



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



Stellungnahme des ENSI zur Kostenstudie 2016 über die Stilllegung der Kernanlagen und Entsorgung radioaktiver Abfälle in der Schweiz



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-9930

Stellungnahme des ENSI zur Kostenstudie 2016 über die Stilllegung der Kernanlagen und Entsorgung radioaktiver Abfälle in der Schweiz

Brugg, 31. Juli 2017



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Annahmen und Voraussetzungen	2
2.1	Abgrenzung des Mandats	2
2.2	Rechtlicher Rahmen	3
2.3	Abgrenzung Nachbetrieb, Stilllegung, Entsorgung	3
2.3.1	Abgrenzung des Nachbetriebs von der Stilllegung	4
2.3.2	Abgrenzung des Nachbetriebs von der Entsorgung	6
2.4	Technische Änderungen in der Kostenstudie 2016 im Vergleich zur Kostenstudie 2011	6
2.5	Umgang mit Chancen und Gefahren	7
3	Stilllegung	9
3.1	Stilllegungsvariante, Stilllegungsziel und Endzustand	9
3.1.1	Auswahl der Stilllegungsvariante	9
3.1.2	Stilllegungsziel und Endzustand	10
3.2	Bewertung des angenommenen Ausgangszustands (physikalisches und radiologisches Inventar)	11
3.2.1	Beschreibung der Anlagen	11
3.2.2	Inventar der Anlagen	12
3.3	Ablauf der Stilllegung	14
3.3.1	Stilllegungsplanung	14
3.3.2	Durchführung des Rückbaus	17
3.3.3	Arbeitsumfänge	18
3.4	Bewertung der gewählten Zerlege- und Dekontaminationsverfahren	20
3.5	Bewertung der Materialströme und Stilllegungsabfälle und deren Behandlung (Abfallpfade, Konditionierung, Freimessung, Abklinglagerung)	21
3.5.1	Abfallpfade und Konditionierung	21
3.5.2	Freimessung und Abklinglagerung	24
4	Entsorgung	27
4.1	Bestandsaufnahme der zu entsorgenden Abfallgebäude	27
4.2	Transporte, Transport- und Lagerbehälter	28
4.3	Zwischenlagerung (Zentrales Zwischenlager, Zwibez, Nasslager KKG)	29
4.4	Abklinglagerung	30

4.5	Geologische Tiefenlager	32
4.5.1	Zusammenhang mit dem Sachplan geologische Tiefenlager	32
4.5.2	Zusammenhang mit dem Entsorgungsprogramm 2016	33
4.5.3	Oberflächenanlage	34
4.5.4	Bautechnik	35
4.5.5	Sicherungsmassnahmen	38
4.5.6	Strahlenschutz und radiologische Überwachung	38
4.5.7	Nukleare Betriebssicherheit	40
5	Umsetzung der Vorgaben und Empfehlungen	43
5.1	Vorgaben der VK-STENFO	43
5.2	ENSI-Empfehlungen aus der Kostenstudie 2011	45
6	Zusammenfassung und Bewertung aus technischer Sicht	46
6.1	Stilllegung	46
6.2	Entsorgung	47
7	Zusammenfassung der Empfehlungen des ENSI für die nächste Kostenstudie	50
8	Abkürzungen	51
9	Referenzen	52

Abbildungen

Abbildung 1:	Zusammenhang der Überprüfungen des ENSI und der Kostenexperten	2
Abbildung 2:	Übersicht über die Verknüpfung der Teilberichte der Kostenstudie 2016 und der Finanzierung des Nachbetriebs, der Stilllegung und der Entsorgung (aus [3]).....	4

Tabellen

Tabelle 3-1:	Gesamtmassen zu demontierender Komponenten in der kontrollierten Zone.....	18
Tabelle 3-2:	Personalaufwand und Kollektivdosen für die Kernanlagen.....	19
Tabelle 3-3:	Abschätzung relevanter Massen der Kernanlagen	22
Tabelle 3-4:	Verteilung der Massen auf die Entsorgungspfade	25
Tabelle 4-1:	Aktivierete Materialien	31
Tabelle 5-1:	Vorgaben der VK-STENFO mit Bezug zu technischen Grundlagen.....	43
Tabelle 5-2:	Empfehlungen des ENSI aus der Kostenstudie 2011	45

1 Einleitung

Die Eigentümer von Kernanlagen sind gemäss Art. 77 des Kernenergiegesetzes (KEG) und Art. 4 der (Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung (SEFV) verpflichtet, die Kosten für die Stilllegung ihrer Anlage und für die Entsorgung der Abfälle abzuschätzen und die Finanzierung sicherzustellen. Die Eigentümer zahlen deshalb neben den laufenden Stilllegungs- und Entsorgungskosten jährliche Beiträge in den Stilllegungsfonds (besteht seit 1984) und in den Entsorgungsfonds (besteht seit 2000) ein und tätigen während des Betriebs Rückstellungen für die Nachbetriebsphase.

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 Verwaltungskommission des Stilllegungsfonds für Kernanlagen und des Entsorgungsfonds für Kernkraftwerke (VK-STENFO) leitet und koordiniert die Überprüfung der Kostenstudie (Art. 23 SEFV). Für die Kostenstudie 2016 wurden die Vorgaben an die Erstellung und Überprüfung ([1], siehe Kap. 5.1) im Vergleich zu den Vorgängerstudien präzisiert und erweitert (Kostenstruktur, Kostengliederung, Trennung der Überprüfung in technische Grundlagen und finanzielle Aspekte), womit Empfehlungen verschiedener nationaler und internationaler Organisationen aufgenommen und die seit 2011 zweimal revidierte Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung (SEFV, [2]) berücksichtigt wurden.

Die Kostenstudie 2016 wurde von swissnuclear, der Fachgruppe Kernenergie von swisselectric, durchgeführt, der die vier Betreibergesellschaften der schweizerischen Kernkraftwerke (Axpo AG, BKW-FMB Energie AG, KKW Gösgen-Däniken AG, KKW Leibstadt AG) sowie die Betreiberin des Zentralen Zwischenlagers, die Zwischenlager Würenlingen AG (Zwilag), angehören. Swissnuclear stützte sich dabei im Wesentlichen auf die Zuarbeiten der NIS Ingenieurgesellschaft mbH (NIS) im Bereich Stilllegung und der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) im Bereich geologische Tiefenlagerung ab. Die vom ENSI beurteilten Dokumente sind der übergeordnete Mantelbericht [3] und die zugehörigen Hauptberichte zu Stilllegung [4], zur Zwischenlagerung, Transporten, Behältern und Wiederaufarbeitung [5] und zur geologischen Tiefenlagerung [6], technische Angaben zu Chancen und Gefahren [7-9], sowie mehrere von der NIS Ingenieurgesellschaft mbH oder der Nagra erstellte technische Berichte [10-17]. Die Beurteilung des ENSI stützt sich auf die Expertisen der TÜV NORD EnSys GmbH & Co KG [18] und der Basler & Hofmann AG [19] ab.

2 Annahmen und Voraussetzungen

2.1 Abgrenzung des Mandats

In die Überprüfung der Kostenstudie 2016 wurden durch den Kostenausschuss der VK-STENFO erstmals separate und für die Stilllegung und die Entsorgung unterschiedliche Kostenexperten einbezogen. Die Schnittstelle zwischen den Prüfungen des ENSI und der Kostenexperten wurde ab 2014 in mehreren Koordinations-sitzungen unter Leitung des Kostenausschusses definiert (Abbildung 1). Das ENSI hat demnach die techni-schen Grundlagen des Basisprojekts sowie die Vollständigkeit des Chancen- und Gefahrenkatalogs überprüft. Schwerpunkte wurden auf Themen gelegt, die zu relevante Folgen für die Kostenermittlung führen können. Es wurde überprüft,

- ob die technischen, terminlichen, organisatorischen und betrieblichen Annahmen für die Kostenbe-rechnung (Massen, Leistungsannahmen, Abläufe und Arbeitsprozesse, Zeitbedarf etc.) den gültigen Vorschriften, Normen und dem Stand der Technik entsprechen,
- inwieweit die Angaben in sich plausibel, nachvollziehbar und vollständig sind,
- inwieweit die Angaben zu anderen Dokumenten und Projekten konsistent sind (Entsorgungspro-gramm, Sachplan geologische Tiefenlager, Stilllegungspläne, internationale Stilllegungs- und Entsor-gungsprojekte sowie Untertagebauwerke, Abfallinventar),
- wie die ENSI-Empfehlungen aus der Stellungnahme aus der Kostenstudie 2011 und die Vorgaben der VK-STENFO erfüllt wurden.



Abbildung 1: Zusammenhang der Überprüfungen des ENSI und der Kostenexperten

Nicht zum Prüfumfang des ENSI gehören demnach die Finanzierung, Rückstellungen, Fremdwährungswech-selkurse, Kosten vor Einstellung des Leistungsbetriebs der Kernkraftwerke, die Kostenmethodik, die Resultate und der internationale Vergleich der Kostenschätzung und deren Plausibilisierung.

Die nicht direkt stilllegungsbezogenen Arbeiten ab endgültiger Einstellung des Leistungsbetriebs, d. h. die Arbeiten des Nachbetriebs sind durch eigene Rückstellungen des Betreibers zu finanzieren, nicht durch Mittel aus dem Stilllegungsfond. Die Angaben der Kostenstudie zum Nachbetrieb wurden daher durch das ENSI ebenfalls nicht geprüft, sondern nur deren korrekte Abgrenzung zur Stilllegung (siehe Kap. 2.3).

Die Kostenstudie 2016 beinhaltet auch Entsorgungskosten des Bundes. Sie umfassen einen Anteil an den Kosten der geologischen Tiefenlagerung und an der Verbrennungsanlage der ZwiIag, die Transportkosten der schwach- und mittelaktiven Abfälle (SMA) aus dem Bundeszwischenlager und eines Behälters für hochaktive Abfälle (HAA) aus dem Zentralen Zwischenlager Würenlingen zu den Oberflächenanlagen der geologischen Tiefenlager. Alle weiteren Entsorgungskosten des Bundes sind in der Kostenstudie nicht berücksichtigt. Da für die Stilllegung der bundeseigenen Kernanlagen und für die Entsorgung der Abfälle im Eigentum des Bundes keine Rückstellungen auf Grundlage der SEFV [2] zu bilden sind, hat das ENSI diese Berichte bzw. Bericht-teile ebenfalls nicht geprüft.

2.2 Rechtlicher Rahmen

Der rechtliche Rahmen wird in den Mantel- und Hauptberichten [4-6] aufgezeigt. In den Kapiteln 2.1 bzw. 2.2 der Hauptberichte sind die einschlägigen Gesetze, Verordnungen, Richtlinien und Empfehlungen aufgelistet. Auf die rechtlichen Grundlagen der verschiedenen Fachthemen und die anzuwendenden technischen Normen wird ggf. an entsprechender Stelle hingewiesen.

Angaben der Kostenstudie

Die Kostenschätzungen basieren gemäss Vorgabe der VK-STENFO [1] auf dem gesetzlichen und regulatorischen Rahmen per 1. Januar 2015, wobei die Kostenfolgen der geplanten Revision der Strahlenschutzverordnung [20] berücksichtigt wurden¹. Abfälle, die nicht in Kernkraftwerken anfallen, sondern aus Medizin, Industrie und Forschung stammen, müssen gemäss Art. 27 StSG dem Bund abgeliefert werden (Verursacherprinzip). Die in der Pflicht stehenden Abfallverursacher sind der Bund, und die Betreiber der Kernkraftwerke. Die Entsorgungspflicht ist gemäss Art. 31 Abs. 2 KEG 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)» [3].

Beurteilung des ENSI

Mit der Anwendung des gesetzlichen und regulatorischen Rahmens per 1. Januar 2015 wurde eine entsprechende Vorgabe 1 der VK-STENFO [1] umgesetzt. Die Entsorgungspflicht leitet sich für Abfälle, die als Folge der Nutzung von Kernenergie entstehen, aus Art. 31 KEG ab. Gemäss Art. 33 KEG entsorgt der Bund die radioaktiven Abfälle, die nach Art. 27 Abs. 1 StSG abgeliefert worden. Insgesamt sind die rechtlichen Grundlagen aus Sicht des ENSI sachgerecht und angemessen dargestellt.

2.3 Abgrenzung Nachbetrieb, Stilllegung, Entsorgung

Angaben der Kostenstudie

In den Berichten [4, 21-25] beschreibt swissnuclear die Massnahmen und Tätigkeiten, die während des Nachbetriebs vorgenommen werden sollen und erläutert die Vorgaben zur Abgrenzung zu den Stilllegungs- und Entsorgungsarbeiten. Aus Abbildung 2 geht hervor, dass während des Nachbetriebs auch Tätigkeiten und Kosten anfallen, die den entsprechenden Fonds zuzuordnen sind.

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.

¹ Die revidierte Strahlenschutzverordnung wird am 1. Januar 2018 in Kraft treten.

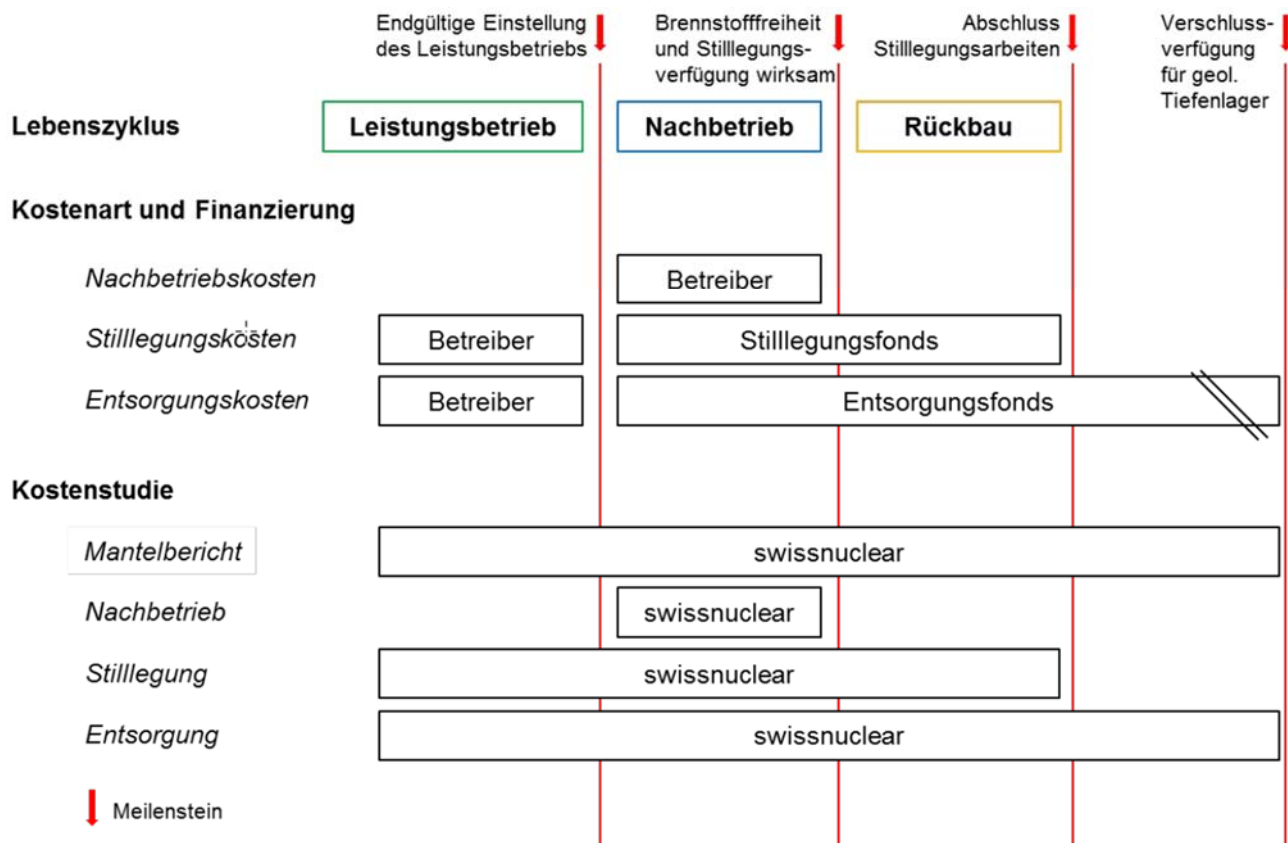


Abbildung 2: Übersicht über die Verknüpfung der Teilberichte der Kostenstudie 2016 und der Finanzierung des Nachbetriebs, der Stilllegung und der Entsorgung (aus [3])

2.3.1 Abgrenzung des Nachbetriebs von der Stilllegung

Angaben der Kostenstudie

Dauer des Nachbetriebs

Der Nachbetrieb beginnt direkt nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs und endet mit der Erfüllung von zwei Voraussetzungen: Dem Erreichen der Kernbrennstofffreiheit und der Rechtswirksamkeit der Stilllegungsverfügung (Ausnahme KKM, s. u. «Randbedingungen und Annahmen»).

Entgegen der Annahmen bei der Kostenstudie 2011, wird bei der Kostenstudie 2016 unter Berücksichtigung der Zwischenlager an zwei Standorten (Zwibez und Nasslager Gösgen) sowie der Neuerungen auf dem Gebiet der Transportbehälter die Brennstofffreiheit im Fall der KKW Beznau und Leibstadt innert vier und im Fall des KKW Gösgen bereits innert drei Jahren erreicht. Einzig im KKW Mühleberg wird die Brennstofffreiheit nach fünf Jahren erreicht. Für die Kostenstudie 2016 wurden diese Zeitdauern als Nachbetriebsdauer angesetzt.

Massnahmen im Nachbetrieb

Der Nachbetrieb umfasst Massnahmen, die sowohl für den sicheren Betrieb der noch benötigten Systeme notwendig sind als auch Massnahmen zur Vorbereitung der Stilllegung. Für die Schweizer KKW wurde auf Basis der genannten Randbedingungen und Annahmen ein Konzept für die Abwicklung des Nachbetriebs erarbeitet. Es berücksichtigt die praktischen Erfahrungen von bereits laufenden Stilllegungen und die Schweizer Verhältnisse wie gesetzliche Regelungen, Entsorgungsstrategien etc.

Während des Nachbetriebs werden die Kühlung der Brennelemente, die Überwachung, der Strahlenschutz, die Instandhaltung, die wiederkehrenden Prüfungen, die Administration, der Materialwirtschaft und Verwaltung im erforderlichen Masse fortgeführt.

In einem ersten Schritt werden die sicherheitstechnisch notwendigen Arbeiten der Ausserbetriebnahme der Anlage durchgeführt, um insbesondere die Kühlung der Brennelemente im Brennelementlagerbecken nachhaltig zu gewährleisten.

In einem zweiten Schritt werden die Brennelemente in Transport- und Lagerbehälter verpackt und in ein unabhängiges Zwischenlager überführt. Auch die konditionierten Betriebsabfälle werden in ein zentrales Zwischenlager oder in ein geologisches Tiefenlager transportiert.

Weitere Massnahmen umfassen die Behandlung der Betriebsabfälle und Reaktorabfälle inklusive deren Abtransport sowie Ausserbetriebnahme nicht mehr benötigter Systeme.

Zu Beginn des Nachbetriebs wird der Grossteil des Personals für den Betrieb der Anlage eingesetzt. Der Personalbedarf für stilllegungsgerichtete Aufgaben wird mit fortschreitendem Nachbetrieb steigen, die Aufgaben des eigentlichen Betriebs wird sukzessive weniger Personal benötigen. Dies ist in den Unterlagen [10-13] tabellarisch unter Berücksichtigung des Anlagenzustands mittels Reduktionsfaktoren dargelegt.

Randbedingungen und Annahmen zum Nachbetrieb

Bereits vorgängig sowie parallel zum Nachbetrieb beginnen auch erste Stilllegungsarbeiten und Vorbereitungen für den Rückbau. Diese rückbaubezogenen Massnahmen werden der Stilllegung zugeordnet und umfassen Aktivitäten, wie Umbaumassnahmen, chemische Dekontamination oder Abisolieren von Systemen und sonstiger nicht der Stilllegungsverfügung bedürftiger Demontagen.

Für die Kostenstudie 2016 wurden eine Reihe von Randbedingungen, Annahmen und Eingangsdaten festgelegt, die auch sicherheitstechnische Bedeutung haben.

Für die KKW Beznau, Gösgen und Leibstadt wird wie bisher davon ausgegangen, dass die Rückbauarbeiten erst nach Abschluss des Nachbetriebs beginnen. Abweichend davon sieht das Stilllegungsprojekt für das KKW Mühleberg nach erfolgter endgültiger Ausserbetriebnahme eine weitgehende Parallelisierung von Nachbetrieb und Rückbau vor, die für die Kostenstudie 2016 auch Grundlage zur Ermittlung der Nachbetriebs- und Stilllegungskosten für dieses KKW ist. Sowohl das Nasslager des KKW's Gösgen und das Zwischenlager Zwibez des KKW's Beznau als auch das zentrale Zwischenlager der ZwiLag Zwischenlager Würenlingen AG (ZwiLag) benötigen keinen Nachbetrieb. Sie können nach endgültiger Ausserbetriebnahme und Vorliegen einer rechtswirksamen Stilllegungsverfügung unmittelbar zurückgebaut werden.

