



Kostenstudie 2021 (KS21)

Mantelbericht

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

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

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

Die letzte Ermittlung der Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten erfolgte im Jahr 2016. Sie wurde vom Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat sowie von unabhängigen Kostenprüfern geprüft. Die Verwaltungskommission des Stilllegungs- und des Entsorgungsfonds für Kernanlagen, im Folgenden kurz Verwaltungskommission genannt, genehmigte anschliessend die Kostenstudie 2016. 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 Eigentümer der Schweizer Kernanlagen swissnuclear, die neue Kostenstudie in Zusammenarbeit mit den für die Stilllegung und die Entsorgung in der Schweiz verantwortlichen Organisationen wie gesetzlich vorgeschrieben zu aktualisieren und bis Ende 2021 fertigzustellen. Dabei waren die von der Verwaltungskommission festgelegten Vorgaben für die Erstellung der Kostenstudie zu berücksichtigen. Mit den Berichten [1], [2] und [4] wird diesem Auftrag entsprochen. Auch die Empfehlungen aus der Überprüfung der Kostenstudie 2016 waren für die Erstellung der Kostenstudie 2021 zu berücksichtigen. Die Details hierzu sind den Anhängen A.3 und A.4 des Mantelberichts zu entnehmen. Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat und unabhängige Kostenprüfer werden im Auftrag der Verwaltungskommission die Kostenstudie 2021 wiederum prüfen.

Als Teil der Vorgaben für die Kostenstudie 2021 definierte die Verwaltungskommission erneut die bereits mit der Kostenstudie 2016 eingeführten verbindlichen Kostenstrukturen zur Darstellung der ermittelten Stilllegungs- und Entsorgungskosten. Darunter sind Kostenstrukturen zu verstehen, die durchgängig in allen Phasen der Kostenplanung und -feststellung angewendet werden können. Verbindliche Kostenstrukturen schaffen die Voraussetzungen, um Kosten transparent zu planen, aussagekräftig zu vergleichen und effektiv zu kontrollieren sowie den Prozess der Inanspruchnahme von Fondsmitteln effektiv abwickeln zu können.

Die Vorgaben für die Kostenstudie 2021 enthielten zudem Weisungen, wie mit Ungenauigkeiten und Risiken umzugehen ist. Dazu wurde wiederum die bereits in der Kostenstudie 2016 eingeführte Kostengliederung vorgegeben, die bei der Ermittlung und der Darstellung der Kosten berücksichtigt wurde.

^aArt 26 und Art. 31 des Kernenergiegesetzes [7].

^bArt 77 des Kernenergiegesetzes [7].

^cArt. 4 Abs. 1 der Verordnung über den Stilllegungs- und den Entsorgungsfonds [9].

Die zwei Begriffe Kostengliederung und Kostenstruktur sind voneinander abzugrenzen:

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

Die Kostenermittlungen basieren gemäss Vorgabe der Verwaltungskommission auf dem gesetzlichen und regulatorischen Rahmen per 1. Januar 2020.

Die Kostenstudien werden jeweils zum Geldwert des Schätzungsjahres durchgeführt («Overnight»-Kosten). Für den direkten Vergleich wurden die in der Kostenstudie 2016 ermittelten Kosten von der Preisbasis 2016 auf die Preisbasis 2021 der Kostenstudie 2021 hochgerechnet. Die verwendete Teuerungsrate von 0.5 Prozent pro Jahr ist in der Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung verankert.

Die Kosten für die teuerste Variante mit vollständigem Rückbau der Kernanlagen und die Entsorgung aller Abfälle in zwei getrennten Lagern an unterschiedlichen Standorten betragen 24'650 Millionen Franken – ohne Nachbetrieb 23'083 Millionen Franken. In der Tabelle 1 werden weiter die Gesamtkosten mit Abzug der wahrscheinlichen Chance der Realisierung eines Kombilagers aufgeführt, sowie die Kosten für die verschiedenen Stilllegungsziele.

Die nachstehende Tabelle 1 zeigt das Ergebnis der Kostenstudie 2021 für die Teile Nachbetrieb, Stilllegung und Entsorgung im Vergleich zur Kostenstudie 2016.

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

Gesamtkosten	KKB	KKM	KKG	KKL	Zwibez	Zwilag	Bund	Total
KS21 PB21								
Entsorgung mit Chance Kombilager (75 %) ^{a)}	4'488	2'082	5'116	5'485	-	-	1'020	18'191
Entsorgung Einzellager (zwei Standorte)	4'752	2'210	5'442	5'888	-	-	1'124	19'417
Stilllegung Ziel 3	956	595	899	1'022	8	185	-	3'666
Stilllegung Ziel 2 ^{b)}	934	584	880	1'008	6	177	-	3'589
Stilllegung Ziel 1	894	564	832	926	3	144	-	3'364
Nachbetrieb	455	321	369	423	-	-	-	1'567
Gesamtkosten Einzellager mit 75 % Chance Kombilager, Stilllegung Ziel 3 und Nachbetrieb	5'899	2'999	6'384	6'930	8	185	1'020	23'424
Gesamtkosten Einzellager und Stilllegung Ziel 3	5'709	2'806	6'342	6'910	8	185	1'124	23'083
KS16 PB21								
Entsorgung mit Chance Kombilager (75 %) ^{a)}	4'808	2'189	5'438	5'868	-	-	1'221	19'525
Entsorgung Einzellager (zwei Standorte)	5'077	2'338	5'742	6'289	-	-	1'332	20'778
Stilllegung Ziel 3	1'010	626	916	1'158	- ^{c)}	164	-	3'874
Stilllegung Ziel 1	958	600	859	1'083	- ^{c)}	129	-	3'630
Nachbetrieb	474	348	445	480	-	-	-	1'746
Gesamtkosten Einzellager mit 75 % Chance Kombilager, Stilllegung Ziel 3 und Nachbetrieb	6'292	3'163	6'799	7'506	-	164	1'221	25'145
Diff. KS21 KS16								
Entsorgung mit Chance Kombilager (75 %) ^{a)}	-320	-106	-323	-383	-	-	-201	-1'334
Entsorgung Einzellager (zwei Standorte)	-325	-128	-299	-401	-	-	-208	-1'361
Stilllegung Ziel 3	-53	-31	-17	-136	- ^{c)}	21	-	-208
Stilllegung Ziel 1	-64	-36	-27	-157	- ^{c)}	14	-	-266
Nachbetrieb	-19	-27	-76	-57	-	-	-	-179
Gesamtkosten Einzellager mit 75 % Chance Kombilager, Stilllegung Ziel 3 und Nachbetrieb	-393	-164	-415	-576	8	21	-201	-1'721
Diff. KS21 KS16 (%)								
Entsorgung mit Chance Kombilager (75 %) ^{a)}	-6.7%	-4.9%	-5.9%	-6.5%	-	-	-16.5%	-6.8%
Entsorgung Einzellager (zwei Standorte)	-6.4%	-5.5%	-5.2%	-6.4%	-	-	-15.7%	-6.6%
Stilllegung Ziel 3	-5.3%	-4.9%	-1.8%	-11.7%	- ^{c)}	13.0%	-	-5.4%
Stilllegung Ziel 1	-6.7%	-6.0%	-3.1%	-14.5%	- ^{c)}	11.2%	-	-7.3%
Nachbetrieb	-4.1%	-7.7%	-17.1%	-11.9%	-	-	-	-10.2%
Gesamtkosten Einzellager mit 75 % Chance Kombilager, Stilllegung Ziel 3 und Nachbetrieb	-6.2%	-5.2%	-6.1%	-7.7%	-	13.0%	-16.5%	-6.8%

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

Kernkraftwerke Beznau (KKB), Mühleberg (KKM), Gösgen (KKG) und Leibstadt (KKL).

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

Stilllegungsziel 1: Entlassung aus der Kernenergiegesetzgebung.

Stilllegungsziel 2: Vollständiger Rückbau inkl. Entfernung der Fundamente und Betonkonstruktion bis -2 m ab Oberkante Terrain.

Stilllegungsziel 3: Vollständiger Rückbau inkl. Entfernung sämtlicher Fundamente.

^{a)} Das Kombilager ist eine vorteilhafte, wahrscheinliche Variante (vgl. Entsorgungsprogramm 2021), da ein Kombilager genauso sicher gebaut und betrieben werden kann wie zwei Einzellager, in allen Standortregionen ein ausreichendes Platzangebot für ein Kombilager vorhanden ist, ein Kombilager ökologisch und raumplanerisch vorteilhaft ist sowie im Bewusstsein der Öffentlichkeit ein Kombilager als wahrscheinliche Lagervariante gilt. Aus diesen Gründen wird die Chance Kombilager mit einer Gewichtung von 75 Prozent berücksichtigt.

^{b)} in der KS16 nur als Chance ausgewiesen.

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

Auch neue Erkenntnisse und Erfahrungen aus laufenden nuklearen Rückbauprojekten sowie aus der Entwicklung der Planung der geologischen Tiefenlager flossen in die Kostenstudie 2021 ein. Dabei werden auch die aktuellen Erkenntnisse aus der Stilllegung des Kernkraftwerks Mühleberg und aus der vorbereitenden Stilllegungsplanung für das Kernkraftwerk Beznau berücksichtigt. Die wesentlichen Abweichungen der Kostenstudie 2021 gegenüber den teuerungsbereinigten Kosten der KS16 lassen sich wie folgt zusammenfassend erläutern.

Die Entsorgungskosten sinken um durchschnittlich rund 7 Prozent. Die Kostenreduktion im Vergleich zur KS16 kann im Wesentlichen auf verschiedene Projektoptimierungen an den geologischen Tiefenlagern zurückgeführt werden:

- Für den in der KS21 betrachteten modellhaften Standort des SMA-Lagers Jura Ost werden die Nutzung der Synergien mit der Zwiilag insbesondere bezüglich der Verpackung der SMA im Basisprojekt berücksichtigt. Dies erlaubt auch die Nutzung grösserer Endlagerbehälter für einen relevanten Teil der SMA.
- Für den in der KS21 betrachteten Standort des HAA-Lagers Zürich Nordost wird eine geänderte Zugangskonfiguration zum geologischen Tiefenlager im Basisprojekt berücksichtigt. Alle Zugänge nach Untertag sind nun als Schächte ausgestaltet. Dies gilt auch für das Kombilager.
- Für die Basisprojekte und das Kombilager wurden die Normalprofile und Sicherungstypen der Zugänge nach Untertag und der Bauwerke auf Lagerebene weiterentwickelt und die Kosten entsprechend neu ermittelt.
- Die Verpackungsanlage für abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle wurde weiterentwickelt und die Kosten wurden entsprechend neu ermittelt.
- Für die Basisprojekte und das Kombilager wurde das Verschlusskonzept (Verfüllung und Versiegelung der Bauwerke auf Lagerebene sowie der Zugänge nach Untertag) weiterentwickelt und die Kosten wurden entsprechend neu ermittelt.

Ein Vergleich der Nachbetriebskosten zeigt, dass der Nachbetrieb unter Berücksichtigung sämtlicher Zuschläge für alle Werke in der KS21 weniger kostet als in der KS16. In der Summe betragen die Minderkosten beim Nachbetrieb rund 10 Prozent. Dies ist auf eine Aktualisierung der Eingangsdaten (aktuelles Personalmengengerüst und Sachkosten) für die Berechnung der Nachbetriebskosten an die aktuelle Situation im Leistungsbetrieb zurückzuführen. Für das Kernkraftwerk Mühleberg wurde zudem die Dauer des Nachbetriebs um sechs Monate verkürzt.

Die Stilllegungskosten sinken, bezogen auf das Stilllegungsziel vollständiger Rückbau, durchschnittlich um rund 5 Prozent. Neben der auch für die Ermittlung der Nachbetriebskosten relevanten Aktualisierung der Eingangsdaten zur Bestimmung der jährlichen Betriebskosten ist diese Kostenreduktion auf die Überarbeitung der Stilllegungspläne für die Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt zurückzuführen. Diese sieht neu eine weitgehende Parallelisierung der Stilllegungsarbeiten mit dem Nachbetrieb vor. Während die Dauer der einzelnen Stilllegungsarbeiten gegenüber der KS16 weitestgehend unverändert bleibt, führt die Parallelisierung der Tätigkeiten zu einem früheren Start der Stilllegungsarbeiten und damit zu einer Verkürzung der Gesamtdauer der Stilllegung.

Die nächste Kostenermittlung ist für 2026 vorgesehen.

Résumé

Les propriétaires d'installations nucléaires suisses sont tenus^d de démanteler leurs installations après leur mise hors service définitive, d'évacuer tous les déchets radioactifs résultant de l'exploitation et du démantèlement des installations dans des dépôts en couches géologiques profondes et de prendre en charge tous les coûts de ces opérations. Afin de respecter le principe de causalité, la loi en Suisse règle le financement du démantèlement des installations nucléaires et de l'élimination des déchets radioactifs qu'elles produisent. Pour assurer les ressources financières nécessaires, deux fonds contrôlés par l'État et alimentés par les exploitants des installations nucléaires suisses ont été créés. Après la mise hors service des installations nucléaires, ces fonds doivent disposer de ressources suffisantes pour couvrir les coûts encourus pour la désaffectation et le stockage des déchets^e. En outre, les propriétaires des installations nucléaires sont tenus de prendre leurs propres dispositions pour financer les coûts de gestions des déchets encourus avant la mise hors service définitive, ainsi que les coûts de la post-exploitation.

Les versements à ces deux fonds contrôlés par l'État, le fonds de désaffectation et le fonds de gestion des déchets radioactifs, ainsi que les provisions des propriétaires d'installations nucléaires pour la désaffectation et la gestion des déchets radioactifs sont évalués sur la base d'une détermination complète des coûts de désaffectation et de gestion des déchets radioactifs. Selon l'Ordonnance sur le fonds de désaffectation et sur le fonds de gestion des déchets radioactifs pour les installations nucléaires, l'évaluation doit être effectuée tous les cinq ans^f. Suite à la mise à jour de l'évaluation des coûts, les coûts de post-exploitation, qui sont payés directement par les centrales nucléaires, sont également recalculés.

La dernière estimation des coûts de post-exploitation, de désaffectation et de gestion a été réalisée en 2016. Elle a été vérifiée par l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire et par des vérificateurs de compte indépendants et approuvée par la Commission administrative des fonds de désaffectation et de gestion, ci-après Commission administrative. C'est sur cette base qu'ont été fixées les provisions comptables et les contributions aux fonds pour les années 2017 à 2021.

En 2018, les exploitants des centrales nucléaires suisses ont chargé swissnuclear d'actualiser et finaliser d'ici fin 2021 la nouvelle étude de coûts en collaboration avec les organisations responsables de la désaffectation et de la gestion en Suisse, comme le prévoit la loi. Les exigences fixées par la Commission administrative pour l'établissement de l'étude de coûts ont dû être respectées. Cette demande est satisfaite par le biais des rapports [1], [2] et [4]. Les recommandations issues de la vérification de l'étude de coûts 2016 devaient également être intégrées dans l'établissement de l'étude de coûts 2021. Pour plus de détails à ce sujet, se reporter aux annexes A.3 et A.4 du rapport récapitulatif. L'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire et des contrôleurs de coûts indépendants vérifieront à nouveau l'étude de coûts 2021 à la demande de la Commission administrative.

Parmi les consignes pour l'étude de coûts 2021, la Commission administrative a de nouveau défini des structures contraignantes de coûts, déjà introduites lors de l'évaluation en 2016, pour établir les coûts identifiés de désaffectation et de gestion. Il faut comprendre par ce terme des structures de coûts appliquées en continu dans toutes les phases de la planification et de la détermination des coûts. Ces structures de coûts contraignantes instaurent les conditions nécessaires pour planifier les coûts de façon transparente, les comparer de manière pertinente et les contrôler en toute efficacité, mais aussi pour pouvoir traiter efficacement le processus d'utilisation des moyens du fonds.

Les prescriptions en vigueur pour l'étude de coûts 2021 comprenaient par ailleurs des directives sur la façon de traiter les imprécisions et les risques. Pour cela, la ventilation des coûts déjà introduite dans l'étude de coûts 2016 a été à nouveau prescrite et prise en compte dans la détermination et la présentation des coûts.

^dArt. 26 et Art. 31 de la Loi sur l'énergie nucléaire [7].

^eArt. 77 de la Loi sur l'énergie nucléaire [7].

^fArt. 4 al. 1 de l'Ordonnance sur le fonds de désaffectation et sur le fonds de gestion [9].

Les deux termes de ventilation des coûts et de structure des coûts doivent être différenciés :

- La structure des coûts attribue les coûts totaux aux différentes activités et unités organisationnelles de la post-exploitation, de la désaffectation et de la gestion.
- La ventilation des coûts considère la détermination des coûts du point de vue de son caractère de risque. Elle fait aussi la différence non seulement entre les coûts initiaux calculés et les coûts pour les mesures de réduction du risque, mais aussi entre les suppléments pour les imprécisions des prévisions et les risques, ainsi que les réductions de coûts pour les chances et un supplément de sécurité.

Les déterminations des coûts reposent sur le cadre légal et réglementaire au 1.1.2020.

Les études de coûts sont exécutées à la valeur monétaire de l'année d'estimation (coûts «Overnight»). Pour la comparaison directe, les coûts déterminés dans l'étude de coûts 2016 ont été extrapolés de la base de prix 2016 à la base de prix 2021 de l'étude de coûts 2021. Le taux de renchérissement utilisé, de 0,5% par an, est ancré dans l'Ordonnance sur le fonds de désaffectation et sur le fonds de gestion.

Les coûts de la variante la plus coûteuse, comprenant le démantèlement complet des installations nucléaires et élimination de tous les déchets dans deux dépôts distincts sur des sites différents, s'élèvent à 24'650 millions de francs suisses - sans la post-exploitation : 23 083 millions de francs. Le tableau 2 présente en outre les coûts totaux après déduction selon la variante plus probable de réalisation d'un dépôt combiné, ainsi que les coûts pour les différents objectifs de démantèlement.

Le Tableau 2 ci-dessous présente le résultat de l'étude de coûts 2021 pour les parties post-exploitation, désaffectation et gestion, au regard de l'étude de coûts 2016.

Tableau 2: Coûts totaux de l'Étude de coûts 2021. Comparaison avec l'Étude de coûts 2016 avec base de prix 2021.

Coûts totaux	CNB	CNM	CNG	CNL	Zwibez	Zwilag	Confédération	Total
EC21 BP21								
Gestion des déchets avec chance dépôt combiné (75 %)^{a)}	4'488	2'082	5'116	5'485	-	-	1'020	18'191
Gestion des déchets avec 2 dépôts (2 sites)	4'752	2'210	5'442	5'888	-	-	1'124	19'417
Objectif de désaffectation 3	956	595	899	1'022	8	185	-	3'666
Objectif de désaffectation 2 ^{b)}	934	584	880	1'008	6	177	-	3'589
Objectif de désaffectation 1	894	564	832	926	3	144	-	3'364
Post-exploitation	455	321	369	423	-	-	-	1'567
Coûts totaux avec chance dépôt combiné (75 %), objectif de désaffectation 3 et post-exploitation	5'899	2'999	6'384	6'930	8	185	1'020	23'424
Coûts totaux avec 2 dépôts (2 sites) et objectif de désaffectation 3	5'709	2'806	6'342	6'910	8	185	1'124	23'083
EC16 BP21								
Gestion des déchets avec chance dépôt combiné (75 %)^{a)}	4'808	2'189	5'438	5'868	-	-	1'221	19'525
Gestion des déchets avec 2 dépôts (2 sites)	5'077	2'338	5'742	6'289	-	-	1'332	20'778
Objectif de désaffectation 3	1'010	626	916	1'158	-^{c)}	164	-	3'874
Objectif de désaffectation 1	958	600	859	1'083	- ^{c)}	129	-	3'630
Post-exploitation	474	348	445	480	-	-	-	1'746
Coûts totaux avec chance dépôt combiné (75 %), objectif de désaffectation 3 et post-exploitation	6'292	3'163	6'799	7'506	-	164	1'221	25'145
Diff. EC21 EC16								
Gestion des déchets avec chance dépôt combiné (75 %)^{a)}	-320	-106	-323	-383	-	-	-201	-1'334
Gestion des déchets avec 2 dépôts (2 sites)	-325	-128	-299	-401	-	-	-208	-1'361
Objectif de désaffectation 3	-53	-31	-17	-136	-^{c)}	21	-	-208
Objectif de désaffectation 1	-64	-36	-27	-157	- ^{c)}	14	-	-266
Post-exploitation	-19	-27	-76	-57	-	-	-	-179
Coûts totaux avec chance dépôt combiné (75 %), objectif de désaffectation 3 et post-exploitation	-393	-164	-415	-576	8	21	-201	-1'721
Diff. EC21 EC16 (%)								
Gestion des déchets avec chance dépôt combiné (75 %)^{a)}	-6.7%	-4.9%	-5.9%	-6.5%	-	-	-16.5%	-6.8%
Gestion des déchets avec 2 dépôts (2 sites)	-6.4%	-5.5%	-5.2%	-6.4%	-	-	-15.7%	-6.6%
Objectif de désaffectation 3	-5.3%	-4.9%	-1.8%	-11.7%	-^{c)}	13.0%	-	-5.4%
Objectif de désaffectation 1	-6.7%	-6.0%	-3.1%	-14.5%	- ^{c)}	11.2%	-	-7.3%
Post-exploitation	-4.1%	-7.7%	-17.1%	-11.9%	-	-	-	-10.2%
Coûts totaux avec chance dépôt combiné (75 %), objectif de désaffectation 3 et post-exploitation	-6.2%	-5.2%	-6.1%	-7.7%	-	13.0%	-16.5%	-6.8%

Chiffres en millions de francs, les écarts dans les totaux sont dus aux arrondis.

Centrales nucléaires de Beznau (CNB), Mühleberg (CNM), Gösgen (CNG) et Leibstadt (CNL).

Étude de coûts 2021 (EC21), Étude de coûts 2016 (EC16), Base de prix 2021 (BP21).

Objectif de désaffectation 1 : Sortie de la législation sur l'énergie nucléaire.

Objectif de désaffectation 2 : Démantèlement complet, y compris l'enlèvement des fondations et de la construction en béton jusqu'à -2 m du bord supérieur du terrain.

Objectif de désaffectation 3 : Démantèlement complet, y compris l'enlèvement de toutes les fondations.

^{a)} Le stockage combiné est une variante probable et avantageuse (cf. Programme de gestion des déchets 2021), car un stockage combiné peut être construit et exploité de manière aussi sûre que deux stockages individuels ; il existe suffisamment de place pour un stockage combiné dans toutes les régions d'implantation ; un stockage combiné est avantageux du point de vue de l'écologie et de l'aménagement du territoire ; et la population est consciente qu'un stockage combiné est une variante.

^{b)} Dans le EC16 indiqué seulement comme chance.

^{c)} Les coûts de Zwibez sont compris dans les coûts de CNB.

Les nouveaux enseignements et expériences tirés des projets de démantèlement nucléaire en cours, tout comme de l'évolution de la planification des dépôts en couches géologiques profondes ont été pris en compte dans la détermination des coûts 2021. Les résultats actuels de la désaffectation de la centrale nucléaire de Mühleberg et de la planification préparatoire de la désaffectation de la centrale nucléaire de Beznau sont également pris en compte. Les principales déviations de l'étude de coûts de 2021 par rapport aux coûts corrigés de l'inflation de l'EC16 peuvent être expliquées comme suit.

Les coûts de gestion diminuent en moyenne d'environ 7%. Diverses optimisations de projets dans les dépôts en couches géologiques profondes ont, pour l'essentiel, permis de réduire les coûts par rapport à l'EC16:

- Pour le site du dépôt des déchets de faible et moyenne activité modèle de Jura Ost considéré dans l'EC21, l'exploitation des synergies avec Zwiilag, notamment en ce qui concerne le conditionnement des déchets de faible et moyenne activité, est prise en compte dans le projet de base. Cela permet également d'utiliser des conteneurs de dépôt plus grands pour une partie non-négligeable des déchets de faible et moyenne activité.
- Pour le site du dépôt des déchets de haute activité de Zürich Nordost considéré dans l'EC21, une modification de la configuration de l'accès au dépôt en couches géologiques profondes est prise en compte dans le projet de base. Tous les accès au sous-sol sont désormais conçus comme des puits. Cela s'applique également au dépôt combiné.
- Pour les projets de base et le dépôt combiné, les profils normaux et les types de sécurisation des accès souterrains et des installations dans la zone de stockage ont fait l'objet de développements plus poussés, et les coûts ont été recalculés en conséquence.
- L'installation de conditionnement du combustible usé et des déchets de haute activité a continué à être développée, et les coûts ont été recalculés en conséquence.
- Le concept de fermeture (remblayage et scellement des structures dans la zone de stockage et des accès au sous-sol) a été approfondi pour les projets de base et le dépôt combiné et les coûts ont été recalculés en conséquence.

Une comparaison des coûts de post-exploitation montre que la post-exploitation, en tenant compte de tous les suppléments pour toutes les centrales, coûte moins cher dans l'EC21 que dans l'EC16. Au total, la réduction des coûts de post-exploitation s'élève à environ 10%. Cela est dû à une mise à jour des données d'entrée basées sur la situation actuelle lors de l'exploitation (structure actuelle des quantités de personnel et coûts des matériaux) pour le calcul des coûts de post-exploitation. Pour la centrale nucléaire de Mühleberg, la durée de la post-exploitation a également été raccourcie de 6 mois.

Les coûts de désaffectation diminuent en moyenne d'environ 5% par rapport à l'objectif de démantèlement complet. Outre la mise à jour des données d'entrée pour la détermination des coûts annuels d'exploitation, mise à jour qui est également pertinente pour la détermination des coûts de post-exploitation, cette réduction des coûts est due à la révision des plans de désaffectation des centrales nucléaires de Beznau, Gösgen et Leibstadt. Selon ces nouveaux plans, les travaux de désaffectation seront mis en parallèle avec ceux de la post-exploitation. Si la durée des différentes activités de désaffectation reste largement inchangée par rapport à l'EC16, la mise en parallèle des activités conduit à un démarrage plus précoce des activités de désaffectation et donc à un raccourcissement de la durée globale de la désaffectation.

La prochaine détermination des coûts est prévue pour 2026.

