STELLUNGNAHME DES ENSI

zur Kostenstudie 2021 über die Stilllegung der Kernanlagen und Entsorgung radioaktiver Abfälle in der Schweiz

31. Mai 2022

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI
Inspection fédérale de la sécurité nucléaire IFSN
Ispettorato federale della sicurezza nucleare IFSN
Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate ENSI

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI
Inspection fédérale de la sécurité nucléaire IFSN
Ispettorato federale della sicurezza nucleare IFSN
Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate ENSI

ENSI-AN-11308

Stellungnahme des ENSI zur Kostenstudie 2021 über die Stilllegung der Kernanlagen und Entsorgung radioaktiver Abfälle in der Schweiz

Brugg, 31. Mai 2022

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 4

2 Annahmen und Voraussetzungen 6

2.1 Abgrenzung des Mandats 6

2.2 Rechtlicher Rahmen 7

2.3 Abgrenzung Nachbetrieb, Stilllegung und Entsorgung 7

2.3.1 Abgrenzung des Nachbetriebs von der Stilllegung 8

2.3.2 Abgrenzung des Nachbetriebs von der Entsorgung 10

2.4 Technische Änderungen in der Kostenstudie 2021 im Vergleich zur Kostenstudie 2016 10

2.4.1 Wesentliche Änderungen beim Teil Stilllegung 10

2.4.2 Wesentliche Änderungen beim Teil Entsorgung 11

2.5 Umgang mit Chancen und Gefahren 13

3 Stilllegung 15

3.1 Stilllegungsstrategie, Stilllegungsziel und Endzustand 15

3.1.1 Auswahl der Stilllegungsstrategie 15

3.1.2 Stilllegungsziel und Endzustand 15

3.2 Bewertung des angenommenen Ausgangszustands (physikalisches und radiologisches Inventar) 16

3.2.1 Beschreibung der Anlagen 16

3.2.2 Inventar der Anlagen 17

3.3 Ablauf der Stilllegung 20

3.3.1 Stilllegungsplanung 20

3.3.2 Durchführung des Rückbaus 24

3.3.3 Arbeitsumfänge 25

3.4 Bewertung der gewählten Zerlege- und Dekontaminationsverfahren 28

3.5 Bewertung der Materialströme und Stilllegungsabfälle und deren Behandlung (Abfallpfade, Konditionierung, Freimessung, Abklinglagerung) 31

3.5.1 Abfallpfade und Konditionierung 31

3.5.2 Freimessung und Abklinglagerung 34

3.6 Chancen und Gefahren in der Stilllegung 35

4 Entsorgung 39

4.1 Bestandsaufnahme der zu entsorgenden Abfallgebinde 39

4.2 Transporte, Transport- und Lagerbehälter 40

4.3 Zwischenlagerung (ZZL der Zwilag, Zwibez, Nasslager KKG) 41

4.4 Abklinglagerung 43

4.5 Geologische Tiefenlager 44

4.5.1 Zusammenhang mit dem Sachplan geologische Tiefenlager 45
4.5.2 Zusammenhang mit dem Entsorgungsprogramm 2021 46
4.5.3 Oberflächenanlage 47
4.5.4 Untertagebauwerke 49
4.5.5 Sicherungsmassnahmen 55
4.5.6 Strahlenschutz und radiologische Überwachung 56
4.5.7 Nukleare Betriebssicherheit 58
5 Umsetzung der Vorgaben und Empfehlungen 61
5.1 Vorgaben der Verwaltungskommission STENFO 61
5.2 ENSI-Empfehlungen aus der Kostenstudie 2016 64
6 Zusammenfassung und Bewertung aus technischer Sicht 66
6.1 Stilllegung 66
6.2 Entsorgung 68
7 Zusammenfassung der Empfehlungen des ENSI für die nächste Kostenstudie 72
8 Abkürzungsverzeichnis und Glossar 75
9 Referenzen 78

Abbildungen

Abbildung 1: Kostengliederung der Kostenstudie 2021 (STENFO) 5
Abbildung 2: Zusammenhang der Überprüfungen des ENSI und der Kosten- und Risikoexperten 6
Abbildung 3: Übersicht der Finanzierung des Nachbetriebs, der Stilllegung und der Entsorgung /4/. 8
Abbildung 4: Darstellung des Übergangs vom Betrieb in die Stilllegung (aus /6/, Abbildung 2) 20
Abbildung 5: Realisierungsplan des HAA-Lagers /19/. 53

Tabellen

Tabelle 3-1: Betriebs- und Stilllegungsdauern der Kernkraftwerke und Zwischenlager (/6/, Tab. 4). 22
Tabelle 3-2: Gesamtmassen der zu demontierenden Komponenten in der kontrollierten Zone. (aus /6/, Tabellen 5, 6, 7, 8 und 10) 26
Tabelle 3-3: Personalaufwand und Kollektivdosis für die Stilllegung der Kernkraftwerke und des ZZL (aus /6/). 27
Tabelle 3-4: Abschätzung relevanter Massen der stillzulegenden Kernkraftwerke und des ZZL für das Stilllegungsziel 3 (aus /6/). 31
Tabelle 3-5: Verteilung der Massen auf die Entsorgungspfade (aus /6/). 34
Tabelle 4-1: Abschätzung des anfallenden Materials für die Abklinglagerung (aus /6/) 43

Tabelle 5-1: Vorgaben der VK-STENFO mit Bezug zu technischen Grundlagen und Beurteilung des ENSI zu ihrer technischen Umsetzung – Teil Allgemein. 61

Tabelle 5-2: Vorgaben der VK-STENFO mit Bezug zu technischen Grundlagen und Beurteilung des ENSI zu ihrer technischen Umsetzung – Teil Stilllegung und Nachbetrieb 62

Tabelle 5-3: Vorgaben der VK-STENFO mit Bezug zu technischen Grundlagen und Beurteilung des ENSI zu ihrer technischen Umsetzung – Teil Entsorgung 63

Tabelle 5-4: Empfehlungen für die Stilllegung aus der Prüfung der Kostenstudie 2016 durch das ENSI und ihre Berücksichtigung in der Kostenstudie 2021. 64

Tabelle 5-5: Empfehlungen für die Entsorgung aus der Prüfung der Kostenstudie 2016 durch das ENSI und ihre Berücksichtigung in der Kostenstudie 2021. 65

1 Einleitung

Die Eigentümer von Kernanlagen in der Schweiz sind dazu verpflichtet, ihre Anlagen nach der endgültigen Ausserbetriebnahme auf eigene Kosten stillzulegen und abzubrechen sowie die aus den Anlagen stammenden radioaktiven Abfälle zu entsorgen (Art. 26 und 31 Kernenergiegesetz KEG /1/). Zur Sicherstellung der Finanzierung der Stilllegung und Entsorgung sind die Eigentümer von Kernanlagen verpflichtet, Beiträge an den Stilllegungs- und an den Entsorgungsfonds zu leisten (Art. 77 Abs. 3 KEG). Die massgebenden Rechtsgrundlagen betreffend die Sicherstellung der Finanzierung für die Stilllegung und die Entsorgung von Kernanlagen gehen aus dem KEG, insbesondere Artikel 31 und 77 bis 82 sowie aus der Verordnung über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen (SEFV /2/) hervor.

Die beitragspflichtigen Eigentümer der Schweizer Kernkraftwerke (Beznau I und II, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt) und des zentralen Zwischenlagers für radioaktive Abfälle in Würenlingen (Zwilag Zwischenlager Würenlingen AG) sind im Hinblick auf die Festlegung der voraussichtlichen Höhe der Stilllegungs- und Entsorgungskosten verpflichtet, alle fünf Jahre eine Studie zur voraussichtlichen Höhe der Stilllegungs- und Entsorgungskosten (Kostenstudie) zu erstellen (Art. 4 Abs. 1 SEFV). Die letzte Ermittlung der Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten erfolgte im Jahr 2016. Im Jahr 2018 wurde swissnuclear (Branchenverband der Schweizer Kernkraftwerksbetreiber) damit beauftragt, die Kostenstudie zu aktualisieren und bis Ende 2021 fertigzustellen. Die Kostenstudie 2021 wurde in Zusammenarbeit mit den für die Stilllegung und die Entsorgung in der Schweiz verantwortlichen Organisationen erstellt und im Oktober 2021 bei der Verwaltungskommission des Stilllegungsfonds für Kernanlagen und des Entsorgungsfonds für Kernkraftwerke (STENFO) eingereicht. Die Kostenstudie 2021 bildet die Grundlage für die Bemessung der Rückstellungen und Fondsbeiträge in den Jahren 2022 bis 2026.

Die Verwaltungskommission des STENFO (VK-STENFO) leitet und koordiniert die Überprüfung der Kostenstudie (Art. 23 SEFV). Sie hat die Vorgaben für die Erstellung der Kostenstudie 2021 im Rahmen des ihr zustehenden Ermessens aufgrund der aktuellen Rechtslage (Bundesgerichtsurteil vom 06. Februar 2020) und Erkenntnisse einer erneuten Beurteilung unterzogen und diese am 02.12.2020 gemäss Antrag des Kostenausschusses des STENFO verabschiedet und am 15.02.2021 veröffentlicht /3/. Die Erkenntnisse aus der Prüfung der Kostenstudie 2016 dienten als Basis für die Festlegung der Vorgaben für die Erstellung der Kostenstudie 2021.

Das ENSI hat die Angaben zur Ermittlung der Ausgangskosten (Kosten-Nr. 1), der Kosten zur Risikominderung (Kosten-Nr. 2), der Basiskosten (Kosten-Nr. 3) sowie der Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten (Kosten-Nr. 4) hinsichtlich der sicherheitstechnisch relevanten Aspekte geprüft. Bei der aktuellen Überprüfung der Kostenstudie 2021 wurden zudem erstmals die Gefahren (Kosten-Nr. 5) und Chancen (Kosten-Nr. 6), die Auflistung von nicht berücksichtigen Chancen und Gefahren (Kosten-Nr. 7) sowie der generelle Sicherheitszuschlag (Kosten-Nr. 8) in die oben beschriebene Überprüfung einbezogen. (Abbildung 1). Bei der Prüfung fokussierte das ENSI insbesondere auf die Änderungen und Abweichungen gegenüber der Kostenstudie 2016 («Delta-Studie»).

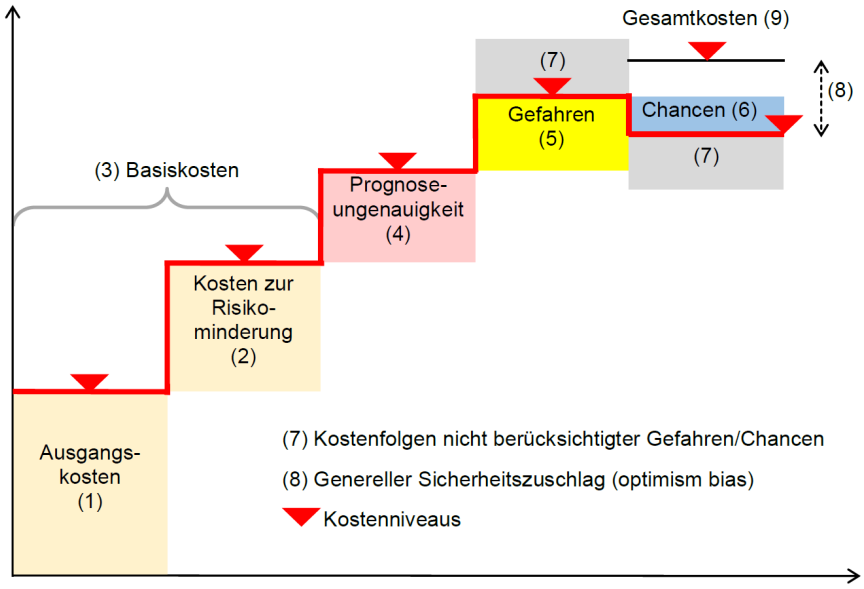


Abbildung 1: Kostengliederung der Kostenstudie 2021 (STENFO)

Nach Art. 4 der SEFV ist die Kostenstudie in Bezug auf die für die Sicherheit relevanten Aspekte vom Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) und in Bezug auf die Kostenberechnung von unabhängigen Fachleuten zu überprüfen. Die vom ENSI beurteilten Dokumente sind der übergeordnete Mantelbericht /4/ und die zugehörigen Hauptberichte zum Nachbetrieb /5/, zur Stilllegung /6/, zur Entsorgung /7/ und /8/ (geologische Tiefenlagerung, Zwischenlagerung, Transporten, Behälter und Wiederaufarbeitung) sowie mehrere von der NIS Ingenieurgesellschaft mbH oder der Nagra erstellte technische Berichte (Kapitel 9, Referenzen). Die Beurteilung des ENSI stützt sich auf die Expertisen der TÜV NORD EnSys GmbH & Co KG und der Basler & Hofmann AG ab.

2 Annahmen und Voraussetzungen

2.1 Abgrenzung des Mandats

Die Überprüfung der Kostenstudie 2021 ist aufbauend auf der Überprüfung der Kostenstudie 2016 und den dadurch gewonnenen Erfahrungen wie folgt strukturiert:

1) Sicherheitstechnische Überprüfung der Stilllegungs- und Entsorgungsprojekte durch das ENSI und seine Experten;
2) Überprüfung der Kostenberechnung der Stilllegungs- und Entsorgungsprojekte durch unabhängige Kostenexperten (Kosten-Nr. 1 bis 7);
3) Überprüfung der Kostenberechnung der Stilllegungs- und Entsorgungsprojekte durch unabhängige Risiko-Experten (Kosten-Nr. 8, genereller Sicherheitszuschlag).

Der vorgegebenen Prüfungsstruktur folgend, hat das ENSI nur die sicherheitstechnischen Aspekte der Kostenstudie 2021 überprüft. Die Schwerpunkte der Überprüfung des ENSI wurden auf Themen gelegt, die zu relevanten Folgen für die Kostenermittlung führen können. Es wurde überprüft:

- ob die von der VK-STENFO festgelegten Vorgaben für die Erstellung der Kostenstudie 2021 eingehalten wurden;
- ob die technischen, terminlichen, organisatorischen und betrieblichen Annahmen für die Kostenberechnung (Massen, Leistungsannahmen, Abläufe und Arbeitsprozesse, Zeitbedarf etc.) den gültigen Vorschriften, Normen und dem Stand der Technik entsprechen;
- ob die eingereichten Stilllegungs- und Entsorgungsprojekte technisch machbar sind und inwieweit die Angaben in sich plausibel, nachvollziehbar und vollständig sind;
- inwieweit die Angaben zu anderen Dokumenten und Projekten konsistent sind (Entsorgungsprogramm 2021, Sachplan geologische Tiefenlager, Stilllegungspläne, Rückbauvorhaben, internationale Stilllegungs- und Entsorgungsprojekte sowie Untertagebauwerke, Abfallinventar);
- wie die Empfehlungen des ENSI aus der Stellungnahme zur Kostenstudie 2016 umgesetzt wurden.

Während der Überprüfung durch das ENSI war eine Zusammenarbeit mit den vom Kostenausschuss des STENFO beauftragten Kosten- und Risikoexperten nötig, wo sich die Prüftätigkeiten dieser Experten und des ENSI inhaltlich und zeitlich überlappten (Abbildung 2).

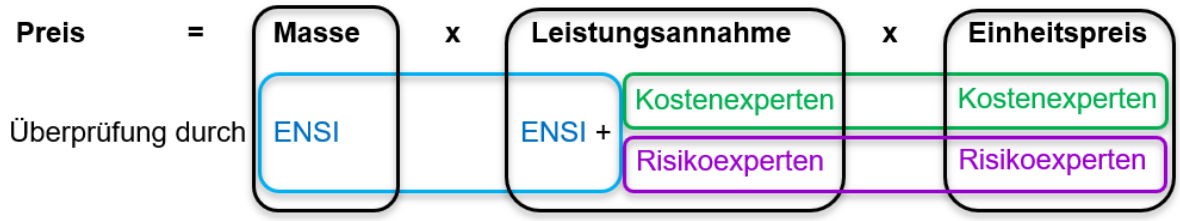


Abbildung 2: Zusammenhang der Überprüfungen des ENSI und der Kosten- und Risikoexperten

Das ENSI hat die technischen Grundlagen der Basisprojekte sowie die Vollständigkeit des Chancen- und Gefahrenkatalogs für die Stilllegung der Kernkraftwerke und die Zwischenlager sowie für die Entsorgung überprüft. Die sicherheitstechnische Überprüfung der Nachbetriebspläne war zwar nicht Bestandteil des Überprüfungsauftrags des ENSI, jedoch wurden Arbeiten während des Nachbetriebs, die Einfluss auf den späteren Rückbau haben, ebenfalls betrachtet. Im Rahmen seiner Überprüfung hat sich das ENSI mit den vom Kostenausschuss des STENFO beauftragten Kostenexperten bzgl. der Einschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit

und des Schadensausmasses von relevanten absehbaren Gefahrpotenzialen (Kosten-Nr. 5), der Einschätzungen von absehbaren Chancenpotenzialen (Kosten-Nr. 6) und der Identifizierung von aussergewöhnlichen Ereignissen (Gefahren und Chancen, Kosten-Nr. 7) ausgetauscht.

2.2 Rechtlicher Rahmen

Der rechtliche Rahmen wird im Mantelbericht und in den Hauptberichten aufgezeigt. Im Kap. 2.5 des Mantelberichts bzw. in den Kap. 2.1 der Hauptberichte sind die einschlägigen Gesetze, Verordnungen, Richtlinien und Empfehlungen erwähnt bzw. aufgelistet. Auf die rechtlichen Grundlagen der verschiedenen Fachthemen und die anzuwendenden technischen Normen wird ggf. an entsprechender Stelle hingewiesen.

Angaben der Kostenstudie

Die Kostenermittlungen basieren gemäss Vorgabe der VK-STENFO /3/ auf dem gesetzlichen und regulatorischen Rahmen per 1. Januar 2020. Im Kernenergiegesetz (KEG) /1/ 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» (Art. 31 Abs. 1 KEG). Abfälle, die nicht in Kernkraftwerken anfallen, sondern aus Medizin, Industrie und Forschung stammen, müssen nach Art. 27 StSG /10/ dem Bund abgeliefert werden. Der Abfallverursacher muss für die Kosten der Entsorgung aufkommen. Die in der Pflicht stehenden Abfallverursacher sind die Betreiber der Kernkraftwerke und der Bund. Die Entsorgungspflicht ist erfüllt, wenn «die Abfälle in ein geologisches Tiefenlager verbracht worden sind und die finanziellen Mittel für die Beobachtungsphase und den allfälligen Verschluss sichergestellt sind» (Verschlussverfügung; Art. 31 Abs. 2 Bst. a KEG).

Beurteilung des ENSI

Mit Anwendung des gesetzlichen und regulatorischen Rahmens per 1. Januar 2020 wurde die entsprechende Vorgabe der VK-STENFO umgesetzt. Die Stilllegungs- bzw. Entsorgungspflicht leitet sich für Abfälle, die als Folge der Nutzung von Kernenergie entstehen, aus Art. 26 bzw. Art. 31 KEG ab. Gemäss Art. 33 KEG entsorgt der Bund die radioaktiven Abfälle, die nach Art. 27 Abs. 1 StSG abgeliefert werden. Insgesamt sind die rechtlichen Grundlagen aus Sicht des ENSI sachgerecht und angemessen dargestellt.

2.3 Abgrenzung Nachbetrieb, Stilllegung und Entsorgung

Angaben der Kostenstudie

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. 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 entstehen. Abbildung 3 zeigt, wie die Finanzierung der verschiedenen Tätigkeiten bei Nachbetrieb Stilllegung und Entsorgung sichergestellt wird.

Die mit dem Nachbetrieb verbundenen Aufwendungen entsprechen weder der Definition von Entsorgungskosten noch der Definition von Stilllegungskosten im Sinne der SEFV und werden als letzter Teil der Betriebskosten betrachtet, die von den Betreibern direkt finanziert werden.

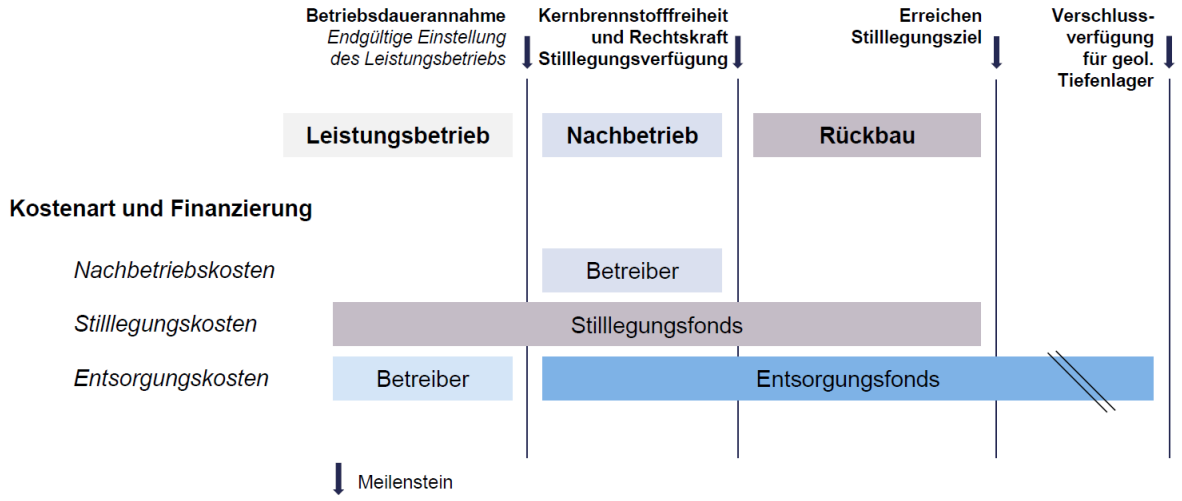


Abbildung 3: Übersicht der Finanzierung des Nachbetriebs, der Stilllegung und der Entsorgung /4/

2.3.1 Abgrenzung des Nachbetriebs von der Stilllegung

Angaben der Kostenstudie

Dauer des Nachbetriebs

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 rechtswirksame Stilllegungsverfügung vorliegt.

Die mit der Kostenstudie 2021 aktualisierten Stilllegungspläne für die noch im Betrieb befindlichen Kernkraftwerke sehen – analog zum Vorgehen beim Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) – eine weitgehende zeitliche Überlappung von Nachbetrieb und Rückbau vor. Direkt nach der EELB beginnen der technische Nachbetrieb unter der Betriebsbewilligung sowie die vorbereitenden Arbeiten gemäss Stilllegungsverfügung.

Die Dauer des Nachbetriebs beträgt viereinhalb Jahre für das KKM, vier Jahre für die Kernkraftwerke Beznau (KKB) und Leibstadt (KKL) sowie drei Jahre für das Kernkraftwerk Gösgen (KKG). Wegen der zeitlichen Überlappung von Nachbetrieb und Rückbautätigkeiten sowie der weitgehenden Parallelisierung der Stilllegungsarbeiten mit dem Nachbetrieb (ab EABN) führt dies insgesamt zu einer leichten Verkürzung der Gesamtdauer der Stilllegung. Die Verkürzung der Gesamtdauer der Stilllegung hat eine Reduktion der Rückbaubetriebskosten für die Kernkraftwerke zur Folge.

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

Aktivitäten

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

- 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.

Demgegenüber umfassen die Tätigkeiten in der Stilllegung typischerweise Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen, wie sie mit den vorbereitenden Massnahmen im KKM umgesetzt wurden, Demontage von Komponenten und Einrichtungen, Behandlung und Verpackung der Stilllegungsabfälle, Freimessung und Auszonung von Gebäuden der kontrollierten Zone. Bei den Stilllegungskosten wird zwischen Stilllegungskosten vor EELB und solchen nach EELB unterschieden. Beide Arten der Stilllegungskosten werden von den Betreibern in den Stilllegungsfonds einbezahlt.

Randbedingungen und Annahmen

Für die Ermittlung der Nachbetriebskosten hat die swissnuclear eine Reihe von Randbedingungen, Annahmen und Eingangsdaten festgelegt. Die Festlegungen dienen als Basis für die Ermittlung der Stilllegungskosten der Kostenstudie 2021, einige auch mit sicherheitstechnischer Bedeutung. Die Rahmenbedingungen sind im Mantelbericht erläutert. U. a. auch, dass Betriebs- und Reaktorabfälle, die während der Stilllegung entstehen, zu den Stilllegungskosten gehören.

Beurteilung des ENSI

Zur Abgrenzung des Nachbetriebs von der Stilllegung zieht das ENSI Art. 2 SEFV und die Vorgabe Nr. 9 der VK-STENFO als Beurteilungsgrundlage heran. Gemäss dieser Vorgabe der VK-STENFO sind «die Nachbetriebskosten ab der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs (EELB) bis zur Erreichung der Kernbrennstofffreiheit von den Stilllegungskosten getrennt auszuweisen. Bei diesen Kosten handelt es sich um die Nachbetriebskosten, die direkt durch die Betreiber finanziert werden. Die Betriebskosten nach Erreichen der Kernbrennstofffreiheit 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. 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 zuzuweisen.»

In den Planungen für den Rückbau des KKB, des KKG und des KKL erfolgte mit der Kostenstudie 2021 erstmals eine Parallelisierung von Abbauarbeiten innerhalb der Anlage mit dem fortdauernden technischen Nachbetrieb, wie sie für das KKM bereits mit der Kostenstudie 2016 unterstellt wurde. Hierdurch ergeben sich, je nach den konkreten Gegebenheiten der Anlage und jeweils bezogen auf den Zeitpunkt der EELB, berechtigte Verkürzungen der Stilllegungsdauern von mehreren Jahren.

Wie der erfolgreiche Übergang vom Betrieb in die Stilllegung beim KKM gezeigt hat, ist diese Planung realistisch. Entsprechend hält das ENSI auch die Pläne für KKB, KKG und KKL unter Erfüllung der sicherheitstechnischen Anforderungen als realisierbar, auch wenn logistische Herausforderungen zu erwarten sind.

In Bezug auf die Abgrenzung von Nachbetrieb und Stilllegung kommt das ENSI zum Ergebnis, dass

- keine Arbeiten, die stilllegungsbezogen oder direkt dem Rückbau zuzuordnen sind, dem Nachbetrieb zugeordnet wurden und dass;
- keine Arbeiten, die dem Nachbetrieb zuzuordnen sind und daher nicht durch den Stilllegungsfonds finanziert werden, der Stilllegung zugeordnet sind.

Somit ist die Abgrenzung zwischen Nachbetrieb und Stilllegung vollständig und korrekt umgesetzt, die Vorgabe 9 der VK-STENFO ist aus Sicht des ENSI erfüllt.

2.3.2 Abgrenzung des Nachbetriebs von der Entsorgung

Angaben der Kostenstudie

In Kap. 2.7 im Mantelbericht werden die Tätigkeiten und Kosten den beiden Fonds zugeordnet, resp. den durch die Betreiber direkt zu finanzierenden Betriebs- und Nachbetriebskosten. Bei der Abgrenzung zwischen Nachbetrieb und Entsorgung geht es vor allem um die Zuordnung der Tätigkeiten und die Behandlung der dabei anfallenden Abfälle.

Die Aktivitäten in der Entsorgung, die entsprechend über den Entsorgungsfonds finanziert werden, 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.

Diese Arbeiten sind in separaten Berichten genauer ausgeführt und werden vom ENSI im Kapitel 4 dieser Stellungnahme bewertet. Die Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente wurde vollständig abgeschlossen, entsprechend fallen dafür keine Kosten mehr an.

Beurteilung des ENSI

Die von der swissnuclear im Mantelbericht dargestellte Zuordnung der Tätigkeiten und Kosten zu Nachbetrieb, Stilllegung und Entsorgung richtet sich nach Art. 3 SEFV. Gemäss Art. 3 Abs. 1 SEFV gelten alle Kosten, die für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle und der abgebrannten Brennelemente nach endgültiger Ausserbetriebnahme anfallen, als Entsorgungskosten.

Die im Mantelbericht dargelegte Zuordnung der Tätigkeiten und Kosten zu Nachbetrieb, Stilllegung und Entsorgung ist aus Sicht des ENSI zielführend, plausibel und vollständig.

Die Vorgabe 9 der VK-STENFO ist damit aus Sicht des ENSI erfüllt.

2.4 Technische Änderungen in der Kostenstudie 2021 im Vergleich zur Kostenstudie 2016

2.4.1 Wesentliche Änderungen beim Teil Stilllegung

Gemäss den Vorgaben der VK-STENFO /3/ gibt es bei den Stilllegungsstudien im Vergleich zur Kostenstudie 2016 Änderungen beim Stilllegungsziel (STENFO-Vorgabe Nr. 11), bei der Stilllegungsplanung (STENFO-Vorgabe Nr. 12) und bei der Abklinglagerung für radioaktive Stoffe (STENFO-Vorgabe Nr. 13). Die Abgrenzung Betrieb/Stilllegung (STENFO-Vorgabe Nr. 9) wurde bereits in Kap. 2.3.1 betrachtet. Die wichtigsten technischen Änderungen gegenüber der Kostenstudie 2016 sind wie folgt:

a Stilllegungsziel: Während in der Kostenstudie 2016 die beiden Stilllegungsziele «Braune Wiese» und «Grüne Wiese» berücksichtigt wurden, werden in der Kostenstudie 2021 drei Stilllegungsziele ausgewiesen:

- «Grüne Wiese»: Vollständiger Rückbau inkl. Entfernung sämtlicher Fundamente (Grüne Wiese, Stilllegungsziel 3 in den Stilllegungsstudien);
- «Grüne Wiese»: Die Einsparungen, falls die Fundamente und Betonkonstruktion nur bis -2 m ab Oberkante Terrain zurückgebaut werden, sind separat auszuweisen (Stilllegungsziel 2 in den Stilllegungsstudien);
- Entlassung aus der Kernenergiegesetzgebung («Braune Wiese», Stilllegungsziel 1 in den Stilllegungsstudien).

b Stilllegungsplanung: Gemäss Vorgabe der VK-STENFO müssen die aktuellen Erkenntnisse aus der Erarbeitung der Stilllegungsprojekte des KKB wie auch die aktuellen Erfahrungen aus der Stilllegung des KKM als Grundlage für die Kostenstudie 2021 verwendet werden. Im Zusammenhang mit der Erstellung der Kostenstudie 2021 wurden die Stilllegungsstudien der Kernkraftwerke und des ZZL überarbeitet. Als wesentliche Änderungen gegenüber den bisherigen Stilllegungsstudien beginnen die Stilllegungsarbeiten, in Anlehnung an das Vorgehen bei der Stilllegung des KKM, mit der Endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs (EELB) 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 Stilllegungsstudien 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.

c Abklinglagerung: Zur konsequenten Minimierung der entsorgungspflichtigen radioaktiven Abfälle wird in allen Stilllegungsstudien eine Inaktivfreigabe nach vorheriger, maximal 30-jähriger Abklinglagerung vorgesehen. Einerseits werden die Reduktionen bei den zu entsorgenden Abfällen, andererseits aber auch die mit der Abklinglagerung verbundenen Aufwände berücksichtigt.

2.4.2 Wesentliche Änderungen beim Teil Entsorgung

Die wichtigsten technischen Änderungen gemäss den Angaben im Mantelbericht /4/, S. 33, und in /11/, /12/ und /13/ gegenüber der Kostenstudie 2016 werden nachfolgend wiedergegeben:

a. Die Standorte der Oberflächeninfrastruktur der geologischen Tiefenlager für die in der Kostenstudie 2021 vorgegebenen Modellstandorte entsprechen möglichen Vorschlägen zur Konkretisierung der Oberflächeninfrastruktur der geologischen Tiefenlager im Rahmen der Etappe 3 des Sachplans geologische Tiefenlager (SGT).

b. Die Lage der Lagerfelder der geologischen Tiefenlager für die in der Kostenstudie 2021 vorgegebenen Modellstandorte entspricht dem Wissenstand gemäss den Feldarbeiten und der Tiefbohrkampagne im Rahmen der Etappe 3 des SGT von 2019. Die Lagerfelder wurden basierend auf Resultaten der fortgeschrittenen erdwissenschaftlichen Untersuchungen innerhalb der Lagerperimeter neu platziert. Dadurch ergibt sich bei den Basisprojekten (HAA- und SMA-Lager) und beim Kombilagerprojekt ein leicht unterschiedliches untertägiges Lagerlayout. Längere Erschliessungstunnel auf Lagerebene infolge anderer Lagerfeldplatzierung sind in der Kostenstudie 2021 als Gefahr berücksichtigt.

c. Gegenüber der Kostenstudie 2016 werden die alphatoxischen Abfälle (ATA) im Einklang mit den Vorgaben zur Kostenstudie 2021 nun dem SMA-Lager zugeordnet. Beim Basisprojekt des HAA-Lagers entfällt somit der separate ATA-Lagerteil und die entsprechend benötigten Anlagen (Verpackung, etc.) an der Oberfläche. Beim Basisprojekt des SMA-Lagers ist daher zusätzliche Lagerkapazität für die ATA vorgesehen.

d. Die Basisprojekte (HAA- und SMA-Lager) und das Kombilagerprojekt basieren auf dem Planungsfortschritt im Rahmen der Etappe 3 des SGT (Stand 2019/2020). In der Kostenstudie 2021 sind aufgrund der Entscheide im Rahmen des SGT (Ergebnis aus der Etappe 2 SGT, Bundesratsentscheid zu

Etappe 2 SGT) und der Projektfortschritte folgende Änderungen gegenüber der Kostenstudie 2016 vorgenommen worden:

- Für den in der Kostenstudie 2021 betrachteten modellhaften Standort des SMA-Lagers Jura Ost werden die Nutzung der Synergien mit dem ZZL der Zwilag insbesondere bezüglich der Verpackung der SMA im Basisprojekt berücksichtigt. In der Kostenstudie 2021 wird die Verpackungsanlage beim ZZL der Zwilag vorgesehen. Damit kann aufgrund der Synergien auf eine Verpackungsanlage für SMA am Standort der Oberflächenanlage verzichtet werden. Dies erlaubt auch die Nutzung grösserer Endlagerbehälter für einen relevanten Teil der SMA.
- Aufgrund weiterer Synergien mit dem ZZL (z. B. Sicherung, Behandlungsanlage für Betriebsabfälle) und einer Verschiebung von Anlagenelementen von der in der Kostenstudie 2016 vorgesehenen Oberflächenanlage in die Nebenzugangsanlage (Betrieb) kann im Basisprojekt des SMA-Lagers gänzlich auf eine neu einzurichtende Oberflächenanlage verzichtet werden. Die in der Kostenstudie 2016 genannte Platzierung der Verpackungsanlage SMA auf dem Oberflächenareal JO-3+ ist in der Kostenstudie 2021 als Gefahr berücksichtigt. Als Gefahr ist ebenfalls die Möglichkeit abgedeckt, dass nicht alle Synergien mit dem ZZL der Zwilag vollständig genutzt werden können (z. B. Sicherung, Administration) und dafür zusätzliche Objekte und Platz im Bereich der Nebenzugangsanlage NZA-B vorgesehen werden müssen.
- Für den in der Kostenstudie 2021 betrachteten Standort des HAA-Lagers Zürich Nordost wird eine geänderte Zugangskonfiguration zum geologischen Tiefenlager im Basisprojekt berücksichtigt. Alle Zugänge nach untertage einschliesslich des Hauptzugangs sind nun als Schächte ausgestaltet. Entsprechend erfolgt der Transport der Abfälle nach untertage mittels einer Schachtförderanlage. Dies gilt auch für das betrachtete Kombilagerprojekt im Zürich-Nordost.
- Der in der Kostenstudie 2016 beim Basisprojekt des HAA-Lagers vorgesehene Hauptzugang mit einem Zugangstunnel im Standort Zürich Nordost wird in der Kostenstudie 2021 als Variante (Gefahr) berücksichtigt.
- Bei den Basisprojekten (HAA- und SMA-Lager) und dem Kombilagerprojekt wurden die Normalprofile und die Sicherungstypen der Zugänge nach untertage und Bauwerke auf Lagerebene weiterentwickelt und die Kosten entsprechend neu ermittelt.
- Die bei dem Basisprojekt des HAA-Lagers und dem Kombilagerprojekt erforderliche Verpackungsanlage für abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle (BEVA) wurde weiterentwickelt und die Kosten wurden entsprechend neu ermittelt. Gegenüber der Kostenstudie 2016 wurde die Anzahl der Andockstationen für Transport- und Lagerbehälter (TLB) sowie die Endlagerbehälter (ELB) von je 4 auf je 3 reduziert. Die in der Kostenstudie 2016 vorgesehene Auslegung der BEVA (mit je 4 Andockstationen für TLB und ELB) ist in der Kostenstudie 2021 als Gefahr berücksichtigt.
- Bei den Basisprojekten (HAA- und SMA-Lager) und dem Kombilagerprojekt wurde das Verschlusskonzept (Verfüllung und Versiegelung der Bauwerke auf Lagerebene sowie der Zugänge nach untertage) weiterentwickelt und die Kosten wurden entsprechend neu ermittelt. Die Verfüllung des Bau- und Betriebstunnels sowie der Zugangsbauwerke erfolgt neu mit aufbereitetem Opalinuston innerhalb des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs, respektive Ausbruchmaterial ausserhalb des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs. Zudem erfolgten verschiedene Optimierungen der Versiegelungsbauwerke. Das in der Kostenstudie 2016 vorgesehene Verschlusskonzept ist in der Kostenstudie 2021 als Gefahr berücksichtigt.