Nebst den im Mantelbericht [3] erläuterten Rahmenbedingungen hat swissnuclear für die Schätzung der Nachbetriebskosten [21-25] noch weitere technisch relevante Randbedingungen gesetzt, die für die technische Abgrenzung Nachbetrieb – Stilllegung von untergeordneter Bedeutung sind.

Beurteilung des ENSI

Im Zentrum der Bewertung stand die Überprüfung der Zuordnung aller Massnahmen zum Nachbetrieb, um die Kostenexperten zu unterstützen, die fondsrelevanten Kosten abzugrenzen. Die bei der Erstellung der Kostenstudie 2016 gültige Interpretation, dass die Rückbauarbeiten erst beginnen können, wenn die Anlage frei von Kernbrennstoffen ist, ist inzwischen überholt; während der ersten Rückbauphase können unter bestimmten Umständen sehr wohl noch Kernbrennstoffe im Werk vorhanden sein. Auf die Aussagen dieser Stellungnahme, sowohl zu den technischen Inhalten, als auch hinsichtlich der inhaltlichen Zuordnung der Arbeiten einerseits zum Nachbetrieb, andererseits zu Stilllegung und Rückbau hat dies aber keinen Einfluss.

Im Ergebnis dieser Überprüfung kommt das ENSI zum Ergebnis, dass

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

Somit ist die Abgrenzung zwischen Nachbetrieb und Stilllegung vollständig und korrekt umgesetzt.

2.3.2 Abgrenzung des Nachbetriebs von der Entsorgung

Angaben der Kostenstudie

Der Entsorgungsfonds soll die Kosten für die Entsorgung der radioaktiven Betriebsabfälle und der abgebrannten Brennelemente nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs eines Kernkraftwerks decken. Im KEG wird unterschieden zwischen Entsorgungskosten, die während des Betriebs und solchen, die nach Ausserbetriebnahme eines Kernkraftwerks anfallen. Die während des Betriebs anfallenden Entsorgungskosten werden gemäss KEG von den Eigentümern direkt aus eigenen Mitteln bezahlt. Ebenso werden die zum Nachbetrieb gehörenden laufenden Betriebskosten ab der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs, wie z. B. die Entsorgung der noch auf der Anlage vorhandenen Betriebsabfälle und die Verpackung der abgebrannten Brennelemente in Transport- und Lagerbehälter vor Ort, direkt finanziert. Beschaffung, Transporte, Umverpackungen und Zwischenlagerung dieser Behälter sowie die geologischen Tiefenlager, inkl. der Stilllegung der Oberflächenanlagen, werden hingegen den Entsorgungskosten zugerechnet [3].

Beurteilung des ENSI

Aus Sicht des ENSI ist die im Mantelbericht [3], Kap. 2.7 dargelegte Zuordnung der Tätigkeiten und Kosten zu den beiden Fonds bzw. zu den direkt zu finanzierenden Betriebs- und Nachbetriebskosten zielführend. Die Zuordnung ist eine plausible Auslegung des Art. 3 SEFV, welcher einerseits alle zur Entsorgung anfallenden Kosten nach endgültiger Ausserbetriebnahme als Entsorgungskosten bezeichnet (Abs. 1), andererseits nicht alle während des Nachbetriebs anfallenden Tätigkeiten und Kosten beinhaltet (Abs. 2).

2.4 Technische Änderungen in der Kostenstudie 2016 im Vergleich zur Kostenstudie 2011

Gemäss Vorgabe 12 der VK-STENFO [1] sind die Stilllegungsplanungen aus der Kostenstudie 2011 für die Kostenstudie 2016, soweit erforderlich, zu aktualisieren. Zudem sind die aktuellen Erkenntnisse aus der Erarbeitung des Stilllegungsprojektes für das KKM als Grundlage für die Kostenstudie 2016 zu verwenden. Nachstehende Änderungen wurden bei der Kostenstudie 2016 vorgenommen:

- Die Dauer des Nachbetriebs wurde durch Umsetzung von zwischenzeitlich gemachten Erfahrungen für das KKW Gösgen auf 3 Jahre, für die KKW Beznau und Leibstadt auf 4 Jahre reduziert.
- Die Dauer des Leistungsbetriebs wurde für das KKW Mühleberg auf 47 Jahre angepasst und bei den anderen KKW wurden zusätzlich die Auswirkungen eines 60-jährigen Leistungsbetriebs abgeschätzt.
- Durch ein früheres Erwirken der Stilllegungsverfügung wurde die Dauer des Rückbaus für das KKW Gösgen auf 11 Jahre, für das KKW Mühleberg auf 12, für das KKW Beznau auf 14 Jahre, für das KKW Leibstadt auf 15 Jahre und für das Zwibez auf 1 Jahr ab Einstellung des Leistungsbetriebes reduziert.
- Änderungen durch die geplante Revision der StSV wurde in Form eines Risikozuschlags mit Eintrittswahrscheinlichkeit 100 % berücksichtigt.

- Gegenüber der Kostenstudie 2011 wurde im Basisprojekt das Stilllegungsziel «Abschluss der Stilllegungsarbeiten und Entlassung der Standorte aus dem KEG», auch bezeichnet als «braune Wiese» zugrunde gelegt. Als eine zusätzliche Variantenbetrachtung wird der weitere Rückbau zur «grünen Wiese» mit dem Entfernen sämtlicher Fundamente angeführt.
- Der Beginn der Betriebsphase (Einlagerung) der geologischen Tiefenlager wurde geändert, für schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA) auf das Jahr 2050 statt 2035 und für hochaktive Abfälle (HAA) auf das Jahr 2060 statt 2050.
- Für das KKW Mühleberg wurde spezifisch zugrunde gelegt, dass die Stilllegungsarbeiten mit Demontagen bereits beginnen können, sobald die Stilllegungsverfügung wirksam ist, auch wenn noch nicht alle Brennelemente abtransportiert sind und dass bereits vor der Wirksamkeit der Stilllegungsverfügung diverse Aktivitäten durchgeführt werden können.
- Das Basisprojekt der geologischen Tiefenlager wurde infolge der Ergebnisse des Sachplanverfahrens angepasst.
- Die Dauer der Zwischenlagerung verlängert sich um zehn Jahre gegenüber den Annahmen in der Kostenstudie 2011.

2.5 Umgang mit Chancen und Gefahren

Angaben der Kostenstudie

Die absehbaren Chancen- und Gefahrenpotenziale sollen gemäss den Vorgaben der VK-STENFO benannt und hinsichtlich ihrer quantitativen Auswirkungen auf die Kosten bewertet werden. Gefahren werden gemäss [7] als Erwartungswert bzw. Risikowert (geologische Tiefenlagerung) von Kostenmehrungen, die mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit zukünftig auftreten werden, verstanden. Chancen werden analog als Erwartungswert bzw. Risikowert von Kostenminderungen verstanden, die ebenfalls mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit eintreten werden.

Für jede berücksichtigte Gefahr wurden in der Regel zwei Szenarien betrachtet – eines mit ungünstigem Verlauf und relativ hohen Auswirkungen, ein anderes mit relativ günstigem Verlauf und entsprechend geringeren Auswirkungen. Analog wurde für die Chancen vorgegangen.

Für die Stilllegung sind die Ergebnisse dieser Risikobetrachtung im Chancen- und Gefahrenkatalog [7] dokumentiert. Es werden insgesamt 30 Gefahren und 9 Chancen beschrieben. Dazu werden jeweils die Konsequenzen für den Rückbau, weitere Annahmen und Bedingungen, sowie risikomindernde Massnahmen angegeben. Weiter werden die Herleitung der Eintrittswahrscheinlichkeit und die Kalkulation des Schadensausmasses bzw. des Chancenpotenzials stichwortartig beschrieben. Die unterstellten Auswirkungen der einzelnen Gefahren und Chancen auf die Personalaufwände, die Terminplanung sowie die Menge der anfallenden Reststoffe und deren Entsorgungswege werden überwiegend nicht oder nur qualitativ angegeben.

Für die geologische Tiefenlagerung werden mit dem Risikoregister ausgehend vom Basisprojekt für die geologischen Tiefenlager die möglichen kostenwirksamen Abweichungen erfasst und der Umgang mit diesen Abweichungen aufgezeigt. Die Erläuterungen zum Risikoregister [9] enthalten Auszüge aus dem Risikoregister, jedoch keine Angaben zu den effektiven Kostenfolgen.

Beurteilung des ENSI

Die vorliegenden Listen der Chancen und Gefahren [7, 9] wurde auf Vollständigkeit geprüft und bewertet, ob für die dort genannten Chancen und Gefahren eine plausible Eintrittswahrscheinlichkeit unterstellt wurde und ob alle technischen Konsequenzen für den Rückbau berücksichtigt wurden. Dafür wurde die Beschreibung der Konsequenzen für den Rückbau im Chancen- und Gefahrenkatalog herangezogen. Da die unterstellten Auswirkungen der einzelnen Chancen und Gefahren auf die Personalaufwände, die Terminplanung sowie die

Menge der anfallenden Reststoffe und deren Entsorgungswege überwiegend nicht quantitativ angegeben werden, kann das Schadensausmass bzw. das Chancenpotenzial nicht mit der gleichen Prüftiefe bewertet werden, wie dies für das Basisprojekt der Fall ist.

Mit den in [7] betrachteten Chancen und Gefahren werden alle Bereiche, die aus technischer Sicht einen relevanten Einfluss auf die erforderlichen Tätigkeiten und Einrichtungen sowie die anfallenden zu entsorgenden radioaktiven Abfälle bei der in den vorgelegten Stilllegungsstudien [10-14] beschriebenen Stilllegung der Schweizer Kernanlagen haben können, benannt.

Die in [9] betrachteten Chancen und Gefahren sind prinzipiell sehr ausführlich, gleichzeitig aber wenig quantitativ beschrieben, was aus Sicht des ENSI stufengerecht ist. Es wurden alle relevanten technischen Risiken benannt.

3 Stilllegung

3.1 Stilllegungsvariante, Stilllegungsziel und Endzustand

3.1.1 Auswahl der Stilllegungsvariante

Angaben der Kostenstudie

Gemäss international üblicher Vorgehensweise existieren für die Stilllegung eines Kernkraftwerkes verschiedene Stilllegungsvarianten. In der Schweiz kommen aus gesetzlichen Gründen (Art. 26 Abs. 2 Bst. d in Verbindung mit Art. 31 Abs. 2 Bst. a KEG [26]) nur ein sofortiger Rückbau oder ein späterer Rückbau nach einem gesicherten Einschluss in Frage. Nebst dem Kernenergie- und dem Strahlenschutzgesetz ist die Umweltgesetzgebung wesentlich. Das übergeordnete Ziel bei der Auswahl der Stilllegungsvariante ist, dass die Anlage nach ordnungsgemäsem Abschluss der Stilllegung keine radiologische Gefahrenquelle mehr darstellt und somit nicht mehr der Kernenergiegesetzgebung untersteht [4].

Deshalb haben sich alle Schweizer Betreiber in den aktuell gültigen Stilllegungsplänen (vergl. Kostenstudie 2011) für den sofortigen Rückbau bis zur grünen Wiese entschieden. Mit der Bestätigung dieser Stilllegungspläne ist diese Entscheidung bis zu einer allfälligen Anpassung der Stilllegungspläne verbindlich festgeschrieben und wurde also von der VK-STENFO für die Erstellung der vorliegenden Stilllegungsstudien [10-13] zur Ermittlung der zu erwartenden Stilllegungskosten vorgegeben [1].

Bei einem sofortigen Rückbau werden die kontaminierten und aktivierten Einrichtungen, Komponenten und Bauwerke bzw. Bauteile des Kernkraftwerks entsorgt oder soweit dekontaminiert, dass die Anlage so bald wie möglich nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs aus der Kernenergiegesetzgebung entlassen werden kann. Die Umsetzung dieser Stilllegungsvariante beginnt nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs innerhalb eines Zeitraumes von drei bis fünf Jahren. Im so genannten Nachbetrieb, der sich unmittelbar nach endgültiger Einstellung des Leistungsbetriebs an diesen anschliesst, werden die Brennelemente entsorgt sowie die noch vorhandenen Betriebsabfälle konditioniert und ebenfalls entsorgt. Nicht mehr benötigte Systeme werden entleert und gespült. Das Stilllegungsprojekt wird nach der Anordnung in der Stilllegungsverfügung umgesetzt. Beim sofortigen Rückbau wird das gesamte radioaktive Material aus der Anlage entfernt und konditioniert, um es entweder einer Zwischenlagerung oder direkt der geologischen Tiefenlagerung zuzuführen. Bauwerke, die weder kontaminierte noch aktivierte Bauteile enthalten, werden abgerissen oder können ohne durch die Kernenergiegesetzgebung bedingte Einschränkungen am Standort verbleiben.

Beurteilung des ENSI

Bewertungsgrundlage für die Stilllegungsvariante sind Art. 45 Bst. a KEV [27] und Kapitel 5.4.1 der Richtlinie ENSI-G17 [28].

Die schweizerische Gesetzgebung schreibt den Eigentümern von stillzulegenden Kernanlagen vor, dass sie die verschiedenen Stilllegungsvarianten gegeneinander abwägen und die gewählte Variante begründen, wobei in der Schweiz nur zwei Varianten in Frage kommen: der sofortige Rückbau einer Kernanlage oder der sichere Einschluss und spätere Rückbau.

Swissnuclear beschreibt in den Unterlagen die Gründe für die Stilllegungsvariante sofortiger Rückbau. Diese Variante entspricht der Vorgabe 10 der VK-STENFO [1]. Sie ist insbesondere auch im Einklang mit den gültigen Stilllegungsplänen der entsprechenden Schweizer Kernanlagen.

Das ENSI erachtet es als korrekt, als Variante entsprechend Art. 45 Bst. a KEV [27] und Kapitel 5.4.1 der Richtlinie ENSI-G17 [28], den sofortigen Rückbau nach Beendigung des Leistungsbetriebes zu wählen. Korrekt ist auch, dass der sofortige Rückbau die bevorzugte Variante der internationalen Standards und Regelwerke ist.

3.1.2 Stilllegungsziel und Endzustand

Angaben der Kostenstudie

Von der VK-STENFO wurden für die Erstellung der Kostenstudie 2016 folgende Vorgaben zum Stilllegungsziel vorgegeben. Bezüglich des Abschlusses der Stilllegung gibt es zwei Betrachtungsweisen zum Stilllegungsziel:

- Die Stilllegung ist abgeschlossen, wenn die Anlage vollständig (inkl. aller Foundationen) zurückgebaut ist.
- Die Stilllegung ist abgeschlossen, wenn die Anlage ohne Einschränkung und Aufsicht für andere als nukleare Zwecke verwendet werden kann.

Aufgrund der Betrachtungsweisen sind folgende Stilllegungsziele kostenmässig abzubilden:

- Vollständiger Rückbau inkl. Entfernung sämtlicher Fundamente. Einsparungen, falls die Fundamente und Betonkonstruktion nur bis –2 m ab Oberkante Terrain zurückgebaut werden, sind als Chancen auszuweisen.
- Entlassung aus der Kernenergiegesetzgebung.

Gegenüber der Kostenstudie 2011, in der nur ein Endzustand als Stilllegungsziel definiert war, namentlich die uneingeschränkte Freigabe des Geländes nach konventionellem Rückbau der Gebäude bis zu einer Tiefe von zwei Metern unter der Geländeoberfläche, werden in der Kostenstudie 2016 [4] weitere Varianten (Endzustände) des Stilllegungsziels zugrunde gelegt.

In der Kostenstudie 2016 werden folgende zu erreichende Endzustände gemäss den Vorgaben der VK-STENFO betrachtet:

- Entlassung aus der Kernenergiegesetzgebung. Nutzung des Areals nach Abschluss der Stilllegung als Industrie- oder Gewerbestandort. Ausgezonte Gebäudestrukturen oder ein Teil davon können belassen und ggf. weiter genutzt werden. Die Kostenermittlung für diesen Endzustand bilden die Basis-kosten.
- Vollständiger Rückbau inkl. Entfernung sämtlicher Fundamente. Nutzung des Areals nach Abschluss der Stilllegung zu beliebigen Zwecken, insbesondere auch zu landwirtschaftlichen bzw. naturnahen. Die Kostenermittlung für diesen Endzustand sollen als Variante ausgewiesen werden. Die Einsparungen, falls die Fundamente und Betonkonstruktion nur bis –2 m ab Oberkante Terrain zurückgebaut werden, sind als Chancen auszuweisen.

In der Basisvariante der Kostenstudie 2016 wird das Stilllegungsziel Abschluss der Stilllegungsarbeiten und Entlassung der Standorte aus der Kernenergiegesetzgebung zugrunde gelegt. Das bedeutet, dass das Stilllegungsziel erreicht ist, wenn sämtliche nuklearen Stilllegungsarbeiten abgeschlossen sind und vom Standort keine radiologische Gefährdung mehr ausgeht. Die am Standort verbleibenden Gebäude und Einrichtungen können einer anderweitigen Verwendung zugeführt werden (in der Kostenstudie 2016 als «Braune Wiese» bezeichnet).

Zusätzlich zu der Basisvariante werden die Stilllegungskosten inklusive der Kosten des konventionellen Rückbaus in der Kostenstudie 2016 als Variante ausgewiesen. Bei dieser Variante werden die Kosten unter der Annahme geschätzt, dass die Anlage vollständig rückgebaut und sämtliche Fundamente entfernt werden, so dass nach Abschluss der Arbeiten eine beliebige Nutzung des Areals möglich ist. Der Abbruch der Gebäude mit kontrollierter Zone erfolgt nach der radiologischen Freigabe dieser Bereiche. Es wird davon ausgegangen, dass alle Gebäude ohne kontrollierte Zone unabhängig einer radiologischen Freigabe abgebrochen werden (in der Kostenstudie 2016 als eine Variante der «Grünen Wiese» bezeichnet).

Potenzielle Kosteneinsparungen aus einem Entfernen der Fundamente nur bis zu einer Tiefe von 2 Metern unter der Erdoberfläche, anstelle des vollständigen Entfernens, werden als Chance quantifiziert und ausgewiesen [10-13]. Hierbei werden Anlagen und Einrichtungen jedoch auch in grösseren Tiefen demontiert und

die Gebäudeoberflächen unter die gültigen Freigabewerte dekontaminiert, freigemessen und radiologisch freigegeben (in der Kostenstudie 2016 als eine weitere Variante der „Grünen Wiese“ bezeichnet).

Weiterhin wird angenommen, dass das zuständige Departement zeitnah nach ordnungsgemäsem Abschluss der Stilllegungsarbeiten (Erreichen des Stilllegungszieles) feststellt, dass die Anlage keine radiologische Gefahrenquelle mehr darstellt und somit nicht mehr der Kernenergiegesetzgebung untersteht.

Beurteilung des ENSI

Das ENSI stützt sich bei der Beurteilung auf Art. 29 KEG, wonach das Stilllegungsziel erreicht ist, wenn «die Anlage keine radiologische Gefahrenquelle mehr darstellt». Ist dies nachgewiesen, erfolgt die Entlassung aus der Kernenergiegesetzgebung durch das D-UVEK.

Swissnuclear hat das Stilllegungsziel mit den Varianten der erwarteten Endzustände hinreichend beschrieben. Das ENSI kann den Ausführungen folgen, dass die Anlage nach Abschluss der radiologischen Freimessung keine radiologische Gefahrenquelle mehr darstellt und die Anlage nach Abschluss der Stilllegungsarbeiten gestützt auf Art. 29 Abs. 1 KEG aus der Kernenergiegesetzgebung entlassen werden kann.

Der Endzustand „Vollständiger Rückbau inkl. Entfernung sämtlicher Fundamente“ ist derzeit in den Stilllegungsplänen festgeschrieben. Nach Abschluss der Arbeiten und der radiologischen Freimessungen stellt die Anlage allerdings keine radiologische Gefahrenquelle mehr dar (unrestricted release gemäss [29]) und könnte dann auch für beliebige Zwecke genutzt werden. Das ENSI kann jedoch keine weiteren Anmerkungen zu Einschränkungen und Forderungen anderer Behörden, etwa im Hinblick auf den Grundwasserschutz, machen. Da die weitere Nutzung freigemessener Gebäude nicht den derzeitigen Stilllegungsplänen entspricht, sind nach Ansicht des ENSI die Demontagen der Einrichtungen, Gebäude und befestigten Flächen so lange als Bestandteil der Stilllegung zu betrachten, wie keine entsprechend korrigierten Stilllegungspläne vorliegen.

Aus technischer Sicht ergeben sich für die Beurteilung des ENSI keinerlei Konsequenzen aus der veränderten Darstellungsweise der verschiedenen möglichen Endzustände als «Basisszenario» oder «Variante». Es sei allerdings nochmals darauf hingewiesen, dass nach derzeitigem Stand der vom BFE anerkannten Stilllegungspläne erst der Abriss aller Gebäude und die Renaturierung der Betriebsareals zur uneingeschränkten Verwendungsmöglichkeit als Endpunkt des Rückbaus zu betrachten ist. Insofern stellt die so genannte «braune Wiese» allenfalls eine (Kosten-)Optimierungsvariante des Basisszenarios «grüne Wiese» dar und nicht umgekehrt.