Riepilogo

I proprietari degli impianti nucleari svizzeri sono obbligati^g a smantellare i loro impianti dopo la definitiva disattivazione, a smaltire tutte le scorie radioattive derivanti dal funzionamento e dallo smantellamento degli impianti in strati geologici profondi e a sostenere tutti i relativi costi. Per assolvere il principio di causalità, il finanziamento delle operazioni di disattivazione degli impianti nucleari e lo smaltimento delle relative scorie radioattive in Svizzera è regolato per legge. Per assicurare la disponibilità dei mezzi finanziari necessari sono stati predisposti due Fondi controllati dallo Stato, che vengono alimentati dai gestori degli impianti nucleari svizzeri. Questi Fondi devono disporre, dopo la messa fuori esercizio degli impianti nucleari, di mezzi finanziari sufficienti per la copertura dei costi di disattivazione e smaltimento risultanti^h. I proprietari degli impianti nucleari sono inoltre tenuti a cautelarsi in proprio per il finanziamento dei costi di smaltimento insorti prima della definitiva disattivazione come pure dei costi della cosiddetta fase post-operativa.

I versamenti su entrambi i Fondi controllati dallo Stato, Fondo di disattivazione e Fondo di smaltimento, nonché gli accantonamenti dei proprietari degli impianti nucleari per la disattivazione e lo smaltimento, vengono calcolati sulla base di un esaustivo rilevamento dei costi di disattivazione e di smaltimento. In conformità a quanto previsto dall'Ordinanza sul Fondo di disattivazione e sul Fondo di smaltimento per gli impianti nucleari, il calcolo deve aver luogo ogni cinque anniⁱ. Con l'aggiornamento degli studi sui costi di disattivazione e di smaltimento, vengono sempre rilevati anche i costi per la fase post-operativa, che le centrali nucleari pagano direttamente.

L'ultima valutazione dei costi della fase post-operativa, di disattivazione e di smaltimento è stata effettuata nel 2016 ed è stata verificata dall'Ispettorato federale della sicurezza nucleare e da revisori indipendenti. La Commissione amministrativa del Fondo di disattivazione e del Fondo di smaltimento per gli impianti nucleari, qui di seguito denominata in breve Commissione amministrativa, ha successivamente approvato lo studio sui costi 2016. Questo studio ha costituito la base per la determinazione degli accantonamenti contabili e dei contributi da versare nei Fondi per gli anni dal 2017 al 2021.

Nel 2018, i proprietari degli impianti nucleari svizzeri hanno incaricato swissnuclear di aggiornare entro la fine del 2021, come prescritto dalla legge, la valutazione dei costi in collaborazione con le organizzazioni responsabili in Svizzera della disattivazione e dello smaltimento. Per l'allestimento di questo studio sono state tenute in considerazione le direttive stabilite dalla Commissione amministrativa. Con i rapporti [1], [2] e [4] viene soddisfatto questo mandato. Per l'allestimento dello studio sui costi 2021 andavano tenuti in debito conto anche le raccomandazioni derivate dal riesame dello studio sui costi 2016. I relativi dettagli sono reperibili negli allegati A.3 e A.4 di questo rapporto. L'Ispettorato federale della sicurezza nucleare e dei revisori indipendenti dei costi riverificheranno, su mandato della Commissione amministrativa, lo studio sui costi 2021.

Come parte delle direttive per lo studio sui costi 2021, la Commissione amministrativa ha nuovamente definito le strutture vincolanti già introdotte con lo studio sui costi 2016 per la presentazione dei costi rilevati di disattivazione e smaltimento. Queste strutture vincolanti dei costi possono essere utilizzate durante tutte le fasi di pianificazione e di accertamento dei costi. Le strutture vincolanti dei costi creano i presupposti per pianificare i costi in modo trasparente, per confrontarli in modo attendibile, per controllarli effettivamente e per poter svolgere efficacemente il processo di utilizzo dei mezzi dei Fondi.

Le direttive per lo studio sui costi 2021 contenevano inoltre delle istruzioni su come tener conto di eventuali imprecisioni e rischi. In più è stata nuovamente utilizzata la classificazione dei costi già introdotta nello studio sui costi 2016.

^gArt 26 e Art. 31 della Legge federale sull'energia nucleare [7].

^hArt 77 della Legge federale sull'energia nucleare [7].

ⁱArt. 4 cpv. 1 dell'Ordinanza sul Fondo di disattivazione e sul Fondo di smaltimento [9].

I due termini classificazione dei costi e struttura dei costi vanno separati l'uno dall'altro:

- La struttura dei costi associa i costi complessivi delle singole attività e unità organizzative della fase post-operativa, della disattivazione e dello smaltimento.
- La classificazione dei costi valuta la peculiarità di rischio del rilevamento dei costi, oltre a fare una distinzione tra i costi iniziali calcolati e i costi per misure atte a ridurre il rischio, considera anche le maggiorazioni dei costi per imprecisioni nelle stime e per i pericoli, come pure le diminuzioni dei costi determinate dalle opportunità che si potrebbero presentare e per un ulteriore supplemento di sicurezza.

I rilevamenti dei costi si basano sul quadro giuridico e normativo al 1.1.2020.

Gli studi sui costi sono sempre effettuati utilizzando il valore monetario dell'anno di valutazione (costi «overnight»). Per consentire di fare un confronto diretto, i costi rilevati dello studio sui costi 2016 sono stati aggiornati dall'anno di riferimento dei prezzi 2016 all'anno di riferimento dei prezzi 2021 dello studio sui costi 2021. Il tasso di rincaro utilizzato dello 0.5 per cento all'anno è stabilito nell'Ordinanza sul Fondo di disattivazione e sul Fondo di smaltimento per gli impianti nucleari.

I costi per la variante più costosa con lo smantellamento completo degli impianti nucleari e lo smaltimento di tutte le scorie in due depositi separati in luoghi diversi ammontano a 24'650 milioni di franchi - senza la fase post-operativa a 23'083 milioni di franchi. La tabella 3 elenca inoltre i costi totali con la deduzione della possibilità probabile di realizzare un deposito combinato, così come i costi per i vari obiettivi di disattivazione.

La seguente tabella 3 mostra il risultato dello studio sui costi 2021 per le sezioni fase post-operativa, disattivazione e smaltimento rispetto allo studio sui costi 2016.

Tabella 3: Costi totali dello studio sui costi 2021. Confronto con lo studio sui costi 2016 con base di riferimento dei prezzi 2021.

Costi complessivi	CNB	CNM	CNG	CNL	Zwibez	Zwilag	Confederazione	Totale
SC21 PB21								
Smaltimento con deposito combinato (75 %)^{a)}	4'488	2'082	5'116	5'485	-	-	1'020	18'191
Smaltimento con 2 depositi (2 siti)	4'752	2'210	5'442	5'888	-	-	1'124	19'417
Disattivazione obiettivo 3	956	595	899	1'022	8	185	-	3'666
Disattivazione obiettivo 2 ^{b)}	934	584	880	1'008	6	177	-	3'589
Disattivazione obiettivo 1	894	564	832	926	3	144	-	3'364
Fase post-operativa	455	321	369	423	-	-	-	1'567
Totale con deposito combinato (75 %), disattivazione obiettivo 3 e fase post-operativa	5'899	2'999	6'384	6'930	8	185	1'020	23'424
Totale con 2 depositi (2 siti) e disattivazione obiettivo 3	5'709	2'806	6'342	6'910	8	185	1'124	23'083
SC16 PB21								
Smaltimento con deposito combinato (75 %)^{a)}	4'808	2'189	5'438	5'868	-	-	1'221	19'525
Smaltimento con 2 depositi (2 siti)	5'077	2'338	5'742	6'289	-	-	1'332	20'778
Disattivazione obiettivo 3	1'010	626	916	1'158	- ^{c)}	164	-	3'874
Disattivazione obiettivo 1	958	600	859	1'083	- ^{c)}	129	-	3'630
Fase post-operativa	474	348	445	480	-	-	-	1'746
Totale con deposito combinato (75 %), disattivazione obiettivo 3 e fase post-operativa	6'292	3'163	6'799	7'506	-	164	1'221	25'145
Diff. SC21 SC16								
Smaltimento con deposito combinato (75 %)^{a)}	-320	-106	-323	-383	-	-	-201	-1'334
Smaltimento con 2 depositi (2 siti)	-325	-128	-299	-401	-	-	-208	-1'361
Disattivazione obiettivo 3	-53	-31	-17	-136	- ^{c)}	21	-	-208
Disattivazione obiettivo 1	-64	-36	-27	-157	- ^{c)}	14	-	-266
Fase post-operativa	-19	-27	-76	-57	-	-	-	-179
Totale con deposito combinato (75 %), disattivazione obiettivo 3 e fase post-operativa	-393	-164	-415	-576	8	21	-201	-1'721
Diff. SC21 SC16 (%)								
Smaltimento con deposito combinato (75 %)^{a)}	-6.7%	-4.9%	-5.9%	-6.5%	-	-	-16.5%	-6.8%
Smaltimento con 2 depositi (2 siti)	-6.4%	-5.5%	-5.2%	-6.4%	-	-	-15.7%	-6.6%
Disattivazione obiettivo 3	-5.3%	-4.9%	-1.8%	-11.7%	- ^{c)}	13.0%	-	-5.4%
Disattivazione obiettivo 1	-6.7%	-6.0%	-3.1%	-14.5%	- ^{c)}	11.2%	-	-7.3%
Fase post-operativa	-4.1%	-7.7%	-17.1%	-11.9%	-	-	-	-10.2%
Totale con deposito combinato (75 %), disattivazione obiettivo 3 e fase post-operativa	-6.2%	-5.2%	-6.1%	-7.7%	-	13.0%	-16.5%	-6.8%

Dati in milioni di franchi, gli scostamenti nelle somme sono dovuti agli arrotondamenti.

Centrali nucleari di Beznau (CNB), Mühleberg (CNM), Gösgen (CNG) e Leibstadt (CNL).

Studio sui costi 2021 (SC21), Studio sui costi 2016 (SC16), Base di riferimento dei prezzi: 2021 (PB21).

Obiettivo della disattivazione 1: esenzione dalla legislazione in materia di energia nucleare.

Obiettivo della disattivazione 2: smantellamento completo incluso la rimozione delle fondamenta e della costruzione in calcestruzzo fino a -2 m partendo dall'angolo superiore del terreno.

Obiettivo della disattivazione 3: smantellamento completo incluso la rimozione di tutte le fondamenta.

^{a)} Il deposito combinato è una variante probabile e vantaggiosa (cfr. Programma di smaltimento 2021), poiché un deposito combinato può essere costruito e gestito in modo altrettanto sicuro di quanto lo sarebbero due depositi singoli, in tutte le regioni di localizzazione vi è un'offerta di spazio sufficiente per un deposito combinato, che è più vantaggioso sia dal punto di vista ecologico sia dal punto di vista della pianificazione del territorio. Anche la popolazione è consapevole che un deposito combinato sia una possibile variante di deposito. Per questi motivi, la chance di deposito combinato viene tenuta in considerazione con una ponderazione del 75 %.

^{b)} Nello SC16 indicato unicamente come chance.

^{c)} I costi di Zwibez sono compresi nei costi della CNB.

Nella valutazione dei costi 2021 sono confluite anche le nuove conoscenze ed esperienze derivanti da progetti in corso di smantellamento di impianti nucleari come pure dallo sviluppo della pianificazione dei depositi di scorie in strati geologici profondi. Vengono con questo tenute in debito conto anche le attuali conoscenze acquisite dalla disattivazione della centrale nucleare di Mühleberg e dalla pianificazione della disattivazione predisposta per la centrale nucleare di Beznau. Gli scostamenti dello studio sui costi 2021 rispetto ai costi dello studio sui costi 2016, depurati dal rincaro, sono spiegabili per sommi capi come segue:

I costi di smaltimento si riducono mediamente del sette per cento circa. La riduzione dei costi rispetto a quelli previsti dallo studio sui costi 2016 può essere in gran parte riconducibile alle diverse ottimizzazioni del progetto relativo ai depositi in strati geologici profondi:

- L'ubicazione ideale presa in considerazione nello studio sui costi 2021 del deposito per scorie debolmente e mediamente radioattive Jura Ost tiene conto nel progetto di base dell'utilizzo di sinergie con lo Zwiilag, riguardanti in particolare l'imballaggio delle scorie debolmente e mediamente radioattive. Questo consente anche l'utilizzo di contenitori di deposito finale più grandi per una parte rilevante delle scorie debolmente e mediamente radioattive.
- Per l'ubicazione presa in considerazione nello studio sui costi 2021 del deposito per scorie altamente radioattive Zürich Nordost, nel progetto di base viene tenuto conto di una diversa configurazione dell'accesso al deposito in strati geologici profondi. Tutti gli accessi al sotterraneo sono ora configurati come pozzi. Questo vale anche per il deposito combinato.
- Per i progetti di base e il deposito combinato sono stati ulteriormente elaborati i profili normali e i tipi di sicurezza degli accessi al sotterraneo e dei fabbricati a livello del deposito. Sono stati anche rilevati nuovamente i relativi costi.
- È stato ulteriormente elaborato l'impianto d'imballaggio per gli elementi di combustibile esauriti e per le scorie altamente radioattive. Sono stati anche rilevati nuovamente i relativi costi.
- Per i progetti di base e il deposito combinato è stato elaborato nuovamente il concetto di chiusura (riempimento e sigillatura dei fabbricati a livello del deposito come pure degli accessi al sotterraneo). Sono stati anche rilevati nuovamente i relativi costi.

Un confronto dei costi mostra che la fase post-operativa, tenuto conto di tutti i supplementi per tutte le centrali, ha un costo inferiore nello studio sui costi 2021 rispetto allo studio sui costi 2016. Nella somma, i minori costi per la fase post-operativa ammontano a circa il 10 per cento. Questo è riconducibile a un'attualizzazione dei dati di base per il calcolo dei costi della fase post-operativa (struttura della massa del personale e spese materiali) basata sull'attuale situazione di gestione operativa. Per la centrale nucleare di Mühleberg è stata inoltre ridotta di 6 mesi la durata della fase post-operativa.

I costi di disattivazione, riferiti allo smantellamento previsto dall'obiettivo della disattivazione, si riducono mediamente di circa il cinque per cento. Oltre all'attualizzazione dei dati di base per determinare sia i costi operativi annuali sia per il rilevamento dei costi post-operativi, questa riduzione dei costi è riconducibile alla rielaborazione dei piani di disattivazione per le centrali nucleari di Beznau, Gösgen e Leibstadt. Questa prevede ora un ampio parallelismo dei lavori di disattivazione con la fase post-operativa. Mentre la durata dei singoli lavori di disattivazione resta sostanzialmente invariata rispetto allo studio sui costi 2016, il parallelismo delle attività comporta un avvio anticipato dei lavori di disattivazione e in questo modo a una riduzione della durata complessiva della disattivazione.

Il prossimo rilevamento dei costi è previsto per il 2026.

Summary

The owners of the Swiss nuclear installations are obligated^j to dismantle their installations following final decommissioning, to dispose of all radioactive waste from the operation and the dismantling of the installations in deep geological repositories and to bear all costs connected with these tasks. In keeping with the «polluter pays principle», Swiss law regulates funding for the shutdown of nuclear installations and the disposal of the radioactive waste they generate. To ensure the necessary financial resources, two state-controlled funds were set up, to which the operators of the Swiss nuclear installations contribute. After the decommissioning of these installations, the funds must have sufficient resources to cover the costs arising from decommissioning and waste disposal^k. In addition, the owners of the nuclear installations are obligated to make provisions in the accounts for covering disposal costs incurred prior to final decommissioning as well as the post-shutdown operations costs.

The payments into both state-controlled funds, the Decommissioning Fund and the Waste Disposal Fund, and the provisions for decommissioning and waste disposal that the owners of the nuclear installations enter in their accounts are based on a comprehensive assessment of the decommissioning and waste disposal costs. The cost assessment must be conducted every five years as specified in the Ordinance on the Decommissioning Fund and the Waste Disposal Fund for Nuclear Installations^l. Along with the updating of the studies on decommissioning and waste disposal costs, the post-shutdown operations costs paid directly by the nuclear installations are also recalculated.

The last assessment of the costs of post-shutdown operations, decommissioning, and waste disposal was conducted in 2016. It was reviewed by the Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate (ENSI) and other independent cost assessors. The Administrative Commission for the Decommissioning and Waste Disposal Funds for Nuclear Installations, hereinafter called «Administrative Commission» for short, subsequently approved the Cost Study of 2016. This study served as the basis of assessment for provisions entered in the operators' accounts and for fund contributions for the years 2017 through 2021.

In 2018, the owners of the Swiss nuclear installations commissioned swissnuclear to update the new cost study as prescribed by law and to complete the study by the end of 2021 in cooperation with the organizations responsible for decommissioning and waste disposal in Switzerland. In that process, the specifications set by the Administrative Commission for the preparation of the cost study were to be taken into account. This task has been carried out with the reports [1], [2] and [4]. The recommendations from the assessment of the Cost Study of 2016 were also supposed to be taken into account for the preparation of the Cost Study of 2021. The associated details can be found in the Annexes A.3 and A.4 of this Summary Report. The Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate (ENSI) and independent costs assessors will, in turn, audit the Cost Study of 2021 on behalf of the Administrative Commission. As part of the specifications for the Cost Study of 2021, the Administrative Commission defined once again the binding cost structures introduced back with the Cost Study of 2016 to present the determined costs for decommissioning and waste disposal. This term refers to cost structures for end-to-end use in all phases of cost planning and cost determination. Binding cost structures lay the groundwork for planning costs transparently, comparing them meaningfully, and controlling them effectively as well as for enabling the fund resources to be drawn on effectively.

The specifications for the Cost Study of 2016 also contained instructions on how to deal with inaccuracies and risks. To this end, the classification of cost levels introduced back with the Cost Study of 2016 was specified once again and taken into account in the determination and presentation of costs.

The two terms «classification of cost level» and «cost structure» must be distinguished from each other:

- The cost structure allocates the total costs to the individual activities and organizational units for post-shutdown operations, decommissioning, and waste disposal.
- The classification of cost levels, for its part, considers the cost estimate from the standpoint of riskiness. It differentiates not only the calculated initial costs and the costs for risk-mitigating actions but also cost surcharges for inaccuracies of the forecast and threats as well as cost deductions for opportunities and an additional safety surcharge.

^jArt 26 and Art. 31 Nuclear Energy Act [7].

^kArt 77 Nuclear Energy Act [7].

^lArt. 4 par. 1 Verordnung über den Stilllegungs- und den Entsorgungsfonds [9].

The cost estimates are based on the legal and regulatory framework as of 1 January 2020.

Cost studies are conducted at the monetary value in the year of the estimate («overnight» costs). To enable a direct comparison, the costs determined in the Cost Study of 2016 were adjusted from the price basis for 2016 to the price basis for 2021 as applied to the Cost Study of 2021. The applied inflation rate of 0.5% per year is given in the Ordinance on the Decommissioning and Waste Disposal Funds.

The costs for the most expensive variant with complete dismantling of the nuclear facilities and disposal of all waste in two separate repositories at different locations amount to 24'650 million francs – without post-shutdown operations 23'083 million francs. Table 4 further lists the total costs with deduction of the probable chance of realising a combined repository, as well as the costs for the various decommissioning objectives.

The Table 4 below shows the results of the Cost Study of 2021 for the categories post-shutdown operations, decommissioning, and waste disposal compared with the Cost Study of 2016.

Table 4: Total costs for the Cost Study of 2021. Comparison with the Cost Study of 2016 for price basis 2021.

Total costs	KKB	KKM	KKG	KKL	Zwibez	Zwilag	Confederation	Total
CS21 PB21								
Disposal w. chance combined storage (75 %)^{a)}	4'488	2'082	5'116	5'485	-	-	1'020	18'191
Disposal 2 repositories (2 locations)	4'752	2'210	5'442	5'888	-	-	1'124	19'417
Decommissioning objective 3	956	595	899	1'022	8	185	-	3'666
Decommissioning objective 2 ^{b)}	934	584	880	1'008	6	177	-	3'589
Decommissioning objective 1	894	564	832	926	3	144	-	3'364
Post-shutdown operations	455	321	369	423	-	-	-	1'567
Total costs with chance combined storage (75 %), decommissioning objective 3 and post-shutdown operations	5'899	2'999	6'384	6'930	8	185	1'020	23'424
Total costs with disposal in 2 locations and decommissioning objective 3	5'709	2'806	6'342	6'910	8	185	1'124	23'083
CS16 PB21								
Disposal w. chance combined storage (75 %)^{a)}	4'808	2'189	5'438	5'868	-	-	1'221	19'525
Disposal 2 repositories (2 locations)	5'077	2'338	5'742	6'289	-	-	1'332	20'778
Decommissioning objective 3	1'010	626	916	1'158	- ^{c)}	164	-	3'874
Decommissioning objective 1	958	600	859	1'083	- ^{c)}	129	-	3'630
Post-shutdown operations	474	348	445	480	-	-	-	1'746
Total costs with chance combined storage (75 %), decommissioning objective 3 and post-shutdown operations	6'292	3'163	6'799	7'506	-	164	1'221	25'145
Diff. CS21 CS16								
Disposal w. chance combined storage (75 %)^{a)}	-320	-106	-323	-383	-	-	-201	-1'334
Disposal 2 repositories (2 locations)	-325	-128	-299	-401	-	-	-208	-1'361
Decommissioning objective 3	-53	-31	-17	-136	- ^{c)}	21	-	-208
Decommissioning objective 1	-64	-36	-27	-157	- ^{c)}	14	-	-266
Post-shutdown operations	-19	-27	-76	-57	-	-	-	-179
Total costs with chance combined storage (75 %), decommissioning objective 3 and post-shutdown operations	-393	-164	-415	-576	8	21	-201	-1'721
Diff. CS21 CS16 (%)								
Disposal w. chance combined storage (75 %)^{a)}	-6.7%	-4.9%	-5.9%	-6.5%	-	-	-16.5%	-6.8%
Disposal 2 repositories (2 locations)	-6.4%	-5.5%	-5.2%	-6.4%	-	-	-15.7%	-6.6%
Decommissioning objective 3	-5.3%	-4.9%	-1.8%	-11.7%	- ^{c)}	13.0%	-	-5.4%
Decommissioning objective 1	-6.7%	-6.0%	-3.1%	-14.5%	- ^{c)}	11.2%	-	-7.3%
Post-shutdown operations	-4.1%	-7.7%	-17.1%	-11.9%	-	-	-	-10.2%
Total costs with chance combined storage (75 %), decommissioning objective 3 and post-shutdown operations	-6.2%	-5.2%	-6.1%	-7.7%	-	13.0%	-16.5%	-6.8%

Figures in millions francs; discrepancies in the totals are due to rounding.

Nuclear power plants Beznau (KKB), Mühleberg (KKM), Gösgen (KKG) and Leibstadt (KKL).

Cost Study of 2021 (CS21), Cost Study of 2016 (CS16), price basis for 2021 (PB21).

Decommissioning objective 1: Release from the nuclear energy legislation.

Decommissioning objective 2: Complete dismantlement including removal of foundations and concrete construction down to -2 m below the upper edge of the terrain.

Decommissioning objective 3: Complete dismantlement including removal of all foundations.

^{a)} The combined storage repository is an advantageous, probable variant (see Waste Disposal Program of 2021) for four reasons: a combined storage repository can be built and operated just as safely as two individual repositories; all siting regions have sufficient space for a combined storage repository; a combined storage repository is advantageous ecologically and for regional development; and the public deems a combined storage repository as the probable variant. The likelihood of a combined storage repository is therefore weighted at 75 percent.

^{b)} In CS16 indicated only as chance.

^{c)} The costs of Zwibez are in the KKB costs.

The cost estimate for 2021 also incorporates new knowledge and experiences from the ongoing nuclear decommissioning projects and from the development of planning for deep geological repositories. The insights derived from the recent development of the decommissioning of the Mühleberg Nuclear Power Plant and from the preparatory planning for the decommissioning of the Beznau Nuclear Power Plant are also being taken into account. The material deviations in the Cost Study of 2021 compared with the inflation-adjusted costs in the Cost Study of 2016 can be explained in sum as follows.

The disposal costs are declining at an average of about 7 percent. The cost reduction compared with the Cost Study of 2016 is mainly attributable to various project optimizations in the deep geological repositories:

- For the model site of the Jura Ost low- and intermediate-level waste repository considered in the baseline project in the Cost Study of 2021, synergies with the Zwiilag facility are taken into account, especially with respect to the packaging of low- and intermediate-level waste. This approach also allows larger final waste storage containers to be used for a relevant portion of the low- and intermediate-level waste.
- For the site of the Zürich Nordost high-level waste repository considered in the Cost Study of 2021, access to the deep geological repository has been reconfigured, and this is taken into account in the baseline project. All access routes heading underground now take the form of shafts. The same also applies of the combined repository.
- For the baseline projects and the combined repository, the regular profiles and types of temporary support systems for the access shafts heading underground and the structures at repository level were further developed and the costs were recalculated accordingly.
- The packaging plant for spent fuel assemblies and high-level waste was further developed and the costs were recalculated accordingly.
- For the basic projects and the combined repository, the closure approach (filling and sealing of the structures at repository level and the access shafts heading underground) were further developed and the costs were recalculated accordingly.

A comparison of the post-shutdown operations costs shows that these costs are less than in the Cost Study of 2016 if total surcharges for all plants in the Cost Study of 2021 are considered. In sum, post-shutdown operations costs are about 10 percent lower. This is attributable to the update of the input data (current material costs and quantity structure of personnel costs) for calculating the post-shutdown operations costs so it reflects the current situation in power operation. For the Mühleberg Nuclear Power Plant, the post-shutdown operations period was also cut by 6 months.

The decommissioning costs are declining; the drop is about 5 percent with respect to the decommissioning objective of complete dismantlement. Besides the update of input data for determining annual operating costs, which is also relevant to the estimation of post-shutdown operations costs, this cost reduction can also be traced to the revision of decommissioning plans for the Beznau, Gösgen and Leibstadt nuclear power plants. They call for decommissioning work to be done parallel to post-shutdown operations. While the duration of the individual decommissioning tasks remains largely unchanged from the Cost Study of 2016, doing the tasks parallel to each other means the decommissioning work begins earlier and the overall decommissioning period is shorter.

The next cost study is anticipated to be carried out in 2026.