Folgende weitere technische Änderungen im Vergleich zur Kostenstudie 2016 wurden vorgenommen:

a. Die Platzierung der Verpackungsanlage für Brennelemente und hochaktive Abfälle (BEVA) im ZZL der Zwilag wird in der Kostenstudie 2021 als Chance berücksichtigt /14/.

b. In der Verpackungsanlage des SMA-Lagers werden 200-Liter-Fässer in den Einlagerungsbehälter Typ LC1-20 verpackt /14/. Dadurch verringert sich das verpackte Volumen und die erforderliche Gesamtlänge der Lagerkavernen im SMA-Lager. Das gilt nur beim Basisprojekt des SMA-Lagers.

c. Der Haupterschliessungsbereich (HEB) der einzelnen Lagertypen und Standorte werden gemäss aktuellem Projektstand berücksichtigt. Die Lagerfelder der einzelnen Lagertypen werden so nahe am HEB wie möglich gelegt (Optimierung entsprechend dem Projektstand). Weiter entfernte Lagerfelder werden als Gefahr berücksichtigt.

d. Die Testbereiche und das Pilotlager der einzelnen Lagertypen werden optimiert in Richtung des HEB bzw. der Lagerfelder angeordnet, sodass die Länge der Tunnel zu diesen Abschnitten reduziert werden können. Ein längerer Zugang zum Pilotlager ist als Gefahr berücksichtigt.

e. Bei allen Lagerprojekten wird der Ausbau der Zugangsschächte nach untertage als druckwasserhaltender Ausbau geplant.

f. Beim Basisprojekt des HAA-Lagers wird auf den Einbau der Zwischensiegel in den Lagerstollen nach jeweils 10 BE/HAA-Behälter verzichtet. Die Errichtung der Zwischensiegel in den Lagerstollen des HAA-Lagers ist aber als Gefahr berücksichtigt /15/.

g. Für die im Basisprojekt berücksichtigte Innenreinigungsanlage der Transportlagerbehälter (TLB) wird gegenüber der Kostenstudie 2016 auch eine Abklinglagerung vorgesehen. Dabei wird dieses Abklinglager kostenmässig berücksichtigt, ohne einen Standort für die Anlage zu benennen (vgl. Kap. 4.5.3).

2.5 Umgang mit Chancen und Gefahren

Gemäss den Vorgaben für die Erstellung der Kostenstudie 2021 (Anhang 1) /3/ sind die Prognoseungenauigkeiten, Gefahrenpotenziale und Chancenpotenziale zu quantifizieren und auf dem entsprechenden Niveau der Kostenstruktur zu berücksichtigen sowie detailliert und transparent darzustellen. Die jeweiligen Kostenzuschläge und -abschläge sollen gemäss /3/ nach einem «top- down» Ansatz auf der Basis einer quantitativen Risikoanalyse ermittelt werden. Dazu muss für jedes relevante Ereignis dessen Eintrittswahrscheinlichkeit und Kostenfolge basierend auf Expertenwissen abgeschätzt werden.

Aussergewöhnliche Gefahren und Chancen mit sehr niedriger, meist unbekannter Eintrittshäufigkeit und sehr grossen Auswirkungen werden in den Gesamtkosten nicht berücksichtigt, jedoch identifiziert, separat erfasst und, wo möglich, mit geschätzten Eintrittswahrscheinlichkeiten und absoluten Kosten beziffert. Zudem ist zu begründen, wieso diese bei der Kostenstudie 2021 nicht berücksichtigt werden.

Angaben der Kostenstudie

Die in den Berichten /15-18/ zusammengefassten Gefahren und Chancen bildeten die Basis für die gemeinsame Bewertung und Einschätzung im Rahmen der Expertendiskussionen. Die Methodik der Bewertung von Chancen und Gefahren wurde in Zusammenhang mit der Einführung der Kostengliederung für die Kostenstudie 2016 entwickelt und findet auch für die Kostenstudie 2021 weiterhin Anwendung.

Die im Bericht /15/ aufgeführten Chancen und Gefahren betreffend die geologischen Tiefenlager beziehen sich auf die kalkulierten Basisprojekte (SMA- und HAA-Lager) mit ihren Basiskosten und den Varianten, welche in den Berichten /11/, /12/, /13/ und /19/ dargestellt sind. Grundsätzlich können bis zum Bau bzw. bis zum Betrieb der geologischen Tiefenlager gewisse technologische Entwicklungen erfolgen, welche Auswirkungen auf die Kosten haben können. Für die Ermittlung der Basiskosten wird davon ausgegangen, dass das Basisvorhaben (Basisprojekte der SMA- und HAA-Lager) mit heute vorhandener Technologie realisiert wird; damit wird vermieden, sich auf allfällige Spekulationen einzulassen. Wo absehbar, kann eine technologische Entwicklung als Chance diskutiert werden.

Die Ableitung der Gefahren und Chancen basiert auf der Annahme, dass die Planung des Nachbetriebs der Kernkraftwerke und der Stilllegung der Kernanlagen, inklusive der Planung des Materialflusses, sowie die

Planung der Entsorgung der radioaktiven Abfälle grundsätzlich korrekt und optimiert vorgenommen wurde. Deshalb betreffen die Gefahren und Chancen externe Einflussfaktoren auf den Ablauf und die Dauer der Stilllegung und der Entsorgung, die als bedingt beeinflussbar betrachtet werden können. Anhand einer Risikomatrix (Eintrittswahrscheinlichkeit vs. Risikoausmass) werden Gefahren und Chancen in Kategorien (Gefahren- und Chancencluster) eingestuft. Als Cluster wurden die wichtigsten Auslöser der Abweichungen von der Planung gewählt. Diese Gefahren und Chancen sowie die dafür eingeplanten spezifischen risikomindernden bzw. chancenunterstützenden Massnahmen werden in den Berichten /15-18/ im Chancen- und Gefahrenkatalog betrachtet.

Beurteilung des ENSI

Die Beurteilung des ENSI zu den in den Berichten /15-18/ aufgeführten Gefahren und Chancen bzgl. der Stilllegung, Zwischenlagerung und Entsorgung sind in die jeweiligen themenspezifischen Beurteilungen eingeflossen und können den nachfolgenden Abschnitten entnommen werden. Die Prüfung der Risiken und Chancen durch das ENSI betraf folgende Aspekte:

- Vollständigkeit;
- Plausibilität der technischen und organisatorischen Konsequenzen;
- Nachvollziehbarkeit der angegebenen Eintrittswahrscheinlichkeiten.

3 Stilllegung

3.1 Stilllegungsstrategie, Stilllegungsziel und Endzustand

3.1.1 Auswahl der Stilllegungsstrategie

Angaben der Kostenstudie

Gemäss international üblicher Vorgehensweise existieren für die Stilllegung eines Kernkraftwerkes verschiedene Stilllegungsstrategien. In der Schweiz kommen aus gesetzlichen Gründen (Art. 26 Abs. 2 Bst. d in Verbindung mit Art. 31 Abs. 2 Bst. a KEG /1/) nur ein sofortiger Rückbau oder – mit entsprechender Begründung – ein späterer Rückbau nach einem gesicherten Einschluss in Frage. Nebst dem Kernenergie- und dem Strahlenschutzgesetz ist die Umweltgesetzgebung wesentlich. Das übergeordnete Ziel des Rückbaus ist, dass die Anlage nach ordnungsgemässem Abschluss der Stilllegung keine radiologische Gefahrenquelle mehr darstellt und somit nicht mehr der Kernenergiegesetzgebung untersteht. Hierzu können unterschiedliche anlagenspezifische Stilllegungsziele definiert werden, je nachdem, ob und welcher Teil der Gebäudestrukturen der ehemaligen Kernanlage bestehen bleibt (konventionelle, d. h. nicht-nukleare Nachnutzung), oder ob auch die im Untergrund befindlichen Baustrukturen teilweise oder vollständig entfernt werden.

In allen für die Kostenstudie vorgelegten Stilllegungsstudien /20-24/ der sofortige Rückbau als Stilllegungsstrategie zu Grunde gelegt. Gemäss Vorgabe der VK-STENFO wurden dabei drei Stilllegungsziele betrachtet (siehe Kap. 3.1.2) und neue, seit der letzten technischen Überarbeitung der Unterlagen gewonnene Erkenntnisse, sind eingearbeitet worden.

Beurteilung des ENSI

Bei seiner Bewertung der anlagenspezifischen Stilllegungsstudien /20-24/ prüft das ENSI diese zunächst auf Konformität mit den gesetzlichen Vorgaben, den spezifischen Vorgaben für die Durchführung der Kostenstudie 2021 durch die Verwaltungskommission des STENFO sowie auf technische Plausibilität und Aktualität.

Die für alle Werke ausgewählte Strategie, der sofortige Rückbau, ist in Übereinstimmung mit den gesetzlichen Anforderungen und muss daher nicht separat begründet werden. Der sofortige Rückbau ist im Einklang mit den gültigen Stilllegungsplänen der entsprechenden Schweizer Kernanlagen. Diese Strategie wird zudem auch in internationalen Standards und Regelwerken bevorzugt.

Aus Sicht des ENSI entspricht die Wahl des sofortigen Rückbaus für alle zu betrachtenden Kernanlagen den nationalen Anforderungen, dem internationalen Stand der Technik und erfüllt damit die Vorgabe 10 der VK-STENFO.

3.1.2 Stilllegungsziel und Endzustand

Angaben der Kostenstudie

Die Vorgabe 11 zum Stilllegungsziel der VK-STENFO lautet folgendermassen:

Folgende Stilllegungsziele sind kostenmässig abzubilden:

- Vollständiger Rückbau inkl. Entfernung sämtlicher Fundamente («Grüne Wiese»);
- «Grüne Wiese»: Die Einsparungen, falls die Fundamente und Betonkonstruktion nur bis -2 m ab Oberkante Terrain zurückgebaut werden, sind auszuweisen;
- Entlassung aus der Kernenergiegesetzgebung («Braune Wiese»).

Dieser Vorgabe der VK-STENFO folgend hat die swissnuclear in der Kostenstudie 2021 drei Stilllegungsziele definiert, die jeweils kostenmässig abgebildet werden. Die drei Stilllegungsziele sind im Mantelbericht /4/ dargelegt:

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

Das Stilllegungsziel 1 ist erreicht, wenn sämtliche nuklearen Stilllegungsarbeiten abgeschlossen sind und von der Anlage keine radiologische Gefährdung mehr ausgeht. An das Stilllegungsziel 1 schliesst sich gegebenenfalls der konventionelle Rückbau der verbliebenen Anlagenteile an, zu denen die Stilllegungsziele 2 und 3 gehören, wobei für das Stilllegungsziel 2 die Fundamente und Betonkonstruktion nur bis -2 m ab Oberkante Terrain rückgebaut werden, während für das Stilllegungsziel 3 sämtliche Fundamente vollständig entfernt werden. In der Kostenstudie 2021 hat die swissnuclear die drei Stilllegungsziele bei den Stilllegungskosten jeweils separat ausgewiesen.

Der tatsächliche Umfang der Rückbauarbeiten und das sich daraus ergebende Stilllegungsziel werden zu einem späteren Zeitpunkt entsprechend der geplanten Nachnutzung der Kernkraftwerksstandorte nach Abschluss der Stilllegung festgelegt und in der Stilllegungsverfügung angeordnet.

Beurteilung des ENSI

Bei seiner Beurteilung stützt sich das ENSI auf Art. 29 Abs. 1 KEG /1/. Demnach ist das Stilllegungsziel eines Stilllegungsprojekts erreicht, wenn die Stilllegungsarbeiten ordnungsgemäss abgeschlossen sind und die Anlage keine radiologische Gefahrenquelle mehr darstellt. Ist dies nachgewiesen, erfolgt die Entlassung der Anlage aus der Kernenergiegesetzgebung durch das zuständige Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK). Mit dem Abschluss der Stilllegung endet auch die Beitragspflicht für den Stilllegungs- und Entsorgungsfond (vgl. Art. 7 Abs. 2 SEFV).

Die drei von der swissnuclear beschriebenen Stilllegungsziele stellen aus Sicht des ENSI drei mögliche Varianten des Endzustands eines Stilllegungsprojektes dar. In allen drei Fällen ist es nach Abschluss der Arbeiten möglich nachzuweisen, dass die Anlage keine radiologische Gefahrenquelle mehr darstellt. Zudem ist die Menge der radioaktiven Abfälle unabhängig von der Wahl des Endzustands (Stilllegungsziele 1 bis 3), da sich diese nur im Abbruch/Entfernen von Gebäudemassen unterscheiden, die bereits radiologisch befreit wurden.

In den Unterlagen der Kostenstudie 2021 hat die swissnuclear die drei gemäss Vorgabe der VK-STENFO abzubildenden Varianten des jeweiligen Stilllegungsziels anlagenspezifisch hinreichend beschrieben. Das ENSI kann den Ausführungen folgen und stellt fest, dass jede der Varianten nach erfolgreicher radiologischen Freimessung als Abschluss des Stilllegungsprojektes betrachtet werden kann, sofern dies in der zugehörigen Stilllegungsverfügung des UVEK so bestimmt worden ist.

Aus Sicht des ENSI ist damit die Vorgabe 11 der VK-STENFO erfüllt.

3.2 Bewertung des angenommenen Ausgangszustands (physikalisches und radiologisches Inventar)

3.2.1 Beschreibung der Anlagen

Angaben der Kostenstudie

In den anlagenspezifischen Stilllegungsstudien /20-24/ werden die Standorte und die Anlagen mit Unterkapiteln zur Beschreibung von Standort, Gebäude und Anlageninventar kurz beschrieben. Die Gebäude, die zur kontrollierten Zone gehören, werden aufgeführt und benannt.

Beurteilung des ENSI

In den Stilllegungsstudien /20-24/ werden in den Abschnitten zur Beschreibung der Standorte, die Grössen und Bauarten der Anlagen verständlich dargestellt. Die Aufteilung der Strukturen in kontrollierte Zonen und in konventionelle Teile der Anlagen ist nachvollziehbar. Es fehlen aber Angaben zu den Raumgrössen, die eine bessere Abschätzung des Inventars erlauben würde (siehe aktuelle Empfehlung 3-1, Kap. 3.2.2 / Kap. 7). Die Beschreibung der Anlagen ist für das Verständnis der nachfolgend beschriebenen Stilllegungsmassnahmen ausreichend.

3.2.2 Inventar der Anlagen

Angaben der Kostenstudie

Eine wesentliche Voraussetzung für die Stilllegungsplanung ist die Kenntnis des abzubauenden Anlageninventars. Dazu ist nicht nur das physikalische Inventar (z. B. Massen der Komponenten und Einrichtungen sowie die Gebäudemassen) relevant, sondern auch der radiologische Zustand der Anlage zum Zeitpunkt der Stilllegung. Gemäss swissnuclear wurde das radiologische Inventar aus der Aktivierung durch Neutronenstrahlung neu ermittelt, was bei den Kernkraftwerken teilweise zu leicht reduzierten, aktivierten Komponentenmassen geführt hat. Zur Bestimmung der Aktivierung der einzelnen Komponenten und Bauteile wurden von der Nagra Aktivierungsberechnungen durchgeführt.

Die Stilllegungsstudien für die Kernkraftwerke Beznau /20/, Gösgen /21/, Leibstadt /22/, Mühleberg /23/ und das ZZL /24/ beinhalten im jeweiligen Kapitel Angaben zum physikalischen und radiologischen Inventar der Anlagen, zu Korrelationsfaktoren für die Nuklidvektorbestimmung sowie, aufgeschlüsselt auf die einzelnen Gebäude, eine Auflistung des abzubauenden Inventars (Gebäude, Komponenten, Einrichtungen) mit der Angabe der jeweiligen Massen und Gesamtmasse (siehe Kap. 3.5).

Bei der Beschreibung des physikalischen Inventars wird zwischen Komponenten und Einrichtungen innerhalb bzw. ausserhalb der kontrollierten Zone und bei den Gebäudestrukturen ober- bzw. unterhalb einer Tiefe von -2 m ab Oberkante Terrain unterschieden.

Komponenten innerhalb der kontrollierten Zone gelten bis zum messtechnischen Nachweis der Unterschreitung der Grenzwerte gemäss Strahlenschutzverordnung (StSV) /25/ als kontaminiert. Gebäude und Anlagenteile, die nicht zur kontrollierten Zone gehören, sollen konventionell zurückgebaut werden. Zur detaillierten Beschreibung der Massen werden das Inventar und die Gebäude hinsichtlich der Qualität der Eingangsdaten (dem sogenannten Härtegrad), den Kontaminationsklassen und den Dosisleistungsklassen klassifiziert.

Das radiologische Inventar der Kernkraftwerke setzt sich gemäss den Stilllegungsstudien /20-24/ aus aktiviertem und kontaminiertem Material zusammen, während für das radiologische Inventar des ZZL nur von Kontamination ausgegangen wird. Aktivierte Systemkomponenten und Bauteile stammen aus denjenigen Bereichen der Kernkraftwerke, die während des Leistungsbetriebes einer intensiven Neutronenstrahlung ausgesetzt waren. Zu diesen Komponenten zählen vor allem der Reaktordruckbehälter (RDB), seine Einbauten und in den Siedewasserreaktoren Mühleberg und Leibstadt der Drywell (Einbauten und Wand) bzw. in den Druckwasserreaktoren Gösgen und Beznau der biologische Schild.

Gemäss den Stilllegungsstudien können aktivierte Teile nicht dekontaminiert werden; sie sind daher als radioaktiver Abfall zu entsorgen, sofern keine Abklinglagerung möglich ist.

Das radiologische Inventar ausserhalb der den RDB umgebenden Gebäudestrukturen wird gemäss den Stilllegungsstudien durch Kontamination mit im Neutronenfeld aktivierten Partikeln verursacht. Die wesentlich zum radiologischen Inventar beitragenden Systemkomponenten sind die Innenoberflächen des Primärkreislaufes und die Hilfssysteme. Räume innerhalb der kontrollierten Zone können ebenfalls kontaminiert sein. Für die Stilllegungsstudien wurden die Komponenten und Einrichtungen hinsichtlich des Grades der Kontamination einer Kontaminationsklasse zugeordnet. Zur Herkunft der Kontamination im ZZL werden in der Stilllegungsstudie /24/ keine Angaben gemacht.

Aus der radiologischen Analyse von Abfällen wurden für die Kernkraftwerke zur Bestimmung von Nuklidvektoren Korrelationsfaktoren zwischen gut messbaren Leitnukliden und schwer messbaren Nukliden bestimmt. Hierbei wurden mittlere Werte zur Beschreibung des radioaktiven Materials mit einem repräsentativen Nuklidvektor angegeben. Gemäss den Angaben in den Stilllegungsstudien ist nicht beabsichtigt, einen abdeckenden Nuklidvektor zu bestimmen. Für das ZZL werden keine Angaben zur Nuklidzusammensetzung der Kontamination gemacht.

Für das Kernkraftwerk Beznau werden in der Stilllegungsstudie /20/ zusätzlich Angaben zur radiologischen Altlast gemacht, die an Ort und Stelle verbleiben soll und für die keine Rückbauaufwände im Rahmen des Rückbaus des KKB berücksichtigt werden.

Beurteilung des ENSI

Bei der Beurteilung des physikalischen und radiologischen Inventars der Anlagen hat das ENSI die Änderungen in den Stilllegungsstudien /20-24/ gegenüber den Angaben in den Stilllegungsstudien 2016 verglichen, Erfahrungen aus Deutschland herangezogen sowie internationale Studien zur radiologischen Charakterisierung von Kernkraftwerken (/26/, /27/, /28/) berücksichtigt.

Im Rahmen der Prüfung hat das ENSI bezüglich der massebezogenen Eingangsdaten der Stilllegungsstudien 2021 grundsätzlich festgestellt, dass unter Berücksichtigung der jeweiligen Leistungsdaten die ausgewiesenen Massen im erwarteten Bereich liegen. Die Angaben zu Massen, zur radiologischen Charakterisierung und zur Klassifikation der Eingangsdaten entsprechen im Wesentlichen denen der Stilllegungsstudien 2016, die vom ENSI in seiner damaligen Stellungnahme zur Kostenstudie 2016 /29/ bereits positiv bewertet wurden. Insbesondere betrifft dies die Angaben zu den Massen aktivierter bzw. kontaminierter Systeme oder Gebäude.

In seiner Stellungnahme zur Kostenstudie 2016 /29/ hatte das ENSI folgende Empfehlung formuliert:

Empfehlung 3-1: Für die nächste Aktualisierung der Kostenstudie empfiehlt das ENSI, die Massenangaben in den Tabellen 5-6 der Stilllegungsstudien hinsichtlich der Konsistenz zu überarbeiten. Insbesondere sollen dabei auch die Erfahrungen aus dem Stilllegungsprojekt KKW Mühleberg berücksichtigt werden. Ausserdem sind Angaben zur räumlichen Verteilung der Kontamination in der Anlage aufzunehmen sowie die bereits vorliegenden Angaben zur Ableitung des Nuklidvektors zu präzisieren.

Die nun in den jeweiligen Tabellen «Eingangsdaten der Gesamtanlage nach radiologischer Zuordnung» angegebenen Massen für die Gebäudestrukturen entsprechen den gesamten Gebäudemassen aus kontrollierter und nicht kontrollierter Zone. Ergänzend dazu werden die Flächen in die Kategorien leicht, mittel und schwer dekontaminierbar eingeteilt. Ein rückbaubedingter Aufwand für die Dekontamination der Gebäude wird damit berücksichtigt. Die in den verschiedenen Tabellen der jeweiligen Stilllegungsstudien angegebenen Massen sind untereinander weitgehend konsistent bis auf diejenigen in der Tabelle «Eingangsdaten der Gesamtanlage nach radiologischer Zuordnung». Die in den Tabellen «Eingangsdaten der Gesamtanlage nach radiologischer Zuordnung» angegebenen Massen für die Gebäudestrukturen entsprechen den gesamten Gebäudemassen aus kontrollierter und nicht kontrollierter Zone. Im Rahmen der Bewertung der Kostenstudie 2016 wurde dargestellt, dass unter dem genannten Punkt auch Gebäudemassen der kontrollierten Zone nach der Freigabe angegeben sind. Dieser Aspekt sollte aus Sicht des ENSI zur besseren Nachvollziehbarkeit bei der nächsten Aktualisierung der Stilllegungsstudie erläutert werden (siehe nachfolgende Empfehlung 3-1).

Bei den Eingangsdaten der Gesamtanlage nach radiologischer Zuordnung wurde gegenüber den Stilllegungsstudien 2016 eine neue Klassifikation vorgenommen. Die bisherige Klassifikation nach Aktivierung bzw. Schwierigkeit der Dekontamination innerhalb bzw. ausserhalb der kontrollierten Zone wurde durch eine Klassifikation ersetzt, in der die Wahrscheinlichkeit von Kontamination innerhalb bzw. ausserhalb der kontrollierten Zone betrachtet wird. Ferner werden die Klassifikation «Gebäudestrukturen» und die Klassifikationen «Gebäudekategorie A (Biologischer Schild)» und «Gebäudestrukturen (Rest)» betrachtet. Die Kontaminationsklassen (KK1, KK2), die für die kontrollierte Zone und die Radiologischen Kategorien (RK1 bis RK4), die für Komponenten und Anlageteile ausserhalb der kontrollierten Zone eingeführt werden, werden nicht näher definiert.

Empfehlung 3-1: Bei der nächsten Aktualisierung der Kostenstudie empfiehlt das ENSI, die Zuordnung der in den Tabellen «Eingangsdaten der Gesamtanlage nach radiologischer Zuordnung» aufgeführten Massen der Gebäude zu erläutern. Weiter empfiehlt das ENSI, die Kategorien in den Tabellen «Eingangsdaten der Gesamtanlage nach radiologischer Zuordnung» und «Einteilung der Flächen» zu erläutern und eine konsistente Darstellung der Kontaminationsklassen in den Tabellen «Eingangsdaten der Gesamtanlage nach radiologischer Zuordnung» und «Anlagenspezifische Kontaminationsklassen» vorzunehmen.

Die Angaben zu den aktivierten Reststoffen in den Kernkraftwerken stammen aus Aktivierungsberechnungen und sind in der Kostenstudie 2021 gegenüber den Angaben in der Kostenstudie 2016 z. T. signifikant reduziert. Der Vergleich mit internationalen Rückbauprojekten zeigt, dass es auch aktivierte Bereiche mit einer spezifischen Aktivität unterhalb der Befreiungsgrenze gibt, die nicht als radioaktiver Abfall entsorgt werden müssen. Gleichwohl können solche aktivierten Bereiche aufgrund der mangelnden Berechnungsgenauigkeit nicht ausschliesslich anhand von Aktivierungsberechnungen identifiziert werden. Für diese Stoffe sind neben den Kontaminations-Korrelationsfaktoren auch Aktivierungs-Korrelationsfaktoren zur Bestimmung von Nuklidvektoren erforderlich. Im Rahmen der rückbaubegleitenden radiologischen Charakterisierung können diese Bereiche identifiziert werden. Die im Rahmen der vorliegenden Stilllegungsstudien gewählte Absicht, aktivierte Stoffe als radioaktiven Abfall zu entsorgen, sofern sie aufgrund ihrer Aktivität auch nicht für eine Abklinglagerung oder Befreiung geeignet sind, stellt eine anforderungsgerechte Vorgehensweise dar.

Gemäss den Stilllegungsstudien für die Kernkraftwerke /20-23/ wird die Radioaktivität in den Bereichen ausserhalb des Drywells bzw. des Biologischen Schildes durch Kontamination mit im Neutronenfeld aktivierten Partikeln verursacht. Für das ZZL der Zwilag werden keine entsprechenden Angaben gemacht /24/. Vergleiche mit internationalen Rückbauprojekten zeigen, dass auch nennenswerte Kontaminationen durch Spaltprodukte wie Cs-137 und Transurane wie Am-241, die bei Brennstabschäden freigesetzt werden, vorliegen können. Hierdurch entstehen jedoch keine zusätzlichen Aufwendungen bei der Bestimmung der räumlichen Verteilung der Kontamination.

In seiner Stellungnahme zur Kostenstudie 2016 /29/ hatte das ENSI empfohlen, Angaben zur Datenbasis für die Bestimmung der Nuklidverhältnisse der Kontamination anzugeben. Hierzu werden in den Stilllegungsstudien 2021 für die Kernkraftwerke anlagenweite Korrelationsfaktoren zur Bestimmung von Nuklidvektoren für die Kontamination bezogen auf Co-60 als Leitnuklid angegeben. Für das ZZL der Zwilag werden keine entsprechenden Angaben gemacht. Die dargestellte Vorgehensweise ist im Rahmen einer radiologischen Charakterisierung geeignet. Der Umfang der betrachteten Nuklide wurde gegenüber den Stilllegungsstudien 2016 signifikant erweitert. Gemäss der Kostenstudie 2021 dienen die Korrelationsfaktoren zu einer realistischen Beschreibung der Nuklidverhältnisse in Form von Nuklidvektoren in den einzelnen Anlagen. Konservative bzw. abdeckende Korrelationsfaktoren bzw. Nuklidvektoren werden explizit nicht angestrebt, was das ENSI als zweckdienlich beurteilt.

Empfehlung 3-2: Für das Zentrale Zwischenlager Würenlingen der Zwilag empfiehlt das ENSI, bei der nächsten Aktualisierung der Kostenstudie eine Darstellung der Nuklidzusammensetzung der Kontamination aufzunehmen oder zu beschreiben, weshalb dies nicht erforderlich ist.

Eine Festlegung von mehreren Nuklidvektoren für einzelne Zwecke (z. B. Freigabe und Abfall) und ihre kontinuierliche genauere Bestimmung ist erfahrungsgemäss im Rahmen des fortschreitenden Rückbaus erforderlich. Das ENSI schätzt den zusätzlichen Aufwand dafür jedoch nicht so hoch ein, als dass er in der Abschätzung des Rückbauaufwandes gesondert berücksichtigt werden muss.

Ein nicht auszuschliessender Mehraufwand aufgrund eines unerwartet hohen Auftretens konventioneller Schadstoffe wird im Chancen- und Gefahrenkatalog /17/ berücksichtigt. Für die Entsorgung verbleibender Schadstoffe, die während des Leistungsbetriebs nicht entfernt werden können, sind entsprechende Leistungen/Beträge in die Kalkulationen eingestellt worden, die auf Basis der vermuteten Restmengen abgeschätzt wurden. Sie enthalten den höheren technischen Aufwand und einen geringeren Arbeitsfortschritt bei den Abbauarbeiten. Nennenswerte Verzögerungen werden aber nicht erwartet, da die konventionellen Schadstoffe bereits in der regulären Abbauplanung über ein Schadstoffkataster berücksichtigt sind. Gleichwohl weist das

ENSI darauf hin, dass auch mit einem vorgängig erstellen Schadstoffkataster unerwartet Schadstoffe auftreten können, deren Beseitigung mit Mehraufwand verbunden ist.

Das ENSI beurteilt die Angaben zum physikalischen und radiologischen Inventar als plausibel. Die Angaben sind geeignet als Basis für darauf aufbauende Betrachtungen zur Bestimmung der Rückbauaufwände.

3.3 Ablauf der Stilllegung

3.3.1 Stilllegungsplanung

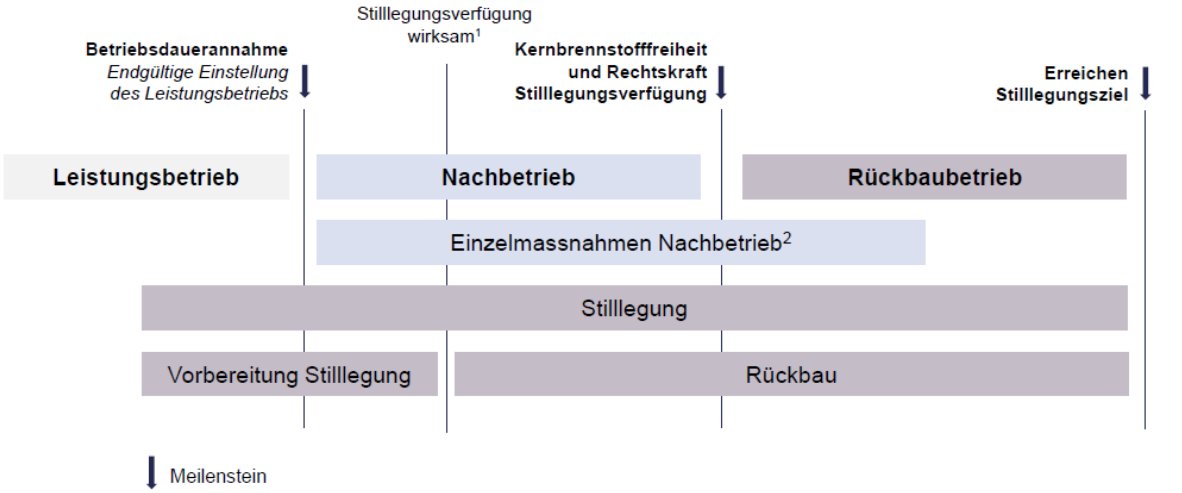
Angaben der Kostenstudie

Gemäss den gesetzlichen Vorgaben (KEG, KEV, SEFV) müssen die Inhaber der Betriebsbewilligung von Kernanlagen die Kosten für die Stilllegung alle fünf Jahre auf der Grundlage des Standes von Wissenschaft und Technik neu ermitteln. Die Ermittlung der Stilllegungskosten basiert auf den aktualisierten Stilllegungsstudien. Die letzte Aktualisierung wurde im Rahmen der Kostenstudie 2016 durchgeführt.

Ausserdem sind die Bewilligungsinhaber gemäss Art. 42 Abs. 1 KEV verpflichtet, mindestens alle 10 Jahre die Stilllegungspläne zu überprüfen und nachzuführen. Die letzte Aktualisierung der Stilllegungspläne der Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt sowie des ZZL der Zwilag erfolgte 2011; das Kernkraftwerk Mühleberg hat seinen Stilllegungsplan mit der Einreichung des Stilllegungsprojekts im Dezember 2015 aktualisiert. Die mit der Kostenstudie 2021 erstellten Stilllegungsstudien für die Kernkraftwerke und das ZZL der Zwilag werden gemäss swissnuclear auch als aktualisierte Stilllegungspläne gemäss KEV angesehen.

Optimierungen

Für das Kernkraftwerk Mühleberg liegt seit Juni 2018 eine rechtskräftige Stilllegungsverfügung vor. Im Dezember 2019 erfolgte die endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs, gleich im Anschluss begannen die Arbeiten zur Etablierung des technischen Nachbetriebs sowie die Arbeiten an den vorbereitenden Massnahmen für den Rückbau. Die Erkenntnisse aus dem Stilllegungsprojekt Mühleberg wurden als Grundlage für eine Optimierung der Stilllegungsstudien der Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt verwendet (siehe Abbildung 4).



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

Abbildung 4: Darstellung des Übergangs vom Betrieb in die Stilllegung (aus /6/, Abbildung 2)

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

Betriebsdauer

Als Berechnungsgrundlage für die Kostenermittlung wird für die Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt gemäss Art. 4 Abs. 3 SEFV eine Betriebsdauer von 50 Jahren angenommen. Für das Kernkraftwerk Mühleberg wird nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs im Dezember 2019 eine Betriebsdauer von 47 Jahren angesetzt. Kann ein Kernkraftwerk länger als 50 Jahre betrieben werden, kann die VK-STENFO gemäss SEFV eine abweichende Betriebsdauerannahme anordnen.

Entsprechend den Vorgaben der VK-STENFO sind die Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten der Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt für eine Betriebsdauerannahme von 50 sowie 60 Jahren zu ermitteln. Für die Bemessung der Fondsbeiträge und für die Einzahlungen gilt eine Laufzeitannahme von 50 Jahren.

Beim ZZL endet der planmässige Betrieb der Plasma-Anlage im Jahr 2050, der Betrieb der Halle S im Jahr 2062 und der Betrieb der restlichen Anlagen im Jahr 2071.

Dauer des Nachbetriebs

Für die Kostenstudie 2021 hat sich für die Dauer des Nachbetriebs gegenüber der Kostenstudie 2016 eine Änderung ergeben: Für das Kernkraftwerk Mühleberg wird die Dauer des Nachbetriebs von fünf Jahren auf viereinhalb Jahre reduziert. Bei den übrigen Kernkraftwerken wurde die Dauer des Nachbetriebs nicht verändert und beträgt für das Kernkraftwerk Gösgen weiterhin drei, für die Kernkraftwerke Beznau und Leibstadt vier Jahre.

Sowohl das Nasslager des KKG und das Zwischenlager Beznau (Zwibez) des KKB als auch das ZZL der Zwilag benötigen keinen Nachbetrieb. Sie können nach endgültiger Ausserbetriebnahme und Vorliegen einer rechtskräftigen Stilllegungsverfügung unmittelbar zurückgebaut werden.

Dauer der Stilllegung

Es wird davon ausgegangen, dass die Stilllegungsverfügung spätestens mit Erreichen der Kernbrennstofffreiheit, jedoch möglicherweise schon vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs, resp. des Betriebs rechtswirksam ist. Die Dauer des Rückbaus der Kernkraftwerke und der Zwischenlager unterscheidet sich je nach gewähltem Stilllegungsziel (siehe Tabelle 3-1 und vgl. Kap. 3.1.2).

In der Tabelle 3-1 steht IBN für Inbetriebnahme, und EEB für die Einstellung des Betriebs der Zwischenlager. Als Vereinfachung wurde des Weiteren für das KKB ein «mittleres» Inbetriebssetzungs- und Ausserbetriebnahmejahr angenommen.

