbau und zur		-		0.22
Materialbehandlung		-		-
Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen	48.8%	2.78	14.8%	19.86
Abbruch Gebäude Anlage		2.78		18.76
Abbruch Sonstiger Gebäude		-		1.10
Rückbaubetrieb	16.2%	0.92	53.8%	72.30
Verwaltung / Administration		-		8.98
Überwachung		-		6.35
Sicherung / Arealüberwachung		-		6.04
Behördliche Begleitung des Betriebes		-		2.24
Fachabteilungen Betrieb Anlage		-		5.18
Werkstätten		-		2.22
Laufende Prüfung und Instandhaltung		-		4.89
Instandhaltungsprojekte (Erneuerungsprojekte)		-		4.03
IT		-		3.58
Betriebs- und Unterhaltssachkosten		0.92		21.00
Betrieb Lagereinrichtungen		-		-
Sonstige Betriebliche Aufwendungen		-		7.78

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

5.4 Kostenzuschlag für Prognoseungenauigkeiten

Die Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten wurden derart bestimmt, dass die prognostizierten Kosten mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht überschritten werden. Sie wurden gemäss der in Abschnitt 3.2.2 beschriebenen Vorgehensweise berechnet. Tabelle 59 bis Tabelle 61 zeigen die Zuschläge für die Kernkraftwerke und in Tabelle 62 bis Tabelle 64 sind die Zuschläge für die Zwischenlager Beznau und das zentrale Zwischenlager Würenlingen aufgeführt.

Tabelle 59: Stilllegungsziel 1 – Prognoseungenauigkeiten der Kostenermittlung für die Stilllegung der KKW Beznau, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Kostenzuschlag für Prognoseungenauigkeiten – Stilllegungsziel 1							
		KKB		KKM		KKG		KKL
Stilllegung KKW	12.1%	77.80	9.8%	33.31	13.9%	83.08	12.3%	84.03
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	0.0%	0.19	0.0%	0.00	0.7%	3.99	0.6%	3.97
Planerische Vorarbeiten		0.00		-		2.89		2.96
Erstellung der Gesuchsunterlagen		0.10		-		1.01		0.92
Stilllegungsverfügung		0.09		-		0.10		0.10
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen – Standortbezogen	2.0%	12.88	0.2%	0.52	2.3%	13.52	2.0%	13.66
Umbau und Neueinrichtungen		12.88		0.52		13.52		13.66
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen - Blockbezogen	0.5%	3.24	0.9%	3.10	0.2%	1.19	0.2%	1.12
Ausserbetriebnahme Systeme		1.47		0.26		1.08		1.02
In-Situ Dekontamination Kreisläufe		0.00		0.00		-		-
Systemtechnische Anpassungen		1.77		0.81		0.10		0.10
Umbau und Neueinrichtungen		-		2.02		-		-
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	3.4%	21.73	4.8%	16.29	3.2%	19.03	4.0%	27.30
Abbau Vorlaufend / Mobil		0.40		0.13		0.57		0.22
Abbau Kontaminiert		2.71		5.25		3.50		7.04
Abbau Aktiviert		9.99		5.21		5.87		9.06
Abbau Betonstrukturen		0.37		0.35		1.00		0.42
Abbau restlicher Einrichtungen		2.07		2.10		1.10		4.05
Abbau ausserhalb Kontrollierter Zone		2.65		0.73		2.23		3.08
Dekontamination und Freigabe Gebäude		3.16		2.13		4.36		3.09
Nachweisführung Areal / ex Areal Projekt		0.37		0.39		0.39		0.34
Behandlung und Verpackung	2.3%	14.54	2.9%	9.83	2.1%	12.51	3.0%	20.46
Nachzerlegung und Behandlung		1.21		1.60		1.26		3.89
Dekontamination von Einzelteilen		0.34		0.47		0.38		1.10
Konditionierung und Verpackung		10.13		5.04		6.85		12.10
Freimessung / konv. Entsorgung / Erlöse		1.97		1.82		3.00		2.57
Abbau Einrichtungen zum Rückbau und zur Materialbehandlung		0.89		0.89		1.03		0.79
Rückbaubetrieb	3.5%	22.18	1.0%	3.56	5.2%	31.39	2.5%	16.76
Verwaltung / Administration		1.16		0.08		1.74		1.18
Überwachung		1.62		0.22		1.58		0.94
Sicherung / Arealüberwachung		2.02		0.08		1.92		0.72
Behördliche Begleitung		3.77		0.80		5.69		1.07
Fachabteilung Betrieb Anlage		2.98		0.07		2.63		1.23
Werkstätten		0.08		0.07		0.34		0.12
Laufende Prüfung und Instandhaltung		3.69		0.55		6.95		4.85
Instandhaltungsprojekte		0.00		0.00		0.00		0.00
Betrieb IT		0.34		0.43		1.13		0.27
Betriebs- und Unterhaltskosten		5.61		0.94		7.52		4.91
Betrieb Lagereinrichtungen		0.04		0.04		0.00		0.00
Sonstige betriebliche Aufwendungen		0.88		0.29		1.88		1.48
Projektleitung Rückbau	0.5%	3.04	0.0%	0.01	0.2%	1.45	0.1%	0.74
Gesamtprojektleitung		0.93		0.00		0.32		0.20
Übergeordnete Planungsmassnahmen		1.74		0.01		0.62		0.30
Leitung Teilprojekte		0.37		-		0.51		0.25

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

Tabelle 60: Stilllegungsziel 2 – Prognoseungenauigkeiten der Kostenermittlung für die Stilllegung der KKW Beznau, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Kostenzuschlag für Prognoseungenauigkeiten – Stilllegungsziel 2							
	KKB	KKM	KKG	KKL				
Stilllegung KKW	11.9%	80.08	9.9%	35.09	13.8%	87.66	13.5%	99.66
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	0.0%	0.18	0.0%	0.00	0.6%	3.89	0.6%	4.10
Planerische Vorarbeiten		0.00		-		2.88		3.05
Erstellung der Gesuchsunterlagen		0.10		-		0.90		0.96
Stilllegungsverfügung		0.09		-		0.10		0.09
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen – Standortbezogen	1.7%	11.72	0.2%	0.55	2.1%	13.64	1.8%	13.15
Umbau und Neueinrichtungen		11.72		0.55		13.64		13.15
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen - Blockbezogen	0.5%	3.41	0.9%	3.03	0.2%	1.12	0.2%	1.11
Ausserbetriebnahme Systeme		1.53		0.28		1.01		1.00
In-Situ Dekontamination Kreisläufe		-		-		-		0.00
Systemtechnische Anpassungen		1.88		0.83		0.11		0.11
Umbau und Neueinrichtungen		-		1.93		-		-
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	3.2%	21.32	4.6%	16.34	3.0%	18.93	3.7%	27.50
Abbau Vorlaufend / Mobil		0.40		0.12		0.60		0.21
Abbau Kontaminiert		2.63		5.36		3.77		7.03
Abbau Aktiviert		9.73		5.30		5.35		8.91
Abbau Betonstrukturen		0.36		0.35		1.02		0.38
Abbau restlicher Einrichtungen		2.07		2.09		1.10		4.46
Abbau ausserhalb Kontrollierter Zone		2.61		0.72		2.42		3.05
Dekontamination und Freigabe Gebäude		3.14		2.03		4.23		3.11
Nachweisführung Areal / ex Areal Projekt		0.39		0.37		0.44		0.37
Behandlung und Verpackung	2.1%	14.36	2.7%	9.74	1.9%	12.22	2.8%	20.49
Nachzerlegung und Behandlung		1.17		1.63		1.28		3.81
Dekontamination von Einzelteilen		0.33		0.47		0.39		1.11
Konditionierung und Verpackung		9.97		5.01		6.64		12.36
Freimessung / konv. Entsorgung / Erlöse		1.98		1.78		2.90		2.49
Abbau Einrichtungen zum Rückbau und zur Materialbehandlung		0.91		0.85		1.00		0.73
Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen	0.5%	3.36	0.5%	1.84	0.8%	5.15	0.9%	6.79
Abbruch Gebäude Anlage kontroll. Zone		1.70		1.01		1.39		3.42
Abbruch Sonstige Gebäude		1.66		0.83		3.76		3.37
Rückbaubetrieb	3.3%	22.23	1.0%	3.57	5.0%	31.45	2.6%	18.99
Verwaltung / Administration		1.16		0.08		1.47		1.83
Überwachung		1.58		0.22		1.61		0.98
Sicherung / Arealüberwachung		1.80		0.08		1.74		1.43
Behördliche Begleitung		3.96		0.79		6.63		1.12
Fachabteilung Betrieb Anlage		2.64		0.07		2.34		1.53
Werkstätten		0.07		0.07		0.43		0.12
Laufende Prüfung und Instandhaltung		3.94		0.54		6.70		4.88
Instandhaltungsprojekte		0.00		0.00		0.00		0.00
Betrieb IT		0.38		0.44		2.08		0.27
Betriebs- und Unterhaltsachkosten		5.71		0.96		7.39		5.31
Betrieb Lagereinrichtungen		0.03		0.04		0.00		0.00
Sonstige betriebliche Aufwendungen		0.96		0.29		1.07		1.52
Projektleitung Rückbau	0.5%	3.49	0.0%	0.01	0.2%	1.27	1.0%	7.52
Gesamtprojektleitung		0.86		0.00		0.25		2.10
Übergeordnete Planungsmassnahmen		1.66		0.00		0.52		3.16
Leitung Teilprojekte		0.96		-		0.50		2.26