Aus Sicht des ENSI ist damit die Vorgabe 11 der VK-STENFO [1] umgesetzt worden.

3.2 Bewertung des angenommenen Ausgangszustands (physikalisches und radiologisches Inventar)

3.2.1 Beschreibung der Anlagen

Angaben der Kostenstudie

In den anlagenspezifischen Stilllegungsstudien [10-14] werden die Standorte und die Anlagen kurz beschrieben und die Gebäude, die der kontrollierten Zone angehören, benannt.

Beurteilung des ENSI

In den Stilllegungsstudien werden in den Abschnitten zur Beschreibung der Anlage die Standorte, die Grössen und die Bauarten der Anlagen verständlich dargestellt. Die Aufteilung der Strukturen in kontrollierte Zonen und in konventionelle Teile der Anlagen ist nachvollziehbar. Die Beschreibung der Anlagen ist für ein Verständnis der nachfolgend beschriebenen Stilllegungsmassnahmen geeignet.

3.2.2 Inventar der Anlagen

Angaben der Kostenstudie

Die Stilllegungsstudien der Kernanlagen [10-14] beinhalten Angaben zum physikalischen und radiologischen Inventar der jeweiligen Anlage sowie, aufgeschlüsselt auf die einzelnen Gebäude, eine Auflistung von abzubauenen Komponenten-Typen mit Angabe der jeweiligen Gesamtmassen (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 unterschieden.

Das radiologische Inventar der Anlagen setzt sich aus aktiviertem und kontaminiertem Material zusammen. Aktivierte Systemkomponenten und Bauteile stammen aus denjenigen Bereichen der KKW, die während des Leistungsbetriebs einer intensiven Neutronenstrahlung ausgesetzt waren. Zu diesen Komponenten zählen vor allem der Reaktordruckbehälter (RDB), seine Einbauten und der biologische Schild sowie das Drywell bei den Siedewasserreaktoren. Gemäss [10-13] werden aktivierte Teile als radioaktiver Abfall entsorgt. Im Fall des Zwilag setzt sich das radiologische Inventar lediglich aus kontaminierten Komponenten und Gebäudestrukturen zusammen.

Für einige aktivierte Komponenten werden maximale Co-60-Aktivitäten mit typischen Werten für die RDB-Einbauten, die Plattierung des RDBs, weitere kernnahe Teile und die spezifische Aktivität der Isolierung und für den biologischen Schild angegeben.

Die bei den KKW wesentlich zum radiologischen Inventar beitragenden Systemkomponenten sind die Innenoberflächen der Primärkreisläufe und der Hilfssysteme. Räume innerhalb der kontrollierten Zone können ebenfalls kontaminiert sein.

Entsprechend den in den Stilllegungsstudien [10-14] festgelegten Randbedingungen und Annahmen

- wird ein anlagenweit gültiger Nuklidvektor angegeben, der zur Bestimmung der Menge an kontaminiertem Material und zu dessen radiologischer Charakterisierung herangezogen werden soll.
- werden sogenannte Härtegrade definiert, die die Qualität der Datenerfassung für die Eingangsdaten beschreiben. Ausgehend von einer groben Schätzung der Komponentenmasse mit Abweichungen bis $\pm 30\%$ (Härtegrad I) verfeinert sich die Schätzung mit steigendem Härtegrad auf Abweichung von $\pm 5\%$ (Härtegrad III). Die nach Härtegraden differenzierten Komponentenmassen werden jeweils in [10-14] tabellarisch aufgelistet und daraus die Gesamtmasse der Anlage bestimmt.
- werden Kontaminationsklassen dargestellt, die in Abstimmung zwischen Nagra und der Anlage definiert wurden.
- werden für die kontrollierte Zone Dosisleistungsklassen definiert, die zur Kalkulation der zu erwartenden Kollektivdosis dienen.
- werden in [14] auch rückbaurelevante Grenz- und Richtwerte für die Freimessung angegeben.

Ein nicht auszuschliessender Mehraufwand aufgrund eines unerwartet hohen Auftretens konventioneller Schadstoffe wird im Chancen- und Gefahrenkatalog [7] 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 Abbaubarbeiten. Nennenswerte Verzögerungen werden nicht erwartet, da die Schadstoffe bereits in der regulären Abbauplanung über ein belastbares Schadstoffkataster berücksichtigt sind.

Beurteilung des ENSI

Im Rahmen der Prüfung hat das ENSI bezüglich der massebezogenen Eingangsdaten der Stilllegungsstudien [10-13] festgestellt, dass unter Berücksichtigung der jeweiligen Leistungsdaten die ausgewiesenen Massen im erwarteten Bereich liegen.

Generell werden für die Komponenten- und Gebäudemassen innerhalb und ausserhalb der kontrollierten Zone zum Teil deutlich höhere Werte als in der Stilllegungsstudie 2011 angegeben. Für den Bereich ausserhalb der kontrollierten Zone ist dies gegenüber der Stilllegungsstudie 2011 mit den Massen neu aufgenommener baulicher Strukturen zu erklären und für die kontrollierte Zone resultiert die erhöhte Masse in erster Linie aus den geänderten Massenangaben für die Sicherheitsgebäude. Eine detaillierte Prüfung der Masseangaben ist nicht möglich, da für die Anlagen keine detaillierten Gebäudepläne vorliegen. Ebenso stehen für eine Bewertung der Systemmassen keine Unterlagen zur Verfügung.

Die in den Tabellen 5-6 der Stilllegungsstudien [10-13] angegebenen Massen sind untereinander konsistent bis auf diejenigen wo die Massenangabe «Nicht kontaminiert ausserhalb kontrollierter Zone» grösser ist als die Masse der Gebäude und Systeme ausserhalb der kontrollierten Zone, was gemäss auf Gebäudemassen der kontrollierten Zone nach deren Freigabe zurückzuführen sei.

Für den RDB und dessen Einbauten ergaben sich insgesamt plausible Massenangaben. Auch die berechneten spezifischen Aktivitäten für die RDB-Einbauten, den RDB und den biologischen Schild sind auf Basis dieser Bewertung im Wesentlichen plausibel.

Die Verbreitung und Ablagerung von aktivierten Korrosionsprodukten in der Anlage als dominierender Kontaminationspfad ist gemäss [10-13] ebenso in der erwarteten Grössenordnung. Die Daten weiterer mit Primärkühlmittel beaufschlagter Systeme liegen demgegenüber auf einem sehr niedrigen Niveau von wenigen hundert Bq/cm².

Die Kontaminationswerte für verfahrenstechnisch nicht aktivitätsführende Systeme sind zwar klein, jedoch in Bezug auf die Rückbaukosten potenziell von Relevanz. Die angegebenen Kontaminationswerte deuten darauf hin, dass ein erheblicher Aufwand für die Freimessung und ggf. Dekontamination dieser Bereiche und Komponenten erforderlich sein wird.

Auch ausserhalb der kontrollierten Zone können kontaminierte Bereiche auftreten, die sich nicht aus der Betriebshistorie ableiten lassen. Zur Identifizierung bzw. Abgrenzung dieser kontaminierten Bereiche ist erfahrungsgemäss ein nicht unerheblicher Messaufwand erforderlich. Dieser nicht auszuschliessende Mehraufwand wird im Chancen- und Gefahrenkatalog [7] berücksichtigt und in Kap. 3.5.1 beurteilt.

Auch können Spaltprodukte insbesondere in Folge grösserer Brennelementschäden in den Primärkreis freigesetzt worden sein bzw. werden und Alpha-Kontaminationen verursachen. Aussagen hierzu enthalten die Stilllegungsstudien nicht. Das Auftreten unerwarteter Alpha-Kontamination wird im Chancen- und Gefahrenkatalog [7] lediglich als Folge von zukünftigen Brennelementschäden betrachtet. Da entsprechende, in der Vergangenheit entstandene Schäden nicht ausgeschlossen werden können, wurden die Annahmen hierzu im Rahmen der Bewertung des Chancen- und Gefahrenkatalogs hinterfragt. Swissnuclear hat hierzu erläutert, dass die bisher bekannten Alpha-Kontaminationen der Anlagen in den Kostenstudien berücksichtigt wurden. Zudem waren die schweizerischen KKW in den zurückliegenden Jahrzehnten weitestgehend frei von BE-Schäden.

Die Freimessung von Gebäudeflächen während des Rückbaus stellt einen nicht zu unterschätzenden Aufwand dar. In der Stilllegungsstudien [10-14] finden sich keine Angabe zu den Grössen der freizugebenden Flächen in und ausserhalb der kontrollierten Zonen oder zur räumlichen Verteilung der Kontamination. Ohne entsprechende Angaben ist eine Aufwandsabschätzung nur sehr pauschal im Vergleich zu anderen Anlagen möglich.

Die Stilllegungsstudien [10-14] enthalten keine Angaben zur Datenbasis und zur Berechnung des Nuklidvektors. Basierend auf Erfahrung in anderen KKW hat sich gezeigt, dass die Verwendung eines einzelnen Nuklidvektors für den Rückbau nicht praktikabel ist, sondern dass für die einzelnen Komponenten und Gebäude insbesondere für die Freigabe unterschiedliche Nuklidvektoren heranzuziehen sind.

Gefahr: Mehrkosten durch unerwartet hohes Auftreten konventioneller Schadstoffe

Zusätzlich zu den von swissnuclear berücksichtigten Folgen kann ein unerwartet hohes Auftreten konventioneller Schadstoffe aus Sicht des ENSI auch dazu führen, dass die Schadstoffe bis kurz vor Stilllegungsende nicht ausreichend zugänglich sind, woraus sich eine Fortdauer der kernenergierechtlichen Aufsicht bis zum Ende des Abrisses und eine Änderung der Abrissstrategie ergeben könnte. Da sich in den Stilllegungsstudien weder Angaben zu den Grössen der freizugebenden Flächen in den kontrollierten Zonen noch zur räumlichen Verteilung der Kontamination finden, kann eine Aufwandsabschätzung nur sehr pauschal im Vergleich zu anderen Anlagen gemacht werden. Die Freimessung von Gebäudeflächen stellt aber erfahrungsgemäss einen nicht zu unterschätzenden Aufwand dar, insbesondere bei mit schwer messbaren Nukliden belasteten Flächen. Das ENSI geht davon aus, dass die Anlagen auch während des Leistungsbetriebs ein radiologisches Kataster führen und entsprechend pflegen. Anhand dieser Daten kann eine räumliche Verteilung der Kontaminationen in der Anlage, ausgehend vom aktuellen Stand und der zu erwarteten Menge an kontaminiertem Material, besser abgeschätzt werden. Weiterhin hat sich im Rahmen der Arbeiten zum Stilllegungsprojekt KKM gezeigt, dass aufgrund der geänderten Freigabewerte (Inaktivfreigabe) nach der revidierten Strahlenschutzverordnung wesentlich grössere Abfallmengen, insbesondere Beton, für die Abklinglagerung vorzusehen sind.

Empfehlung 3-1: Für die nächste Aktualisierung der Kostenstudie empfiehlt das ENSI eine Überarbeitung der Massenangaben in den Tabellen 5-6 der Stilllegungsstudien [10-13]. Insbesondere sollen dabei auch die Erfahrungen aus dem Stilllegungsprojekt KKM 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.

3.3 Ablauf der Stilllegung

3.3.1 Stilllegungsplanung

Angaben der Kostenstudie

Die letzte Aktualisierung der Stilllegungspläne durch die jeweiligen Inhaber der Betriebsbewilligungen der Kernkraftwerke und des zentralen Zwischenlagers erfolgte 2011. Der Zeitpunkt für die nächste Aktualisierung der Stilllegungspläne ist zeitgleich mit der nächsten Kostenstudie (2021) vorgesehen.

Optimierungen

Die Kostenstudie 2011 und die Kostenstudie 2016 untersuchen beide die Stilllegungsvariante sofortiger Rückbau nach einem ordnungsgemässen Betrieb. Aus Stilllegungsprojekten von Kernkraftwerken in Deutschland ergeben sich einige Empfehlungen zur Optimierung der Dauer des Nachbetriebs und Rückbaus. Diese Erfahrungen wurden zum Teil schon in der Kostenstudie 2011 berücksichtigt und sind vollumfänglich in die Kostenstudie 2016 integriert.

Dauer des Leistungsbetriebs

Gegenüber der Kostenstudie 2011, in der ein 50-jähriger Betrieb der Anlagen unterstellt wurde, werden in der Kostenstudie 2016 in den Basisprojekten die kalkulatorische Betriebsdauer des KKW Mühleberg mit 47 Jahren und für die KKW Beznau, Gösgen und Leibstadt Betriebsdauern von 50 Jahren angenommen. Die Auswirkungen eines 60-jährigen Leistungsbetriebs werden zusätzlich abgeschätzt.

Dauer des Nachbetriebs

Im Vergleich zur Kostenstudie 2011 betragen die Nachbetriebsdauern für das KKW Gösgen 3 Jahre, das KKW Beznau und KKW Leibstadt 4 Jahre und für das KKW Mühleberg 5 Jahre. Im Fall der Zwiilag und des Zwibez gibt es keinen Nachbetrieb.

Dauer der Stilllegung

Es wird davon ausgegangen, dass die Stilllegungsverfügung spätestens mit Erreichen der Kernbrennstofffreiheit, jedoch möglicherweise schon vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs rechtswirksam ist. Die Dauer des Rückbaus wurde für KKG mit 11 Jahren, für KKB mit 14 Jahren, für KKL mit 15 Jahren, für Zwiilag mit 5 Jahren und für Zwibez mit 1 Jahr ab endgültiger Einstellung des Leistungsbetriebs (EELB) angegeben. Im Fall der Zwiilag und des Zwibez erfolgt die Stilllegung durch Rückbau der Anlagen von 2071 bis 2076.

Im Fall der Zwiilag wird das Stilllegungsprojekt während den drei letzten Betriebsjahren erstellt. Es wird davon ausgegangen, dass die rechtskräftige Stilllegungsverfügung ebenfalls bereits vor der Einstellung des Betriebs erwirkt werden kann.

Einbezug neue StSV

Als Grundlage für die Schätzung der Basiskosten werden die in der gültigen Schweizer StSV (Stichtag 1. Januar 2015) aufgeführten Freibewerte herangezogen. Die Revision der StSV wird voraussichtlich neue niedrigere Freibewerte vorsehen. Die möglichen Kostenfolgen der Revision sind in der Kostengliederung berücksichtigt.

Die geplante Revision der StSV verursacht in Verbindung mit der Berücksichtigung der Abklinglagerung einen erhöhten Dekontaminations- und Verpackungsaufwand, einen Anstieg der anteiligen Stilllegungsabfälle (siehe Kap. Abklinglagerung) und Kosten für die Errichtung und den Betrieb der Abklinglager. Die Mehrkosten sind in Form eines Gefahrenzuschlags zu den Basiskosten berücksichtigt.

Kernkraftwerk Mühleberg

Gemäss der Vorgabe der VK-STENFO sind für das KKM die aktuellen Erkenntnisse aus der Erarbeitung des Stilllegungsprojektes als Grundlage für die Kostenstudie 2016 zu verwenden. Im Rahmen des Stilllegungsprojektes für das KKW Mühleberg (Stand Ende 2015) wurde mit den zuständigen Behörden eine von dieser Darstellung abweichende Vereinbarung getroffen. Diese kamen aber für die Berücksichtigung in der Stilllegungsstudie nicht mehr rechtzeitig.

Die Dauer des nuklearen Rückbaus nach endgültiger Einstellung des Leistungsbetriebs einschl. Nachweis der Kontaminationsfreiheit und Entlassung aus der Kernenergiegesetzgebung wird mit 12 Jahren angegeben. Bis zur Einlagerung der Abfälle in das geologische Tiefenlager werden die radioaktiven Abfälle im Zwiilag zwischengelagert.

Im Rahmen der Kostenstudie erfolgt die Abgrenzung des Nachbetriebs vom Rückbaubetrieb zum demjenigen Zeitpunkt, zu dem sowohl die Stilllegungsverfügung rechtswirksam vorliegt als auch die Kernbrennstofffreiheit erreicht ist.

Es wird keine grundsätzliche Neuermittlung der Massen durchgeführt. Gestützt auf die für die Kostenstudie 2011 erhobenen Daten werden nur Anpassungen vorgenommen, wenn sich zwischen dem Erhebungsstand der Kostenstudie 2011 und dem Anlagenzustand zum Stichtag 01.01.2016 Änderungen ergeben haben.

Die Stilllegungsstudie für das KKM umfasst die Stilllegung mit den Abschnitten:

- Erstellen und Einreichen der Unterlagen zum Stilllegungsprojekt und Erwirken der Stilllegungsverfügung
- Rückbau aller Einrichtungen und Entfernen der Radioaktivität vom Standort
- Konventioneller Abriss der verbleibenden, inaktiven Anlagenbereiche

Die Arbeiten des ersten Abschnitts (Stilllegungsprojekt und Stilllegungsverfügung) beginnen bereits während des Leistungsbetriebs und werden während des Nachbetriebs fortgesetzt, der noch unter der Betriebsbewilligung abgewickelt wird und sich direkt an die endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs anschliesst.

Für die Kostenstudie 2016 wird zugrunde gelegt, dass die Stilllegungsverfügung zum Zeitpunkt der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebes wirksam vorliegt. Nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs beginnen die Stilllegungsarbeiten am KKM. Ab diesem Zeitpunkt können Stilllegungsarbeiten mit Demontage- und Abbruch parallel zum 5-jährigen Nachbetrieb stattfinden. Davor erfolgen während des Nachbetriebs und teilweise bereits während des Leistungsbetriebs die Stilllegung vorbereitende Massnahmen.

Der Nachbetrieb umfasst u.a. auch folgende Aktivitäten, die zum Teil parallel zueinander abgearbeitet werden können:

- Umbaumassnahmen
- Infrastruktur
- Behandlungs- und Servicebereiche
- Lagerbereiche
- Chemische Dekontamination
- Abisolieren von Systemen und sonstiger nicht der Stilllegungsverfügung bedürftiger Demontagen

Diese Massnahmen finden im Zeitraum zwischen endgültiger Einstellung des Leistungsbetriebs und dem Eintreten der Wirksamkeit der Stilllegungsverfügung statt. Sie unterliegen der bestehenden Betriebsbewilligung. Die Kosten des 5-jährigen Nachbetriebs werden durch betriebliche Rückstellungen finanziert und sind daher nicht Bestandteil der vorliegenden Stilllegungsstudie.

Die hier beschriebenen Aufwendungen und Abläufe des Nachbetriebs dienen nur zur Erläuterung bezüglich des Beginns der Stilllegungs- bzw. Rückbaumassnahmen.

Beurteilung des ENSI

Die Aktualisierung eines Stilllegungsplans ist turnusmässig alle 10 Jahre vorgesehen, vorbehaltlich der Regelungen in Art. 42, Abs. 2 Bst. a KEV, nach denen eine Nachführung zudem erforderlich ist, wenn wesentliche Anforderungen an die Stilllegung geändert wurden. Für die Schweizer KKW und auch für die Anlagen der Zwiilag treffen diese Kriterien nicht zu. Das ENSI stellt fest, dass für alle Anlagen die technischen Planungsgrundlagen aktualisiert worden sind und damit eine geeignete Datenbasis für die Ermittlung der Stilllegungskosten vorliegt. Gleichwohl handelt es sich dabei nicht um eine Aktualisierung der Stilllegungspläne im Sinne des Art. 42 KEV.

In den vergangenen 5 Jahren haben sich bei Stilllegungsprojekten von anderen KKW, z. B. in Deutschland, zum einen einige Optimierungen zur Dauer des Nachbetriebs und Rückbaus ergeben, zum anderen wurden auf Seite der schweizerischen Behörden rechtliche Abklärungen, die die Stilllegung eines Leistungsreaktors betreffen, getätigt und die Möglichkeiten zur Stilllegungsdurchführung abgeklärt. Das ENSI stellt fest, dass diese Erfahrungen und Abklärungen zum Basiszeitpunkt der Kostenstudie berücksichtigt und in die Kostenstudie 2016 integriert wurden.

Das ENSI bewertet die Umsetzung der Vorgabe 12 der VK-STENFO [1] für die Kostenstudie 2016 als korrekt. Im Falle des KKM sind aus Sicht des ENSI die wesentlichen Elemente aus der Erarbeitung des Stilllegungsprojekts zum Zeitpunkt 2015 in die Kostenstudie 2016 eingeflossen. Allerdings war die Erstellung des Stilllegungsprojekts zu diesem Zeitpunkt in der Planungsphase. Zwischenzeitlich wurde das Projekt mit Änderungen finalisiert, bei der Behörde eingereicht und bewertet.

Empfehlung 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.