Tabelle 3-1: Betriebs- und Stilllegungsdauern der Kernkraftwerke und Zwischenlager (/6/, Tab. 4)

Anlage	IBN	EELB / EEB	Nachbetrieb		Stilllegung bzw. Rückbau			
					Stilllegunsziel 1		Stilllegungsziel 3	
	von	bis inkl.	von	bis inkl.	Abschluss Stilllegung	Jahre ab EELB bis Abschluss Stilllegung	Abschluss Stilllegung	Jahre ab EELB bis Abschluss Stilllegung
KKB	1970	2020	2021	2024	2030	10	2034	14
KKM	1972	2019	2020	2024	2031	12	2034	15
KKG	1979	2029	2030	2032	2039	10	2043	14
KKL	1984	2034	2035	2038	2045	11	2049	15
KKG Nass-lager	2008	2035	Kein Nachbetrieb		2036	1	2037	2
Zwibez	2008	2071	Kein Nachbetrieb		2072	1	2072	1
ZZL	2000	2071	Kein Nachbetrieb		2076	5	2078	7

Kernkraftwerk Mühleberg

In der Stilllegungsstudie für das KKM /23/ wird auf den bisherigen Ablauf und den geplanten weiteren Verlauf der Stilllegung der Anlage eingegangen. Dabei wird direkter Bezug auf das Stilllegungsprojekt für das Kernkraftwerk /30/ und die darauf beruhende Stilllegungsverfügung /31/ genommen. Demnach wurde das Gesuch für die Stilllegungsverfügung im Dezember 2015 eingereicht, die Stilllegungsverfügung ist seit September 2018 rechtskräftig. Die endgültige Einstellung des Leistungsbetriebes (EELB) des KKM erfolgte am 20. Dezember 2019 nach 47 Jahren ordnungsgemässem Betrieb. Mit dem Rückbau wurde am 6. Januar 2020 begonnen. Zum 15. September 2020 wurde die endgültige Ausserbetriebnahme (EABN) erreicht und damit die Betriebsbewilligung durch die Stilllegungsverfügung abgelöst. Gleichzeitig begann die Stilllegungsphase 1. Im Zeitraum zwischen EELB und dem Beginn der Stilllegungsphase 1 wurde während der Etablierung des technischen Nachbetriebs im KKM eine autarke und redundante Kühlung für das Brennelement-Lagerbecken in Betrieb genommen und alle Brennelemente wurden in das Lagerbecken transferiert. Diese Eckdaten wurden gemäss swissnuclear in der Kostenstudie 2021 berücksichtigt.

Das KKW Mühleberg verfolgt die Stilllegungsvariante sofortiger Rückbau mit drei Stilllegungsphasen:

- Die Stilllegungsphase 1 beginnt ab der EABN und endet mit der Kernbrennstofffreiheit des KKM. Als Zeitdauer des technischen Nachbetriebs bis zur Herstellung der Kernbrennstofffreiheit wird in der Stilllegungsstudie entsprechend dem geschätzten realen Projektablauf ein Wert von 4,5 Jahren ab EELB, d. h. bis zur Mitte des Jahres 2024 angenommen. Damit wurde der unterstellte Nachbetriebszeitraum im Vergleich zur Kostenstudie 2016 um ein halbes Jahr verkürzt.
- Die Stilllegungsphase 2 beinhaltet den weiteren nuklearen Rückbau nach der Herstellung der Kernbrennstofffreiheit bis zum vollständigen Entfernen aller radiologischer Gefahrenquellen inkl. Demontage des Reaktordruckbehälters. Zum Abschluss der Phase 2 sollen nach der Gebäudedekontamination und dem Abbau der Einrichtungen zur Materialbehandlung die kontrollierten Zonen freigemessen und aufgehoben sein.
- In der Stilllegungsphase 3 sollen schliesslich die Verfahren durchgeführt werden, in deren Ergebnis die Aufsichtsbehörde den ordnungsgemässen Abschluss der Arbeiten unter der Stilllegungsverfügung feststellen kann.

Beurteilung des ENSI

Das ENSI stellt fest, dass für die Kernkraftwerke und das ZZL die technischen Planungsgrundlagen entsprechend Art. 4 Abs. 1 SEFV und den von der VK-STENFO vorgegebenen Anforderungen zur Erstellung der Kostenstudie 2021 aktualisiert worden sind.

Die Überprüfung der Aktualisierung der Stilllegungspläne im Sinne von Art. 42 KEV erfolgt in einem separaten Verfahren und wird hier nicht beurteilt.

Gemäss Art. 4 Abs. 3 SEFV ist bei der Berechnung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten von Kernkraftwerken eine Betriebsdauer von 50 Jahren anzunehmen. Aus Sicht des ENSI sollte diese Vorgabe angepasst werden, denn das Kernkraftwerk Beznau ist bereits seit 53 (Block 1), resp. 50 Jahren (Block 2) im Betrieb. Die Eidgenössische Energieforschungskommission CORE geht zudem in ihrem «Konzept zur Energieforschung des Bundes 2021 – 2024» /32/ von einer Betriebszeit der Schweizer Kernkraftwerke von über 60 Jahren aus und in den USA wird derzeit ein Betrieb von Kernkraftwerken von 80 Jahren angestrebt. Da es in der Schweiz keine Laufzeitbeschränkung gibt, ist eine ähnliche Entwicklung nicht auszuschliessen.

Empfehlung 3-3: Bei der nächsten Aktualisierung der Kostenstudie sind auch Laufzeiten der Kernkraftwerke von mehr als 60 Jahren zu betrachten und die Auswirkungen auf Stilllegung und Entsorgung von 70 und 80 Betriebsjahren zu beurteilen.

Mit dem in der Kostenstudie 2021 vorverlegten Zeitpunkt für das Vorliegen der Stilllegungsverfügung kann die Umsetzung der Abbauarbeiten deutlich früher beginnen. Der vorlaufend angesetzte Zeitraum von fünf Jahren für das Erwirken der Stilllegungsverfügung nach Einreichen der Gesuchsunterlagen war im Stilllegungsverfahren für das Kernkraftwerk Mühleberg bei Weitem ausreichend. Hinsichtlich der vorgelagerten betreiberinternen Planung und Erstellung der Gesuchsunterlagen ist ein angemessener Vorlauf vorgesehen. Analog zum zeitlichen Vorlauf für das Erwirken der Stilllegungsverfügung sind auch allen komplexen Abbaumassnahmen im Verlauf der Stilllegung in den Projektplänen mehrjährige Planungs- und Vorbereitungszeiträume vorgelagert, so dass keine Verzögerungen aufgrund eines mangelnden Planungsvorlaufs absehbar sind.

In seiner Stellungnahme zur Kostenstudie 2016 /29/ hatte das ENSI folgende Empfehlung formuliert:

Empfehlung 3-2: Das ENSI empfiehlt, die aktuellen Erkenntnisse aus der Bewertung des Projekts Stilllegung KKW Mühleberg und der anschliessenden Detailplanung der Arbeitsschritte in die nächste Aktualisierung der Kostenstudie einfliessen zu lassen.

Von der VK-STENFO wurde diese Empfehlung in der Vorgabe-Nr. 12 /3/ aufgenommen und um die Erkenntnisse aus der Stilllegungsvorbereitung des Kernkraftwerks Beznau ergänzt: «Für das KKM und KKB sind die aktuellen Erkenntnisse aus der Erarbeitung des Stilllegungsprojektes als Grundlage für die Kostenstudie 2021 zu verwenden.»

Die Vorgabe-Nr. 12 der VK-STENFO wurde nicht vollständig umgesetzt. Zwar wurde für das KKM neben dem Stilllegungsprojekt ebenfalls der Projektstand bis zum Jahr 2020 bei der Kalkulation berücksichtigt, die Stilllegungsvorbereitung des Kernkraftwerks Beznau wurde aber nicht nachvollziehbar berücksichtigt. Das ENSI stellt fest, dass in den eingereichten Unterlagen der Kostenstudie 2021 die Umsetzung des letztgenannten Aspektes nicht einmal erwähnt wird.

Empfehlung 3-4: Für die nächste Aktualisierung der Kostenstudie empfiehlt das ENSI, eine konsequente Fortschreibung der Erfahrungsauswertung aus dem Rückbau des Kernkraftwerks Mühleberg sowie die Einbeziehung der Planungsergebnisse des Stilllegungsprojekts des Kernkraftwerks Beznau zu berücksichtigen. Im Falle des Kernkraftwerks Mühleberg empfiehlt das ENSI eine Gegenüberstellung der geplanten und der tatsächlich ausgeführten Tätigkeiten und tatsächlichen Massenströme. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse sollten bei der Aktualisierung der Stilllegungspläne der Kernkraftwerke und des Zentralen Zwischenlager Würenlingen der Zwilag berücksichtigt werden.

3.3.2 Durchführung des Rückbaus

Angaben der Kostenstudie

Die Reihenfolge der Rückbauarbeiten ist gemäss den Angaben in den Stilllegungsstudien /20-24/ wirtschaftlich optimiert ausgerichtet. Dabei werden die Arbeiten immer so durchgeführt, dass der Schutz der Bevölkerung und der Umgebung sowie des Personals jederzeit gewährleistet ist. Die Einhaltung der Schutzziele wird entsprechend den Anforderungen und dem radiologischen Gefährdungspotenzial gewährleistet. Ebenso wird die Rückwirkungsfreiheit von Rückbauarbeiten auf noch in Betrieb befindliche Anlagenteile sichergestellt.

Die Massnahmen des Rückbaus werden in einem Projektstrukturplan hierarchisch auf verschiedenen Ebenen zusammengestellt. Die Inhalte werden in funktionale Pakete zusammengefasst. Die Projektstrukturpläne in der Kostenstudie 2021 wurden auf Basis eines durch die VK-STENFO freigegebenen Dokuments erstellt.

Der Rückbau ist in einzelne funktionale Pakete unterteilt, die aufgrund bestimmter Rückbaumassnahmen gebildet wurden oder ablauforientiert sind und typischerweise folgende Punkte umfassen:

- Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung;
- Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen für den Rückbau – standortbezogen;
- Vorbereitungs- und Umbaumassnahmen für den Rückbau – blockbezogen;
- Abbau der Komponenten und Einrichtungen;
- Behandlung und Verpackung;
- Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen;
- Rückbaubetrieb;
- Projektleitung Rückbau.

Diese funktionalen Pakete werden zum Teil zeitlich parallel zueinander abgearbeitet. Die zeitliche Abfolge der Arbeitspakete und die Verknüpfung mit Meilensteinen werden in Grobterminplänen in den Stilllegungsstudien dargestellt.

Die Meilensteine, bei deren Erreichen jeweils eine stufenweise Reduktion der Rückbaubetriebskosten unterstellt wird, wurden für die Kostenstudie 2021 gegenüber der Kostenstudie 2016 für die Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt angepasst. Die Meilensteine bei Rückbau des Kernkraftwerks Mühleberg blieben inhaltlich unverändert, wurden aber – wie bei den anderen Kernkraftwerken auch – auf der Zeitachse verschoben. Typischerweise sind die folgenden Meilensteine vorgesehen:

- Erreichen der BE-Freiheit (im Reaktorgebäude) als Startpunkt des Rückbaubetriebs;
- Abschluss der Demontage der Grosskomponenten und des Reaktordruckbehälters;
- Abschluss der Demontage des Biologischen Schilds;
- Abschluss der Restdemontage;
- Abschluss der Auszonung der Anlage;
- Ende des konventionellen Abbruchs.

Für die Anlagen der Zwilag werden die Meilensteine definiert durch die endgültige Einstellung des Betriebs als Startpunkt der Zuordnung der Rückbaubetriebskosten zur Stilllegung, die Auszonung der Anlage und das Ende des konventionellen Abbruchs.

Beurteilung des ENSI

Ausgehend von dem dargestellten Detaillierungsgrad des Inhalts der funktionalen Pakete kommt das ENSI zum Schluss, dass in den Stilllegungsstudien alle sicherheitstechnisch notwendigen Tätigkeiten berücksichtigt wurden, die für den Rückbau der beschriebenen Anlagen erforderlich sind. Die vorgesehene Reihenfolge der Stilllegungstätigkeiten ist aus sicherheitstechnischer Sicht geeignet, die Einhaltung der Schutzziele zu gewährleisten und die Rückwirkungsfreiheit auf sicherheitstechnisch bedeutende und auch auf rein betrieblich benötigte Restbetriebssysteme sicherzustellen. Rein technisch bedingte Abhängigkeiten, die ausgehend von der räumlichen Zugänglichkeit oder aus radiologischen Gründen zwangsläufig eine bestimmte Reihenfolge der Stilllegungstätigkeiten erfordern, sind berücksichtigt.

Auf dem Detaillierungsgrad des Projektplans und der textlichen Darstellungen in den Stilllegungsstudien sind die Stilllegungstätigkeiten zumeist in einer Reihenfolge geplant, in der später erforderliche Tätigkeiten nicht durch vorlaufende durchgeführte Tätigkeiten erschwert oder verhindert werden. Vereinzelt kann das ENSI angegebene Abbaureihenfolgen nicht nachvollziehen. Anpassungen der Reihenfolge könnten aber jeweils ohne Auswirkungen auf andere funktionale Pakete bzw. den Gesamtablauf vorgenommen werden.

Die vorgesehenen Meilensteine bilden eindeutig feststellbare Anlagenzustände ab. Sie sind aus Sicht des ENSI sinnvoll gewählt, da mit Erreichen dieser Anlagenzustände jeweils eine Herabstufung bestimmter sicherheitstechnischer Anforderungen an die stillgelegte Anlage möglich ist.

Bestimmend für den Beginn der Arbeiten auf dem kritischen Pfad sind die Zeitpunkte der EABN und des Abschlusses der In-situ-Dekontamination. Der unterstellte Zeitpunkt der EABN ist aber weder in den Stilllegungsstudien noch in den Projektplänen explizit ausgewiesen. Ausgehend von den Erfahrungen beim KKW Mühleberg ist ein Zeitraum von rund einem halben Jahr zwischen EELB und EABN realistisch. Der veranschlagte Zeitraum zwischen EELB und dem erwarteten Abschluss der In-situ-Dekontamination ist in den Stilllegungsplänen realistisch angegeben. Als terminkritisch könnte sich jeweils der Aufbau der Infrastruktur der Reststoffbehandlung erweisen.

Empfehlung 3-5: Da sowohl das Vorgehen und der Aufwand bei der Demontage und Entsorgung als auch die Gestaltung der Reststoffbehandlung am Standort der Anlage von dem Umgang mit allenfalls bereits im Leistungsbetrieb ausgebauten und mit den bei der Stilllegung anfallenden Grosskomponenten abhängt, empfiehlt das ENSI, für eine nachvollziehbare Darstellung bei der nächsten Aktualisierung der Kostenstudie explizite Angaben zur vorgesehenen Vorgehensweise bei der Demontage und Entsorgung der Grosskomponenten zu ergänzen.

Als letzte hier zu betrachtende Kernanlage der Schweiz wird das Zentrale Zwischenlager in Würenlingen stillgelegt. Gemäss Planung erfolgt die Einstellung des Betriebs im Jahr 2071. Als letztes Gebäude des ZZL wird das Gebäude K stillgelegt. Das ENSI geht davon aus, dass damit die Möglichkeit zur Konditionierung der Stilllegungsabfälle des ZZL der Zwilag am Standort möglichst lange aufrechterhalten werden soll. Die Hintergründe für diese Planung gehen aus der Stilllegungsstudie aber nicht hervor. Auch ist aus der Stilllegungsstudie nicht ersichtlich, ob radioaktive Stoffe aus der Stilllegung des ZZL der Zwilag an externe Dienstleister zur Weiterbehandlung abgegeben werden können.

Empfehlung 3-6: Im Rahmen der nächsten Aktualisierung der Kostenstudie sollte darauf eingegangen werden, in welchen Bereichen des ZZL und unter Nutzung von welchen bestehenden Einrichtungen die Behandlung der beim Abbau des ZZL anfallenden radioaktiven Reststoffe und Abfälle geplant ist.

3.3.3 Arbeitsumfänge

Angaben der Kostenstudie

In den Stilllegungsstudien wird der Umfang der betrachteten Stilllegung der KKW und der Anlagen der Zwilag definiert und inhaltlich von der z. T. gleichzeitig verlaufenden Nachbetriebsphase abgegrenzt. Die Stilllegung umfasst demnach das Erstellen und Einreichen der Unterlagen zum Stilllegungsprojekt und das Erwirken der Stilllegungsverfügung, den Rückbau aller Einrichtungen und das Entfernen der Radioaktivität vom Standort

bis zur Entlassung aus der Kernenergiegesetzgebung (Stilllegungsziel 1) sowie den konventionellen Abriss der verbliebenen, inaktiven Anlagenteile, einmal nur bis -2 m ab Oberkante Terrain (Stilllegungsziel 2), einmal die vollständige Entfernung sämtlicher Fundamente (Stilllegungsziel 3). Des Weiteren ist auch der Rückbau der an den Standorten befindlichen Zwischenlager Beznau (Zwibez) und des Nasslagers Gösgen in den jeweiligen Stilllegungsstudien enthalten. Während des Rückbaus werden die in Tabelle 3-2 aufgeführten Gesamtmassen in der kontrollierten Zone demontiert.

Tabelle 3-2: Gesamtmassen der zu demontierenden Komponenten in der kontrollierten Zone. (aus /6/, Tabellen 5, 6, 7, 8 und 10)

	Masse [Mg]
KKW Mühleberg	12’453
KKW Beznau	13’732
KKW Gösgen	12’163
KKW Leibstadt	26’477
Anlagen der Zwilag	8’316

Die Demontagetätigkeiten enden für das Stilllegungsziel 3 in den Stilllegungsstudien mit dem vollständigen Rückbau der Anlage, inkl. Entfernung sämtlicher Fundamente. Beim Stilllegungsziel 2 erfolgt ein nur unvollständiger Abbruch der Fundamente und das Stillegungsziel 1 schliesslich ist mit der Entlassung der Gebäude aus der Kernenergiegesetzgebung ohne konventionellen Abriss der Gebäude erreicht. Falls nur das Stilllegungsziel 1 zu erreichen wäre, ergäbe sich gegenüber dem Stilllegungsziel 3 ein Zeitgewinn von 3,25 Jahren für das KKM, 3,5 Jahren für das KKB, 3,5 Jahren für das KKG inkl. Nasslager, 4 Jahren für das KKL und 2 Jahren für die Anlagen der Zwilag. Die entsprechenden Unterschiede des resultierenden Personalaufwands sind in Tabelle 3-3 dargestellt.

In der Tabelle 3-3 wird zwischen den in den Stilllegungsstudien verwendeten Stilllegungszielen unterschieden: Stilllegungsziel 1: Entlassung aus KEG («Braune Wiese»), Stilllegungsziel 2: Entlassung aus KEG und Gebäudeabbruch bis -2 m ab Oberkante Terrain, Stilllegungsziel 3: Entlassung aus KEG und Abbruch sämtlicher Fundamente («Grüne Wiese»).

Tabelle 3-3: Personalaufwand und Kollektivdosis für die Stilllegung der Kernkraftwerke und des ZZL (aus /6/)

	Stilllegungsziel					
	1		**2**		**3**	
	Personal-aufwand	**Kollektiv-dosis**	**Personal-aufwand**	**Kollektiv-dosis**	**Personal-aufwand**	**Kollektiv-dosis**
	[Personen-Jahre]	[Pers.-Sv]	[Personen-Jahre]	[Pers.-Sv]	[Personen-Jahre]	[Pers.-Sv]
KKM	1'227	7.0	1'295	7.0	1'327	7.0
KKB inkl. Zwibez	2'256	11.0	2'401	11.0	2'463	11.0
KKG	2'180	9.8	2'354	9.8	2'411	9.8
KKL	2'696	15.7	2'966	15.7	3'020	15.7
ZZL	399	0.2	490	0.23	511	0.2

In den funktionalen Paketen werden, bis auf das funktionale Paket «Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen», Angaben zum Personalaufwand in Personenjahren ausgewiesen. Der Abschluss des Abbaus bestimmter Komponenten und Einrichtungen definiert das Erreichen von Meilensteinen, die Auswirkungen auf die Kosten des verbleibenden Rückbaubetriebes haben.

Als Eingangsparameter zur Ermittlung des Arbeitsaufwandes (siehe Tabelle 3-3) bei den Demontagen bzw. bei der Behandlung der Gebäudeoberflächen werden spezifische Demontageleistungen, z. B. Personenstunden/kg, herangezogen. Diese spezifischen Faktoren sind nicht in den Stilllegungsstudien aufgeführt. Das ENSI erhielt Einsicht in Unterlagen, welche für die funktionalen Pakete, teilweise auch für nachgeordnete funktionale Pakete den Personalaufwand in Personenjahren mit einem höheren Detaillierungsgrad ausweisen.

Beurteilung des ENSI

In den Planungen für den Rückbau der Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt erfolgte mit der Kostenstudie 2021 erstmals eine Parallelisierung von Abbauarbeiten innerhalb der Anlage mit dem fortdauernden Technischen Nachbetrieb, wie sie für das KKM bereits in der Kostenstudie 2016 angenommen wurde. Hierdurch ergeben sich, je nach den konkreten Gegebenheiten der Kernanlage und jeweils bezogen auf den Zeitpunkt der EELB, berechtigte Verkürzungen der Stilllegungsdauern von mehreren Jahren. Das ENSI hält diese Planung unter Erfüllung der sicherheitstechnischen Anforderungen für realisierbar, auch wenn sich stellenweise logistische Herausforderungen abzeichnen.

Zusätzlich wurde mit der Kostenstudie 2021 für die Stilllegungsplanung der Kernkraftwerke eine Straffung der terminlichen Abläufe durch weitere Parallelisierung von Abbauarbeiten untereinander vorgenommen. Diese weitere Parallelisierung ist jeweils aus sicherheitstechnischer Sicht zulässig, führt jedoch aufgrund des Entfalls von bislang in der Planung enthaltenen zeitlichen Reserven zu einer stärkeren Anfälligkeit des Gesamtablaufs der Stilllegung bei Verzögerungen in einzelnen Teilaufgaben. Das ENSI hat aber keine Anhaltspunkte dafür, dass der eingeplante Zeitbedarf bei einem störungsfreien Ablauf der Stilllegungstätigkeiten zu niedrig angesetzt wäre.

Für das ZZL wurden mit der Kostenstudie keine erheblichen Änderungen der Stilllegungsplanung im Vergleich zur Kostenstudie 2016 vorgenommen. Das ENSI hat keine Anhaltspunkte dafür, dass sich diese Planung nicht in dem abgeschätzten zeitlichen Rahmen umsetzen lässt.

Der abgeschätzte Gesamtpersonalaufwand für die Stilllegung der Kernkraftwerke liegt auch nach der vorgenommenen Anpassung für die Kostenstudie 2021 im unteren Bereich dessen, was das ENSI im Vergleich zu anderen Rückbauprojekten erwarten würde.

In einzelnen funktionalen (Teil-)Paketen hält das ENSI den abgeschätzten Personalaufwand für unplausibel niedrig, resp. für so stark optimiert, dass kaum mehr Reserven vorhanden sind. Der abgeschätzte Personalaufwand für den Rückbau des ZZL der Zwilag ist aus Sicht des ENSI realistisch. Die Bedenken des ENSI werden aber durch eine Erhöhung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Ausführungsschwierigkeiten und weiteren Verzögerungen im Chancen- und Gefahrenkatalog Stilllegung /17/ berücksichtigt.

Die abgeschätzten Werte der Kollektivdosis für die Stilllegung der Kernkraftwerke beurteilt das ENSI als konservativ und stellenweise für unrealistisch hoch. Der abgeschätzte Wert der Kollektivdosis für die Stilllegung des ZZL der Zwilag hält das ENSI für plausibel. Aus den Werten der Kollektivdosis lassen sich keine Hinweise ableiten, dass der Stilllegungsplanung eine hinsichtlich des betrieblichen Strahlenschutzes unzureichende Vorgehensweise zu Grunde gelegt wurde.

Empfehlung 3-7: Im Rahmen der nächsten Aktualisierung der Kostenstudie empfiehlt das ENSI, die Personalplanung konservativer abzuschätzen und Verzögerungen, resp. erhöhte Aufwände bei der Ausführung von Arbeiten stärker zu gewichten; gleichzeitig empfiehlt das ENSI, die mit der Personalplanung verbundene Abschätzung der Kollektivdosis anhand internationaler Erfahrungen zu überprüfen und die Vorgehensweisen beim betrieblichen Strahlenschutz zu optimieren.

3.4 Bewertung der gewählten Zerlege- und Dekontaminationsverfahren

Angaben der Kostenstudie

In den Stilllegungsstudien /20-24/ werden Techniken vorgestellt, mit deren Hilfe die für den Abbau erforderlichen Zerlege- und Dekontaminationsaufgaben sowie die Behandlung von Materialien und Abfällen durchgeführt werden sollen. Bezüglich der Kostenabschätzung wird von der swissnuclear jeweils für den Abbau der Kernkraftwerke und des Zentralen Zwischenlagers Würenlingen zu Grunde gelegt, dass gängige mechanische und thermische Trennverfahren sowie gängige Dekontaminationsverfahren zum Einsatz kommen, die bereits in anderen Rückbauprojekten Verwendung gefunden und sich dort bewährt haben.

Die Auswahl des Trennverfahrens erfolgt abhängig von den Materialeigenschaften und den radiologischen Bedingungen der rückzubauenden Anlagenteile. Je nach den radiologischen Randbedingungen sind sowohl ein manueller Einsatz dieser Trennverfahren vor Ort als auch ein fernbedienter Einsatz vorgesehen – allenfalls auch unter Wasser.

Mechanische Trennverfahren können generell für alle metallischen und mineralischen Anlagenteile zum Einsatz kommen, wobei mit grösser werdenden Materialdicken die mechanische Beanspruchung der Abbaugerätschaften zunimmt. Es wird unterstellt, dass diese Verfahren in der Regel wenige Aerosole erzeugen, anfallende Partikel wie Späne und Stäube leicht mittels Filter aufgefangen werden können und ein fernbedienter Einsatz möglich ist. Bei der Auswahl des Trennverfahrens werden die Kriterien Geschwindigkeit, Bedienung, Schneidfuge und Anfall von Sekundärabfall herangezogen. Funktionsweise und geeignete Einsatzbereiche werden für die gängigsten mechanischen Trennverfahren kurz beschrieben.

Thermische Trennverfahren können primär für metallische Anlagenteile eingesetzt werden. Auf Grund der geringen Rückstellkräfte wird eine einfache Fernbedienbarkeit unterstellt. Beim Einsatz dieser Trennverfahren kommt es zu einer hohen Aerosolfreisetzung. Die Aerosole sollen durch geeignete Absaug- und Filtereinrichtungen aufgefangen werden. Für die thermischen Trennverfahren autogenes Brennschneiden und Plasmaschmelzschneiden werden die Funktion und der Einsatzbereich kurz beschrieben.

Eine Dekontamination von Anlagenteilen vor und während der Abbautätigkeiten erfolgt mit dem Ziel, die Strahlenexposition für das Personal zu reduzieren und den radioaktiven Abfall zu minimieren. Es werden sowohl

der Einsatz von mechanischen als auch von chemischen Dekontaminationsverfahren sowie die Dekontamination durch Einschmelzen in einer externen Anlage vorgesehen. Bei der Auswahl des Dekontaminationsverfahrens werden die Kriterien Materialeigenschaften, Aufwand und Dauer bis zum Erreichen des angestrebten Resultats, Entstehung von Sekundärabfall, Kontaminationsverschleppung sowie Strahlenexposition des Personals herangezogen.

In den folgenden Bereichen sehen die Stilllegungsstudien die Anwendung einer Dekontamination vor:

- Chemische Systemdekontamination (Ausnahme: KKM);
- begleitende Dekontamination während der Rückbautätigkeiten;
- Dekontamination der ausgebauten Komponenten;
- Dekontamination der Gebäudestrukturen;
- Dekontamination der Werkzeuge und der Ausrüstung;
- Dekontamination der Transportausrüstung und der Transportbehälter.

Bei den mechanischen Dekontaminationsverfahren wird zwischen Verfahren mit bzw. ohne Oberflächenabtrag unterschieden. Für die mechanischen Dekontaminationsverfahren Nassdekontamination als oberflächenreinigendes Verfahren sowie Strahlverfahren mit abrasiven Medien und Fräsen als oberflächenabtragendes Dekontaminationsverfahren werden die Funktion und der Einsatzbereich beschrieben. Weitere oberflächenreinigende Verfahren, wie das Bürsten und Wischen, sowie weitere oberflächenabtragende Verfahren, wie das Nadeln, Schleifen und Meisseln, werden in den Stilllegungsstudien aufgelistet. Darüber hinaus wird die Dekontaminationsmethode durch Fräsen vorgestellt, die häufig für Gebäude- oder Stahloberflächen eingesetzt wird.

Mit Ausnahme für das Kernkraftwerk Mühleberg werden chemische Dekontaminationsverfahren mit Dekontaminationsflüssigkeiten auf der Basis von z. B. Wasser, Dampf und verdünnten Reinigungsmitteln oder Säuren dargestellt.

Eine chemische Dekontamination mit Säuren wurde in der vorgelegten Stilllegungsstudie nicht berücksichtigt, da hierbei in der Regel sehr aufwändige Massnahmen zur Entsorgung der anfallenden radioaktiven Sekundärabfälle erforderlich sind.

Eine chemische Spülung der rohrgebundenen Kreisläufe mit verdünnter Säure soll zur Dekontamination und Dosisleistungsreduktion z. B. für den Primärkreislauf durchgeführt werden. Hierbei wird die Dekontaminationsflüssigkeit im Kreislauf gefahren und die gelösten radioaktiven Stoffe kontinuierlich an Ionenaustauschern abgeschieden. Hierbei soll eine Reduzierung der Aktivität um den Faktor 100 bis 1000 erreicht werden, ohne dass sich in den Nuklidvektoren das Verhältnis von α- zu γ-Strahlern wesentlich verändert.

Beim Dekontaminieren durch Einschmelzen sammelt sich die Aktivität in der Schlacke, den Stäuben und der Ausmauerung des Schmelzofens, die später als radioaktive Abfälle entsorgt werden müssen. Sofern die in dem Gussblock verbleibende Aktivität niedrig ist, kann entweder direkt oder nach Abklinglagerung eine Freigabe des Gussblocks erfolgen.

Beurteilung des ENSI

Das ENSI hat die in den Stilllegungsstudien /20-24/ aufgeführten Zerlege- und Dekontaminationsverfahren dahingehend geprüft, ob mit diesen Verfahren ein geordneter Rückbau erfolgen kann und die genannten Verfahren betriebsbewährt sind. Dabei wurden Erfahrungen aus internationalen Rückbauprojekten berücksichtigt.

In den Stilllegungsstudien werden die typischen im Rahmen des Abbaus von kerntechnischen Anlagenteilen zum Einsatz kommenden mechanischen Trennverfahren, wie z. B. das Zerteilen mit Nibblern und Scheren, das Spanen mit Sägen, Fräsen und Schleifern, das Strahlspanen mit Wasserabrasivstrahlschneiden sowie das autogene Brennschneiden und das Plasmaschmelzschneiden als thermische Trennverfahren dargestellt.

Bei den genannten Verfahren handelt es sich um erprobte und in anderen Rückbauprojekten bewährte Trennverfahren. Die aufgeführten Trennverfahren sind vom Grundsatz für einen fernbedienten Einsatz geeignet. Bis auf das autogene Brennschneiden können diese Verfahren auch unter Wasser eingesetzt werden.

Neben den in den Stilllegungsstudien genannten Verfahren werden beim Abbau von Anlagenteilen üblicherweise noch andere Trennverfahren angewendet, wie z. B. das Abtrennen von Rohrleitungen mittels Abkreisgeräten mit einem Fräskopf oder mittels Abdrehvorrichtungen mit einem Drehmeissel. Hierbei handelt es sich um Trennverfahren, die hinsichtlich ihrer Funktion und ihres Einsatzbereiches vergleichbar mit den in den Stilllegungsstudien genannten Trennverfahren sind. Ein sehr häufig in der Praxis angewandtes Verfahren zum Trennen von Anlagenteilen ist das Zerlegen. Hierunter werden z. B. das Auseinandernehmen oder das Lösen von kraftschlüssigen Verbindungen verstanden. Dabei handelt es sich um übliche Demontagearbeiten, die in der laufenden Anlage im Rahmen der Wartung und Instandhaltung durchgeführt werden. Aus der nicht abschliessenden Auflistung der Trennverfahren ergeben sich nach Beurteilung des ENSI keine neuen Aspekte, die einen Einfluss auf die Aufwandsabschätzung der Stilllegungsstudien haben.

Für die Auswahl der für den Abbau von Anlagenteilen zum Einsatz kommenden Trennverfahren werden aus Sicht des ENSI die entscheidenden Kriterien, wie die technologische Eignung (Werkstoff, Bauteilgeometrie, Zugänglichkeit), die Schneidgeschwindigkeit, die Freisetzung von Schnittmaterial (Späne, Aerosole), der Anfall von Sekundärabfall sowie die radiologischen Randbedingungen in den Stilllegungsstudien genannt. Auch die Randbedingungen für deren Anwendung werden hinreichend dargelegt.

Es ist vorgesehen, handelsübliche und im Abbau von kerntechnischen Anlagen erprobte Werkzeuge und Geräte einzusetzen. Für den Abbau von aktivierten Anlagenteilen müssen diese Einrichtungen für den fernbedienten Einsatz zum Teil auch unter Wasser an die zu zerlegende Komponente angepasst werden. Hierfür kann allenfalls der Einsatz von speziellen Abbaugerätschaften, wie z. B. Manipulatoren, erforderlich werden. Eine Betriebsbewährung kann für solche speziellen Abbaugerätschaften nicht ohne weiteres vorausgesetzt werden. Sollten neue spezielle Abbaugerätschaften zum Einsatz kommen, ist es erforderlich, deren Eignung vorgängig nachzuweisen. Diese Vorgehensweise hat einen höheren Aufwand zur Folge, z. B. durch die Errichtung von Mock-Ups sowie durch erhöhten Anpassungs- und Optimierungsbedarf der Abbaugerätschaft an die vor Ort herrschenden Bedingungen. Den daraus resultierenden zusätzlichen Aufwand für die Qualifizierung von speziellen Abbaugerätschaften beurteilt das ENSI jedoch als nicht so hoch, als dass er in der Abschätzung der Vorbereitungsmassnahmen gesondert berücksichtigt werden muss.

In den Stilllegungsstudien werden die üblichen für den Abbau von kerntechnischen Anlagen zum Einsatz kommenden oberflächenreinigenden sowie oberflächenabtragenden Verfahren genannt. Hierbei handelt es sich um betriebsbewährte Dekontaminationsverfahren, durch deren Anwendung eine deutliche Reduzierung der Strahlenexposition für das Personal sowie eine Reduzierung des radioaktiven Abfalls erreicht werden kann.

In den Stilllegungsstudien sind die aus Sicht des ENSI für die Auswahl der zum Einsatz kommenden Dekontaminationsverfahren entscheidenden Kriterien, wie Werkstoffeigenschaften, Bauteilgeometrie, Zugänglichkeit, Aufwand bis zum Erreichen des Ziels der Dekontaminationsmassnahme (Entsorgungsziel), Anfall von Sekundärabfall und radiologische Randbedingungen, wie Kontaminationsverschleppung und Strahlenexposition des Personals, zutreffend und vollständig aufgeführt. Auch kann das ENSI bestätigen, dass durch eine chemische Dekontamination von kontaminierten Systemen eine Reduzierung der Dosisleistung um den Faktor 100 bis 1000 an den durchströmten Systemkomponenten durchaus realistisch ist.

Die Dekontamination durch Einschmelzen stellt ein bewährtes Verfahren dar, um die Menge an radioaktivem Abfall zu reduzieren. Beim Einschmelzen wird beispielsweise ein hoher Abscheidungsgrad von durch Kontamination eingetragenen α-Strahlern erreicht. Für Elemente der Eisengruppe hingegen ist der Abscheidungsgrad gering. Die abgeschiedenen Nuklide sammeln sich in der Schlacke, dem Abgas und in der Auskleidung der Schmelzöfen und werden als radioaktiver Abfall an den Abfallverursacher zurückgesandt.

Sofern die Befreiungsgrenzen für die Gussblöcke geringfügig überschritten werden, besteht die Möglichkeit, diese nach einer Abklinglagerung von einigen Jahren freizugeben.

Zusammenfassend hält das ENSI die vorgestellten Zerlege- und Dekontaminationsverfahren zum Abbau der aktivierten und kontaminierten Anlagenteile im Hinblick auf die handhabungs- und strahlenschutztechnischen Aspekte für geeignet. Durch eine geeignete Wahl der dargestellten Zerlege- und Dekontaminationstechniken können die Belange des Strahlenschutzes und der Entsorgung ausreichend berücksichtigt werden.

3.5 Bewertung der Materialströme und Stilllegungsabfälle und deren Behandlung (Abfallpfade, Konditionierung, Freimessung, Abklinglagerung)

3.5.1 Abfallpfade und Konditionierung

Angaben der Kostenstudie

Die bei der Stilllegung der Kernkraftwerke und des Zentralen Zwischenlagers Würenlingen anfallenden Materialien müssen gemäss den bestehenden Regeln und Vorschriften entsorgt werden. Dabei wird in den Stilllegungsstudien zwischen nicht radioaktiven und radioaktiven Materialien unterschieden. Damit, wie in Art. 25 Abs. 2 StSG verlangt, möglichst wenig radioaktive Abfälle entstehen, werden radioaktive und nicht radioaktive Materialien getrennt behandelt.