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

Tabelle 61: Stilllegungsziel 3 – Prognoseungenauigkeiten der Kostenermittlung für die Stilllegung der KKW Beznau, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Kostenzuschlag für Prognoseungenauigkeiten – Stilllegungsziel 3							
	KKB	KKM	KKG	KKL				
Stilllegung KKW	12.1%	83.27	9.9%	36.23	13.8%	89.43	12.7%	95.80
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	0.0%	0.18	0.0%	0.00	0.6%	4.09	0.5%	3.90
Planerische Vorarbeiten		0.00		-		3.03		2.92
Erstellung der Gesuchsunterlagen		0.10		-		0.96		0.90
Stilllegungsverfügung		0.08		-		0.10		0.09
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen – Standortbezogen	1.9%	13.21	0.1%	0.50	2.1%	13.34	1.8%	13.65
Umbau und Neueinrichtungen		13.21		0.50		13.34		13.65
Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen - Blockbezogen	0.5%	3.35	0.8%	3.00	0.2%	1.15	0.2%	1.14
Ausserbetriebnahme Systeme		1.52		0.27		1.05		1.02
In-Situ Dekontamination Kreisläufe		0.00		0.00		0.00		0.00
Systemtechnische Anpassungen		1.83		0.83		0.10		0.12
Umbau und Neueinrichtungen		-		1.90		-		-
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	3.1%	21.28	4.5%	16.57	3.0%	19.34	3.6%	26.79
Abbau Vorlaufend / Mobil		0.39		0.13		0.59		0.22
Abbau Kontaminiert		2.73		5.56		3.69		6.51
Abbau Aktiviert		9.73		5.29		5.72		8.70
Abbau Betonstrukturen		0.36		0.35		1.09		0.39
Abbau restlicher Einrichtungen		2.05		2.02		1.15		4.28
Abbau ausserhalb Kontrollierter Zone		2.67		0.72		2.45		3.16
Dekontamination und Freigabe Gebäude		2.93		2.06		4.27		3.12
Nachweisführung Areal / ex Areal Projekt		0.42		0.43		0.37		0.41
Behandlung und Verpackung	2.1%	14.55	2.6%	9.61	2.0%	12.81	2.7%	20.29
Nachzerlegung und Behandlung		1.19		1.65		1.31		3.81
Dekontamination von Einzelteilen		0.33		0.47		0.38		1.08
Konditionierung und Verpackung		10.08		4.92		6.98		12.07
Freimessung / konv. Entsorgung / Erlöse		2.02		1.71		3.11		2.53
Abbau Einrichtungen zum Rückbau und zur Materialbehandlung		0.93		0.86		1.02		0.80
Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen	0.8%	5.27	0.8%	3.05	0.9%	5.79	1.1%	8.13
Abbruch Gebäude Anlage kontroll. Zone		2.72		1.70		2.62		4.81
Abbruch Sonstige Gebäude		2.55		1.35		3.18		3.33
Rückbaubetrieb	3.2%	21.84	1.0%	3.49	4.8%	31.43	2.4%	18.17
Verwaltung / Administration		1.18		0.08		1.34		1.75
Überwachung		1.62		0.22		1.34		0.90
Sicherung / Arealüberwachung		1.74		0.07		1.81		1.18
Behördliche Begleitung		3.18		0.71		5.16		1.10
Fachabteilung Betrieb Anlage		3.11		0.07		2.38		1.53
Werkstätten		0.07		0.07		0.38		0.09
Laufende Prüfung und Instandhaltung		3.88		0.54		7.11		4.71
Instandhaltungsprojekte		0.00		0.00		0.00		0.00
Betrieb IT		0.40		0.44		2.13		0.30
Betriebs- und Unterhaltsachkosten		5.74		0.97		7.94		5.07
Betrieb Lagereinrichtungen		0.04		0.04		0.00		0.00
Sonstige betriebliche Aufwendungen		0.88		0.29		1.84		1.53
Projektleitung Rückbau	0.5%	3.59	0.0%	0.01	0.2%	1.49	0.5%	3.73
Gesamtprojektleitung		0.86		0.00		0.28		0.86
Übergeordnete Planungsmassnahmen		1.76		0.00		0.55		1.34
Leitung Teilprojekte		0.97		-		0.66		1.53

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

Kosten KKB sind ohne die Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten bei der Stilllegung des Zwischenlagers Beznau ausgewiesen.

Tabelle 62: Stilllegungsziel 1 – Prognoseungenauigkeiten der Kostenermittlung für die Stilllegung des Zwischenlagers Beznau und des zentralen Zwischenlagers Würenlingen.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Kostenzuschlag für Prognose- ungenauigkeiten - Stilllegungsziel 1			
		ZwibeZ		Zwilag
Stilllegung Zwischenlager	17.0%	0.39	11.0%	11.61
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	10.3%	0.24	0.6%	0.61
Planerische Vorarbeiten		0.05		0.39
Erstellung der Gesuchsunterlagen		0.16		0.17
Stilllegungsverfügung		0.02		0.05
Vorbereitungs- und Umbaumaassnahmen für den Rückbau	0.0%	0.00	0.4%	0.40
Umbau und Neueinrichtungen		-		0.30
Ausserbetriebnahmen		-		0.07
Systemtechnische Anpassungen		-		0.02
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	5.2%	0.12	4.0%	4.24
Abbau Kontaminiert		0.00		3.25
Dekontamination der Gebäude		0.00		0.73
Abbau ausserhalb Kontrollierter Zone		0.09		0.22
Auszonung der Gebäude		0.03		-
Nachweisführung Areal / ex Areal		-		0.05
Behandlung und Verpackung	0.0%	0.00	1.1%	1.13
Nacherlegung und Behandlung		-		0.15
Dekontamination von Einzelteilen		-		0.04
Konditionierung und Verpackung		-		0.50
Freimessung / konv. Entsorgung / Erlöse		-		0.39
Abbau Einrichtungen zum Rückbau und zur		-		0.06
Materialbehandlung		-		-
Rückbaubetrieb	1.4%	0.03	4.9%	5.23
Verwaltung / Administration		-		0.64
Überwachung		-		0.48
Sicherung / Arealüberwachung		-		0.49
Behördliche Begleitung des Betriebes		-		0.17
Fachabteilungen Betrieb Anlage		-		0.41
Werkstätten		-		0.18
Laufende Prüfung und Instandhaltung		-		0.38
Instandhaltungsprojekte (Erneuerungsprojekte)		-		0.27
IT		-		0.28
Betriebs- und Unterhaltssachkosten		0.03		1.36
Betrieb Lagereinrichtungen		-		-
Sonstige Betriebliche Aufwendungen		-		0.58

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

Tabelle 63: Stilllegungsziel 2 – Prognoseungenauigkeiten der Kostenermittlung für die Stilllegung des Zwischenlagers Beznau und des zentralen Zwischenlagers Würenlingen.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Kostenzuschlag für Prognose- ungenauigkeiten - Stilllegungsziel 2			
		ZwibeZ		Zwilag
Stilllegung Zwischenlager	16.1%	0.74	13.0%	16.69
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	5.3%	0.25	0.5%	0.63
Planerische Vorarbeiten		0.05		0.40
Erstellung der Gesuchsunterlagen		0.18		0.17
Stilllegungsverfügung		0.02		0.05
Vorbereitungs- und Umbaumaassnahmen für den Rückbau	0.0%	0.00	0.3%	0.38
Umbau und Neueinrichtungen		-		0.28
Ausserbetriebnahmen		-		0.08
Systemtechnische Anpassungen		-		0.02
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	3.0%	0.14	3.2%	4.11
Abbau Kontaminiert		0.00		3.12
Dekontamination der Gebäude		0.00		0.73
Abbau ausserhalb Kontrollierter Zone		0.10		0.21
Auszonung der Gebäude		0.04		-
Nachweisführung Areal / ex Areal		-		0.05
Behandlung und Verpackung	0.0%	0.00	0.9%	1.14
Nachzerlegung und Behandlung		-		0.15
Dekontamination von Einzelteilen		-		0.04
Konditionierung und Verpackung		-		0.53
Freimessung / konv. Entsorgung / Erlöse		-		0.37
Abbau Einrichtungen zum Rückbau und zur		-		0.06
Materialbehandlung		-		-
Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen	6.5%	0.30	1.9%	2.44
Abbruch Gebäude Anlage		0.30		2.33
Abbruch Sonstiger Gebäude		-		0.11
Rückbaubetrieb	1.3%	0.06	6.2%	7.99
Verwaltung / Administration		-		0.73
Überwachung		-		0.58
Sicherung / Arealüberwachung		-		0.77
Behördliche Begleitung des Betriebes		-		0.31
Fachabteilungen Betrieb Anlage		-		0.41
Werkstätten		-		0.25
Laufende Prüfung und Instandhaltung		-		0.45
Instandhaltungsprojekte (Erneuerungsprojekte)		-		0.30
IT		-		0.42
Betriebs- und Unterhaltssachkosten		0.06		2.83
Betrieb Lagereinrichtungen		-		-
Sonstige Betriebliche Aufwendungen		-		0.94

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

Tabelle 64: Stilllegungsziel 3 – Prognoseungenauigkeiten der Kostenermittlung für die Stilllegung des Zwischenlagers Beznau und des zentralen Zwischenlagers Würenlingen.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Kostenzuschlag für Prognose- ungenauigkeiten - Stilllegungsziel 3			
		ZwibeZ		Zwilag
Stilllegung Zwischenlager	13.8%	0.79	13.0%	17.49
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	4.4%	0.25	0.5%	0.63
Planerische Vorarbeiten		0.05		0.41
Erstellung der Gesuchsunterlagen		0.18		0.18
Stilllegungsverfügung		0.02		0.04
Vorbereitungs- und Umbaumaassnahmen für den Rückbau	0.0%	0.00	0.3%	0.40
Umbau und Neueinrichtungen		-		0.30
Ausserbetriebnahmen		-		0.08
Systemtechnische Anpassungen		-		0.03
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	2.2%	0.12	3.1%	4.12
Abbau Kontaminiert		0.00		3.10
Dekontamination der Gebäude		0.00		0.76
Abbau ausserhalb Kontrollierter Zone		0.09		0.21
Auszonung der Gebäude		0.04		-
Nachweisführung Areal / ex Areal		-		0.04
Behandlung und Verpackung	0.0%	0.00	0.9%	1.18
Nachzerlegung und Behandlung		-		0.15
Dekontamination von Einzelteilen		-		0.04
Konditionierung und Verpackung		-		0.53
Freimessung / konv. Entsorgung / Erlöse		-		0.42
Abbau Einrichtungen zum Rückbau und zur		-		0.05
Materialbehandlung		-		-
Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen	6.2%	0.35	2.2%	2.92
Abbruch Gebäude Anlage		0.35		2.78
Abbruch Sonstiger Gebäude		-		0.14
Rückbaubetrieb	1.0%	0.06	6.1%	8.24
Verwaltung / Administration		-		0.85
Überwachung		-		0.58
Sicherung / Arealüberwachung		-		0.80
Behördliche Begleitung des Betriebes		-		0.30
Fachabteilungen Betrieb Anlage		-		0.42
Werkstätten		-		0.24
Laufende Prüfung und Instandhaltung		-		0.46
Instandhaltungsprojekte (Erneuerungsprojekte)		-		0.34
IT		-		0.47
Betriebs- und Unterhaltssachkosten		0.06		2.83
Betrieb Lagereinrichtungen		-		-
Sonstige Betriebliche Aufwendungen		-		0.97

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

5.5 Kostenzuschlag für Gefahren und Kostenabzug für Chancen

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

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

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

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

5.5.1 Kostenzuschläge für Gefahren

Veränderung der Höhe der Kosten des Rückbaubetriebs (Betriebskosten)

Keine Reduktion des Bewachungsumfangs

Mit Ende Nachbetrieb (Kernbrennstofffreiheit) ist das Gefährdungspotenzial einer Kernanlage signifikant kleiner. Die Schutzziele Kontrolle der Reaktivität und Kühlung der Kernmaterialien sowie Schutz vor Entwendung von Kernmaterial werden obsolet. Im Zeitraum zwischen EELB und Erreichen Kernbrennstofffreiheit werden bereits aktivierte Teile des Primärkreislaufs aus der Anlage entfernt, sodass mit Abschluss dieser Tätigkeiten das verbleibende Aktivitätsinventar gegenüber dem Leistungsbetrieb auf ca. 2 Prozent abgesunken ist. Unter Berücksichtigung des erheblichen gesunkenen Gefährdungspotenzials der Anlage wird anstelle der Bewachung nach Erreichen der Kernbrennstofffreiheit eine Überwachung mit einer leicht reduzierten Wachmannschaft eingeführt. Dieser Übergang von Bewachung zur Überwachung muss von der Aufsichtsbehörde freigegeben werden. Sollte diese Freigabe nicht erteilt werden, ist eine Reduktion der Bewachungskosten nicht möglich.

Kostenerhöhung für Gebührenaufwand und Versicherungen

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.