Inhalt

1	Einleitung	1
1.1	Überblick	1
1.2	Vergleichbarkeit der Kostenstudie 2021 mit früheren Kostenstudien	1
2	Randbedingungen und Annahmen	3
2.1	Verursacherprinzip	3
2.2	Finanzierung der Entsorgungs-, Stilllegungs- und Nachbetriebskosten	3
2.2.1	Zeitlicher Anfall der Entsorgungs-, Stilllegungs- und Nachbetriebskosten	3
2.2.2	Staatlich kontrollierte Fonds	8
2.2.3	Eigene Vorsorge der Eigentümer	9
2.3	Rückstellungen für Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten	9
2.4	Kostenstudien der Stilllegungs- und Entsorgungspflichtigen	9
2.5	Rechtlicher Rahmen	10
2.6	Fremdwährungswechselkurse	10
2.7	Abgrenzung von Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten	11
2.8	Kosten vor Einstellung des Leistungsbetriebs der Kernkraftwerke	14
2.9	Betriebsdauer der Kernkraftwerke	14
2.10	Grundlegende Annahmen zum Nachbetrieb und zur Stilllegung	14
2.11	Grundlegende Annahmen zur Entsorgung	15
2.12	Vorgaben der Verwaltungskommission für die Erstellung der Kostenstudie 2021	16
3	Methodik der Kostenermittlung	21
3.1	Kostenstrukturen	21
3.1.1	Nachbetrieb und Stilllegung	21
3.1.2	Entsorgung	22
3.2	Kostengliederung	23
3.2.1	Vorgaben der Verwaltungskommission für die Kostenstudie 2021	24
3.2.2	Umsetzung der Kostengliederung	26
4	Beschreibung der wesentlichen Aktivitäten	27
4.1	Aktivitäten im Nachbetrieb	27
4.2	Aktivitäten in der Stilllegung	27
4.3	Aktivitäten in der Entsorgung	28
5	Resultate der Kostenermittlungen	29
5.1	Ermittlung der Gesamtkosten	29
5.2	Ermittlung der Entsorgungskosten	32
5.3	Ermittlung der Stilllegungskosten	35
5.3.1	Stilllegungsplan	35
5.3.2	Kostenermittlung	35
5.4	Ermittlung der Kosten des Nachbetriebs	37
6	Stilllegung des Kernkraftwerks Mühleberg (KKM) bis 31.12.2020	39
A	Anhänge	43
A.1	Referenzen	43
A.2	Verzeichnis der Abkürzungen	44
A.3	Empfehlungen aus der Prüfung der Kostenstudie 2016 durch das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat	46
A.4	Empfehlungen aus der Prüfung der Kostenstudie 2016 durch die Kostenexperte	49

Abbildungen

1	Bestandteile der Entsorgungskosten.	5
2	Übersicht Finanzierung Nachbetrieb, Stilllegung und Entsorgung.	6
3	Übersicht der Gesamtkosten von Stilllegung und Entsorgung.	7
4	Übersicht der Teilberichte der KS21.	10
5	Abgrenzung von Leistungsbetrieb, Nachbetrieb und Stilllegung.	12
6	Grafische Darstellung der Kostengliederung.	24

Tabellen

1	Gesamtkostenermittlung der Kostenstudie 2021.	V
2	Coûts totaux de l'Étude de coûts 2021.	IX
3	Costi totali dello studio sui costi 2021.	XIII
4	Total costs for the Cost Study of 2021.	XVII
5	Zeitlicher Anfall der zukünftigen Entsorgungskosten bei einer Betriebsdauerannahme von 50 Jahren.	4
6	Zeitlicher Anfall der zukünftigen Entsorgungskosten bei einer Betriebsdauerannahme von 60 Jahren.	4
7	Übersicht Modellrendite und effektive Rendite der beiden Fonds.	7
8	In der Kostenstudie 2021 verwendete Fremdwährungswechselkurse.	10
9	Kostenzuordnung der abgebrannten Brennelemente.	12
10	Kostenzuordnung der Betriebsabfälle aus Leistungs- und Nachbetrieb.	13
11	Kostenzuordnung der Reaktorabfälle aus dem Leistungsbetrieb.	13
12	Kostenzuordnung der Stilllegungsabfälle.	14
13	Vorgaben der Verwaltungskommission für die Erstellung der Kostenstudie 2021 – Teil Allgemein.	17
14	Vorgaben der Verwaltungskommission für die Erstellung der Kostenstudie 2021 – Teil Nachbetrieb und Stilllegung.	18
15	Vorgaben der Verwaltungskommission für die Erstellung der Kostenstudie 2021 – Teil Entsorgung.	19
16	Gesamtkostenermittlung der Kostenstudie 2021 mit Darstellung der Kostengliederung.	29
17	Gesamtkostenermittlung der Kostenstudie 2021.	30
18	Entsorgungskostenermittlung der Kostenstudie 2021.	32
19	Stilllegungskostenermittlung der Kostenstudie 2021 – Stilllegungsziel 1.	35
20	Stilllegungskostenermittlung der Kostenstudie 2021 – Stilllegungsziel 2.	36
21	Stilllegungskostenermittlung der Kostenstudie 2021 – Stilllegungsziel 3.	36
22	Dauer des Nachbetriebs der KKW für die Kostenstudie 2021 und die Kostenstudie 2016.	37
23	Nachbetriebskostenermittlung der Kostenstudie 2021.	38
24	Empfehlungen für die Stilllegung aus der Prüfung der Kostenstudie 2016 durch das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat.	46
25	Empfehlungen für die Entsorgung aus der Prüfung der Kostenstudie 2016 durch das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat.	47
26	Empfehlungen für die Stilllegung der aus Prüfung der Kostenstudie 2016 durch die Kostenprüfer.	49
27	Empfehlungen für die Entsorgung aus der Prüfung der Kostenstudie 2016 durch die Kostenprüfer.	50

1 Einleitung

1.1 Überblick

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

Die Kostenstudie 2021 (KS21) umfasst vier Teilberichte:

- Ermittlung der Entsorgungskosten – Geologische Tiefenlagerung [1].
- Ermittlung der Entsorgungskosten – Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung [2].
- Ermittlung der Kosten des Nachbetriebs der Schweizer Kernkraftwerke [3].
- Ermittlung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen [4].

Der vorliegende Mantelbericht erläutert die Rahmenbedingungen der Kostenstudie und fasst die wichtigsten Resultate der vier Teilberichte zusammen.

Die Annahmen und Rahmenbedingungen für Entsorgung, Nachbetrieb und Stilllegung sind in Kapitel 2 dargelegt. Kapitel 3 erläutert die Methodik der Kostenermittlung in Bezug auf die Kostenstrukturen und Kostengliederung. Die Ergebnisse der Kostenermittlung für die vier Teilbereiche sind in Kapitel 4 und 5 zusammengefasst. Kapitel 6 gewährt einen kurzen Überblick zum Stand der Arbeiten bei der Stilllegung des Kernkraftwerks Mühleberg.

In der Kostenstudie werden zahlreiche Fachbegriffe verwendet. Diese sind in einem Glossar [5] zusammengefasst.

1.2 Vergleichbarkeit der Kostenstudie 2021 mit früheren Kostenstudien

Die in der Kostenstudie 2016 eingeführten methodischen Neuerungen wurden in der Kostenstudie 2021 beibehalten, so dass die Ergebnisse der Kostenstudie 2021 und der Kostenstudie 2016 vergleichbar sind.

Als Teil der Vorgaben für die Kostenstudie 2016 definierte die Verwaltungskommission erstmals verbindliche Kostenstrukturen zur Darstellung der ermittelten Stilllegungs- und Entsorgungskosten. Darunter sind Kostenstrukturen zu verstehen, die durchgängig in allen Phasen der Kostenplanung und -feststellung angewendet werden können. Verbindliche Kostenstrukturen schaffen die Voraussetzungen, um Kosten transparent zu planen, aussagekräftig zu vergleichen und effektiv zu kontrollieren sowie um den Prozess der Inanspruchnahme von Fondsmitteln zukünftig effektiv abwickeln zu können. Diese Kostenstrukturen zur Darstellung der ermittelten Stilllegungs- und Entsorgungskosten wurden in der Kostenstudie 2021 weitestgehend beibehalten.

So wie in der Kostenstudie 2021 enthielten die Vorgaben für die Kostenstudie 2016 zudem Weisungen, wie mit Ungenauigkeiten und Risiken umzugehen ist. Dazu wurde eine Kostengliederung vorgegeben, die bei der Ermittlung und der Darstellung der Kosten berücksichtigt wurde.

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 Massnahmen zur Risikominderung auch Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten und Gefahren sowie Kostenabzüge für Chancen und einen zusätzlichen generellen Sicherheitszuschlag.

Die Kostenstudie 2021 weist Ausgangskosten und Kosten für Massnahmen zur Risikominderung aus, die zu Basiskosten zusammengefasst werden. Diese Basiskosten sind gemäss der Definition der Kostengliederung frei von Zuschlägen für Unsicherheiten und Risiken. Separat ermittelte und explizit ausgewiesene Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten und Gefahren berücksichtigen diese Unsicherheiten und Risiken. Ebenso werden Kostenabzüge für Chancen ermittelt und ausgewiesen. Ein zusätzlicher, über die Zuschläge für Unsicherheiten und Risiken hinausgehender genereller Sicherheitszuschlag wird ebenfalls ermittelt und ausgewiesen. Gemäss der Definition der Kostengliederung ist ein genereller Sicherheitszuschlag zu berechnen, so dass nach Einschätzung zum Zeitpunkt der Fertigstellung der Kostenstudie 2021 die Wahrscheinlichkeit für allfällige Kostenüberschreitungen auf maximal 20 Prozent beschränkt wird (Toleranzniveau). Zur ausführlichen Begründung, dieses Vorgehens wird auf die jeweiligen Kapitel der Teilberichte verwiesen, in denen die Umsetzung der Kostengliederung erläutert wird. Die Aufsummierung der Basiskosten und der Zuschläge beziehungsweise Abzüge für Unsicherheiten, Risiken und des generellen Sicherheitszuschlags führt zusammen mit den bereits aufgelaufenen Kosten zu den voraussichtlichen Gesamtkosten auf Basis des aktuellen Planungsstands.

Bis zur Kostenstudie 2011 wurden die Kostenermittlungen als so genannte «Best Estimate»-Schätzungen erstellt. Die unterschiedliche Kalkulationsmethodik einer «Best Estimate»-Schätzung gegenüber einer Kostenermittlung gemäss Kostengliederung führt dazu, dass die Ergebnisse aus der Kostenstudie 2011 und früheren Kostenstudien nur noch bedingt mit den Ergebnissen der Kostenstudie 2021 und der Kostenstudie 2016 direkt vergleichbar sind.

Die wichtigsten inhaltlichen Unterschiede zwischen den Kostenstudien 2021 und 2016 lassen sich wie folgt zusammenfassen. Während in der Kostenstudie 2016 als Stilllegungsziel der Abschluss des nuklearen Rückbaus berücksichtigt wurde, werden in der Kostenstudie 2021 drei Stilllegungsziele ausgewiesen:

- Stilllegungsziel 1: Entlassung aus der Kernenergiegesetzgebung;
- Stilllegungsziel 2: Vollständiger Rückbau inkl. Entfernung der Fundamente und Betonkonstruktion bis -2 m ab Oberkante Terrain;
- Stilllegungsziel 3: Vollständiger Rückbau inkl. Entfernung sämtlicher Fundamente.

Im Zusammenhang mit der Erstellung der Kostenstudie 2021 wurden die Stilllegungspläne der Kernkraftwerke und Zwischenlager überarbeitet. Als wesentliche Änderungen gegenüber den bisherigen Stilllegungsplänen beginnen die Stilllegungsarbeiten, in Anlehnung an das Vorgehen bei der Stilllegung des Kernkraftwerks Mühleberg, mit der Endgültigen Ausserbetriebnahme des Kernkraftwerks. Das führt bei der Stilllegung der Kernkraftwerke zu einer teilweisen Überlappung von Nachbetrieb und Rückbau und somit zu einer Verkürzung der Gesamtdauer der Stilllegung gegenüber den bisherigen Stilllegungsplänen und damit zu einer Senkung der Stilllegungskosten.

Die Dauer des Nachbetriebs reduziert sich gegenüber der Kostenstudie 2016 für das Kernkraftwerk Mühleberg um sechs Monate. Die Dauer des Nachbetriebs für die übrigen Kernkraftwerke bleibt mit vier Jahren für die Kernkraftwerke Beznau und Leibstadt sowie drei Jahren für das Kernkraftwerk Gösgen unverändert. Infolge der weitgehenden Überlappung von Nachbetrieb und Rückbautätigkeiten wurden die Reduktionsfaktoren für den Nachbetrieb und den Rückbaubetrieb an den neuen Stilllegungsplan angepasst. Ebenso wurden die Jahreskosten an das aktuelle Kostenniveau im Leistungsbetrieb angepasst. Diese dienen als Berechnungsgrundlage für die Jahresscheiben der Kosten im Nachbetrieb. Insgesamt führte dies bei den Anlagen Gösgen und Leibstadt zu einer Reduktion der Nachbetriebskosten gegenüber der Kostenstudie 2016¹.

Gemäss den Vorgaben für die Kostenstudie 2021 für die Ermittlung der Entsorgungskosten geht die Kostenstudie von einem modellhaften, aber konkreten Basisvorhaben aus. Als Standorte für die geologischen Tiefenlager gelten weiterhin Jura Ost für das SMA-Lager und Zürich Nordost für das HAA-Lager. Im Rahmen der Chancen und Gefahren können alternative Varianten zum Basisvorhaben separat ausgewiesen werden. Als wahrscheinliche Lagervariante wird daher ein Kombilager als gemeinsamer Standort für ein SMA- und HAA-Lager betrachtet.

¹Die 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 zu 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 im Jahre 2020 abgeschlossen werden.

2 Randbedingungen und Annahmen

2.1 Verursacherprinzip

Die kommerzielle Nutzung der Kernenergie zur Stromproduktion und auch radiologische Anwendungen in Medizin, Industrie und Forschung verursachen radioaktive Abfälle. Im Kernenergiegesetz² ist das Verursacherprinzip verankert: «Wer eine Kernanlage betreibt oder stilllegt, ist verpflichtet, die aus der Anlage stammenden radioaktiven Abfälle auf eigene Kosten sicher zu entsorgen.» Abfälle, die nicht in Kernkraftwerken anfallen (sondern aus Medizin, Industrie und Forschung stammen), müssen dem Bund abgeliefert werden³. Der Abfallverursacher muss für die Kosten der Entsorgung aufkommen.

Die für den Bau und Betrieb von Infrastrukturanlagen zur Lagerung radioaktiver Abfälle in der Pflicht stehenden Abfallverursacher sind somit die Betreiber der Kernkraftwerke und der Bund, der die radioaktiven Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung gegen eine Gebühr zu übernehmen hat. Die Entsorgungspflicht ist erfüllt⁴, wenn «die Abfälle in ein geologisches Tiefenlager verbracht worden sind und die finanziellen Mittel für die Beobachtungsphase und den allfälligen Verschluss sichergestellt sind.» (vergleiche Abbildung 4, Verschlussverfügung).

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

2.2 Finanzierung der Entsorgungs-, Stilllegungs- und Nachbetriebskosten

Die Finanzierung der Stilllegung von Kernanlagen und der Entsorgung der radioaktiven Abfälle ist in der Schweiz gesetzlich geregelt – einerseits durch staatlich kontrollierte Fonds, andererseits durch die Verpflichtung der Betreiber zu eigener Vorsorge.

2.2.1 Zeitlicher Anfall der Entsorgungs-, Stilllegungs- und Nachbetriebskosten

Die gesamten Kosten für Nachbetrieb, Stilllegung und Entsorgung der radioaktiven Abfälle sind nach dem Verursacherprinzip Bestandteil der Produktionskosten der Kernkraftwerke. Damit ist sichergestellt, dass die vollständigen sich aus der Entsorgungspflicht ergebenden Kosten während der Betriebsdauer der Werke erwirtschaftet werden. Dabei ist zu unterscheiden zwischen Kosten, die bereits während des Leistungsbetriebs der Kernkraftwerke entstehen, und solchen, die nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs (EELB) der Kernkraftwerke entstehen⁵.

Entsorgungskosten

Zu den während des Leistungsbetriebs entstehenden Kosten zählen auch die Entsorgungskosten, die bis zur EELB anfallen. Während des Betriebs der Kernkraftwerke fallen laufend Kosten für Transporte und Behälter, den Betrieb des zentralen Zwischenlagers (Zwilag) und des Zwischenlagers Beznau (Zwibez), die Behandlung und Verpackung der bereits angefallenen Abfälle wie auch für die Arbeiten der Nagra (Forschung, Planung, Standortsuche für die geologischen Tiefenlager) an. Diese Kosten werden direkt durch die Betreiber der Kernkraftwerke bezahlt und werden im Entsorgungsfonds sichergestellt.

²Art. 31 Abs. 1 KEG [7].

³Art. 27 StSG [10].

⁴Art. 31 Abs. 2 Bst. a KEG [7].

⁵Für die beiden Zwischenlager Zwibez und Zwilag ist hier der Meilenstein Endgültige Einstellung des Betriebs (EEB) relevant. Aus Gründen der Lesbarkeit des Berichts wird im Mantelbericht nur der Begriff EELB verwendet.

Tabelle 5 und Tabelle 6 stellen jeweils die Entsorgungskosten vor und nach EELB für die beiden Betriebsdauerszenarien 50⁶/47/50/50 und 60/47/60/60 Jahre dar.

Tabelle 5: Zeitlicher Anfall der zukünftigen Entsorgungskosten bei einer Betriebsdauerannahme von 50 Jahren.

	KKB	KKM	KKG	KKL	Total
Angenommene Betriebsdauer	50 Jahre	47 Jahre	50 Jahre	50 Jahre	
Angenommener EELB Termin	Dez 2020	Dez 2019	Dez 2029	Dez 2034	
Entsorgungskosten vor EELB (nicht fondsrelevant)	0	0	317	716	1'033
Anteil Entsorgungskosten vor EELB an Gesamtkosten der Entsorgung	-	-	6%	12%	6%
Entsorgungskosten nach EELB (fondsrelevant)	2'921	1'381	3'100	3'718	11'120
Anteil Entsorgungskosten nach EELB an Gesamtkosten der Entsorgung	61%	62%	57%	63%	61%

Angaben in Mio. CHF, Abweichungen sind rundungsbedingt.

Tabelle 6: Zeitlicher Anfall der zukünftigen Entsorgungskosten bei einer Betriebsdauerannahme von 60 Jahren.

	KKB	KKM	KKG	KKL	Total
Angenommene Betriebsdauer	60 Jahre	47 Jahre	60 Jahre	60 Jahre	
EELB Termin	Dez 2030	Dez 2019	Dez 2039	Dez 2044	
Entsorgungskosten vor EELB (nicht fondsrelevant)	404	0	990	1'672	3'065
Anteil Entsorgungskosten vor EELB an Gesamtkosten der Entsorgung	8%	-	17%	27%	16%
Entsorgungskosten nach EELB (fondsrelevant)	2'664	1'351	2'688	3'123	9'826
Anteil Entsorgungskosten nach EELB an Gesamtkosten der Entsorgung	54%	62%	47%	50%	52%

Angaben in Mio. CHF, Abweichungen sind rundungsbedingt.

Aufgrund der Unterscheidung zwischen Entsorgungskosten vor EELB und solchen, die nach EELB anfallen, werden rund 40 Prozent der insgesamt anfallenden Entsorgungskosten bereits während des Leistungsbetriebs durch die Betreiber der Kernkraftwerke direkt bezahlt. Die verbleibenden 60 Prozent fallen bis zum endgültigen Verschluss der geologischen Tiefenlager, ca. 2126 an.

Die dafür nötigen Gelder werden während des Betriebs der Kernkraftwerke entsprechend der zugrunde gelegten Betriebsdauerannahme im Entsorgungsfonds angespart. Das Ansparen erfolgt durch Beiträge der Eigentümer und Erträge auf das Fondsvermögen. In den für die Ermittlung der Beitragszahlungen an den Entsorgungsfonds verwendeten Finanzmodellen wird eine Realrendite von 1.6 Prozent pro Jahr angenommen⁷. Basierend auf einer Betriebsdauerannahme von 50 Jahren sind durch die Betreiber noch rund 700 Millionen Franken in den Entsorgungsfonds einzuzahlen.

⁶Das KKB befindet sich zum Zeitpunkt der Erstellung der KS21 noch weiter im Leistungsbetrieb.

⁷Anhang 1 SEFV [9].

Da der Entsorgungsfonds nur die nach der EELB der Kernkraftwerke anfallenden Entsorgungskosten abdecken muss, liegt das Fondsvermögen immer unter den Gesamtkosten der Entsorgung. Bei einer Betriebsdauerannahme von 50 Jahren (47 Jahre für das Kernkraftwerk Mühleberg) deckt der Entsorgungsfonds maximal 61 Prozent der gesamten Entsorgungskosten. Bei einer Betriebsdauerannahme von 60 Jahren (47 Jahre für das Kernkraftwerk Mühleberg) beträgt der Anteil maximal 52 Prozent.

Neben den vor EELB der Kernkraftwerke anfallenden Entsorgungskosten sind auch Kosten in Höhe von 1.1 Milliarden Franken für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung nicht in den Entsorgungsfonds einzuzahlen. Diese Abfälle werden durch den Bund eigesammelt, verwaltet und entsorgt. Dafür erhebt der Bund von den Abfallverursachern eine Entsorgungsgebühr.

Nach dem Abschluss der Einlagerung der Abfälle werden die Tiefenlager während einer genügend langen Zeit überwacht (Beobachtungsphase). Anschliessend könnten die Tiefenlager definitiv verschlossen werden.

Die verschiedenen Bestandteile der Entsorgungskosten sind in Abbildung 1 dargestellt.

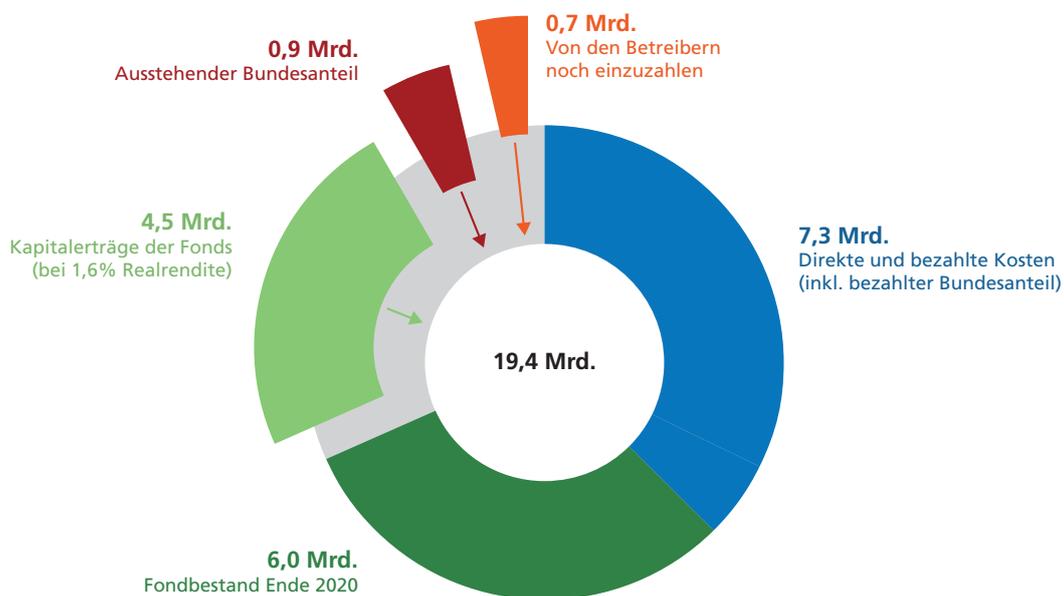


Abbildung 1: Bestandteile der Entsorgungskosten. Variante zwei getrennte Lager an unterschiedlichen Standorten.

Stilllegungskosten

Neben Entsorgungskosten fallen auch Stilllegungskosten vor EELB an. Dazu zählen insbesondere die mit der Erstellung der Antragsunterlagen für die Erlangung der Stilllegungsverfügung verbundenen Kosten, Kosten der vorbereitenden Stilllegungsplanung sowie Kosten für Vorbereitungs- und Umbaumaassnahmen für den Rückbau. Sämtliche Stilllegungskosten sind im Stilllegungsfonds sicherzustellen.

Nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs fallen die Kosten für die Durchführung der Stilllegung der Kernkraftwerke an. Dies umfasst die Demontage der Einrichtungen, die Dekontamination der Gebäude mit kontrollierter Zone, die Behandlung des radioaktiven Materials inklusive der Konditionierung der dabei entstehenden Abfälle und je nach Variante des Stilllegungsziels den konventionellen Rückbau der Gebäude auf dem Kraftwerksareal.

Entsprechend den Vorgaben der Verwaltungskommission sind mit der Kostenstudie 2021 Stilllegungskosten für die Betriebsdauerannahmen 50 Jahre und 60 Jahre (Kernkraftwerk Mühleberg 47 Jahre) zu bestimmen. Dabei ist von einer planmässigen Ausserbetriebnahme der Kernkraftwerke auszugehen. Bei einer planmässigen Ausserbetriebnahme der Kernkraftwerke ergeben sich aus den unterschiedlichen Betriebsdauerannahmen keine Kostenfolgen für die Stilllegung. Basierend auf einer Betriebsdauerannahme von 50 Jahren sind durch die Betreiber noch rund 200 Millionen Franken in den Stilllegungsfonds einzuzahlen.

Nachbetriebskosten

Die Nachbetriebskosten fallen grundsätzlich erst nach EELB an und werden durch die Betreiber direkt bezahlt. Sie fallen nicht unter die Definition der Stilllegungs- und Entsorgungskosten und werden entsprechend nicht in den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds einbezahlt. Der Nachbetrieb beginnt mit der EELB und endet mit dem Erreichen der Kernbrennstofffreiheit und dem Vorliegen einer rechtskräftigen Stilllegungsverfügung⁸.

Abbildung 2 zeigt, wie die Finanzierung der verschiedenen Tätigkeiten bei Nachbetrieb Stilllegung und Entsorgung sichergestellt wird.

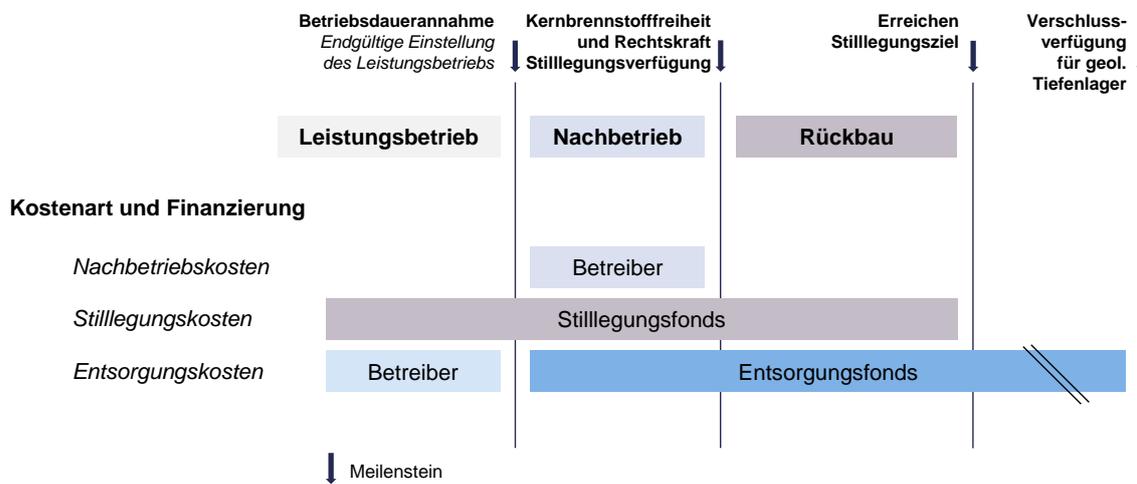


Abbildung 2: Übersicht Finanzierung Nachbetrieb, Stilllegung und Entsorgung.