Ziel der Materialbehandlung ist die Reduzierung der Menge an radioaktiven Abfällen und das Vermeiden des Anfalls von zusätzlichen radioaktiven Materialien (sog. Sekundärabfällen). Als Entsorgungsziele werden vorrangig die Befreiung, ggf. nach einer Abklinglagerung und auch die Rezyklierung (nur für die Kernkraftwerke) angestrebt. Deponierung nach Art. 114 StSV /25/ und Verwertung nach Art. 115 StSV sind ebenfalls möglich. Wenn die vorgenannten Entsorgungsziele nicht erreicht werden können erfolgt die geologische Tiefenlagerung.

Die Demontagearbeiten und die nachfolgende Materialbehandlung sollen zeitlich und räumlich entkoppelt erfolgen. Für die hierfür erforderliche Pufferlagerung sind entsprechende Lagerflächen vorgesehen.

Das physikalische Inventar des Kernkraftwerks Mühleberg und des ZZL ist aufgegliedert nach Gebäude und Komponententyp, bei den Kernkraftwerken Beznau, Gösgen und Leibstadt zusätzlich noch nach verschiedenen Kontaminationsklassen. Tabelle 3-4 gibt einen Überblick über die Massen in den kontrollierten Zonen im Vergleich zur Gesamtmasse.

Tabelle 3-4: Abschätzung relevanter Massen der stillzulegenden Kernkraftwerke und des ZZL für das Stilllegungsziel 3 (aus /6/)

	Gesamtmasse [Mg]	Masse kontr. Zone [Mg]	Geol. Tiefenlager [Mg]
KKW Mühleberg	202’929	130’987	2’812
KKW Beznau inkl. Zwibez	481’748	243’696	3’578
KKW Gösgen inkl. Nasslager	587’143	240’871	3’296
KKW Leibstadt	750’390	428’775	6’126
Anlagen der Zwilag	221’445	206’528	534

Das Materialbehandlungskonzept unterscheidet hinsichtlich der Festlegung der Behandlungsmöglichkeiten und des Entsorgungsziels nach Masse bzw. Grösse, radiologischen Daten und Komponententyp bzw. Materialart. Folgende Massnahmen und Behandlungsverfahren werden berücksichtigt:

- Sortieren (weitgehend bereits am Demontageplatz);
- Orientierungsmessungen (zum Festlegen der weiteren Behandlungsschritte);
- Nachzerlegen (mechanisch und thermisch);
- Nassdekontamination mit einem Hochdruck-Wasserstrahlverfahren;
- Mechanische Dekontamination mit einem Stahlkies-Strahlverfahren (nur für Kernkraftwerke);
- Chemische Dekontamination (nur für die Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt in geringem Umfang vorgesehen);
- Schmelzen (externe Dienstleistung, nur für Kernkraftwerke);
- Behandeln in der Plasma-Anlage der Zwilag (externe Dienstleistung, nur für Kernkraftwerke);
- Hochdruck-Pressen zur Volumenreduktion der radioaktiven Abfälle (Ausnahme: KKM);
- Kabel-Shreddern (Trennen von Isolation und metallischen Anteilen, z. B. Kupfer);
- Verpacken in Behälter und Vergiessen der Hohlräume;
- Abklinglagerung im Hinblick auf eine Befreiung;
- Freimessen und Befreiung.

Eine Abgabe an eine Deponie gemäss Art. 114 StSV ist im Materialbehandlungskonzept der Stilllegungsstudien derzeit nicht aufgeführt.

Die aktivierten Materialien der Kernkraftwerke sollen in Blöcke, resp. Segmente geschnitten werden und ohne weitere Behandlung entweder dem geologischen Tiefenlager oder einer Abklinglagerung für die spätere Befreiung zugeführt werden. Schwach aktivierte metallische Materialien können auch extern eingeschmolzen werden.

Die kontaminierten Komponenten sollen mit zunehmender Komponentengrösse aufwändigeren Behandlungen wie Nachzerlegung und Dekontamination zugeführt werden; für kleine Komponenten wird dies überwiegend als nicht sinnvoll angesehen, sie werden für die Kernkraftwerke bei Eignung lediglich dem Schmelzen zugeführt.

Die Aufteilung der zu behandelnden Materialien auf die einzelnen Behandlungsverfahren wird mittels sogenannter Verteilungsfaktoren beschrieben. Diese geben an, zu welchem Prozentsatz ein Material oder eine Komponente welche Behandlungsverfahren mit welchem Entsorgungsziel durchläuft. Für die Lucens-Abfälle im ZZL ist keine Behandlung vorgesehen.

Für die Verpackung der anfallenden radioaktiven Abfälle sind folgende Behältertypen vorgesehen:

- Presskartuschen (180 l, Ausnahme: KKM);
- 200-Liter-Fässer;
- Mosaik-Behälter Typ II (nur Kernkraftwerke);
- Lagercontainer LC-84 und LC-86.

Die Berechnung der erforderlichen Anzahl an Behältern für die Verpackung der radioaktiven Abfälle wird anhand von Verpackungsfaktoren, d. h. Masse an Abfall (differenziert nach Abfallart) je Behältertyp, durchgeführt. Der radioaktive Abfall, der bei der Gebäudedekontamination in Form von Betongranulat und -staub anfällt, wird gemäss den Stilllegungsstudien zur Hohlraumverfüllung der beladenen Lagerbehälter LC-84 verwendet. Dadurch entstehen gemäss swissnuclear keine zusätzlichen Container für das abgetragene Material

aus der Gebäudedekontamination. Mit Ausnahme bei den Mosaik-Behältern werden die Hohlräume zwischen Abfall und Behälter generell mit Füllmaterial (z. B. Zement) verfüllt.

Beurteilung des ENSI

Die potentiell radioaktiven Materialien aus den kontrollierten Zonen sollen zu einem grossen Teil direkt, nach Dekontamination oder nach Abklinglagerung befreit werden. Die heute zur Verfügung stehenden Dekontaminationstechniken erlauben es, kontaminierte Metallstrukturen so zu reinigen, dass ein Grossteil befreit werden kann und vertretbare Massen an Sekundärabfällen anfallen. Auch durch das Einschmelzen in einem Schmelzbetrieb lassen sich weitere Anteile der metallischen Rückbaumassen dekontaminieren und der Befreiung zuführen. Die Dekontamination von Betonstrukturen, in die Aktivität eingedrungen ist, erfolgt durch Materialabtrag von der Oberfläche. Daher hängt die Masse des dabei entstehenden radioaktiven Abfalls entscheidend von der Menge der eingedrungenen Aktivität und der Eindringtiefe ab. Konkrete Aussagen hierzu können ohne Kenntnis von vorliegenden Messwerten nicht getroffen werden. Gering aktivierte Metallstrukturen sollen allenfalls dem Schmelzen und anschliessend nach Abklinglagerung der Befreiung zugeführt werden. Durch Schmelzen kann nur der Kontaminationsanteil nennenswert reduziert werden.

Die im Materialbehandlungskonzept vorgesehene Vorgehensweise, möglichst direkt am Demontageort eine Vorsortierung vorzunehmen und nach Orientierungsmessungen die weiteren Behandlungsschritte einschliesslich der Option «Befreiung» festzulegen, erfüllt die Vorgabe von Art. 25 Abs. 2 StSG, dass mit radioaktiven Stoffen so umzugehen ist, dass möglichst wenig radioaktive Abfälle entstehen.

Als weiteres Entsorgungsziel kommt noch eine Deponierung nach Art. 114 StSV in Betracht; die Ergebnisse der Orientierungsmessungen können ggf. für die Nachweisführung zur Erwirkung einer entsprechenden Zustimmung der Bewilligungsbehörde verwendet werden. Dies kann im Rahmen der Konkretisierung der Stilllegungsplanung berücksichtigt werden.

Empfehlung 3-8: Für die nächste Aktualisierung der Kostenstudie empfiehlt das ENSI neben der geologischen Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle und der Befreiung als weiteres Entsorgungsziel noch eine Deponierung nach Art. 114 StSV; die Ergebnisse der Orientierungsmessungen können allenfalls für die Nachweisführung zur Erwirkung einer entsprechenden Zustimmung der Bewilligungsbehörde verwendet werden. Dies kann im Rahmen der Konkretisierung der Stilllegungsplanung berücksichtigt werden.

Die übergeordnete Regelung, kleine Komponenten nicht zu dekontaminieren, sondern entweder direkt der Freigabe, ggf. dem Schmelzen oder direkt dem radioaktiven Abfall zuzuführen, ist sowohl aus wirtschaftlichen Gründen als auch aufgrund des schlechteren Verhältnisses von potentiell befreibaren Massen zu anfallenden Sekundärabfallmassen sachgerecht; eine relevante Reduzierung der entstehenden radioaktiven Abfälle wäre bei einer abweichenden Vorgehensweise nicht zu erwarten.

Empfehlung 3-9: Für die nächste Aktualisierung der Kostenstudie empfiehlt das ENSI, eine Darstellung zur Art und Kapazität der geplanten Einrichtungen für die Reststoff- und Abfallbehandlung am Standort der Anlagen sowie zum vorgesehenen Umfang der Nutzung externer Dienstleister bei der Behandlung und Entsorgung aufzunehmen.

Die aufgeführten Konditionierungsverfahren für die Behandlung der anfallenden radioaktiven Abfälle entsprechen dem Stand der Technik und wurden bereits erfolgreich bei anderen Stilllegungsprojekten eingesetzt. Durch die allenfalls kombinierte Anwendung dieser Verfahren können aus den Rückbauabfällen der hier betrachteten Kernanlagen chemisch stabile Abfallprodukte erzeugt werden. Bei der Stilllegung des Kernkraftwerks Mühleberg soll im Gegensatz zu den vorangegangenen Stilllegungsstudien auf das Hochdruck-Pressen verzichtet werden.

Die Aufteilung der zu behandelnden Materialien, insbesondere der kontaminierten Materialien, auf die einzelnen Behandlungsverfahren anhand sogenannter Verteilungsfaktoren wurde komponentenspezifisch unter Berücksichtigung der Aspekte «Material», «Radiologische Kategorie» und «Geometrie» vorgenommen. Diese pauschale Vorgehensweise ist zum Zweck der Abschätzung im Rahmen von Stilllegungsstudien sachgerecht.

Die angegebenen Verpackungsfaktoren beurteilt das ENSI als realistisch und hält sie für eine Abschätzung der Behälteranzahl für die geologische Tiefenlagerung im Rahmen von Stilllegungsstudien als geeignet.

Es ist vorgesehen, dass der Beton, der als Abtrag bei der Gebäudedekontamination anfällt, in die Hohlräume von bereits mit Anlagenteilen beladenen Lagerbehältern gefüllt wird; hierfür ist kein Verpackungsfaktor angegeben. Da der Betonabtrag aus der Gebäudedekontamination erst zu einem deutlich späteren Zeitpunkt anfällt als die zu verpackenden Anlagenteile, ist hier mit einem logistischen Mehraufwand (zusätzliche Transporte, mehr Pufferflächen) zu rechnen.

Empfehlung 3-10: Das ENSI empfiehlt, bei der nächsten Aktualisierung der Kostenstudie den zusätzlichen Aufwand bei einer späteren Verfüllung der Lagercontainer mit Betonabtrag zu präzisieren. Alternativ kann der Betonabtrag in separate Behälter verpackt werden und dies in den Stilllegungsstudien berücksichtigt werden.

3.5.2 Freimessung und Abklinglagerung

Angaben der Kostenstudie

Bei der Stilllegung und dem Abbau der Kernkraftwerke sowie dem ZZL fallen radioaktive Abfälle an, zugleich ist auch die Befreiung von Materialien von der Bewilligungspflicht und der Aufsicht gemäss StSV durch eine Freimessung vorgesehen. In den anlagenspezifischen Stilllegungsstudien wird das vorgesehene Vorgehen zum Freimessen und zur Befreiung beschrieben.

Als weiterer Entsorgungspfad steht gemäss den Stilllegungsstudien das Einschmelzen aktivierter oder kontaminierter Materialien zur Verfügung. Giesslinge mit einer relativ niedrigen Aktivität und kurzen Halbwertszeiten können der Abklinglagerung und einer daran anschliessenden Freigabe zugeführt werden.

Tabelle 3-5: Verteilung der Massen auf die Entsorgungspfade (aus /6/)

	KKM	KKB	KKG	KKL	ZZL
Befreiung ca. [Mg]	129’209	241’614	238’969	424’401	206’009
– **Einschmelzen als Teil der Befreiung ca. [Mg]**	871	2’072	547	715	-
– **Abklinglagerung aktivierter Stahl und Beton als Teil der Befreiung ca. [Mg]**	1’801	1’521	817	8’150	-
Radioaktiver Abfall ca. [Mg]	2’812	3’578	3’296	6’126	534
– **Sekundärabfall als Teil des rad. Abfalls ca. [Mg]**	284	446	394	851	15
– **Oberflächenabtrag als Teil des rad. Abfalls ca. [Mg]**	409	519	456	390	29
Gesamt [Mg]	**132’021**	**245’192**	**242’265**	**430’526**	**206’543**

Angaben zu den Massen für die Abklinglagerung finden sich im Anhang 3 der Stilllegungsstudien /20-24/. Bei den Zwilag-Angaben ist das Lucens-Inventar mit einer Masse von 263 Mg in den 534 Mg radioaktiven Abfalls enthalten.

Im Rahmen der Totalrevision der Strahlenschutzverordnung (StSV) wurden die Befreiungsgrenzen für radioaktive Nuklide teilweise erheblich gesenkt. Dadurch entstanden zusätzliche Mengen radioaktiver Abfälle mit geringer Aktivität, die vor dem 1. Januar 2018 unter der alten Strahlenschutzverordnung freigemessen werden konnten. Als Möglichkeit zur Reduktion der Abfallmenge (Minimierungsgebot gemäss Art. 50 KEV) eröffnet die

StSV einen alternativen Entsorgungspfad über die Abklinglagerung (Art. 117 StSV), der in der Kostenstudie 2021 erstmals betrachtet wurde. Ziel ist es, einen möglichst grossen Teil der radioaktiven Abfälle nach einer allfälligen Abklinglagerung als inaktiv zu befreien und diese dann konventionell zu entsorgen. Bei den für Abklinglagerung geeigneten Materialien handelt es sich vorwiegend um Metall.

Beurteilung des ENSI

Ein wesentlicher Bestandteil der Stilllegung und des Abbaus von Kernanlagen ist die Befreiung von Materialien von der Bewilligungspflicht und der Aufsicht gemäss der StSV. Hierzu ist gemäss KEV die «Freimessung» als messtechnischer Nachweis erforderlich. Die Bedingungen und Festlegungen, unter denen eine Freimessung erfolgen kann, sind in der StSV und in der KEV geregelt. Detailliertere Vorgaben zur Freimessung erfolgen in der Richtlinie ENSI-B04 /33/.

Die Revision der StSV vom 26.04.2017 trat am 01.01.2018 in Kraft. Hierbei wurden die in der vorangehenden Revision der StSV-1994 festgelegten «Freigrenzen LE» durch «Befreiungsgrenzen LL» ersetzt. Einzelne Werte wurden hierbei angepasst. Die als spezifische Aktivität festgelegten Befreiungsgrenzen der StSV entsprechen nunmehr denjenigen aus der IAEA-Richtlinie RS-G-1.7. Der Vergleich der LL-Werte mit den früheren LE-Werten zeigt, dass für viele Radionuklide die Befreiungsgrenzen unterhalb der Freigrenzen der vorangehenden Revision der StSV-1994 liegen. Bei Anwendung der reduzierten Befreiungsgrenzen gemäss der StSV ist für einen höheren Anteil an Materialien die Befreiung von der Bewilligungspflicht und Aufsicht anhand einer Freimessung nicht möglich, wodurch ein höherer Anteil an radioaktiven Abfällen anfällt.

Eine weitere Möglichkeit zur Vermeidung der Erhöhung des Massenanteils an radioaktiven Abfällen stellt die gemäss Art. 117 der StSV vorgesehene Möglichkeit der Abklinglagerung dar. An die Abklinglagerung werden Anforderungen gestellt: So dürfen beispielsweise Abfälle erst nach einer Entscheidungsmessung in die Abklinglagerung verbracht werden. Diese Entscheidungsmessung muss sicherstellen, dass nach Ablauf der Abklingzeit die Kriterien für die Befreiung erfüllt werden. Nach der Abklinglagerung genügt dann für den Nachweis der Einhaltung der Kriterien die Messung von Stichproben. Ausserdem bestehen Anforderungen an die Lagerung, insbesondere zum Schutz der Umwelt sowie zur Kennzeichnung und zur Dokumentation.

Die Möglichkeit der Abklinglagerung ist gemäss den Stilllegungsstudien für die Kernkraftwerke vorgesehen.

Aus Sicht des ENSI ist damit die Vorgabe 13 der VK-STENFO zur Abklinglagerung erfüllt.

3.6 Chancen und Gefahren in der Stilllegung

Angaben der Kostenstudie

Im Bericht der swissnuclear zur Ermittlung der Stilllegungskosten /6/ wird dargelegt, dass die Gefahren und Chancen durch einen Expertenkreis identifiziert und deren Eintrittswahrscheinlichkeit und Kostenfolgen abgeschätzt wurden. Gefahren werden gemäss swissnuclear als Erwartungswert von Kostenmehrungen, die mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit zukünftig auftreten werden, verstanden. Chancen werden analog als Erwartungswert von Kostenminderungen verstanden, die ebenfalls mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit eintreten werden.

Die Kostenzuschläge für Gefahren bzw. die Kostenminderungen für Chancen seien gemäss Vorgabe der Verwaltungskommission auf der Basis einer quantitativen Risikoanalyse ermittelt worden. Dazu sei für jede relevante Gefahr deren Eintrittswahrscheinlichkeit und Kostenfolge aufgrund von Expertenwissen abgeschätzt worden.

Nach Angaben im Chancen- und Gefahrenkatalog Stilllegung /17/ erfolgte im Rahmen eines mehrstufigen Prozesses eine Bewertung der identifizierten Risiken auf ihre Relevanz. Als Ergebnis wurden demnach zum einen Gefahren bzw. Chancen mit geringer Eintrittswahrscheinlichkeit und gleichzeitig geringem Risikoausmass mangels hinreichender wirtschaftlicher Relevanz nicht in den Risikokatalog aufgenommen; zum anderen

wurden Risiken mit hohem oder sehr hohem Risikoausmass durch geeignete planerische, technische und organisatorische Massnahmen oder durch geeignete Versicherungen ausgeschlossen.

Gefahren und Chancen, die den Relevanzkriterien nicht entsprechen, wurden im Chancen- und Gefahrenkatalog /17/ nur grob charakterisiert und in «Kapitel 4: Beurteilte aber nicht berücksichtigte Risiken» tabellarisch dargestellt.

Als Ergebnis der Risikoanalyse seien für die als relevant beurteilten Gefahren und Chancen die Risikowerte als Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Kostenfolge (Schadensausmass bzw. Chancenpotenzial) berechnet und entsprechend den Unsicherheiten der Expertenschätzungen um Zuschläge erhöht worden. Die individuellen Bewertungsergebnisse wurden in einem Durchschnittswert zusammengeführt und in den Chancen- und Gefahrenkatalog aufgenommen.

Beurteilung des ENSI

Bei der Bewertung des Chancen- und Gefahrenkatalogs Stilllegung /17/ hat das ENSI insbesondere die Vorgaben der VK-STENFO zu Grunde gelegt, die Anforderungen oder Grundsätze in Bezug auf Chancen und Gefahren enthalten. Gemäss Vorgaben der VK-STENFO gelten für die in der vorgegebenen Kostengliederung, die in Abbildung 1 dieser Stellungnahme dargestellt ist, enthaltenen «Gefahren (5)» und «Chancen (6)» sowie für die «Auflistung von nicht berücksichtigten Gefahren/Chancen (7)» grundsätzlich die folgenden Grundsätze und Definitionen:

- Die Kosten der Kostenstudie 2021 sind gemäss Kostengliederung darzustellen. Es sind sämtliche Kostenniveaus abzubilden. Neben den eigentlichen Kosten werden Prognoseungenauigkeiten, Gefahrenpotenziale und Chancenpotenziale ermittelt und nachvollziehbar ausgewiesen. (Grundsatz 2).
- Die Prognoseungenauigkeiten, Gefahrenpotenziale und Chancenpotenziale sind zu quantifizieren und auf dem entsprechenden Niveau der Kostenstruktur zu berücksichtigen. Sie sind detailliert und transparent darzustellen. (Grundsatz 4).
- Aussergewöhnliche Gefahren und Chancen, die erkannt sind, bei der Kostenermittlung jedoch nicht berücksichtigt werden, sind als Absolutwerte abzuschätzen und aufzulisten. Zudem ist zu begründen, wieso diese bei der Kostenstudie 2021 nicht berücksichtigt werden. (Grundsatz 5).

Die gemäss Grundsatz 5 vorzunehmende Auflistung von erkannten, aber nicht berücksichtigten Gefahren und Chancen ist in Kapitel 4 des Chancen- und Gefahrenkataloges Stilllegung /17/ vorgenommen worden. Die tabellarische Darstellung enthält auch jeweils eine Begründung für die Nicht-Berücksichtigung. Die im Grundsatz 5 auch geforderte Abschätzung von Absolutwerten ist allerdings nicht erfolgt.

Im vorgelegten Chancen- und Gefahrenkatalog wird für die berücksichtigten Chancen und Gefahren nicht angegeben, welche einzelnen oder welche Gruppen der funktionalen Pakete der Projektpläne vom Eintreten des jeweiligen Szenarios durch unmittelbar wirkende Konsequenzen/Auswirkungen betroffen sein sollen und für welche funktionalen Pakete aufgrund einer Korrelation darüber hinaus mittelbare Folgen unterstellt werden. Ebenso sind die Konsequenzen/Auswirkungen nicht in Form von Änderungen des Personalaufwands, der Kollektivdosis oder einer terminlichen Veränderung im jeweiligen funktionalen Paket ausgewiesen, die eine konkrete technische Bewertung der Realitätsnähe und Relevanz durch das ENSI erlauben würden. Des Weiteren ist nicht ersichtlich, ob das jeweilige Szenario in der vorgenommenen rechnerischen Modellierung einmalig im gesamten Rückbauverlauf oder mit einer grösseren Eintrittshäufigkeit zugelassen wurde.

Eine technische Bewertung des Chancen- und Gefahrenkatalogs ist dem ENSI daher nur in Bezug auf die Vollständigkeit der aufgeführten Chancen und Gefahren und in Bezug auf die Vollständigkeit der jeweils nur qualitativ zugeordneten technischen Konsequenzen/Auswirkungen möglich. Sowohl die unterstellte Wahrscheinlichkeit für das Eintreten des jeweiligen Szenarios als auch dessen Folgen für technische Grössen wie Zeitabläufe, Personalaufwände und Kollektivdosen können also höchstens qualitativ bewertet werden. Eine Ausnahme bilden die dargestellten Auswirkungen auf die Dauer des Rückbaubetriebs, wofür konkrete Verzö-

gerungen mit konkret zugeordneter Eintrittswahrscheinlichkeit ausgewiesen werden. Hier bestehen die sicherheitstechnischen Auswirkungen jedoch im Wesentlichen in einer proportionalen Erhöhung der typischen Exposition des beteiligten Personals sowie von Bevölkerung und Umwelt im jeweiligen Anlagenzustand, was quantitativ nur mit bislang nicht vorgelegten Angaben zur jeweiligen konkreten Anlage zu bewerten ist. Dieser Aspekt – wie generell die Betrachtung zur Exposition (z. B. zur Kollektivdosis) – berührt auch weniger die Kostenschätzung im Rahmen der Kostenstudie 2021 als die Funktion der Stilllegungsstudien als ein hinsichtlich des Strahlenschutzes geeigneter Stilllegungsplan.

Für die Prüfung auf Vollständigkeit der berücksichtigten Chancen und Gefahren und die darauf aufbauende Prüfung der Vollständigkeit der jeweils berücksichtigten Konsequenzen / Auswirkungen wäre es vorteilhaft, entsprechend der Reihenfolge von Ursache und Wirkung für jede Chance und Gefahr alle jeweils unterstellten Folgen an einer gemeinsamen Stelle aufzuführen. Dieses Ordnungsprinzip wird im vorgelegten Chancen- und Gefahrenkatalog jedoch nicht verfolgt. Stattdessen werden bestimmte Auswirkungen als Ordnungskriterien definiert, denen dann Gefahren bzw. Chancen als mögliche Auslöser zugeordnet werden.

Empfehlung 3-11: Für die nächste Aktualisierung der Kostenstudie empfiehlt das ENSI zur Erleichterung der Prüfung auf Vollständigkeit, das Ordnungsprinzip des Chancen- und Gefahrenkatalogs dahingehend anzupassen, dass entsprechend der Reihenfolge von Ursache und Wirkung, ausgehend von jeder Chance oder Gefahr, die dafür unterstellten Folgen jeweils vollständig an einer gemeinsamen Stelle aufgeführt werden.

Für die Gefahr «Ausführungsschwierigkeiten bei Gewerken auf dem kritischen Pfad» werden keine Auswirkungen auf den zeitlichen Ablauf des eigentlich betroffenen Rückbaugewerks, auf den darin anfallenden technischen, personellen und finanziellen Aufwand und die Kollektivdosis sowie auf die Durchführung von abhängigen Gewerken betrachtet. Dies ist für das ENSI nicht nachvollziehbar.

Empfehlung 3-12: Für die nächste Aktualisierung der Kostenstudie empfiehlt das ENSI, die berücksichtigten Auswirkungen der Gefahr «Ausführungsschwierigkeiten bei Gewerken auf dem kritischen Pfad» auf Vollständigkeit zu prüfen. Dabei sollten auch die Ergebnisse aus Kostenanalysen aus der Nachbewertung von aufgetretenen Ausführungsschwierigkeiten technischer Gewerke, wie z. B. bei der Zerlegung der RDB-Einbauten im Kernkraftwerk Mühleberg mit herangezogen werden.

In Anbetracht der langen Zeiträume bei einer Abklinglagerung ist nicht ausgeschlossen, dass nach Abschluss der Abklinglagerung für das dann eigentlich befreite Material ähnliche rechtliche Vorgaben gelten wie bei der Einlagerung. Dieser Fall ist in der Kostenstudie 2021 aber nicht zu betrachten, weil entsprechend der Vorgabe 1 der VK-STENFO nur absehbare Revisionen von Gesetzen, Verordnungen und Richtlinien zu berücksichtigen sind. Zudem weist das ENSI darauf hin, dass auch bei gleichbleibenden rechtlichen Regelungen eine mangelnde Akzeptanz der Öffentlichkeit verhindern könnte, dass befreites Material nach der Abklinglagerung in den konventionellen Stoffkreislauf zurückgeführt werden kann. Als Konsequenz müsste dieses Material dann unter zusätzlichem Aufwand anderweitig und im ungünstigsten Fall als radioaktiver Abfall entsorgt werden. Aufgrund der erheblichen Mengen, für die eine Befreiung nach Abklinglagerung vorgesehen ist, können hieraus auch erhebliche Mehrkosten resultieren.

Empfehlung 3-13: Für die nächste Aktualisierung der Kostenstudie empfiehlt das ENSI unabhängig von der geltenden Rechtslage, die Gefahr zu betrachten, dass Stoffe nach einer Abklinglagerung wegen inzwischen veränderten rechtlichen Rahmenbedingungen oder aufgrund einer mangelnden Akzeptanz durch die Öffentlichkeit nicht wie vorgesehen in den konventionellen Stoffkreislauf zurückgeführt werden können und daher mit einem zusätzlichen Aufwand anderweitig zu entsorgen sind.

Die Anmerkungen in der ENSI-Stellungnahme zur Kostenstudie 2016 sind weiterhin zutreffend und sollten auch bei der nächsten Aktualisierung der Kostenstudie weiterhin betrachtet werden, insbesondere für:

- Auftreten von Alpha-Kontamination;
- Mehrkosten durch unerwartet hohes Auftreten konventioneller Schadstoffe;
- Nichterteilung der Freigabe zur Verfüllung von Zwischen- und Endlagergebinden mit Betongranulat.

Hinsichtlich der berücksichtigten Chancen und Gefahren in der Stilllegung sieht das ENSI keinen grundsätzlichen Ergänzungsbedarf; es wurden alle relevanten technischen Risiken benannt.

4 Entsorgung

4.1 Bestandsaufnahme der zu entsorgenden Abfallgebinde

Angaben der Kostenstudie

Herkunft, Art und Menge der in der Schweiz zu entsorgenden radioaktiven Abfälle sind bekannt. Die entstehenden Abfälle werden laufend charakterisiert, konditioniert und in einer Datenbank inventarisiert. Bei der Datenbank handelt es sich um das Informationssystem für radioaktive Materialien (ISRAM), das von allen Schweizer Kernkraftwerken, dem Paul Scherrer Institut (PSI), der Zwilag und der Nagra verwendet wird. Abfälle, die zum heutigen Zeitpunkt noch nicht angefallen sind, werden im MIRAM (modellhaftes Inventar radioaktiver Materialien) geführt.

MIRAM basiert auf dem ISRAM und hat zum Ziel, alle bereits in einem Kernkraftwerk und in Medizin, Industrie und Forschung angefallenen Abfälle sowie alle zukünftig noch anfallenden Abfälle und abgebrannte Brennelemente zu quantifizieren und zu charakterisieren. Damit ist MIRAM aus Sicht der swissnuclear eine zuverlässige Basis für die Planung und Realisierung der benötigten Infrastruktur sowie deren Finanzierung.

Als Grundlage für die Kostenstudie 2021 wurde, ausgehend vom Entsorgungsprogramm 2021, ein Abfallmengengerüst erstellt, das die Volumina der von den Kernkraftwerken sowie aus Medizin, Industrie und Forschung (MIF) produzierten Abfälle umfasst. Es wird von einem 50-jährigen Betrieb aller Kernkraftwerke (KKW Mühleberg 47 Jahre) und von einer Sammelperiode für die MIF-Abfälle bis 2063 ausgegangen. Die Auswirkungen eines 60-jährigen Leistungsbetriebs wurden zusätzlich abgeschätzt.

Die Richtlinie ENSI-B05 in der aktuellen Fassung /34/ hat 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.

Beurteilung des ENSI

Die Angaben zum Abfallinventar in den Unterlagen zur Kostenstudie 2021 und zum Entsorgungsprogramm 2021 sind untereinander konsistent. Das ENSI hat das Inventar im Rahmen seiner Beurteilung des Entsorgungsprogramms 2021 /35/ auf Plausibilität geprüft und beurteilt die Prognose auf Basis der zugrunde gelegten Annahmen als zuverlässig und als eine geeignete Grundlage für die Kostenstudie 2021.

Alle bereits konditionierten Abfälle der KKW, des Zentralen Zwischenlagers (ZZL) der Zwilag und aus dem PSI entsprechen den vom ENSI genehmigten Spezifikationen von Abfallgebindetypen (AGT). Sie sind somit geeignet für die Zwischenlagerung, den Transport auf öffentlichen Verkehrswegen und – entsprechend dem aktuellen Planungsstand – auch für die geologische Tiefenlagerung. Durch die gesetzlichen Vorgaben und die Aufsicht des ENSI ist zudem sichergestellt, dass auch zukünftig nur solche Abfallgebinde erzeugt werden, die einer aktuell gültigen AGT-Spezifikation entsprechen.

Es ist nicht auszuschliessen, dass durch neue Erkenntnisse, z. B. im Verlaufe der Arbeiten des Forschungs- und Entwicklungsprogramms oder durch Anpassungen der Richtlinie ENSI-B05 /34/, Änderungen an bereits genehmigten AGT und Aktualisierungen der Anforderungen an neue AGT-Spezifikationen erforderlich werden. Dies wird im Chancen- und Gefahrenkatalog Zwischenlagerung, Transporte, Behälter, Wiederaufarbeitung /18/ erfasst. Die dort beschriebene Veränderung der Annahmebedingungen des geologischen Tiefenlagers kann einerseits die bereits konditionierten und in der Zwischenlagerung befindlichen Betriebs- und Stilllegungsabfälle betreffen. Für diese Abfälle können Nachkonditionierungsmassnahmen erforderlich sein, bevor

sie im geologischen Tiefenlager entsorgt werden können. Für die noch nicht konditionierten Stilllegungsabfälle können derartige Änderungen neue Konditionierungsverfahren erforderlich machen, welche die Definition zusätzlicher AGT-Spezifikationen nach sich ziehen.

Gemäss der Beschreibung beinhaltet dieses Risiko nicht, wie die Titelüberschrift zur Risikogruppe suggeriert, die Veränderungen der Zwischenlagertechnologie, sondern vielmehr Veränderungen der Anforderungen an die Abfallkonditionierung während der Dauer der Zwischenlagerung. Das wurde bereits vom ENSI in seiner Stellungnahme zur Kostenstudie 2016 /29/ festgestellt. Das ENSI erachtet die Berücksichtigung von zukünftigen Änderungen der technischen Konditionierungsanforderungen grundsätzlich als sinnvoll und notwendig. Im Vergleich zur Kostenstudie 2016 wurde die Eintrittswahrscheinlichkeit des Risikos von 30 % auf 10 % reduziert, was aus Sicht des ENSI aufgrund der weiteren Fortschritte im Sachplanverfahren als angemessen erscheint

Aus Sicht des ENSI ist es ebenfalls angemessen, einzelne fachliche Aspekte, wie z. B. die Technologieänderung bei der Behandlung organischer Abfälle, nicht als separate Risiken, sondern als einzelne Elemente des Risikos zu betrachten.

Die Aspekte, die die Annahmefähigkeit von konditionierten Abfallgebinden betreffen, wurden von swissnuclear einzeln auf kostenrelevante Änderungen hin überprüft. Damit wurde die Empfehlung 4-1 aus der Stellungname des ENSI zur Kostenstudie 2016 /29/ berücksichtigt.

4.2 Transporte, Transport- und Lagerbehälter

Angaben der Kostenstudie

Das Transportkonzept für die Kostenstudie 2021 ist in der Tabelle 12 in /8/ ersichtlich. Erfasst werden alle Transporte zwischen Kernkraftwerk, Wiederaufarbeitungsanlagen, den Einrichtungen zur Zwischenlagerung und den geologischen Tiefenlagern.

Im Transport- und Abfallmengengerüst der Nagra (TAMG) werden die einzelnen Abfallkategorien und die Transportaufkommen mit generischen Angaben dargestellt. Es bildet die Grundlage für Mengenannahmen und für den zeitlichen Ablauf/Zeitpunkt von Transport- bzw. Behandlungs- und Einlagerungsvorgängen zwischen den Partnern. Die Transporte werden primär zwischen den verschiedenen geografischen Standorten dargestellt.

Für das Basisprojekt der Kostenstudie 2021 werden geographische Standorte nach Vorgabe 14 der VKSTENFO /3/ festgelegt. Die tiefenlagerfähige Umverpackung (Einzementierung) der zwischengelagerten Abfälle (SMA und HAA) erfolgt in der Verpackungsanlage des geologischen Tiefenlagers für SMA am selben betrieblichen Standort wie das ZZL der Zwilag; damit fallen nach der Auslagerung der Gebinde nur innerbetriebliche Transfers statt. Die Verpackung der Brennelemente erfolgt am Standort des geologischen Tiefenlagers für HAA in Zürich-Nordost. Der Transport vom Zwischenlager KKW Beznau (Zwibez) und vom ZZL der Zwilag zur Brennelementverpackungsanlage (BEVA) wird als Konvois mit vier Transport- und Lagerbehältern (TLB) durchgeführt. Die Variante BEVA am Standort des ZZL der Zwilag wird als Chance betrachtet /14/.

Die Kosten der TLB für abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle enthalten neben den Beschaffungskosten auch die ermittelten Kosten für die während der Nutzungsdauer notwendige Überwachung und/oder der periodischen Lizenzierungen der TLB. Für die Lagerung der TLB existiert eine unbefristete Freigabe. Die Transport- und Lagerbehälter für Brennelemente und hochaktive Abfälle werden von den Kernkraftwerken während des Leistungsbetriebs beziehungsweise nach endgültiger Einstellung des Leistungsbetriebs beschafft. Die Auswahl der Behältertypen richtet sich nach der Art der einzulagernden Materialien (abgebrannte Brennelemente, Abfälle aus der Wiederaufarbeitung).

Folgende Gefahren für die Transportkosten und für die Kosten der TLB wurden in der Kostenstudie 2021 berücksichtigt:

- Mehrkosten durch Umladung der BE/HAA in neue Transportbehälter mit valider verkehrsrechtlicher Zulassung;
- Mehrkosten für Haftpflichtversicherung für Nukleartransporte;
- der Transport von Zwibez / ZZL zur BEVA ist nicht mit Transport-Konvois möglich.