Veränderung der Dauer des Rückbaubetriebs (Verlängerung der Stilllegung)

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

- (1) Force Majeure.
- (2) Behinderung durch die Öffentlichkeit.
- (3) Freigabeverfahren während der Stilllegung.
- (4) Erhebliche Leistungsstörungen / Ausfall bei wichtigen Kontraktoren.
- (5) Ausführungsschwierigkeiten bei Gewerken auf dem kritischen Pfad.
- (6) Ausführungsschwierigkeiten bei Materialfluss und Logistik.
- (7) Mehraufwand bei der Gebäudedekontamination und Freimessung.
- (8) Entlassung aus der nuklearen Aufsicht.

Die Auslöser der Gefahr Verlängerung der Stilllegung sind repräsentative aber nicht abschliessende Ereignisse, die jedoch im Rückbaubetrieb zum gleichen Schadensausmass, Erhöhung der Rückbaubetriebskosten, führen. Einzelne Gefahrenauslöser haben neben dem Effekt der Verlängerung der Stilllegung zusätzlich einen kostenerhöhenden Effekt auf Rückbaugewerke.

Aus dem Stilllegungsverfahren KKM konnten die anderen Kernkraftwerkseigentümer wertvolle Erkenntnisse für ihre eigene Planung nutzen. Die einzelnen Auslöser für Gefahren unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Auswirkung (Dauer) und des möglichen Wirkungszeitraums (Anfang, Mitte, Ende der Stilllegung). Eine kurze Beschreibung der Auslöser ist nachfolgend gegeben.

(1) Force Majeure

Force-Majeure-Ereignisse beeinträchtigen den planmässigen Rückbaufortschritt. Es kommt zu Verlängerungen gegenüber dem ursprünglichen Projektplan.

(2) Behinderungen durch die Öffentlichkeit

Nach Erhalt der Stilllegungsverfügung gibt es keine weiteren durch die Öffentlichkeit zustimmungspflichtigen Bewilligungen. Jedoch kann sich der geplante Ablauf der Stilllegung durch Sabotage von Zufahrtsstrassen oder passivem Widerstand verzögern, was zu einer Verlängerung des Rückbaus führen würde.

(3) Freigabeverfahren während der Stilllegung

Der genaue Ablauf des Freigabeverfahrens nach Erhalt der Stilllegungsverfügung ist nicht exakt bis in alle Ebenen definiert. Durch nicht rechtzeitig erteilte Freigaben kann es zu Verlängerungen der Gesamtprojektdauer kommen, wenn diese Freigaben Tätigkeiten auf dem kritischen Pfad betreffen.

(4) Erhebliche Leistungsstörungen / Ausfall kritischer Kontraktoren

Es wird davon ausgegangen, dass die einzelnen Rückbauprojekte in Losen vergeben werden. Der kritische Pfad des Projekts wird zunächst durch die Demontage der aktivierten Anlagenteile bestimmt. Sollte ein Kontraktor ausfallen, so ist es vor Beginn bzw. am Anfang einer Tätigkeit leichter, einen Ersatz zu finden. Die Arbeiten können gegebenenfalls ohne Bedarf einer neuen Ausschreibung, durch einen anderen Anbieter aus dem Vergabeverfahren, übernommen werden.

Der Ausfall in einer weiter fortgeschrittenen Phase erfordert demgegenüber unter Umständen eine Neuausschreibung der Leistungen sowie einer Anpassung oder Wiederholung des Freigabeverfahrens. Als Folge davon kann es zu einem Verzug in dem betroffenen Gewerk und damit verbundenen Mehrkosten kommen. Die gleichen Folgen (Mehrkosten und gewerkspezifischen Verspätungen) können sich auch als Folge von rechtlichen Auseinandersetzungen mit Kontraktoren ergeben.

(5) Ausführungsschwierigkeiten bei Gewerken auf dem kritischen Pfad

Es wird davon ausgegangen, dass die einzelnen Rückbaugewerke in Losen vergeben werden. Der kritische Pfad der Stilllegung wird zunächst durch eine allfällige Systemdekontamination und die Demontage der aktivierten Anlagenteile bestimmt. Grundsätzlich kommen bei diesen Gewerken erfahrene Spezialunternehmen und betriebsbewährte Techniken zum Einsatz. Es kann dennoch zu unerwarteten technischen Schwierigkeiten in der Ausführung der Tätigkeiten, bei den eingesetzten Verfahren oder in der Lieferantenkette der eingesetzten Lieferanten und Dienstleister kommen, die zu einer Verlängerung führen. Ein weiterer Grund kann in Lücken der Anlagendokumentation bestehen, die zu unerwarteten Zusatzaufwänden durch Verlängerungen der Stilllegung führt. Da diese Gewerke auf dem kritischen Pfad liegen, verlängert sich damit die Gesamtdauer der Stilllegung.

(6) Ausführungsschwierigkeiten bei Materialfluss und Logistik

Aufgrund von Planungsfehlern bzw. Defekten oder Lieferschwierigkeiten bei Ausrüstungsgegenständen für Materialfluss und Logistik kommt es zu einem Stau von Material innerhalb der kontrollierten Zone der zu Behinderungen des Rückbaufortschritts führt. Dadurch verlängert sich die Gesamtdauer des Rückbaus.

(7) Mehraufwand bei Gebäudedekontamination und Freimessung

Aufgrund der bisherigen Betriebshistorien wird grundsätzlich im Projektplan davon ausgegangen, dass die Kontamination in der kontrollierten Zone nicht über das derzeit erwartete Ausmass hinausgeht. Die Gefahr besteht jedoch, dass es in während des Leistungsbetriebs nur schwer oder gar nicht zugänglichen Anlagenteilen zu unerwarteten radiologischen Befunden kommt.

(8) Verzögerung bei der Entlassung aus der nuklearen Aufsicht

Das Behördenverfahren zur Entlassung der Kernanlage aus der nuklearen Aufsicht verzögert sich im Rahmen des Abschlusses der Dekontamination und radiologischen Befreiung des Areals.

Mehrkosten bei Infrastruktur und Logistik

Mehrkosten infolge Force Majeure

Force Majeure Ereignisse wie z. B. Extremwetterlagen, Pandemie oder Streik beeinträchtigen den planmässigen Rückbaufortschritt. Es kommt zu Mehrkosten durch Aufräumarbeiten, Wartezeiten, Schutzmassnahmen und bei der Ausführung der eigentlichen Rückbaugewerke (z. B. Nachweisführung auf dem Areal).

Anpassungen der Anlageninfrastruktur

Zur Einhaltung zukünftiger zusätzlicher Anforderungen, wie etwa höherer Sicherheitsanforderungen (z. B. zur Abwehr von Terrorgefahr), werden nach EELB der Anlage zusätzliche Anpassungen an der Infrastruktur verlangt.

Mehrkosten im Rückbau durch Schwierigkeiten im Massenfluss und Logistik

Während der Rückbauarbeiten kommt es zu technischen Defekten bei Hebezeugen oder anderen Infrastruktureinrichtungen der Materiallogistik oder es kommt zu Verzögerungen im Materialfluss, die zu Mehrkosten führen.

Mehrkosten durch Schadstoffbelastung (Kontamination)

Auftreten von Alpha-Kontamination

Auch wenn die Häufigkeit von Brennelementschäden durch technische und administrative Massnahmen in den letzten Jahren stets gesenkt werden konnte, können Brennelementschäden während des Betriebs nicht ausgeschlossen werden. Abhängig vom Verlauf des Schadens kann dies zu einer leichten, zeitweiligen Erhöhung der Kontamination im Primärkreislauf führen. In der vorliegenden Gefahr wird jedoch unterstellt, dass während des Leistungsbetriebs ein dermassen grosser Brennelementschaden auftritt, der zu einer umfänglichen Kontamination des Primärkreislaufs und der angeschlossenen Systeme (sowie beim Siedewasserreaktor der Turbine, Kondensator usw.) führt. Die defekten Brennelemente werden aus dem Reaktordruckbehälter entfernt. Es besteht die Gefahr, dass eine Restkontamination inklusive einer Alpha Kontamination im Primärkreislauf zurückbleibt.

Kontamination in konventionellen Gebäuden und Kraftwerksgelände

Bei den konventionellen Gebäuden und dem Gelände wird nicht von einer Kontamination ausgegangen, bzw. diese sind bekannt und räumlich eng begrenzt. Die Rückbaukosten sind berücksichtigt. Grundsätzlich werden für die Befreiung des Überwachungsbereichs Stichprobenmessungen für den Nachweis der Kontaminationsfreiheit vorgesehen. Es besteht die Gefahr von Kontaminationsverschleppungen im Leistungsbetrieb, Nachbetrieb oder während der Stilllegung.

Mehraufwand bei der Restdemontage

Im Rahmen der Restdemontage kommt es zu radiologischen Befunden in während des Leistungsbetriebs nicht zugänglichen Bereichen, z. B. eingedrungene Kontamination hinter Ankerplatten, in Bohrlöchern usw.

Mehraufwand bei der Gebäudedekontamination und Freimessung

Die Kontamination von Gebäudeinnenoberfläche von Gebäuden mit kontrollierter Zone wird regelmässig überwacht. Es werden bei Bedarf entsprechende Dekontaminationstätigkeiten durchgeführt. Dekont-Anstriche sollen das Eindringen von Kontamination in die Betonstrukturen verhindern. Es besteht jedoch die Gefahr, dass es in während des Leistungsbetriebs nur schwer oder gar nicht zugänglichen Anlagenteilen zu unerwarteten radiologischen Befunden kommt.

Abriß von Gebäudeteilen vor Auszonung (Kontrollbereichsbedingungen)

Im Rahmen der Gebäudedekontamination ist ein so hoher Abtrag der Gebäudestruktur notwendig, dass die strukturelle Integrität des Gebäudes nicht mehr gewährleistet ist und das Gebäude somit nicht mehr an der stehenden Struktur freigemessen werden kann. Das Gebäude muss vor Auszonung unter Kontrollbereichsbedingungen abgerissen werden.

Unerwartet hohes Auftreten konventioneller Schadstoffe

Die Kernanlagen führen ein Schadstoffkataster, welches regelmässig aktualisiert wird. Befunde werden sofern möglich bereits während des Leistungsbetriebs saniert.

Es treten höhere Mengen an konventionellen Schadstoffen auf als geplant. Dies kann aufgrund von Unvollständigkeits im bestehenden Schadstoffkataster oder durch unerwartete Funde in schwer oder gar nicht im Leistungsbetrieb zugänglichen Anlagenbereichen erfolgen. Basierend auf aktuellen Erfahrungswerten der Anlagen wurden die Kosten der Beseitigung konventioneller Schadstoffe in den Basiskosten kalkuliert, die nicht während des Leistungsbetriebs entfernt werden.

Kostenveränderung bei nuklearspezifischen Gewerken (Nukleartechnik)

Entwicklung bei eingesetzten Verfahren und Geräten

Aufgrund von externen Faktoren könnte es dazu kommen, dass teurere Verfahren und Geräte z. B. für die Demontage von Einrichtungen in der kontrollierten Zone eingesetzt werden müssen, als in der Planung vorgesehen.

Mehrkosten bei nicht wie erwartet verlaufenden Dekontaminationsvorgängen

Dekontaminationsvorgänge können nicht wie geplant durchgeführt werden oder erfordern einen höheren Aufwand als geplant.