⁸Für KKG bedeutet Kernbrennstofffreiheit, dass der Kernbrennstoff vollständig in das Nasslager Gösigen verschoben wurde.

Gesamtkosten von Stilllegung und Entsorgung

Die Gesamtkosten von Stilllegung und Entsorgung sind in Abbildung 3 dargestellt.

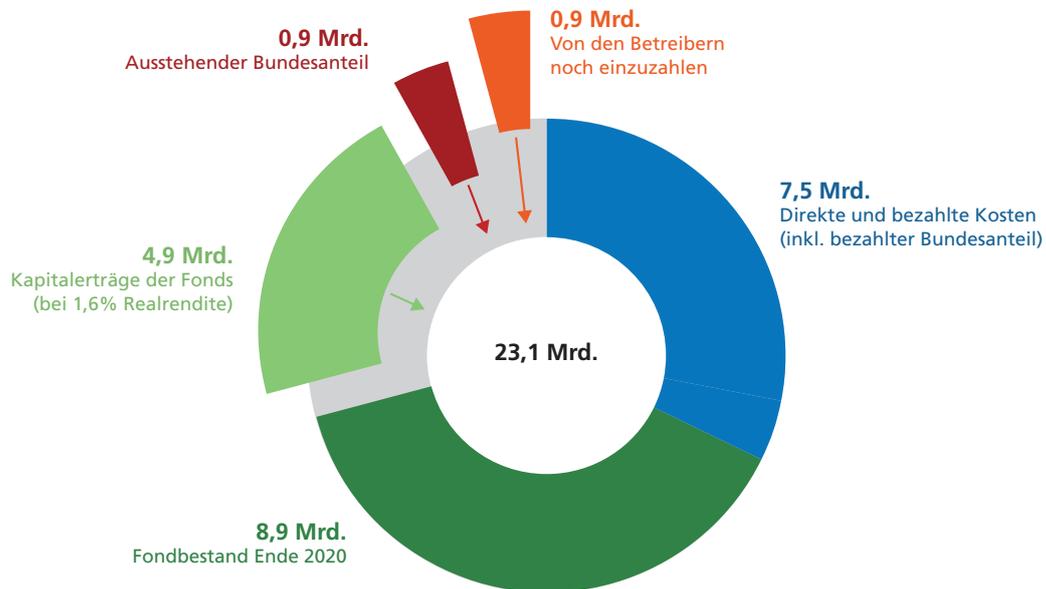


Abbildung 3: Übersicht der Gesamtkosten von Stilllegung und Entsorgung. Variante vollständiger Rückbau und zwei getrennte Lager an unterschiedlichen Standorten.

Von den nach EELB der Kernkraftwerke anfallenden Kosten sind noch 0.9 Milliarden Franken (Stand Ende 2020) in Form von Beiträgen der Entsorgungspflichtigen in die Fonds einzubezahlen. 4.9 Milliarden Franken werden durch die erwarteten Fondserträge unter Anwendung der Modellrendite erwirtschaftet (Stand Ende 2020). Seit der Gründung der Fonds lag die tatsächliche Rendite der beiden Fonds in der Regel über der Modellrendite, siehe hierzu Tabelle 7.

Tabelle 7: Übersicht Modellrendite und effektive Rendite der beiden Fonds.

Stand 31.12.2020	Modellrendite	Effektive Rendite	Delta
Stilllegungsfonds (01.01.1985 - 31.12.2020)	1.60%	4.18%	2.58%
Entsorgungsfonds (1. Quartal 2002 - 31.12.2020)	1.60%	3.68%	2.08%

2.2.2 Staatlich kontrollierte Fonds

Die Betreiber der Kernanlagen sind dazu verpflichtet, einen Stilllegungs- und einen Entsorgungsfonds zu bilden sowie an diese Fonds Beiträge zu leisten⁹.

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 Ausserbetriebnahme¹⁰ der Kernkraftwerke anfallenden Entsorgungskosten zu decken. Die Bemessung der in den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds zu leistenden Beiträge sowie der Rückstellungen der Eigentümer für die Stilllegung und die Entsorgung erfolgt auf Basis einer umfassenden Ermittlung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten. Diese Kosten müssen gemäss Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung¹¹ alle fünf Jahre neu ermittelt werden. Als Berechnungsgrundlage für die Höhe der Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten wird entsprechend den Vorgaben für die Erstellung der Kostenstudie 2021 für die Kernkraftwerke eine Betriebsdauer von 50 Jahren angenommen¹². Die Kosten für 60 Betriebsjahre sind ebenfalls zu ermitteln. Für das Kernkraftwerk Mühleberg wird die effektiv erreichte Betriebsdauer von 47 Jahren zugrunde gelegt.

Zusätzlich zur Einzahlungspflicht sieht das Kernenergiegesetz eine Nachschusspflicht der Eigentümer vor. Reicht der Anspruch¹³ eines Beitragspflichtigen an einen der Fonds zur Deckung der Kosten nicht aus, deckt der Beitragspflichtige die verbleibenden Kosten aus eigenen Mitteln¹⁴. Weist der Beitragspflichtige nach, dass seine Mittel nicht ausreichen, deckt der Stilllegungs- beziehungsweise der Entsorgungsfonds die verbleibenden Kosten mit seinen gesamten Mitteln¹⁵. Übersteigen die Zahlungen eines Fonds zu Gunsten eines Berechtigten dessen Anspruch, muss er dem Fonds den Differenzbetrag samt einem marktüblichen Zins zurückbezahlen¹⁶. Kann der Berechtigte die Rückerstattung nicht leisten, so müssen die übrigen Beitragspflichtigen und Anspruchsberechtigten des entsprechenden Fonds für den Differenzbetrag aufkommen¹⁷. 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 beteiligt¹⁸.

Die beiden Fonds stehen unter der Aufsicht des Bundesrats¹⁹. Eine von diesem ernannte Verwaltungskommission²⁰ ist das Leitungsorgan der Fonds²¹. 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 sind²².

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

⁹Art. 77 KEG [7].

¹⁰Unter endgültiger Ausserbetriebnahme eines Kernkraftwerks ist 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.

¹¹Art. 4 Abs. 1 SEFV [9].

¹²Art. 4 Abs. 3 SEFV [8].

¹³Gemäss 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 Verwaltungsaufwands.

¹⁴Art. 79 Abs. 1 KEG [7].

¹⁵Art. 79 Abs. 2 KEG [7].

¹⁶Art. 80 Abs. 1 KEG [7].

¹⁷Art. 80 Abs. 2 KEG [7].

¹⁸Art. 80 Abs. 4 KEG [7].

¹⁹Art. 29 SEFV [9].

²⁰Art. 81 Abs. 2 KEG [7] und Art. 23 SEFV [9].

²¹Der Bundesrat hat für den Stilllegungs- und den Entsorgungsfonds die gleiche Verwaltungskommission eingesetzt.

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

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

2.2.3 Eigene Vorsorge der Eigentümer

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

Die mit dem Nachbetrieb verbundenen Aufwendungen – sie entsprechen weder der Definition von Entsorgungskosten²³ noch der von Stilllegungskosten²⁴ – sind als Teil der Betriebskosten zu betrachten. Auch sie sind, entsprechend dem im Kernenergiegesetz²⁵ verankerten Verursacherprinzip, durch die Eigentümer zu tragen. Der Nachbetrieb wird von den Betreibern direkt finanziert.

2.3 Rückstellungen für Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten

Die Eigentümer bilden sämtliche aus der Verpflichtung zur Stilllegung der Kernanlagen und der Entsorgung der von diesen verursachten radioaktiven Abfällen künftig entstehenden Aufwendungen in ihren Bilanzen ab. Sie bilden dazu auf Basis der jeweiligen Kostenstudien und gemäss den anzuwendenden Rechnungslegungsvorschriften²⁶ Rückstellungen für den Nachbetrieb, die Stilllegung und die Entsorgung. Im Zusammenhang mit der Prüfung der Jahresrechnung werden die Rückstellungen von einer externen Revisionsstelle testiert. Während die Festsetzung der Höhe der Fondsbeiträge durch die Verwaltungskommission erfolgt, sind die Eigentümer verantwortlich für die Festlegung der Höhe der Rückstellungen. Deren externe Revisionsstellen prüfen, ob die Eigentümer Rückstellungen für Entsorgungskosten vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs mindestens in Höhe des von der Verwaltungskommission genehmigten Rückstellungsplans gebildet und zweckgebunden verwendet haben²⁷. Die Eigentümer legen der Verwaltungskommission diesen Prüfbericht vor²⁸.

2.4 Kostenstudien der Stilllegungs- und Entsorgungspflichtigen

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

Die letzte Ermittlung der Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten erfolgte im Jahr 2016. Sie wurde im Auftrag der Verwaltungskommission 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 Rückstellungen und Fondsbeiträge der Stilllegungs- und Entsorgungspflichtigen in den Jahren 2017 – 2021. Die Eigentümer 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 Kostenstudie 2021 zu berücksichtigen. Wie bisher hat swissnuclear gleichzeitig auch die Nachbetriebskosten neu ermittelt. Das ENSI und Kostenprüfer werden im Auftrag der Verwaltungskommission wiederum die Kostenstudie 2021 eingehend überprüfen.

²³Art. 3 SEFV [9].

²⁴Art. 2 SEFV [9].

²⁵Art. 31 Abs. 1 KEG [7].

²⁶Art. 960e OR [12], IFRS [16] bzw. Swiss GAAP FER [17].

²⁷Art. 82 Abs. 2 Bst. c KEG [7].

²⁸Vgl. Art. 82 Abs. 3 KEG [7] und Art. 19 Abs. 2 SEFV [9].

Grundlage der Preisschätzungen für die Kostenstudie 2021 sind die erwarteten Kosten²⁹ mit der Preisbasis 1. Januar 2021. Die folgende Abbildung 4 gewährt eine Übersicht über die Hauptdokumente der Kostenstudie.

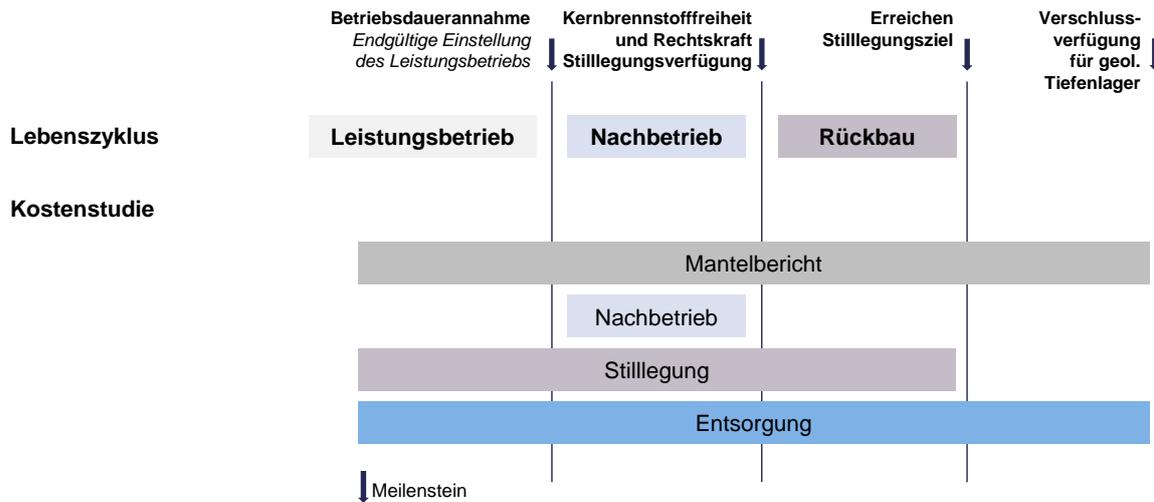


Abbildung 4: Übersicht der Teilberichte der KS21.

2.5 Rechtlicher Rahmen

Das Kernenergiegesetz (KEG) [6] und das Strahlenschutzgesetz (StSG) [10], die Kernenergieverordnung (KEV) [8] und die Strahlenschutzverordnung (StSV) [11], sowie Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung (SEFV) [9] regeln die Stilllegung von Kernanlagen und die Entsorgung von radioaktiven Abfällen sowie deren Finanzierung. Neben diesen hier aufgeführten Rechtsquellen bestehen eine grosse Anzahl weiterer rechtlicher und behördlicher Vorgaben für die einzelnen Themengebiete der Kostenstudie. Diese werden in den jeweiligen Teilberichten ausführlich dargestellt.

Die per 1. Januar 2020 rechtsgültigen Gesetze, Verordnungen und Richtlinien sind in der Kostenstudie 2021 berücksichtigt.

2.6 Fremdwährungswechselkurse

Zur Berechnung der Kosten, die in Schweizer Franken ausgewiesen werden, kommen die in der nachfolgenden Tabelle 8 aufgeführten Fremdwährungswechselkurse zur Anwendung.

Tabelle 8: In der Kostenstudie 2021 verwendete Fremdwährungswechselkurse.

Währung	Wechselkurs
Euro	1.20 CHF
US-Dollar	1.00 CHF
Britisches Pfund	1.40 CHF
Schwedische Kronen	0.12 CHF

²⁹So genannte «Overnight»-Kosten.

Für die Kostenermittlung im Rahmen der Kostenstudie 2021 wurden konservativ geschätzte Fremdwährungswechselkurse gewählt, die sich an der erwarteten langfristigen Entwicklung der Kaufkraftparität zwischen der Schweiz und den entsprechenden Währungsräumen orientieren. Die Verwendung dieser Fremdwährungswechselkurse wurde bei der Verwaltungskommission beantragt und am 26. Juni 2020 genehmigt.

2.7 Abgrenzung von Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten

Der Übergang vom Betrieb der Anlage zur Stilllegung lässt sich allgemein verdeutlichen anhand von drei Zyklen: Leistungsbetrieb, Nachbetrieb und Rückbau (siehe Abbildung 5).

Die mit dem Nachbetrieb verbundenen Aufwendungen entsprechen weder der Definition von Entsorgungskosten³⁰ noch der Definition von Stilllegungskosten³¹ im Sinne der SEFV [9].

Für die Kostenstudie 2021 gilt diese Definition der Nachbetriebskosten:

1. Laufende Betriebskosten sind ab der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs zunächst vollständig dem Nachbetrieb zuzuordnen. Gleiches gilt für die Instandhaltungsmassnahmen und wiederkehrenden Prüfungen an den nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs noch benötigten Systemen.
2. Massnahmen, die bis zum Erreichen der Kernbrennstofffreiheit umsetzbar sind und primär dazu dienen, die Sicherheit der Anlage aufrecht zu erhalten beziehungsweise sie sicherheitsfördernd zu vereinfachen, sind grundsätzlich ebenfalls dem Nachbetrieb zuzuordnen.
3. Auch weitere vom Rückbau der Anlage unabhängige Massnahmen sind von den Stilllegungskosten abzugrenzen und dem Nachbetrieb zuzuordnen. Dies betrifft insbesondere die Entsorgung noch auf der Anlage vorhandener Betriebsabfälle³² und die Verpackung der abgebrannten Brennelemente.
4. Die Zuordnung dieser Kostenpositionen zu den Nachbetriebskosten erfolgt bis zum Erreichen der beiden Meilensteine Kernbrennstofffreiheit und Rechtskraft der Stilllegungsverfügung.

Die Kosten des Nachbetriebs sind in Kapitel 4.1 näher erläutert und in Kapitel 5.4 quantifiziert.

Unter Stilllegungskosten werden die folgenden Kostenpositionen verstanden:

1. Betriebskosten gem. Position 1. des Nachbetriebs, nachdem die Meilensteine Rechtskraft der Stilllegungsverfügung und Erreichen der Kernbrennstofffreiheit der Anlage erreicht worden sind;
2. Massnahmen, die den Rückbau des Kernkraftwerks vorbereiten beziehungsweise der Umsetzung des Rückbaus dienen (zum Beispiel die Erstellung der Gesuchunterlagen zur Erlangung der Stilllegungsverfügung);
3. Alle weiteren Massnahmen und Tätigkeiten gem. Kapitel 4.2 des Mantelberichts, sofern sie nicht bereits den Positionen 1. und 2. der Stilllegung zuzuordnen sind.

Die Kosten der Stilllegung sind in Kapitel 4.2 näher erläutert und in Kapitel 5.3 quantifiziert.

Exemplarisch ist diese Unterscheidung in der folgenden Abbildung 5 dargestellt.

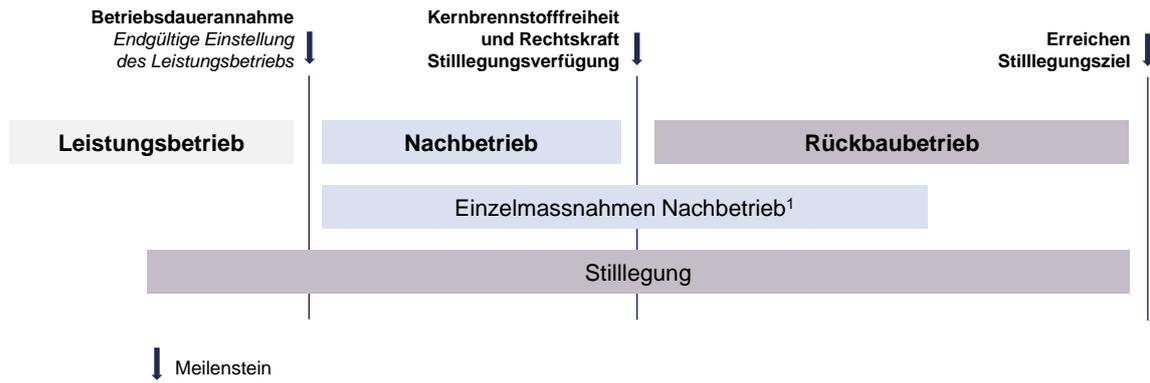
In der Kostenstudie 2021 drei Stilllegungsziele ausgewiesen:

- Stilllegungsziel 1: Entlassung aus der Kernenergiegesetzgebung;
- Stilllegungsziel 2: Vollständiger Rückbau inkl. Entfernung der Fundamente und Betonkonstruktion bis -2 m ab Oberkante Terrain;
- Stilllegungsziel 3: Vollständiger Rückbau inkl. Entfernung sämtlicher Fundamente.

³⁰Art. 3 SEFV [9].

³¹Art. 2 SEFV [9].

³²Während des Leistungsbetriebs ausgebaute Grosskomponenten, die im Rahmen der Stilllegung in gemeinsamen Kampagnen mit den bis EELB noch im Einsatz befindlichen Komponenten konditioniert und entsorgt werden, sind den Stilllegungskosten zugeordnet.



¹ Insbesondere auch Massnahmen auf dem Werksareal zur Entsorgung von Betriebsabfällen.

Abbildung 5: Abgrenzung von Leistungsbetrieb, Nachbetrieb und Stilllegung.

Tabelle 9 bis Tabelle 12 geben einen Überblick zur Kostenzuordnung der abgebrannten Brennelemente, der Betriebs-, Reaktor- und Stilllegungsabfälle zu den Kosten des Nachbetriebs, der Stilllegung und der Entsorgung.

Tabelle 9: Kostenzuordnung der abgebrannten Brennelemente.

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

Tabelle 10: Kostenzuordnung der Betriebsabfälle aus Leistungs- und Nachbetrieb.

Betriebsabfälle aus Leistungs- und Nachbetrieb	Nachbetriebskosten	Stilllegungskosten	Entsorgungskosten
Behälterkosten (dies sind primär Fassgebilde: Massenware). Abgrenzungskriterien für die Zuordnung der Behälter erfolgen werkspezifisch.	X		X
Behandlung bzw. Konditionierung von Betriebsabfällen vor Ort	X		
Handhabung vor Ort (inkl. Beladen der Behälter)	X		
Transport zum zentralen Zwischenlager der Zwiilag			X
Behandlung von Betriebsabfällen in den Anlagen der Zwiilag			X
Umverpacken in den Anlagen der Zwiilag (falls erforderlich)			X
Zwischenlagerung in den Anlagen der Zwiilag			X
Zwischenlagerung im Zwibez (KKB)			X
Transport zum geologischen Tiefenlager SMA			X
Zuteilbare Kosten im geologischen Tiefenlager SMA			X

Betriebsabfälle, die während der Stilllegung entstehen, gehören zu den Stilllegungskosten.

Tabelle 11: Kostenzuordnung der Reaktorabfälle aus dem Leistungsbetrieb.

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

Reaktorabfälle, die während der Stilllegung entstehen, gehören zu den Stilllegungskosten.

Tabelle 12: Kostenzuordnung der Stilllegungsabfälle.

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

^{a)} Aus Vereinfachungsgründen als Entsorgungskosten behandelt, analog zu KS16 und KS11.

2.8 Kosten vor Einstellung des Leistungsbetriebs der Kernkraftwerke

Entsorgungskosten, die vor der Einstellung des Leistungsbetriebs entstehen, sind durch die Eigentümer direkt zu zahlen. Die Entsorgungskosten vor Einstellung des Leistungsbetriebs sind in den beiden Berichten zur Entsorgung [1] und [2] ausgewiesen.

Sämtliche Stilllegungskosten sind bei der Beitragsermittlung für den Stilllegungsfonds zu berücksichtigen.

2.9 Betriebsdauer der Kernkraftwerke

Entsprechend den Vorgaben der Verwaltungskommission sind die Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten für die Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt für jeweils einen 50- und einen 60-jährigen Betrieb zu ermitteln. Alle noch in Betrieb befindlichen Kernkraftwerke verfügen über eine unbefristete Betriebsbewilligung. Für das Kernkraftwerk Mühleberg wird die erreichte Betriebsdauer von 47 Jahren angesetzt.

2.10 Grundlegende Annahmen zum Nachbetrieb und zur Stilllegung

Die mit der Kostenstudie 2021 aktualisierten Stilllegungspläne für die noch im Betrieb befindlichen Kernkraftwerke sehen analog zum Vorgehen beim Kernkraftwerk Mühleberg eine weitgehende zeitliche Überlappung von Nachbetrieb und Rückbau vor. Direkt nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs beginnen der Nachbetrieb und die Arbeiten unter der Stilllegungsverfügung³³.

Während der Dauer des Nachbetriebs werden die für den sicheren Anlagenbetrieb und die Einhaltung der Schutzziele notwendigen Systeme entsprechend dem jeweiligen Anlagezustand weiter betrieben. Die Brennelemente müssen weiterhin gekühlt, gesichert und in Transport- und Lagerbehälter verpackt werden. Der Nachbetrieb ist abgeschlossen, wenn sowohl die Kernbrennstofffreiheit erreicht ist als auch eine rechtskräftige Stilllegungsverfügung vorliegt. Die Dauer des Nachbetriebs beträgt viereinhalb Jahre für das Kernkraftwerk Mühleberg, vier Jahre für die Kernkraftwerke Beznau und Leibstadt sowie drei Jahre für das Kernkraftwerk Gösgen.

³³Die Stilllegungsverfügung wird mit Erreichen der endgültigen Ausserbetriebnahme vollumfänglich rechtswirksam.

In dieser Zeit sind sämtliche Kernbrennstoffe in ein von der Anlage unabhängiges Zwischenlager zu überführen³⁴, im Fall des Kernkraftwerks Gösgen in das Nasslager auf dem eigenen Areal. Die Überführung der Betriebsabfälle in ein unabhängiges Zwischenlager bzw. das Nasslager Gösgen, die bereits während des Leistungsbetriebs begonnen haben kann, findet ebenfalls während des Nachbetriebs statt. Sie kann auch noch während des Rückbaus fortgesetzt werden und muss vor dem Abschluss der Stilllegungsarbeiten abgeschlossen sein.

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 Umbaumassnahmen. Während der Stilllegung wird das gesamte radioaktive Material aus der Anlage entfernt. Dabei wird das Material entweder freigemessen und direkt oder nach einer vorgängigen Abklinglagerung in den konventionellen Wertstoffkreislauf überführt oder auf einer Deponie abgelagert. Sofern Material über den in der Strahlenschutzverordnung [11] festgelegten Befreiungsgrenzen liegt, wird es konditioniert³⁵, um es entweder einer Zwischenlagerung oder direkt der geologischen Tiefenlagerung zuzuführen. Wenn gemäss Kernenergiegesetz «die Stilllegungsarbeiten ordnungsgemäss abgeschlossen sind, stellt das Departement fest, dass die Anlage keine radiologische Gefahrenquelle mehr darstellt und somit nicht mehr der Kernenergiegesetzgebung untersteht³⁶.» Damit ist das Stilllegungsziel 1 «Entlassung aus der Kernenergiegesetzgebung» erreicht.

Daran schliesst sich gegebenenfalls der konventionelle Rückbau der verbleibenden Anlagenteile an. Bauwerke werden abgerissen oder können ohne durch die Kernenergiegesetzgebung bedingte Einschränkungen am Standort verbleiben. Für die Kostenstudie 2021 sind zwei Stilllegungsziele für den Umfang des konventionellen Rückbaus auszuweisen: Stilllegungsziel 2 «Rückbau der Fundamente und Betonkonstruktion bis -2 m ab Oberkante Terrain» und Stilllegungsziel 3 «vollständiger Rückbau inklusive Entfernung sämtlicher Fundamente». Die Kosten für die drei Stilllegungsziele sind im Bericht zu den Stilllegungskosten [4] ausgewiesen. Der tatsächliche Umfang der Rückbauarbeiten und das sich daraus ergebende Stilllegungsziel wird zu einem späteren Zeitpunkt entsprechend der geplanten Nachnutzung der Kernkraftwerksstandorte nach Abschluss der Stilllegung festgelegt und in der Stilllegungsverfügung angeordnet.

2.11 Grundlegende Annahmen zur Entsorgung

Unter den Themenbereich der Entsorgung fallen die Zwischenlagerung der radioaktiven Abfälle, Transporte, Transport- und Lagerbehälter für abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle, die Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente und die geologische Tiefenlagerung³⁷. Die entsorgungspflichtigen Abfallverursacher müssen gemäss Kernenergiegesetz ein Entsorgungsprogramm erstellen³⁸. Dieses wird von den Bundesbehörden geprüft und vom Bundesrat genehmigt. Im Entsorgungsprogramm haben die Entsorgungspflichtigen unter anderem Angaben zu machen über die Menge und Art der radioaktiven Abfälle, die Dauer und die benötigte Kapazität der zentralen und dezentralen Zwischenlagerung, die benötigten geologischen Tiefenlager einschliesslich ihres Auslegungskonzepts, die Zuteilung der radioaktiven Abfälle auf die geologischen Tiefenlager, das Realisierungsprogramm zur Erstellung der Lager und die Finanzierung der Entsorgung. Das Entsorgungsprogramm wird alle fünf Jahre aktualisiert.