Beurteilung des ENSI

Das ENSI hat die Angaben in dem Transportgerüst der Nagra auf Plausibilität geprüft. Nach Beurteilung des ENSI werden im Transportkonzept die Vorgaben der Transportbestimmungen des ADR berücksichtigt. Für die Ermittlung der Transportkosten wurden die geographischen Standorte der geologischen Tiefenlager nach Vorgabe-Nr. 14 der VK-STENFO /3/ korrekt berücksichtigt.

Gemäss Transportgerüst der Nagra werden die mittelaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (CSD-C und CSD-B) im LC-86 verpackt und zum geologischen Tiefenlager für SMA transferiert. Dies steht in Widerspruch zu den Angaben in der Tabelle 12 zum Transportkonzept in /8/ und mit den Aussagen aus den Berichten über die Zwischenlagerung im ZZL der Zwilag (/14/, /36/), wo bei der Auslagerung und Entnahme der CSD-C/B-Kokille aus den Gitterboxen eine Beladung in TLB und ein Transport zur BEVA des geologischen Tiefenlagers für HAA angenommen wird.

Empfehlung 4-1: Im Rahmen der nächsten Kostenstudie sind alle Aspekte der Entsorgung der mittelaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (CSD-C und CSD-B) zu überprüfen.

In der Kostenermittlung wurde die aktuelle Beschaffungssituation für die Transport- und Lagerbehälter der einzelnen Kernkraftwerke berücksichtigt. Damit wurde die Empfehlung 4-2 aus der Stellungname des ENSI zur Kostenstudie 2016 /29/ umgesetzt.

Das ENSI hat die in /18/ ausgewiesenen Gefahren für die Transportkosten und für die Kosten für die TLB auf Plausibilität und Vollständigkeit geprüft und kommt zum Schluss, dass sie eine geeignete Grundlage für die Kostenzuschläge durch Gefahren darstellen.

4.3 Zwischenlagerung (ZZL der Zwilag, Zwibez, Nasslager KKG)

Angaben der Kostenstudie

In der Kostenstudie 2021 werden für die Abfallbehandlung und Zwischenlagerung im ZZL der Zwilag die Szenarien einer Betriebsdauer der KKW von 47/50 Jahren und von 47/60 Jahren betrachtet (/14/, /36/). Da bei der Kostenermittlung der Zwischenlagerung nicht zwischen spezifischen Lagerungskosten von Stilllegungsabfällen und Betriebsabfällen unterschieden wird, werden die Kosten der Zwischenlagerung von Stilllegungsabfällen vereinfachend den Entsorgungskosten hinzugerechnet und im Entsorgungsfonds sichergestellt.

Die Anlagen der Zwilag werden bis ins Jahr 2071 am Standort Würenlingen betrieben und danach stillgelegt. Die Stilllegungskosten des ZZL der Zwilag werden in der Kostenstudie 2021 in der Ermittlung der Stilllegungskosten berücksichtigt /6/. Für die Behandlung von brenn- und schmelzbaren Rohabfällen steht bis ein Jahr nach Ende des nuklearen Rückbaus des KKL die Plasma-Anlage zur Verfügung. Für die Behandlung von Betriebsabfällen steht während der gesamten Betriebsdauer auch die Konditionierungsanlage zur Verfügung Somit könnten Betriebsabfälle auch aus dem Betrieb der geologischen Tiefenlager bzw. der OFA/BEVA noch im ZZL der Zwilag behandelt werden. Die Betriebsbereitschaft der Heissen Zelle wird solange angenommen, wie auch die Behälterlagerhalle genutzt wird, damit beispielsweise eine Behälterdichtung ersetzt werden könnte. Eine geplante Nutzung trifft nur noch kurzfristig für KKM zu. Eine minimale Betriebsbereitschaft der Umladestation wird solange aufrechterhalten, bis alle Behälter ausgelagert sind. Die Umladestation wird nur noch optional genutzt.

Aufgrund einer Verfügung des Bundesrats zur Kostenstudie 2016 werden darüber hinaus Konzepte für die Zwischenlagerung von mehr als 200 Behältern in der Behälterlagerhalle des ZZL der Zwilag untersucht. Eine Belegung von bis zu 228 TLB wird gemäss Angaben in /36/ (Kap. 5.2.1) als möglich erachtet.

Mit Abschluss des Nachbetriebs des KKW Beznau wird das Zwibez bis 2071 weiterbetrieben und verwaltet. In der Kostenstudie 2021 ist nicht mehr geplant, dass die Zwilag nach dem Nachbetrieb des Zwibez betriebliche Leistungen für das Zwibez erbringt.

In der Kostenstudie 2021 wird davon ausgegangen, dass nach Einstellung des Leistungsbetriebs des KKW Gösgen kein Autarkiebetrieb des dortigen Nasslagers mehr nötig ist. Alle noch im Nasslager befindlichen Brennelemente werden in das ZZL der Zwilag transportiert und das Nasslager zusammen mit dem Kernkraftwerk stillgelegt.

Folgende Gefahren für die Zwischenlagerung wurden in der Kostenstudie 2021 berücksichtigt:

- Veränderung der Höhe der Betriebskosten der Zwischenlagerung;
- Veränderung der Technologie bei der Zwischenlagerung;
- Veränderungen bei Infrastruktur und Logistik;
- Veränderung der Betriebsprozesse Zwischenlagerung;
- Veränderung der Betriebsdauer der Anlagen der Zwilag nach Abschluss der Auslagerung sämtlicher Abfälle.

Für weitere Gefahren und Chancen wurde begründet, warum sie nicht berücksichtigt werden mussten. Insbesondere wurde ein Kapazitätsengpass in der Behälterlagerhalle des ZZL der Zwilag (nur Variante 60 Jahre Betrieb der KKW) nicht berücksichtigt.

Beurteilung des ENSI

Das ENSI hat die Angaben über die Zwischenlagerung in der Kostenstudie 2021 auf Plausibilität und Konsistenz geprüft. In seiner Stellungnahme zum Entsorgungsprogramm 2021 /35/ stellt das ENSI fest, dass für die bestehenden KKW genügend Zwischenlagerkapazität zur Verfügung steht, was der Vorgabe 16 der STENFO /3/ entspricht. Im Szenario «60 Jahre Betreib KKW» ist für die Zwischenlagerung von HAA-Abfällen eine Optimierung der Anzahl Stellplätze durch eine verbesserte Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Lagerbereichs erforderlich.

Die in der Kostenstudie 2021 angenommenen Betriebszeiten der Zwischenlager sind mit den Angaben aus dem Entsorgungsprogramm 2021 konsistent. Falls sich die Inbetriebnahme der geologischen Tiefenlager verzögern sollte, können die Zwischenlager auch länger betrieben werden. Die Angaben über die Zwischenlagerung sind nachvollziehbar und eine plausible Grundlage für die Kostenstudie 2021.

Das ENSI hat die in /18/ ausgewiesenen Gefahren für die Zwischenlagerung auf Plausibilität und Vollständigkeit geprüft und kommt zum Schluss, dass sie eine geeignete Grundlage für die Kostenzuschläge durch Gefahren darstellen.

Die Gefahr des Kapazitätsengpasses für die Zwischenlagerung von TLB wurde von der swissnuclear in /18/ jedoch nicht berücksichtigt. Als Begründung wird die Studie der Zwilag über die Optimierung des Stellplatzkonzeptes in der Behälterlagerhalle H herangezogen /37/. Das ENSI hat die Studie auf Plausibilität geprüft und erachtet die vorgeschlagene Erweiterung als verhältnismässig. Die Darlegungen zu den verschiedenen Varianten und die durchgeführten Analysen sind für das ENSI nachvollziehbar. Gleichwohl kann das ENSI zum jetzigen Zeitpunkt keine vertiefte Prüfung der vorgeschlagenen Varianten durchführen, da hierfür zuerst die entsprechenden Nachweise erbracht und vorgelegt werden müssen. Erst nach deren Prüfung kann sich das ENSI zur Akzeptanz der Optimierungsvariante(n) äussern. Bis dahin ist aus Sicht des ENSI die Gefahr des Kapazitätsengpasses für die Zwischenlagerung von TLB im Risikokatalog aufzunehmen (nur Variante 60 Jahre Betrieb KKW).

Empfehlung 4-2: Die Gefahr des Kapazitätsengpass für die Zwischenlagerung von TLB ist in der nächsten Kostenstudie im Risikokatalog aufzunehmen, sofern noch keine entsprechende Bewilligung vorliegt.

Das Risiko «Veränderung der Annahmebedingungen des geologischen Tiefenlagers» ist aus Sicht des ENSI nicht allein als Risiko der Zwischenlagerung zu betrachten, sondern hat ab dem Zeitpunkt des Eintretens auch Auswirkungen auf die dann noch nicht konditionierten Abfälle. Das wurde bereits vom ENSI in seiner Stellungnahme zur Kostenstudie 2016 /29/ festgestellt. Erläuterungen sind in Kap. 4.1 enthalten.

4.4 Abklinglagerung

Bei der Stilllegung und dem Rückbau von Kernanlagen werden radioaktive Stoffe anfallen, die nach einer Abklinglagerung konventionell entsorgt werden können. Gemäss den Vorgaben für die Erstellung der Kostenstudie 2021 /3/ ist die Abklinglagerung als Basiskosten in der Kostenstudie zu berücksichtigen und auszuweisen. Im Rahmen der Überprüfung der Kostenstudie 2016 wurde des Weiteren in der Stellungnahme des ENSI /29/ folgende Empfehlung formuliert:

Empfehlung 4-3: Die Erstellung, das Betriebskonzept und der Betriebsablauf der Abklinglager sind in den folgenden Aktualisierungen der Kostenstudie zu berücksichtigen.

Angaben der Kostenstudie

In der Kostenstudie 2021 wurde unter Abklinglagerung die Lagerung von radioaktiven Stoffen oder Komponenten über einen maximalen Zeitraum von 30 Jahren zur Ausnutzung des radioaktiven Zerfalls mit dem Ziel der Unterschreitung der Freigrenzen und einer anschliessenden Befreiung gemäss Art. 106 StSV /25/ bzw. der Richtlinie ENSI-B04 /33/ verstanden. Bis zum Erreichen dieses Zeitpunkts werden diese Materialien getrennt von den radioaktiven Abfällen und anforderungsgerecht gelagert. Sie werden so aufbewahrt, dass ein unkontrollierter Austritt radioaktiver Stoffe verhindert und eine Brandgefahr vermieden wird. Sie werden gekennzeichnet und mit einer Dokumentation (über Materialart, Gewicht, vorgesehene Abklingdauer und Ergebnisse der dem Entscheid der Abklinglagerung zugrundeliegende Messungen) versehen.

Angaben zur Kostenstudie der Abklinglagerung sind in den Stilllegungsstudien der KKW (/20/, /21/, /22/, /23/) zu finden. Bei den abklingfähigen Materialien handelt es hauptsächlich um sehr schwach radioaktive Metalle und Bauschutt. Die für die Abklinglagerung geeigneten Mengen resultieren aus der Aufteilung der anfallenden Materialien auf die Entsorgungsziele:

Tabelle 4-1: Abschätzung des anfallenden Materials für die Abklinglagerung (aus /6/)

	Anfallendes Material für die Abklinglagerung [Mg]
KKW Beznau	1’521
KKW Gösgen	817
KKW Leibstadt	8’150
KKW Mühleberg	1’801
Summe	12’289

Je nach Werk wurde für die Kostenstudie 2021 ein Abklinglager in einem am Standort bestehenden Gebäude oder in einem neuen Gebäude ausserhalb des Kraftwerksareals angenommen.

Beurteilung des ENSI

Eine Abklinglagerung zur Reduktion der Abfallvolumina für das geologische Tiefenlager wird, wie in den Vorgaben für die Erstellung der Kostenstudie 2021 (Vorgaben-Nr. 13) gefordert, berücksichtigt. Mengenangaben wurden auf der Basis von Berechnungen der Nagra ermittelt und in /20/, /21/, /22/ und /23/ zusammengestellt: gegenüber der Kostenstudie 2016 haben sich die abklingbaren Materialmengen nahezu verdreifacht, was mit dem Inkrafttreten der neuen Strahlenschutzverordnung /25/ erklärt werden kann.

Für die Aufbewahrung des Materials für die Dauer der Abklingzeit sind aus sicherheitstechnischen Gründen Abklinglager notwendig. Dafür werden je nach Betreiber entweder am Standort bestehende Gebäude oder neue Gebäude ausserhalb des Kraftwerkareals in Betracht gezogen. Somit wurde die Empfehlung 4-3 aus der Kostenstudie 16 berücksichtigt.

4.5 Geologische Tiefenlager

Gemäss den Vorgaben der Kostenstudie 2021 für die Ermittlung der Entsorgungskosten /3/ geht die Kostenstudie von modellhaften, aber konkreten Basisvorhaben (Basisprojekten HAA- und SMA-Lager) aus, ohne jedoch zukünftige Entscheide vorwegzunehmen. Als Standorte der geologischen Tiefenlager gelten weiterhin Jura Ost (JO) für das SMA-Lager und Zürich Nordost (ZNO) für das HAA-Lager. Weitere Standortvarianten sind separat abzubilden.

Im Mantelbericht /4/ und im Bericht zur Ermittlung der Entsorgungskosten /7/ werden die Angaben zum Teil «geologische Tiefenlager» zusammengefasst. Die Vorhaben zur Realisierung der geologischen Tiefenlager ist in vier einzelnen internen Berichten der Nagra beschrieben: dem Bericht zur übergeordneten Vorhabensbeschreibung /19/ und den Berichten zur Vorhabensbeschreibung SMA-Lager /12/, zur Vorhabensbeschreibung HAA-Lager /11/ und zur Vorhabensbeschreibung des Kombilagers /13/. Im Bericht /15/ sind die von der Nagra betrachteten Chancen und Gefahren beschrieben, welche sich auf die kalkulierten Basisprojekte mit ihren Basiskosten und den Varianten beziehen.

Ausgangspunkt für die Ermittlung der Kosten ist das Basisvorhaben mit den beiden Einzellagern für HAA und SMA sowie für die Variante eines Kombilagers mit Teillager für HAA und SMA. Die Kosten für die beiden Einzellager bzw. für das Kombilager umfassen die technisch-wissenschaftliche Vorbereitung, die bauliche Realisierung der Anlagen, den Betrieb und den Rückbau bzw. Verschluss der Anlagen sowie die diversen Aktivitäten, die sich aus den Randbedingungen im Umfeld ergeben /7/.

Der Bericht zur übergeordneten Vorhabensbeschreibung /19/ zeigt die übergeordnete Einbettung der Vorhaben innerhalb der Kostenstudie, beschreibt die Rahmenbedingungen für die Lagerprojekte und definiert die übergeordneten, für alle Lagerprojekte geltenden Anforderungen und Vorgaben sowie die sicherheitstechnischen Aspekte.

Die Beschreibung der Vorhaben HAA-Lager in /11/ und SMA-Lager in /12/ orientieren sich am zugehörigen Basisprojekt der Kostenstudie 2021. Die Betrachtung der Lagervariante Kombilager erfolgt analog zu den Basisprojekten (Einzellagern) im entsprechenden Bericht zur Beschreibung des Kombilagers /13/. In diesen Berichten werden die Basisvorhaben und die Lagervariante Kombilager jeweils in seiner Gesamtheit, bestehend aus dem Zweck und den übergeordneten Angaben zur modellhaften Umsetzung, beschrieben. In den Anhängen zu diesen Berichten sind zudem Detailpläne sowie Objekt- und Ausrüstungslisten zu finden.

Das modellhaft im Standortgebiet ZNO angenommene Basisprojekt HAA-Lager besteht aus der Infrastruktur an der Oberfläche mit der Oberflächenanlage und der Nebenzugangsanlage und der zugehörigen Erschliessung. Diese Anlagen dienen auch dem Zugang nach untertage zu den Bauwerken auf Lagerebene. Die Bauwerke auf Lagerebene umfassen das Hauptlager für die BE und HAA, das Pilotlager mit dem Kontrollstollen, die Testbereiche sowie die für den Bau, Betrieb und Verschluss notwendigen weiteren Infrastrukturbauwerke (zum Beispiel der Bau- und Betriebstunnel). Diese Bauwerke sind gemäss aktueller Planung etwa mittig im Opalinuston angeordnet (/7/).

Das modellhaft im Standortgebiet JO angenommene Basisprojekt SMA-Lager besteht aus der Infrastruktur an der Oberfläche mit den Nebenzugangsanlagen mit der zugehörigen Erschliessung sowie dem Areal der Zentralen Zwischenlager (ZZL) der Zwilag. Diese Anlagen dienen auch dem Zugang nach untertage zu den Bauwerken auf Lagerebene. Die Bauwerke auf Lagerebene umfassen das Hauptlager für die SMA, das Pilotlager mit dem Kontrollstollen, die Testbereiche sowie die für den Bau, Betrieb und Verschluss notwendigen weiteren Infrastrukturbauwerke (zum Beispiel der Bau- und Lüftungstunnel). Diese Bauwerke sind gemäss aktueller Planung etwa mittig im Opalinuston angeordnet (/7/).

Die Nagra betrachtet ein Kombilager (gemeinsamer Standort für ein SMA- und HAA-Lager) als wahrscheinliche Lagervariante. Die Lagervariante Kombilager wird modellhaft am Standort Zürich Nordost vorgesehen und als Chance eingestuft (/7/, /15/). Der Aufbau der Lagervariante Kombilager mit den Teillagern für HAA und SMA ist grundsätzlich gleich wie der Aufbau der entsprechenden Einzellager. Bezüglich der Oberflächeninfrastruktur ist das Kombilager praktisch identisch mit dem HAA-Lager; die Verpackung der SMA erfolgt in der SMA-Verpackungsanlage beim ZZL der Zwilag. Bezüglich der kostenrelevanten Informationen sind die Unterlagen für das HAA- und SMA-Lager für eine Orientierung direkt anwendbar (/7/).

Die modellhaften Basisprojekte HAA-Lager und SMA-Lager sowie die Lagervariante Kombilager basieren auf den im Ergebnisbericht zur Etappe 2 SGT /38/ definierten und in NAB 19-08 Teil 1 /39/ vorgeschlagenen Arealen für die Oberflächeninfrastruktur. Die Lagerflächen der HAA-, SMA- und Kombilager wurden innerhalb des jeweiligen Lagerperimeters auf Basis von geologischen Untersuchungen festgelegt (/11/, /12/, /13/).

4.5.1 Zusammenhang mit dem Sachplan geologische Tiefenlager

Angaben der Kostenstudie

Die VK-STENFO hat vorgegeben, dass für die Kostenstudie 2021 die gleichen Modellstandorte zu verwenden sind wie in den Kostenstudien 2011 und 2016. Es sind dies das Standortgebiet Zürich Nordost (kurz: ZNO) für das HAA-Lager und das Standortgebiet Jura Ost (kurz: JO) für das SMA-Lager. Die Vorgabe bzgl. der Modellstandorte ist kompatibel mit dem gegenwärtigen Stand der Standortwahl der geologischen Tiefenlager gemäss Entsorgungsprogramm und dem Standortauswahlverfahren gemäss Sachplan. Die Kostenstudie berücksichtigt ausgehend vom Entsorgungsprogramm 2021 modellhafte Annahmen (Basisvorhaben und Varianten), um den Nachvollzug der Kosten zu ermöglichen /7/.

Beurteilung des ENSI

Das ENSI hat die Angaben zur Planung, Bau, Betrieb und Verschluss der geologischen Tiefenlager mit den im Rahmen des Sachplans geologische Tiefenlager, aktuell zu Etappe 3, bereits vorliegenden Dokumenten verglichen. Weil die Kostenstudie und der Sachplan geologische Tiefenlager unterschiedliche Ziele verfolgen (Festlegung von Fondsbeiträgen vs. Festlegung von Standorten), ist nicht zu erwarten und auch nicht erforderlich, dass die Angaben identisch sind. Gemäss /7/, Tabelle 3 entspricht das betrachtete Basisprojekt mit einem SMA-Lager in Jura Ost (JO) und einem HAA-Lager in Zürich Nordost (ZNO) der Vorgabe der VK-STENFO. Dabei werden die ATA-Abfälle im SMA-Lager vorgesehen und für die Oberflächenanlage Synergien mit dem ZZL der Zwilag genutzt. Aus Sicht der Nagra zeichnet sich ein Kombilager ab (Eintrittswahrscheinlichkeit von 75 %), welches als wichtigste Chance dargestellt wurde. Die Nagra wird ihren Vorschlag über die Realisierung von zwei Einzellagern oder von einem Kombilager bzw. den sicherheitstechnischen Vergleich der Standorte erst mit den Unterlagen für das Rahmenbewilligungsgesuch begründen. Das ENSI wird im Rahmen seiner Prüfung des Rahmenbewilligungsgesuchs prüfen, ob diese Wahl sicherheitstechnisch nachvollziehbar begründet wurde. Das Rahmenbewilligungsgesuch wird von der Nagra voraussichtlich Ende 2024 eingereicht, entsprechend kann das ENSI zum jetzigen Zeitpunkt keine sicherheitstechnische Prüfung vornehmen, ob die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Kombilagers 75 % beträgt oder nicht. Das gleiche gilt auch für Aussagen des ENSI unter anderem zur Standortwahl, zur Einlagerung von ATA-Abfällen im SMA-Lager und zu möglichen Synergien für die Oberflächenanlage mit dem ZZL der Zwilag. Diese Beurteilungen sind erst mit Vorliegen der vollständigen Unterlagen zum Rahmenbewilligungsgesuch möglich.

Vorgabe-Nr. 14 der VK-STENFO /3/ wurde aus Sicht des ENSI vollumfänglich umgesetzt. Das ENSI weist darauf hin, dass in /19/ ein grösserer Abstand des Pilotlagers zum Hauptlager dargestellt wurde, in den Berichten /11/, /12/ und /13/ jedoch nicht. Diese Differenz ist möglicherweise durch die notwendige frühe Festlegung des Projektstands für die Erstellung der Kostenstudie verursacht.

4.5.2 Zusammenhang mit dem Entsorgungsprogramm 2021

Angaben der Kostenstudie

Die Kostenstudie 2021 und das Entsorgungsprogramm 2021 /40/ wurden 2021 inhaltlich aufeinander abgestimmt und im gleichen Zeitraum beim Bund eingereicht. Damit sind die inhaltliche Koordination und die konsistente Darstellung der Informationen zur Entsorgung gewährleistet. Das Entsorgungsprogramm 2021 bildet den gegenwärtigen Stand der Planung zur geologischen Tiefenlagerung ab, berücksichtigt aber Handlungsoptionen für die Realisierung der geologischen Tiefenlager in ergebnisoffener Form, ohne Vorentscheide zu Standorten oder zur detaillierten Anordnung und technischen Auslegung der geologischen Tiefenlager zu treffen. Demgegenüber geht die Kostenstudie von einem modellhaften, aber konkreten Basisvorhaben aus, das die Vorgaben der Kommission der Fonds bezüglich Modellstandorten umsetzt und einen Detaillierungsgrad aufweist, der die Nachvollziehbarkeit der Kostenermittlung unter Berücksichtigung von Chancen und Gefahren (einschliesslich Projektvarianten) ermöglicht. Die Kostenstudie trifft zu diesem Zweck modellhafte Annahmen, die mit dem Entsorgungsprogramm vereinbar sind, aber keine vorzeitigen Festlegungen zu späteren Entscheidungen auf dem Weg zur geologischen Tiefenlagerung bedeuten /7/.

Das Entsorgungsprogramm und die dort referenzierten Unterlagen enthalten Angaben zu folgenden, für die Ermittlung der Kosten wichtigen Themen, die für die Kostenstudie 2021 genutzt werden (/7/, S.14):

- das modellhafte Inventar der radioaktiven Abfälle (Mengengerüst, detaillierte Angaben zu den Eigenschaften);
- die verwendeten Lager- und Barrierenkonzepte;
- Angaben zu den in der Kostenstudie 2021 für die geologischen Tiefenlager zu verwendenden Modellstandorte und Hinweise zu den in der Kostenstudie 2021 zu betrachtenden Projektvarianten;
- das Realisierungsprogramm mit den wichtigen Entscheidungspunkten und übergeordneten Aktivitäten, ohne aber Angaben zum Ausgang der zukünftigen, gegenwärtig noch offenen Entscheide zu machen.

Beurteilung des ENSI

Das ENSI hat die Angaben der Planung zum zeitlichen Ablauf der Realisierung der geologischen Tiefenlager mit den im Rahmen des Entsorgungsprogramms 2021 eingereichten Dokumenten (insbesondere den Realisierungsplan) verglichen. Weil die Kostenstudie 2021 und das Entsorgungsprogramm 2021 unterschiedliche Ziele verfolgen (Festlegung von Fondsbeiträgen bzw. genereller Weg der Entsorgung), ist nicht zu erwarten und auch nicht erforderlich, dass die Dokumente identisch sind.

Geringfügige Inkonsistenzen, z. B. hinsichtlich der Zeitdauer für die nukleare Baubewilligung des SMA-Lagers (Einzellager), Zeitdauer für den Bau des HAA-Lagerteils im Kombilager sowie Einlagerungsbetrieb des HAA-Lagerteils im Kombilager in verschiedenen Dokumenten), sind aus Sicht des ENSI von untergeordneter Bedeutung für die Kostenschätzungen und vor dem Hintergrund der komplexen zeitlichen und inhaltlichen Vernetzung der verschiedenen Verfahren begründet und tolerierbar.

Der Realisierungsplan aus der Kostenstudie 2021 entspricht den Angaben im Entsorgungsprogramm 2021 für das HAA- und SMA-Lager. Ebenso entsprechen die angenommenen Zeiten für den Zeitpunkt der Inbetriebnahme der geologischen Tiefenlager (SMA-Lager 2050, HAA-Lager 2060) der Vorgabe-Nr. 15 der VK-STENFO /3/. Die zugehörigen Kosten werden durch die Kostenexperten überprüft.

Die Angaben zu dem Abfallmengengerüst und den Barrierenkonzepten in den Unterlagen der Kostenstudie 2021 und des Entsorgungsprogramms 2021 sind konsistent. Das ENSI hat das Abfallmengengerüst und die

Barrierenkonzepte im Rahmen seiner Beurteilung des Entsorgungsprogramms 2021 /35/ auf Plausibilität geprüft und beurteilt beides als geeignete Grundlagen für die Kostenstudie 2021.

Die Angaben zu den in der Kostenstudie 2021 für die geologischen Tiefenlager zu verwendenden Modellstandorte und Hinweise zu den in der Kostenstudie 2021 zu betrachtenden Projektvarianten inklusive Kombilagervariante werden in Kap. 4.5.1 und die geplanten Anlagenelemente und Bauten im Kap. 4.5.3 und 4.5.4 vom ENSI beurteilt.

4.5.3 Oberflächenanlage

Angaben der Kostenstudie

Die Oberflächenanlage (OFA) ist neben der Nebenzugangsanlage und den Erschliessungsbauwerken Teil der Oberflächeninfrastruktur des geologischen Tiefenlagers. Sie steht am Hauptzugang zu den Untertageanlagen und beinhaltet eine Verpackungsanlage zur Umverpackung der einzulagernden Abfallgebinde in die Endlagerbehälter, eine Betriebsabfallbehandlungsanlage sowie im Fall des HAA-Lagers eine Behandlungsanlage für die leeren Transport- und Lagerbehälter (TLB-BHA). Alternativ können diese Anlagenteile auch ausserhalb der OFA, z. B. beim ZZL der Zwilag, angeordnet werden /19/.

Ausgehend von den generischen Konzeptstudien und standortspezifischen Planungsstudien zur Etappe 2 des Sachplans geologische Tiefenlager (SGT) /41/, /42/, /43/, /44/ und den bisherigen Entscheiden des Sachplans (/38/, Bundesratsentscheid zu SGT Etappe 2), basieren die in /4/ und /7/ verwendeten Konzepte für die Oberflächenanlagen des HAA- und des SMA-Lagers, sowie des Kombilagers /11/, /12/, /13/ auf dem Planungsfortschritt im Rahmen der Etappe 3 SGT /39/.

So sieht zum Beispiel das aktuelle Konzept der Verpackungsanlage für die HAA neu je 3 Andockstationen für Transport- und Lagerbehälter (TLB) sowie für Endlagerbehälter (ELB) vor. Diese Reduktion gegenüber Kostenstudie16, wo noch je 4 Andockstationen vorgesehen waren, hat eine Verkleinerung des umbauten Volumens sowie reduzierte Kosten für die Betriebsausrüstung, den Unterhalt sowie Stilllegung und Rückbau zur Folge. Eine Verteilung der Brennelemente auf die Endlagerbehälter mit Einhaltung des Wärmekriteriums ist weiterhin möglich. Dies bedingt, dass gleichzeitig der Zugriff auf mehrere Transport- und Lagerbehälter (TLB) möglich ist /11/.

Das Basisprojekt SMA-Lager nutzt mögliche Synergien mit dem ZZL der Zwilag. So werden verschiedene Anlagenelemente, wie die Verpackungsanlage für SMA/ATA (SMA-VA) und Pufferlagerkapazitäten, auf dem Areal des ZZL der Zwilag vorgesehen. Aufgrund weiterer Synergien mit dem ZZL der Zwilag (z. B. Sicherung, Behandlungsanlage für Betriebsabfälle) und einer Verschiebung von Anlagenelementen in die Nebenzugangsanlage Betrieb kann gänzlich auf eine eigentliche Oberflächenanlage verzichtet werden /12/.

Auch für die Bewertung der Lagervariante «Kombilager» wird angenommen, dass die SMA-VA auf dem Areal des ZZL der Zwilag umgesetzt wird. Somit entspricht die OFA der Lagervariante «Kombilager» im Wesentlichen jener des HAA-Lagers, jedoch ist zusätzlich ein Pufferlager für SMA-ELB vorgesehen, in dem die fertig konditionierten SMA, nach der erfolgreichen Eingangskontrolle, bis zu ihrer Einbringung nach untertage aufbewahrt werden /13/.

Aus Gründen der nuklearen Sicherheit sollen nur so viele radioaktive Abfälle (BE/HAA) in der Oberflächenanlage prozessiert und puffergelagert werden, wie es der zuverlässige und unterbrechungsfreie Betrieb erfordert /19/.

Die TLB-BHA, dient der Innenreinigung von TLB für BE oder HAA (inklusive Behälterkörben und Deckeln) sowie der anschliessenden Zerlegung mit dem Ziel, den grössten Teil der Materialien freizugeben und zur konventionellen Wiederverwertung (Rohstoffkreislauf) zur Verfügung zu stellen. Gemäss aktuellem Planungsstand gehen weder die Zerlegung der 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 /19/.

Zusätzlich berücksichtigt die Kostenschätzung für die Bauwerke der OFA die Erfahrung aus dem Bau vergleichbarer Anlagen /7/.

Im Bericht /15/ sind die von der Nagra betrachteten Chancen und Gefahren beschrieben, welche sich auf die kalkulierten Basisprojekte mit ihren Basiskosten und den Varianten beziehen.

Beurteilung des ENSI

Im Zuge der Prüfung in Etappe 2 SGT haben das ENSI und seine Experten die generischen Konzeptstudien und Standortvorschläge der Nagra für die OFA geprüft und als plausibel und stufengerecht bewertet /45/, /46/, /47/, /48/. Das ENSI begrüsst, dass die Konzepte im Rahmen der Etappe 3 SGT sowie im Hinblick auf die Kostenstudie 2021 deutlich weiterentwickelt wurden. Insbesondere wurde auch ein eigenes Konzept für die Lagervariante «Kombilager» erstellt, womit die Empfehlung 4-4 aus der Stellungnahme des ENSI zur Kostenstudie 2016 /29/ berücksichtigt wurde.

Die Anzahl der Andockstationen für TLB und ELB in der BEVA mag für den Normalbetrieb ausreichen. Aus Sicht des ENSI ist fraglich, ob im Fall einer notwendigen Intervention an einer TLB-Andockstation (z. B. Störfall), unter Berücksichtigung der für die Einhaltung des Wärmekriteriums notwendigen Verteilung der Brennelemente auf die ELB, der geplante Durchsatz von 200 ELB pro Jahr mit nur 2 TLB-Andockstationen aufrechterhalten werden kann. Die Nagra hat aber die Mehrkosten für je eine weitere Andockstation als Gefahr (G-18) eingeplant /15/.

Die Nutzung der Synergien mit dem ZZL der Zwilag für die SMA-VA ist aus Sicht des ENSI eine mögliche Option. Ob und wie weit diese Synergien tatsächlich genutzt werden, wird erst in den weiteren Bewilligungsschritten festgelegt und vom ENSI geprüft. Die Nagra hat die Möglichkeit einer SMA-VA am Ort des Tiefenlagers ohne Synergien mit dem ZZL der Zwilag als Gefahr (G-19) berücksichtigt. Das ENSI kann jedoch die unterschiedlichen Eintrittswahrscheinlichkeiten dieser Gefahr im Fall des SMA-Lagers (30 %) und der Lagervariante Kombilager (20 %) nicht nachvollziehen. Auf Anfrage des ENSI vom 03.02.2022 hat die Nagra mitgeteilt, dass hier ein Fehler in den Unterlagen vorliegt und die Eintrittswahrscheinlichkeit der Gefahr für das Kombilager 30 % sein sollte.

Hinsichtlich der weiteren Behandlung der entleerten TLB aus der Zwischenlagerung sieht die Nagra keine nassen Verfahrensschritte für die Reinigung und Dekontamination der TLB vor, weshalb keine Infrastruktur zur Sammlung und Verarbeitung grösserer Mengen kontaminierter Dekontaminationslösungen in der OFA eingeplant ist. Das ENSI begrüsst, dass die Nagra die Gefahr einer möglichen Kostenerhöhung aufgrund weiterer notwendiger Anlagen zur Behandlung radioaktiver Betriebsabfälle (G-17) berücksichtigt und dass sie gemäss Entsorgungsprogramm 2021 /40/ die Entsorgung der TLB-Tragkörbe im Abfallmengengerüst vorsieht, da die Dekontamination der Tragkörbe wahrscheinlich nicht mit vertretbarem Aufwand erfolgreich durchgeführt werden kann. Zudem ist laut Objektliste OFI (/11/, A2-15) ein Abklinglager für behandelte TLB vorgesehen (vgl. /15/, S. 75). Der Kostenabschätzung wurde ein überarbeitetes Konzept für den Betrieb einer TLB-BHA zugrunde gelegt. Damit wurde aus Sicht des ENSI die Empfehlung 4-5 aus der Stellungnahme des ENSI zur Kostenstudie 2016 /29/ stufengerecht berücksichtigt. Das ENSI geht davon aus, dass die Betriebsabläufe in der TLB-BHA, insbesondere hinsichtlich der vorgesehenen TLB-Reinigungsarbeiten, für das RBG weiter konkretisiert werden.

Die für die Kostenschätzung verwendeten geometrischen Kennzahlen der OFA sind laut der Prüfung des ENSI für die einzelnen Anlagenteile jeweils plausibel und entsprechen den Angaben in den zugrunde liegenden Konzepten.

Der Ausbau der OFA des Kombilagers soll laut Angabe der Nagra, gleich wie bei der OFA das HAA-Lagers /11/, eine Betriebsdauer von 25 Jahren ermöglichen /13/. Laut Realisierungsplan zum Kombilager /19/ beginnt der Einlagerungsbetrieb HAA 10 Jahre nach Beginn des Einlagerungsbetriebs SMA und dauert etwa 15 Jahre.

Zusammen mit den von der Nagra getroffenen Annahmen für die Inbetriebnahme (3 Jahre) und den Nachbetrieb (5 Jahre) ergibt das eine Betriebsdauer von 33 Jahren. Auf Anfrage des ENSI vom 03.02.2022 hat die Nagra mitgeteilt, dass die zum Einlagerungsbetrieb notwendigen Elemente der Oberflächeninfrastruktur (z. B. Verpackungsanlagen) der beiden Lagerteile beim Kombilager nicht zur selben Zeit gebaut und betrieben werden, weshalb aus Sicht der Nagra für diese Elemente auch beim Kombilager eine Betriebsdauer von 25 Jahren angemessen ist. In einer ergänzenden Rückmeldung vom 15.03.2022 präzisiert die Nagra, dass alle weiteren Gebäude, welche für den Betrieb beider Lagerteile benötigt werden, auf eine längere Betriebsdauer ausgelegt sind und das in den Basiskosten auch so berücksichtigt ist. Für zukünftige Kostenstudien wird die Nagra bei der Dokumentation darauf achten, dass für jedes Gebäude separat die Nutzungsdauer dargelegt wird.

Das ENSI kommt zum Schluss, dass die verwendeten Konzepte für die Oberflächenanlagen des SMA-Lagers, des HAA-Lagers und des Kombilagers für die Schätzung der Kosten in der Kostenstudie 2021 geeignet sind. Allfällige Auswirkungen der erkannten Unstimmigkeiten in den Angaben zum Kombilager hinsichtlich Betriebsdauer der OFA und Eintrittswahrscheinlichkeit der Gefahr, die Synergien mit dem ZZL der Zwilag nicht nutzen zu können, werden im Vergleich zur Planungsunschärfe zum gegenwärtigen Projektstand nicht ins Gewicht fallen.