3.3.2 Durchführung des Rückbaus

Angaben der Kostenstudie

Die Massnahmen und die Tätigkeiten bei der Stilllegung werden in den Stilllegungsstudien [10-14] anlagen-spezifisch in funktionale Pakete (AP) aufgeteilt und definiert. Die aufgeführten Massnahmen werden dann in Arbeits- und Kostenschritten zusammengefasst. Die AP werden zum Teil zeitlich parallel zueinander abgearbeitet.

Für die KKW massgebend ist dabei der erforderliche Rückbaubetrieb, dessen Aufwendungen insbesondere durch die Tätigkeiten für die Aufrechterhaltung von Wasserkreisläufen, für den Brandschutz, die Anlagensicherung, die Aktivitätsrückhaltung sowie für die Infrastruktur beeinflusst werden.

Der Abschluss bestimmter Arbeitspakete definiert das Erreichen von Meilensteinen. Die zeitliche Abfolge der Arbeitspakete und die Verknüpfung mit den Meilensteinen werden in Form eines Grobterminplanes [10-14] dargestellt.

Wesentliche Stationen des Rückbaus werden durch ein Erreichen von Meilensteinen gekennzeichnet, diese werden für die Anlagen KKB, KKG und KKL definiert durch das Ende der Demontage der RDB-Einbauten, das Ende der Demontage des biologischen Schilts, das Ende des Restausräumens der Einrichtungen der kontrollierte Zone, das Ende der Gebäudefreigabe mit Entlassung aus dem KEG und bis Ende des konventionellen Gebäudeabbruchs und der Rekultivierung.

Für die Anlage KKM werden die Meilensteine, anknüpfend an die vier Stufen des Nachbetriebs, definiert durch das Ende Demontage RDB-Einbauten (parallel zum Nachbetrieb), das Ende Demontage RDB / Drywell, das Ende Demontage Aufbereitungs-, Reaktorgebäude und Maschinenhaus-S, das Ende Restausbau (wasserfrei), Gebäudedekontamination mit Auszonen, das Ende Auszonen nach Restausbau, die Entlassung aus dem KEG (konventioneller Rückbau I) und das Ende konventioneller Rückbau (konventioneller Rückbau II).

Für das Zwiilag werden die Meilensteine definiert durch das Ende Gebäudefreigabe mit Entlassung aus dem KEG und das Ende konventioneller Gebäudeabbruch und Rekultivierung.

Die Konsequenzen der Gefahr von Verzögerungen durch Extremwetterlagen wurden im Chancen- und Gefahrenkatalog [7] berücksichtigt.

Beurteilung des ENSI

Das ENSI bewertet die Vollständigkeit und die Zweckmässigkeit der einzelnen Schritte zur Durchführung des Rückbaus bis zur Entlassung aus dem KEG [26].

Die beim Rückbau von KKW bzw. Zwischenlagern grundsätzlich durchzuführenden Massnahmen und Tätigkeiten werden durch die funktionalen Pakete der Stilllegungsstudien [10-14] für die Schweizer Kernanlagen vollständig erfasst. Die zeitliche Abfolge der Arbeitspakete auf dem Detaillierungsgrad des Grobterminplanes in [10-14] ist plausibel.

Für die KKW wird die Schlüsselstellung des funktionalen Pakets «Demontage RDB-Einbauten» als wesentlicher Faktor zur Reduzierung der Restaktivität innerhalb der kontrollierten Zone und als Voraussetzung für die nachfolgende Demontage des RDB sowie des biologischen Schilts zutreffend berücksichtigt.

Für das Zwiilag werden mit der Plasma-Anlage und der Heissen Zelle zunächst die Bereiche zurückgebaut, in denen die höchste Kontamination zu unterstellen ist. Bei der Behandlung der hierbei anfallenden Demontagematerialien können die übrigen bestehenden Konditionierungseinrichtungen des Zwiilag, wie z. B. die Beta-/Gamma-Box genutzt werden, da deren Demontage erst im Nachhinein vorgesehen ist.

Gefahr: Verzögerungen durch Extremwetterlagen

Neben einem verlängerten Rückbaubetrieb sind aus Sicht des ENSI auch Auswirkungen auf die eigentlichen Rückbaugewerke (z. B. Freimessungen auf dem Areal) möglich. Dieser Posten sollte in der nächsten Aktualisierung der Kostenstudie berücksichtigt werden.

3.3.3 Arbeitsumfänge

In den Stilllegungsstudien [10-14] wird der Umfang der betrachteten Stilllegung der KKW und des Zwiilag 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 dem KEG sowie als weitere Variante noch den konventionellen Abriss der verbliebenen, inaktiven Anlagenteile. Des Weiteren sind die Stilllegungen der an den Standorten befindlichen Zwischenlager Beznau (Zwibez) und des Nasslagers Gösgen im Umfang der Stilllegungsstudie enthalten.

In den Basisprojekten wird die kalkulatorische Betriebsdauer des KKW Mühleberg mit 47 Jahren und für die KKW Beznau, Gösgen und Leibstadt mit 50 Jahren angenommen. Gemäss [14] endet beim Zwiilag der planmässige Betrieb der Plasmaanlage im Jahr 2050, der Betrieb der Halle S im Jahr 2062 und der Betrieb der restlichen Anlagen im Jahr 2070.

Die Tätigkeiten zu den Stilllegungsprojekten und zur Erwirkung der Stilllegungsverfügung beginnen für alle Anlagen bereits parallel zum Leistungsbetrieb.

Als Zeitpunkt für das wirksame Vorliegen der Stilllegungsverfügung wird gemäss den Stilllegungsstudien für das KKM 2019, das KKB 2025, das KKG 2033, das KKL 2039 und das Zwiilag 2070 angenommen.

Im Fall des Zwiilag und des Zwibez gibt es keinen Nachbetrieb.

Die Dauer des Rückbaus, beginnend mit der Wirksamkeit der Stilllegungsverfügung, soll für das KKM etwa 12 Jahre, das KKB 9 Jahre, das Zwibez 1,5 Jahre, das KKG etwa 7,75 Jahre, das KKL 11,5 Jahre und für das Zwiilag etwa 5 Jahre betragen. Innerhalb dieser Zeiträume werden gemäss den Stilllegungsstudien [10-14] folgende Gesamtmassen demontiert:

Tabelle 3-1: Gesamtmassen zu demontierender Komponenten in der kontrollierten Zone

	Masse (Mg)
KKM	11214
KKB inkl. Zwibez	16217
KKG	12193
KKL	26869
Zwiilag	4475

Die Demontagetätigkeiten enden gemäss den Stilllegungsstudien bei der Basisvariante mit der Gebäudedefreigabe, der Auszonung der Gebäude und der Entlassung aus dem KEG.

Für die Variante des vollständigen Rückbaus inklusive der Entfernung sämtlicher Fundamente im Zuge des konventionellen Abrisses wird eine zusätzliche Dauer von 3 Jahren für das KKB, 3,5 Jahren für das KKG inkl. Nasslager, 4,25 Jahren für das KKL und 2 Jahren für das Zwiilag angenommen.

Die Massnahmen und die Tätigkeiten bei der Stilllegung der Kernanlagen werden in den Stilllegungsstudien auf funktionale Pakete aufgeteilt. Die funktionalen Pakete werden zum Teil zeitlich parallel zueinander abgearbeitet. Bis auf das funktionale Paket «Konventioneller Abbruch Gebäudestrukturen» werden Angaben zum Personalaufwand in Personen-Jahren ausgewiesen. Der erforderliche Rückbaubetrieb, der beginnt, sobald die Stilllegungsverfügung wirksam ist und die Brennstofffreiheit erreicht ist, wurde als wesentlicher Kostenfaktor der Stilllegung identifiziert. Der Abschluss des Abbaus bestimmter Komponenten und Einrichtungen definiert das Erreichen von Meilensteinen, die Auswirkungen auf die Kosten des verbleibenden Rückbaubetriebes haben.

Tabelle 3-2: Personalaufwand und Kollektivdosen für die Kernanlagen

	Gesamtaufwand (Personenjahre)	Rückbaubetrieb (Personenjahre)	Kollektiv-Dosis (Sv)
KKM	1891	669	7,2
KKB inkl. Zwibeiz	2874	1219	14,8
KKG	2396	1093	11,2
KKL	3524	1509	17,5
Zwiilag	359	154	0,25

Als Eingangsparameter zur Ermittlung des Arbeitsaufwandes bei den Demontagen bzw. bei der Behandlung der Gebäudeoberflächen werden spezifische Demontageleistungen, z. B. Personen-Stunden/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 nachgeordneten funktionalen Pakete den Personalaufwand in Personen-Jahren mit einem höheren Detaillierungsgrad ausweisen.

Beurteilung des ENSI

Die zeitliche Abfolge der funktionalen Pakete auf dem Detaillierungsgrad eines Grobterminplans ist für das ENSI plausibel. Dieser geht von einer Betriebsdauer der KKW Mühleberg von 47 Jahren bzw. Beznau, Gösgen und Leibstadt von 50 Jahren aus, womit Vorgabe 5 der VK-STENFO [1] aus Sicht des ENSI erfüllt wurde.

Das ENSI erwartet keine längere Dauer für die Durchführung der Demontagen der Hauptkomponenten und damit auch ein rechtzeitiges Erreichen der den Leistungsumfang dominierenden Meilensteine 1 und 2 (5 und 6 für KKM), sofern keine zusätzlichen Verzögerungen, wie z. B. wegen zusätzlich notwendiger Massnahmen beim Vorhandensein konventioneller Gefahrstoffe (z. B. Asbest, vgl. Kap. 3.2.2) oder aufgrund von baustatischen Abhängigkeiten, auftreten. Auch hinsichtlich der Dauer der gesamten Rückbauphase halten wir die Angaben in den Stilllegungsstudien [10-14] bei weitestgehend störungsfreiem Ablauf für realisierbar.

Der in den Stilllegungsstudien [10-14] angegebene Gesamtpersonalaufwand für die Stilllegung und den Abbau der KKW sowie des Zwiilag liegt auch mit der vorgenommenen Anpassung gegenüber dem Stand von 2011 im unteren Bereich dessen, was auf der Basis von praktischen Erfahrungen aus den laufenden oder abgeschlossenen anderen Rückbauprojekten zu erwarten ist. Andererseits ist abzusehen, dass die Erkenntnisse

aus der praktischen Abwicklung von weiteren Rückbauprojekten in den kommenden Jahren zusätzliche positive Auswirkungen auf die logistischen Abläufe und die eingesetzten technischen Methoden beim Abbau der Kernanlagen haben werden und die bereits jetzt berücksichtigten Optimierungsmöglichkeiten unterstützen. Insofern schliesst das ENSI eine Realisierung des Rückbaus der Kernanlagen mit dem abgeschätzten Gesamtpersonalaufwand nicht aus.

Die abgeschätzten Kollektivdosen für den gesamten Rückbau sind aus Sicht des ENSI abdeckend. Bei KKG, KKL und KKB sind die abgeschätzten Kollektivdosen in einzelnen funktionalen Paketen aus Sicht des ENSI hoch angesetzt worden. Jedoch bewertet das ENSI die relativen Anteile der funktionalen Pakete an den insgesamt abgeschätzten Kollektivdosen als plausibel, insbesondere entspricht ein signifikanter Anteil für die projektbegleitenden Massnahmen sowie für die Tätigkeiten zur Reststoffbehandlung und -logistik den heutigen Erfahrungen.

Im Fall des Zwiilag ist die Kollektivdosis für alle funktionalen Pakete vor dem Hintergrund der wahrzunehmenden Aufgabenbereiche in Verbindung mit dem vom ENSI erwarteten Kontaminationszustand ebenso plausibel gewählt.

3.4 Bewertung der gewählten Zerlege- und Dekontaminationsverfahren

Angaben der Kostenstudie

In den Stilllegungsstudien [10-14] werden die Techniken vorgestellt, mit deren Hilfe die für den Abbau erforderlichen Zerlege- und Dekontaminationsaufgaben sowie die Behandlung von Materialien und Abfällen durchgeführt werden sollen. Dabei wird 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. Weiterhin werden die Kriterien Geschwindigkeit, Bedienung, Schneidfuge und Anfall von Sekundärabfall herangezogen. Je nach den radiologischen Randbedingungen sind sowohl ein manueller Einsatz dieser Trennverfahren vor Ort als auch ein fernbedienter Einsatz vorgesehen. Auch die Funktionsweise und die geeigneten Einsatzbereiche sowohl für mechanische als auch für thermische Trennverfahren werden 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. Die Bereiche, in denen die Anwendung einer Dekontamination vorgesehen ist, werden dargelegt.

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.

Für die mechanischen und chemischen Dekontaminationsverfahren werden die Funktion und der Einsatzbereich beschrieben.

Die Dekontamination durch Einschmelzen wird als weitere Möglichkeit zur Minimierung des endzulagernden Volumens angeführt. Sofern die in dem Schmelzprodukt verbleibende Aktivität niedrig genug ist, kann nach einer Abklinglagerung eine Freigabe des Materials erfolgen.

Beurteilung des ENSI

Es wurden die in den Stilllegungsstudien [10-14] aufgeführten Zerlege- und Dekontaminationsverfahren dahingehend geprüft, ob mit diesen Verfahren ein geordneter Rückbau erfolgen kann und die genannten Verfahren betriebsbewährt sind.

In den Stilllegungsstudien [10-14] werden die typischen im Rahmen des Abbaus von kerntechnischen Anlagenteilen zum Einsatz kommenden mechanischen und thermischen Trennverfahren dargestellt. Bei den genannten Verfahren handelt es sich um erprobte, handelsübliche und in anderen Rückbauprojekten bewährte Trennverfahren. Für die Auswahl der zum Einsatz kommenden Trennverfahren werden aus Sicht des ENSI die entscheidenden Kriterien, wie die technologische Eignung, etc. sowie die radiologischen Randbedingungen genannt. Des Weiteren werden die Randbedingungen für deren Anwendung bzgl. der Aspekte der Handhabung hinreichend präzise festgelegt. Die aufgeführten Trennverfahren sind vom Grundsatz für einen fernbedienten Einsatz geeignet und können bis auf wenige Ausnahmen auch unter Wasser eingesetzt werden.

Neben den genannten Verfahren werden beim Abbau von Anlagenteilen üblicherweise noch andere Trennverfahren angewendet, die hinsichtlich ihrer Funktion und ihres Einsatzbereiches vergleichbar mit den genannten sind, wie z. B. das Zerlegen von kraftschlüssigen Verbindungen. Aus der nicht vollständigen Auflistung der Trennverfahren ergeben sich aber keine neuen Aspekte, die einen Einfluss auf die Aufwandsabschätzung in den Stilllegungsstudien [10-14] haben.

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 ggf. auch der Einsatz von speziellen Abbaugerätschaften, wie z. B. Manipulatoren, erforderlich werden. Eine Betriebsbewährung kann für solche speziellen Abbaugerätschaften nicht ohne weiteres vorausgesetzt werden. Sofern neue spezielle Abbaugerätschaften zum Einsatz kommen sollen, 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 an die vor Ort herrschenden Bedingungen. Der zusätzliche Aufwand für die Qualifizierung von speziellen Abbaugerätschaften wird jedoch nicht so hoch eingeschätzt, als das er in der Abschätzung der Vorbereitungsmaßnahmen gesondert berücksichtigt werden muss.

Zu den Dekontaminationsverfahren werden in den Stilllegungsstudien [10-14] die üblichen 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. Eine Reduzierung des radioaktiven Abfalls kann auch durch die ebenfalls dargestellte Dekontamination durch Einschmelzen in externen Anlagen erfolgen. Auch diese Vorgehensweise findet weite Verbreitung in der Praxis und stellt ein bewährtes Verfahren dar. Sofern die Freigrenzen bzw. Freigabewerte für das Schmelzprodukt geringfügig überschritten werden, besteht die Möglichkeit, dieses nach einer Abklinglagerung freizugeben.

Aus Sicht des ENSI sind die für die Auswahl der zum Einsatz kommenden Zerlege- und Dekontaminationsverfahren entscheidenden Kriterien zutreffend und vollständig aufgeführt.

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 zwischen nicht radioaktiven und radioaktiven Materialien unterschieden. Damit 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 (Sekundärabfällen). Dafür stehen verschiedene Behandlungsmöglichkeiten zur Verfügung. Die Behandlung, Verarbeitung und Verpackung kann vor Ort oder in einer externen Einrichtung vorgenommen werden.

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

Das physikalische Inventar der kontrollierten Zonen ist aufgegliedert nach Gebäude und Komponententyp. In den Basisprojekten sollen die Gebäudestrukturen, ggf. nach Dekontamination, freigegeben und aus der Kernenergiegesetzgebung entlassen werden.

Die wichtigsten Daten werden wie folgt angegeben:

Tabelle 3-3: Abschätzung relevanter Massen der Kernanlagen

	Gesamtmasse (Mg)	Masse kontr. Zone (Mg)	geol. TL (Mg)
KKM	459'960	273'688	4'058
KKB inkl. Zwibez	195'639	126'326	2'854
KKG	576'062	240'900	3'077
KKL	746'992	429'168	6'458
Zwilag	213'429	202'424	524

Das Materialbehandlungskonzept unterscheidet sich in den Stilllegungsstudien [10-14] hinsichtlich der Festlegung der Behandlungsmöglichkeiten und des Entsorgungsziels nach Masse bzw. Grösse, radiologischen Daten und Komponententyp bzw. Materialart, wobei eine detaillierte Beschreibung der vorgenannten Behandlungsverfahren nicht vorgenommen wurde.

Für die KKW sollen aktivierte Materialien überwiegend ohne Behandlung dem geologischen Tiefenlager zugeführt werden, metallische schwach aktivierte Materialien sollen ggf. dem Einschmelzen zugeführt werden. Dabei sind gemäss Berechnungen der Nagra verschiedene Bereiche um den Reaktordruckbehälter so gering aktiviert, dass diese nach einer Abklingzeit von 10 Jahren unterhalb der Freigrenzen liegen und freigegeben werden können.

Kontaminierte Komponenten sollen aufwändigeren Behandlungen wie Nachzerlegung, Dekontamination und Einschmelzen zugeführt werden.

Die Konsequenzen der Gefahr einer fehlenden Bewilligung zur Verfüllung von Gebinden mit Betongranulat wurden im Chancen- und Gefahrenkatalog [7] berücksichtigt.

Beurteilung des ENSI

Der Grossteil der Materialien aus den kontrollierten Zonen soll direkt oder nach Dekontamination freigegeben werden. Aus Sicht des ENSI ist dieses Ziel bei geeigneter Dekontamination durchaus erreichbar, so dass nur ein geringer Teil als radioaktiver Abfall entsorgt werden muss.

Bei den Abfällen durch aktivierte Massen stellt das ENSI fest, dass

- die für die KKW Beznau und Leibstadt angegebenen Werte einem Grossteil der Masse der Primärabfälle entsprechen, die insgesamt dem geologischen Tiefenlager zugeführt werden soll,

- der für das KKW Mühleberg angegebene Wert deutlich höher ist als die Masse der Primärabfälle,
- für das KKW Gösgen die aktivierte Masse vergleichsweise sehr niedrig angegeben wird.

Gering aktivierte Metallstrukturen sollen, falls geeignet, dem Schmelzen und anschliessend der Abklinglagerung zugeführt werden. Durch die vergleichsweise kurzen Halbwertszeiten der typischen Aktivierungsprodukte ist für diese Materialart eine Abklinglagerung mit anschliessender Freigabe zielführend. Weiterhin sollen Teilbereiche des biologischen Schilts bei KKB, KKM und KKG, des Drywell bei KKM und KKL, des Liners und der Reaktorgrube bei KKG einer Abklinglagerung zugeführt werden können.

Bei Betonstrukturen, in die Aktivität eingedrungen ist, erfolgt die Dekontamination üblicherweise 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 zu den Angaben können ohne Kenntnis von vorliegenden Messwerten nicht getroffen werden.