Die Kostenstudie und das Entsorgungsprogramm werden im Jahr 2021 inhaltlich koordiniert und im gleichen Zeitraum beim Bund eingereicht. Dies gewährleistet eine widerspruchsfreie Darstellung. Das Entsorgungsprogramm bildet den gegenwärtigen Stand der Planung zur geologischen Tiefenlagerung ab. Es berücksichtigt Handlungsoptionen für das Konzept der geologischen Tiefenlagerung in ergebnisoffener Form, ohne Vorentscheide zu Standorten oder technischen Auslegungen zu treffen.

³⁴Brennelemente, die nie in den Kern eingesetzt wurden, werden in der Regel an den Hersteller zwecks Recycling der Wertstoffe zurückgegeben.

³⁵Konditionierung bezeichnet die Gesamtheit der Operationen, mit welchen radioaktive Abfälle für die Zwischenlagerung oder für die Lagerung in einem geologischen Tiefenlager vorbereitet werden; insbesondere die mechanische Verkleinerung, die Dekontamination, die Verpressung, die Verbrennung, die Einbettung in Abfallmatrizen und die Verpackung.

³⁶Art. 29 KEG [7].

³⁷Die Entsorgungskosten werden in der Kostenstudie 2021 in zwei getrennten Berichten [1] und [2] erläutert.

³⁸Art. 32 KEG [7].

Demgegenüber geht die Kostenstudie 2021 für die geologische Tiefenlagerung von einem modellhaften, aber konkreten Basisprojekt aus. Es berücksichtigt die Vorgaben für die Kostenstudie 2021 zu den Modellstandorten³⁹ und der Methodik der Kostenermittlung und weist einen Detaillierungsgrad auf, der die Nachvollziehbarkeit der Kostenermittlung unter Berücksichtigung von Chancen und Gefahren ermöglicht. Im Rahmen der Chancen und Gefahren werden auch alternative Varianten zum Basisprojekt betrachtet. Das sich abzeichnende Kombilager wird als gemeinsamer Lagerstandort für ein SMA- und HAA-Lager betrachtet. Das Kombilager ist eine vorteilhafte, wahrscheinliche Variante (vgl. Entsorgungsprogramm 2021 [6]), da ein Kombilager genauso sicher gebaut und betrieben werden kann wie zwei Einzellager, in allen Standortregionen ein ausreichendes Platzangebot für ein Kombilager vorhanden ist, ein Kombilager ökologisch und raumplanerisch vorteilhaft ist sowie im Bewusstsein der Öffentlichkeit ein Kombilager als wahrscheinliche Lagervariante gilt. Aus diesen Gründen wird die Chance Kombilager mit einer Gewichtung von 75 Prozent berücksichtigt. Die Kostenstudie trifft daher zur Ermittlung der Kosten für die geologische Tiefenlagerung modellhafte Annahmen, die mit dem Entsorgungsprogramm vereinbar sind, aber keine vorzeitigen Festlegungen zu späteren Entscheidungen auf dem Wege zu einem geologischen Tiefenlager bedeuten.

Die Kostenstudie berücksichtigt die im Sachplan festgelegten Verfahrensschritte und Kriterien für das Standortauswahlverfahren. Dabei wird ein aktualisierter Zeitplan verwendet.

Die Auswahl der Standorte für die Vorbereitung der Rahmenbewilligungsgesuche für die geologischen Tiefenlager wird etwa 2022 erfolgen. Dann ist bekannt, wo voraussichtlich das oder die Tiefenlager gebaut werden sollen. Der abschliessende Standortentscheid und die Rahmenbewilligung des Bundesrats werden für 2029 erwartet. Der Entscheid des Bundesrats zur Rahmenbewilligung muss vom Parlament genehmigt werden und unterliegt dem fakultativen Referendum (ca. 2031).

Das Tiefenlager für schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA-Lager) geht gemäss Realisierungsplan 2050 und jenes für hochaktive Abfälle (HAA-Lager) 2060 in Betrieb. Die Inbetriebnahme des Kombilagere ist ebenfalls für 2050 vorgesehen. Die Betriebsbereitschaft für den Einlagerungsbetrieb beträgt beim SMA-Lager sowie beim HAA-Lager jeweils 15 Jahre und beim Kombilager insgesamt 25 Jahre. Die Dauer der effektiven Einlagerung von Abfallgebinden in die geologischen Tiefenlager kann kürzer sein als die Betriebsbereitschaft.

Sind alle Abfälle eingelagert und alle Lagerkammern verschlossen, werden die Oberflächenanlagen grösstenteils zurückgebaut und es beginnt die Überwachungsphase. Nach zehn Jahren werden die direkten Zugänge zu den Lagerkammern sowie die des Zugangstunnels zum HAA-Lager verfüllt und versiegelt.

Nach weiteren 40 Jahren werden die verbliebenen Oberflächenanlagen stillgelegt und zurückgebaut. Die verbleibenden Untertagbauten werden verfüllt beziehungsweise versiegelt (vgl. Abbildung 4, Verschlussverfügung).

2.12 Vorgaben der Verwaltungskommission für die Erstellung der Kostenstudie 2021

Die Verwaltungskommission machte für die Erstellung der Kostenstudie die folgenden Vorgaben, die an unterschiedlichen Stellen im Mantelbericht und den weiteren Teilberichten der Kostenstudie 2021 adressiert werden und hier nochmal zusammengefasst sind.

³⁹Es sind dies das Standortgebiet Zürich Nordost (kurz: ZNO) für das HAA-Lager und das Standortgebiet Jura Ost (kurz: JO) für das SMA-Lager.

Tabelle 13: Vorgaben der Verwaltungskommission für die Erstellung der Kostenstudie 2021 – Teil Allgemein.

Parameter	Vorgabe
Zu berücksichtigende Gesetze und Verordnungen	Die per 01.01.2020 rechtsgültigen Gesetze, Verordnungen und Richtlinien sind zu berücksichtigen. Absehbare Revisionen sind als Gefahr und Chancen zu berücksichtigen und auszuweisen.
Preisbasis	Preisbasis 01. Januar 2021.
Wechselkurse (Euro-Franken und Dollar-Franken)⁴⁰	Swissnuclear schlägt die Wechselkurse vor. Die Wechselkurse sind durch die VK in Abstimmung mit der EFV zu genehmigen.
Kostengliederung, Kostenschätzmethodik	<p>Für die KS21 ist die Kostengliederung zu verwenden. Die Kostengliederung enthält auch Vorgaben zum Vorgehen bei der Ermittlung der Kosten.</p> <p>Die verschiedenen Kostenniveaus (Ausgangskosten (Kosten Nr. 1), Kosten zur Risikominderung (Kosten Nr. 2), Basiskosten (Kosten Nr. 3), Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten (Kosten Nr. 4) und Gefahren (Kosten Nr. 5), Kostenabschläge für Chancen (Kosten Nr. 6), genereller Sicherheitszuschlag (Kosten Nr. 8)) sind transparent darzustellen.</p> <p>Zusätzlich sind aussergewöhnliche Ereignisse (Gefahren und Chancen) mit sehr niedriger, meist unbekannter Eintrittshäufigkeit und sehr grossen Auswirkungen (sogenannte High Impact / Low Frequency-Ereignisse) als Kosten Nr. 7 aufzulisten.</p>
Kalkulatorische Betriebsdauer der KKW	KKM: 47 Jahre KKB, KKG und KKL: Es sind sowohl die Kosten für 50 Jahre Betrieb (Basiszenario) als auch für 60 Jahre Betrieb zu berechnen und zu überprüfen.
Rechtsmittelverfahren	Es sollen in den Basiskosten keine kostentreibenden Verzögerungen berücksichtigt werden. Diese sind als Projektrisiken zu quantifizieren und aufzuführen.
Kostenstrukturen	Die von den Betreibern erarbeiteten und von der Kommission auf Antrag des Kostenausschusses festgelegten Kostenstrukturen sind für die KS21 zwingend zu verwenden.
Empfehlungen	Die Empfehlungen des ENSI und der Kostenexperten Stilllegung und Entsorgung aus der Überprüfung der KS16 sind im Rahmen der KS21 zu berücksichtigen.

⁴⁰Folgende Wechselkurse wurden von der Verwaltungskommission in Abstimmung mit der Eidgenössischen Finanzverwaltung (EFV) mit Brief vom 26. Juni 2020 genehmigt. Für die Kostenermittlung werden, wo notwendig, verwendet: USD/CHF = 1.00; EUR/CHF = 1.20; GBP/CHF = 1.40; SEK/CHF = 0.12.

Tabelle 14: Vorgaben der Verwaltungskommission für die Erstellung der Kostenstudie 2021 – Teil Nachbetrieb und Stilllegung.

Parameter	Vorgabe
<p>Nachbetrieb (Abgrenzung Betrieb/Stilllegung)</p>	<p>Die Nachbetriebskosten von EELB (endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs) bis zur Erreichung der Kernbrennstofffreiheit sind von den Stilllegungskosten getrennt auszuweisen. Bei diesen Kosten handelt es sich um die Nachbetriebskosten, die nicht aus den Fonds finanziert werden. Die Betriebskosten nach Erreichen der Kernbrennstofffreiheit (Rückbaubetrieb) – sofern die Stilllegungsverfügung rechtskräftig ist – gehören zur Stilllegung. Ebenfalls gehören die Vorbereitungskosten zur Stilllegung (Planung, Erstellung Stilllegungsverfügung, vorbereitende Arbeiten in der Anlage, etc.) zu den Stilllegungskosten, auch wenn sie vor EELB anfallen. Die Kosten für die Vorbereitung der Stilllegung vor und nach EELB sind in der KS21 darzustellen.</p> <div data-bbox="646 750 1436 884" style="text-align: center;"> <p>Endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs Stilllegungsverfügung rechtskräftig und Kernbrennstofffreiheit erreicht Entlassung aus der Kernenergiegesetzgebung</p> <p>Leistungsbetrieb Nachbetrieb Rückbaubetrieb</p> </div> <p>Da es nicht möglich ist, jede Nachbetriebsmassnahme und Rückbaumassnahme zeitlich zuzuordnen, können Rückbaumassnahmen während der Nachbetriebsphase sowie Nachbetriebsmassnahmen während des Rückbaus stattfinden. Die entsprechenden Kosten sind jeweils der zugehörigen Phase zu zuweisen.</p>
<p>Stilllegungsvariante</p>	<p>Sofortiger Rückbau.</p>
<p>Stilllegungsziel</p>	<p>Folgende Stilllegungsziele sind kostenmässig abzubilden:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Vollständiger Rückbau inkl. Entfernung sämtlicher Fundamente. ▪ Grüne Wiese: Die Einsparungen, falls die Fundamente und Betonkonstruktion nur bis -2 m ab OK Terrain zurückgebaut werden, sind auszuweisen. ▪ Entlassung aus der Kernenergie Gesetzgebung.
<p>Stilllegungsplanung</p>	<p>Für die KS21 sind die Stilllegungsplanungen zu überarbeiten und dem ENSI zur Prüfung zu unterbreiten. Für das KKM und das KKB sind die aktuellen Erkenntnisse aus der Erarbeitung des Stilllegungsprojektes als Grundlage für die KS21 zu verwenden.</p>
<p>Abklinglager für radioaktive Stoffe</p>	<p>Abklinglagerung wird als Basiskosten berücksichtigt und ausgewiesen.</p>

Tabelle 15: Vorgaben der Verwaltungskommission für die Erstellung der Kostenstudie 2021 – Teil Entsorgung.

Parameter	Vorgabe
Standorte geologischer Tiefenlager	In der KS21 sind die Kosten für zwei Einzellager mit gleichen Modellstandorten (Zürich-Nord-Ost (ZNO): HAA-Lager und Jura-Ost (JO): SMA-Lager) wie in der KS16 zu berechnen. Weitere Standortvarianten (z. Bsp. Nördlich Lägern (NL), Kombilager) sind separat abzubilden.
Inbetriebnahme SMA- und HAA-Lager	SMA-Lager 2050 HAA-Lager 2060 Zeitpunkt Kombilager: 2050 Die alphatoxischen Abfälle (ATA) sind nicht mehr ausschliesslich zur Lagerung in einem HAA-Lager vorzusehen, sondern können auch im SMA-Lager eingelagert werden
Zwischenlagerkapazitäten	Bestehende Kapazitäten
Abgeltungen für Standortregionen	Abgeltungen an die Standortregionen sind in der KS21 zu berücksichtigen.

3 Methodik der Kostenermittlung

Die Kostenstudie 2021 weist im Vergleich zur Kostenstudie 2016 minimale methodische Änderungen auf. Die zwei wesentlichen Neuerungen, Kostenstrukturen und Kostengliederung, welche die Verwaltungskommission in der Kostenstudie 2016 eingeführt hat, werden in der Kostenstudie 2021 weiterhin angewendet und in den folgenden Kapiteln erläutert.

3.1 Kostenstrukturen

Für die Kostenstudie 2016 wurden erstmals einheitliche Kostenstrukturen für die Ermittlung von Stilllegungs-, Entsorgungs- und Nachbetriebskosten entwickelt. Diese Kostenstrukturen dienen der transparenten, vergleichbaren und in der Projektabwicklung effizienten Kostenerfassung und -darstellung. Damit soll insbesondere sichergestellt werden, dass keine materiellen Abweichungen im Ausweis der Kosten zwischen Kostenplanung und Projektabwicklung entstehen, das heisst, dass die Kostenermittlungen und der effektive Kostenanfall im Zeitablauf vergleichbar sind. Weiter sollen die Kostenstrukturen eine internationale Vergleichbarkeit der Projekte erlauben.

Dies kann entweder über die Anwendung internationaler Empfehlungen wie zum Beispiel der «International Structure for Decommissioning Costing (ISDC) of Nuclear Installations»⁴¹ erfolgen oder über die Darstellung der Projekte nach international gängiger Praxis mit entsprechenden Kostenstrukturen. Angesichts der von der Verwaltungskommission und den Betreibern der Kernanlagen angestrebten praktikablen und abwicklungsgerechten Kostenstrukturen weisen die ISDC Defizite auf. Deshalb wird für die Kostenstrukturen der Kostenstudie 2021 die ISDC nur in Form einer Überleitung der Kostenermittlung dargestellt. Diese Überleitung ist Bestandteil der Kostenstudie für die Stilllegung [4].

Weiterhin dienen die Kostenstrukturen dazu, die der Stilllegung und Entsorgung zuordenbaren Aktivitäten und Leistungen von den übrigen Aktivitäten der Betreiber (zum Beispiel Nachbetrieb oder weitere betriebliche Rückstellungen) abzugrenzen.

3.1.1 Nachbetrieb und Stilllegung

Die Kostenstrukturen dienen sowohl der Kostenermittlung als auch der Abwicklung von Zahlungsflüssen zwischen Fonds und Betreibern. Sie werden durchgängig von der Kostenermittlung bis zum Abschluss der Stilllegung angewendet. Dadurch bieten die Kostenstrukturen unter anderem Gewähr für ein effektives Controlling der Kosten in der Projektdurchführung. Dies ist für die Verrechnung von Kosten zwischen Fonds und Betreibern von besonderer Relevanz, weil die Rechnungen auf formelle Richtigkeit zu prüfen sind und eine termingerechte Zahlung durch die Fonds erfolgen soll⁴². Um die Verrechenbarkeit sicher zu stellen, müssen die Betreiber ihre Auszahlungsansprüche gegenüber den Fonds so strukturieren und dokumentieren, dass sie anhand der aktuellen Kostenermittlung (Kostenberechnung beziehungsweise Kostenvoranschlag) nachprüfbar sind.

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

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

⁴¹OECD 2012, NEA No. 7088, Nuclear Energy Agency, Organisation for Economic Cooperation and Development, ISBN 978-92-64-99173-6 [14].

⁴²Art. 14b SEFV [9].

Die Ermittlung der Kosten für Nachbetrieb und Stilllegung im Rahmen der Kostenstudie 2021 basiert auf Bewertungen und Berechnungen der Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH für jedes Kernkraftwerk sowie für die Stilllegung des Zwibez und des zentralen Zwischenlagers der Zwiilag. Die Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH arbeitet seit mehr als 40 Jahren auf dem Gebiet des Nachbetriebs und der Stilllegung kerntechnischer Anlagen, inklusive der Ermittlung der Kosten für die Stilllegung und den Abbau von Anlagen des Brennstoffkreislaufs.

Die Ermittlung der Kosten erfolgte dabei für alle Kernanlagen nach einheitlichen Kriterien. Werkspezifische Faktoren, die Auswirkungen auf die Stilllegungs- und Rückbauprojekte haben, wurden ebenfalls berücksichtigt. Das Ergebnis ist eine für alle Kernkraftwerke nahezu identische Kostenstruktur auf den Gliederungsebenen 1 bis 3.

Auf der Gliederungsebene 1 der Kostenstrukturen wird zwischen Nachbetrieb und Stilllegung unterschieden, um die anfallenden Kosten eindeutig den unterschiedlichen Finanzierungsquellen – eigene Mittel zur Zahlung der Nachbetriebskosten und Stilllegungsfonds für die Verrechnung der Stilllegungskosten – zuordnen zu können. Auf Gliederungsebene 2 wird bei den Betriebskosten zwischen den grossen Organisationseinheiten und Sachkostenkategorien unterschieden, bei den projektbezogenen Stilllegungskosten sind die Projekte hinsichtlich der radioaktiven Belastung der zurückzubauenden Komponenten (aktiviert, kontaminiert, nicht kontaminiert) unterschieden. Auf der dritten Gliederungsebene erfolgt eine weitere Detaillierung.

Die Kostenstrukturen sind im Bericht zu den Stilllegungskosten [4] und im Bericht zu den Nachbetriebskosten [3] detaillierter dargestellt.

3.1.2 Entsorgung

Die Kostenstrukturen für die Entsorgung umfassen die Kosten der Zwischenlagerung, der Transporte und Behälter, die Kosten für die Projektierung und den Bau, Betrieb und Verschluss der geologischen Tiefenlager sowie die Kosten der Wiederaufarbeitung. Die Entsorgungskosten werden durch verschiedene Organisationen erhoben und bei swissnuclear zusammengeführt:

- Die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) erstellt die Kostenermittlung für die Projektierung, den Bau, Betrieb, Verschluss und Überwachung der geologischen Tiefenlager (inkl. Verpackungsanlagen). Daneben erstellt die Nagra das Transport- und Abfallmengengerüst⁴³ (TAMG), das für die Schätzung weiterer Bestandteile der Entsorgungskosten massgebend ist.
- Die Zwiilag Zwischenlager Würenlingen AG erstellt die Kostenermittlung für die Investitions- und Betriebskosten des zentralen Zwischenlagers in Würenlingen. Die Schätzung der variablen Betriebskosten des zentralen Zwischenlagers (sog. Kampagnenkosten) basiert auf dem TAMG. Axpo ermittelt die Kosten für den Betrieb des Zwischenlagers Beznau am Standort des Kernkraftwerks Beznau.
- Die Betreiber der Kernanlagen ermitteln die erwarteten Kosten für die Transporte von den Werken in die Zwischenlager und von den Zwischenlagern in die geologischen Tiefenlager sowie die Kosten für die Beschaffung der Transport- und Lagerbehälter für abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle. Die Ermittlung der erwarteten Kosten basiert auf dem TAMG (Anzahl Behälter pro Behältertyp, resultierendes Volumen) und den in den Kostenfaktoren berücksichtigten Annahmen der Betreiber (spezifische Kosten pro Behältertyp, Transportkosten).
- Es fallen keine zukünftigen Kosten für die Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente an. Die Rückführung sämtlicher Abfälle aus der Wiederaufarbeitung ist inklusive der Erfüllung der vertraglichen Verpflichtungen abgeschlossen.

⁴³Im Transport- und Abfallmengengerüst werden die Behälter für radioaktive Abfälle und die Transporte zum zentralen und zu den dezentralen Zwischenlagern zusammengefasst.

Der mit Abstand grösste Anteil an den Entsorgungskosten entfällt auf die geologischen Tiefenlager. Es handelt sich um langjährige Infrastrukturprojekte mit einem Volumen von mehreren Milliarden Franken. Ihre Komplexität ergibt sich aus einer Vielzahl von technologischen, sicherheitstechnischen, baulichen, rechtlichen und politischen Anforderungen und Einflussfaktoren.

Angesichts der Grösse und Komplexität der Projekte, der Risiken sowie der durch die Abfallverursacher sicherzustellenden Finanzierung kommt der Qualität, Vollständigkeit, Transparenz und Stetigkeit der Kostenplanung eine grosse Bedeutung zu.

Um diese Anforderungen sicherzustellen, hat die Verwaltungskommission auch für die Kostenermittlung der geologischen Tiefenlager verbindliche Kostenstrukturen vorgegeben.

Für die geologischen Tiefenlager bilden die Vorhaben «SMA-Lager» und «HAA-Lager» in der Kostenstruktur die oberste Ebene. Das «Kombilager» mit beiden Lagertypen an einem Standort bildet auf oberster Ebene eine wahrscheinliche Variante zum Basisvorhaben mit zwei Einzellagern. Die weiteren Gliederungsebenen umfassen die erforderlichen Hauptaktivitäten (Ebene 2), Objektgruppen (Ebene 3) und Objekte (Ebene 4).

Die drei obersten Gliederungsebenen sind fixiert und wurden bereits in den bisherigen Kostenstudien konsistent verwendet. Die Objektliste auf der vierten Gliederungsebene wurde im Rahmen der Kostenstudie 2016 angepasst und wo notwendig aktualisiert. Diese Kostenstrukturen orientieren sich an allgemein verwendeten Grundsätzen für die Kostenplanung von Bauprojekten. Das Ziel solcher Normen besteht darin, eine kontinuierliche und phasengerechte Anwendung der gleichen Kostenstrukturen von der strategischen Planung über die Inbetriebnahme der Bauwerke, deren Betrieb bis hin zur Stilllegung/Rückbau bzw. dem Verschluss zu ermöglichen. Dadurch wird die Kostentransparenz erhöht und der Überblick über die Kostenentwicklung und ihre Ursachen verbessert. Weiter lässt sich mit den allgemein anwendbaren Normen die Vollständigkeit der Kostenermittlung sicherstellen.

Die Kostenstrukturen der übrigen Bestandteile der Entsorgungskosten (Zwischenlagerung, Transporte, Transport- und Lagerbehälter, Wiederaufarbeitung) weisen gegenüber den Kostenstrukturen für die geologische Tiefenlagerung eine deutlich geringere Komplexität auf:

- Für das zentrale Zwischenlager wurden die drei Bauetappen abgeschlossen und die damit zusammenhängenden Investitionen getätigt. Das restliche erwartete Investitionsvolumen betrifft Ersatz- und Ergänzungsinvestitionen. Die Betriebskosten des zentralen Zwischenlagers inklusive der Kampagnenkosten für Behandlung und Zwischenlagerung von radioaktiven Abfällen und Brennelementen wurden in eine vereinfachte Aufwandsstruktur überführt.
- Die Kosten für die Transporte und die Beschaffung der Transport- und Lagerbehälter für abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle leiten sich aus dem TAMG sowie den Kostenfaktoren (Behältertyp, Entfernung) ab. Die Kosten ergeben sich grundsätzlich aus der Menge der Behälter (Anzahl Behälter pro Behältertyp) multipliziert mit den jeweiligen Kostenansätzen. Für die Abrechnung der Leistungen mit dem Entsorgungsfonds ist sicherzustellen, dass in den Kostenstudien alle relevanten Informationen (Anzahl der Behälter pro Behältertyp, Zeitpunkt der Beschaffung des Behälters beziehungsweise des Transports des Behälters, Kostenansatz pro Behälter beziehungsweise Transport des Behälters) enthalten sind und nachgewiesen werden können.

Die Kostenstrukturen für die einzelnen Komponenten der Entsorgungskosten sind in den Referenzberichten [1] und [2] dargestellt.

3.2 Kostengliederung

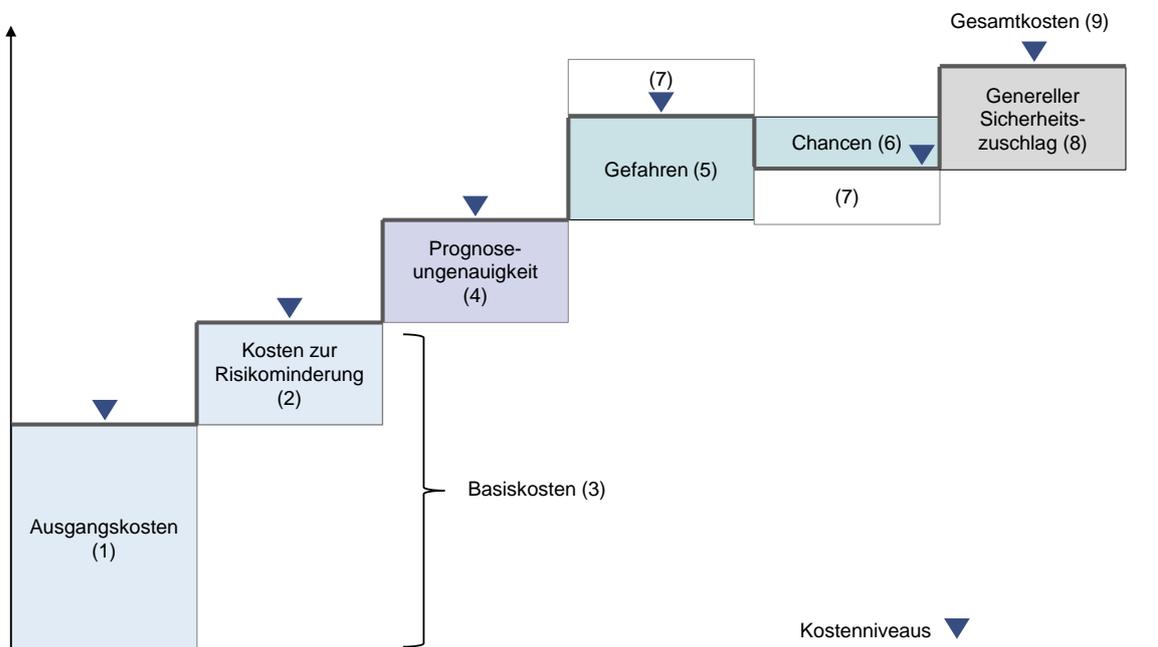
Die Kostengliederung liefert im Vergleich zu den in Kapitel 3.1 dargestellten Kostenstrukturen eine andere Sichtweise auf die Kostenermittlung. Während die Kostenstrukturen die Kosten thematisch den Entstehungsquellen zuordnen, trägt die Kostengliederung der Unsicherheit von Schätzungen der zu erwartenden Kosten während der Projektdurchführung Rechnung.