4.5.4 Untertagebauwerke

Angaben der Kostenstudie

Die bei den Basisvorhaben (HAA- und SMA-Lager) und der Variante eines Kombilagers vorgesehenen Zugänge nach untertage, Anlagenelemente und Untertagebauwerke auf Lagerebene sind in den Berichten /11/, /12/ und /13/ beschrieben. Im Bericht /15/ sind die von der Nagra betrachteten Chancen und Gefahren beschrieben, welche sich auf die kalkulierten Basisprojekte mit ihren Basiskosten und den Varianten beziehen. Zusätzliche Informationen und Unterlagen wurden bereitgestellt und im Rahmen von Fachgesprächen erläutert.

Beurteilung des ENSI

Schwerpunkte der Überprüfung waren diejenigen technischen Aspekte, welche den Hauptteil der Gesamtkosten für den Rohbau ausmachen. Dabei wurden insbesondere folgende Themen betrachtet:

- Vollständigkeit und technische Machbarkeit der Basisprojekte und der Variante Kombilager;
- technische, terminliche, organisatorische und betriebliche Annahmen für die Kostenberechnung (z. B. Massen, Leistungsannahmen, Termine, Abläufe und Arbeitsprozesse);
- Gefahren und Chancen.

Die Fachleute und Experten des ENSI haben sich bei ihrer Prüfung insbesondere auf die Aspekte der Bautechnik und der Baulogistik sowie auf die Bauzeiten im Realisierungsplan und die Gefahren und Chancen fokussiert. Das Mengengerüst aus dem jeweiligen Leistungsverzeichnis der Projekte wurde stichprobenartig überprüft. Nachfolgend wird die Beurteilung des ENSI zu einzelnen Aspekten erläutert. Die daraus resultierenden Empfehlungen des ENSI für die nächste Kostenstudie (Empfehlungen 4-3 bis 4-8) sind im Kapitel 7 zusammengestellt.

1) Bautechnische Aspekte

Die Basisprojekte der einzelnen Lagertypen wurden seit der Kostenstudie 2016 deutlich weiterentwickelt. Die Erkenntnisse aus dem Evaluationsverfahren für die Oberflächenstandorte und entsprechende Konsequenzen für die untertägige Erschliessung sind in die Projektierung eingeflossen. Ebenfalls liegen nun detailliertere Angaben zu den Haupterschliessungsbereichen vor. Die bautechnischen Angaben wurden auf Plausibilität, Vollständigkeit und Konsistenz innerhalb der eingereichten Berichte geprüft und mit den Angaben in der Kostenstudie 2016 verglichen. Die wesentlichen Feststellungen dazu und die wichtigsten Änderungen aus bautechnischer Sicht seit der Kostenstudie 2016 werden nachfolgend zusammengefasst.

Lagerlayout

In der Kostenstudie 2021 wurden am Layout der HAA- und SMA-Lager einige Anpassungen gegenüber den Basisprojekten der Kostenstudie 2016, mit den entsprechenden Auswirkungen auf die Variante «Kombilager», vorgenommen. Das Layout des SMA-Lagers wurde folgendermassen geändert:

- der Zugangstunnel ist länger;
- der Zentrale Bereich / Haupterschliessungsbereich sowie der Bereich der Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen Untertag (BEUU) sind wesentlich umfangreicher;
- die Abzweiger in die Lagerstollen sind komplexer geworden (schiefwinklige Anbindung);
- die Anzahl der Querverbindungstunnel wurde von 3 auf 4 erhöht.

Das Layout des HAA-Lagers wurde folgendermassen geändert:

- ein Zugangsschacht ist jetzt an Stelle eines Zugangstunnels vorgesehen;
- der Zentrale Bereich / Haupterschliessungsbereich sowie der Bereich der BEUU sind wesentlich umfangreicher;
- die Bau-, Verbindungs-, und Lüftungstunnel sind wesentlich länger;
- die Anzahl der Lagerstollen wurde von 20 auf 18 reduziert.
- die Abzweiger in die Lagerstollen sind komplexer geworden (schiefwinklige Anbindung);
- die Anzahl der Querverbindungstunnel wurde verdoppelt.

Die Änderungen im Layout des Kombilagers entsprechen den vorher erwähnten Änderungen im Layout der SMA- und HAA-Lager.

Querschnittsgrössen, Lichtraumprofil und bautechnischer Nutzraum

In den Vorhabenbeschreibungen /11/, /12/ und /13/ der einzelnen Lagertypen sind u. a. die räumlichen Anforderungen an die einzelnen Objekte definiert. Die in den Unterlagen dokumentierten Normalprofile (Bauwerksquerschnitte) wurden klein gewählt und wirken optimiert. Die dafür verwendeten Kriterien sind aus Sicht des ENSI nicht transparent dargelegt. Die in den vorgesehenen Querschnitten zu berücksichtigenden Räume (z. B. bautechnischer Nutzraum, Fluchtwege, Raumzuschläge bei den Fahrzeug-Lichtraumprofilen) bewegen sich oft am unteren Rand der in den Normenwerken (SIA, VSS) empfohlenen Grössen und unterschreiten diese sogar teilweise. Dadurch entstehen schon jetzt optimierte Querschnittsgrössen, was im Laufe der weiteren Projektierung dazu führen kann, dass diese wieder vergrössert werden müssen. Dies könnte zu entsprechenden Mehrkosten führen. Optimierungen dieser Art können zwar technisch vertretbar sein, es empfiehlt sich jedoch, diese nicht zu früh in der Planung umzusetzen. Dies gilt insbesondere im Rahmen der Kostenschätzungen von Projekten, deren Realisierung erst viel später erfolgt. Die Erfahrung zeigt auch, dass eine allzu differenzierte Betrachtung/Auslegung der Querschnittsgrössen in Hinsicht auf eine rationelle und qualitätsorientierte Ausführung abzuwägen ist. Aus Sicht des ENSI ist eine Vergrösserung der Querschnitte und somit eine Erhöhung der Kosten für die Erstellung der Bauwerke auf Lagerebene (mit Ausnahme der HAA-Lagerstollen) sowie für den Zugangstunnel SMA um 5 % sehr gut möglich. Eine Vergrösserung in dieser Grössenordnung hat vermutlich keinen Einfluss auf die Bauzeit.

Vortriebsmethode

Die bei der Kostenstudie 2021 zugrunde gelegten Vortriebsmethoden für die Erstellung der Untertagebauwerke weichen teilweise von den in der Kostenstudie 2016 vorgesehenen Vortriebsmethoden ab. Gemäss der Kostenstudie 2021 werden alle Bauwerke auf Lagerebene, mit Ausnahme der HAA-Lagerstollen, mittels Sprengvortriebs ausgebrochen. In der Kostenstudie 2016 war für die Erstellung dieser Bauwerke der maschinenunterstützte Vortrieb im Fels (MUF) mit einer Teilschnittmaschine vorgesehen. Die HAA-Lagerstollen wer-

den neu mittels einer Tunnelbohrmaschine (Schild-TBM) ausgebrochen und mit vorfabrizierten Betonsegmenten ausgebaut (Tübbingausbau). In der Kostenstudie 2016 wurde der Vortrieb mit einem Schild-TBM als Variante betrachtet.

Der in der Kostenstudie 2021 vorgesehene Sprengvortrieb entspricht einer wesentlichen Änderung im Vergleich zur Kostenstudie 2016. Der Sprengvortrieb ist zwar rein technisch gesehen möglich, jedoch gilt der in der Kostenstudie 2016 vorgesehene maschinenunterstützte Vortrieb im Fels (MUF) als gebirgsschonende Vortriebsmethode. Dieses Vortriebsverfahren würde im Vergleich zum Sprengvortrieb das Gebirge und damit die geologische Barriere des Tiefenlagers weniger schädigen. Aus diesem Wechsel entstehen nun Gefahren, welche in der Kostenstudie 2021 zu berücksichtigen sind.

Im Falle eines behördlich verlangten Ausschlusses des Sprengvortriebs ist aufgrund der Erfahrungen aus vergleichbaren Bauvorhaben mit Mehrkosten für das geologische Tiefenlager zu rechnen. Auswertungen aktueller Ausführungsprojekte zeigen, dass die Kosten im Zusammenhang mit einem Sprengvortrieb um mindestens 20 bis 30 % tiefer sind als mit einem MUF. Da der Kostenstudie 2021 ein Sprengvortrieb zugrunde liegt, besteht die Gefahr, dass die Kosten unterschätzt werden. Hinzu kommt, dass der Sprengvortrieb tendenziell ca. 10 bis 20 % schneller als der MUF ist. Eine Aussage über die Bauzeit zu treffen gestaltet sich aber als schwierig, denn nur schon die Vortriebsleistung alleine ist von zahlreichen anderen Faktoren abhängig (z. B. Schutterkapazität auf Lagerebene, Schutterkapazität Betriebsschacht etc.).

Eine während der Realisierung bauherrenseitig als notwendig erachtete Umstellung der Vortriebsmethode würde weitere Gefahren bringen, z. B. erhöhte Einheitspreise, welche zu Kostenerhöhungen führen würden, da diese Umstellung nicht unter Konkurrenz angeboten werden würde. Dieses Szenario wird allerdings aufgrund der im Vorfeld vertieften geologischen Erkundungen, geotechnischen Untersuchungen, Experimente und Demonstrationen, welche in den Standorten der SMA- und HAA-Lager oder im Standort eines Kombilagers im Rahmen der erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertage (EUU) geplant sind, als unwahrscheinlich erachtet.

Das ENSI geht davon aus, dass die Vortriebsmethoden für die Erstellung der Untertagebauwerke anhand belastbarer Grundlagen bis zum Baubewilligungsgesuch konkretisiert werden.

2) Baulogistische Aspekte

Im Untertagebau spielt die Logistik eine zentrale Rolle. Oft entscheiden Aspekte der Logistik über die termingerechte Umsetzung eines Bauwerks. Bei Verzögerungen entstehen in der Regel Mehrkosten, die der Bauherr mitzutragen hat. Daher sind die damit zusammenhängenden und im Wesentlichen an die Grösse des auszubrechenden Querschnitts zu stellenden Anforderungen frühzeitig zu identifizieren und in der Planung sowie entsprechend in der Kostenschätzung zu berücksichtigen (z. B. für die Abstellung der Baugeräte, Fluchtwege, Rettungscontainer, Lüftungs-/Entstaubungs-/Entwässerungsanlagen, Energieversorgung und Materiallager etc.). Erfahrungen zeigen, dass insbesondere für untertägige Arbeiten der Platzbedarf für die Baulogistik auf Planungsseite oft unterschätzt wird.

Die HAA-Lagerstollen werden mittels Tunnelbohrmaschinen aufgefahren. Gemäss den Vorhabenbeschreibungen ist einzig mit der Kaverne für die Montage der Tunnelbohrmaschinen ein Bereich explizit der Baulogistik zugewiesen. Räumlichkeiten für weitere Aspekte der Baulogistik wurden noch nicht erkannt respektive sind im zentralen Bereich erst skizzenhaft zur Erläuterung der Basiskosten dargestellt. Da diese Bereiche und das Verständnis der logistischen Abläufe im Vergleich zu den restlichen Angaben in den Vorhabenbeschreibungen weniger detailliert dargestellt sind, sollten die entsprechenden Gefahrenpositionen – wie z. B. G-22 «Mehraufwand Baulogistik/Bauverfahren» – grosszügig bemessen werden.

Speziell zu beachten sind die statisch und bautechnisch anspruchsvollen Verschneidungsbereiche der verschiedenen Untertagebauwerke bzw. zu den Erschliessungsschächten hinsichtlich des Platzbedarfs für den Einsatz der Baugeräte, insbesondere bei nahezu rechtwinkligen Verschneidungen. Dies hat einen wesentlichen Einfluss auf die Grösse des auszubrechenden Bauwerksquerschnitts und somit auf die Kosten.

Aus den Vorhabenbeschreibungen geht nicht eindeutig hervor, wie der Bauablauf für die Erstellung der HAA-Lagerstollen mittels Tunnelbohrmaschinen ist. Es ist beispielsweise nicht klar, welche Arbeiten in der Kaverne für die Montage der Tunnelbohrmaschinen (Montagekaverne) bzw. in den Startkavernen der HAA-Lagerstollen erfolgen und wie die Tunnelbohrmaschinen umgesetzt werden. Der Innendurchmesser des Querschnitts der Startstrecke beträgt 3,80 bis 4,00 m. Sollte die Tunnelbohrmaschine für den Vortrieb eines HAA-Lagerstollens mit einem Ausbruchdurchmesser von ca. 3,40 m in der Startstrecke installiert werden, würde somit lediglich ein Montageraum von rund 20 bis 30 cm um die Tunnelbohrmaschine zur Verfügung stehen. Dieser Raum lässt praktisch keine Montagearbeiten an der Tunnelbohrmaschine zu. Aus heutiger Sicht geht das ENSI davon aus, dass die Tunnelbohrmaschinen jeweils vollumfänglich in der Montagekaverne zusammengebaut und anschliessend in die Startstrecken hineingeschoben werden, was als machbar erachtet wird.

Die Nagra beabsichtigt zwei Tunnelbohrmaschinen parallel zu installieren und zwei HAA-Lagerstollen pro Jahr zeitgleich zu erstellen. Dies erhöht die Anforderung an die Baulogistik, da gemäss dem aktuellen Bauprogramm in der Montagekaverne genügend Platz für die parallele Montage und Wartung von zwei Tunnelbohrmaschinen vorhanden sein müsste. Ebenfalls müssten zwei Tunnelvortriebe parallel durch den gleichen Betriebstunnel logistisch bedient werden. Der aktuell vorgesehene Platz in der Montagekaverne und im Betriebstunnel ist aus Sicht des ENSI für das geplante Vorgehen wohl kaum ausreichend. Jedoch könnte der vorhandene Platz wie auch die vorgesehene Realisierungszeit ausreichen, wenn nicht mit zwei Tunnelbohrmaschinen gleichzeitig gearbeitet würde.

Zentral für die Bedienung der Baustelle und zur Einhaltung der Termine beim HAA-Lager bzw. Kombilager sind die Kapazität und die Zuverlässigkeit (wenig Ausfälle) der Schachtförderanlage des Betriebsschachts, da der Betriebsschacht das Nadelöhr der Baustelle ist. Ein Grossteil der logistischen Lieferungen (Ausbruchsmaterial, Beton, Stahl, Maschinen, Personal, Container usw.) werden über den Betriebsschacht abgewickelt. Aktuell gibt es keine Anzeichen dafür, dass die vorgesehene Kapazität der Schachtförderanlage (4'000 t/Tag, maximal 24 t/Fahrt) nicht ausreicht. Auch in der weiteren Projektentwicklung ist der notwendigen Kapazität der Schachtförderanlage und der Zugänglichkeit zum Schacht hohe Beachtung zu schenken.

3) Mengengerüst (Leistungsverzeichnis)

Basierend auf den Mengengerüsten und Profilfestlegungen in den Vorhabensbeschreibungen der Basisprojekte wurden einerseits die Vollständigkeit der Leistungsbeschriebe (NPK-Kataloge) und andererseits die Plausibilität der Mengenangaben (Vorausmasse) in den Leistungsverzeichnissen des Bauunternehmers mit Stichprobenberechnungen überprüft.

Die Leistungsverzeichnisse umfassen die wesentlichsten Positionen, welche mit Anlagenlayout, Profiltypen und Mengentabellen in den Vorhabensbeschreibungen der Basisprojekte dokumentiert sind. Die überprüften Vorausmassen sind korrekt. Jedoch sind keine Positionen für die in den Projektbeschrieben nicht definierten Leistungen (z. B. Bauhilfsmassnahmen) und spezielle Leistungen (z. B. Erschwernisse) ersichtlich.

Für längeres Vorhalten der Baustelleneinrichtungen sind nur «per»-Positionen (d. h. ohne Vorausmass) aufgeführt. Ein allfällig längeres Vorhalten von Baustelleneinrichtungen kann hohe Kosten verursachen. Gemäss Angaben der Nagra sind diese durch die pauschalen Zeitreserven je Phase, unter Vorhaltung sämtlicher Kosten der betreffenden Phase, abgedeckt.

Für die Erstellung der statisch und bautechnisch anspruchsvollen Verschneidungsbereiche von Untertagebauwerken hat die Nagra in der Kostenstudie 2021, abgesehen vom Übergang der Schächte zu den horizontalen Tunnelbereichen, keine generellen Zeit- oder Kostenzuschläge vorgesehen. Die Länge der Tunnelbauwerke wurde jedoch gemäss Erläuterung der Nagra bei solchen komplexen Bereichen immer über die gesamte Achse gerechnet, d. h. ab dem Schnittpunkt der Achsen. Dadurch werden fiktive Mehrlängen (doppelte Tunnelmeter) in den Kosten berücksichtigt, die den bautechnischen Mehraufwand dieser Bereiche abdecken sollen. Aus Sicht des ENSI trägt diese Systematik der Kostenberechnung der technischen Komplexität der Verschneidungsbereiche (auch der weiteren Verschneidungen, z. B. im Haupterschliessungsbereich) zu wenig Rechnung. Zudem hat auch der Platzbedarf für den Einsatz der Baugeräte bei der Verschneidung von Tun-

nelbauwerken (speziell bei nahezu rechtwinkligen Verschneidungen) einen wesentlichen Einfluss auf Profilgrössen und somit auf die Kosten. Auch der zeitliche Aufwand wird mit der von der Nagra angewendeten Methodik vermutlich unterschätzt. Während der zeitliche Mehraufwand wahrscheinlich im Rahmen der Reservezeiten aufgefangen werden kann (keine Verlängerung des Realisierungsprogramms erwartet), erwartet das ENSI bei den anspruchsvollen Verschneidungsbereichen höhere Kosten als in der Kostenstudie 2021 berücksichtigt. Bei zum Teil über 60 Verschneidungen pro Lagertyp kumulieren sich die Erschwernisse (Kosten und Zeit). Daher muss diesem Aspekt in der weiteren Projektentwicklung detaillierter Beachtung geschenkt werden.

4) Bauzeiten (Realisierungsplan)

Der Realisierungsplan des HAA-Lagers wurde stichprobenartig geprüft. Unter anderem wurden die Phasen des Realisierungsprogrammes mit den in der SIA-Norm beschriebenen Phasen von Grossprojekten aus dem Untertagbau verglichen. Dabei wurde festgestellt, dass im Realisierungsplan des HAA-Lagers (Abbildung 5) kaum Zeit für die Arbeitsvorbereitung des Unternehmers ausgewiesen wird und auch nur geringe oder keine Bauzeitreserven sowie keine Zeitzuschläge für spezielle Bauteile (z. B. Stollenverzweigungen) erkennbar sind.

Es erscheint jedoch als realistisch, dass in den vorgesehenen Zeiten gemäss Realisierungsplan die einzelnen Phasen realisierbar sind, wenn die einzelnen Schritte aufeinander abgestimmt werden und sich einzelne Aspekte der Arbeiten auch zeitlich überlagern können. In der gemeinsamen Sitzung vom 19.01.2022 hat die Nagra ausserdem nachvollziehbar erläutert, dass entsprechende Reserven direkt in den einzelnen Zeitblöcken einberechnet sind, ohne dass diese spezifisch ausgewiesen wurden.

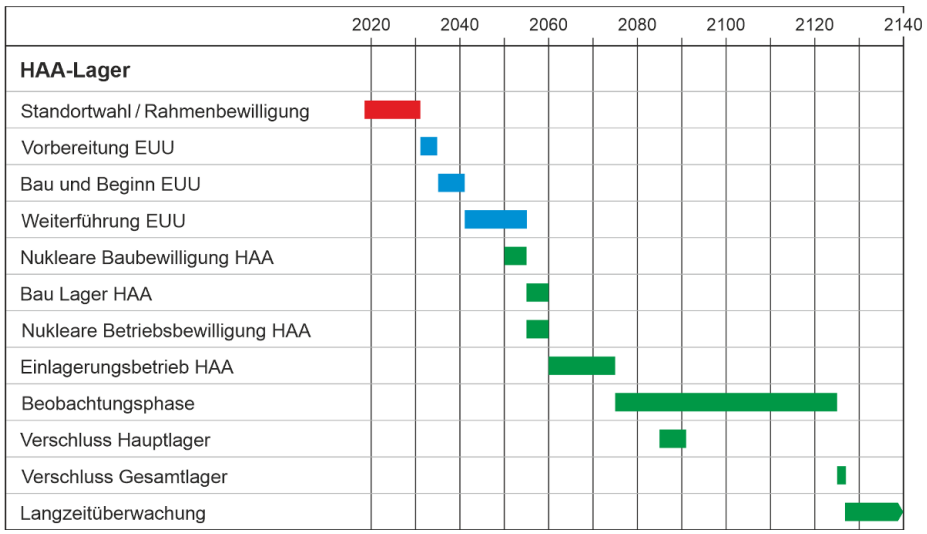


Abbildung 5: Realisierungsplan des HAA-Lagers /19/

Gemäss den Erläuterungen der Nagra zu den Basiskosten des Rohbaus ist für den Bau der Schächte (in der Phase «Bau und Beginn EUU») und der HAA-Lagerstollen ein Durchlaufbetrieb vorgesehen (24 h/AT, 7 AT/Woche). Gemäss Artikel 4 des Arbeitsgesetzes (SR 822.11) ist ein Durchlaufbetrieb bewilligungspflichtig. Er wird bewilligt, sofern dieser «aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen unentbehrlich ist» oder «ein dringendes Bedürfnis nachgewiesen wird». Beide Fälle wären aus heutiger Sicht der Experten des ENSI beim geologischen Tiefenlager nicht gegeben. Die möglichen daraus entstandenen Konsequenzen sollten berücksichtigt werden. Es ist davon auszugehen, falls ein Durchlaufbetrieb für den Bau der Schächte in der Phase «Bau und Beginn EUU» nicht bewilligt werden sollte, dass der Bau der Schächte insgesamt 40 % länger dauern würde (7/5 = 140 %) als in der Kostenstudie 2021 vorgesehen. Gemäss dem Bauprogramm des HAA-Lagers beträgt die Bauzeit der Schächte auf dem kritischen Weg ca. 3,2 Jahre (Betriebs- und Lüftungsschacht, Bauphase 1). Erhöht man die Bauzeit aufgrund des Entfalls des Durchlaufbetriebs um 40 % ergibt sich neu eine Bauzeit für die Schächte (kritischer Weg) von 4,5 Jahren und somit einer Verlängerung um 1,3 Jahre.

Falls diese Verlängerung vollständig gebraucht werden sollte, würde es gemäss Abbildung 5 zu einer Verzögerung der nuklearen Baubewilligung des HAA-Lagers kommen. Dafür ist im Bericht /15/ die Gefahr G-38 (Verzögerung nukleare Baubewilligung) vorgesehen. Diese Gefahr ist mit einer Verzögerung der nuklearen Baubewilligung von 3 Jahren mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 30 % veranschlagt. Dies ergibt einen Erwartungswert der Verzögerung von einem Jahr. Damit wäre die Gefahr aufgrund des sehr wahrscheinlich nicht bewilligten Durchlaufbetriebs bereits vollständig ausgeschöpft respektive nicht ausreichend erfasst.

Bei der Variante Kombilager ist gemäss der Vorhabensbeschreibung /13/ geplant, die SMA parallel zur Erstellung des Bau- und des Betriebstunnels zum HAA-Lager einzulagern. Aufgrund der Analyse des beschriebenen Bauablaufs wurde erkannt, dass sich bei einem Abschnitt des Betriebstunnels die Versorgungswege der Einlagerung der SMA mit dem Bau der Zugänge zu den HAA-Lagerstollen temporär kreuzen. In der gemeinsamen Sitzung vom 19.01.2022 hat die Nagra erläutert, dass aufgrund des grossen zeitlichen Puffers von einigen Jahren zwischen der Einlagerung der SMA und der Einlagerung der HAA aktuell ein solcher Konflikt vermieden werden kann.

Die Realisierungsplanung befindet sich stufengerecht noch auf einem groben Niveau. Es ist durchaus möglich, dass Optimierungen sowie Anpassungen im Projekt- und Bauablauf mit der sich weiter detaillierenden Planung ersichtlich werden, welche die sich abzeichnenden Gefahren (Entfall Durchlaufbetrieb, grösserer Zeitbedarf für den Bau der Verzweigungsbereiche etc.) zu kompensieren vermögen.

Aufgrund der aktuell vorhandenen Grundlagen erachtet es das ENSI als realistisch, dass der Bau des geologischen Tiefenlagers im Zeitrahmen gemäss Realisierungsplan unter Berücksichtigung der oben erwähnten zeitlichen Gefahren realisiert werden kann. Für die Auswirkungen einer Verzögerung in Relation zum Realisierungsplan sind Kosten- resp. Gefahrenpositionen in der Kostenstudie 2021 berücksichtigt.

5) Gefahren und Chancen

Die im Bericht /15/ dokumentierten Chancen und Gefahren decken die ganze Breite der relevanten Themen ab und sind stufengerecht beschrieben.

Folgende Gefahren aus der Kostenstudie 2016 sind nicht mehr im Chancen- und Gefahrenkatalog der Kostenstudie 2021 aufgeführt: G-12 SMA: Zusätzlicher Schacht; G-24 HAA: Zutritt salines Bergwasser in grösseren Mengen und G-36 SMA: Stark wasserführendes System bei Rampe HAA-Lager. Das ENSI kann diese Anpassungen nachvollziehen.

Einzelne Gefahrenpositionen dienen als «Sammelgefäss» für verschieden relevante Aspekte. Dies betrifft hauptsächlich die Gefahr G-09 «Ungünstige Geologie auf Lagerebene» und G-22 «Mehraufwand Baulogistik / Bauverfahren» für bautechnisch Aspekte sowie die Gefahr G-38 «Verzögerung nukleare Baubewilligung» für terminliche Aspekte. In den genannten Gefahrenpositionen sind beispielsweise eine mögliche Umstellung der Vortriebsmethode vom Sprengvortrieb auf den maschinenunterstützten Vortrieb im Fels (MUF) oder auch die Konsequenzen eines nicht bewilligten Durchlaufbetriebs enthalten. Unter Berücksichtigung dieser Gefahrenpositionen («Sammelgefässe») und ihrer breiten Abdeckung kann festgehalten werden, dass keine fehlenden relevanten Chancen oder Gefahren erkannt wurden und der im Bericht /15/ enthaltene Chancen- und Gefahrenkatalog entsprechend als stufengerecht vollständig beurteilt wird. Im Hinblick auf die nächste Kostenstudie sollten die als «Sammelgefäss» dienenden Gefahrenpositionen zusätzlich untergliedert und die wesentlichen Gefahren daraus separat aufgeführt werden. Dies würde auch die Weiterverfolgung der Chancen und Gefahren bei der weiteren Projektentwicklung vereinfachen respektive deren Nachvollziehbarkeit begünstigen.

Eine Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit der Chancen und Gefahren ist ohne genauere Kenntnis der Grössenordnung bzw. Zusammensetzung des Schadenausmasses («was ist darin enthalten») sowie der Grössenordnung der Kostenpositionen, auf welche sich die Gefahren bzw. Chancen beziehen, sehr schwierig und kann durch die Experten des ENSI alleine nicht abschliessend beurteilt werden. Aus diesem Grund haben die Experten des ENSI diejenigen Gefahren bzw. Chancen kommentiert, welche den Mandatsperimeter «Rohbau Teilprojekt geologische Tiefenlager» betreffen und durch die Kostenexperten bezüglich Ausmasses und

Eintrittswahrscheinlichkeit speziell beurteilt und allenfalls angepasst werden sollten. Ausserdem wurden weitere Hinweise an die Kostenexperten formuliert, um die quantitative Prüfung der aus bautechnischer Sicht relevanten Gefahren zu unterstützen.

Das Thema «Chancen und Gefahren» wurde abschliessend im Rahmen eines Workshops mit Beteiligung des ENSI und seiner Experten sowie der Kostenexperten behandelt. Die Diskussionsergebnisse haben bestätigt, dass die relevanten Chancen- und Gefahren im Bericht /15/ abgedeckt sind. Es wurde jedoch die Notwendigkeit aufgezeigt und von den Experten des ENSI betont, dass gerade bei den Gefahrenpositionen mit einer breiten Abdeckung («Sammelgefässen») das Schadensausmass unter Berücksichtigung der angenommenen Eintrittswahrscheinlichkeiten überprüft und gegebenenfalls angepasst werden sollte. Entsprechende Grundlagen hierzu wurden den Kostenexperten von den Experten des ENSI zur Verfügung gestellt.

6) Fazit der Überprüfung

Die von der Nagra eingereichten Unterlagen sind umfangreich, grösstenteils vollständig und zeugen von einer gründlichen Arbeit. Der Detaillierungsgrad der bautechnischen Angaben ist stufengerecht, d. h. zwischen den Projektphasen Studie und Vorprojekt. Die dokumentierten bautechnischen Lösungen sind grundsätzlich nachvollziehbar, gut beschrieben und entsprechen weitgehend dem Stand der Technik. Die eingereichten Vorhabenbeschreibungen stellen zusammen mit dem Chancen- und Gefahrenkatalog eine belastbare Basis dar, um darauf aufbauend die bautechnischen Kosten für die Erstellung der einzelnen Lager abzuschätzen.

Aus Sicht des Betriebs und der Logistik können Anforderungen an die Elemente des geologischen Tiefenlagers gestellt werden, welche über die rein bautechnischen Anforderungen hinausgehen. Der aktuelle Wissensstand zu diesen Themen ist stufengerecht und soll mit der weiteren Entwicklung der Planung und der Projektierung vertieft werden. Um die Anforderungen aus dem Betrieb systematisch zu dokumentieren, empfiehlt das ENSI, eine Nutzungsvereinbarung zu erstellen. Ferner ist in Zukunft insbesondere darauf zu achten, dass das Anlagelayout und die Querschnitte der Untertagebauwerke des geologischen Tiefenlagers sowohl die Anforderungen aus dem Bau als auch aus dem Einlagerungsbetrieb vollständig abdecken. Hierbei ist insbesondere der Baulogistik spezielle Beachtung zu schenken. Diese aktuell noch nicht vollständig bekannten Anforderungen sind bei der Beurteilung der Kostenfolgen mit sinnvollen Annahmen bei der Betrachtung von potentiellen Gefahren im Chancen- und Gefahrenkatalog /15/ zu berücksichtigen.

4.5.5 Sicherungsmassnahmen

Angaben der Kostenstudie

Die Kostenstudie 2021 beschreibt in Bezug auf die Sicherungsmassnahmen die gesetzlichen und regulatorischen Vorgaben. Dabei werden auch die aktualisierten regulatorischen Vorgaben (Richtlinien des ENSI) berücksichtigt. Die mögliche Umsetzung dieser Vorgaben werden gegenüber der Kostenstudie 2016 in konkreterer Weise beschrieben.

Gegenüber der Kostenstudie 2016 wird auf die Beschreibung der Safeguardsmassnahmen verzichtet. Zudem ist in der aktuellen Kostenstudie 2021 im Kapitel der Sicherungsmassnahmen keine bildliche Darstellung der Oberflächenanlagen mehr enthalten, sondern die modellhafte Umsetzung wird nur im Text beschrieben.

Für ein HAA- oder Kombi-Lager werden in der Kostenstudie 2021 je für die Phasen des Baus der Anlage, des Einlagerungsbetriebs und für die Beobachtungsphase der Umfang der Sicherungsmassnahmen konzeptuell skizziert. Der grösste Aufwand wird während des Einlagerungsbetriebs postuliert, wenn auch Kernmaterial auf der Anlage vorhanden ist. In Bezug auf die Sicherung von Nebenanlagen wird beschrieben, dass dieser voraussichtlich auf den physischen Widerstand beschränkt werden kann.

Beurteilung des ENSI

Die referenzierten gesetzlichen und regulatorischen Vorgaben an die Sicherungsmassnahmen sind vollständig und dem aktuellen Stand nachgeführt. Die in konkreterer Weise beschriebenen Umsetzungen der Vorgaben entsprechen dem aktuellen Stand der Technik und dem Stand der Sicherungsmassnahmen, wie sie in vergleichbaren Kernanlagen umgesetzt werden. Ebenso wird die Bewachung in einer Weise geplant und beschrieben, wie sie nach heutigen Regeln zu erfolgen hat.

Der Vergleich der Oberflächenanlagen mit einem heutigen Zwischenlager und den dort umgesetzten Sicherungsmassnahmen ist nachvollziehbar und korrekt. Dies betrifft auch die Ausführung der physischen Sicherungsschranken für Anlageteile, wo entsprechendes Kernmaterial gelagert und gehandhabt werden soll.

Der Verzicht auf die Beschreibung der Safeguardsmassnahmen in diesem Kapitel ist sinnvoll, weil diese von einer anderen zuständigen Behörde zu beurteilen ist. Auf die Beurteilung der vorgesehenen Massnahmen der nuklearen Sicherung, die auch den Safeguardsmassnahmen dienlich sind, hat dies keinen Einfluss

Das ENSI kommt zum Schluss, dass die Konzepte der Sicherung für die Oberflächenanlagen eines HAA- oder Kombilagers für die Schätzung der Kosten in der Kostenstudie 2021 geeignet sind.

4.5.6 Strahlenschutz und radiologische Überwachung

Angaben der Kostenstudie

Strahlenschutz

Ziel des Strahlenschutzes ist es, Mensch und Umwelt vor Gefährdungen durch ionisierende Strahlen zu schützen. Die Funktionen des Strahlenschutzes umfassen den permanenten und zuverlässigen Einschluss der radioaktiven Materialien während der gesamten Handhabung, die Verhinderung bzw. Minimierung von Kontaminationen sowie die Begrenzung von Strahlungsexposition von Personen.

Die grundlegenden Strahlenschutzprinzipien wie Optimierung oder Begrenzung der Strahlenexposition durch Einhalten der Grenzwerte werden entsprechend der gesetzlichen Vorgaben eingehalten.

Das gesamte Areal wird als überwachter Bereich betrachtet. Die kontrollierten Zonen liegen vollständig im überwachten Bereich und sind entsprechend der gesetzlichen Grundlagen in verschiedene Zonen- und Gebietstypen eingeteilt. Der Zugang zur kontrollierten Zone (Zutritte und Austritte) wird sowohl administrativ überwacht als auch durch bauliche Massnahmen geeignet ausgestaltet. Situativ können die Zonentypen angepasst werden. Das Strahlenschutzkonzept sieht die Einrichtung kontrollierter Zonen des Typs 0 sowie bei Bedarf temporärer kontrollierter Zonen höheren Typs vor, letzteres um ggf. die Durchführung von Bergungs- und Dekontaminationsmassnahmen sicherstellen zu können.

Das Lüftungssystem in der kontrollierten Zone wird eine Unterdruckstaffelung gegenüber Bereichen mit höherer Kontaminationsgefahr gewährleisten. Bei Unterdruckzellen wird die abgesaugte Luft direkt am Ausgang der Zellen filtriert. Die Abluft aus den kontrollierten Zonen wird kontinuierlich radiologisch überwacht und die Abgaben werden bilanziert.

Die Abschirmungen und die Einrichtung sowie die Lage der Arbeitsplätze werden derart ausgelegt, dass die Jahresgrenzwerte der beschäftigten Personen eingehalten werden. In den kontrollierten Zonen sind dekontaminierbare Anstriche und Böden vorgesehen. In der Anlage werden im Normalbetrieb keine Abwässer generiert, ein Verdampfer steht jedoch zur Verfügung, falls doch grössere Mengen kontaminierte Abwässer anfallen würden. Wasserzutritt wird durch bauliche und technische sowie administrative und überwachende Massnahmen ausgeschlossen.

Für die Sortierung, Dekontaminierung und Freimessung von radioaktiven Betriebsabfällen ist eine Betriebsabfallbehandlungsanlage vorgesehen. Das Ziel ist, die radioaktiven Abfälle zu reduzieren und so zu behandeln, dass diese wiederverwendet oder befreit, als konventionelle Abfälle entsorgt werden können.

Qualifiziertes Strahlenschutzpersonal wird in genügender Anzahl vorhanden und mit den für die entsprechenden Aufgaben notwendigen Kompetenzen und Mitteln ausgestattet sein. Sämtliche dosisrelevante Tätigkeiten werden mit den Strahlenschutzsachverständigen abgesprochen und es werden Strahlenschutzplanungen erstellt. Das Personal wird kontinuierlich aus- und weitergebildet.

Radiologische Überwachung

In den Überwachungsbereichen und in der kontrollierten Zone herrscht Dosimetertragepflicht für das Personal, wobei zusätzlich zum anerkannten auch aktive Personendosimeter (APD) eingesetzt werden.

Durch die komplementären Massnahmen der Abschirmung durch Gebäude und technische Barrieren werden die (Orts-)Dosisleistungen (Direktstrahlung) am Zaun die gesetzlich vorgegebenen Grenzwerte eingehalten. Die Überwachung des Grenzwerts erfolgt mittels geeigneter Dosimeter, die an entsprechender Stelle am Zaun installiert sind. Diese werden periodisch kontrolliert und ausgewertet.