Das ENSI hat im Rahmen seiner Beurteilung der sicherheitstechnischen Prüfung der Kostenstudie 2016 die Eingangsdaten der Anlagen nach radiologischer Zuordnung auf Plausibilität mit folgendem Ergebnis geprüft:

- Die aufgeführten Daten in den Tabellen 5-6 von [10, 12, 13] bzw. Tabelle 5-5 von [11]) stehen im Widerspruch zu den sonstigen Angaben. Die Gebäudemassen der kontrollierten Zone sind in den Massen «Nicht kontaminiert ausserhalb kontrollierte Zone» enthalten; die restlichen Zeilen der Tabelle 5-6 enthalten die in verschiedene Kontaminationsklassen und «Aktiviert» aufgeteilte Komponentenmasse der kontrollierten Zone, sowie für das Zwiilag zusätzlich das Lucens-Inventar.
- Da die Gebäudestrukturen der kontrollierten Zone teilweise kontaminiert sind und hier mit entsprechendem Betonabtrag aus der Gebäudedekontamination zu rechnen ist, sollte hier nachvollziehbar differenziert werden.
- Die Summe der Massen der Zeilen der Tabelle 5-6 zu verschiedenen Kontaminationsklassen und «Aktiviert» ist für Mühleberg höher als die Komponentenmasse der kontrollierten Zone gemäss Tabelle 5-2 von [13], dies ist nicht nachvollziehbar. Weiterhin enthält die Tabelle 5-6 die Angabe 1,435 Mg Oberflächenabtrag; diese Masse ist deutlich höher, als die gemäss Tabelle 7-3 von [13] in das geologische Tiefenlager zu entsorgende Masse von 430 Mg Oberflächenabtrag aus Gebäudedekontamination. Da Oberflächenabtrag bei Dekontaminationsprozessen mit dem Ziel der Freigabe der verbleibenden Gebäudestruktur anfällt, ist es unplausibel, dass der Abtrag der Freigabe zugeführt werden kann. Auf Basis der zur Verfügung stehenden Daten sind die Angaben zu den als radioaktiver Abfall zu entsorgenden Massen nicht vollständig im Detail prüfbar.
- Ebenso kann beim KKW Beznau die angegebene Grössenordnung von ca. 4.100 Mg für den Abbau der kontrollierten Zonen nur realistisch sein, wenn ein erheblicher Teil der 3.598 Mg an aktivierten Materialien der Freigabe zugeführt werden kann und das Kontaminationsniveau der Gebäudestrukturen niedrig ist. Ggf. ist noch mit einer Erhöhung des Abfallanteils «499 Mg Betonabtrag aus Gebäudedekontamination» zu rechnen. Analoges gilt für die entsprechenden Werte der anderen Kernkraftwerke.
- Für KKG kann die Angabe nur für realistisch gehalten werden, wenn die sehr niedrige Angabe von 858 Mg an aktivierten Materialien zutreffend ist.
- Für das Zwiilag ist die Masse des Betonabtrags aus der Gebäudedekontamination nur schwer abschätzbar und in der Stilllegungsstudie [14] wurden keine Angaben zur Vorgehensweise der Zuordnung der Komponenten zu den einzelnen Kontaminationsklassen getroffen. Darüber hinaus wurden die gewählten Kontaminationsklassen hinsichtlich ihrer radiologischen Bedeutung nicht definiert.

Empfehlung 3-3: Die Daten zu den Materialströmen und Stilllegungsabfällen sind für die nächste Aktualisierung der Kostenstudie zu überarbeiten und in prüfbarer Form darzulegen.

Die in den Stilllegungsstudien [10-14] aufgeführten Konditionierungsverfahren für die Behandlung der anfallenden radioaktiven Abfälle entsprechen dem Stand der Technik und wurden bereits erfolgreich bei anderen Stilllegungsprojekten eingesetzt.

Die in Tabelle 18 der Kostenstudie [4] angegebenen Verpackungsfaktoren werden als realistisch eingeschätzt. Für die Lagercontainer LC-84 und LC-84-25 sind für die Abfallart Stahl verschiedene Verpackungsfaktoren angegeben; hier wäre eine Präzisierung sinnvoll, wann welcher Faktor zur Anwendung kommen soll. Weiterhin ist vorgesehen, dass die Hohlräume von mit Anlagenteilen beladenen Lagerbehältern LC-84 mit Abfall, der bei der Gebäudedekontamination in Form von Betongranulat und –staub anfällt, aufgefüllt werden; hierfür ist kein Verpackungsfaktor angegeben.

Unter Beachtung der Erfahrungen anderer Stilllegungsprojekte kommt das ENSI zum Ergebnis, dass die in den Stilllegungsstudien [10-14] aufgeführten Abschätzungen der Massen an radioaktiven Abfällen, die vorgesehenen Behandlungsverfahren und das Verpackungskonzept für eine Abschätzung der voraussichtlichen Höhe der Stilllegungskosten der KKW und des Zentralen Zwischenlagers Würenlingen geeignet sind. Eine vollständige Prüfung auf Nachvollziehbarkeit ist wegen der oben genannten Defizite jedoch nicht möglich.

Die Prüfung der Angaben zu den einzelnen Gefahren und Chancen auf Nachvollziehbarkeit, der Angaben zur Eintrittswahrscheinlichkeit sowie der Auflistung der jeweils genannten technischen Konsequenzen auf Vollständigkeit ergab folgende Anmerkungen:

Gefahr: Kontamination in konventionellen Gebäuden und Kraftwerksgelände sowie Mehraufwand bei der Dekontamination der nuklearen Anlagenteile

Swissnuclear hat auf Nachfrage erklärt, dass die Kosten für mögliche erforderliche zusätzliche statische Sicherungsmassnahmen nicht in der erforderlichen Höhe geschätzt wurden. Es wird angestrebt, für die künftigen Kostenstudien einen präziseren Kostenanfall herzuleiten.

Die für diese Gefahr angenommene Eintrittswahrscheinlichkeit von 15% ist ohne Kenntnis der Betriebshistorie nicht nachvollziehbar. Aufgrund vorliegender Erfahrungen empfiehlt das ENSI eine höhere Eintrittswahrscheinlichkeit anzunehmen.

Swissnuclear hat des Weiteren auf Nachfrage erläutert, dass Auswirkungen auf die Gesamtlaufzeit des Gesamtprojektes durch die Gefahren unter «Verzögerungen bei der Entlassung aus der nuklearen Aufsicht» abgedeckt seien und nicht bei den einzelnen Gefahren, die eine Verzögerung verursachen können. Im Übrigen seien Verzögerungen aufgrund von Kontaminationen ausserhalb der kontrollierten Zone erst am Ende des Rückbaus zu erwarten und damit wären die kostenseitigen Auswirkungen möglicher terminlicher Verschiebungen vergleichsweise gering. Insoweit wurde die Empfehlung 4.5 des ENSI aus der Kostenstudie 2011 erfüllt. Die Herleitung und Berechnung des Schadensausmasses der beschriebenen Gefahren zur Verzögerung des Gesamtprojektes ist anhand der vorliegenden Unterlagen nicht nachvollziehbar.

Gefahr: Nichterteilung der Bewilligung zur Verfüllung von Gebinden mit Betongranulat

Das ENSI erkennt keine Notwendigkeit für dieses Risiko: Bei einer sachgerechten Darstellung als Spezifikation für einen neuen Abfallgebindetyp (AGT) gemäss den Vorgaben der Richtlinie ENSI-B05 [30] sind keine Gründe erkennbar, warum die entsprechende AGT-Genehmigung des ENSI nicht erteilt werden kann. Als Präzedenzfall ist die Einbindung zusätzlicher radioaktiver Abfälle in die Verfüllung von Kleincontainern in einem anderen Projekt bereits genehmigt worden. Die Bewertung eines Schadensausmasses erübrigt sich somit.

3.5.2 Freimessung und Abklinglagerung

Angaben der Kostenstudie

Bei der Stilllegung und dem Abbau der Schweizer KKW sowie dem Zentralen Zwischenlager Würenlingen ist neben dem Verbringen der radioaktiven Abfälle in ein geologisches Tiefenlager zugleich auch die Entlassung von Materialien aus dem Geltungsbereich der StSV [37] durch eine Freimessung vorgesehen.

Als weiterer Entsorgungspfad steht gemäss den Stilllegungsstudien [11-14] und [U8] das Einschmelzen aktivierter oder kontaminierter Materialien zur Verfügung. Die in den Giesslingen verbleibenden, für die Freigabe relevanten Nuklide, weisen in der Regel eine kurze Halbwertszeit auf, so dass Giesslinge mit einer relativ niedrigen Aktivität einer Abklinglagerung und einer daran anschliessenden Freigabe zugeführt werden können.

In den Stilllegungsstudien [11-14] und [U8] sind die Verteilungen der Massen auf die Entsorgungsziele wie folgt aufgeführt:

Tabelle 3-4: Verteilung der Massen auf die Entsorgungspfade

	KKL	KKB	KKG	KKM	Zwilag
Freigabe ca. (Mg)	424.000	271.000	239.000	124.000	202.000
Einschmelzen ca. (Mg)	715	407	547	291	-
Radioaktiver Abfall (Mg)	6.458	4.058	3.077	2.854	514
Sekundärabfall als Teil des radioaktiven Abfalls (Mg)	736	356	356	261	10
Oberflächenabtrag als Teil des radioaktiven Abfalls (Mg)	369	499	224	430	29
Abklinglagerung aktivierter Stahl und Beton ca. (Mg)	2224	959	419	808	-

Angaben zu den Massen für die Abklinglagerung finden sich im Anhang 3 der Stilllegungsstudien. Bei den Zwilagangaben ist das Lucens-Inventar mit einer Masse von 262 Mg in den 514 Mg radioaktiver Abfall enthalten.

Entsprechend den Vorgaben der VK-STENFO wurde die Revision der Strahlenschutzverordnung als Gefahr mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 100% berücksichtigt [7]. Bei der Kalkulation des Schadensausmasses wurde neben der Errichtung und dem Betrieb auch der Rückbau des Abklinglagers berücksichtigt. Die beim Rückbau des Zwilag zu unterstellenden zusätzlichen Aufwendungen wurden vernachlässigt, da keine aktivierten Stoffe vorhanden sind.

Beurteilung des ENSI

Ein wesentlicher Bestandteil der Stilllegung und des Rückbaus von Kernanlagen ist die Entlassung von Materialien aus dem Geltungsbereich der Strahlenschutzverordnung (StSV) [31]. Die Bedingungen und Festlegungen, unter denen eine Freimessung erfolgen kann, sind in der StSV und in der KEV [27] geregelt.

Ein höherer Anteil an radioaktiven Abfällen wird bei Anwendung der Freigrenzen der Revision der StSV [20] anfallen. Mit einem erhöhten Dekontaminationsaufwand sowie mit einem erhöhten Messaufwand kann auch bei einer Absenkung der Freigrenzen für einen Grossteil der Materialien die Entlassung aus dem Regelungsbereich der revidierten StSV [20] erreicht werden. Eine weitere Möglichkeit zur Vermeidung dieser Massenerhöhung an radioaktiven Abfällen stellt die gemäss Art. 130 der revidierten StSV [20] vorgesehene Möglichkeit der Abklinglagerung dar.

Die Gebäudestruktur in kontrollierten Zonen ist erfahrungsgemäss in einzelnen Räumen in unterschiedlicher Aktivitätshöhe kontaminiert. Die Masse der kontaminierten Gebäudestruktur hängt wesentlich davon ab, inwieweit während der gesamten Betriebszeit grössere Leckagen an aktivitätsführenden Systemen vermieden werden.

In den Tabellen 3.5.2 der Stilllegungsstudien [10-14] wird die Masse des Oberflächenabtrags für den im Rahmen einer Gebäudedekontamination anfallenden radioaktiven Abfalls als sehr gering eingeschätzt, der nur in

Kernkraftwerken mit niedrigem Kontaminationsniveau realisierbar ist. Dies entspricht der heutigen Situation, ist aber für den Zeitpunkt der Stilllegung vom weiteren Betrieb der Anlage abhängig.

Im Fall des Zwiilag ist unter Betrachtung der Nuklidzusammensetzung der konditionierten Abfälle die Gefahr einer Querkontamination der Behandlungseinrichtungen, der Heissen Zellen, des Abwassersystems und der Lüftungsanlagen und ggf. der Gebäude bei der Konditionierung dieser Abfälle nicht unerheblich. Bei Anwendung der Freigrenzen gemäss der revidierten StSV [20] wird für einen höheren Anteil an Materialien die Entlassung aus dem Regelungsbereich der StSV anhand einer Freimessung nicht möglich sein und damit ein höherer Anteil an radioaktiven Abfällen anfallen. Im Transport- und Abfallmengengerüst ist das Lucens-Inventar enthalten, womit die ENSI-Empfehlung 4.1 aus der Kostenstudie 2011 aus technischer Sicht erfüllt ist.

Die Prüfung der Angaben zu den einzelnen Gefahren und Chancen auf Nachvollziehbarkeit, der Angaben zur Eintrittswahrscheinlichkeit sowie der Auflistung der jeweils genannten technischen Konsequenzen auf Vollständigkeit ergab folgende Anmerkungen:

Gefahr: Revision der Strahlenschutzverordnung

Aus Sicht des ENSI wurden die im Chancen- und Gefahrenkatalog [7] zu dieser Gefahr angegebenen Konsequenzen vollständig erfasst (vgl. Vorgabe 1 der VK-STENFO).

Für den Rückbau des Zwiilag ergeben sich die gleichen Auswirkungen wie für die KKW, bis auf die Konsequenzen für aktivierte Stoffe. In den folgenden Aktualisierungen der Kostenstudien werden die dann in Kraft getretenen Werte der revidierten Strahlenschutzverordnung bei der Berechnung der Basiskosten zu berücksichtigen sein.

Mit der Revision der Strahlenschutzverordnung werden ausserdem Radionuklide radiologisch relevant, die bislang zumindest bei der Freigabe gegenüber anderen Radionukliden vernachlässigt werden konnten. Hieraus kann zukünftig ein erhöhter Aufwand bei der radiologischen Charakterisierung erwachsen, zumal diese Radionuklide auf spezielle Nachweisverfahren angewiesen sind. Zudem ist derzeit nicht absehbar, ob für eine realistische Einschätzung der Entsorgungswege unter Beachtung dieser Radionuklide ausreichende Daten vorliegen. Dies sollte in der nächsten Aktualisierung der Kostenstudie berücksichtigt werden.

4 Entsorgung

4.1 Bestandsaufnahme der zu entsorgenden Abfallgebände

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 Zwiilag 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 von swissnuclear eine zuverlässige Basis für die Planung und Realisierung der benötigten Infrastruktur sowie deren Finanzierung vorhanden.

Als Grundlage für die Kostenstudie 2016 wurde, ausgehend vom Entsorgungsprogramm 2016, ein Abfallmengenraster 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 (KKM 47 Jahre) und von einer Sammelperiode für die MIF-Abfälle bis 2065 ausgegangen. Die Auswirkungen eines 60-jährigen Leistungsbetriebs wurden zusätzlich abgeschätzt. Es wird davon ausgegangen, dass die Wiederaufarbeitung in der Schweiz nicht wieder aufgenommen wird.

Die Zusatzkosten, die sich aus der geplanten Revision der Strahlenschutzverordnung ergeben, sind als Kostenzuschlag für Gefahren berücksichtigt². Bei dem Abfallinventar gemäss geplanter Revision der Strahlenschutzverordnung wird eine Abklinglagerung von sehr schwachaktiven Materialien (maximal 30 Jahre) angenommen.

Beurteilung des ENSI

Das Abfallinventar in den Unterlagen zur Kostenstudie 2016 und zum Entsorgungsprogramm 2016 ist untereinander konsistent. Das ENSI hat das Inventar im Rahmen seiner Beurteilung des Entsorgungsprogramm 2016 [32] auf Plausibilität geprüft und beurteilt die Prognose als zuverlässig und als eine geeignete Grundlage für die Kostenstudie 2016.

Alle bereits konditionierten Abfälle der KKW und der Zwiilag und – bis auf wenige Ausnahmen, deren Nachdokumentation kurzfristig erfolgen wird – aus dem PSI entsprechen den vom ENSI genehmigten Spezifikationen von Abfallgebändetypen (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 Abfallgebäude erzeugt werden, die einer aktuell gültigen AGT-Spezifikation entsprechen.

Im Entsorgungsprogramm 2016 wurde die Schätzung der Art und Menge der CERN-Abfälle und der Abfälle aus der Stilllegung der Beschleunigeranlage des PSI aktualisiert. Nach aktueller Einschätzung werden die Stilllegungsabfälle der Kernanlagen an der Universität Basel und an der ETH Lausanne in Anbetracht ihrer

² Die revidierte Strahlenschutzverordnung wird am 1. Januar 2018 in Kraft treten.

geringen Mengen als MIF-Abfälle im PSI abgeliefert und dort entsprechend konditioniert. Die Empfehlung 5.1 aus der Kostenstudie 2011 wurde damit berücksichtigt.

Es ist nicht auszuschliessen, dass durch neue Erkenntnisse, z. B. in Verlaufe der Arbeiten des Forschungs- und Entwicklungsprogramms oder durch Anpassungen der Richtlinie ENSI-B05 [30] 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 [29] 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 der Titelüberschrift zur Risikogruppe suggeriert, die Veränderungen der Zwischenlagertechnologie, sondern vielmehr Veränderungen der Anforderungen an die Abfallkonditionierung während der Dauer der Zwischenlagerung. Das ENSI erachtet die Berücksichtigung von zukünftigen Änderungen der technischen Konditionierungsanforderungen grundsätzlich als sinnvoll und notwendig. Auch die Eintrittswahrscheinlichkeit des Risikos mit 30% erscheint angemessen.

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 ist als einzelne Elemente des Risikos zu betrachten.

Empfehlung 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 [30] spezifische Festlegungen gibt.

Weitere Gefahren werden in Kap. 4.3 beurteilt.

4.2 Transporte, Transport- und Lagerbehälter

Angaben der Kostenstudie

In der Kostenstudie 2016 wird das Transportgerüst [33] für das Basisszenario (Betriebsdauer von 47/50 Jahren, siehe Kap. 4.2) aber auch für die Abfälle aller Schweizer Kernkraftwerke bei einer angenommenen Betriebsdauer von 47/60 Jahren und die MIF-Abfälle bei einer Sammelperiode bis 2064 betrachtet.

Auf Grund der Zeitplanungen der Kostenstudie 2016 werden Abfälle ab 2050 in das SMA-Lager und ab 2060 in das LMA/HAA-Lager transportiert. Für das Transportgerüst werden Strassentransporte zu Grunde gelegt, unter Einhaltung der Anforderungen aus den einschlägigen Vorschriften zum Transport gefährlicher Güter, für Strassentransporte also des ADR und der Verordnung SDR [34].

Die Transportkosten der Stilllegungsabfälle von der Anlage zum Standort des Zwischenlagers und später von dort zum geologischen Tiefenlager werden den Stilllegungskosten zugeordnet.

Die Kosten der Transport- und Lagerbehälter (TLB) für abgebrannte Brennelemente (BE) und hochaktive Abfälle enthalten neben der Beschaffungskosten auch die geschätzten Kosten für die während der Nutzungsdauer notwendige Überwachung und/oder periodischen Lizenzierungen.

Die Zahl der nicht wiederaufgearbeiteten BE und die zu erwartende Zahl der TLB für die Transporte zum geologischen Tiefenlager sind für den 50- und 60-jährigen Betrieb von KKB, KKG, KKL und 47 Jahre für KKM in der Tab. 6-1 des Transportgerüsts [33] dargestellt.

Die TLB werden nach ihrer Verwendung verwertet; falls dies nicht vollständig möglich ist, werden die entsprechenden Teile – z.T. nach entsprechender Abklinglagerung – als radioaktiver Abfall entsorgt. In der Oberflächenanlage der HAA-Lager wird gemäss [15] eine TLB-Innenreinigungs- und Zerlegungsanlage eingerichtet (siehe Kap. 4.5.3).

Beurteilung des ENSI

Das ENSI hat die Angaben in dem Transportgerüst [33] der Nagra auf Plausibilität geprüft. Nicht geprüft wurden die Angaben über die Transporte von MIF-Abfällen, weil der Bund keine Beiträge zum Entsorgungsfonds zu leisten hat (siehe Kap. 2.3).

Nach Beurteilung des ENSI werden im Transportkonzept die Vorgaben der Transportbestimmungen des ADR grundsätzlich berücksichtigt. Gemäss [5], Tabelle 9 wurden aber die Transporte von 200-l-Gebinde mit spaltbaren Materialien und mit Aktivitäten höher als die A2-Werte des ADR nicht berücksichtigt. Dies betrifft aber hauptsächlich den Transport von MIF-Abfällen und ist somit für die Bestimmung der Beiträge zum Entsorgungsfonds unerheblich (siehe Kap. 2.3). Nachträglich wurde erläutert, dass diese Transporte in die Kostenermittlung eingeflossen sind. Die Empfehlung 5.2 des ENSI zur Kostenstudie 2011 wurde somit berücksichtigt.

Mittelaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (CSD-C, CSD-B) werden im MAA-Lager der Zwiilag im Lagercontainer zwischengelagert. Für deren Transporte in das LMA-Lager sind Transportbehälter Typ B erforderlich. Angaben über die Beschaffung solcher Behälter konnten in den Unterlagen der Kostenstudie 2016 nicht gefunden werden. Möglicherweise sollen hierfür entsprechend geeignete Behälter vom Typ MOSAIK-II als Transportbehälter verwendet werden, die bereits während der Betriebsphase der Werke beschafft werden und damit nicht fondsrelevant sind. Nach Auskunft der Nagra werden für den Transport von mittelaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung die heute mit hochaktiven Abfällen beladenen Transport- und Lagerbehälter verwendet. Dies sollte möglich sein, da die Anlieferung von HAA und LMA ins Tiefenlager sich zeitliche überschneidet.

Das ENSI hat die Angaben zur Anzahl von BE und TLB auf Plausibilität geprüft. Grundlage der Prüfung waren Unterlagen und Berichte zur Entsorgungsplanung, die dem ENSI vorliegen. Auf dieser Basis kann das ENSI die Angaben in [33] bestätigen.

Empfehlung 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 BE-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.