Preissteigerung bei spezifischen Tätigkeiten mit nuklearem Rückbau-Know-how

Mit zunehmendem Fortschritt bei den europäischen nuklearen Rückbauprojekten kann es zur Konzentration auf dem Anbietermarkt und zu einer Verknappung der Expertise kommen. Wenn keine Anbieter mit der notwendigen Expertise gefunden werden können, kann dies z. B. zu Problemen bei der Qualität der Dokumentation führen.

Mehrkosten durch Markteinflüsse (Markt)*Mangelnde Verfügbarkeit von externen Spezialisten*

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

Mehrkosten durch Ausfall eines wichtigen Kontraktors / Rechtsstreitigkeiten mit Kontraktoren

Es wird davon ausgegangen, dass die einzelnen Rückbauprojekte in Losen vergeben werden. Der kritische Pfad des Projekts wird zunächst durch die Demontage der aktivierten Anlagenteile bestimmt. Sollte ein Kontraktor ausfallen, so ist es vor Beginn bzw. am Anfang einer Tätigkeit leichter, einen Ersatz zu finden. Die Arbeiten können gegebenenfalls ohne Bedarf einer neuen Ausschreibung, durch einen anderen Anbieter aus dem Vergabeverfahren, übernommen werden. Der Ausfall in einer weiter fortgeschrittenen Phase erfordert demgegenüber u. U. eine Neuausschreibung der Leistungen sowie einer Anpassung oder Wiederholung des Freigabeverfahrens. Als Folge davon kann es zu einem Verzug in dem betroffenen Gewerk und damit verbundenen Mehrkosten kommen. Die gleichen Folgen (Mehrkosten und gewerkspezifischen Verspätungen) können sich auch als Folge von rechtlichen Auseinandersetzungen mit Kontraktoren ergeben.

Kostenänderungen durch andere Einflussfaktoren aus der Entsorgungskette (Schnittstellen)*Nichterteilung der Freigabe zur Verfüllung von Zwischen- und Endlagergebänden mit Betongranulat*

Das geplante Vorgehen, kontaminiertes Betongranulat als Zuschlagsstoff für die Befüllung der Lagerbehälter für metallische radioaktive Stilllegungsabfälle zu verwenden, wird durch die Aufsichtsbehörde nicht freigegeben.

Deponiekosten wegen fehlender Verwertung von konventionellen Abbruchmaterialien

Es wird davon ausgegangen, dass der anfallende konventionelle Betonschutt zerkleinert und von der Bewehrung getrennt wird. Danach wird er zum kleineren Teil auf eine Deponie gebracht und zum Grossteil kostenneutral anderweitig (z. B. im Strassenbau) verwertet. Sollte dies nicht möglich sein, müsste er kostenpflichtig auf eine Deponie verbracht werden (keine Verwertung von konventionellen Abbruchmaterialien).

Veränderung der Höhe der Stilllegungskosten Zwiilag*Mehrkosten bei Zwiilag durch verzögerte Personalreduktion*

Veränderte Rahmenbedingungen machen eine Erhöhung des auf der Anlage verbleibenden Personals im Vergleich zur vorgesehenen Personalplanung erforderlich.

Mehrkosten bei Zwiilag durch zusätzliche Konditionierung der Lucens-Abfälle

Für die Einlagerung der Rückstände ins Tiefenlager ist eine zusätzliche Endkonditionierung notwendig. Die betrieblichen Rückstellungen, gebildet aus der Übernahme der Aktiven der ehemaligen Betreibergesellschaft des Kraftwerks, reichen nicht aus.

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 nachfolgend aufgeführten Chancenpotenziale zu.

Veränderung der Höhe der Kosten des Rückbaubetriebs (Betriebskosten)*Kostensenkung bei Gebührenaufwand und Versicherungen*

Geringere Kosten für Versicherungen, niedrigerer Behördenaufwand.

Senkung der Energiekosten (Strom- und Heizöl)

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

Kostenveränderung bei nuklearspezifischen Gewerken (Technologie)

Kostensenkung durch Entwicklung bei eingesetzten Verfahren und Geräten

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

5.5.3 Quantifizierung der Kostenfolge von Gefahren und Chancen

Gemäss Vorgabe für die KS21 wurden die Kostenzuschläge für Gefahren auf der Basis einer quantitativen Risikoanalyse ermittelt. Dazu wurde für jede der oben beschriebenen Gefahren deren Eintrittswahrscheinlichkeit und Kostenfolge aufgrund von Expertenwissen abgeschätzt. Der so errechnete Zuschlag wurde in die Gesamtkosten eingerechnet. Mit Chancen wurde analog verfahren.

Die Zuschläge für Gefahren und Abzüge für Chancen wurden nicht auf die einzelnen PSP-Elemente der Kalkulation zurückgerechnet. Die Zuschläge und Abzüge erfolgen auf die ermittelten Basiskosten.

Tabelle 65 bis Tabelle 67 zeigen die anzubringenden Zuschläge für Gefahren und Abzüge für Chancen für jede der untersuchten Anlagen.

Tabelle 65: Kostenzuschlag Gefahren und Kostenabzug für Chancen für das Stilllegungsziel 1.

	KKB	KKM	KKG	KKL	Zwibez	Zwilag	Total
Kostenzuschlag für Gefahren	129	57	123	128	0	22	459
in % der Basiskosten	20.1%	16.7%	20.6%	18.7%	20.1%	20.4%	19.4%
Kostenabzug für Chancen	-2	-2	-2	-3	0	0	-9
in % der Basiskosten	-0.4%	-0.5%	-0.4%	-0.4%	-0.4%	-0.2%	-0.4%
Kostenzuschlag insgesamt für Gefahren und Chancen	127	55	121	125	0	21	450
in % der Basiskosten	19.7%	16.2%	20.2%	18.3%	19.7%	20.2%	19.0%

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

Tabelle 66: Kostenzuschlag Gefahren und Kostenabzug für Chancen für das Stilllegungsziel 2.

	KKB	KKM	KKG	KKL	Zwibez	Zwilag	Total
Kostenzuschlag für Gefahren	133	58	129	137	1	26	484
in % der Basiskosten	19.8%	16.4%	20.3%	18.6%	19.8%	20.3%	19.1%
Kostenabzug für Chancen	-3	-2	-3	-3	0	0	-10
in % der Basiskosten	-0.4%	-0.5%	-0.4%	-0.4%	-0.4%	-0.2%	-0.4%
Kostenzuschlag insgesamt für Gefahren und Chancen	131	57	126	134	1	26	474
in % der Basiskosten	19.4%	15.9%	19.9%	18.2%	19.4%	20.1%	18.7%

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

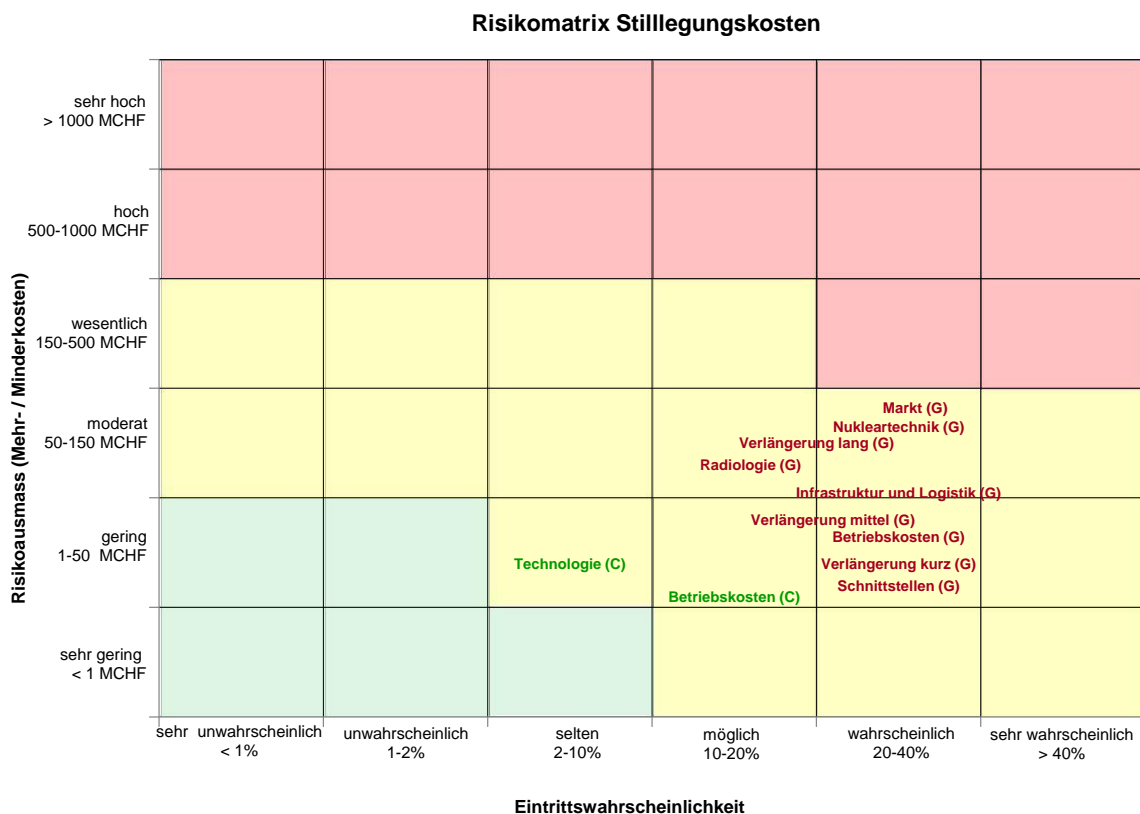
Tabelle 67: Kostenzuschlag Gefahren und Kostenabzug für Chancen für das Stilllegungsziel 3.

	KKB	KKM	KKG	KKL	Zwibez	Zwilag	Total
Kostenzuschlag für Gefahren	136	59	132	139	1	27	494
in % der Basiskosten	19.7%	16.1%	20.3%	18.5%	19.7%	20.0%	19.0%
Kostenabzug für Chancen	-3	-2	-3	-3	0	0	-10
in % der Basiskosten	-0.4%	-0.5%	-0.4%	-0.4%	-0.4%	-0.1%	-0.4%
Kostenzuschlag insgesamt für Gefahren und Chancen	133	57	129	137	1	27	484
in % der Basiskosten	19.3%	15.7%	19.9%	18.2%	19.3%	19.9%	18.7%

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

5.5.4 Risikomatrix

Für die Schweizer Kernanlagen wurden im Rahmen der Erstellung der KS21 die kostenerhöhenden Gefahren 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 Abschnitt 5.5.1 und Abschnitt 5.5.2 einzeln beschriebenen Gefahren und Chancen gruppiert und die Gruppierungen nach Eintrittswahrscheinlichkeit und Kostenfolge bei Eintritt des Risikos in einer Risikomatrix dargestellt. Abbildung 11 zeigt exemplarisch die für die Stilllegung der Kernanlagen ermittelte Risikomatrix.



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

Abbildung 11: Risikomatrix Stilllegung (exemplarisch).

Für die KS21 wurde festgelegt, dass die grüne Fläche der Risikomatrix nicht über diskrete Zuschläge für Gefahren beziehungsweise Abzüge für Chancen berücksichtigt wird. Die Effekte der Abweichungen von Planungsannahmen, die in diese Kategorie einzuordnen sind wie zum Beispiel Einschätzungen von Dauern, Mengen, Massen, Preisen usw. sind innerhalb der Kostengliederung einerseits über die Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten abgedeckt und werden andererseits über aktive Risikomanagementmassnahmen und weitere allgemeine risikomindernde Massnahmen der Betreiber kontrolliert und gesteuert. Für Details zu den allgemeinen risikomindernden Massnahmen wird auf Abschnitt 5.2.3 verwiesen.