Der radiologische Zustand wird an den wichtigen Stellen (z. B. in der kontrollierten Zone) kontinuierlich mit geeigneten Messinstrumenten überwacht. Die radiologische Überwachung und die relevanten Messgeräte sind selbstüberwachend, um einen Geräteausfall zu signalisieren. Alle Messgeräte werden periodisch kalibriert und auf ihre Funktionstüchtigkeit geprüft.

Beurteilung des ENSI

Strahlenschutz

Das Konzept wurde gemäss den zum Zeitpunkt der Erstellung aktuellen gesetzlichen und regulatorischen Vorgaben erstellt und bewirkt einen umfassenden radiologischen Schutz der Beschäftigten und der Bevölkerung. Das ENSI weist jedoch darauf hin, dass die häufig referenzierte Richtlinie HSK-R-07 durch die Richtline ENSI-G12 /49/ ersetzt wurde und die Anforderungen bzw. Referenzen dementsprechend angepasst werden müssen.

Die operationellen Strahlenschutzmassnahmen werden der radiologischen Lage innerhalb der kontrollierten Zone angepasst und es werden entsprechend Zonen- und Gebietstypen definiert. Das ENSI weist für temporäre Änderungen hinsichtlich des Strahlenschutzes auf die Meldepflicht gemäss Richtlinie ENSI-B03 /50/ hin. In der kontrollierten Zone herrscht ein Unterdruck und die Abluft wird kontinuierlich überwacht. Die Abluft aus der Oberflächenanlage wird kontinuierlich gefiltert und bei Bedarf kann die Abluft aus den untertägigen Bereichen in die Filteranlage der Oberflächenanlage geführt werden. Ergänzend zur vorgesehenen fest installierten Überwachungsinstrumentation sieht das ENSI einen Bedarf an mobilen Dosisleistungsmessgeräten an Orten mit möglicherweise stark wechselnden Strahlenfeldern, die situativ je nach geplanten Tätigkeiten eingesetzt werden können.

Das Erstellen von Strahlenschutzplanungen für dosisrelevante Tätigkeiten von Strahlenschutz-Sachverständigen trägt nach Auffassung des ENSI dazu bei, dem Optimierungsgrundsatz Rechnung zu tragen. Das ENSI geht davon aus, dass die Planungen auch Dosisabschätzungen gemäss Richtlinie ENSI-G15 /51/ enthalten. Der Einsatz von qualifiziertem Personal, welches kontinuierlich aus- und weitergebildet wird, trägt ebenfalls zur Optimierung der Strahlenexposition bei und hilft den Stand von Wissenschaft und Technik einzuhalten.

Es wird erwähnt, dass wenn der Radon-Schwellenwert nach Art. 156 StSV /25/ überschritten werden sollte, entsprechende Massnahmen gemäss Art. 167 StSV vorgesehen sind. Das ENSI geht davon aus, dass hierfür Radonmessungen gemäss Art. 165 StSV durchgeführt werden und falls notwendig eine geeignete radiologische Überwachung eingerichtet wird.

Die Verwendung eines Verdampfers zur Beseitigung von unerwarteten kontaminierten Abwässern betrachtet das ENSI als technisch geeignet. Somit wurde die Empfehlung 4-5 aus der Kostenstudie 2016 berücksichtigt. Die Einrichtung einer Betriebsabfallbehandlungsanlage wird als zielführend für die Minimierung der radioaktiven Betriebsabfälle bewertet.

Es wird erwähnt, dass das Strahlenschutzpersonal mit den für die entsprechenden Aufgaben notwendigen Mitteln ausgestattet sein wird. Das ENSI geht davon aus, dass die persönliche Schutzausrüstung sowie Material zur Dekontamination darin inbegriffen sind. Dem ENSI stellt sich die Frage, wie mit allfällig kontaminierter Schutzausrüstung bzw. Schutzkleidung umgegangen wird. Dies ist in der nächsten Kostenstudie zu berücksichtigen.

Empfehlung 4-9: Der Umgang mit allfällig kontaminierter Schutzausrüstung bzw. Schutzkleidung ist in den folgenden Aktualisierungen der Kostenstudie zu berücksichtigen.

Das ENSI stellt fest, dass die Begrenzung der Strahlenexposition durch die vorgesehenen Mittel und Massnahmen eingehalten werden kann.

Radiologische Überwachung

Die radiologische Überwachung des Personals durch den Einsatz von anerkannten und aktiven Personendosimetern (APD) sowie die regelmässige Dosismeldung nach Richtlinie ENSI-B09 /52/ entspricht dem Stand der Technik.

Das ENSI betrachtet die vorgesehenen Überwachungsmassnahmen und -systeme sowie die periodische Kontrolle und Auswertung als ausreichend, um einen griffigen Strahlenschutz zu betreiben. Das ENSI geht davon aus, dass die Ergebnisse aus den Kontrollen protokolliert bzw. dokumentiert werden.

4.5.7 Nukleare Betriebssicherheit

Angaben der Kostenstudie

In der übergeordneten Vorhabensbeschreibung /19/ der Kostenstudie 2021 legt die Nagra die Ziele und die modellhafte Umsetzung der nuklearen Betriebssicherheit dar.

Das oberste Ziel der nuklearen Betriebssicherheit eines geologischen Tiefenlagers ist in Anlehnung an das allgemeine Schutzziel in der Richtlinie ENSI-G03 /53/ und UVEK /54/ der dauerhafte Schutz von Mensch und Umwelt vor der ionisierenden Strahlung der radioaktiven Stoffe. Dies gilt während der gesamten Betriebsphase, d. h. bis zum ordnungsgemässen Verschluss des Lagers.

Bei der Wahl des Standortareals, insbesondere des Standorts der Oberflächenanlage, werden geologische Gefahren berücksichtigt. Zudem wird die Wahl der Standortareale auch im Hinblick auf eine ausreichend räumliche Entfernung zu zivilisatorischen Gefahrenquellen (bspw. Hochdruck-Gasleitungen, Militäranlagen) optimiert.

Die Gebäudehülle und ggf. weitere Strukturen leisten einen ausreichenden Widerstand gegen Einwirkungen von aussen, so dass bei einem Störfall der erforderliche Schutz der darin befindlichen sicherheitsrelevanten Systeme und radioaktiven Abfälle sichergestellt ist. Bei Handhabungen und Transporten von radioaktiven Materialien sind die Fallhöhen und Geschwindigkeiten durch bauliche und/oder technische Massnahmen begrenzt, so dass die mechanische Belastung im Störfall den Widerstand der Behälter nicht überschreitet. Brandlasten sind in denjenigen Objekten, wo radioaktive Abfälle gehandhabt werden, deutlich begrenzt.

Die Menge an zeitgleich gehandhabten und gelagerten radioaktiven Stoffen im geologischen Tiefenlager ist im Vergleich zu Kernkraftwerken und Zwischenlagern gering (Begrenzung auf wenige vollbestückte Endlagerbehälter). Somit sind auch das vorhandene Aktivitätsinventar und die bei einem Störfall möglicherweise auftretenden Emissionen begrenzt. Die Anzahl aller Förder- und Handhabungsschritte mit radioaktiven Abfällen ist im geologischen Tiefenlager auf ein erforderliches Minimum beschränkt. In der Umladezelle wird immer nur ein Abfallgebinde oder Brennelement gleichzeitig gehandhabt, d. h. es befindet sich nur ein Abfallgebinde oder Brennelement ausserhalb der Transport- bzw. Endlagerbehälter.

Im geologischen Tiefenlager kann die nukleare Reaktivität zuverlässig begrenzt und die Kritikalität in jedem Fall ausgeschlossen werden. Für die verpackten Brennelemente wird dies durch eine geeignete Auslegung und Beladung der Transport- und Endlagerbehälter sichergestellt. Während des Umladevorgangs der Brennelemente von den Transport- in die Endlagerbehälter wird der Ausschluss der Kritikalität durch eine geeignete

Auslegung der Umladezelle erreicht (Schutz vor äusseren Einwirkungen und Wasserzutritt). Bei verglasten HAA und SMA kann nukleare Kritikalität aufgrund der Abfallzusammensetzung nicht auftreten und ist damit per se ausgeschlossen.

Gemäss heutigem Planungsstand wird es am geeigneten Standort bei geeigneter Auslegung der Anlagen und Betriebsabläufe möglich sein, die Dosisgrenzwerte im Normalbetrieb und auch bei Störfällen deutlich zu unterschreiten. Auch bei sehr seltenen Störfällen ist aufgrund der Auslegungsmassnahmen mit keiner erheblichen Freisetzung von Radioaktivität und Abgabe an die Umwelt zu rechnen. Es wird deshalb aktuell davon ausgegangen, dass in der Umgebung der Anlagen auf Notfallschutzmassnahmen verzichtet werden kann.

Beurteilung des ENSI

Die im Rahmen der Kostenstudie 2021 von der Nagra beschriebene modellhafte Umsetzung der nuklearen Betriebssicherheit /19/ stimmt mit dem in Etappe 2 SGT vorgestellten Sicherheitskonzept überein (/42/, /55/), das vom ENSI und seine Experten geprüft und als plausibel und stufengerecht bewertet wurde (/47/, /48/, /56/). Es wurde insbesondere aufgezeigt, dass durch geeignete Massnahmen die Schutzziele der nuklearen Sicherheit inklusive des Strahlenschutzes, d. h. die Unterkritikalität, die Kühlung, der Einschluss radioaktiver Stoffe und die Begrenzung der Strahlenexposition, erreicht werden können. Die angewendete Methodik der Sicherheitsbetrachtung entspricht einem zeitgemässen, sicherheitsgerichteten Vorgehen /47/.

Die modellhafte Umsetzung der nuklearen Betriebssicherheit wurde, soweit erforderlich, an die im Rahmen der Etappe 3 SGT weiterentwickelten Anlagenkonzepte angepasst /19/. Auch wurden die Vorgaben der aktuellen Richtlinie ENSI-G03 /57/ berücksichtigt. Jedoch wurde die Aktualisierung bezüglich der Richtlinie in /19/ nicht konsequent durchgeführt. So wird z. B. in /19/, Kap 2.2 (S. 5) in Bezug auf Vorkehrungen für die nukleare Sicherheit auf Art. 7.1 der Richtlinie ENSI-G03 von 2009 /53/ verwiesen und auch im Literaturverzeichnis ist nur die Version von 2009 angeführt.

Gemäss dem in /55/ dargelegten Sicherheitskonzept gewährleisten geeignete Annahmebedingungen der einzulagernden Abfälle (insbesondere abgebrannte Brennelemente) deren Unterkritikalität. Das ENSI erachtet diese Massnahme als geeignet, sofern bei der Auslegung der Endlagerbehälter auch der Umstand einer eventuell unvorhergesehenen, vorübergehenden Aufbewahrung mehrerer Endlagerbehälter auf kleinstem Raum und ggf. ein Wassereinbruch in diesen Lagerbereich (Überflutung) berücksichtigt werden. Alternativ dazu kann auch die Aufbewahrung mehrerer Endlagerbehälter im Zugangsbauwerk vor der Einlagerung in die Lagertunnel durch technische und/oder organisatorische Massnahmen verhindert werden. Das ENSI ist zudem der Ansicht, dass eine ausreichende Abfuhr der Nachzerfallswärme während des Normalbetriebs durch geeignete Massnahmen sichergestellt werden kann /47/.

Im Rahmen der weiteren Schritte der Lagerrealisierung hat die Nagra gemäss der aktuellen Richtlinie ENSI-G03 /57/ entsprechende Sicherheitsnachweise mit stufengerechtem Detaillierungsgrad vorzulegen. Anhand der darin enthaltenen Störfallanalysen ist nachzuweisen, dass ein abdeckendes Spektrum von Störfällen durch die getroffenen Schutzmassnahmen wirksam beherrscht wird und dass die getroffenen Schutzmassnahmen ausreichend zuverlässig und ausgewogen sind (UVEK Verordnung /54/).

In der übergeordneten Vorhabensbeschreibung /19/ werden die wesentlichen Aspekte des Sicherheitsnachweises (Störfallanalyse, Einhaltung von maximal zugelassenen Dosiswerten bei Auslegungsstörfällen, Störfallvorsorge, Beherrschung und Bewältigung von Störfällen) und des Notfallschutzes (Notfallschutzmassnahmen, Notfallübungen) thematisiert. Hinsichtlich der Einhaltung von Dosiswerten bei Auslegungsstörfällen führt die Nagra aus, dass gemäss heutigem Planungsstand eine deutliche Unterschreitung der nachweislich einzuhaltenden Dosiswerte bei Störfällen möglich sein wird und sie daher aktuell davon ausgeht, dass man in der Umgebung auf Notfallschutzzonen verzichten werden könne. Das ENSI weist an dieser Stelle darauf hin, dass für Störfälle der Kategorie 3 ein nachweislich einzuhaltender Dosiswert von 100 mSv gilt, eine Information der Bevölkerung bzw. Verhaltensempfehlungen zum Schutz von vulnerablen Bevölkerungsgruppen nach heutigem Dosismassnahmenkonzept aber bereits ab einer ereignisbezogenen Dosis von 1 mSv vorgesehen sind (vgl. Anhang 2 BevSV /58/). Der angestrebte Verzicht auf Notfallschutzmassnahmen bzw. Verhaltensempfeh-

lungen bedingt den Nachweis der Unterschreitung der Dosis von 1 mSv bei Auslegungs- und auslegungsüberschreitenden Störfällen (vgl. Art. 123 Abs. 4 StSV /25/). Die Bewilligungsbehörde entscheidet über den Umfang der vorsorglichen Massnahmen (vgl. Art. 136 Abs. 1 StSV /25/).

Aus Sicht des ENSI ist die in der übergeordneten Vorhabensbeschreibung /19/ beschriebene modellhafte Umsetzung der nuklearen Betriebssicherheit für das HAA-Lager, das SMA-Lager und das Kombilager ausreichend für die Schätzung der Kosten in der Kostenstudie 2021. Das ENSI weist darauf hin, dass bei den Sicherheitsanalysen und dem Nachweis der Einhaltung der radiologischen Kriterien eine strukturierte Vorgehensweise gemäss Art. 2 der Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen /54/ zu wählen ist und die Eintrittshäufigkeiten der Störfälle inkl. Störfallkategorie anzugeben sind.

5 Umsetzung der Vorgaben und Empfehlungen

5.1 Vorgaben der Verwaltungskommission STENFO

Die VK-STENFO hat die Vorgaben für die Erstellung der Kostenstudie 2021 am 02.12.2020 gemäss Antrag des Kostenausschusses des STENFO verabschiedet und am 15.02.2021 veröffentlicht /3/. Einige Vorgaben betreffen teilweise oder vollständig die technischen Grundlagen. Das ENSI hat beurteilt, inwieweit diese Vorgaben von der swissnuclear berücksichtigt wurden. In den nachfolgenden Tabellen sind die relevanten Vorgaben zusammengestellt und es wird angegeben, in welchem Kapitel die Einschätzungen des ENSI detailliert dargelegt sind.

Tabelle 5-1: Vorgaben der VK-STENFO mit Bezug zu technischen Grundlagen und Beurteilung des ENSI zu ihrer technischen Umsetzung – Teil Allgemein

Parameter	Vorgaben der VK-STENFO	Technische Umsetzung
1. 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.	Vorgabe erfüllt; siehe Beurteilung des ENSI im Kap. 2.2.
5. Kalkulatorische Betriebsdauer der KKW	KKM: 47 Jahre KKB, KKG und KKL: Es sind sowohl die Kosten für 50 Jahre Betrieb (Basisszenario) als auch für 60 Jahre Betrieb zu berechnen und zu überprüfen.	Vorgabe erfüllt; siehe Beurteilung des ENSI im Kap. 3.3.1.
8. Empfehlungen	Die Empfehlungen des ENSI und der Kostenexperten Stilllegung und Entsorgung aus der Überprüfung der Kostenstudie 2016 sind im Rahmen der Kostenstudie 2021 zu berücksichtigen.	Vorgabe teilweise erfüllt; siehe Kap. 5.2. Die Empfehlungen des ENSI bzgl. der Stilllegung wurden nur teilweise berücksichtigt (siehe Kap. 3.3.1).

Tabelle 5-2: Vorgaben der VK-STENFO mit Bezug zu technischen Grundlagen und Beurteilung des ENSI zu ihrer technischen Umsetzung – Teil Stilllegung und Nachbetrieb

Parameter	Vorgaben der VK-STENFO	Technische Umsetzung
9. Nachbetrieb (Abgrenzung Betrieb/Stilllegung)	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 Kostenstudie 2021 darzustellen. 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.	Vorgabe aus sicherheitstechnischer Sicht erfüllt, siehe Beurteilung des ENSI in Kap. 2.3.
10. Stilllegungsvariante	Sofortiger Rückbau.	Vorgabe erfüllt, siehe Beurteilung des ENSI im Kap. 3.1.1.
11. Stilllegungsziel	Folgende Stilllegungsziele sind kostenmässig abzubilden: Vollständiger Rückbau inkl. Entfernung sämtlicher Fundamente («Grüne Wiese»). 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 («Braune Wiese»).	Vorgabe erfüllt, siehe Beurteilung des ENSI im Kap. 3.1.2.
12. Stilllegungsplanung	Für die Kostenstudie 2021 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 Kostenstudie 2021 zu verwenden.	Vorgabe nur teilweise erfüllt, siehe Beurteilung des ENSI im Kap. 3.3.1.
13. Abklinglager für radioaktive Stoffe	Abklinglagerung wird als Basiskosten berücksichtigt und ausgewiesen.	Vorgabe erfüllt; siehe Beurteilung des ENSI im Kap. 4.4.

Tabelle 5-3: Vorgaben der VK-STENFO mit Bezug zu technischen Grundlagen und Beurteilung des ENSI zu ihrer technischen Umsetzung – Teil Entsorgung

Parameter	Vorgaben der VK-STENFO	Technische Umsetzung
14. Standorte geologischer Tiefenlager	In der Kostenstudie 2021 sind die Kosten für zwei Einzellager mit gleichen Modellstandorten (Zürich-Nord-Ost (ZNO): HAA-Lager und Jura-Ost (JO): SMA-Lager) wie in der Kostenstudie 2016 zu berechnen. Weitere Standortvarianten (z. B. Nördlich Lägern (NL), Kombilager) sind separat abzubilden.	Vorgabe erfüllt; siehe Beurteilung des ENSI im Kap. 4.5.1.
15. 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.	Vorgabe erfüllt; siehe Burteilung des ENSI im Kap. 4.5.2. Bezüglich der Entsorgung der alphatoxischen Abfälle (ATA) wurden widersprüchliche Angaben in den Berichten festgestellt. Siehe hierzu die Beurteilung des ENSI im Kap. 4.2 und die Empfehlung 4-1 des ENSI für die nächste Kostenstudie im Kap. 7.
16. Zwischenlagerkapazitäten	Bestehende Kapazitäten.	Vorgabe erfüllt; siehe Beurteilung des ENSI im Kap. 4.3

5.2 ENSI-Empfehlungen aus der Kostenstudie 2016

Die Empfehlungen des ENSI aus der Stellungnahme aus der Kostenstudie 2016 wurden teilweise berücksichtigt. Die Erfahrungen aus den Stilllegungsprojekten KKM und KKB wurden aus Sicht des ENSI unzureichend, resp. nicht nachvollziehbar berücksichtigt. Damit wurde die Vorgabe 8 der VK-STENFO nur teilweise erfüllt. Eine Würdigung findet sich bei den jeweiligen Fachthemen gemäss den Verweisen in den folgenden Tabellen:

Tabelle 5-4: Empfehlungen für die Stilllegung aus der Prüfung der Kostenstudie 2016 durch das ENSI und ihre Berücksichtigung in der Kostenstudie 2021

Nr.	Beschreibung	Berücksichtigung in der 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.	Empfehlung wurde mit Ausnahme der nur teilweise nachvollziehbaren Berücksichtigung der Erfahrungen KKM berücksichtigt (siehe Kap. 3.3.1)
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.	Empfehlung wurde nur teilweise, resp. schwer nachvollziehbar berücksichtigt (siehe Kap. 3.3.1)
3-3	Die Daten zu den Materialströmen und Stilllegungsabfällen sind für die nächste Aktualisierung der Kostenstudie zu überarbeiten und in prüfbarer Form darzulegen.	Empfehlung wurde berücksichtigt (siehe Kap. 3.5.1)

Tabelle 5-5: Empfehlungen für die Entsorgung aus der Prüfung der Kostenstudie 2016 durch das ENSI und ihre Berücksichtigung in der Kostenstudie 2021

Nr.	Beschreibung	Berücksichtigung in der Kostenstudie 2021
4-1	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.	Empfehlung wurde berücksichtigt (siehe Kap. 4.1)
4-2	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.	Empfehlung wurde berücksichtigt (siehe Kap. 4.2)
4-3	Die Erstellung, das Betriebskonzept und der Betriebsablauf der Abklinglager sind in den folgenden Aktualisierungen der Kostenstudie zu berücksichtigen.	Empfehlung wurde berücksichtigt (siehe Kap. 4.4)
4-4	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.	Empfehlung wurde berücksichtigt (siehe Kap. 4.5.3)
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.	Empfehlung wurde berücksichtigt (siehe Kap. 4.5.3 und 4.5.6)

6 Zusammenfassung und Bewertung aus technischer Sicht

6.1 Stilllegung

Das ENSI hat die Kostenstudien 2021 zum Rückbau der Kernkraftwerke Beznau, Mühleberg, Gösgen, Leibstadt und der Anlagen der Zwilag geprüft. Dazu wurden der Mantelbericht /4/, die Berichte zur Ermittlung der Nachbetriebskosten /5/ und der Stilllegungskosten /6/ der Schweizer Kernanlagen, die Chancen- und Gefahrenkataloge zum Nachbetrieb /16/ und zur Stilllegung /17/ und die zu jeder der fünf kerntechnischen Anlagen vorgelegten anlagenspezifischen Stilllegungsstudien der NIS Ingenieurgesellschaft mbH /20-24/ herangezogen. Des Weiteren hat das ENSI Einsicht in Projektpläne und Aufstellungen der tätigkeitsbezogenen Personalaufwände und Dosisabschätzungen genommen, deren Detaillierungsgrad über die vorgenannten Unterlagen hinausgeht.

Das ENSI kommt bei seiner Bewertung zu folgenden Ergebnissen:

- Die Gesamt-Unterlagenstruktur und der Gliederungsaufbau einzelner Stilllegungsstudien der Kostenstudie 2021 entspricht weitgehend der Gestaltung für die Kostenstudie 2016. Die Berichtsinhalte sind verständlich und nachvollziehbar dargestellt und damit prüffähig.
- Die Vorgaben der VK-STENFO für die Kostenstudie 2021 wurden inhaltlich weitgehend umgesetzt; insbesondere die Kostengliederung und Kostenstruktur der Kostenstudie 2016 wurde beibehalten.
- Die Empfehlungen des ENSI aus der Überprüfung der Kostenstudie 2016 wurden nicht vollständig umgesetzt. So ist insbesondere die Nachvollziehbarkeit bzw. Prüfbarkeit der Angaben in den Stilllegungsstudien zu den resultierenden Materialströmen auf der Basis der vorgelegten Unterlagen weiterhin nicht gegeben.
- Die im Zuge der Inventardarstellung ausgewiesenen Massen liegen im Vergleich zu bekannten Siede- bzw. Druckwasserreaktoren unter Berücksichtigung der jeweiligen Leistungsdaten im erwarteten Bereich. Die Angaben zu Massen, zur radiologischen Charakterisierung und zur Klassifikation der Eingangsdaten entsprechen im Wesentlichen denen der Stilllegungsstudien 2016.
- Hinsichtlich der Angaben von einzelnen Massen hat das ENSI Diskrepanzen zu den Stilllegungsstudien 2016 festgestellt. Die Auswirkungen auf den Rückbauaufwand ist aus Sicht des ENSI aber nicht signifikant.
- Das Vorgehen zur radiologischen Charakterisierung in den Stilllegungsstudien 2021 entspricht internationalen Vorgaben. Das ENSI hält die Angaben zur radiologischen Charakterisierung in den Stilllegungsstudien für plausibel und als Basis für darauf aufbauende Betrachtungen zur Bestimmung der Rückbauaufwände geeignet.
- Die vorgestellten Zerlege- und Dekontaminationsverfahren zum Abbau der aktivierten und kontaminierten Anlagenteile beurteilt das ENSI im Hinblick auf die handhabungs- und strahlenschutztechnischen Aspekte als geeignet. Vergleiche mit internationalen Rückbauprojekten bestätigen, dass unter Anwendung der vorgesehenen Zerlege- und Dekontaminationsverfahren die zu beurteilenden Kernanlagen erfolgreich abgebaut werden können. Durch eine geeignete Wahl der in den Studien dargestellten Zerlege- und Dekontaminationsverfahren können die Belange des Strahlenschutzes und der Entsorgung ausreichend berücksichtigt werden.
- Vergleiche mit internationalen Rückbauprojekten zeigen, dass die in den Stilllegungsstudien aufgeführten Abschätzungen der Massen an radioaktiven Abfällen, die vorgesehenen Behandlungsverfahren und das Verpackungskonzept für eine Abschätzung der voraussichtlichen Höhe der Stilllegungskosten der Kernkraftwerke und des Zentralen Zwischenlagers Würenlingen geeignet sind.

- Die Unterscheidung der Komponenten und Gebäudeteile nach Aktivierung bzw. Kontaminationsklassen, nach Masse/Grösse, radiologischen Daten und Komponententyp bzw. Materialart ist geeignet für die Festlegung der Behandlungsstrategie und des Entsorgungsziels.
- Die Vorgehensweise der Erfassung der Ausgangsmassen, der Anwendung von Verteilungsfaktoren für die Zuordnung der einzelnen Fraktionen zu den Behandlungsverfahren und der Verwendung von Verpackungsfaktoren für die Aufnahmekapazität der Behältertypen für die einzelnen Materialarten der entstehenden radioaktiven Abfälle ist geeignet für die Abschätzung der Massen an radioaktiven Abfällen und der erforderlichen Behälterzahlen.
- Das Vorgehen zur Befreiung von Materialien von der Bewilligungspflicht und der Aufsicht gemäss Strahlenschutzverordnung wird sachgerecht beschrieben.
- Seit der Überprüfung der Kostenstudie 2016 trat die revidierte Strahlenschutzverordnung per 1. Januar 2018 in Kraft. Einzelne Werte der Befreiungsgrenze wurden im Vergleich zur vorangehenden Revision der Strahlenschutzverordnung reduziert. Mit niedrigeren Werten der Befreiungsgrenze ist ein erhöhter Anteil an radioaktiven Abfällen zu erwarten. Der Erhöhung des Massenanteils an radioaktiven Abfällen kann durch eine Abklinglagerung entgegengewirkt werden, die in den Stilllegungsstudien ebenfalls betrachtet wurde.

Die Bewertung der erwarteten Arbeitsumfänge und der geplanten Abbaureihenfolgen für die einzelnen Anlagen ergab zusammengefasst folgende Ergebnisse:

- In den vorgelegten Stilllegungsstudien und den zugehörigen Projektplänen sind alle sicherheitstechnisch notwendigen Massnahmen berücksichtigt, die zum Abbau der jeweiligen Anlagen erforderlich sind. Aus sicherheitstechnischer Sicht ist die geplante Reihenfolge der Stilllegungstätigkeiten geeignet, die Einhaltung der Schutzziele zu gewährleisten und den Rückwirkungsschutz auf die notwendigen Restbetriebssysteme sicherzustellen. Auf dem Detaillierungsgrad der vorgelegten Unterlagen ist die Reihenfolge der Stilllegungstätigkeiten so geplant, dass später erforderliche Tätigkeiten nicht durch vorlaufend durchgeführte Tätigkeiten erschwert oder verhindert werden.
- In wenigen Fällen bestehen beim ENSI aufgrund der Darstellungstiefe der vorgelegten Unterlagen Unklarheiten bezüglich des jeweiligen Umfangs und damit auch der Abfolge von Einzelschritten des Abbaus, die die Nachvollziehbarkeit der technischen Machbarkeit in der jeweiligen Anlage oder die Beurteilung hinsichtlich des Strahlenschutzes erschweren. Unabhängig davon ist innerhalb der dargestellten Planung stets eine sicherheitstechnisch geeignete Vorgehensweise möglich.
- In den Planungen für den Rückbau der Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt erfolgte mit der Kostenstudie 2021 erstmals eine Parallelisierung von Abbauarbeiten innerhalb der Anlage mit dem fortdauernden Technischen Nachbetrieb und den Vorbereitenden Massnahmen, wie sie für das Kernkraftwerk Mühleberg bereits mit der Kostenstudie 2016 unterstellt wurde. Hierdurch ergeben sich, je nach den konkreten Gegebenheiten der Kernanlage und jeweils bezogen auf den Zeitpunkt der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs, berechtigte Verkürzungen der Stilllegungsdauern von mehreren Jahren. Das ENSI beurteilt diese Planung unter Erfüllung der sicherheitstechnischen Anforderungen für realisierbar, auch wenn stellenweise logistische Herausforderungen zu erwarten sind.
- Mit der Kostenstudie 2021 wurde für die Stilllegungsplanung der Kernkraftwerke eine Straffung der terminlichen Abläufe durch weitere Parallelisierung von Abbauarbeiten untereinander vorgenommen. Diese weitere Parallelisierung ist jeweils aus sicherheitstechnischer Sicht zulässig, führt jedoch aufgrund des Entfalls von bislang in der Planung enthaltenen zeitlichen Reserven zu einer stärkeren Anfälligkeit des Gesamtablaufs der Stilllegung bei Verzögerungen in einzelnen Teilaufgaben. Unter der Voraussetzung, dass die Rückbauarbeiten störungsfrei verlaufen, hat das ENSI keine Anhaltspunkte, dass der eingeplante Zeitbedarf zu niedrig angesetzt wurde.
- Der abgeschätzte Gesamtpersonalaufwand für die Stilllegung der Kernkraftwerke liegt im unteren Bereich dessen, was das ENSI im Vergleich zu internationalen Rückbauprojekten erwarten würde.

- Die abgeschätzten Werte der Kollektivdosis für die Stilllegung der Kernkraftwerke hält das ENSI für sehr konservativ und an einigen Stellen für zu hoch angesetzt.
- Für das Zentrale Zwischenlager wurden mit der Kostenstudie 2021 keine erheblichen Änderungen der Stilllegungsplanung im Vergleich zur Kostenstudie 2016 vorgenommen. Das ENSI hat keine Anhaltspunkte gefunden, die gegen eine Umsetzung des abgeschätzten zeitlichen Rahmens sprechen. Den abgeschätzten Personalaufwand für die Stilllegung des ZZL hält das ENSI für plausibel, ebenso den abgeschätzten Wert für die Kollektivdosis.

Die Bewertung des Chancen- und Gefahrenkatalogs Stilllegung ergab zusammengefasst folgende Ergebnisse:

- In dem vorgelegten Chancen- und Gefahrenkatalog werden auslösende Faktoren benannt, die als Chancen zu günstigen und als Gefahren zu ungünstigen Abweichungen von der planmässigen Durchführung der Stilllegung führen können. Diese Abweichungen können Auswirkungen auf den zeitlichen Ablauf der Stilllegung, den erforderlichen technischen, personellen und finanziellen Aufwand, die Exposition des Personals und die Menge der zu entsorgenden Stoffe besitzen. Einige dieser Chancen und Gefahren werden nicht weiter berücksichtigt, da ihr Eintreten nicht als realistisch angesehen wird.
- Hinsichtlich der Auflistung der berücksichtigten Chancen und Gefahren, deren Auswirkungen betrachtet werden, hat das ENSI keinen grundsätzlichen Ergänzungsbedarf.
- In einzelnen Fällen ist eine präzisere Beschreibung der konkreten auslösenden Faktoren zu empfehlen, die in der jeweiligen Chance bzw. Gefahr zusammengefasst werden.
- Gegen die unterstellten Eintrittswahrscheinlichkeiten der Chancen und Gefahren hat das ENSI keine Einwände, wobei deren Einfluss bei der Ermittlung der quantitativen Auswirkungen dem ENSI nicht bekannt ist.
- Die Auswirkungen einzelner Gefahren werden aus Sicht des ENSI nicht vollständig berücksichtigt. Bei bestimmten Gefahren ist deshalb aus Sicht des ENSI eine Ergänzung weiterer zu betrachtenden Auswirkungen erforderlich.

6.2 Entsorgung

Das ENSI hat die eingereichten Unterlagen der Kostenstudie 2021 hinsichtlich Abfallvolumen, Transporte, Zwischenlagerung, Abklinglagerung und geologischer Tiefenlagerung inkl. Oberflächenanlagen geprüft. Dazu wurden der Mantelbericht /4/, die Hauptberichte zur Ermittlung der Entsorgungskosten: Geologische Tiefenlagerung /7/, Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung /8/, die Chancen- und Gefahrenkataloge zum Teilprojekt geologische Tiefenlager /15/ und zu Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung /18/, die zu den Hauptvorhaben HAA-Lager /11/, SMA-Lager /12/ und Kombilager /13/ vorgelegten Hintergrundberichte der Nagra (Vorhabenbeschreibungen) sowie weitere technische Unterlagen herangezogen (siehe Kapitel 4). Des Weiteren haben die Fachleute und Experten des ENSI Einsicht in zusätzliche Hintergrunddokumente genommen, welche im Rahmen von Fachgesprächen erläutert wurden.

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Überprüfung des ENSI zum Thema Entsorgung (Kap. 4) zusammengefasst:

- Die Angaben zum Abfallinventar in den Unterlagen zur Kostenstudie 2021 und zum Entsorgungsprogramm 2021 sind untereinander konsistent. Das ENSI hat das Inventar im Rahmen seiner Beurteilung des Entsorgungsprogramms 2021 auf Plausibilität geprüft und beurteilt die Prognose auf Basis der zugrunde gelegten Annahmen als zuverlässig und als eine geeignete Grundlage für die Kostenstudie 2021.

- Das ENSI hat die Angaben in dem Transportgerüst der Nagra auf Plausibilität geprüft. Nach Beurteilung des ENSI werden im Transportkonzept die Vorgaben der Transportbestimmungen des ADR berücksichtigt. Für die Ermittlung der Transportkosten wurden die geographischen Standorte der geologischen Tiefenlager nach Vorgabe-Nr. 14 der VK-STENFO korrekt berücksichtigt.
- In der Kostenermittlung wurde die aktuelle Beschaffungssituation für die Transport- und Lagerbehälter der einzelnen Kernkraftwerke berücksichtigt. Damit wurde die Empfehlung 4-2 aus der Stellungname des ENSI zur Kostenstudie 2016 umgesetzt.
- Das ENSI hat die im Chancen- und Gefahrenkatalog ausgewiesenen Gefahren für die Transportkosten und für die Kosten für die TLB auf Plausibilität und Vollständigkeit geprüft und kommt zum Schluss, dass sie eine geeignete Grundlage für die Kostenzuschläge durch Gefahren darstellen.
- Das ENSI hat die Angaben über die Zwischenlagerung in der Kostenstudie 2021 auf Plausibilität und Konsistenz geprüft. In seiner Stellungnahme zum Entsorgungsprogramm 2021 stellt das ENSI fest, dass für die bestehenden KKW genügend Zwischenlagerkapazität zur Verfügung steht, was der Vorgabe 16 der STENFO entspricht. Im Szenario «60 Jahre Betrieb KKW» ist für die Zwischenlagerung von HAA-Abfällen eine Optimierung der Anzahl Stellplätze durch eine verbesserte Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Lagerbereichs erforderlich.
- Die in der Kostenstudie 2021 angenommenen Betriebszeiten der Zwischenlager sind mit den Angaben aus dem Entsorgungsprogramm 2021 konsistent. Falls sich die Inbetriebnahme der geologischen Tiefenlager verzögern sollte, können die Zwischenlager auch länger betrieben werden. Die Angaben über die Zwischenlagerung sind nachvollziehbar und eine plausible Grundlage für die Kostenstudie 2021.
- Das ENSI hat die im Chancen- und Gefahrenkatalog ausgewiesenen Gefahren für die Zwischenlagerung auf Plausibilität und Vollständigkeit geprüft und kommt zum Schluss, dass sie eine geeignete Grundlage für die Kostenzuschläge durch Gefahren darstellen. Die Gefahr des Kapazitätsengpasses für die Zwischenlagerung von TLB wurde von der swissnuclear jedoch nicht berücksichtigt. Das ENSI hat diesbezüglich die Empfehlung 4-2 formuliert.
- Eine Abklinglagerung zur Reduktion der Abfallvolumina für das geologische Tiefenlager wird, wie in den Vorgaben für die Erstellung der Kostenstudie 2021 (Vorgaben-Nr. 13) gefordert, berücksichtigt. Gegenüber der Kostenstudie 2016 haben sich die abklingbaren Materialmengen nahezu verdreifacht, was mit dem Inkrafttreten der neuen Strahlenschutzverordnung erklärt werden kann.
- Für die Aufbewahrung des Materials für die Dauer der Abklingzeit werden je nach Betreiber entweder am Standort bestehende Gebäude oder neue Gebäude ausserhalb des Kraftwerkareals in Betracht gezogen. Somit wurde die Empfehlung 4-3 aus der Kostenstudie 16 berücksichtigt.
- Das ENSI hat die Angaben zur Planung, Bau, Betrieb und Verschluss der geologischen Tiefenlager mit den im Rahmen des Sachplans geologische Tiefenlager, aktuell zu Etappe 3, bereits vorliegenden Dokumenten verglichen. Weil die Kostenstudie und der Sachplan geologische Tiefenlager unterschiedliche Ziele verfolgen (Festlegung von Fondsbeiträgen vs. Festlegung von Standorten), ist nicht zu erwarten und auch nicht erforderlich, dass die Angaben identisch sind. Vorgabe-Nr. 14 der VK-STENFO (Standorte geologischer Tiefenlager) wurde aus Sicht des ENSI vollumfänglich umgesetzt.
- Aus Sicht der Nagra zeichnet sich ein Kombilager ab (Eintrittswahrscheinlichkeit von 75 %), welches als wichtigste Chance dargestellt wurde. Die Nagra wird ihren Vorschlag über die Realisierung von zwei Einzellagern oder von einem Kombilager bzw. den sicherheitstechnischen Vergleich der Standorte erst mit den Unterlagen für das Rahmenbewilligungsgesuch begründen. Das ENSI wird im Rahmen seiner Prüfung des Rahmenbewilligungsgesuchs prüfen, ob diese Wahl sicherheitstechnisch nachvollziehbar begründet wurde. Das Rahmenbewilligungsgesuch wird von der Nagra voraussichtlich Ende 2024 eingereicht, entsprechend kann das ENSI zum jetzigen Zeitpunkt keine sicherheitstechnische Prüfung vornehmen, ob die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Kombilagers 75 % beträgt oder nicht. Das gleiche gilt auch für Aussagen des ENSI unter anderem zur Standortwahl, zur Einlagerung von ATA-Abfällen im SMA-

Lager und zu möglichen Synergien für die Oberflächenanlage mit dem ZZL der Zwilag. Diese Beurteilungen sind erst mit Vorliegen der vollständigen Unterlagen zum Rahmenbewilligungsgesuch möglich.