4.3 Zwischenlagerung (Zentrales Zwischenlager, Zwibez, Nasslager KKG)

Angaben der Kostenstudie

In der Kostenstudie 2016 werden für die Zwischenlagerung die Szenarien einer Betriebsdauer der KKW von 47/50 Jahren und von 47/60 Jahren betrachtet [35, 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 Zwiilag werden bis ins Jahr 2071 am Standort Würenlingen betrieben und danach stillgelegt. Es wird in der Kostenstudie 2016 angenommen, dass Ergänzungs- und Ersatzinvestitionen bis zum Zeitpunkt der Stilllegung der Anlagen, wenn auch zuletzt nur noch in geringerem Umfang, getätigt werden müssen. Die im Betrieb, Nachbetrieb und bei der Stilllegung der KKW anfallenden brenn- und schmelzbaren Rohabfälle werden in der Plasma-Anlage der Zwiilag konditioniert.

Mit Abschluss des Nachbetriebs des KKB wird das Zwibel durch die Zwiilag bis 2071 weiterbetrieben und verwaltet. Die Zwiilag übernimmt damit die Aufgaben Bewachung, Überwachung, Strahlenschutz, Instandhaltung, Behörden und Abgaben, Versicherungen usw. und kommt für deren Kosten auf.

In der Kostenstudie 2016 wird neu davon ausgegangen, dass nach Einstellung des Leistungsbetriebs des KKG kein Autarkiebetrieb des dortigen Nasslagers mehr nötig ist. Alle noch im Nasslager befindlichen Brennelemente werden in das zentrale Zwischenlager transportiert und das Nasslager zusammen mit dem Kernkraftwerk stillgelegt.

Folgende Gefahren für die Zwischenlagerung wurden in der Kostenstudie berücksichtigt:

- Veränderung der Höhe der Betriebskosten der Zwischenlagerung
- Veränderung der Technologie bei der Zwischenlagerung
- Regulatorische Rahmenbedingungen der Zwischenlagerung
- Veränderung der Betriebsprozesse Zwischenlagerung
- Veränderung der Betriebsdauer der Zwiilag nach Abschluss der Auslagerung sämtlicher Abfälle
- Mehrkosten durch Umladung BE/HAA in neue Transportbehälter
- Kapazitätsengpass Behälterlagerhalle der Zwiilag

Für weitere Gefahren und Chancen wurde begründet, warum sie nicht berücksichtigt werden mussten.

Beurteilung des ENSI

Das ENSI hat die Angaben über die Zwischenlagerung in der Kostenstudie 2016 auf Plausibilität und Konsistenz geprüft. In seiner Stellungnahme zum Entsorgungsprogramm 2016 [32] stellt das ENSI fest, dass für die bestehenden KKW genügend Zwischenlagerkapazität zur Verfügung steht, was der Vorgabe 15 der VK-STENFO [1] entspricht. Die in der Kostenstudie 2016 angenommenen Betriebszeiten der Zwischenlager sind mit den Angaben aus dem Entsorgungsprogramm 2016 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 2016.

Das ENSI hat die in [8] 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.

Das Risiko «Veränderung der Technologie bei der Zwischenlagerung» ist aus Sicht des ENSI nicht korrekt betitelt und auch nicht allein als Risiko der Zwischenlagerung zu betrachten, sondern hat ab dem Zeitpunkt des Eintretens auch Auswirkungen auf die dann noch nicht konditionierten Abfälle. Erläuterungen und die daraus abgeleitete Empfehlung sind in Kap. 4.1 enthalten.

4.4 Abklinglagerung

Mit der revidierten Strahlenschutzverordnung (StSV) und den neuen Freimessgrenzen werden radioaktive Stoffe anfallen, die nach einer Abklinglagerung konventionell entsorgt werden können. Gemäss VK-STENFO soll die Abklinglagerung im Projektrisiko «neue StSV» berücksichtigt und ausgewiesen werden.

Angaben der Kostenstudie

In der Kostenstudie 2016 wird unter Abklinglagerung die Lagerung von radioaktiven Stoffen oder Komponenten im Sinne von Art. 85 Abs. 2 StSV im Hinblick auf eine Freigabe gemäss Art. 53 KEV bzw. der Richtlinie

ENSI-B04 [37] verstanden. Gegenüber der Kostenstudie 2011 ergibt sich für die Kostenstudie 2016 bezüglich Revision der StSV folgende Änderung:

Die geplante Revision der StSV verursacht in Verbindung mit der Berücksichtigung der Abklinglagerung einen erhöhten Dekontaminations- und Verpackungsaufwand, einen Anstieg der anteiligen Stilllegungsabfälle und Kosten für die Errichtung und den Betrieb der Abklinglager. Die Mehrkosten sind in Form eines Gefahrenzuschlags zu den Basiskosten berücksichtigt.

In den Stilllegungsstudien der KKW [10-13] sind jeweils im Anhang 2 folgende Angaben zu finden:

Die Basiskosten (bzw. Basiswerte) werden auf der Grundlage der in der gültigen Schweizer StSV aufgeführten Freigabewerte zum Stichtag 01.01.2015 ermittelt. Im Zuge einer anstehenden Novellierung der StSV werden die radiologischen massenspezifischen Freigrenzen reduziert. Die daraus resultierenden Auswirkungen auf die Stilllegungskosten für die KKW werden als eine weitere Variante berechnet und als Gefahr mit einer 100% Eintrittswahrscheinlichkeit ausgewiesen. Folgende Annahmen werden berücksichtigt:

- Die revidierten Freigrenzen der IAEA Richtlinie RS-G-1.7 [38] bilden die Berechnungsgrundlage zur Ermittlung der Massen, die für eine Abklinglagerung mit einer Laufzeit von 30 Jahren geeignet bzw. zusätzlich als radioaktiver Abfall zu entsorgen sind. Die daraus resultierenden Massen wurden von der Nagra ermittelt und für die Kostenstudie zur Verfügung gestellt.
- Für die Oberflächenkontamination gelten die in der gültigen Schweizer StSV im Anhang 3 Spalte 12 festgelegten Richtwerte (CA). Um den revidierten massenspezifischen Freigrenzen der IAEA-Richtlinie RS-G-1.7 [38] Rechnung zu tragen, wurde der Aufwand für die Dekontamination erhöht.
- Der Bau und die Inbetriebnahme des Abklinglagers erfolgt zwei Jahre vor dem Start der Abklinglagerung.
- Mit dem Start der Einlagerungskampagnen beginnt die Betriebsdauer des Abklinglagers für eine Dauer von 30 Jahren.

Im Chancen- und Gefahrenkatalog wird weiterhin angenommen, dass die Dauer des Rückbaus der Anlage dadurch nicht beeinflusst wird. Als risikomindernde Massnahmen soll eine frühzeitige Abstimmung mit den Behörden bezüglich der anzuwendenden Freimessverfahren und Freimessgrenzen erfolgen. Ein Inkrafttreten der Revision der StSV wird vor der nächsten Kostenstudie erwartet. Die Eintrittswahrscheinlichkeit wird daher zu 100 % angenommen.

Die für eine Abklinglagerung geeigneten Mengen resultieren aus den aktivierten Materialien:

Tabelle 4-1: Aktivierte Materialien

	aktivierter Stahl (Mg)	aktivierter Beton (Mg)
KKW Mühleberg	344.7	462.8
KKW Beznau	182.2	777.4
KKW Gösgen	67.9	339.1
KKW Leibstadt	780.4	1444.1
Summe	1375.2	3023.4

Beurteilung des ENSI

Eine Abklinglagerung zur Reduktion der Abfallvolumina für das geologische Tiefenlager wird, wie von der VK-STENFO gefordert, aufgrund der geplanten Revision der StSV mit revidierten nuklidspezifischen Freigrenzen im Gefahrenkatalog berücksichtigt. In [7] werden unter Kap. 2.3 entsprechende Angaben ausgewiesen. Darin

werden die Konsequenzen für den Rückbau durch das Inkrafttreten der revidierten StSV dargestellt. In [10-13] werden Mengenangaben auf Grundlage von Nagra-Berechnungen angegeben.

Durch die Annahme eines Schadensausmasses durch Mehraufwand für Dekontaminationen und radiologische Freimessungen und einer Eintrittswahrscheinlichkeit dieses Risikos von 100% ist die Umsetzung der Vorgabe 16 der VK-STENFO [1] für die Kostenstudie 2016 formal berücksichtigt.

Sicherheitstechnisch gesehen sind dazu «Abklinglager» nötig, in denen das Material bis zu seiner radiologischen Freigabe aufbewahrt wird. Zur Herstellung dieser Abklinglager (Standortsuche, Bau, Betrieb...) finden sich keine technischen Angaben, gemäss Angaben der Kostenstudie sollen lediglich die Kosten berücksichtigt worden sein. Aus Sicht des ENSI ist es möglich, dass die Abklinglager nicht rechtzeitig verfügbar sind. Im Gefahrenkatalog wird dieses Risiko jedoch nicht berücksichtigt. Ausserdem führt die Angabe einer Betriebszeit von 30 Jahren ab der ersten Einlagerung für das Abklinglager dazu, dass für die zuletzt eingelagerten Abfälle nur noch ein wesentlich kürzerer Zeitraum als in der Revision der StSV [20] genannten maximalen 30 Jahre erreicht werden können.

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

4.5 Geologische Tiefenlager

4.5.1 Zusammenhang mit dem Sachplan geologische Tiefenlager

Angaben der Kostenstudie

Die VK-STENFO hat vorgegeben, dass für die Kostenstudie 2016 die gleichen Modellstandorte zu verwenden sind wie in der Kostenstudie 2011. Es sind dies das Standortgebiet Zürich Nordost (kurz: ZNO) für das HAA-Lager und das Standortgebiet Jura Ost (kurz: JO) für das SMA-Lager [6]. 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 2016 modellhafte Annahmen (Basisvorhaben und Varianten), um den Nachvollzug der Kosten zu ermöglichen. Sie enthält modellhafte Unterlagen, um die Ermittlung der Kosten zu ermöglichen [6].

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 2, beurteilten 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 Dokumente identisch sind.

Gemäss [6], Tabelle 4 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. Als Variante wurde zusätzlich ein SMA-Lager in ZNO und ein HAA-Lager in JO untersucht. Mit den betrachteten Varianten Kombilager in ZNO bzw. in JO wird ausserdem der entsprechenden Bemerkung («Ebenfalls sind die für die Schätzung anzunehmenden Standorte für das Kombi- bzw. für das SMA- und das HAA-Lager anzugeben.») Rechnung getragen. Aus sicherheitstechnischer Sicht zeichnet sich heute keine Präferenz für die Realisierung der Einzellager bzw. eines Kombilagers ab. Der Entscheid über die Realisierung von zwei Einzellagern oder einem Kombilager kann erst nach Vorliegen der Ergebnisse der weiteren Standortuntersuchungen (Bohrungen, Auswertung der 3D-Seismik etc.) getroffen werden. Vorgabe 13 der VK-STENFO [1] wurde aus Sicht des ENSI vollumfänglich umgesetzt.

Die Abfallmengen in den Unterlagen zur Kostenstudie 2016 und zum Entsorgungsprogramm 2016 sind untereinander konsistent. Nach Angaben der Kostenstudie ergeben sich im Entsorgungsprogramm 2016 [32] aufgrund einer neuen Abschätzung anfallender Abfallmengen und neuen Annahmen hinsichtlich der Verpackung in Endlagerbehältern leichte Unterschiede im Vergleich zur Tabelle im MIRAM 14, die als Grundlage für die Etappe 2 SGT diente.

Das ENSI hat am 18. April 2017 sein sicherheitstechnisches Gutachten zum Vorschlag der in Etappe 3 SGT weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete (Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2) veröffentlicht und darin der Zurückstellung des Standortgebiets Nördlich Lägern und damit der Begrenzung auf jeweils zwei Standortgebiete für HAA- oder SMA-Lager nicht zugestimmt. Falls der Bundesrat dieser Einschätzung folgt, sind für Etappe 3 SGT drei Standortgebiete näher zu untersuchen, was in der Kostenstudie als Gefahr berücksichtigt wurde.

Die bautechnischen Aspekte der in [6] vorgestellten Variante «Kombilager» werden in Kap. 4.5.3 behandelt. Diese Variante hatte keinen Einfluss auf die Standortwahl und wurde daher im Rahmen der Etappe 2 SGT vom ENSI nicht überprüft.

Als alternative Behältervarianten für HAA/BE werden Kupferbehälter oder mit Kupfer beschichtete Stahlbehälter genannt, was aus heutiger Sicht eine sinnvoll gewählte Variante darstellt. Für HAA/BE stellt eine Verfüllung mit Zement aus heutiger Sicht eine Variante dar, die in [15] nicht betrachtet wird.

4.5.2 Zusammenhang mit dem Entsorgungsprogramm 2016

Angaben der Kostenstudie

Die Kostenstudie 2016 und das Entsorgungsprogramm 2016 wurden im gleichen Zeitraum beim Bund eingereicht. Damit sollen die inhaltliche Koordination und die konsistente Darstellung der Informationen zur Entsorgung gewährleistet werden. Das Entsorgungsprogramm 2016 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 ermöglicht. Im Rahmen der Chancen und Gefahren werden auch Varianten zum Basisvorhaben berücksichtigt. 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 [6].

Beurteilung des ENSI

Das ENSI hat die Angaben der Planung zum zeitlichen Ablauf der Realisierung der geologischen Tiefenlager mit den im Rahmen des Entsorgungsprogramm 2016 (insbesondere Realisierungsplan) eingereichten Dokumenten verglichen. Weil die Kostenstudie 2016 und Entsorgungsprogramm 2016 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 Sammelperiode für MIF-Abfälle (bis 2063 oder bis 2065 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 tolerierbar.

Der Realisierungsplan aus der Kostenstudie 2016 entspricht den Angaben im Entsorgungsprogramm 2016 für das HAA- und SMA-Lager (im Entsorgungsprogramm 2016 gibt es keinen Realisierungsplan für das Kombilager). Das ENSI betrachtet die Empfehlung 5.6 aus der Kostenstudie 2011 (Der Zeitplan für die untertägige

Datenerhebung soll überprüft werden und die daraus resultierenden Mehrkosten aufgezeigt werden) hinsichtlich des Zeitplans als erfüllt. Ebenso entsprechen die angenommenen Zeiten für den Zeitpunkt der Inbetriebnahme der geologischen Tiefenlager (SMA-Lager 2050, HAA-Lager 2060) der Vorgabe 14 der VK-STENFO [1]. Die zugehörigen Kosten werden durch die Kostenexperten überprüft. Sollten sich aus der noch nicht abgeschlossenen Prüfung des Entsorgungsprogramms noch fondsrelevante Ergebnisse zeigen, wären diese in der nächsten Aktualisierung der Kostenstudie zu berücksichtigen.

4.5.3 Oberflächenanlage

Angaben der Kostenstudie

Die Oberflächenanlage (OFA) ist neben der Schachtkopfanlage 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 TLB-Innenreinigungs- und Zerlegungsanlage.

Die in [3] und [6] verwendeten Konzepte für die Oberflächenanlagen der HAA- und SMA-Lager basieren im Wesentlichen auf den generischen Konzeptstudien und standortspezifischen Planungsstudien zur Etappe 2 SGT [39-42], die im Hinblick auf die Kostenstudie 2016 weiterentwickelt wurden [15-17]. So sieht zum Beispiel das aktuelle Konzept der Verpackungsanlage für die HAA neu zwei unabhängige Umverpackungsstränge mit insgesamt zwei Umladezellen (eine Umladezelle pro Strang) vor. Dies soll eine unterbrechungsfreie Umverpackung auch im Fall einer Revision/Instandhaltung bzw. Fehlfunktion/Störfall eines Stranges ermöglichen [15], S.243.

Es sollen nur so viele radioaktiven Abfälle (BE/HAA) in der Oberflächenanlage prozessiert und puffergelagert werden, wie es der zuverlässige und unterbrechungsfreie Betrieb erfordert. Dazu wird angenommen, dass sich im Fall der HAA maximal die Menge an nuklearem Material in der Oberflächenanlage befindet, die einem Äquivalent von acht vollen Transport- und Lagerbehältern entspricht [15], S.145 & S.248).

In der TLB-Innenreinigungs- und Zerlegungsanlage des HAA-Lagers sind ausschliesslich trockene Verfahren (z. B. Trockeneisstrahl) zur Reinigung und Zerlegung der Behälter vorgesehen, weshalb ein dem Strahlenschutz entsprechendes System zur Abwassersammlung nicht benötigt wird [15], S.310. Auf Basis der aktuellen Planungskonzepte werden auch geometrischen Kennzahlen für die Oberflächeninfrastruktur des HAA-Lagers und des SMA-Lagers angegeben, die direkt relevant für die Kosten sind, wie zum Beispiel das Volumen des umbauten Raums und der Baugruben oder die Fläche des Standortareals ([6], Tabelle 5 und Tabelle 7).

Zusätzlich berücksichtigt die Kostenschätzung für die Bauwerke der OFA die Erfahrung aus dem Bau vergleichbarer Anlagen [6], S.51.

Für die Bewertung der Variante Kombilager wird angenommen, dass bezüglich der OFA das Kombilager praktisch identisch mit dem HAA-Lager ist [6].

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 ([43-46]). Das ENSI begrüsst, dass die Konzepte im Hinblick auf die Kostenstudie 2016 weiterentwickelt wurden und sieht die Empfehlung 5.3 aus der Stellungnahme des ENSI zur Kostenstudie 2011 [47] damit als erfüllt.

Die Annahme Inventar und zum Durchsatz der HAA in der OFA entspricht den Angaben in Etappe 2 SGT [42]. Sollte sich diese Mengenannahmen im Zuge des weiteren Planungsverlaufes ändern, so ist das in den sicherheitstechnischen Analysen zu berücksichtigen.

In der Oberflächenanlage des HAA-Lagers ist neben der Verpackungsanlage für HAA auch eine Verpackungsanlage für LMA vorgesehen [15], die sich nur wenig von der Verpackungsanlage für SMA unterscheidet [42], S.11. Von den funktionellen und betrieblichen Abläufen, insbesondere aber auch von den Durchsätzen her, müssen aus Sicht des ENSI für die Verpackungsanlage SMA/LMA des Kombilagers wesentliche Anpassungen gegenüber dem Anlagenteil «Verpackung LMA» des HAA-Lagers gemacht werden.

Empfehlung 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.

Hinsichtlich der weiteren Behandlung der entleerten TLB aus der Zwischenlagerung sieht die Nagra nun keinerlei nassen Verfahrensschritte für die Reinigung und Dekontamination vor. In den bisherigen Planungen war dies noch vorgesehen. Aus Sicht des ENSI ist es absolut unüblich und entspricht auch nicht dem Stand heute betriebener Anlagen in Heiss-Zellentechnik, dass eine Anlage zur offenen Handhabung grosser Mengen an bestrahlten Brennelementen und zur Dekontamination und Zerlegung von mehr als 25'000 t Material, welches über Jahrzehnte in teilweise direktem Kontakt mit den bestrahlten Brennelementen war, nicht mit Einrichtungen zur Sammlung und Verarbeitung kontaminierter Dekontaminationslösungen ausgestattet ist. Selbst wenn als Routineverfahren für die TLB-Reinigung und -Zerlegung «trockene» Verfahren Verwendung finden werden, so ist doch zumindest für die periodische Begehung der Umladezellen, z. B. zu Wartungs- oder Reparaturzwecken, von der Erfordernis einer vorgängigen, nassen Dekontamination auszugehen.

Empfehlung 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.

Die für die Kostenschätzung verwendeten geometrischen Kennzahlen der OFA sind laut der Prüfung des ENSI und seinen Experten für die einzelnen Anlagenteile jeweils plausibel und entsprechen den Angaben in den zugrundeliegenden Konzepten. Fügt man die einzelnen Teilanlagen / Gebäude jeweils zur konzeptionell beschriebenen Gesamtanlage zusammen, ergeben sich im Detail innerhalb des Berichtes für das HAA-Lager [15] Inkonsistenzen. Für alle Lagerkonzepte ist das Baugrubenvolumen deutlich geringer im Vergleich zu den Unterlagen aus Etappe 2 SGT. Gemäss ergänzenden Angaben der Nagra wurden allerdings für die Ermittlung der Daten zur KS16 aktualisierte Anlagenplanungen verwendet, in denen diese Inkonsistenzen bereinigt sind. Das ENSI geht davon aus, dass die Nagra für die nächste Kostenstudie konsistente Unterlagen erstellt, in denen die aktuellen technischen Planungsgrundlagen einschliesslich aller Schnittstellen zwischen den Anlagenteilen dargelegt werden.

Das ENSI kommt zum Schluss, dass die verwendeten Konzepte für die Oberflächenanlagen des SMA-Lagers und des HAA-Lagers sowie die konzeptionellen Erwägungen zum Kombilager für die Schätzung der Kosten in der Kostenstudie 2016 geeignet sind. Allfällige Auswirkungen des erkannten Ergänzungsbedarfs hinsichtlich Schnittstellen sowie Anlagendurchsätzen und -funktionalitäten, der zur Formulierung der Empfehlungen 4-4 und 4-5 geführt hat, werden im Vergleich zur Planungsunschärfe zum gegenwärtigen Projektstand nicht ins Gewicht fallen.