Die gelbe Fläche der Risikomatrix wird für die Ermittlung der Kostenzuschläge für Gefahren beziehungsweise Kostenabzüge für Chancen berücksichtigt. Die Gefahren- und Chancencluster, die in diese Kategorie einzuordnen sind, werden in Abschnitt 5.5.1 und 5.5.2 beschrieben.

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

5.6 Nicht berücksichtigte Gefahren und Chancen

Im Rahmen der Risikobetrachtung wurden über die in Abschnitt 5.5.1 und Abschnitt 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 2 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.

5.7 Genereller Sicherheitszuschlag

Die Vorgaben der Verwaltungskommission für die Kostengliederung in der KS21 sehen einen generellen Sicherheitszuschlag bei der Berechnung der Stilllegungskosten vor, sodass nach Einschätzung zum Zeitpunkt der Fertigstellung der KS21 die Wahrscheinlichkeit einer allfälligen Kostenüberschreitung auf maximal 20 Prozent (Toleranzniveau) beschränkt wird.

In der KS21 wird ein genereller Sicherheitszuschlag von 5 Prozent auf die Basiskosten berücksichtigt und bildet zusammen mit den Basiskosten, den Kostenzuschlägen für die Prognoseungenauigkeiten und den Kostenzuschlägen bzw. -abzügen für Gefahren und Chancen die Gesamtkosten (siehe Abbildung 3). Die Höhe des generellen Sicherheitszuschlags ist konservativ so angesetzt, dass die Gesamtkosten der KS21 mindestens dem in den Vorgaben der Verwaltungskommission geforderten Toleranzniveau entsprechen.

Der Zuschlag wurde analog KS16 festgelegt, da die Methodik für die Kostenermittlung, d. h. die Kostenstrukturen und die Kostengliederung, gegenüber der KS16 nicht verändert wurde und somit eine Vergleichbarkeit der Zuschlagsniveaus gewährleistet wird. Somit entspricht auch das Toleranzniveau gegenüber allfälligen Kostenüberschreitungen demjenigen, welches für die KS16 zugrunde gelegt wurde. Es haben sich zwischen den Abgabeterminen für die beiden Kostenstudien 2016 und 2021 keine Erkenntnisse ergeben, die für eine abweichende Festlegung des generellen Sicherheitszuschlags sprechen.

5.8 Gesamtkosten

Die Resultate der Kostenermittlung sind in den Tabelle 68, Tabelle 69 und Tabelle 70 für die drei Stilllegungsziele zusammengefasst.

Tabelle 68: Stilllegungskostenermittlung der Kostenstudie 2021 für das Stilllegungsziel 1. Vergleich mit der Kostenstudie 2016 auf der Preisbasis 2021.

Element der Kostengliederung		KKB		KKM		KKG		KKL		Zwibez		Zwilag		Total														
Aufgelaufene Kosten bis 2020		15		119		-		-		-		-		135														
Zukünftige Kosten ab 2021																												
Ausgangskosten		625		329		584		668		2		104		2'313														
Kosten zur Risikominderung		17		10		14		15		0		2		58														
Basiskosten		642		340		599		683		2		106		2'371														
Prognoseungenauigkeiten	12.1%	78	9.8%	33	13.9%	83	12.3%	84	17.0%	0	11.0%	12	12.2%	290														
Zuschlag für Gefahren	20.1%	129	16.7%	57	20.6%	123	18.7%	128	20.1%	0	20.4%	22	19.4%	459														
Abzug für Chancen	-0.4%	-2	-0.5%	-2	-0.4%	-2	-0.4%	-3	-0.4%	0	-0.2%	0	-0.4%	-9														
Genereller Sicherheitszuschlag	5.0%	32	5.0%	17	5.0%	30	5.0%	34	5.0%	0	5.0%	5	5.0%	119														
Zuschlag auf zukünftige Basiskosten	36.8%	236	31.0%	105	39.1%	234	35.7%	243	41.7%	1	36.2%	38	36.2%	858														
Gesamtkosten		894		564		832		926		3		144		3'364														
Gesamtkosten KS16 PB21		958		600		859		1'083		.. ^{a)}		129		3'630														
Differenz		-6.7%		-64		-6.0%		-36		-3.1%		-27		-14.5%		-157		.. ^{a)}		3		11.2%		14		-7.3%		-266

Angaben in Millionen Franken, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.
 KS21 Stilllegungsziel 1: Entlassung aus der Kernenergiegesetzgebung; KS16 Stilllegungsziel: Entlassung aus der Kernenergiegesetzgebung.
 Kernkraftwerke Beznau (KKB), Mühleberg (KKM), Gösgen (KKG) und Leibstadt (KKL).
 Kostenstudie 2021 (KS21), Kostenstudie 2016 (KS16), Preisbasis 2021 (PB21).
^{a)} Die Kosten für Zwibez sind in den Gesamtkosten für KKB enthalten.

Tabelle 69: Stilllegungskostenermittlung der Kostenstudie 2021 für das Stilllegungsziel 2.

Element der Kostengliederung		KKB		KKM		KKG		KKL		Zwibez		Zwilag		Total
Aufgelaufene Kosten bis 2020		15		119		-		-		-		-		135
Zukünftige Kosten ab 2021														
Ausgangskosten		657		345		621		723		5		126		2'476
Kosten zur Risikominderung		17		10		14		15		0		2		58
Basiskosten		674		355		635		737		5		128		2'534
Prognoseungenauigkeiten	11.9%	80	9.9%	35	13.8%	88	13.5%	100	16.1%	1	13.0%	17	12.6%	320
Zuschlag für Gefahren	19.8%	133	16.4%	58	20.3%	129	18.6%	137	19.8%	1	20.3%	26	19.1%	484
Abzug für Chancen	-0.4%	-3	-0.5%	-2	-0.4%	-3	-0.4%	-3	-0.4%	0	-0.2%	0	-0.4%	-10
Genereller Sicherheitszuschlag	5.0%	34	5.0%	18	5.0%	32	5.0%	37	5.0%	0	5.0%	6	5.0%	127
Zuschlag auf zukünftige Basiskosten	36.3%	244	30.8%	109	38.7%	246	36.7%	271	40.5%	2	38.2%	49	36.3%	921
Gesamtkosten		934		584		880		1'008		6		177		3'589

Angaben in Millionen Franken, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.
 KS21 Stilllegungsziel 2: Vollständiger Rückbau inkl. Entfernung sämtlicher Fundamente bis -2 m ab Oberkante Terrain.
 Kernkraftwerke Beznau (KKB), Mühleberg (KKM), Gösgen (KKG) und Leibstadt (KKL).
 Kostenstudie 2021 (KS21), Kostenstudie 2016 (KS16), Preisbasis 2021 (PB21).

Tabelle 70: Stilllegungskostenermittlung der Kostenstudie 2021 für das Stilllegungsziel 3.
Vergleich mit der Kostenstudie 2016 auf der Preisbasis 2021.

Element der Kostengliederung	KKB		KKM		KKG		KKL		ZwibeZ		Zwilag		Total	
Aufgelaufene Kosten bis 2020	15		119		-		-		-		-		135	
Zukünftige Kosten ab 2021														
Ausgangskosten	672		354		634		737		6		133		2'536	
Kosten zur Risikominderung	17		10		14		15		0		2		58	
Basiskosten	690		365		648		752		6		134		2'595	
Prognoseungenauigkeiten	12.1%	83	9.9%	36	13.8%	89	12.7%	96	13.8%	1	13.0%	17	12.4%	323
Zuschlag für Gefahren	19.7%	136	16.1%	59	20.3%	132	18.5%	139	19.7%	1	20.0%	27	19.0%	494
Abzug für Chancen	-0.4%	-3	-0.5%	-2	-0.4%	-3	-0.4%	-3	-0.4%	0	-0.1%	0	-0.4%	-10
Genereller Sicherheitszuschlag	5.0%	34	5.0%	18	5.0%	32	5.0%	38	5.0%	0	5.0%	7	5.0%	130
Zuschlag auf Basiskosten	36.4%	251	30.6%	112	38.7%	251	35.9%	270	38.1%	2	37.9%	51	36.1%	937
Gesamtkosten	956		595		899		1'022		8		185		3'666	
Gesamtkosten KS16 PB21	1'010		626		916		1'158		- ^{a)}		164		3'874	
Differenz	-5.3%	-53	-4.9%	-31	-1.8%	-17	-11.7%	-136	- ^{a)}	8	13.0%	21	-5.4%	-208

Angaben in Millionen Franken, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.
 KS21 Stilllegungsziel 3: Vollständiger Rückbau inklusive Entfernung sämtlicher Fundamente; KS16 Stilllegungsziel 3: Vollständiger Rückbau inklusive Entfernung sämtlicher Fundamente.
 Kernkraftwerke Beznau (KKB), Mühleberg (KKM), Gösgen (KKG) und Leibstadt (KKL).
 Kostenstudie 2021 (KS21), Kostenstudie 2016 (KS16), Preisbasis 2021 (PB21).
^{a)} Die Kosten für ZwibeZ sind in den Gesamtkosten für KKB enthalten.

Die Stilllegungskosten für alle Schweizer Kernanlagen belaufen sich auf 3'364 Millionen Franken für das Stilllegungsziel 1, 3'589 Millionen Franken für das Stilllegungsziel 2 und 3'666 Millionen Franken für das Stilllegungsziel 3. Die Stilllegungskosten der KS16 sind in Tabelle 68 und Tabelle 70 ebenfalls aufgeführt und mit den Kosten der KS21 auf Preisbasis 1. Januar 2021 verglichen.

Die Stilllegungskosten der KS21 sinken teuerungsbereinigt für das Stilllegungsziel 1 um 7 Prozent und für das Stilllegungsziel 3 um 5 Prozent gegenüber der KS16. Der Zuschlag auf die Basiskosten beträgt in der KS21 rund 36 Prozent auf die zukünftigen Basiskosten.

Die Stilllegungskosten sinken teuerungsbereinigt je nach Kernkraftwerk und Stilllegungsziel um 2 bis 14 Prozent, einzig für das Zwilag ergibt sich eine Kostenerhöhung gegenüber der KS16 um 11 bis 13 Prozent in Abhängigkeit vom Stilllegungsziel. Die wichtigsten Änderungen gegenüber der KS16 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Mit der Überarbeitung der Stilllegungspläne werden die Stilllegungsarbeiten weitgehend mit dem technischen Nachbetrieb (ab EABN) parallelisiert. Dies führt insgesamt zu einer leichten Verkürzung der Gesamtdauer der Stilllegung. Diese Parallelisierung hat auch eine Anpassung der Reduktionsfaktoren der Betriebskosten im Nach- und Rückbaubetrieb entsprechend der neuen Projektmeilensteine notwendig gemacht. Die Verkürzung der Gesamtdauer der Stilllegung hat eine Reduktion der Rückbaubetriebskosten für die Kernkraftwerke zur Folge.
- Das radiologische Inventar aus der Aktivierung durch Neutronenstrahlung wurde neu ermittelt, was bei den Werken teilweise zu leicht reduzierten, aktivierten Komponentenmassen geführt hat. Zudem führt das für die KS21 teilweise angepasste Verpackungskonzept aufgrund der reduzierten Anzahl an Behältern zu reduzierten Anschaffungskosten von Behältern für Stilllegungsabfälle.
- Analog zur KS16 werden die verpackten, radioaktiven Abfälle in der KS21 nach einer Zwischenlagerung in das geologische Tiefenlager SMA verbracht. Die Ermittlung der zuteilbaren Lagerkosten für das geologische Tiefenlager SMA hat eine Erhöhung der spezifischen Kostenansätze pro Behältertyp ergeben, was trotz teilweise reduziertem Behälteraufkommen zu einer Erhöhung der zuteilbaren Tiefenlagerkosten gegenüber der KS16 führt.
- Bei den Anlagen der Zwilag führen die Aufnahme von seit der KS16 neu errichteten Gebäuden inklusive Anlagentechnik ausserhalb der kontrollierten Zone und neuen Komponenten in der kontrollierten Zone zu einer Erhöhung der Stilllegungskosten.