- Das ENSI hat die Angaben der Planung zum zeitlichen Ablauf der Realisierung der geologischen Tiefenlager mit den im Rahmen des Entsorgungsprogramms 2021 (insbesondere Realisierungsplan) eingereichten Dokumenten verglichen. Weil die Kostenstudie 2021 und das Entsorgungsprogramm 2021 unterschiedliche Ziele verfolgen (Festlegung von Fondsbeiträgen bzw. genereller Weg der Entsorgung), ist nicht zu erwarten und auch nicht erforderlich, dass die Dokumente identisch sind. Geringfügige Inkonsistenzen, z. B. hinsichtlich der Zeitdauer für die nukleare Baubewilligung des SMA-Lagers (Einzellager), Zeitdauer für den Bau des HAA-Lagerteils im Kombilager sowie Einlagerungsbetrieb des HAA-Lagerteils im Kombilager in verschiedenen Dokumenten), sind aus Sicht des ENSI von untergeordneter Bedeutung für die Kostenschätzungen und vor dem Hintergrund der komplexen zeitlichen und inhaltlichen Vernetzung der verschiedenen Verfahren begründet und tolerierbar.
- Der Realisierungsplan aus der Kostenstudie 2021 entspricht den Angaben im Entsorgungsprogramm 2021 für das HAA- und SMA-Lager. Ebenso entsprechen die angenommenen Zeiten für den Zeitpunkt der Inbetriebnahme der geologischen Tiefenlager (SMA-Lager 2050, HAA-Lager 2060) der Vorgabe-Nr. 15 der VK-STENFO. Die Angaben zu dem Abfallmengengerüst und den Barrierenkonzepten in den Unterlagen der Kostenstudie 2021 und des Entsorgungsprogramms 2021 sind konsistent.
- Im Zuge der Prüfung in Etappe 2 SGT haben das ENSI und seine Experten die generischen Konzeptstudien und Standortvorschläge der Nagra für die Oberflächenanlagen geprüft und als plausibel und stufengerecht bewertet. Das ENSI begrüsst, dass die Konzepte im Rahmen der Etappe 3 SGT sowie im Hinblick auf die Kostenstudie 2021 deutlich weiterentwickelt wurden. Insbesondere wurde auch ein eigenes Konzept für die Lagervariante Kombilager erstellt, womit die Empfehlung 4-4 aus der Stellungnahme des ENSI zur Kostenstudie 2016 berücksichtigt wurde.
- Das ENSI kommt zum Schluss, dass die verwendeten Konzepte für die Oberflächenanlagen des SMA-Lagers, des HAA-Lagers und des Kombilagers für die Schätzung der Kosten in der Kostenstudie 2021 geeignet sind. Allfällige Auswirkungen der erkannten Unstimmigkeiten in den Angaben zum Kombilager hinsichtlich Betriebsdauer der Oberflächenanlagen und Eintrittswahrscheinlichkeit der Gefahr, die Synergien mit dem ZZL der Zwilag nicht nutzen zu können, werden im Vergleich zur Planungsunschärfe zum gegenwärtigen Projektstand nicht ins Gewicht fallen.
- Die Basisprojekte der einzelnen Lagertypen wurden seit der Kostenstudie 2016 deutlich weiterentwickelt. Die Erkenntnisse aus dem Evaluationsverfahren für die Oberflächenstandorte und entsprechende Konsequenzen für die untertägige Erschliessung sind in die Projektierung eingeflossen. Ebenfalls liegen nun detailliertere Angaben zu den Haupterschliessungsbereichen vor. Die bautechnischen Angaben wurden auf Plausibilität, Vollständigkeit und Konsistenz innerhalb der eingereichten Berichte geprüft und mit den Angaben in der Kostenstudie 2016 verglichen. Die daraus resultierenden Empfehlungen des ENSI für die nächste Kostenstudie (Empfehlungen 4-3 bis 4-8) sind im Kapitel 7 zusammengestellt.
- Die von der Nagra eingereichten Unterlagen zu den Untertagebauwerken der geologischen Tiefenlager sind umfangreich, grösstenteils vollständig und zeugen von einer gründlichen Arbeit. Der Detaillierungsgrad der bautechnischen Angaben ist stufengerecht, d. h. zwischen den Projektphasen Studie und Vorprojekt. Die dokumentierten bautechnischen Lösungen sind grundsätzlich nachvollziehbar, gut beschrieben und entsprechen weitgehend dem Stand der Technik. Die eingereichten Vorhabenbeschreibungen stellen zusammen mit dem Chancen- und Gefahrenkatalog eine belastbare Basis dar, um darauf aufbauend die bautechnischen Kosten für die Erstellung der einzelnen Lager abzuschätzen.
- Aus Sicht des Betriebs und der Logistik können Anforderungen an die Elemente des geologischen Tiefenlagers gestellt werden, welche über die rein bautechnischen Anforderungen hinausgehen. Der aktuelle Wissensstand zu diesen Themen ist stufengerecht und soll mit der weiteren Entwicklung der Planung und der Projektierung vertieft werden. Um die Anforderungen aus dem Betrieb systematisch zu dokumentie-

ren, empfehlt das ENSI eine Nutzungsvereinbarung zu erstellen. Ferner ist in Zukunft insbesondere darauf zu achten, dass das Anlagelayout und die Querschnitte der Untertagebauwerke des geologischen Tiefenlagers sowohl die Anforderungen aus dem Bau als auch aus dem Einlagerungsbetrieb vollständig abdecken. Hierbei ist insbesondere der Baulogistik spezielle Beachtung zu schenken. Diese aktuell noch nicht vollständig bekannten Anforderungen sind bei der Beurteilung der Kostenfolgen mit sinnvollen Annahmen bei der Betrachtung von potentiellen Gefahren im Chancen- und Gefahrenkatalog zu berücksichtigen.

- Das ENSI kommt zum Schluss, dass die Konzepte der Sicherung für die Oberflächenanlagen eines HAA- oder Kombilagers für die Schätzung der Kosten in der Kostenstudie 2021 geeignet sind. Die referenzierten gesetzlichen und regulatorischen Vorgaben an die Sicherungsmassnahmen sind vollständig und dem aktuellen Stand nachgeführt.
- Es wird erwähnt, dass das Strahlenschutzpersonal mit den für die entsprechenden Aufgaben notwendigen Mitteln ausgestattet sein wird. Das ENSI geht davon aus, dass die persönliche Schutzausrüstung sowie Material zur Dekontamination darin inbegriffen sind. Dem ENSI stellt sich die Frage, wie mit allfällig kontaminierter Schutzausrüstung bzw. Schutzkleidung umgegangen wird. Dies ist in der nächsten Kostenstudie zu berücksichtigen (siehe Empfehlung 4-9 im Kapitel 7). Das ENSI stellt fest, dass die Begrenzung der Strahlenexposition durch die vorgesehenen Mittel und Massnahmen eingehalten werden kann.
- Die radiologische Überwachung des Personals durch den Einsatz von anerkannten und aktiven Personendosimetern (APD) sowie die regelmässige Dosismeldung nach Richtlinie ENSI-B09 entspricht dem Stand der Technik. Das ENSI betrachtet die vorgesehenen Überwachungsmassnahmen und -systeme sowie die periodische Kontrolle und Auswertung als ausreichend, um einen griffigen Strahlenschutz zu betreiben. Das ENSI geht davon aus, dass die Ergebnisse aus den Kontrollen protokolliert bzw. dokumentiert werden.
- Aus Sicht des ENSI ist die in der übergeordneten Vorhabensbeschreibung beschriebene modellhafte Umsetzung der nuklearen Betriebssicherheit für das HAA-Lager, das SMA-Lager und das Kombilager ausreichend für die Schätzung der Kosten in der Kostenstudie 2021. Das ENSI weist darauf hin, dass bei den Sicherheitsanalysen und dem Nachweis der Einhaltung der radiologischen Kriterien eine strukturierte Vorgehensweise gemäss Art. 2 der Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen (SR 732.112.2) zu wählen ist und die Eintrittshäufigkeiten der Störfälle inkl. Störfallkategorie anzugeben sind.

7 Zusammenfassung der Empfehlungen des ENSI für die nächste Kostenstudie

Zum Thema Stilllegung hat das ENSI für die nächste Aktualisierung der Kostenstudie im Jahr 2026 folgende Empfehlungen:

Empfehlung 3-1 (Kap. 3.2.2): Bei der nächsten Aktualisierung der Kostenstudie empfiehlt das ENSI, die Zuordnung der in den Tabellen «Eingangsdaten der Gesamtanlage nach radiologischer Zuordnung» aufgeführten Massen der Gebäude zu erläutern. Weiter empfiehlt das ENSI, die Kategorien in den Tabellen «Eingangsdaten der Gesamtanlage nach radiologischer Zuordnung» und «Einteilung der Flächen» zu erläutern und eine konsistente Darstellung der Kontaminationsklassen in den Tabellen «Eingangsdaten der Gesamtanlage nach radiologischer Zuordnung» und «Anlagenspezifische Kontaminationsklassen» vorzunehmen.

Empfehlung 3-2 (Kap. 3.2.2): Für das Zentrale Zwischenlager Würenlingen der Zwilag empfiehlt das ENSI, bei der nächsten Aktualisierung der Kostenstudie eine Darstellung der Nuklidzusammensetzung der Kontamination aufzunehmen oder zu beschreiben, weshalb dies nicht erforderlich ist.

Empfehlung 3-3 (Kap. 3.3.1): Bei der nächsten Aktualisierung der Kostenstudie sind auch Laufzeiten der Kernkraftwerke von mehr als 60 Jahren zu betrachten und die Auswirkungen auf Stilllegung und Entsorgung von 70 und 80 Betriebsjahren zu beurteilen.

Empfehlung 3-4 (Kap. 3.3.1): Für die nächste Aktualisierung der Kostenstudie empfiehlt das ENSI, eine konsequente Fortschreibung der Erfahrungsauswertung aus dem Rückbau des Kernkraftwerks Mühleberg sowie die Einbeziehung der Planungsergebnisse des Stilllegungsprojekts des Kernkraftwerks Beznau zu berücksichtigen. Im Falle des Kernkraftwerks Mühleberg empfiehlt das ENSI eine Gegenüberstellung der geplanten und der tatsächlich ausgeführten Tätigkeiten und tatsächlichen Massenströme. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse sollten bei der Aktualisierung der Stilllegungspläne der Kernkraftwerke und des Zentralen Zwischenlager Würenlingen der Zwilag berücksichtigt werden.

Empfehlung 3-5 (Kap. 3.3.2): Da sowohl das Vorgehen und der Aufwand bei der Demontage und Entsorgung als auch die Gestaltung der Reststoffbehandlung am Standort der Anlage von dem Umgang mit allenfalls bereits im Leistungsbetrieb ausgebauten und mit den bei der Stilllegung anfallenden Grosskomponenten abhängt, empfiehlt das ENSI, für eine nachvollziehbare Darstellung bei der nächsten Aktualisierung der Kostenstudie explizite Angaben zur vorgesehenen Vorgehensweise bei der Demontage und Entsorgung der Grosskomponenten zu ergänzen.

Empfehlung 3-6 (Kap. 3.3.2): Im Rahmen der nächsten Aktualisierung der Kostenstudie sollte darauf eingegangen werden, in welchen Bereichen des Zentralen Zwischenlager Würenlingen (ZZL) der Zwilag und unter Nutzung von welchen bestehenden Einrichtungen die Behandlung der beim Abbau des ZZL anfallenden radioaktiven Reststoffe und Abfälle geplant ist.

Empfehlung 3-7 (Kap. 3.3.3): Im Rahmen der nächsten Aktualisierung der Kostenstudie empfiehlt das ENSI, die Personalplanung konservativer abzuschätzen und Verzögerungen, resp. erhöhte Aufwände bei der Ausführung von Arbeiten stärker zu gewichten; gleichzeitig empfiehlt das ENSI, die mit der Personalplanung verbundene Abschätzung der Kollektivdosis anhand internationaler Erfahrungen zu überprüfen und die Vorgehensweisen beim betrieblichen Strahlenschutz zu optimieren.

Empfehlung 3-8 (Kap. 3.5.1): Für die nächste Aktualisierung der Kostenstudie empfiehlt das ENSI neben der geologischen Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle und der Befreiung als weiteres Entsorgungsziel noch eine Deponierung nach Art. 114 StSV; die Ergebnisse der Orientierungsmessungen können allenfalls für die Nachweisführung zur Erwirkung einer entsprechenden Zustimmung der Bewilligungsbehörde verwendet werden. Dies kann im Rahmen der Konkretisierung der Stilllegungsplanung berücksichtigt werden.

Empfehlung 3-9 (Kap. 3.5.1): Für die nächste Aktualisierung der Kostenstudie empfiehlt das ENSI, eine Darstellung zur Art und Kapazität der geplanten Einrichtungen für die Reststoff- und Abfallbehandlung am Standort der Anlagen sowie zum vorgesehenen Umfang der Nutzung externer Dienstleister bei der Behandlung und Entsorgung aufzunehmen.

Empfehlung 3-10 (Kap. 3.5.1): Das ENSI empfiehlt, bei der nächsten Aktualisierung der Kostenstudie den zusätzlichen Aufwand bei einer späteren Verfüllung der Lagercontainer mit Betonabtrag zu präzisieren. Alternativ kann der Betonabtrag in separate Behälter verpackt werden und dies in den Stilllegungsstudien berücksichtigt werden.

Empfehlung 3-11 (Kap. 3.6): Für die nächste Aktualisierung der Kostenstudie empfiehlt das ENSI zur Erleichterung der Prüfung auf Vollständigkeit, das Ordnungsprinzip des Chancen- und Gefahrenkatalogs dahingehend anzupassen, dass entsprechend der Reihenfolge von Ursache und Wirkung, ausgehend von jeder Chance oder Gefahr, die dafür unterstellten Folgen jeweils vollständig an einer gemeinsamen Stelle aufgeführt wer-den.

Empfehlung 3-12 (Kap. 3.6): Für die nächste Aktualisierung der Kostenstudie empfiehlt das ENSI, die berücksichtigten Auswirkungen der Gefahr «Ausführungsschwierigkeiten bei Gewerken auf dem kritischen Pfad» auf Vollständigkeit zu prüfen. Dabei sollten auch die Ergebnisse aus Kostenanalysen aus der Nachbewertung von aufgetretenen Ausführungsschwierigkeiten technischer Gewerke, wie z. B. bei der Zerlegung der RDB-Einbauten im Kernkraftwerk Mühleberg mit herangezogen werden.

Empfehlung 3-13 (Kap. 3.6): Für die nächste Aktualisierung der Kostenstudie empfiehlt das ENSI unabhängig von der geltenden Rechtslage, die Gefahr zu betrachten, dass Stoffe nach einer Abklinglagerung wegen inzwischen veränderten rechtlichen Rahmenbedingungen oder aufgrund einer mangelnden Akzeptanz durch die Öffentlichkeit nicht wie vorgesehen in den konventionellen Stoffkreislauf zurückgeführt werden können und daher mit einem zusätzlichen Aufwand anderweitig zu entsorgen sind.

Zum Thema Entsorgung hat das ENSI für die nächste Aktualisierung der Kostenstudie im Jahr 2026 folgende Empfehlungen:

Empfehlung 4-1 (Kap. 4.2): Im Rahmen der nächsten Kostenstudie sind alle Aspekte der Entsorgung der mittelaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (CSD-C und CSD-B) zu überprüfen.

Empfehlung 4-2 (Kap. 4.3): Die Gefahr des Kapazitätsengpass für die Zwischenlagerung von TLB ist in der nächsten Kostenstudie im Risikokatalog aufzunehmen.

Empfehlung 4-3 (Kap. 4.5.4): Es ist in Zukunft insbesondere darauf zu achten, dass das Anlagelayout der geologischen Tiefenlager und die Querschnitte der zugehörigen Bauwerke die Anforderungen aus dem Bau und dem Einlagerungsbetrieb sicher und vollständig abdecken. Hierbei ist der Baulogistik und den entsprechenden Arbeitsabläufen spezielle Beachtung zu schenken. Die Projekte sind auch in dieser Hinsicht weiter zu entwickeln.

Empfehlung 4-4 (Kap. 4.5.4): Bei zum Teil über 60 Verschneidungen pro Lagertyp kumulieren sich die Erschwernisse (Kosten und Zeit) auf. Daher ist dieser Aspekt in der weiteren Projektentwicklung detaillierter zu betrachten.

Empfehlung 4-5 (Kap. 4.5.4): Ein spezielles Augenmerk sollte bei der Weiterentwicklung der Projekte auf deren Bewilligungsfähigkeit gelegt werden. Im Fokus steht hier der vorgesehene Sprengvortrieb auf Lagerebene sowie der partielle Durchlaufbetrieb mit einem bewilligungspflichtigen Arbeitszeitmodell. Es wird empfohlen, die Konsequenzen dieser zwei Aspekte sowohl auf Termine als auch auf Kosten zu ermitteln.

Empfehlung 4-6 (Kap. 4.5.4): Es wird empfohlen, das Realisierungsprogramm für den Bau der geologischen Tiefenlager stufengerecht weiter zu detaillieren. Hierbei sollten Aspekte wie die Ausschreibung der Bauarbeiten, nötige Vorlaufzeiten für die Arbeitsvorbereitung oder auch logistische Abläufe untertage und deren zeitlichen Konsequenzen auf das Realisierungsprogramm abgeschätzt und dargestellt werden.

Empfehlung 4-7 (Kap. 4.5.4): Entsprechend dem zunehmenden Detaillierungsgrad der Projekte empfiehlt es sich einzelne Gefahren, die aktuell als «Sammelgefässe» für verschiedene relevante Aspekte dienen (Gefahren G-09 «Ungünstige Geologie auf Lagerebene», G-22 «Mehraufwand Baulogistik / Bauverfahren» und G-38 «Verzögerung nukleare Baubewilligung»), detaillierter zu gliedern und daraus die wesentlichen Chancen und Gefahren separat aufzuführen.

Empfehlung 4-8 (Kap. 4.5.4): Es wird empfohlen, eine Nutzungsvereinbarung zu erstellen, um die Anforderungen aus dem Betrieb des geologischen Tiefenlagers an deren Elemente systematisch zu dokumentieren. Diese Nutzungsvereinbarung sollte als Basis für die weitere Projektentwicklung dienen und parallel mit dem sich detaillierenden Wissensstand laufend aktualisiert und fortgeschrieben werden.

Empfehlung 4-9 (Kap. 4.5.6): Der Umgang mit allfällig kontaminierter Schutzausrüstung bzw. Schutzkleidung ist in den folgenden Aktualisierungen der Kostenstudie zu berücksichtigen.

8 Abkürzungsverzeichnis und Glossar

ADR	Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse.
AGT	Abfallgebindetypen
ATA	alphatoxische Abfälle
BE	Brennelemente
BEVA	Verpackungsanlage für BE und HAA (Brennelementeverpackungsanlage)
BEUU	Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen Untertag
EELB	Endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs
ELB	Endlagerbehälter
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
Entsorgung	Konditionierung, Zwischenlagerung und Lagerung der radioaktiven Abfälle in einem geologischen Tiefenlager (Art. 3 Bst. b KEG).
EUU	Erdwissenschaftliche Untersuchungen untertage
Geologisches Tiefenlager	Anlage im geologischen Untergrund, die verschlossen werden kann, sofern der dauernde Schutz von Mensch und Umwelt durch passive Barrieren sichergestellt wird (Art. 3 Bst. c KEG).
HAA	Hochaktive Abfälle. Abgebrannte Brennelemente aus Kernkraftwerken sowie verglaste Rückstände aus der Wiederaufarbeitung der Brennelemente.
HEB	Haupterschliessungsbereich
ISRAM	Informationssystem für radioaktive Materialien
JO	Jura Ost
KEG	Kernenergiegesetz
KEV	Kernenergieverordnung
KKB	Kernkraftwerk Beznau
KKG	Kernkraftwerk Gösgen
KKL	Kernkraftwerk Leibstadt
KKM	Kernkraftwerk Mühleberg
Kombilager	Ein Lager bestehend aus räumlich getrennten Lagerteilen für hochaktive, alphatoxische und schwach und mittelaktive Abfälle gemäss Art. 51 KEV im gleichen Standortgebiet.
LMA	Langlebige mittelaktive Abfälle. Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (z.B. Hülsen und Endstücke der Brennelemente) und mittelaktive Betriebsabfälle aus Kernkraftwerken und Forschungsanlagen.
MIRAM	Modellhaftes Inventar radioaktiver Materialien
MUF	Maschinenunterstützte Vortrieb im Fels

Nagra	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle
Nebenzugangsanlagen	Anlage (Bauwerke, Installationen und Geräte) am oberen Ende eines Zugangsbauwerks (Schacht oder Tunnel) über welches keine Transporte radioaktiver Abfälle erfolgen. Eine Nebenzugangsanlage stellt die Aufgaben und Funktionen des Nebenzugangs sicher und liegt an der Erdoberfläche. Die Nebenzugangsanlage kann bei der Oberflächenanlage oder getrennt davon angeordnet sein.
NZA	Nebenzugangsanlagen
Oberflächenanlagen	Gesamtheit der Anlagen (Bauwerke, Installationen und Geräte) an der Erdoberfläche (oder in Oberflächennähe) zur Annahme und zur Vorbereitung der radioaktiven Abfälle und weiterer Materialien für die Einlagerung, sowie zur Sicherstellung aller erforderlichen Nebenprozesse (z. B. Ver- und Entsorgungseinrichtungen)
OFA	Oberflächenanlage
Oberflächeninfrastruktur	Gesamtheit aller Anlagen an der Erdoberfläche oder in Oberflächennähe, welche für die Realisierung und den Betrieb eines geologischen Tiefenlagers benötigt werden. Die Oberflächeninfrastruktur besteht z. B. aus Erschliessungsinfrastruktur, Oberflächenanlage, Nebenzugangsanlagen, Baustelleneinrichtungen und Zwischendepots.
OFI	Oberflächeninfrastruktur
PSI	Paul Scherrer Institut
RBG	Rahmenbewilligungsgesuch
RDB	Reaktordruckbehälter
SEFV	Verordnung über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen.
SGT	Sachplan geologische Tiefenlager
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
SMA	Schwach- und mittelaktive Abfälle. Überwiegend Betriebsabfälle aus Kernkraftwerken und Forschungseinrichtungen sowie Abfälle aus medizinischen und industriellen Anwendungen. Weitere SMA werden bei der Stilllegung der Kernkraftwerke und Forschungseinrichtungen entstehen.
Standort	Areale der Oberflächeninfrastruktur und der Raum im geologischen Untergrund, der für die Realisierung eines geologischen Tiefenlagers betrachtet wird.
STENFO	Stilllegungsfond für Kernanlagen und Entsorgungsfonds für Kernkraftwerke.
StSG	Strahlenschutzgesetz
StSV	Strahlenschutzverordnung
TAMG	Transport- und Abfallmengengerüst
TBM	Tunnelbohrmaschine

TLB	Transport- und Lagerbehälter
UVEK	Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
VK-STENFO	Die Verwaltungskommission des STENFO
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute
ZNO	Zürich Nordost
Zwibez	Zwischenlager Beznau
Zwilag	Zwilag Zwischenlager Würenlingen AG
ZZL	Zentrales Zwischenlager

9 Referenzen

/1/ KEG: Kernenergiegesetz vom 21. März 2003 (KEG, Stand 1. Januar 2020), Schweiz, SR 732.1.

/2/ SEFV: Verordnung vom 7. Dezember 2007 über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen (SEFV, Stand 1. Januar 2020), Schweiz, SR 732.17.

/3/ STENFO: Vorgaben für die Erstellung der Kostenstudie 2021 vom 01.02.2021, Schweiz.

/4/ swissnuclear (2021): Kostenstudie 2021 – Mantelbericht, 30.09.2021, Branchenverband der Schweizer Kernkraftwerksbetreiber (swissnuclear), Olten.

/5/ swissnuclear (2021): Kostenstudie 2021 – Ermittlung der Nachbetriebskosten der Schweizer Kernkraftwerke, 30.09.2021, Branchenverband der Schweizer Kernkraftwerksbetreiber (swissnuclear), Olten.

/6/ swissnuclear (2021): Kostenstudie 2021 – Ermittlung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen, 30.09.2021, Branchenverband der Schweizer Kernkraftwerksbetreiber (swissnuclear), Olten.

/7/ swissnuclear (2021): Kostenstudie 2021 – Ermittlung der Entsorgungskosten: Geologische Tiefenlagerung, 30.09.2021, Branchenverband der Schweizer Kernkraftwerksbetreiber (swissnuclear), Olten.

/8/ swissnuclear (2021): Kostenstudie 2021 – Ermittlung der Entsorgungskosten: Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung, 30.09.2021, Branchenverband der Schweizer Kernkraftwerksbetreiber (swissnuclear), Olten.

/9/ NIS (2021): Abschätzung der Kosten für den technischen Nachbetrieb des KKW Beznau Block 1 und 2 (Preisbasis 01. 01. 2021), 30.04.2021, Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH.

/10/ StSG: Strahlenschutzgesetz vom 22. März 1991 (Stand 1. Mai 2017) vom 22. März 1991, Schweiz, SR 814.50

/11/ Nagra (2021): Kostenstudie 2021 – Vorhabensbeschreibung HAA-Lager (unpubl. interner Bericht), Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Wettingen.

/12/ Nagra (2021): Kostenstudie 2021 – Vorhabensbeschreibung SMA-Lager (unpubl. interner Bericht), Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Wettingen.

/13/ Nagra (2021): Kostenstudie 2021 – Vorhabenbeschreibung Kombilager (unpubl. interner Bericht), Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Wettingen.

/14/ Zwilag (2021): Behandlung und Zwischenlagerung von radioaktiven Abfällen (KS21 Entsorgung 50 Jahre Betrieb der KKW), 16.06.2021, Zwilag Zwischenlager Würenlingen AG, Würenlingen.

/15/ Nagra (2021): Kostenstudie 2021, Chancen- und Gefahrenkatalog: Teilprojekt geologische Tiefenlager (unpubl. interner Bericht), Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Wettingen.

/16/ swissnuclear (2021): Kostenstudie 2021, Chancen- und Gefahrenkatalog: Nachbetrieb, Branchenverband der Schweizer Kernkraftwerksbetreiber (swissnuclear), Olten.

/17/ swissnuclear (2021): Kostenstudie 2021, Chancen- und Gefahrenkatalog: Stilllegung, Branchenverband der Schweizer Kernkraftwerksbetreiber (swissnuclear), Olten.

/18/ swissnuclear (2021): Kostenstudie 2021, Chancen- und Gefahrenkatalog: Zwischenlagerung, Transporte, Behälter, Wiederaufarbeitung, Branchenverband der Schweizer Kernkraftwerksbetreiber (swissnuclear), Olten.

/19/ Nagra (2021): Kostenstudie 2021 – Übergeordnete Vorhabensbeschreibung, Anforderungen und Rahmenbedingungen (unpubl. interner Bericht), Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Wettingen.

/20/ NIS (2021): Stilllegungsstudie für das KKW Beznau Block 1 und 2 (Preisbasis: 01.01.2021), 30.04.2021, Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH.

/21/ NIS (2021): Stilllegungsstudie für das KKW Gösgen (Preisbasis: 01.01.2021), 30.04.2021, Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH.

/22/ NIS (2021): Stilllegungsstudie für das KKW Leibstadt (Preisbasis: 01.01.2021), 30.04.2021, Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH.

/23/ NIS (2021): Stilllegungsstudie für das KKW Mühleberg (Preisbasis: 01.01.2021), 07.06.2021, Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH.

/24/ NIS (2021): Stilllegungsstudie für das Zentrale Zwischenlager Würenlingen - Zwilag - (Preisbasis: 01.01.2021), 25.08.2021, Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH.

/25/ StSV: Strahlenschutzverordnung vom 26. April 2017, Schweiz, SR 814.501.

/26/ IAEA (1998): Radiological Characterization of Shut Down Nuclear Reactors for Decommissioning Purposes, Technical Reports Series No. 389, Oktober 1998, Internatinal Atomic Energy Agency, Vienna.

/27/ NEA (2013): Radiological Characterisation for Decommissioning of Nuclear Installations. Report of the Task Group on Radiological Characterisation and Decommissioning (RCD) of the Working Party on Decommissioning and Dismantling (WPDD), Report NEA/RWM/WPDD(2013)2, September 2013, OECD Nuclear Energy Agency, Paris.

/28/ NEA (2017): Radiological Characterisation from a Waste and Materials End-State Perspective: Practices and Experience, Report NEA No. 7373 OECD Nuclear Energy Agency, Paris.

/29/ ENSI-AN-9930: Stellungnahme des ENSI zur Kostenstudie 2016 über die Stilllegung der Kernanlagen und Entsorgung radioaktiver Abfälle in der Schweiz, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg, 2017.

/30/ BKW (2015): Stilllegung des Kernkraftwerks Mühleberg, Hauptbericht, Stilllegungsprojekt (Revision 1.1 vom 10.03.2016), Bericht BKW Energie AG.

/31/ UVEK (2018): Verfügung des UVEK vom 20. Juni 2018 in Sachen BKW Energie AG (BKW) betreffend Gesuch vom 18. Dezember 2015 auf Anordnung der Stilllegung für das Kernkraftwerk Mühleberg, Verfügung, 20. Juni 2018, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bern.

/32/ CORE (2020): Konzept der Energieforschung des Bundes 2021 – 2024, Bericht, September 2020, Eidgenössische Energieforschungskommission CORE, Bern.

/33/ ENSI-B04: Befreiung von Kontroll- und Überwachungsbereichen sowie Materialien von der Bewilligungspflicht und Aufsicht, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Richtlinie, Brugg, 2018.

/34/ ENSI-B05: Anforderungen an die Konditionierung radioaktiver Abfälle, Eidgenössisches Nuklear-sicherheitsinspektorat, Richtlinie, Brugg, 2018.

/35/ ENSI 33/915: ENTWURF Stellungnahme zum Entsorgungsprogramm 2021 der Entsorgungs-pflichtigen, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg, 2021.

/36/ Zwilag (2021): Behandlung und Zwischenlagerung von radioaktiven Abfällen (KS21 Entsorgung 60 Jahre Betrieb der KKW), 17.06.2021, Zwilag Zwischenlager Würenlingen AG, Würenlingen.

/37/ Kasemeyer U. (2021): Optimierung des Stellplatzkonzeptes Gebäude H, Phase 1: Erarbeitung Opti-mierungskonzept, Technischer Bericht ZWI 3422/D00018, Rev. 0, 31.10.2021, Zwilag Zwischenlager Würenlingen AG, Würenlingen.

/38/ BFE (2018): Sachplan geologische Tiefenlager – Ergebnisbericht zu Etappe 2: Festlegungen und Objektblätter, Bericht Bundesamt für Energie, Bern.

/39/ NAB 19-08: Vorschläge zur Konkretisierung der Oberflächeninfrastruktur der geologischen Tiefenlager – Teil 1: Einführung und Grundlagen, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2019.

/40/ NTB 21-01: Entsorgungsprogramm 2021 der Entsorgungspflichtigen, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2021.

/41/ NTB 11-01: Vorschläge zur Platzierung der Standortareale für die Oberflächenanlage der geologischen Tiefenlager sowie zu deren Erschliessung – Genereller Bericht und Beilagenband, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2011.

/42/ NTB 13-01: Standortungabhängige Betrachtungen zur Sicherheit und zum Schutz des Grundwassers – Grundlagen zur Beurteilung der grundsätzlichen Bewilligungsfähigkeit einer Oberflächenanlage für ein geologisches Tiefenlager, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2013.

/43/ NAB 13-66: Standortareal JO-3+-SMA im Planungsperimeter Jura Ost für die Oberflächenanlage eines geologischen Tiefenlagers SMA – Planungsstudie, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2013.

/44/ NAB 14-28: Standortareal ZNO-6b-HAA im Planungsperimeter Zürich Nordost für die Oberflächenanlage eines geologischen Tiefenlagers HAA – Planungsstudie, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2014.

/45/ ENSI 33/456: Bautechnische Beurteilung der Standortareale für Oberflächenanlagen, Dr. von Moos AG Beratende Geologen und Ingenieure, Expertenbericht zuhanden des ENSI, Zürich, 2016.

/46/ ENSI 33/467: Sachplan geologische Tiefenlager (SGT) Etappe 2: Beurteilung der Standortareale und der Platzierung einer Oberflächenanlage – Ausgewählte externe Gefährdungen und Sicherungsaspekte, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Aktennotiz, Brugg, 2015.

/47/ ENSI 33/540: Sicherheitstechnisches Gutachten zum Vorschlag der in Etappe 3 SGT weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete, Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Gutachten, Brugg, 2017.

/48/ ENSI (2013): Resultate der Prüfung von NTB 13-01 zuhanden des BFE, Brief, 12. September 2013, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg.

/49/ ENSI-G12/d: Anlageninterner Strahlenschutz, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Richtlinie, Brugg, 2021.

/50/ ENSI-B03/d: Meldungen der Kernanlagen, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Richtlinie, Brugg, 2021.

/51/ ENSI-G15/d: Strahlenschutz für Kernanalgen (Änderungen Sept. 2021), Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Richtlinie, Brugg, 2010

/52/ ENSI-B09/d: Ermittlung und Aufzeichnung der Dosen strahlenexponierter Personen, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Richtlinie, Brugg, 2018.

/53/ ENSI-G03: Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Richtlinie, Würenlingen, 2009.

/54/ UVEK: Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen (Stand am 1. Februar 2019) vom 17. Juni 2009, Schweiz, SR 732.112.2.

/55/ NAB 14-51: Ergänzende Sicherheitsbetrachtungen für die Untertageanlagen der geologischen Tiefenlager in der Betriebsphase: Vorgaben, Vorgehen und Dokumentation der Ergebnisse, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2014.

/56/ ENSI 33/458: Ergänzende Sicherheitsbetrachtungen für die Zugangsbauwerke, Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG, Expertenbericht zuhanden des ENSI, Zürich, 2015.

/57/ ENSI-G03/d: Geologische Tiefenlager, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Richtlinie, Brugg, 2020.

/58/ BevSV: Verordnung über den Bevölkerungsschutz vom 11. November 2020, Schweiz, SR 520.12.

Herausgeber:
Eidgenössisches Nuklearsicherheits-inspektorat ENSI
CH-5201 Brugg

+41 (0)56 460 84 00
info@ensi.ch
www.ensi.ch

© ENSI
31. Mai 2022

ENSI-AN-11308

ENSI
Industriestrasse 19
5201 Brugg
Schweiz

+41 56 460 84 00
info@ensi.ch
www.ensi.ch