Durch die Kostengliederung werden also die unterschiedlichen Arten von Unsicherheiten in einem Projekt (zum Beispiel Ungewissheiten bei Massen, Preisen oder Dauern) ebenso wie externe Änderungen des Projektumfelds (zum Beispiel aufgrund sich ändernder rechtlicher Vorgaben) umfassend identifiziert und transparent ausgewiesen. Konkret bedeutet dies, dass neben den zu erwartenden Projektkosten auch die enthaltenen Zuschläge für projekthärente Unsicherheiten transparent darzustellen sind.

Die Kostenstudien in der Schweiz werden alle fünf Jahre neu erstellt. Änderungen der gesetzlichen, technischen oder finanziellen Rahmenbedingungen werden zum jeweiligen Zeitpunkt der Kostenermittlung auf den aktuellen Stand gebracht. Für die Kostenstudie 2021 wurden absehbare Änderungen dieser Rahmenbedingungen in Bezug auf ihre allfälligen finanziellen Konsequenzen analysiert und als Zuschläge in der Kalkulation berücksichtigt.

3.2.1 Vorgaben der Verwaltungskommission für die Kostenstudie 2021

Die Verwaltungskommission gab für die Kostenstudie 2021 die in Abbildung 6 dargestellte Kostengliederung vor.



(7) Auflistung von nicht berücksichtigten Gefahren / Chancen

Abbildung 6: Grafische Darstellung der Kostengliederung.

Die einzelnen Kostenelemente, welche in den Kostenstudien abzubilden sind, wurden von der Verwaltungskommission wie folgt definiert:

Ausgangskosten (1)

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

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

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

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

Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten (4)

Alle Kostenschätzungen, insbesondere in den frühen Phasen eines Projekts, sind mit Ungenauigkeiten verbunden. Dies betrifft den Leistungsumfang (scope) sowie die angenommenen Mengen und Preise. Da bei der KS21 nicht mit Vertrauensintervallen gearbeitet wird, müssen diese Ungenauigkeiten mit Zuschlägen berücksichtigt werden. Diese Zuschläge werden «Bottom-up» für jedes Element des Projektstrukturplans in Prozent der Ausgangskosten bzw. 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 (z. B. regulatorisches Umfeld, Inflation) sind hier nicht enthalten.

Kostenzuschläge für Gefahren (5)

Kostenzuschläge infolge der Berücksichtigung von absehbaren Gefahrenpotenzialen, z. B.:

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

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

Kostenabzüge für Chancen (6)

Kostenreduktionen infolge der Berücksichtigung von absehbaren Chancenpotenzialen, z. B.:

- 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 im Kapitel 3.2.1 dargestellten Vorgaben für die Kostenstudie 2021. 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 sowie externen Risikofaktoren bei Kostenstudien im nuklearen Umfeld beschäftigen⁴⁴. Die in der relevanten Literatur beschriebenen Best Practice-Methoden zur Risikoanalyse sehen sowohl Massnahmen der quantitativen wie auch der qualitativen Risikoanalyse vor. Beide Verfahren fanden Eingang in die Umsetzung der Kostengliederung.

Ziel bei der Umsetzung der Kostengliederung ist eine dem Planungsstand der jeweiligen Teilbereiche der Kostenermittlung angemessene systematische Erfassung von Faktoren, die zu Abweichungen von Plankosten im Zeitablauf führen. Dabei ist die quantitative und qualitative Risikoanalyse, deren Anwendung in den Teilberichten für Nachbetrieb, Stilllegung und Entsorgung beschrieben wird, von besonderer Bedeutung. Eine der wichtigsten Anforderungen an die Methodik ist die zuverlässige Ermittlung der Gesamtkosten mit stufengerechter Berücksichtigung der Ungenauigkeiten und Risiken. Mit einer deterministischen Aufrechnung allein können die Auswirkungen der Ungenauigkeiten für geplante Leistungen nicht in angemessener Weise abgebildet werden. In Ergänzung zu den Vorgaben der Verwaltungskommission werden deshalb orientierende Rechnungen mit probabilistischen Methoden durchgeführt. Diese Methoden berücksichtigen auch die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Eingangsgrössen. Im vorliegenden Fall sind die einzelnen Elemente der Kostenstrukturen die Eingangsgrössen.

Bestandteil der Methodik sind auch die regelmässige Überprüfung der Kostenermittlungen, der Vergleich ihrer Ergebnisse mit laufenden oder abgeschlossenen ähnlichen Projekten im In- und Ausland und die Anpassungen der Kostenermittlungen entsprechend dem jeweiligen Kenntnis- und Planungsstand. In der Schweiz geschieht dies im Rahmen der fünfjährigen Aktualisierung der Kostenstudien.

Die jeweilige Umsetzung der Kostengliederung wird in den Detailberichten der KS21 näher erläutert.

⁴⁴Z. B. OECD NEA: Costs Of Decommissioning Nuclear Power Plants [15].

4 Beschreibung der wesentlichen Aktivitäten

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Massnahmen des Nachbetriebs, der Stilllegung und der Entsorgung zusammengefasst, für Details wird auf die relevanten Kapitel der Detailberichte verwiesen.

4.1 Aktivitäten im Nachbetrieb

Für die Schweizer Kernkraftwerke wurde auf Basis der im Bericht zu den Nachbetriebskosten [3] genannten Randbedingungen und Annahmen ein Konzept für die Abwicklung des Nachbetriebs erarbeitet. Es berücksichtigt die praktischen Erfahrungen von bereits laufenden Stilllegungsprojekten und die rechtlichen und regulatorischen Anforderungen in der Schweiz.

Neben der Auslagerung der Brennelemente⁴⁵ und den betrieblichen Aufgaben zum Betrieb und zur Instandhaltung der Systeme für die Kühlung der Brennelemente beinhalten die Massnahmen im Nachbetrieb folgende Schwerpunkte:

- Dekontamination/Spülen von Systemen und Kreisläufen.
- Entsorgung der aus dem Leistungsbetrieb noch vorhandenen Betriebsabfälle.
- Entsorgung der während des Nachbetriebs entstehenden Betriebsabfälle.
- Entsorgung der Reaktorabfälle (diese können bereits während des Leistungsbetriebs angefallen sein oder im Nachbetrieb anfallen).
- Ausserbetriebnahme nicht mehr benötigter Systeme.

4.2 Aktivitäten in der Stilllegung

Die Stilllegungsstudien der Schweizer Kernanlagen entsprechen dem in der Kernenergiegesetzgebung geforderten Stilllegungsplan, bzw. basieren auf den Erkenntnissen des Stilllegungsprojekts des Kernkraftwerks Mühleberg. Der Stilllegungsplan berücksichtigt Erfahrungen aus laufenden und abgeschlossenen Stilllegungsprojekten und basiert auf den im Bericht zu den Stilllegungskosten [4] aufgeführten Annahmen und Rahmenbedingungen sowie den gesetzlichen und regulatorischen Anforderungen in der Schweiz. Der Stilllegungsplan wurde mit der Kostenstudie 2021 für die Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt sowie für die Einrichtungen zur Zwischenlagerung aktualisiert. Die wesentliche Änderung gegenüber dem bisherigen Stilllegungsplan der Kernkraftwerke ist die weitgehende zeitliche Überlappung von Nachbetrieb und Stilllegung. Für das Projekt KKM wurde neben dem Stilllegungsprojekt ebenfalls der Projektstand bis zum Jahr 2020 bei der Kalkulation berücksichtigt. Im Bericht zu den Stilllegungskosten werden zudem neu drei Stilllegungsziele mit den entsprechenden Stilllegungskosten ausgewiesen. Für die Einrichtungen zur Zwischenlagerung haben sich keine signifikanten Änderungen ergeben.

Neben der Erstellung und Einreichung der Gesuchsunterlagen für den Erhalt der Stilllegungsverfügung und der Gesamtprojektleitung umfassen die Massnahmen der Stilllegung folgende Schwerpunkte:

- Vorbereitungsmaßnahmen und Umbaumaassnahmen wie:
 - Anpassungen an der Anlageninfrastruktur zur Vorbereitung des Rückbaus,
 - Ausserbetriebnahme nicht mehr benötigter Systeme,
 - Systemtechnische Anpassungen und Einrichtung von Ersatzsystemen;
- Demontage von Komponenten und Einrichtungen;
- Dekontamination der Gebäude und Einrichtungen der kontrollierten Zone;
- Freimessung und Auszonung der Gebäude der kontrollierten Zone;
- Behandlung und Verpackung der Stilllegungsabfälle;

⁴⁵Inklusive nicht eingesetzter Brennelemente, einzelner Brennstäbe und beschädigter Brennelemente.

- Behandlung und Verpackung der während den Rückbauarbeiten anfallenden Betriebsabfälle und Sekundärmassen;
- Abklinglagerung von Materialien;
- Fortsetzung des ordnungsgemässen Betriebs (inkl. aller Wartungs- und Instandhaltungsmassnahmen) der noch benötigten Systeme und allgemeiner Anlagebetrieb (sog. Rückbaubetrieb) nach dem Ende des Nachbetriebs;
- Am Standort des Kernkraftwerks Beznau wird nach Verbringung sämtlicher dort eingelagerter Materialien in das geologische Tiefenlager auch das Zwischenlager Beznau zurückgebaut;
- Am Standort des Kernkraftwerks Gösgen wird nach Verbringung sämtlicher abgebrannter Brennelemente in das zentrale Zwischenlager der Zwiilag auch das Nasslager des Kernkraftwerks Gösgen zurückgebaut.

Bei den Stilllegungskosten wird zwischen Stilllegungskosten vor EELB und solchen nach EELB unterschieden. Beide Arten der Stilllegungskosten sind in den Stilllegungsfonds einzuzahlen.

4.3 Aktivitäten in der Entsorgung

Die Aktivitäten in der Entsorgung werden umfassend in den Berichten zu den Entsorgungskosten [1] und [2] beschrieben. Dort wird auch auf die Annahmen und Rahmenbedingungen sowie die gesetzlichen und regulatorischen Vorgaben in der Schweiz Bezug genommen. Die Massnahmen der Entsorgung umfassen insbesondere die folgenden Aktivitäten:

- Erhebung, Klassifizierung und Inventarisierung der in der Schweiz anfallenden radioaktiven Materialien aus den Kernanlagen sowie aus der Nutzung radioaktiver Materialien in Medizin, Industrie und Forschung.
- Planung, Bau, Betrieb und Verschluss der geologischen Tiefenlager.
- Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente (Zentrales Zwischenlager Würenlingen, Zwischenlager Beznau).
- Beschaffung der Transport- und Lagerbehälter für abgebrannte Brennelemente sowie Behälter zur Entsorgung von Betriebsabfällen.
- Transporte radioaktiver Abfälle.

Die Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente wurde vollständig abgeschlossen. Es fallen keine zukünftigen Kosten an.

5 Resultate der Kostenermittlungen

5.1 Ermittlung der Gesamtkosten

Die Kostenstudie 2021 weist die nachfolgend dargestellten Gesamtkosten für Nachbetrieb, Stilllegung und Entsorgung aus.

Tabelle 16: Gesamtkostenermittlung der Kostenstudie 2021 mit Darstellung der Kostengliederung. Vergleich mit der Kostenstudie 2016 auf der Preisbasis 2021.

Element der Kostengliederung	Entsorgung		Stilllegung		Nachbetrieb		Total	
Aufgelaufene Kosten bis 2020	6'326		135		74		6'535	
Zukünftige Kosten ab 2021								
Ausgangskosten	8'865		2'536		1'206		12'608	
Kosten zur Risikominderung	289		58		20		367	
Basiskosten	9'154		2'595		1'226		12'975	
Prognoseungenauigkeiten	16.5%	1'514	12.4%	323	5.1%	63	14.6%	1'900
Zuschlag für Gefahren	17.7%	1'618	19.0%	494	16.8%	206	17.9%	2'318
Abzug für Chancen	-0.8%	-71	-0.4%	-10	-0.1%	-2	-0.6%	-82
Genereller Sicherheitszuschlag	9.6%	876	5.0%	130	-	-	7.7%	1'005
Zuschlag auf zukünftige Basiskosten	43.0%	3'936	36.1%	937	21.8%	267	39.6%	5'140
Gesamtkosten KS21 zwei Einzellager	19'417		3'666		1'567		24'650	
Kombilager als Chance (75 % gewichtet)	-1'226		0		0		-1'226	
Gesamtkosten KS21 bei Berücksichtigung des Kombilagers als Chance (75 % gewichtet)	18'191		3'666		1'567		23'424	
Gesamtkosten KS16 PB21	20'778		3'874		1'746		26'398	
Differenz	-6.6%	-1'361	-5.4%	-208	-10.2%	-179	-6.6%	-1'748
Gesamtkosten KS16 PB21 bei Berücksichtigung des Kombilagers als Chance (75% gewichtet)	19'525		3'874		1'746		25'145	
Differenz	-6.8%	-1'334	-5.4%	-208	-10.2%	-179	-6.8%	-1'720

In Millionen Franken, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

Die Vergleichsbasis der KS16 entspricht den durch den STENFO geprüften KS16-Zahlen inkl. dem generellen Sicherheitszuschlag mit Preisbasis 2021.

Dargestellt sind die Entsorgungskosten für die Variante zwei Einzellager und das Stilllegungsziel 3 (Vollständiger Rückbau inkl. Entfernung sämtlicher Fundamente).

Die Kombilager-Variante wird mit gleicher Eintrittswahrscheinlichkeit verglichen (Chance Kombilager 75 Prozent).

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

Tabelle 17 zeigt die Veränderung der Kosten des Nachbetriebs, der Stilllegung und der Entsorgung für die Schweizer Kernkraftwerke, die Zwiilag und für den Bund.

Tabelle 17: Gesamtkostenermittlung der Kostenstudie 2021. Vergleich mit der Kostenstudie 2016 auf der Preisbasis 2021.

Gesamtkosten	KKB	KKM	KKG	KKL	Zwibez	Zwiilag	Bund	Total
KS21 PB21								
Entsorgung mit Chance Kombilager (75 %) ^{a)}	4'488	2'082	5'116	5'485	-	-	1'020	18'191
Entsorgung Einzellager (zwei Standorte)	4'752	2'210	5'442	5'888	-	-	1'124	19'417
Stilllegung Ziel 3	956	595	899	1'022	8	185	-	3'666
Stilllegung Ziel 2 ^{b)}	934	584	880	1'008	6	177	-	3'589
Stilllegung Ziel 1	894	564	832	926	3	144	-	3'364
Nachbetrieb	455	321	369	423	-	-	-	1'567
Gesamtkosten Einzellager mit 75 % Chance Kombilager, Stilllegung Ziel 3 und Nachbetrieb	5'899	2'999	6'384	6'930	8	185	1'020	23'424
Gesamtkosten Einzellager und Stilllegung Ziel 3	5'709	2'806	6'342	6'910	8	185	1'124	23'083
KS16 PB21								
Entsorgung mit Chance Kombilager (75 %) ^{a)}	4'808	2'189	5'438	5'868	-	-	1'221	19'525
Entsorgung Einzellager (zwei Standorte)	5'077	2'338	5'742	6'289	-	-	1'332	20'778
Stilllegung Ziel 3	1'010	626	916	1'158	- ^{c)}	164	-	3'874
Stilllegung Ziel 1	958	600	859	1'083	- ^{c)}	129	-	3'630
Nachbetrieb	474	348	445	480	-	-	-	1'746
Gesamtkosten Einzellager mit 75 % Chance Kombilager, Stilllegung Ziel 3 und Nachbetrieb	6'292	3'163	6'799	7'506	-	164	1'221	25'145
Diff. KS21 KS16								
Entsorgung mit Chance Kombilager (75 %) ^{a)}	-320	-106	-323	-383	-	-	-201	-1'334
Entsorgung Einzellager (zwei Standorte)	-325	-128	-299	-401	-	-	-208	-1'361
Stilllegung Ziel 3	-53	-31	-17	-136	- ^{c)}	21	-	-208
Stilllegung Ziel 1	-64	-36	-27	-157	- ^{c)}	14	-	-266
Nachbetrieb	-19	-27	-76	-57	-	-	-	-179
Gesamtkosten Einzellager mit 75 % Chance Kombilager, Stilllegung Ziel 3 und Nachbetrieb	-393	-164	-415	-576	8	21	-201	-1'721
Diff. KS21 KS16 (%)								
Entsorgung mit Chance Kombilager (75 %) ^{a)}	-6.7%	-4.9%	-5.9%	-6.5%	-	-	-16.5%	-6.8%
Entsorgung Einzellager (zwei Standorte)	-6.4%	-5.5%	-5.2%	-6.4%	-	-	-15.7%	-6.6%
Stilllegung Ziel 3	-5.3%	-4.9%	-1.8%	-11.7%	- ^{c)}	13.0%	-	-5.4%
Stilllegung Ziel 1	-6.7%	-6.0%	-3.1%	-14.5%	- ^{c)}	11.2%	-	-7.3%
Nachbetrieb	-4.1%	-7.7%	-17.1%	-11.9%	-	-	-	-10.2%
Gesamtkosten Einzellager mit 75 % Chance Kombilager, Stilllegung Ziel 3 und Nachbetrieb	-6.2%	-5.2%	-6.1%	-7.7%	-	13.0%	-16.5%	-6.8%

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

Stilllegungsziel 1: Entlassung aus der Kernenergiegesetzgebung.

Stilllegungsziel 2: Vollständiger Rückbau inkl. Entfernung der Fundamente und Betonkonstruktion bis -2 m ab Oberkante Terrain.

Stilllegungsziel 3: Vollständiger Rückbau inkl. Entfernung sämtlicher Fundamente.

^{a)} Das Kombilager ist eine vorteilhafte, wahrscheinliche Variante (vgl. Entsorgungsprogramm 2021), da ein Kombilager genauso sicher gebaut und betrieben werden kann wie zwei Einzellager, in allen Standortregionen ein ausreichendes Platzangebot für ein Kombilager vorhanden ist, ein Kombilager ökologisch und raumplanerisch vorteilhaft ist sowie im Bewusstsein der Öffentlichkeit ein Kombilager als wahrscheinliche Lagervariante gilt. Aus diesen Gründen wird die Chance Kombilager mit einer Gewichtung von 75 Prozent berücksichtigt.

^{b)} in der KS16 nur als Chance ausgewiesen.

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

Die teuerungsbereinigte Veränderung der Gesamtkosten fällt zwischen den einzelnen Kernkraftwerken unterschiedlich aus.

Teuerungsbereinigt sinken die Gesamtkosten um rund 7 Prozent. Als Teuerungsrate wurde die in der Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung festgelegte jährliche Teuerungsrate von 0.5 Prozent zugrunde gelegt. Die rechtlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen für die Erstellung der Kostenstudien haben zwischen den Kostenstudien 2016 und 2021 nicht signifikant geändert. Dies hat dazu geführt, dass die Höhe der Kostenstudie 2021 die Ergebnisse der Kostenstudie 2016 gut bestätigen konnte. Die wesentlichen Ursachen für die Abweichungen werden nachstehend erläutert.

Die Entsorgungskosten für die Kernkraftwerke sinken teuerungsbereinigt zwischen 5 und 7 Prozent. Die Kostensenkung beim Bund beträgt rund 16 Prozent. Die wichtigsten Gründe für die Kostenreduktion sind die neue Zuordnung der in der KS16 im HAA-Einzellager enthaltene ATA-Lagerteil sowie verschiedene Projektoptimierungen an den geologischen Tiefenlagern, welche den aktuellen Planungsstand widerspiegeln. Die alphanoxischen Abfälle (ATA) werden neu im Einklang mit den Vorgaben zur KS21 dem SMA-Lager zugeordnet. Die verschiedenen Projektoptimierungen sind im Wesentlichen:

- Für den in der KS21 betrachteten modellhaften Standort des SMA-Lagers Jura Ost werden die Nutzung der Synergien mit der Zwiilag insbesondere bezüglich der Verpackung der SMA im Basisprojekt berücksichtigt. Dies erlaubt auch die Nutzung grösserer Endlagerbehälter für einen relevanten Teil der SMA.
- Für den in der KS21 betrachteten Standort des HAA-Lagers Zürich Nordost wird eine geänderte Zugangskonfiguration zum geologischen Tiefenlager im Basisprojekt berücksichtigt. Alle Zugänge nach Untertag sind nun als Schächte ausgestaltet. Dies gilt auch für das Kombilager.
- Für die Basisprojekte und das Kombilager wurden die Normalprofile und Sicherungstypen der Zugänge nach Untertag und der Bauwerke auf Lagerebene weiterentwickelt und die Kosten entsprechend neu ermittelt.
- Die Verpackungsanlage für abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle wurde weiterentwickelt und die Kosten wurden entsprechend neu ermittelt (berücksichtigt im Basisprojekt HAA-Lager sowie im Kombilager).
- Für die Basisprojekte und das Kombilager wurde das Verschlusskonzept (Verfüllung und Versiegelung der Bauwerke auf Lagerebene sowie der Zugänge nach Untertag) weiterentwickelt und die Kosten wurden entsprechend neu ermittelt.

Die Reduktion der Stilllegungskosten für die Kernkraftwerke beträgt zwischen 2 und 12 Prozent. Die wesentlichen Ursachen für die Kostenreduktion sind in der Aktualisierung der Jahresscheiben für die Betriebskosten an die derzeitige Kostensituation der Werke und in der weitreichenden Parallelisierung von Nachbetrieb und Stilllegungsarbeiten zu sehen. Letztere führt zu einer Reduktion der Gesamtdauer der Stilllegung gegenüber KS16. Bei der Zwiilag sind zusätzliche, seit der letzten Kostenstudie in Betrieb genommene Gebäude bzw. Gebäudeteile und eine entsprechende Erhöhung des Personalmengengerüsts ursächlich für die Kostenerhöhung.

Bei der Ermittlung der Nachbetriebskosten wurden bei allen Kernkraftwerken die Eingangsdaten der Betriebskosten (Personalmengengerüst und Sachkosten) mit den aktuellen Werten des Leistungsbetriebs aktualisiert. Während bei den übrigen Kernkraftwerken die Dauer des Nachbetriebs unverändert geblieben ist, wurde beim Kernkraftwerk Mühleberg die Nachbetriebsdauer gegenüber der Kostenstudie 2016 um sechs Monate reduziert. Weiterhin sind Erkenntnisse aus dem Stilllegungsprojekt des Kernkraftwerks Mühleberg sowie für die vorbereitende Stilllegungsplanung des Kernkraftwerks Beznau in die Kostenermittlung eingeflossen.

5.2 Ermittlung der Entsorgungskosten

Die Entsorgungskosten umfassen alle bereits bezahlten und zukünftigen Kosten der Planung, des Baus und des Betriebs von Entsorgungsanlagen (zentrales Zwischenlager, Zwischenlager Beznau, Nasslager des Kernkraftwerks Gösgen, geologische Tiefenlager), die Anschaffungskosten von Transport- und Lagerbehältern sowie die Kosten der Inanspruchnahme von Dienstleistungen Dritter (Wiederaufarbeitung, Transporte und weitere Dienstleistungen). Die Entsorgungskosten umfassen schliesslich die Stilllegung der Verpackungsanlage und der übrigen Oberflächeninfrastruktur sowie den Verschluss der geologischen Tiefenlager. Diese Kostenelemente wurden durch die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra), Zwilag Zwischenlager Würenlingen AG und die Kernkraftwerke ermittelt.

Das Ergebnis der Ermittlung der Entsorgungskosten der Schweizer Kernkraftwerke 2021 ist im Vergleich zum Ergebnis der Ermittlung von 2016 in der Tabelle 18 dargestellt. Dabei wurde die Kostenermittlung 2016 wie eingangs erwähnt an die Preisbasis 2021 angepasst. Bis 2020 haben die Kernkraftwerksbetreiber rund 6.3 Milliarden Franken für die Entsorgung der abgebrannten Brennelemente und der radioaktiven Abfälle bezahlt. Ende 2020 belief sich das angesammelte Kapital im Entsorgungsfonds auf rund 8.9 Milliarden Franken.

In Tabelle 19 sind die Gesamtkosten der Entsorgung ausgewiesen. Mit der Einführung der Kostengliederung ist es auch möglich, Varianten in Form von Gefahren und Chancen darzustellen. Die Variante, in der die Realisierung eines Kombilagers anstelle von zwei Einzellagern als Chance mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 75 Prozent (vgl. Kapitel 2.11) berücksichtigt wird, ist separat ausgewiesen.

Tabelle 18: Entsorgungskostenermittlung der Kostenstudie 2021. Vergleich mit der Kostenstudie 2016 auf der Preisbasis 2021.

Element der Kostengliederung	KKB		KKM		KKG		KKL		Bund		Total	
Aufgelaufene Kosten bis 2020	1'831		830		2'026		1'454		186		6'326	
Zukünftige Kosten ab 2021												
Ausgangskosten	2'004		926		2'318		3'010		607		8'865	
Kosten zur Risikominderung	61		31		74		95		28		289	
Basiskosten	2'065		957		2'392		3'105		635		9'154	
Prognoseungenauigkeiten	15.7%	325	16.6%	159	16.5%	394	16.5%	513	19.4%	123	16.5%	1'514
Zuschlag für Gefahren	17.5%	361	18.8%	180	17.7%	423	17.6%	547	16.8%	107	17.7%	1'618
Abzug für Chancen	-0.8%	-16	-0.8%	-8	-0.9%	-21	-0.8%	-23	-0.5%	-3	-0.8%	-71
Genereller Sicherheitszuschlag	9.0%	187	9.7%	93	9.5%	227	9.4%	293	12.0%	76	9.6%	876
Zuschlag auf zukünftige Basiskosten	41.5%	856	44.3%	424	42.8%	1'024	42.8%	1'329	47.7%	303	43.0%	3'936
Gesamtkosten KS21 PB21	4'752		2'210		5'442		5'888		1'124		19'417	
Berücksichtigung des Kombilagers als Chance Gewichtung 75 %	-264		-128		-327		-403		-104		-1'226	
Gesamtkosten bei Berücksichtigung des Kombilagers als Chance (75 % gewichtet)	4'488		2'082		5'116		5'485		1'020		18'191	
Gesamtkosten KS16 PB21	5'077		2'338		5'742		6'289		1'332		20'778	
Aufgelaufene Kosten bis 2015	1'667		713		1'855		1'189		165		5'589	
Kosten ab 2016 PB21	3'411		1'624		3'887		5'100		1'167		15'189	
Differenz	-6.4%	-325	-5.5%	-128	-5.2%	-299	-6.4%	-401	-15.7%	-208	-6.6%	-1'361

In Millionen Franken, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.
 In den Zahlen sind die Kosten für die Einlagerung der Stilllegungsabfälle in der Höhe von 119 Millionen Franken (Gesamtkosten, Einzellager) bzw. 147 Millionen Franken (Gesamtkosten, Kombilager) nicht enthalten.
 Bei den KS21-Projektkosten bis Ende 2020 ist ein Beitrag Dritter (GNW) in der Höhe von 90 Millionen Franken enthalten.
 Die Vergleichsbasis der KS16 entspricht den durch den STENFO geprüften KS16-Zahlen inkl. dem generellen Sicherheitszuschlag mit Preisbasis 2021.
 Die Kombilager-Variante wird mit gleicher Eintrittswahrscheinlichkeit verglichen (Chance Kombilager 75 Prozent).
 Kernkraftwerke Beznau (KKB), Mühleberg (KKM), Gösgen (KKG) und Leibstadt (KKL).
 Kostenstudie 2021 (KS21), Kostenstudie 2016 (KS16), Preisbasis 2021 (PB21).