4.5.4 Bautechnik

Angaben der Kostenstudie

Die bautechnischen Angaben für das Basisprojekt (Basiskosten gemäss Kostengliederung) werden in den Berichten der Nagra [15-17] dargelegt. Mit dem Risikoregister [9] werden ausgehend vom Basisprojekt für die geologischen Tiefenlager die möglichen kostenwirksamen Abweichungen erfasst und der Umgang mit diesen

Abweichungen aufgezeigt. Gefahren und Chancen mit geringer Eintrittswahrscheinlichkeit werden ausgewiesen und bezüglich des Ausmasses ihrer Kosten und ihrer Relevanz charakterisiert. Gemäss der vorgegebenen Kostengliederung werden ihre Kosten nicht zu Festlegung der Fondsbeiträge herangezogen [6].

Beurteilung des ENSI

Neben den oben erwähnten Dokumenten wurden zusätzliche Informationen bereitgestellt und im Rahmen von Fachgesprächen erläutert.

Lagerkonzept

Die **geometrischen Auslegungen** des HAA-, SMA-, und Kombilagers für das Basisprojekt wurden standortspezifisch gemäss den Vorgaben gewählt und erarbeitet. Die in verschiedenen Dokumenten dargelegten Angaben zu den Abmessungen der unterschiedlichen Bauwerke weisen einige Inkonsistenzen auf. So sind z. B. im Bericht [17] Widersprüche vorhanden, da einige Angaben vom HAA-Lager übernommen wurden, die für das SMA-Lager nicht zutreffen. Jedoch sind diese Unstimmigkeiten, die im Rahmen von Fachsitzungen bereinigt werden konnten, für die Kostenschätzung nicht relevant. In den Nagra-Berichten wird explizit darauf hingewiesen, dass die Ausmasse des Leistungsverzeichnisses, welches von den Kostenexperten geprüft wird, von denen der Berichte abweichen können. Die beschriebenen **Vortriebskonzepte** sind nachvollziehbar und wurden sachgerecht gewählt, der Detaillierungsgrad ist stufengerecht.

Das Risiko «Aufgabe eines Standortes wegen ungünstiger Geologie während der Exploration Untertag» wird als sehr unwahrscheinlich beurteilt [6, 9]. Erfahrungen bestätigen, dass Rückschläge trotz intensiver Vorerkundungen möglich sind und zu Projektverzögerungen führen können. Im Rahmen des Sachplans geologische Tiefenlager und später bis zum Baubewilligungsgesuch sind erdwissenschaftliche Untersuchungen vorgesehen. Die hinzugewonnenen Erkenntnisse sollen dazu beitragen, dieses Risiko weiter zu reduzieren.

Tunnelausbau

Die **Ausbauquerschnitte** sind grossmehrheitlich sinnvoll gewählt und es erscheint plausibel, dass sie die an sie gestellten Anforderungen erfüllen können. Eine Ausnahme betrifft den Ausbauquerschnitt des druckwasserhaltenden Schachtes des HAA-Lagers, welcher für einen druckwasserhaltenden Ausbau mit einem anstehenden Wasserdruck bis ca. 500 m Wassersäule als ungenügend angesehen wird. Gemäss [48] und Erläuterungen im Rahmen von Fachgesprächen basieren die Kosten jedoch auf einer Kalkulation mit einem deutlich stärkeren Ausbau, der eine sinnvolle und belastbare Basis für die Kostenermittlung darstellt.

Das Antreffen von sehr druckhaftem, brüchigem oder quellfähigem Gebirge, das nicht ausgeschlossen werden kann, wird durch die beschriebenen **Sicherungstypen** nicht abgedeckt. Obwohl diese Gefährdungsbilder vor dem Hintergrund des aktuellen Detaillierungsgrads der Kostenstudie 2016 keinen kostenrelevanten Einfluss haben und z. T. durch Zuschläge und Risiken in den Kosten berücksichtigt werden, sollten sie in künftige Aktualisierungen der Kostenstudie in das Basisprojekt aufgenommen werden.

Für die **Verzweigungsbereiche** (zwischen Lagerkavernen/-stollen und Betriebstunnel) sind keine Normalprofile ausgewiesen. Die bedeutend grössere Spannweite dieser Bereiche führt zu einer langsameren Vortriebsgeschwindigkeit und erfordert eine aufwändigere Ausbruchssicherung (v. a. im HAA-Lager relevant mit ca. 20 Verzweigungsbereichen). Die erhöhten Kosten dieser Bereiche sind bei den Basiskosten mit einem Zuschlag berücksichtigt (von der Nagra an Fachsitzung erläutert).

Die meisten **Lichtraumprofile** sind ausreichend, um die an sie gestellten Nutzungsanforderungen zu erfüllen. Bei den Profiltypen L-1 (Betriebstunnel) und E-1 (Umladebereich Lagerkavernen/-stollen) sind kleine Anpassungen des Profils respektive Präzisierungen der Nutzungsanforderungen angezeigt, welche jedoch vor dem Hintergrund des aktuellen Detaillierungsgrads der Kostenstudie 2016 nicht kostenrelevant sind.

In den zu prüfenden Unterlagen sind keine statischen Berechnungen oder Hinweise auf die statisch wirksame **Dicke des Tunnelausbaus** vorhanden. Jedoch erscheint der Tunnelausbau in Anbetracht der üblichen Ge-

fährdungsbilder grossmehrheitlich plausibel. Das ENSI anerkennt, dass in Ermangelung belastbarer geotechnischer Grundlagen weiterführende statische Überprüfungen zum jetzigen Zeitpunkt nicht zielführend wären und betrachtet die Empfehlung 5.5 des ENSI aus der Kostenstudie 2011 (*Standortspezifisch soll überprüft werden, ob die statisch wirksame Dicke des Tunnelausbaus (Ausbruchsicherung und Verkleidung) für die gewählten Tiefenlage des Lagers plausibel ist*) als erfüllt.

Realisierungsplan

Die **Bauzeiten** wurden mit Erfahrungen aus vergleichbaren Vorhaben plausibilisiert. Sie werden als nachvollziehbar und realistisch beurteilt.

Der **Realisierungsplan des Kombilagers** ist deckungsgleich mit den Realisierungsplänen der Einzellager und nachvollziehbar. Ausnahme ist die Dauer des Einlagerungsbetriebs der HAA-Endlagerbehälter im Kombilager, welcher 4 Jahre kürzer dauert als im Basisprojekt des HAA-Lagers. In Prüfgesprächen wurde diese Diskrepanz geklärt: Die effektiven Abfallmengen lassen es zu, die Einlagerung der BE/HAA in 11 Jahren abzuschliessen, jedoch wird für das HAA-Lager ein Zeitfenster von 15 Jahren für die Einlagerung angegeben. Beim Einlagerungsbetrieb der HAA-Endlagerbehälter im Kombilager verläuft die Einlagerung der SMA und HAA parallel. Während der Unterbrüche für die Einlagerung der BE/HAA (Umrüstung für die Einlagerung in den Lagerstollen) werden LMA-/SMA weiterhin eingelagert.

Verschchlusskonzept

Entsprechend der Empfehlung 5.4 des ENSI aus der Kostenstudie 2011 wurden die **Verschlussbauwerke und die Verschchlussarbeiten** in der aktuellen Kostenstudie detaillierter und nachvollziehbar beschrieben. Einzige Ausnahme ist die Versiegelung zur Grundwasser-Stockwerkstrennung oberhalb des Wirtgesteins. Diese Strecken sind jedoch nicht kostenrelevant und können auf relativ einfache Weise erstellt werden, da die technischen Anforderungen an sie deutlich geringer sind als bei den Versiegelungsbauwerken auf Lagerebene.

Der ebenfalls empfohlene Vergleich mit ähnlichen Tiefenlagerprojekten (Frankreich, Belgien) ist nicht dokumentiert. Das ENSI anerkennt, dass ein solcher Vergleich derzeit nicht zielführend wäre, weil die Tiefenlagerprojekte länderspezifische Unikate darstellen (unterschiedliche geologische und technische Barrierensysteme). Insgesamt betrachtet das ENSI die Empfehlung 5.4 aus der Kostenstudie 2011 als erfüllt.

Bau – und Betriebssicherheit

Die **Konzepte der Wasserversorgung und Wasserentsorgung** sind nachvollziehbar und plausibel. Die notwendigen Pump- und Sammelleitungen sind jedoch in den Normalprofilen nicht dargestellt. Die Bergwasserleitung wird während dem Bau für den Auslegungsstörfall der Kategorie 1 (100 l/s) dimensioniert. Erfahrungsgemäss ist im Karst auch mit deutlich grösserem Wasserzutritt zu rechnen (vgl. Kap. 4.5.7).

Es wird angenommen, dass die Ausbreitung eines **Wassereinbruchs in den Zugangsbauwerken** bis zu den Lagerfeldern während Betrieb und Verschluss als Extremereignis eingestuft werden kann und somit in den Kosten nicht zu berücksichtigen ist. Nach Ansicht der Nagra lässt sich mit einer entsprechenden Auslegung der Bauwerke ein solcher Wassereinbruch zuverlässig verhindern. Entsprechend wurden in der Kostenstudie verschiedene Risikopositionen berücksichtigt, welche u. a. Aufwendungen für die heute noch nicht im Detail bekannten Bauverfahren, geologischen Verhältnisse, zusätzliche Erkundungen und Datenerhebung, Verzögerungen oder im Falle des Standortgebiets ZNO die Notwendigkeit eines Zwischenangriffs beim Bau einer Rampe oder den Bau eines Schachts anstelle einer Rampe umfassen. Nach Einschätzung des ENSI ist ein Wassereinbruch unwahrscheinlich, kann jedoch trotz vorbeugender Massnahmen heute noch nicht ausgeschlossen werden. Im Rahmen des Sachplans geologische Tiefenlager und später bis zum Baubewilligungsgesuch sind erdwissenschaftliche Untersuchungen vorgesehen. Die hinzugewonnenen Erkenntnisse sollen dazu beitragen, dieses Risiko weiter zu reduzieren.

Die Anforderungen für die **Personensicherheit** (Flucht, Rettung und Evakuierung) wurden stufengerecht behandelt und bilden eine realistische Grundlage für die Kostenschätzung. Eine weitere Vertiefung der Überlegungen ist mit dem Projektfortschritt vorgesehen. Einzelne, noch nicht plausible Szenarien (z. B. Brandereignis in Schachtkopfanlage) sollten in künftigen Aktualisierungen der Kostenstudie weiterentwickelt werden.

4.5.5 Sicherungsmassnahmen

Die Anlagensicherung und Safeguards wurden von Nagra zuhanden der swissnuclear in den Berichten [15, 17] beschrieben.

Angaben der Kostenstudie

Das Ziel des Aspekts Anlagensicherung (und Safeguards) ist der Schutz des geologischen Tiefenlagers (inkl. der radioaktiven Materialien und der relevanten Sicherheitssysteme) vor unbefugten Einwirkungen (Dritter), die Verhinderung der unberechtigten Entnahme/Entwendung von Kernmaterialien sowie der Schutz von Mensch und Umwelt vor radiologischen Belastungen verursacht durch unbefugte Einwirkungen. Die Sicherung (und Safeguards) beruhen auf dem gestaffelten Schutz in der Tiefe, der neben baulichen und mechanischen Barrieren auch technische Überwachungs-, Steuerungs-, Melde-, Registrier-, Kommunikations- und Alarmierungseinrichtungen sowie personelle Sicherungsvorkehrungen und administrative Massnahmen umfasst.

Die Anlagensicherung (und Safeguards) umfasst somit folgende Funktionen:

- Schutz gegen Einwirkung Dritter (Schutz gegen vorsätzliche und unbefugte Einwirkungen)
- Zuverlässige Detektion, Ortung, Verifizierung und Alarmauslösung des unbefugten Eindringens auf das Sicherungsareal durch Dritte
- Überwachung und Bilanzierung der Durchgänge in das Sicherungsareal und zu den Sicherungszonen (kontrollierter Zutritt von Personen und kontrollierte Materialflüsse)
- Verhinderung von unberechtigter Entnahme von Kernmaterialien

Die Nagra führt verschiedene konkrete Sicherungsmassnahmen auf und beschreibt deren modellhafte Umsetzung für die Phasen des Einlagerungsbetriebs und der Beobachtungsphase.

Beurteilung des ENSI

Die aufgeführten Sicherungsmassnahmen für das Vorhaben HAA-Lager (z. B. Perimeterschranke, Durchfahrerschutz, qualifizierter Wachdienst etc.) sind vollständig und entsprechen den gesetzlichen Vorgaben. Für das Vorhaben SMA-Lager werden grundsätzlich dieselben Grundlagen angewendet. Die Sicherungsmassnahmen wurden entsprechend dem vorhandenen Gefährdungspotenzial angepasst. Die Beurteilung der Massnahmen zum Aspekt safeguards obliegt dem BFE.

4.5.6 Strahlenschutz und radiologische Überwachung

Angaben der Kostenstudie

Strahlenschutz

Die Funktionen des Strahlenschutzes zielen auf den Schutz der beschäftigten Personen und auf denjenigen der Bevölkerung. Die in der Anlage gehandhabten radioaktiven Materialien sind permanent und zuverlässig eingeschlossen, um Kontaminationen in der Anlage und der Beschäftigten zu vermeiden. Die grundlegenden Strahlenschutzprinzipien wie Optimierung oder Begrenzung der Strahlenexposition durch Einhalten der Grenzwerte werden entsprechend der gesetzlichen Vorgaben eingehalten.

Gemäss Artikel 58 der Strahlenschutzverordnung [31] wird eine kontrollierte Zone eingerichtet, die vollständig im überwachten Bereich liegt. Diese Zone wird durch die Erfassung der radiologischen Situation in der Anlage in definierte Zonen und Gebietstypen unterteilt, die in Zonenplänen dokumentiert sind.

In der kontrollierten Zone herrscht Unterdruck und eine Unterdruckstaffelung gegenüber Bereichen mit höherer Kontaminationsgefahr. Abluftströme aus der Oberflächenanlage werden redundant geeignet gefiltert und kontinuierlich radiologisch überwacht. Der Zugang zur kontrollierten Zone (Zutritte und Austritte) werden sowohl administrativ überwacht als auch durch bauliche Massnahmen geeignete ausgestaltet. Situativ können Zonentypen angepasst werden. In der kontrollierten Zone herrscht Tragepflicht für Dosimeter, wobei zusätzlich zum anerkannten noch direkt ablesbare Dosimeter eingesetzt werden.

Gemäss den gesetzlichen Vorgaben wird genügend qualifiziertes Strahlenschutzpersonal vorhanden sein 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.

Die Abschirmungen und die Einrichtung sowie die Lage der Arbeitsplätze werden derart ausgelegt, dass die Jahresgrenzwerte der beschäftigten Personen eingehalten werden. In der Anlage werden keine Abwässer generiert.

Radiologische Überwachung

Durch die Einrichtung von kontrollierten Zonen und die Erfüllung der gesetzlich und behördlich vorgeschriebenen Anforderungen sowie der Nutzung von qualifiziertem und periodisch geschultem Personal werden die Ziele des Strahlenschutzes erfüllt. Durch die Kombination von administrativen, technischen und baulichen Strahlenschutzmassnahmen werden die Dosisleistungen, die Dosen für das Personal und die Abgaben an die Umwelt sehr niedrig und deutlich unterhalb der entsprechenden gesetzlichen Limiten gehalten [15].

Bezüglich der Umsetzungen wird auf die Informationsblätter zur Sicherheit, zu den Hauptaktivitäten und den objektübergreifenden Systemen verwiesen, wo die adäquate Umsetzung der Arbeitssicherheit und des Gesundheitsschutzes näher beschrieben ist [15]. Genannt werden die Artikel der Gesetze, Verordnungen sowie Richtlinien und anerkannte in- und ausländische Normen. Entsprechend der Einteilung in Zonentypen und Gebietstypen werden die Lüftungen mit Filter ausgerüstet, die Abluft bilanziert, der Abfall gesammelt, die Freigabe von Materialien überwacht.

Beurteilung des ENSI

Strahlenschutz

Der Strahlenschutz hat bei den geplanten Tätigkeiten mit radioaktiven Materialien einen hohen Stellenwert. Das Konzept wurde dem entsprechend gemäss den aktuellen gesetzlichen und regulatorischen Vorgaben erstellt und bewirkt einen umfassenden radiologischen Schutz der Beschäftigten und der Bevölkerung.

In der operationellen Umsetzung von Strahlenschutzmassnahmen werden entsprechend der radiologischen Lage innerhalb der kontrollierten Zone Zonen- und Gebietstypen definiert. In der kontrollierten Zone herrscht Unterdruck, die Abluft wird kontinuierlich überwacht und kontinuierlich (aus der Oberflächenanlage) bzw. bei Bedarf (aus den untertägigen Bereichen) gefiltert. Ergänzend sieht das ENSI Bedarf an mobilen Dosisleistungsmessgeräten an Orten mit möglicherweise stark wechselnden Strahlenfeldern.

Dass Strahlenschutz-Sachverständige Strahlenschutzplanungen von dosisrelevanten Tätigkeiten erstellen, die auch Dosisabschätzungen gemäss Richtlinie ENSI G15 [49] enthalten, trägt nach Auffassung des ENSI dazu bei, dem Optimierungsprinzip Rechnung zu tragen. Des Weiteren wird qualifiziertes Personal gemäss Vorgaben vorhanden sein und es wird eine kontinuierliche Aus- und Weiterbildung vorgesehen.

Zwar wird erwähnt, dass in der Anlage keine radioaktiven Abwässer generiert werden. Dies entspricht zumindest für heute in Betrieb befindliche Anlagen, welche ähnliche Funktionalitäten, wie sie die OFA des HAA-

Lagers bieten muss, nicht dem Stand der Technik. Es sind daher wie vorgesehen in der kontrollierten Zone Vorkehrungen zu treffen, um kontaminiertes Wasser auffangen und weiter verarbeiten zu können. Eine entsprechende Empfehlung ist bereits in Kap. 4.5.3 (Oberflächenanlage) enthalten.

Die radiologische Überwachung des Personals auch durch den Einsatz von anerkannten und direkt ablesbaren Dosimetern wird als geeignet beurteilt. Im Rahmen der geplanten Erfüllung der Informationspflicht erwartet das ENSI eine regelmässige Dosismeldung nach Richtlinie ENSI-B09 [50].

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

Radiologische Überwachung

Das ENSI prüft die Kostenstudie formal anhand der im Anhang 4 KEV [27], geforderten Unterlagen nach Fachgebieten, gemäss Ziffer 2. Für die Prüfung der Kostenstudie ist die formale Erwähnung der Auslegungskriterien und Konzepte auf der Hierarchiestufe 1 relevant. Die unter Ziffer 2 für den Strahlenschutz (U1) aufgeführten Themen sind jeweils für HAA- und SMA-Lager thematisiert, insbesondere die Konzepte für radiologische Zonen, die Abschirmungen, die Umgebungsüberwachung, die Raum-, System- und Emissionsüberwachung, das Abwasser, die Abfallkonditionierverfahren, die Zwischenlagerung von radioaktiven Abfällen und der Notfallschutz. Die Umsetzung der Anforderungen an den Strahlenschutz ist in den Informationsblättern zur Sicherheit [15, 17] aus Sicht des ENSI für die geforderte Kostenstudie ausreichend detailliert dargelegt.

4.5.7 Nukleare Betriebssicherheit

Angaben der Kostenstudie

In den der Kostenstudie 2016 zugrundeliegenden Lagerkonzepten für die HAA und SMA [15, 17] beschreibt die Nagra die Ziele und die modellhafte Umsetzung der nuklearen Betriebssicherheit.

Das oberste Ziel der nuklearen Betriebssicherheit des geologischen Tiefenlagers ist in Anlehnung an das allgemeine Schutzziel in der Richtlinie ENSI-G03 und im Sachplan geologische Tiefenlager (SGT) der dauerhafte Schutz von Mensch und Umwelt vor der ionisierenden Strahlung der radioaktiven Stoffe während der gesamten Betriebsphase bis hin zum ordnungsgemässen Verschluss des Lagers.

Im geologischen Tiefenlager kann die nukleare Reaktivität zuverlässig begrenzt und die Kritikalität in jedem Fall ausgeschlossen werden. Für die abgebrannten Brennelemente wird dies einerseits durch die geeignete Auslegung und Beladung der Transport- und Endlagerbehälter erreicht und andererseits durch eine störungssichere Handhabung während des Umladevorgangs der Brennelemente von den Transport- in die Endlagerbehälter und eine geeignete Auslegung der Umladezelle. Zusätzlich wird in der Umladezelle immer nur ein Abfallgebinde oder Brennelement gleichzeitig gehandhabt, d.h. es befindet sich nur ein Abfallgebinde oder Brennelement ausserhalb der Transport- bzw. Endlagerbehälter.

Bei der Wahl der Standortareale werden neben den geologischen Gefahren auch zivilisatorische Gefahrenquellen (bspw. Hochdruck-Gasleitungen, Militäranlagen) berücksichtigt.