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 der Gesamtkosten liegen.

In der KS21 sind alle Kosten in Schweizer Franken ausgewiesen.

A Anhänge

A.1 Projektstrukturplan

In der KS16 wurde die Kostenstruktur für den Bereich Stilllegung weiterentwickelt und angepasst. Damit wurde einerseits eine verbindliche Basis für die Kostenplanung der Stilllegung des Kernkraftwerks Mühleberg geschaffen. Andererseits wurde 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 mit der KS16 eingeführte Kostenstruktur orientiert sich an den Anforderungen der Betreiber und des Stilllegungsfonds in der Projektabwicklung. Sie weist im Gegensatz zu früheren Kostenstrukturen eine rein funktionale Gliederung auf der Ebene der Hauptaktivitäten auf.

Die zugrunde gelegte Kostenstruktur ist auf die Erfordernisse der Projektabwicklung ausgerichtet. Die Gliederung in einzelne Massnahmen erfolgt auf den nachgelagerten Gliederungsebenen. Weiter wird die 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 Kostenschritte zusammengefasst. Die Inhalte der funktionalen Pakete sind nachfolgend kurz erläutert.

Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung

Für die Stilllegung muss der Betreiber 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 Betreiber dar⁷².

Die zum Stilllegungsprojekt einzureichenden Unterlagen sind in der Kernenergieverordnung⁷³ 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 Umbaumassnahmen für den Rückbau – standortbezogen

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

⁷²Art. 27 Abs. 2 KEG [7].

⁷³Art. 45 KEV [8].

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 Umbaumassnahmen für den Rückbau – blockbezogen

Die Kosten für Massnahmen zur Ausserbetriebnahme von nicht mehr benötigten Systemen 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 Kreisläufe allenfalls dekontaminiert. Die bei der Dekontamination anfallenden radioaktiven Abfälle werden entsprechend dem Schweizer Regelwerk⁷⁴ konditioniert, ggf. unter Verwendung von Gussbehältern. Die Kosten für die Konditionierung und die Behälter werden dem funktionalen Paket «Behandlung, Verpackung, Entsorgung, einschliesslich Endlagerung» zugeordnet.

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 oder bautechnische Massnahmen.
- Durchführung, zum Beispiel Demontage Komponenten im Reaktorgebäude, Teildemontage Infrastruktur Reaktorgebäude.

⁷⁴ENSI-B05 [45] sowie Vereinbarungen mit der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra).

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 Brennelementwechselmaschine, 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 Schilts. 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 Schilts 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/Kabelpritschen, 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, Unterlagenerstellung, 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 und Verpackung

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 Freimessung⁷⁵ die radiologische Befreiung oder, falls eine radiologische Befreiung nicht möglich ist, die Konditionierung als radioaktiver Abfall. Das funktionale Paket Behandlung und Verpackung 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.
- Befreiung, konventionelle Entsorgung, Erlöse mit den Teilschritten Befreiung Reststoffe, konventionelle Entsorgung (kostenneutral), konventionelle Entsorgung (Deponiegebühren), Erlöse, begleitende Massnahmen, Wartung und Instandhaltung.
- Abbau Einrichtungen zum Rückbau und zur Materialbearbeitung mit den Teilschritten Demontage Servicebereich Maschinenhaus, Erlöse aus dem Verkauf der Einrichtungen.

Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen

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.

⁷⁵ENSI-B04 [44].

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 Unterhaltssachkosten sowie die übrigen Aufwendungen zusammengefasst. Hierzu gehört auch die Bewachung der Anlage bis zur Entlassung des Standortes aus dem Kernenergiegesetz⁷⁶. Für die vorliegende Kostenermittlung wird angenommen, dass die Behörden beziehungsweise von ihrem beauftragten Gutachter 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, Maschinenteknik, Elektrotechnik, Leittechnik, Bautechnik, Feuerwehr).
- Werkstätten (Maschinenteknik, Elektrotechnik, Leittechnik, Schweisserei, Atemschutzwerkstatt, Gerüstbau, heisse Wäscherei, Sanitärbereich, Reinigung Kontrollbereich).
- Laufende Prüfung und Instandhaltung (Maschinenteknik, Elektrotechnik, Leittechnik, Bautechnik).
- Instandhaltungsprojekte (Maschinenteknik, Elektrotechnik, Leittechnik, Bautechnik).
- Betrieb IT (Hardware, Software, Lizenzen, IT-Projekte).
- Betriebs- und Unterhaltssachkosten (Strom, Heizöl, Hilfs- und Betriebsstoffe, Wasser, nukleare Versicherungen, Sach- und Vermögensversicherungen, Abgaben, Beiträge, Gebühren, Reisekosten, Repräsentationskosten, Vergütung und Spesen, Mieten und Benutzungsentschädigungen, Dokumentation, Gutachten, Studien, Beratung und Dienstleistungen, Betriebskleidung, Post, Rundfunk, Telefon, Büromaterial, Einrichtungen, Büro- und Verwaltungsaufwand).
- Betrieb Lagereinrichtungen (Lager Brennelemente, Lager radioaktive Abfälle, Materiallager, Notfalllager).
- Sonstige betriebliche Aufwendungen (allgemeine Dienstleistungen, Aussenanlagen, Fuhrpark, Anlagenreinigung konventionell, Abfallentsorgung konventionell, Supportleistungen Konzern, Konzessionsabgaben, Gebäudeinstandhaltung, Personalrestaurant, Betriebs- und Geschäftsausstattungen, Öffentlichkeitsarbeit, Erlöse).
- Die Höhe der Aufwendungen ist an bestimmte Rückbaufortschritte geknüpft, um den Fortgang der Stilllegung entsprechend zu berücksichtigen.

⁷⁶Gemäss Art. 26 Abs. 2 Bst. e KEG [7] in Verbindung mit Art. 47 Bst. e KEV [8].

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 71 gibt eine Übersicht der für die KS21 vorgegebenen Projektstruktur.

Tabelle 71: Funktionale Pakete zur Planung und Kostenermittlung der Stilllegungskosten.

Projekt- und Kostenstruktur für die Stilllegung

Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung
Vorbereitungs- und Umbaumaassnahmen - Standortbezogen
Vorbereitungs- und Umbaumaassnahmen - Blockbezogen
Abbau der Komponenten und Einrichtungen
Behandlung und Verpackung
Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen
Rückbaubetrieb
Projektleitung Rückbau
Stilllegung und Rückbau Zwischenlager ^{a)}

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

A.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:

- Aktivierung: Durch Neutronenstrahlung aktiviertes Material des Reaktordruckbehälters, seiner Einbauten, des biologischen Schildes sowie, in geringem Umfang, aktivierte Teile des Primärsystems.
- Innere Kontamination: Durch radioaktive Medien während des Betriebs kontaminierte Systeme und Komponenten.
- Äussere Kontamination: 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 sich das Aktivitätsniveau nicht wesentlich. Demnach werden sich auch die Stilllegungskosten aufgrund der Aktivierung nicht ändern.

Der Aufbau der Kontamination während des Betriebs ist nicht so einfach zu bestimmen wie der Aufbau der Aktivierung. Es ist jedoch von einem Aufbau der Kontamination auszugehen, wobei sich aber durch Revisions- und Dekontaminationsmassnahmen sowie durch Austausch von Komponenten auch eine Abnahme der Kontamination ergeben kann. Der Kontaminationslevel 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 Laufzeitdifferenz um zehn Jahre nicht nennenswert auf die zu erwartenden Rückbaukosten auswirken.

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 Kostenermittlung 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 [75], 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 von swissnuclear zur Überprüfung der Kostenstrukturen für die KS21 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 KS21 die International Structure for Decommissioning Costing nur zur ergänzenden Darstellung der Ergebnisse berücksichtigt. In Tabelle 72 bis Tabelle 77 sind die Basiskosten und die Gesamtkosten für das Stilllegungsziel 3 (Vollständiger Rückbau inkl. Entfernung sämtlicher Fundamente) für die Schweizer Kernanlagen in der International Structure for Decommissioning Costing dargestellt.

Tabelle 72: Basiskosten und Gesamtkosten gemäss den ISDC für die Stilllegung von KKB.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Stilllegungsziel 3 ^{a)}	
	Basiskosten	Gesamtkosten ^{b)}
Rückbau Kernkraftwerk (inkl. Abklinglagerung)	689.9	956.4
Pre-decommissioning actions	0.9	15.7
Facility shutdown activities	5.7	7.8
Additional activities for safe enclosure or entombment	-	-
Dismantling activities within the controlled area	132.9	181.1
Waste processing, storage and disposal	169.9	231.5
Site infrastructure and operation	122.4	166.8
Conventional dismantling, demolition and site restoration	46.5	63.3
Project management, engineering and support	170.8	234.4
Research and development	-	-
Fuel and nuclear material	-	-
Miscellaneous expenditures	40.9	55.8

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

^{a)} Stilllegungskosten einschliesslich konventioneller Rückbau.

^{b)} Inkl. aufgelaufene Kosten, Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten und Risiken sowie 5 % genereller Sicherheitszuschlag.

Tabelle 73: Basiskosten und Gesamtkosten gemäss den ISDC für die Stilllegung von KKM.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Stilllegungsziel 3 ^{a)}	
	Basiskosten	Gesamtkosten ^{b)}
Rückbau Kernkraftwerk (inkl. Abklinglagerung)	364.6	595.4
Pre-decommissioning actions	-	7.4
Facility shutdown activities	2.4	3.3
Additional activities for safe enclosure or entombment	-	-
Dismantling activities within the controlled area	91.2	166.3
Waste processing, storage and disposal	82.5	124.0
Site infrastructure and operation	58.9	76.9
Conventional dismantling, demolition and site restoration	19.1	25.0
Project management, engineering and support	89.5	148.5
Research and development	-	-
Fuel and nuclear material	-	-
Miscellaneous expenditures	20.9	43.9

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

^{a)} Stilllegungskosten einschliesslich konventioneller Rückbau.

^{b)} Inkl. aufgelaufene Kosten, Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten und Risiken sowie 5 % genereller Sicherheitszuschlag.