Die Entsorgungskosten der Kostenstudie 2021 sinken um rund 7 Prozent gegenüber der teuerungsbereinigten Kostenstudie 2016. Der Zuschlag auf die Basiskosten beträgt für die Kostenstudie 2021 rund 43 Prozent auf die ermittelten Basiskosten. Dabei beträgt der Zuschlag auf die Basiskosten der geologischen Tiefenlagerung rund 52 Prozent und für die übrigen Bestandteile der Entsorgungskosten rund 14 Prozent. Der Kostenzuschlag bei der geologischen Tiefenlagerung fällt im Vergleich zu den übrigen Entsorgungskosten aufgrund der Projektreife der geologischen Tiefenlagerung höher aus. Die übrigen Entsorgungskosten betreffen seit langem durch die Entsorgungspflichtigen durchgeführte Tätigkeiten, weite Teile der Kostenelemente sind vertraglich langfristig abgesichert.

Die wichtigsten Änderungen gegenüber der Kostenstudie 2016 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Standorte der Oberflächeninfrastruktur der geologischen Tiefenlager für die in der KS21 vorgegebenen Modellstandorte entsprechen möglichen Vorschlägen zur Konkretisierung der Oberflächeninfrastruktur der geologischen Tiefenlager für die Etappe 3 des Sachplans geologische Tiefenlager.
- Die Lage der Lagerfelder der geologischen Tiefenlager für die in der KS21 vorgegebenen Modellstandorte entspricht dem Wissenstand gemäss den Feldarbeiten und der Tiefbohrkampagne im Rahmen der Etappe 3 des Sachplans geologische Tiefenlager von 2019.
- Gegenüber der KS16 werden die alphanoxischen Abfälle (ATA) im Einklang mit den Vorgaben zur KS21 nun dem SMA-Lager zugeordnet.
- Zudem wurden verschiedene Projektänderungen an den geologischen Tiefenlagern im Vergleich zur KS16 vorgenommen, welche den aktuellen Planungstand widerspiegeln. Dies sind im Wesentlichen:
 - Für den in der KS21 betrachteten modellhaften Standort des SMA-Lagers Jura Ost werden die Nutzung der Synergien mit der ZWILAG insbesondere bezüglich der Verpackung der SMA im Basisprojekt berücksichtigt. Dies erlaubt auch die Nutzung grösserer Endlagerbehälter für einen relevanten Teil der SMA.
 - Für den in der KS21 betrachteten Standort des HAA-Lagers Zürich-Nordost wird eine geänderte Zugangskonfiguration zum geologischen Tiefenlager im Basisprojekt berücksichtigt. Alle Zugänge nach Untertag sind nun als Schächte ausgestaltet. Dies gilt auch für das Kombilager.
 - Für die Basisprojekte und das Kombilager wurden die Normalprofile und Sicherungstypen der Zugänge nach Untertag und Bauwerke auf Lagerebene weiterentwickelt und die Kosten entsprechend neu ermittelt.
 - Die Verpackungsanlage für abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle wurde weiterentwickelt und die Kosten wurden entsprechend neu ermittelt (berücksichtigt im Basisprojekt HAA-Lager sowie im Kombilager).
 - Für die Basisprojekte und das Kombilager wurde das Verschlusskonzept (Verfüllung und Versiegelung der Bauwerke auf Lagerebene sowie der Zugänge nach Untertag) weiterentwickelt und die Kosten wurden entsprechend neu ermittelt.
- Die Abgeltungen werden, analog zur KS16, nicht in den Basiskosten, sondern als Gefahr aufgeführt, um zu berücksichtigen, dass es für die Abgeltungen keine gesetzliche Grundlage gibt und die diesbezüglichen Verhandlungen noch nicht begonnen haben – mit Verzicht auf feste Zahlen soll eine präjudizierende Wirkung auf die zukünftigen Verhandlungen vermieden werden.
- Mit der Kostengliederung ist es auch möglich, die Lagervariante des Kombilagere als Chance zu berücksichtigen. Diese Chance wurde mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 75 Prozent bewertet und ist separat ausgewiesen. Das Kombilager ist eine vorteilhafte, wahrscheinliche Variante (vgl. Entsorgungsprogramm 2021 [6]), da ein Kombilager genauso sicher gebaut und betrieben werden kann wie zwei Einzellager, in allen Standortregionen ein ausreichendes Platzangebot für ein Kombilager vorhanden ist, ein Kombilager ökologisch und raumplanerisch vorteilhaft ist sowie im Bewusstsein der Öffentlichkeit ein Kombilager als wahrscheinliche Lagervariante gilt.

- Die Kostenposition Transport- und Lagerbehälter für abgebrannte Brennelemente weist gegenüber der Kostenstudie 2016 eine leichte Kostensenkung aus, da für die Kernkraftwerke Gösgen und Leibstadt neue Behälterkonzepte in die Planung aufgenommen wurden.
- Die Transportkosten sinken aufgrund von Anpassungen im Transport- und Abfallmengengerüst.
- Die Kosten der Wiederaufarbeitung wurden mit den effektiv angefallenen Kosten berücksichtigt, es fallen keine zukünftigen Kosten mehr an.
- Die Kosten der Zwischenlagerung (zentrales Zwischenlager, Zwischenlager Beznau und Nasslager Gösgen) weisen gegenüber KS16 eine geringfügige Erhöhung um rund 3 Prozent aus.

Für die Aufteilung der Gesamtkosten der geologischen Tiefenlager auf die Entsorgungspflichtigen werden Kostenverteilungsschlüssel verwendet, welche die Struktur der Kosten berücksichtigen. Dabei wird zwischen Fixkosten und variablen (direkt einem Entsorgungspflichtigen zuweisbaren) Kosten unterschieden. Die variablen Kosten sind durch die jeweiligen Entsorgungspflichtigen zu tragen.

Die Ermittlung des Bundesanteils an den Fixkosten für das SMA- und das HAA-Lager basiert wie bei der Kostenstudie 2016 auf einem Kostenschlüssel, welcher das Volumen und die Radiotoxizität der Abfälle der Entsorgungspflichtigen berücksichtigt. Für die Festlegung des Bundesanteils an den Fixkosten werden die gleichen Berechnungsannahmen verwendet wie in der Kostenstudie 2016, jedoch unter Berücksichtigung des aktualisierten Inventars der radioaktiven Abfälle. Aufgrund des Bundesratsbeschlusses vom 27. September 2019 wurde im Jahr 2020 eine umfassende Ausgleichszahlung initiiert. Insgesamt wurden rund 137 Millionen Franken (zuzüglich Mehrwertsteuer) vom Bund für die in der Vergangenheit zu wenig geleisteten Beiträge bis 31. Dezember 2019 nachbezahlt und unter den Betreibern der Kernkraftwerke aufgeteilt. Ab 1. Januar 2020 bezahlt der Bund angepasste, höhere Akonto-Beiträge.

Die Gesamtkosten des Bundes für die Entsorgung von radioaktiven Abfällen aus der Medizin, der Industrie und der Forschung belaufen sich nach heutiger Schätzung des Bundes [18] insgesamt auf rund 2.5 Milliarden Franken. Davon sind bereits 794 Millionen Franken angefallen. Die künftigen Kosten von rund 1.9 Milliarden Franken setzen sich wie folgt zusammen:

- Konditionierung und Zwischenlagerung: 443 Millionen Franken,
- Rückbau und Stilllegung (PSI-Anlagen): 236 Millionen Franken,
- Geologische Tiefenlagerung (Bau, Betrieb, Schliessung): 1'219 Millionen Franken.

Die letzte Schätzung des Bundes aus dem Jahr 2015 [18] rechnete mit Kosten von 1.4 Milliarden Franken für die Entsorgung im Zeitraum von 2015 bis 2100. Die Korrektur nach oben ist zu einem grossen Teil darauf zurückzuführen, dass die Kostenschlüssel für die Aufteilung der Kosten für die geologische Tiefenlagerung aktualisiert und die Kosten für die Konditionierung der Abfälle höher geschätzt wurden.

Die in der KS21 beinhalteten Entsorgungskosten des Bundes umfassen den Anteil an den Kosten der geologischen Tiefenlagerung, den Anteil an den Kosten der Verbrennungsanlage der Zwiilag, die Transportkosten der Abfälle aus dem Bundeszwischenlager zu den Oberflächenanlagen der geologischen Tiefenlager und die Kosten eines Behälters für hochaktive Abfälle. Alle weiteren Entsorgungskosten des Bundes sind in dieser Kostenstudie nicht berücksichtigt.

5.3 Ermittlung der Stilllegungskosten

5.3.1 Stilllegungsplan

Der Ablauf der Stilllegung der Schweizer Kernkraftwerke ist detailliert im Teilbericht Ermittlung der Stilllegungskosten [4] und zusammenfassend in Kapitel 4 des Mantelberichts beschrieben, der auf für jede Anlage individuell erstellten Stilllegungsstudien basiert. Diese entsprechen dem in der Kernenergieverordnung⁴⁶ geforderten Stilllegungsplan.

Der Stilllegungsplan ist gemäss Kernenergieverordnung durch die Betreiber der Kernanlagen alle zehn Jahre zu überprüfen und nachzuführen⁴⁷. Die letzte Aktualisierung des Stilllegungsplans durch die Betreiber der Kernanlagen fand 2011 statt. Der Stilllegungsplan wurde für die Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt mit der Kostenstudie 2021 aktualisiert. Für das Projekt KKM wurde neben dem Stilllegungsprojekt ebenfalls der Projektstand bis zum Jahr 2020 bei der Kalkulation berücksichtigt. Für die beiden Anlagen zur Zwischenlagerung ergaben sich keine signifikanten Anpassungen am Stilllegungsplan.

Die umfassende Aktualisierung der Stilllegungspläne erfolgte unter Berücksichtigung der Anforderungen der Richtlinie ENSI-G17 [13]. Für das Kernkraftwerk Beznau flossen die Ergebnisse der vorlaufenden Stilllegungsplanung in die Überarbeitung des Stilllegungsplans ein.

5.3.2 Kostenermittlung

Die letzte Überarbeitung der Kostenermittlung der Stilllegung fand 2016 statt. Um die gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen aus den laufenden Stilllegungsprojekten sowie die aktuellen Verhältnisse in der Schweiz in der Stilllegungsstudie zu berücksichtigen, beauftragte swissnuclear 2019 das Unternehmen Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH, für die Schweizer Kernkraftwerke und die Anlagen der Zwiilag sowie für das Zwibez neue Stilllegungskostenstudien zu erstellen.

Die Stilllegungskosten gemäss Kostenstudie 2021 sind in Tabelle 20 bis Tabelle 22 im Vergleich zur Studie von 2016 aufgeführt.

Tabelle 19: Stilllegungskostenermittlung der Kostenstudie 2021 – 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
Prognosegenauigkeiten	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		-157		-		-		- ^{a)}		3		11.2%
		14		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.

⁴⁶ Art. 42 KEV [8].

⁴⁷ Art. 42 Abs. 1 KEV [8].

Tabelle 20: Stilllegungskostenermittlung der Kostenstudie 2021 – 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 Leitsstadt (KKL).
 Kostenstudie 2021 (KS21), Kostenstudie 2016 (KS16), Preisbasis 2021 (PB21).

Tabelle 21: Stilllegungskostenermittlung der Kostenstudie 2021 – 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 zukünftige 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		1022		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 Leitsstadt (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 Kostenstudie 2021 sinken je nach Stilllegungsziel zwischen 5 und 7 Prozent gegenüber der teuerungsbereinigten Kostenstudie 2016. Der Zuschlag auf die zukünftigen Basiskosten beträgt für die Kostenstudie 2021 ca. 36 Prozent auf die ermittelten Basiskosten.

Die Stilllegungskosten sinken je nach Kernkraftwerk und Stilllegungsziel zwischen 2 und 14 Prozent, einzig für das Zwiilag ergibt sich eine Kostenerhöhung gegenüber der teuerungsvereinigten KS16 zwischen 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 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.

5.4 Ermittlung der Kosten des Nachbetriebs

Die letzte Ermittlung der Kosten des Nachbetriebs erfolgte 2016. Swissnuclear beauftragte 2019 das Unternehmen Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH, für die Schweizer Kernkraftwerke die Kosten des Nachbetriebs neu zu ermitteln.

Das wesentliche Charakteristikum des Nachbetriebs besteht darin, dass sich die Brennelemente noch in der Anlage befinden. Das heisst: Sämtliche notwendigen Massnahmen zur Aufrechterhaltung der nuklearen Sicherheit und des Strahlenschutzes sowie zum Betrieb der Infrastruktur sind weiterzuführen. Die abgebrannten Brennelemente werden gekühlt, gesichert und in Transport- und Lagerbehälter verpackt.

Der Nachbetrieb eines Kernkraftwerks beginnt mit der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs und endet, wenn die beiden Voraussetzungen Kernbrennstofffreiheit und Vorliegen einer rechtskräftigen Stilllegungsverfügung erfüllt sind. Für die Kostenstudie 2021 wird von den in der nachfolgenden Tabelle 22 aufgeführten Dauern für den Nachbetrieb ausgegangen.

Tabelle 22: Dauer des Nachbetriebs der KKW für die Kostenstudie 2021 und die Kostenstudie 2016.

Nachbetriebsdauer	KKB	KKM	KKG	KKL
KS21	4 Jahre	4.5 Jahre	3 Jahre	4 Jahre
KS16	4 Jahre	5 Jahre	3 Jahre	4 Jahre

Basierend auf Untersuchungen zur Behälterverfügbarkeit und Durchführbarkeit von Entladungskampagnen der Brennelementlagerbecken wird für die Kernkraftwerke Beznau und Leibstadt von einem vierjährigen Nachbetrieb ausgegangen. Das Kernkraftwerk Beznau profitiert dabei von seinem Zwischenlager am Standort. Das Kernkraftwerk Gösgen, das am Kraftwerksstandort über ein Nasslager verfügt, plant einen dreijährigen Nachbetrieb. Für das Kernkraftwerk Mühleberg ist gemäss aktueller Terminplanung ein viereinhalbjähriger Nachbetrieb vorgesehen.

Nachdem die abgebrannten Brennelemente im Brennelementlagerbecken ausreichend abgekühlt sind, werden sie in das zentrale Zwischenlager Würenlingen oder in ein Lager am Standort des Kernkraftwerks, das von der Anlage unabhängig ist, gebracht (das Nasslager für das Kernkraftwerk Gösgen, das Zwischenlager Beznau für das Kernkraftwerk Beznau).

Es wird davon ausgegangen, dass die Stilllegungsverfügung zwischen dem Zeitpunkt der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs – gegebenenfalls auch schon während des Leistungsbetriebs – und dem Erreichen der Brennstofffreiheit rechtsgültig vorliegt⁴⁸.

In der Kostengliederung werden Abweichungen von diesen Annahmen als Chancen und Gefahren berücksichtigt. Ereignisse, die zu einer Verlängerung des Nachbetriebs führen, wirken sich über einen entsprechenden Gefahrenzuschlag kostenerhöhend aus. Ereignisse, die zu einer Verkürzung des Nachbetriebs führen, wirken sich über einen entsprechenden Chancenabschlag kostenreduzierend aus. Beide Voraussetzungen, Stilllegungsverfügung und Brennstofffreiheit, wurden in diese Überlegungen einbezogen.

Die Kosten des Nachbetriebs sind in Tabelle 23 im Vergleich mit der im Jahre 2016 durchgeführten Kostenermittlung aufgeführt.

Tabelle 23: Nachbetriebskostenermittlung der Kostenstudie 2021. Vergleich mit der Kostenstudie 2016 auf der Preisbasis 2021.

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

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

Ein Vergleich der Nachbetriebskosten der KS21 mit jenen der teuerungsbereinigten KS16 zeigt, dass der Nachbetrieb unter Berücksichtigung sämtlicher Zuschläge für alle Werke weniger kostet. In der Summe betragen die Minderkosten 179 Millionen Franken beziehungsweise 10 Prozent. Die Nachbetriebskosten für das Kernkraftwerk Beznau liegen mit einer Reduktion von 4 Prozent in einer ähnlichen Grössenordnung. Die Nachbetriebskosten für das Kernkraftwerk Mühleberg reduzieren sich aufgrund der Reduktion der Nachbetriebsdauer von sechs Monaten um rund 8 Prozent. Die Nachbetriebskosten für die Kernkraftwerke Gösgen und Leibstadt fallen rund 17 und 12 Prozent tiefer aus. Dies ist auf eine Aktualisierung der Eingangsdaten für die Berechnung der Nachbetriebskosten an die aktuelle Situation im Leistungsbetrieb zurückzuführen.

⁴⁸Für das Kernkraftwerk Mühleberg liegt die Stilllegungsverfügung seit Juni 2018 vor.

6 Stilllegung des Kernkraftwerks Mühleberg (KKM) bis 31.12.2020

Nach der Endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs (EELB) am 20.12.2019 startete der Rückbau des Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) am 6. Januar 2020. Der kritische Pfad für die Stilllegung des KKM war im Jahr 2020 durch die vom Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) im Dezember 2015 verfügte Etablierung des Technischen Nachbetriebs (ETNB) bestimmt. Sämtliche Arbeiten der ETNB konnten trotz der Auswirkungen der Covid-19-Pandemie zu den geplanten Terminen umgesetzt werden. Die Bestätigung des Abschlusses dieser Arbeiten erfolgte am 15.09.2020 auf Basis der Abschlussinspektion des ENSI. Damit wurde der Meilenstein Endgültige Ausserbetriebnahme (EABN) erreicht.

Mit der EABN erlosch die Betriebsbewilligung des KKM und die Stilllegungsverfügung erlangte neben der seit September 2018 vorliegenden Rechtskraft auch die vollständige Rechtswirksamkeit. Mit EABN begann die Stilllegungsphase 1 (SP1), die mit der für 2024 geplanten Kernbrennstofffreiheit endet.

Transportbereitstellung von Komponenten aus dem Reaktorgebäude (RG)

Im Januar wurde mit den Arbeiten zur Transportbereitstellung im RG begonnen. In Summe konnten damit ca. 380 Tonnen Material aus dem Reaktorgebäude entfernt werden. Im Einzelnen handelt es sich um die Abdecksteine über der Reaktorgrube, die Abschirmsteine zwischen Einbautenbecken und Reaktorgrube, den Deckel des Sicherheitsbehälters (Drywelldeckel), die Deckelisolierung des Reaktordruckbehälters (RDB)- und den Drywell-Abschirmstein. Sie wurden in transportable Teile zerlegt und aus dem RG abtransportiert.

Alle Arbeiten wurden unter Sicherstellung des Rückwirkungsschutzes für die im Brennelementlagerbecken (BEB) befindlichen Brennelemente (BE) durchgeführt. Die asbesthaltige RDB-Deckelisolierung wurde in einer speziell eingerichteten Einhausung durch eine Fachfirma zerlegt.

Kernentladung

Ende März 2020 wurde der Reaktordruckbehälter geöffnet und alle 240 Brennelemente wurden aus dem Letzt kern ins Brennelementlagerbecken entladen.

Zur Erhöhung der Lagerkapazität von Steuerstäben im Brennelementlagerbecken wurden zwei nicht mehr benötigte BE-Lagergestelle ausgebaut und durch zwei neue Gestelle zur Lagerung von Steuerstäben ersetzt. Somit konnten im Mai/Juni 2020 neben den Brennelementen auch alle 57 Steuerstäbe ins Brennelementlagerbecken transferiert werden. Nach Abschluss des Ausbaus der Steuerstäbe durch ein auf solche Arbeiten spezialisiertes, externes Unternehmen wurden Wasserabscheider und Dampftrockner wieder in den Reaktordruckbehälter eingesetzt und der RDB-Deckel wieder auf den Reaktordruckbehälter aufgesetzt.

Im gleichen Zeitraum wurden unterhalb des Reaktordruckbehälters alle 57 Steuerstabantriebe ausgebaut und der Entsorgung als radioaktiver Abfall zugeführt.

Etablierung der autarken redundanten Brennelementlagerbeckenkühlung (Arbek)

Mit der Umsetzung des Projekts Arbek wurde die Autarkie der Brennelementlagerbecken Kühlung etabliert.

Arbek-S

Das Arbek-S ist das vom ENSI geforderte Sicherheitssystem zur Abfuhr der Nachzerfallswärme aus dem Brennelementlagerbecken. Im Rahmen des Projekts wurden die bestehenden Eintauchkühler des Brennelement-Notkühlsystems mit einem Kühler, zwei redundanten Pumpen und Rohrleitungen zu einem geschlossenen Zwischenkühlkreislauf ergänzt. Die Wärmeabfuhr vom Kühler erfolgt durch das ebenfalls modifizierte SUSAN-Kühlwassersystem (Spezielles Unabhängiges System zur Abfuhr der Nachzerfallswärme). Die neuen Komponenten wurden im SUSAN-Interface installiert.

Arbek-Z

Das Arbek-Z ist ein Zusatzverschluss, der die Dammplattenverankerung durch hydraulische Entkopplung der Dammplatte von der gefluteten Reaktorgrube vor zu hoher Belastung bei einem Erdbeben schützt. Der Zusatzverschluss bietet ausserdem einen mechanischen Schutz für die Dammplatte gegen allfällige Anpralllasten bei postulierten Handhabungsfehlern in der Reaktorgrube (Massnahme zum Rückwirkungsschutz).

Arbek-B

Das Arbek-B beinhaltet die Modifikation mehrerer bestehender Systeme zur betrieblichen Kühlkette des Brennelementlagerbeckens. Beim Brennelementbecken-Kühl- und Reinigungssystem wurde die Reinigungsfunktion der Reaktorgrube und des Einbautenbeckens vom BEB-Kühlkreislauf getrennt.

Installation von Hilfseinrichtungen für die Zerlegung der Kerneinbauten

Die Demontage der Kerneinbauten inklusive Wasserabscheider und Dampftrockner beinhaltet neben der eigentlichen Demontageleistung die Herstellung, Lieferung, Installation, Erprobung und Inbetriebnahme der notwendigen Gerätetechnik, Einrichtungen und Hilfsmittel sowie die hierfür benötigte Planung und Dokumentation. Die Demontagearbeiten werden sowohl im Einbautenbecken wie auch direkt im Reaktor unter Wasser durchgeführt.

Im Rahmen der ETNB wurde im Juni 2020 auf RG+29m mit dem Aufbau notwendiger Hilfseinrichtungen für die Demontage im Einbautenbecken begonnen. Die weiteren Installations- und Montagearbeiten erfolgen im Rahmen der SP1. Bis zum Jahresende konnten die Montagearbeiten im Einbautenbecken abgeschlossen werden.

Aufbau einer Deko-Box RG+29m

Bei Arbeiten im RG+29m werden diverse Unterwasserwerkzeuge eingesetzt. Für die Dekontamination dieser Werkzeuge vor Instandhaltungsarbeiten wurde vor Ort eine mobile, geschlossene Deko-Box mit einem Hochdruckreiniger und einer kontrollierten Abluftführung aufgestellt. Dadurch können die Arbeitsabläufe optimiert und die Nutzung des RG-Rundlaufkrans beziehungsweise der Deko-Box im Aufbereitungsgebäude reduziert werden.

Ausserbetriebnahmen im RG

Das Ausserbetriebnahme-Verfahren regelt die Vorgehensweise bei Ausserbetriebnahmen und ist im Betriebsführungssystem implementiert. Bei Ausserbetriebnahmen werden obsolete Systeme, Teilsysteme oder Komponenten entleert, mechanisch und elektrisch abgesichert und irreversibel vom noch betriebenen Teil der Anlage getrennt. Die abgeschlossene Ausserbetriebnahme ist ein zwingend notwendiger Schritt vor dem Starten der Demontagearbeiten. Im Reaktorgebäude wurden das Steuerstabantriebssystem, das Neutronenflussmesssystem, die Komponenten an RDB-Deckel- bzw. Deckelflansch-Stützen, der H2-Rekombinator, der Torus und seine Einbauten, die Torus und Drywellinstrumentierung sowie das Drywellsprüh- und Flutsystem ausser Betrieb genommen.

Weitere Demontagearbeiten im RG

Im Reaktorgebäude konnten weitergehende Demontagearbeiten erst nach Erreichen der EABN und Beginn der Stilllegungsphase 1 begonnen werden. So konnte bis Jahresende z. B. die Demontage der Hydraulikeinheiten des Steuerstabantriebssystems auf RG+0m abgeschlossen werden.

Demontage Splitterschutzsteine Maschinenhaus (MH)+8m

Die 165 Splitterschutzsteine mit einem Gesamtgewicht von 1'265 Tonnen, die während des Leistungsbetriebs um die Turbinengruppen aufgestellt waren, konnten ohne Zerlegung von ihrem Aufstellort im MH+8m entfernt werden. Sie wurden, falls erforderlich, dekontaminiert und konnten alle im Anschluss freigemessen werden.

Demontage Turbinen und weiterer Einzelkomponenten

Ab Februar 2020, parallel zum Ausbau der Splitterschutzsteine, wurde mit der Demontage der Turbinengruppen und den Komponenten der Vorwärmerstrassen begonnen. Die Komponenten wurden ausgebaut, falls erforderlich auf Verpackungsgrösse grossteilig zerlegt und fachgerecht, ADR-konform zum Transport verpackt. Das Transportgut wurde auf dem Areal bereitgestellt und zusammen mit weiteren Grosskomponenten zu einem Spezialunternehmen nach Schweden transportiert, das mit der weiteren Bearbeitung beauftragt ist.

In Summe wurden 32 Transporte mit insgesamt 45 Versandstücken nach Schweden durchgeführt. Die Transporte konnten unfallfrei und termingerecht durchgeführt werden.

Dabei wurde Material mit einer Gesamtmasse von 546 Tonnen sowie einer gesamten Aktivität von $1.6E+10$ Bq transportiert.

Ausbau Generatoren

Die Demontage der beiden Generatoren wurde in zwei Etappen ausgeführt. Die erste Etappe betraf die beiden Rotoren, die analog zum Vorgehen in den vergangenen Jahresrevisionen ausgebaut wurden und im Anschluss befreit werden konnten. Ein Rotor wurde zur Weiterverwendung an das Kernkraftwerk Beznau geliefert. Der zweite, wie auch der vorhandene Ersatzrotor, wurde der konventionellen Entsorgung zugeführt.

Die zweite Etappe umfasste die beiden Statoren mit einem Gewicht von je ca. 150 Tonnen, die ohne weitere Zerlegung aus ihrer Einbaulage ausgehoben und im November abtransportiert wurden. Da die betriebliche Krananlage diese Last nicht aufnehmen konnte, wurde dafür eigens ein Schwerlast-Hubgerüst mit einem Eigengewicht von 242 Tonnen installiert.

Die beiden Statoren konnten zusammen mit dem Schwerlast-Hubgerüst im Anschluss befreit und vom Areal abtransportiert werden.

Hilfssysteme der Turbogruppen

Die zum Betrieb der Turbinen und Generatoren benötigten Hilfssysteme wurden mit der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebes ebenso obsolet und im Rahmen der Vorbereitenden Massnahmen ausser Betrieb genommen und teils demontiert. Zu den Turbinenhilfssystemen gehörten z. B. das Turbinenbypass-System, das Schmierölsystem oder die Regel-, Steuerungs- und Sicherheitssysteme der Turbinen. Zu den Generatorhilfssystemen gehörten z. B. die Dichtölanlage oder das Wasserstoffkühlsystem der Generatoren.

Wasser-Dampf-Kreislaufsysteme

Weitere Systeme des Sekundärkreislaufes wurden im Verlaufe der Etablierung des technischen Nachbetriebes obsolet und konnten ebenso im Rahmen der vorbereitenden Massnahmen ausser Betrieb genommen werden. Dazu gehörten u.a. das gesamte Kondensatsystem mit den Kondensatpumpen und der Kondensatreinigungsanlagen, das Speisewassersystem mit den Speisewasserpumpen und der Speisewasserregelung, das Frischdampfsystem, das Sperrdampf- und das Sperrwassersystem, die Abgasanlage oder das Hauptkühlwassersystem. Diejenigen Systemkomponenten in den Bereichen, die für die Errichtung der Materialbehandlungseinrichtungen oder der Freimessplätze eine Störkante darstellten, wurden bereits demontiert. Dies betrifft vor allem die Bereiche im Maschinenhaus auf +8m und +0m.

Anpassung der Eigenbedarfsversorgung

Während der ETNB wurden die Eigenbedarfsversorgung angepasst und die Infrastrukturversorgung aufgebaut. Die beiden Anschlüsse an das Hochspannungsnetz wurden ausser Betrieb genommen und die Blocktransformatoren im Oktober 2020 abtransportiert. Die Stromeinspeisung wurde durch eine Einspeisung vom Wasserkraftwerk ersetzt. Diese dient der betrieblichen Einspeisung und der Infrastrukturversorgung. Bei einem allfälligen Ausfall steht eine weitere Einspeisung als Backup-Einspeisung zur Verfügung.

Die Notstromdieselanlagen des SUSAN sowie die alternative Notstromversorgung haben keine Änderung erfahren und stehen weiterhin zur Verfügung.

Zum Aufbau der Infrastrukturversorgung wurden neue Transformatoren sowie Verteilanlagen installiert.

Im Reaktor- und Aufbereitungsgebäude sowie im Maschinenhaus wurden Baustromverteiler zur elektrischen Versorgung der Demontagereinrichtungen aufgestellt und die notwendigen Kabelwege entsprechend ausgebaut.

Erneuerung der Druckluftversorgung

Um den Anforderungen der Stilllegung gerecht zu werden, wurde die bisherige Druckluftherzeugungsanlage durch eine neue, moderne Anlage ersetzt. Die ehemaligen Steuer- und Werkluftverteilnetze wurden zusammenschaltet und die weiterhin benötigten Verbraucher an die neue 8-bar-Druckluftversorgung angeschlossen. Zusätzlich wurde ein neues 10-bar-Verteilnetz zur Versorgung der Einrichtungen der Materialbehandlung installiert.

Erneuerung der Wasseraufbereitung

Zur Produktion von demineralisiertem Wasser wurde die Zusatzwasseraufbereitungsanlage ersetzt. Bei der Demontage der alten Aufbereitungsanlage wurde Asbest detektiert, was entsprechende Sanierungsarbeiten nach sich zog, bevor die neue Aufbereitungsanlage am selben Standort installiert werden konnte. Die frühere auf Basis von Ionenaustauschern ausgelegte Anlage, welche zur Regenerierung der eingesetzten Harze konzentrierte Schwefelsäure und Natronlauge benötigte, wurde durch eine Umkehrosmoseanlage ersetzt.

Dank diesem Ersatz kann auf die Lagerung von je 20 m³ Schwefelsäure bzw. Natronlauge verzichtet werden. Damit verfügt das KKM über keine Stoffe mehr, die die Mengenschwelle gemäss kantonaler Störfallverordnung (StFV) überschreiten.

Erweiterung der Verdampferkapazität

Zur Behandlung der anfallenden Abwassermengen in der kontrollierten Zone wurden ergänzend zu dem bereits in 2015 installierten Verdampfer zwei weitere, baugleiche Aggregate im Aufbereitungsgebäude installiert. Damit verdreifachte sich die Verdampferkapazität. Neben der Kapazitätserhöhung hat die neue Anlagenkonfiguration mit drei identischen Verdampfern auch Vorteile bezüglich Verfügbarkeit und Vereinfachung des Unterhalts.

Maschinenhaus Anbau Ost

Um die Logistikkabläufe bei der Freimessung von Material aus der kontrollierten Zone zu optimieren, wurde ein zusätzlicher Anbau zwischen den ehemaligen Standplätzen der Blocktransformatoren (an das Maschinenhaus anschliessend) errichtet. Nach Herstellung einer zusätzlichen Öffnung in der Ostwand des Maschinenhauses wurde die Freimessanlage in der Öffnung in Betrieb genommen.

Materialbehandlungseinrichtungen

Zur Dekontamination von kontaminiertem Material aus der Demontage wurde eine Trockenstrahlanlage für Komponenten unterschiedlicher Grösse und Geometrie auf MH+8m installiert. Das Inbetriebnahmeprogramm der Anlage wurde Anfang November 2020 mit Suva und ENSI durchgeführt. Der Betrieb der Anlage ist nach Erfüllung zusätzlicher Auflagen ab 2021 vorgesehen.

Der Zementiercontainer zur Konditionierung von 200-l-Fässern mit radioaktivem Abfall wurde an einem neuen Ort auf MH+0m aufgestellt und ist betriebsbereit. Mit dem neuen Aufstellungsort ist es möglich, die Maschineneinfahrt auch während des Betriebs des Zementiercontainers zu nutzen.

Des Weiteren wurden auf MH+8m eine Handschuhboxstrahlanlage, eine Muldenbandstrahlanlage und auf AG+8m ein Handwaschplatz mit Ultraschallbädern montiert und in Betrieb genommen. Die bereits während des Leistungsbetriebs vorhandene Anlage zur Nassdekontamination auf AG+8m wurde ertüchtigt und mit einer leistungsfähigeren Hochdruckpumpe nachgerüstet.

A Anhänge

A.1 Referenzen

- [1] swissnuclear, Kostenstudie 2021 (KS21) Ermittlung der Entsorgungskosten – Geologische Tiefenlagerung, SN-AN-21.198, Olten, Schweiz, 2021.
- [2] swissnuclear, Kostenstudie 2021 (KS21) Ermittlung der Entsorgungskosten – Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung, SN-AN-21.195, Olten, Schweiz, 2021.
- [3] swissnuclear, Kostenstudie 2021 (KS21) Ermittlung der Nachbetriebskosten der Schweizer Kernkraftwerke, SN-AN-21.196, Olten, Schweiz, 2021.
- [4] swissnuclear, Kostenstudie 2016 (KS21) Ermittlung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen, SN-AN-21.197, Olten, Schweiz, 2021.
- [5] swissnuclear, Kostenstudie 2021 (KS21) Abkürzungen, Begriffe, Glossar, SN-AN-21.199, Olten, Schweiz, 2021.
- [6] Entsorgungsprogramm 2021 (EP21) der Entsorgungspflichtigen, Nagra Technischer Bericht NTB 21-01. Nagra, Wetztingen, Schweiz, Dezember 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] SR 220 Bundesgesetz betreffend die Ergänzung des Schweizerischen Zivilgesetzbuches (Fünfter Teil: Obligationenrecht) vom 30. März 1911 (Stand am 1. Januar 2020).
- [13] ENSI-G17 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G17/d, Stilllegung von Kernanlagen, Ausgabe April 2014.
- [14] 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.
- [15] OECD, Nuclear Energy Agency NEA, Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants, NEA No. 7201, OECD 2016.
- [16] International Financial Reporting Standards (IFRS), www.ifrs.org.
- [17] Schweizer Standards für die Rechnungslegung in Unternehmen, Generally Accepted Accounting Principles, Fachempfehlungen zur Rechnungslegung, www.fer.ch (swiss GAAP Fer).
- [18] Bund aktualisiert seine Kostenschätzungen für die Entsorgung radioaktiver Abfälle, Medienmitteilung Bundesamt für Gesundheit, Bern, 29. April 2015, <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-57033.html>.

A.2 Verzeichnis der Abkürzungen

Abkürzung	Erläuterung
Abs.	Absatz
ADR	Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse
AK	Ausgangskosten
Art.	Artikel
ATA	Alphatoxische Abfälle
BK	Basiskosten
Bq	Becquerel
Bst.	Buchstabe
CHF	Schweizer Franken
EABN	Endgültige Ausserbetriebnahme
EEB	Endgültige Einstellung des Betriebs
EELB	Endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs
ELFB	Endlagerfähigkeitsbescheinigung
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
HAA	Hochaktive Abfälle
HAA-Lager	Geologisches Tiefenlager für hochaktive Abfälle
HSK	Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (heute ENSI)
ISDC	International Structure for Decommissioning Costing of Nuclear Installations
JO	Standortgebiet Jura Ost
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 ² , m ³	Meter, Quadratmeter, Kubikmeter
MCHF	Millionen Schweizer Franken (Mio. CHF)
Mg	Megagramm (Tonne)
Mio.	Millionen
Mrd.	Milliarden
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

OFA	Oberflächenanlage
OR	Obligationenrecht
p. a.	Per annum (= pro Jahr)
PB16	Preisbasis 01.01.2016
PB21	Preisbasis 01.01.2021
PSP	Projektstrukturplan
PSP-Element	Element im Projektstrukturplan
PU	Prognoseungenauigkeiten
RM	Kosten für Massnahmen zur Risikominderung
SEFV	Verordnung über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen
SMA	Schwach- und mittelaktive Abfälle
SMA-Lager	Geologisches Tiefenlager für schwach- und mittelaktive Abfälle
StSG	Strahlenschutzgesetz
StSV	Strahlenschutzverordnung
TAMG	Transport- und Abfallmengengerüst
usw.	Und so weiter
z. B.	Zum Beispiel
ZNO	Standortgebiet Zürich Nordost
Zwibez	Zwischenlager Beznau
Zwilag	Zwilag Zwischenlager Würenlingen AG

A.3 Empfehlungen aus der Prüfung der Kostenstudie 2016 durch das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat.

Im November 2016 übergab swissnuclear die Dokumente der Kostenstudie 2016 an die Verwaltungskommission für den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds, die ihrerseits das ENSI mit der sicherheitstechnischen Überprüfung der Kostenstudien beauftragte. Bereits die vorhergehenden Kostenstudien hatte das ENSI überprüft und der Verwaltungskommission Empfehlungen für die nächste Kostenüberprüfung vorgelegt. In den nachstehenden Tabelle 24 und Tabelle 25 sind die Empfehlungen des ENSI und ihre Berücksichtigung für die Kostenstudie 2021 aufgeführt.

Tabelle 24: Empfehlungen für die Stilllegung aus der Prüfung der Kostenstudie 2016 durch das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat.

Nr.	Inhalt	Berücksichtigung in Kostenstudie 2021
3-1	Für die nächste Aktualisierung der Kostenstudie empfiehlt das ENSI eine Überarbeitung der Massenangaben in den Tabellen 5–6 der Stilllegungsstudien. Insbesondere sollen dabei auch die Erfahrungen aus dem Stilllegungsprojekt KKM berücksichtigt werden. Ausserdem sind die Aufnahme von detaillierten Angaben zur räumlichen Verteilung der Kontamination in der Anlage sowie die Angabe von Informationen zur Ableitung des Nuklidvektors zu präzisieren.	Die Massenangaben wurden von allen Werken für die KS21 überprüft und bei Bedarf angepasst. Die Informationen zur räumlichen Verteilung der Kontamination in der Anlage sowie die Angabe von Informationen zur Ableitung des Nuklidvektors wurden ergänzt.
3-2	Das ENSI empfiehlt, die aktuellen Erkenntnisse aus der Bewertung des Projekts Stilllegung KKM und der anschliessenden Detailplanung der Arbeitsschritte in die nächste Aktualisierung der Kostenstudie einfließen zu lassen.	In die Überarbeitung der Stilllegungspläne flossen die Informationen aus dem Stilllegungsprojekt KKM und der vorbereitenden Stilllegungsplanung für das KKB ein.
3-3	Die Daten zu den Materialströmen und Stilllegungsabfällen sind für die nächste Aktualisierung der Kostenstudie zu überarbeiten und in prüfbarer Form darzulegen.	Die Daten wurden von allen Werken überprüft und erforderlichenfalls angepasst.

Tabelle 25: Empfehlungen für die Entsorgung aus der Prüfung der Kostenstudie 2016 durch das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat.

Nr.	Inhalt	Berücksichtigung in Kostenstudie 2021
4-1	<p>Alle Aspekte, die die Annahmefähigkeit von konditionierten Abfallgebinden betreffen, sind bei den nächsten Aktualisierungen der Kostenstudie einzeln auf kostenrelevante Änderungen hin zu überprüfen. Es sind dies insbesondere diejenigen Aspekte, die in Verfahren der Nagra zur Endlagerfähigkeitsbescheinigung (ELFB-Verfahren) einzeln bewertet werden und für die es in der Richtlinie ENSI-B05 spezifische Festlegungen gibt.</p>	<p>Die Richtlinie ENSI-B05 in der aktuellen Fassung hat 2018 die Richtlinie HSK-R-14 als eine konsequente Fortsetzung der Verfahren und Vorgaben ersetzt. Alle bereits erteilten Typen- und Einzelfreigaben gelten uneingeschränkt weiter und werden aufsichtlich genauso behandelt, wie nach der neuen Richtlinie erteilte Typen- bzw. Einzelgenehmigungen. Das Einlagerungskonzept und abgeleitet die vorläufigen Annahmebedingungen der Nagra sind hinsichtlich der Aspekte, die die Annahmefähigkeit von konditionierten Abfallgebinden betreffen und in Verfahren der Nagra zur Endlagerfähigkeitsbescheinigung (ELFB-Verfahren) einzeln bewertet werden, ebenfalls seit der letzten Kostenstudie unverändert. Es sind keine kostenrelevanten Änderungen hinsichtlich der Annahmefähigkeit von konditionierten Abfallgebinden – weder auf Basis aktueller Richtlinien, des Nagra-Reglements noch aufgrund besonderer Ereignisse oder Erkenntnisse – zu berücksichtigen.</p>
4-2	<p>Anpassungen der Entsorgungsplanung können sich zukünftig aufgrund bereits lancierter und bewilligter neuer BE-Transport- und -Lagerbehältertypen mit anderen Kapazitäten ergeben. Das ENSI weist darauf hin, dass in den Angaben in der Kostenstudie derzeit noch nicht zwischen verschiedenen Behältertypen unterschieden wird und dass Unterschiede hinsichtlich der Beschaffungskosten und Transportfrequenzen für den Einsatz der verschiedenen Behältertypen bestehen. Eine Präzisierung der vorgesehenen Behältertypen und ihrer Einsatzdauer ist ab der nächsten Kostenstudie vorzunehmen.</p>	<p>In der Kostenermittlung wurde die aktuelle Beschaffungssituation für die Transport- und Lagerbehälter der einzelnen Kernkraftwerke berücksichtigt.</p>
4-3	<p>Die Erstellung, das Betriebskonzept und der Betriebsablauf der Abklinglager sind in den folgenden Aktualisierungen der Kostenstudie zu berücksichtigen.</p>	<p>Der aktuelle Planungsstand wurde bei der Ermittlung der Kosten berücksichtigt. Die Erfahrungen aus dem Stilllegungsprojekt KKM und der vorbereitenden Stilllegungsplanung für das KKB flossen ein.</p>
4-4	<p>Solange das Kombilager als Option in Betracht gezogen wird, empfiehlt das ENSI in den nächsten Kostenstudien ein eigenes, detaillierteres Konzept für die Auslegung und die Betriebsführung der OFA des Kombilagers zu verwenden.</p>	<p>Die Nagra erarbeitet ein eigenes, detailliertes Konzept für die Auslegung und die Betriebsführung der OFA eines Kombilagers. Dieses wird im Jahr 2022 veröffentlicht. Zudem legt das Entsorgungsprogramm 2021 [6] die hohe Wahrscheinlichkeit eines Kombilagers gegenüber zwei Einzellagern dar. Die aktuellen Planungsannahmen für das Kombilager wurden in der Kostenstudie 2021 berücksichtigt.</p>

Nr.	Inhalt	Berücksichtigung in Kostenstudie 2021
4-5	In der OFA des HAA-Lagers ist durch eine Konkretisierung der vorgesehenen Betriebsabläufe für die Behälterzerlegung und für den Betrieb einschliesslich der Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten an der zweisträngig ausgelegten Be-, Umlade- und Verpackungszelle nachzuweisen, warum in der Anlage keinerlei Infrastruktur zur Sammlung und Behandlung von flüssigen Dekontaminationslösungen erforderlich sein soll. Anderenfalls sind derartige Einrichtungen in die Anlagenauslegung aufzunehmen.	Gemäss aktuellem Planungsstand gehen weder die Behälterzerlegung (TLB) noch die Brennelement-Verpackungsanlage (BEVA) von Prozessen aus, bei denen flüssige Dekontaminationslösungen (kontaminierte Abwässer) anfallen könnten. Sollten infolge einer Betriebsstörung trotzdem unerwartet kontaminierte Abwässer anfallen, so stünde in der Anlage zur Behandlung radioaktiver Betriebsabfälle (RABA) ein Verdampfer zur Verfügung. Die entsprechenden Kosten sind in der Kostenstudie 2021 berücksichtigt.

A.4 Empfehlungen aus der Prüfung der Kostenstudie 2016 durch die Kostenexperte

Im November 2016 übergab swissnuclear die Dokumente der Kostenstudie 2016 an die Verwaltungskommission, die ihrerseits externe Kostenprüfer mit der Überprüfung der Kostenstudien beauftragte. Mit der Kostenstudie 2016 wurde erstmals eine Kostenstudie durch externe Kostenexperten geprüft. Die Prüfung wurde für die Bereiche Stilllegung und Entsorgung getrennt durchgeführt. Die Kostenprüfer haben der Verwaltungskommission Empfehlungen für die nächste Kostenüberprüfung vorgelegt. Tabelle 26 und Tabelle 27 fassen die Empfehlungen der Kostenprüfer und ihre Berücksichtigung in der Kostenstudie 2021 zusammen.

Tabelle 26: Empfehlungen für die Stilllegung der aus Prüfung der Kostenstudie 2016 durch die Kostenprüfer.

Nr.	Inhalt	Berücksichtigung in Kostenstudie 2021
3-2	Swissnuclear überprüft die Beschreibung der Leistungsumfänge und auch die Nummerierung der PSP-Elemente auf den Ebenen 4 und 5 und strebt eine Vereinheitlichung an.	Die Kostenstrukturen auf den Gliederungsebenen wurden mit der Kostenstudie 2021 nochmals überprüft. Vereinheitlichungen wurden in den Bereichen vorgenommen, wo dies angesichts der verschiedenen Technologien möglich und zielführend war.
3-5	<p>Die Kostenexperten haben bei der Analyse das folgende Risiko identifiziert: «Die Annahmen für die Berechnung der Reduktionsfaktoren für das Anlagenpersonal sind falsch bzw. ungenau.» Die Risiken, die Kostenfolgen nach sich ziehen können, sind in den Betrachtungen zum Sicherheitszuschlag abgegolten und werden daher an dieser Stelle auch nicht ausgewiesen.</p> <p>Es wird für die KS21 empfohlen, die Datenbasis für die Berechnung/Ableitung der Reduktionsfaktoren weiter zu verbessern. Dabei sollten sowohl etwaige Erfahrungen aus Schweizer Rückbauprojekten (gegebenenfalls Nachbetrieb KKM) als auch aus internationalen Rückbauprojekten mit in die Berechnung der Reduktionsfaktoren einfließen. Massnahmen, die zu einer Verbesserung des «Härtegrads» der Reduktionsfaktoren führen, könnten als risikomindernde Massnahmen ausgewiesen werden und die Eintrittswahrscheinlichkeit oder das Schadensausmass des oben genannten Risikos dementsprechend senken.</p>	Im Rahmen der Überarbeitungen der Stilllegungspläne wurden auch die Reduktionsfaktoren zur Ermittlung der Nach- und Rückbaubetriebskosten angepasst.
6-1	Gefahren mit 100 Prozent sollten in den Projektstrukturplänen als entsprechende PSP-Elemente hinzugefügt werden.	In der Kostenstudie 2021 werden alle Gefahren mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit grösser als 50 Prozent als Bestandteil der Basiskosten ausgewiesen.
6-2	Vorhersehbare Zeitverzögerungen sind durch ausdrückliche Nennung im Chancen- und Gefahrenkatalog explizit sichtbar zu machen. Das Clustern von Gefahren ist zur besseren Transparenz zu meiden, sofern nicht explizit aus den jeweiligen Beschreibungen hervorgeht, welche Einzelpositionen im Cluster zu finden sind.	Die Grundlagen für die Schätzungen von zeitvarianten Gefahren und Chancen wurden mit der Kostenstudie 2021 grundlegend überarbeitet.

Nr.	Inhalt	Berücksichtigung in Kostenstudie 2021
6-3	Es wird empfohlen, den Chancen- und Gefahrenkatalog gemäss des von den Kostenexperten revidierten Chancen- und Gefahrenkatalogs zu überarbeiten und zu ergänzen.	Die spezifischen Empfehlungen der Kostenexperten wurden im Rahmen der Überarbeitung der Gefahren- und Chancenkataloge berücksichtigt.

Tabelle 27: Empfehlungen für die Entsorgung aus der Prüfung der Kostenstudie 2016 durch die Kostenprüfer.

Nr.	Inhalt	Berücksichtigung in Kostenstudie 2021
2	Die Kostenexperten empfehlen für die Erstellung der nächsten Kostenstudie ein rechtzeitiges und allumfassendes Einfrieren der Unterlagen und der Annahmen für die Überprüfung der Kostenstudie.	Für die Ermittlung der Kosten der geologischen Tiefenlager im Rahmen der KS21 wurden die Basisprojekte und Varianten mit ihren jeweiligen Annahmen und Grundlagen eingefroren, bevor mit der zugehörigen Kostenermittlung begonnen wurde.
3	Die Kostenexperten empfehlen für die Erstellung der nächsten Kostenstudie, die Nachvollziehbarkeit der in der Kostenerfassung verwendeten Werte (aus zugrunde liegenden Berichten hergeleitete Grössen) hinsichtlich der Darstellung der Grundlagen sowie der getroffenen Annahmen für die Überführung in die übergeordnete Kostenstudie zu optimieren.	Diese Empfehlung wurde bei der Erstellung der Berichte und im Rahmen der Qualitätssicherung beachtet, wodurch die Nachvollziehbarkeit der Kostenermittlung sowie die Nachverfolgbarkeit von Grundlagen und Annahmen gewährleistet wird. Zudem hat die Nagra gemeinsam mit Partnern eine Kalkulationssoftware entwickelt, welche insgesamt die Transparenz der Kostenermittlung erhöht.
4	Für die nächste Kostenstudie empfehlen die Kostenexperten, einen Satz Eingangsdaten zu definieren und zu dokumentieren, der für mehrere Objekte relevant ist und auch für Unternehmerkalkulationen grundsätzlich zu unterstellen ist.	Diese Empfehlung wurde beim Aufbau der Berichtsstruktur sowie bei der Erstellung der Berichte zur KS21 berücksichtigt.
5	Die Kostenexperten empfehlen, die unterschiedlichen Darstellungen der Kostenzusammenfassungen detaillierter zu erläutern.	Diese Empfehlung wurde bei der Erstellung der Berichte zur KS21 berücksichtigt.
6	Die Kostenexperten empfehlen, bei der Personalplanung in der nächsten Kostenstudie den Personalbedarf nach Positionen aufzuschlüsseln und auch das Fremdpersonal darzustellen, die Fehlzeiten durch Urlaub, Krankheit und Weiterbildung genauer zu berücksichtigen und somit das gesamte Personalaufkommen abzubilden.	Diese Empfehlung wurde entsprechend dem aktuellen Detaillierungsgrad der zugrundeliegenden Planungen berücksichtigt.
7	In Ergänzung zum Profiltyp L-2 (im HAA) ist ein neuer Profiltyp mit abweichendem Laufmeterpreis zu definieren.	Für die Basisprojekte und das Kombilager wurden die Normalprofile und Sicherungstypen der Zugänge nach Untertag und Bauwerke auf Lagerebene weiterentwickelt und die Kosten entsprechend neu ermittelt.

Nr.	Inhalt	Berücksichtigung in Kostenstudie 2021
8	Aus Sicht des Kostenexperten «Entsorgung» gibt es in den Profiltypen technisches Optimierungspotenzial, das im Rahmen der nächsten Projektphasen genauer untersucht werden sollte.	Für die Basisprojekte und das Kombilager wurden die Normalprofile und Sicherungstypen der Zugänge nach Untertag und Bauwerke auf Lagerschichtebene weiterentwickelt und die Kosten entsprechend neu ermittelt.
9	Die Kosten für Landerwerb sollten in der KS21 mit dem dann aktuellen Bodenpreis neu berechnet werden.	Die Kosten für Landerwerb entsprechen innerhalb der KS21 den aktuellen Bodenpreisen und sind entsprechend dokumentiert.

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