Tabelle 74: Basiskosten und Gesamtkosten gemäss den ISDC für die Stilllegung von KKG.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Stilllegungsziel 3 ^{a)}	
	Basiskosten	Gesamtkosten ^{b)}
Rückbau Kernkraftwerk (inkl. Abklinglagerung)	648.3	899.2
Pre-decommissioning actions	18.0	25.0
Facility shutdown activities	3.8	5.2
Additional activities for safe enclosure or entombment	-	-
Dismantling activities within the controlled area	106.5	147.7
Waste processing, storage and disposal	135.4	187.8
Site infrastructure and operation	134.6	186.7
Conventional dismantling, demolition and site restoration	39.3	54.5
Project management, engineering and support	167.6	232.5
Research and development	-	-
Fuel and nuclear material	-	-
Miscellaneous expenditures	43.1	59.7

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

^{a)} Stilllegungskosten einschliesslich konventioneller Rückbau.

^{b)} Inkl. aufgelaufene Kosten, Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten und Risiken sowie 5 % genereller Sicherheitszuschlag.

Tabelle 75: Basiskosten und Gesamtkosten gemäss den ISDC für die Stilllegung von KKL.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Stilllegungsziel 3 ^{a)}	
	Basiskosten	Gesamtkosten ^{b)}
Rückbau Kernkraftwerk (inkl. Abklinglagerung)	751.7	1'021.7
Pre-decommissioning actions	18.0	24.5
Facility shutdown activities	3.9	5.2
Additional activities for safe enclosure or entombment	-	-
Dismantling activities within the controlled area	138.7	188.6
Waste processing, storage and disposal	208.5	283.4
Site infrastructure and operation	105.6	143.6
Conventional dismantling, demolition and site restoration	56.2	76.4
Project management, engineering and support	203.2	276.2
Research and development	-	-
Fuel and nuclear material	-	-
Miscellaneous expenditures	17.4	23.7

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

^{a)} Stilllegungskosten einschliesslich konventioneller Rückbau.

^{b)} Inkl. aufgelaufene Kosten, Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten und Risiken sowie 5 % genereller Sicherheitszuschlag.

Tabelle 76: Basiskosten und Gesamtkosten gemäss den ISDC für die Stilllegung des Zwibez.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Stilllegungsziel 3 ^{a)}	
	Basiskosten	Gesamtkosten ^{b)}
Stilllegung und Rückbau Zwischenlager	5.7	7.9
Pre-decommissioning actions	1.2	1.6
Facility shutdown activities	-	-
Additional activities for safe enclosure or entombment	-	-
Dismantling activities within the controlled area	-	-
Waste processing, storage and disposal	0.6	0.9
Site infrastructure and operation	0.1	0.1
Conventional dismantling, demolition and site restoration	1.8	2.5
Project management, engineering and support	1.0	1.4
Research and development	-	-
Fuel and nuclear material	0.6	0.8
Miscellaneous expenditures	0.4	0.5

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

^{a)} Stilllegungskosten einschliesslich konventioneller Rückbau.

^{b)} Inkl. aufgelaufene Kosten, Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten und Risiken sowie 5 % genereller Sicherheitszuschlag.

Tabelle 77: Basiskosten und Gesamtkosten gemäss den ISDC für die Stilllegung des zentralen Zwischenlagers Würenlingen.

Arbeitspaket-Bezeichnung	Stilllegungsziel 3 ^{a)}	
	Basiskosten	Gesamtkosten ^{b)}
Rückbau Kernkraftwerk (inkl. Abklinglagerung)	134.4	185.5
Pre-decommissioning actions	2.8	3.9
Facility shutdown activities	0.2	0.3
Additional activities for safe enclosure or entombment	-	-
Dismantling activities within the controlled area	16.4	22.7
Waste processing, storage and disposal	13.8	19.0
Site infrastructure and operation	26.1	36.0
Conventional dismantling, demolition and site restoration	16.4	22.6
Project management, engineering and support	37.4	51.6
Research and development	-	-
Fuel and nuclear material	-	-
Miscellaneous expenditures	21.3	29.4

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

^{a)} Stilllegungskosten einschliesslich konventioneller Rückbau.

^{b)} Inkl. aufgelaufene Kosten, Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten und Risiken sowie 5 % genereller Sicherheitszuschlag.

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 (zuletzt aktualisiert 2020).
- Forschungsreaktor des Forschungszentrums in Petten 45 MWth, Betrieb seit 1962 Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (2005, zuletzt aktualisiert 2011).

Belgien

- Tihange 1, Druckwasserreaktor 962 MWel (netto), Betrieb seit 1975, Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (zuletzt aktualisiert 2019).
- Tihange 2, Druckwasserreaktor 1'008 MWel (netto), Betrieb seit 1983, Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (zuletzt aktualisiert 2019).
- Tihange 3, Druckwasserreaktor 1'015 MWel (netto), Betrieb seit 1985, Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (zuletzt aktualisiert 2019).
- Doel 1/2, Doppelblockanlage mit Druckwasserreaktor 392 beziehungsweise 433 MWel (netto), Betrieb seit 1975; Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (zuletzt aktualisiert 2019).
- Doel 3, Druckwasserreaktor 1'006 MWel (netto), Betrieb seit 1982, Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (zuletzt aktualisiert 2019).
- Doel 4, Druckwasserreaktor 1'008 MWel (netto), Betrieb seit 1985, Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (zuletzt aktualisiert 2019).
- 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 2019). Die Ergebnisse der Studie von 2010 wurden im gleichen Jahr 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 2016).
- Gösgen, Druckwasserreaktor 1'020 MWel von Siemens/KWU, Betrieb seit 1979, Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (zuletzt aktualisiert 2016).
- Leibstadt, Siedewasserreaktor 1'220 MWel von General Electric, Betrieb seit 1984, Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (zuletzt aktualisiert 2016).
- Mühleberg, Siedewasserreaktor 373 MWel von General Electric, Betrieb seit 1972, Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (zuletzt aktualisiert 2016).
- Zentrales Zwischenlager und Behandlungsanlagen der Zwiilag Zwischenlager Würenlingen AG; in Betrieb seit 2000, Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (zuletzt aktualisiert 2016).

A.5 Referenzen

- [1] swissnuclear, Kostenstudie 2021 (KS21) Mantelbericht, SN-AN-21.194, Olten, Schweiz, 2021.
- [2] swissnuclear, Kostenstudie 2021 (KS21) Ermittlung der Entsorgungskosten – Geologische Tiefenlagerung, SN-AN-21.198, Olten, Schweiz, 2021.
- [3] swissnuclear, Kostenstudie 2021 (KS21) Ermittlung der Entsorgungskosten – Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung, SN-AN-21.195, Olten, Schweiz, 2021.
- [4] swissnuclear, Kostenstudie 2021 (KS21) Ermittlung der Nachbetriebskosten der Schweizer Kernkraftwerke, SN-AN-21.196, Olten, Schweiz, 2021.
- [5] swissnuclear, Kostenstudie 2016 (KS16) Schätzung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen, FGK-AN-16.004, Olten, Schweiz, 2016.
- [6] swissnuclear, Kostenstudie 2021 (KS21) Abkürzungen, Begriffe, Glossar, SN-AN-21.199, Olten, Schweiz, 2021.
- [7] SR 732.1 Kernenergiegesetz (KEG) vom 21. März 2003 (Stand 1. Januar 2020).
- [8] SR 732.11 Kernenergieverordnung (KEV) vom 10. Dezember 2004 (Stand 1. Februar 2019).
- [9] SR 732.17 Verordnung über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen (Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung, SEFV) vom 7. Dezember 2007 (Stand 1. Januar 2020).
- [10] SR 814.50 Strahlenschutzgesetz (StSG) vom 22. März 1991 (Stand 1. Mai 2017).
- [11] SR 814.501 Strahlenschutzverordnung (StSV) vom 26. April 2017 (Stand 1. Februar 2019).
- [12] IAEA, GSR Part 6, Decommissioning of Facilities, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 6, STI/PUB/1652, Vienna 2014.
- [13] SR 732.12 Safeguardsverordnung (SaV) vom 21. März 2012 (Stand am 1. Juli 2016).
- [14] SR 732.112.1 Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und Sicherungsmassnahmen für Kernanlagen und Kernmaterialien vom 16. April 2008 (Stand am 1. Mai 2008).
- [15] SR 732.112.2 Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen vom 17. Juni 2009 (Stand am 1. Februar 2019).
- [16] SR 732.44 Kernenergiehaftpflichtgesetz (KHG) vom 18. März 1983 (Stand am 1. Januar 2011).
- [17] SR 732.441 Kernenergiehaftpflichtverordnung (KHV) vom 5. Dezember 1983 (Stand am 15. Februar 2015).
- [18] SR 220 Bundesgesetz betreffend die Ergänzung des Schweizerischen Zivilgesetzbuches (Fünfter Teil: Obligationenrecht) vom 30. März 1911 (Stand am 1. Januar 2020).
- [19] International Financial Reporting Standards (IFRS), www.ifrs.org.
- [20] Schweizer Standards für die Rechnungslegung in Unternehmen, Generally Accepted Accounting Principles, Fachempfehlungen zur Rechnungslegung, www.fer.ch (Swiss GAAP FER).
- [21] SR 822.11 Bundesgesetz über die Arbeit in Industrie, Gewerbe und Handel (Arbeitsgesetz, ArG) vom 13. März 1964 (Stand am 9. Dezember 2018).
- [22] SR 822.111 Verordnung 1 zum Arbeitsgesetz (ArGV 1) vom 10. Mai 2000 (Stand am 1. Januar 2016).
- [23] SR 822.112 Verordnung 2 zum Arbeitsgesetz (ArGV 2) (Sonderbestimmungen für bestimmte Gruppen von Betrieben oder Arbeitnehmern und Arbeitnehmerinnen) vom 10. Mai 2000 (Stand am 1. April 2019).
- [24] SR 822.113 Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz (ArGV 3) (Gesundheitsschutz) vom 18. August 1993 (Stand am 1. Oktober 2015).
- [25] SR 822.114 Verordnung 4 zum Arbeitsgesetz (ArGV 4) (Industrielle Betriebe, Plangenehmigung und Betriebsbewilligung) vom 18. August 1993 (Stand am 1. Mai 2015).

- [26] SR 832.30 Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten (Verordnung über die Unfallverhütung, VUV) vom 19. Dezember 1983 (Stand am 1. Mai 2018).
- [27] SR 832.20 Bundesgesetz über die Unfallversicherung (UVG) vom 20. März 1981 (Stand am 1. Januar 2020).
- [28] SR 832.202 Verordnung über die Unfallversicherung (UVV) vom 20. Dezember 1982 (Stand am 1. April 2018).
- [29] SR 732.13 Verordnung über sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen in Kernanlagen (VBRK) vom 9. Juni 2006 (Stand am 1. Januar 2009).
- [30] SR 819.14 Verordnung über die Sicherheit von Maschinen (Maschinenverordnung, MaschV) vom 2. April 2008 (Stand am 15. Januar 2017).
- [31] SR 814.501.43 Verordnung des EDI über die Personen- und Umgebungsdosimetrie (Dosimetrierverordnung) vom 26. April 2017 (Stand am 1. Januar 2018).
- [32] SR 732.143.1 Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen (VAPK) vom 9. Juni 2006 (Stand am 1. Januar 2009).
- [33] SR 732.222 Gebührenverordnung des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats (Gebührenverordnung ENSI) vom 9. September 2008 (Stand am 1. Januar 2009).
- [34] SR 814.56 Verordnung über die Gebühren im Strahlenschutz (GebV-StS) vom 26. April 2017 (Stand am 1. Januar 2018).
- [35] ENSI-A01 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen A01/d, Technische Sicherheitsanalyse für bestehende Kernanlagen: Umfang, Methodik und Randbedingungen, Ausgabe Januar 2020.
- [36] ENSI-A03 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen A03/d, Periodische Sicherheitsüberprüfung von Kernkraftwerken, Ausgabe Oktober 2014 (Änderung vom Oktober 2018).
- [37] ENSI-A04 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen A04/d, Gesuchsunterlagen für freigabepflichtige Änderungen an Kernanlagen, Revision 1 vom 24. September 2009 (Änderung vom 13. April 2016).
- [38] ENSI-A05 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen A05/d, Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Qualität und Umfang, Ausgabe Januar 2018.
- [39] ENSI-A06 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen A06/d, Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Anwendungen, Ausgabe November 2015.
- [40] ENSI-A08 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen A08/d, Quelltermanalyse: Umfang, Methodik und Randbedingungen, Ausgabe Februar 2010.
- [41] ENSI-B01 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B01/d, Alterungsüberwachung, Ausgabe August 2011.
- [42] ENSI-B02 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B02/d, Periodische Berichterstattung der Kernanlagen, Ausgabe September 2008, Revision 5 vom 30. Juni 2015.
- [43] ENSI-B03 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B03/d, Meldungen der Kernanlagen, Ausgabe September 2008, Revision 4 vom 28. November 2016.
- [44] ENSI-B04 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B04/d, Befreiung von Kontroll- und Überwachungsbereichen sowie Materialien von der Bewilligungspflicht und Aufsicht, Ausgabe November 2018.
- [45] ENSI-B05 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B05/d, Anforderungen an die Konditionierung radioaktiver Abfälle, Ausgabe Februar 2007, Revision 1 vom 20. Dezember 2018.
- [46] ENSI-B06 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B06/d, Sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen: Instandhaltung, Revision 2 vom 1. Juni 2013.
- [47] ENSI-B07 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B07/d, Sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen: Qualifizierung der zerstörungsfreien Prüfungen, Ausgabe September 2008.
- [48] ENSI-B09 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B09/d, Ermittlung und Aufzeichnung der Dosis strahlenexponierter Personen, Ausgabe Juli 2018.

- [49] ENSI-B10 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B10/d, Ausbildung, Wiederholungsschulung und Weiterbildung von Personal, Ausgabe Oktober 2010.
- [50] ENSI-B11 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B11/d, Notfallübungen, Ausgabe November 2007, Revision 1 vom 1. Januar 2013 (geändert am 23. Dezember 2015).
- [51] ENSI-B12 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B12/d, Notfallschutz in Kernanlagen, Ausgabe August 2019.
- [52] ENSI-B13 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B13/d, Ausbildung und Fortbildung des Strahlenschutzpersonals, Ausgabe November 2010.
- [53] ENSI-B14 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B14/d, Instandhaltung sicherheitstechnisch klassierter elektrischer und leittechnischer Ausrüstungen, Ausgabe Dezember 2010.
- [54] ENSI-B17 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B17/d, Betrieb von Zwischenlagern für radioaktive Abfälle, Ausgabe Januar 2020.
- [55] ENSI-G01 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G01/d, Sicherheitstechnische Klassierung für bestehende Kernkraftwerke, Ausgabe Januar 2011.
- [56] ENSI-G05 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G05/d, Transport- und Lagerbehälter für die Zwischenlagerung, Ausgabe April 2008 (Änderung vom 20. Dezember 2018).
- [57] ENSI-G07 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G07/d, Organisation von Kernanlagen, Ausgabe Juli 2013.
- [58] ENSI-G08 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G08/d, Systematische Sicherheitsbewertungen des Betriebs von Kernanlagen, Ausgabe Juni 2015.
- [59] ENSI-G09 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G09/d, Betriebsdokumentation, Ausgabe Juni 2014 (Änderung vom 19. August 2019).
- [60] ENSI-G13 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G13/d, Messmittel für ionisierende Strahlung, Ausgabe Oktober 2015 (Änderung vom 23. November 2018).
- [61] ENSI-G14 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G14/d, Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung aufgrund von Emissionen radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen, Ausgabe Februar 2008, Revision 1 vom 21. Dezember 2009.
- [62] ENSI-G15 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G15/d, Strahlenschutzziele für Kernanlagen Ausgabe November 2010.
- [63] ENSI-G17 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G17/d, Stilllegung von Kernanlagen, Ausgabe April 2014.
- [64] HSK-R-07 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen R-07/d, Richtlinie für den überwachten Bereich der Kernanlagen und des Paul Scherrer Institutes, Ausgabe Juni 1995.
- [65] HSK-R-46 Richtlinie für schweizerische Kernanlagen R-46/d, Anforderungen für die Anwendung von sicherheitsrelevanter rechnerbasierter Leittechnik in Kernkraftwerken, Ausgabe April 2005.
- [66] HSK R-50 Richtlinie für schweizerische Kernanlagen R-50/d, Sicherheitstechnische Anforderungen an den Brandschutz in Kernanlagen, Ausgabe März 2003.
- [67] IAEA SRS No 50 Decommissioning Strategies for Facilities Using Radioactive Material, Safety Reports Series No. 50, STI/PUB/1281 (ISBN 92-0-113206-9), Vienna 2007.
- [68] IAEA SSG-47 Decommissioning of Nuclear Power Plants, Research Reactors and Other Nuclear Fuel Cycle Facilities, Specific Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. SSG-47, Vienna 2018.
- [69] IAEA WS-G-5.1 Release of Sites from Regulatory Control on Termination of Practices, Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. WS-G-5.1, STI/PUB/1244 (ISBN 92-0-101606-9), Vienna 2006.
- [70] ICRP Publication 103, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Ann. ICRP 37 (2-4), 2007.
- [71] IAEA GSR Part 2, Leadership and Management for Safety, General Safety Requirements, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 2, Vienna 2016.

- [72] IAEA GS-G-3.1 Application of the Management System for Facilities and Activities, Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-3.1, STI/PUB/1253 (ISBN 92-0-106606-6), Vienna 2006.
- [73] IAEA TRS No. 395 State of the Art Technology for Decontamination and Dismantling of Nuclear Facilities, IAEA Technical Report Series, Vienna 1999.
- [74] Thierfeldt, S. & Schartmann, F. (Bundesministerium für Bildung und Forschung), Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen – Erfahrungen und Perspektiven – 3. neu bearb. Aufl., Aachen, Brenk Systemplanung, November 2009.
- [75] OECD, Nuclear Energy Agency NEA, International Structure for Decommissioning Costing (ISDC) of Nuclear Installations, NEA No. 7088 (ISBN 978-92-64-99173-6), OECD 2012.
- [76] OECD, Nuclear Energy Agency NEA, Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants - an Internal Overview of Cost Elements, Estimation Practices and Reporting Requirements, NEA No. 6831 (ISBN 978-92-64-99133-0), OECD 2010.
- [77] OECD, Nuclear Energy Agency NEA, Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants, NEA No. 7201, OECD 2016.
- [78] U. S. DOE G 413.3-21A U. S. Department of Energy, Cost Estimating Guide, Washington D. C., June 2018.
- [79] IAEA TECDOC-1476 Safety Related Publications, Financial Aspects of Decommissioning, Vienna, November 2005.
- [80] IAEA SSR-5, Disposal of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Requirements No. SSR-5, STI/PUB/1449, Vienna 2011.
- [81] IAEA SSR-6 (Rev. 1), Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, Specific Safety Requirements, IAEA Safety Standards Series No. SSR-6 (Rev.1), Vienna 2018.
- [82] IAEA, GS-G-3.3, The Management of System for the Processing, Handling and Storage of Radioactive Waste, IAEA Safety Guide No. GS-G-3.3, STI/PUB/1329, Vienna 2008.
- [83] IAEA, GSR Part 6, Decommissioning of Facilities, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 6, STI/PUB/1652, Vienna 2014.
- [84] IAEA, GSG-3, The Safety Case and Safety Assessment for the Predisposal Management of Radioactive Waste, General Safety Guide No. GSG-3, STI/PUB/1576, Vienna 2013.
- [85] IAEA, WS-G-5.2, Safety Assessment for the Decommissioning of Facilities Using Radioactive Material, IAEA Safety Standards No. WS-G-5.2, STI/PUB/1372, Vienna 2008.
- [86] IAEA, GS-G-3.4, The Management System for the Disposal of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards No. GS-G-3.4, STI/PUB/1330, Vienna 2008.
- [87] IAEA, SSG-29, Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste, IAEA Safety Standards No. SSG-29, STI/PUB/1637, Vienna 2014.
- [88] IAEA, SSG-40, Predisposal Management of Radioactive Waste from Nuclear Power Plants and Research Reactors, IAEA Safety Standards No. SSG-40, STI/PUB/1719, Vienna 2016.
- [89] SR 742.412 Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter mit Eisenbahnen und Seilbahnen (RSD) vom 31. Oktober 2012 (Stand am 1. Januar 2019).
- [90] Convention relative aux transports internationaux ferroviaires (COTIF), Appendice C – Règlement concernant le transport international ferroviaire des marchandises dangereuses (RID), applicable à partir du 1er janvier 2015.
- [91] SR 0.742.403.1, Übereinkommen über den internationalen Eisenbahnverkehr (COTIF 1980) vom 9. Mai 1980 (Stand am 8. August 2006).
- [92] SR 741.621 Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (SDR) vom 29. November 2002 (Stand am 1. Januar 2019).

- [93] SR 0.741.621 Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (ADR) vom 30. September 1957 (Stand am 19. Juni 2019).
- [94] IAEA SSG-26, Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material (2012 Edition), Specific Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. SSG-26, Vienna 2014.
- [95] Sicherheitstechnische Regel des Kerntechnischen Ausschusses (KTA, Deutschland), KTA 1401 Allgemeine Anforderungen an die Qualitätssicherung, Fassung 2013-11.
- [96] Deutsches Institut für Normung e.V., DIN EN ISO 9001 (2015) Qualitätsmanagementsysteme - Anforderungen (ISO/DIS 9001:2015), Berlin: Beuth.

A.6 Verwendete Abkürzungen

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

Pb	Blei
PB16	Preisbasis 01.01.2016
PB21	Preisbasis 01.01.2021
PSP	Projektstrukturplan
PSP-Element	Element im Projektstrukturplan
PU	Prognoseungenauigkeiten
RDB	Reaktordruckbehälter
RID	Ordnung über die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter
RSD	Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter mit Eisenbahnen und Seilbahnen
RM	Kosten für Massnahmen zur Risikominderung
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
STENFO	Stilllegungsfonds für Kernanlagen und Entsorgungsfonds für Kernkraftwerke
StSG	Strahlenschutzgesetz
StSV	Strahlenschutzverordnung
U. S. DOE	United States Department of Energy
usw.	Und so weiter
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
VGB	Verband der Grosskessel-Besitzer e.V., Fachverband der Strom- und Wärmeerzeugung als freiwilliger Zusammenschluss der Kraftwerksbetreiber und -hersteller
VKF	Vereinigung kantonaler Feuerversicherungen
z. B.	Zum Beispiel
Zwibez	Zwischenlager Beznau
Zwilag	Zwilag Zwischenlager Würenlingen AG

swissnuclear

Postfach 1663, 4601 Olten

T +41 62 205 20 10

F +41 62 205 20 11

info@swissnuclear.ch

medien@swissnuclear.ch

www.swissnuclear.ch

www.kernenergie.ch