Die Gebäudehülle und alle weiteren Bauwerke mit Sicherheitsrelevanz leisten einen ausreichenden Widerstand gegen Einwirkungen von aussen, so dass bei einem Störfall der erforderliche Schutz der darin befindlichen Sicherheitssysteme und radioaktiven Abfälle sichergestellt ist. Bei Handhabungen und Transporten von radioaktiven Materialien wird die thermische und mechanische Belastung im Störfall durch bauliche und/oder technische Begrenzung der Fallhöhen und Geschwindigkeiten sowie durch Minimierung der Brandlasten soweit als möglich reduziert.

Gemäss heutigem Planungsstand wird es an einem 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 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 2016 von der Nagra beschriebene modellhafte Umsetzung der nuklearen Betriebssicherheit [15, 17] stimmt mit dem in Etappe 2 SGT vorgestellten Sicherheitskonzept überein [42, 51], das vom ENSI und seine Experten geprüft und als plausibel und stufengerecht bewertet wurde [45, 46, 52]. Es wurde insbesondere aufgezeigt, dass durch geeignete Massnahmen die Schutzziele der nuklearen Sicherheit inklusive dem Strahlenschutz, 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 [45].

Gemäss dem in [51] 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 Wassereintritt 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 [45].

Im Rahmen der weiteren Schritte der Lagerrealisierung hat die Nagra gemäss Richtlinie ENSI-G03 [53] 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 [54].

In [15, 17] 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 Nachweis der Einhaltung von Dosiswerten bei Auslegungsstörfällen führt die Nagra in Kap. 4.2 von [15, 17] aus, dass gemäss heutigem Planungsstand eine deutliche Unterschreitung der geltenden maximal zulässigen Dosiswerte bei Störfällen möglich sei und deshalb in der Umgebung auf Notfallschutzmassnahmen verzichtet werden könne. Das ENSI weist an dieser Stelle darauf hin, dass für Störfälle der Kategorie 3 ein maximal zulässiger Dosiswert von 100 mSv gilt, Notfallschutzmassnahmen nach heutigem Dosismassnahmekonzept aber bereits ab Dosen von 1 mSv vorgesehen sind. Der angestrebte Verzicht auf Notfallschutzmassnahmen bedingt den Nachweis der Unterschreitung der Dosis von 1 mSv bei Auslegungs- und auslegungsüberschreitenden Störfällen (vgl. Art. 94 Abs. 7 StSV [31]). Die Bewilligungsbehörde entscheidet über den Umfang der vorsorglichen Massnahmen (vgl. Art. 101 Abs. 1 StSV).

In Kap. 5.4 von [15, 17] thematisiert die Nagra hinsichtlich Störfallvorsorge und Katastrophenschutz in der Bau- und Betriebsphase ausschliesslich eine Unterstellung der Oberflächenanlage unter die Störfallverordnung. Aus Sicht des ENSI untersteht eine Oberflächenanlage als Kernanlage in erster Linie dem KEG.

Die Auslegung der Verpackungsanlagen wird in Kap. 8.1.1.3 von [15] (BE/HAA-Verpackungsanlage), Kap. 8.1.1.4 von [15] (LMA-Verpackungsanlage) und Kap. 8.1.1.2 von [17] (SMA-Verpackungsanlage) definiert. In allen drei Fällen ist die gesamte Verpackungsanlage gegen Betriebserdbeben und Meteorwasser-Eintritt ausgelegt; durch Vermeidung von Brand- und Explosionslasten werden jene Störfälle begrenzt. Die Umladezellen selber sind darüber hinaus gegen Flugzeugabsturz und Sicherheitserdbeben ausgelegt.

Aus Sicht des ENSI ist die in den Lagerkonzepten des HAA-Lagers und des SMA-Lagers beschriebene modellhafte Umsetzung der nuklearen Betriebssicherheit ausreichend für die Schätzung der Kosten in der Kostenstudie 2016. Das ENSI weist darauf hin, dass im Rahmen der zukünftigen Auslegung von HAA/SMA-Lagern bei der systematischen Störfallanalyse und dem Nachweis der Einhaltung der radiologischen Kriterien eine strukturierte Vorgehensweise gemäss Art. 2 UVEK-Verordnung [54] zu wählen ist und die Häufigkeiten der Störfälle inkl. Störfallkategorie anzugeben sind.

5 Umsetzung der Vorgaben und Empfehlungen

5.1 Vorgaben der VK-STENFO

Die VK-STENFO hat am 25.11.2014 Vorgaben von strategischer und übergeordneter Bedeutung für die Kostenstudie 2016 verabschiedet [1]. Einige Vorgaben betreffen teilweise oder vollständig die technischen Grundlagen. Das ENSI hat beurteilt, inwieweit diese Vorgaben von swissnuclear eingehalten wurden. In nachfolgender Tabelle sind die relevanten Vorgaben zusammengestellt und es wird angegeben, in welchem Kapitel die Einschätzungen des ENSI detaillierten ausführt sind.

Tabelle 5-1: Vorgaben der VK-STENFO mit Bezug zu technischen Grundlagen

	Parameter	Bemerkung	Vorgabe	Technische Umsetzung
Allgemein	1. Zu berücksichtigende Gesetze und Verordnungen	Diverse Gesetze und Verordnungen befinden sich derzeit in Revision. Für die Berechnung der Kosten muss klar sein, welche rechtlichen Annahmen gelten.	Die per 01.01.2015 rechtsgültigen Gesetze, Verordnungen und Richtlinien sind zu berücksichtigen. Absehbare Revisionen sind als Gefahren und Chancen zu berücksichtigen und auszuweisen.	erfüllt aus kernenergierechtlicher Sicht, siehe Kap. 2.2 und bei den jeweiligen Fachthemen
	5. Kalkulatorische Betriebsdauer der KKW	Gemäss SEFV Art. 4 Abs. 4.	KKM: 47 Jahre KKB, KKG und KKL: Es sind sowohl die Kosten für 50 Jahre Betrieb als auch für 60 Jahre Betrieb zu berechnen und zu überprüfen.	erfüllt, siehe Kap. 3.3.3 Die Kalkulationen sind nicht Gegenstand der Prüfung des ENSI.
	8. Empfehlungen	Im Zuge der Überprüfung der Kostenstudie 2011 haben das ENSI und der Kostenaussschuss Empfehlungen für die Kostenstudie 2016 formuliert. Zusätzlich finden sich in den Schlussberichten der 2014 durchgeführten Plausibilisierungsstudien Phase 1 Empfehlungen für die Kostenstudie 2016.	Die 12 Empfehlungen des ENSI aus der Überprüfung der Kostenstudie 2011 sind im Rahmen der Kostenstudie 2016 zu berücksichtigen. Die Empfehlungen aus der Plausibilisierungsstudie Kostenstudie 2016 Phase 1 sind zu berücksichtigen: Bericht ADL/E.On – Kap. 8, Bericht Galson/PT&C – Kap. 7.	erfüllt, siehe Kap. 5.2. Die Empfehlungen aus der Plausibilisierungsstudie sind nicht Gegenstand der Prüfung des ENSI.
Stilllegung & Nachbetrieb	10. Stilllegungsvariante	Das Gesetz lässt offen, ob eine Anlage direkt nach Ausserbetriebnahme zurückgebaut wird oder nicht. Dies hat jedoch erheblichen Einfluss auf die Logistik und Kosten. Daher ist festzulegen, ob die Anlagen unmittelbar nach der endgültigen Ausserbetriebnahme zurückgebaut werden.	Sofortiger Rückbau.	erfüllt, siehe Kap. 3.1.1
	11. Stilllegungsziel	Bezüglich der Frage, wann die Stilllegung abgeschlossen ist, gibt es zwei Betrachtungsweisen. • Die Stilllegung ist abgeschlossen, wenn die Anlage vollständig (inkl. aller Fundamente) zurückgebaut ist («Grüne Wiese»); • Die Stilllegung ist abgeschlossen, wenn die Anlage	Folgende Stilllegungsziele sind kostenmässig abzubilden: • Vollständiger Rückbau inkl. Entfernung sämtlicher Fundamente («Grüne Wiese»). Die Einsparungen, falls die Fundamente und Betonkonstruktion nur bis –2 m	erfüllt, siehe Kap. 3.1.2

		ohne Einschränkung und Aufsicht für andere als nukleare Zwecke verwendet werden kann («Braune Wiese»).	ab Oberkante Terrain zurückgebaut werden, sind als Chancen auszuweisen. • Entlassung aus der Kernenergiegesetzgebung («Braune Wiese»).	
	12. Stilllegungsplanung	Gemäss Art. 42 KEV haben die Betreiber alle 10 Jahre eine Stilllegungsplanung für ihre Werke zu erstellen. Diese wurde letztmals im Rahmen der Kostenstudie 2011 erarbeitet.	Für die Kostenstudie 2016 sind die Stilllegungsplanungen aus der Kostenstudie 2011, soweit erforderlich, zu aktualisieren. Für das KKM sind die aktuellen Erkenntnisse aus der Erarbeitung des Stilllegungsprojektes als Grundlage für die Kostenstudie 2016 zu verwenden.	erfüllt, siehe Kap. 3.3.1
Entsorgung	13. Standorte geol. Tiefenlager	Für die Kostenschätzung ist festzulegen, ob von zwei separaten Lagern oder einem Kombilager SMA/HAA auszugehen ist. Ebenfalls sind die für die Schätzung anzunehmenden Standorte für das Kombi- bzw. für das SMA- und das HAA-Lager anzugeben.	Getrennte Standorte für SMA- und HAA-Lager, identische Modellstandorte wie in Kostenstudie 2011.	erfüllt umgesetzt, siehe Kap. 4.5.1.
	14. Inbetriebnahme SMA- und HAA-Lager	Für die Bemessung der Fondsbeiträge ist der Zeitpunkt der Inbetriebnahme der geologischen Tiefenlager zentral. Unter Berücksichtigung der Entwicklungen im Sachplanverfahren und der anzunehmenden Rechtsmittelverfahren sind die aus heutiger Sicht absehbaren Zeitpunkte der Inbetriebnahme festzulegen.	SMA-Lager 2050 HAA-Lager 2060.	erfüllt, siehe Kap. 4.5.2
	15. Zwischenlagerkapazitäten	Die Kosten der Zwischenlagerkapazitäten sind Bestandteil der Kostenschätzung. Basierend auf entsprechenden Überlegungen muss festgelegt werden, welche Kapazitäten zur Verfügung stehen müssen.	Bestehende Kapazitäten.	erfüllt, siehe Kap. 4.3
	16. Abklinglager für radioaktive Stoffe	Mit der revidierten Strahlenschutzverordnung (StSV) und den neuen Freimessgrenzen werden radioaktive Stoffe anfallen, die nach einer Abklinglagerung konventionell entsorgt werden können. Es ist festzulegen, wie die Logistik dieser radioaktiven Stoffe in der Kostenschätzung zu berücksichtigen ist.	Abklinglagerung wird im Projektrisiko „neue StSV“ berücksichtigt und ausgewiesen.	erfüllt, siehe Kap. 4.4

5.2 ENSI-Empfehlungen aus der Kostenstudie 2011

Die Empfehlungen des ENSI aus der Stellungnahme aus der Kostenstudie 2011 wurden stufengerecht berücksichtigt. Damit wurde die Vorgabe 8 der VK-STENFO [1] umgesetzt. Eine Würdigung findet sich bei den jeweiligen Fachthemen gemäss folgender Tabelle:

Tabelle 5-2: Empfehlungen des ENSI aus der Kostenstudie 2011

Nr.	Stichwort	siehe unter
4.1	Lucens-Abfälle	Kap. 3.5.2
4.2	Vollständiger Rückbau	Kap. 3.1.2, Vorgabe 11 VK-STENFO
4.3	Konventionelle Schadstoffe	Kap. 3.2.2
4.4	Gebäudestrukturen unterhalb 2 Meter Tiefe	Kap. 3.1.2, Vorgabe 11 VK-STENFO
4.5	Unvorhergesehene Verzögerungen	Kap. 3.5.1
4.6	Unsicherheiten bei der Abschätzung der Stilllegungskosten	neue Kostengliederung; wird vom ENSI nicht mehr geprüft
5.1	Stilllegungsabfälle der Forschungs-Kernanlagen	Kap. 4.1
5.2	Transportfähigkeit der Einzelgebäude	Kap. 4.2
5.3	Verpackungsanlage	Kap. 4.5.3
5.4	Verschlussbauwerke	Kap. 4.5.4
5.5	Tunnelausbau (Ausbruchsicherung und Verkleidung)	Kap. 4.5.4
5.6	Zeitplan für untertägige Datenerhebung	Kap. 4.5.2

6 Zusammenfassung und Bewertung aus technischer Sicht

6.1 Stilllegung

Das ENSI hat die Kostenstudien zum Rückbau der KKW Beznau, Mühleberg, Gösgen, Leibstadt und des Zentralen Zwischenlagers Würenlingen (Zwilag) entsprechend dem Auftrag der VK-STENFO geprüft. Dazu wurden der Mantelbericht [3], der Bericht zur Schätzung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen [4], der Chancen- und Gefahrenkatalog Stilllegung [7] und die zu jeder der 5 kerntechnischen Anlagen vorgelegten anlagenspezifischen Stilllegungsstudien der NIS Ingenieurgesellschaft mbH [10-14] 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 zu folgenden Ergebnissen:

- Die anlagenspezifischen Stilllegungsstudien zur Ermittlung der Stilllegungskosten sind klar strukturiert. Die wesentlichen Themen, die im Rahmen einer Stilllegungsstudie zu betrachten sind, werden in den verschiedenen Abschnitten aufgeführt.
- Die Beschreibung der Anlagen ist für ein Verständnis der nachfolgend beschriebenen Stilllegungsmassnahmen ausreichend.
- Die Auswahl der Stilllegungsvariante ist nachvollziehbar begründet und entspricht dem Stand der Stilllegungsstudie 2011.
- Die beim Rückbau von Kernkraftwerken bzw. Zwischenlagern grundsätzlich durchzuführenden Massnahmen und Tätigkeiten werden durch die funktionalen Pakete der Stilllegungsstudien für die Schweizer Kernanlagen vollständig erfasst.

Die Bewertung der Materialströme und Behandlungsverfahren für die einzelnen Anlagen ergab zusammengefasst folgende Ergebnisse:

- Auf Basis einer stichprobenartigen Prüfung der massebezogenen Eingangsdaten der Stilllegungsstudien stellt das ENSI fest, dass die ausgewiesenen Massen ausgewählter Komponenten im Vergleich zu anderen bekannten und vergleichbaren Kernkraftwerken im erwarteten Bereich liegen.
- Die in den Studien jeweils aufgeführte berechnete spezifische Aktivität für die relevanten Komponenten wie RDB-Einbauten, RDB und biologischer Schild sowie Drywell (für SWR) sind auf Basis der Prüfung im Wesentlichen plausibel.
- Das Verhältnis der kontaminierten zu den nicht kontaminierten Massen ist jeweils für stillgelegte Kernkraftwerke mit Druckwasserreaktor bzw. Siedewasserreaktor insgesamt plausibel.
- Das ENSI bewertet die in den Stilllegungsstudien aufgeführten Abschätzungen der radioaktiven Abfallmassen, die vorgesehenen Behandlungsverfahren und das Verpackungskonzept für eine Abschätzung der Leistungsannahmen zur Berechnung der Stilllegungskosten der KKW und des Zwilag für geeignet. Der bedingten Erhöhung an radioaktiven Abfallmassen aufgrund der in der Revision der StSV geänderten Freigrenzen kann durch eine mögliche Abklinglagerung in gewissem Masse entgegen gewirkt werden.
- Das Vorgehen zur Entlassung von Materialien aus dem Geltungsbereich der StSV wird sachgerecht beschrieben.
- Das ENSI bewertet die vorgesehenen Zerlege- und Dekontaminationsverfahren zum Abbau der aktivierten und kontaminierten Anlagenteile im Hinblick auf die handhabungs- und strahlenschutztechnischen Aspekte sowie für die Belange der Entsorgung für geeignet.

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

- Die zeitliche Abfolge der Rückbautätigkeiten ist auf dem Detaillierungsgrad der Grobterminpläne der Stilllegungsstudien plausibel.
- Das ENSI bewertet die Durchführungszeiträume der Demontagen der relevanten Bereiche und damit auch das rechtzeitige Erreichen der für den Rückbaubetriebsaufwand dominierenden Meilensteine als realistisch, sofern keine zusätzlichen Verzögerungen, wie z. B. wegen zusätzlich notwendiger Massnahmen beim Vorhandensein konventioneller Gefahrstoffe (z. B. Asbest) oder aufgrund von baustatischen Abhängigkeiten, auftreten. Auch hinsichtlich der Dauer der gesamten Rückbauphase hält das ENSI die Angaben der Stilllegungsstudien bei weitestgehend störungsfreiem Ablauf für realisierbar.
- Der in den Stilllegungsstudien jeweils angegebene Gesamtpersonalaufwand für die Stilllegung und den Abbau der Anlagen liegt auch mit der gegenüber dem Stand von 2011 vorgenommenen Anpassung im unteren Bereich dessen, was erfahrungsgemäss bei anderen Rückbauprojekten angegeben ist. Andererseits ist abzusehen, dass die Erkenntnisse aus der praktischen Abwicklung von weiteren Rückbauprojekten in den kommenden Jahren zusätzliche positive Auswirkungen auf die logistischen Abläufe und die eingesetzten technischen Methoden beim Abbau der Anlagen haben werden und die bereits jetzt berücksichtigten Optimierungsmöglichkeiten unterstützen. Insofern erachtet das ENSI eine Realisierung des Rückbaus der Schweizer Kernanlagen mit dem abgeschätzten Gesamtpersonalaufwand für möglich.
- Die in den Studien jeweils abgeschätzten Kollektivdosen für den gesamten Rückbau der Anlagen hält das ENSI für abdeckend. In einzelnen funktionalen Paketen ist die abgeschätzte Kollektivdosis jedoch relativ hoch angesetzt worden.

6.2 Entsorgung

Das ENSI hat die Kostenstudien hinsichtlich Abfallvolumen, Transporten, Zwischenlagerung, Abklinglagerung, und zur geologischen Tiefenlagerung inkl. Oberflächenanlagen entsprechend dem Auftrag der VK-STENFO geprüft. Dazu wurden der Mantelbericht [3], der Bericht zur Schätzung der Entsorgungskosten Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung [5] und zur Schätzung der Kosten geologische Tiefenlagerung [6], der Chancen- und Gefahrenkatalog Zwischenlagerung, Transporte, Behälter, Wiederaufarbeitung [8], die Erläuterungen zum Risikoregister geologische Tiefenlagerung [9] und die zu den Hauptvorhaben HAA-Lager [15], SMA-Lager [17] und Kombilager [16] vorgelegten Hintergrundberichte der Nagra herangezogen. Des Weiteren hat das ENSI Einsicht in zusätzliche Hintergrunddokumente genommen, welche im Rahmen von Fachgesprächen erläutert wurden.

Das ENSI kommt zu folgenden Ergebnissen:

- Das Abfallinventar wurde zuverlässig erstellt und ist eine geeignete Grundlage für die Kostenstudie 2016.
- Nach Beurteilung des ENSI werden im Transportkonzept die Vorgaben der Transportbestimmungen des ADR grundsätzlich berücksichtigt. Die Anzahl von BE und TLB entspricht den Unterlagen zur Entsorgungsplanung, die dem ENSI vorliegen.
- Für die bestehenden KKW steht genügend Zwischenlagerkapazität zur Verfügung. Die angenommenen Betriebszeiten der Zwischenlager sind mit den Angaben aus dem Entsorgungsprogramm 2016 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 2016.

- Eine Abklinglagerung zur Reduktion der Abfallvolumina wird aufgrund der geplanten Revision der StSV mit revidierten nuklidspezifischen Freigrenzen im Gefahrenkatalog berücksichtigt. Sicherheitstechnisch gesehen sind dazu «Abklinglager» nötig, in denen das Material bis zu seiner radiologischen Freigabe aufbewahrt wird. Aus Sicht des ENSI ist es möglich, dass die Abklinglager nicht rechtzeitig verfügbar sind.
- Das betrachtete Basisprojekt mit einem SMA-Lager in Jura Ost (JO) und einem HAA-Lager in Zürich Nordost (ZNO) entspricht einer Vorgabe der VK-STENFO. Mit den betrachteten Varianten (Kombilager in ZNO bzw. in JO; SMA-Lager in ZNO und HAA-Lager in JO) wird berücksichtigt, dass der Entscheid über die Realisierung von zwei Einzellagern oder einem Kombilager im Rahmen des Sachplanverfahrens erst nach Vorliegen der Ergebnisse der weiteren Standortuntersuchungen getroffen werden kann. Aus sicherheitstechnischer Sicht zeichnet sich heute keine Präferenz für die Realisierung der Einzellager bzw. eines Kombilagers ab.
- Die Abfallmengen in den Unterlagen zur Kostenstudie 2016 und zum Entsorgungsprogramm 2016 sind untereinander konsistent.
- Das ENSI hat am 18. April 2017 sein sicherheitstechnisches Gutachten zum Vorschlag der in Etappe 3 SGT weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete (Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2) veröffentlicht und darin der Zurückstellung des Standortgebiets Nördlich Lägern und damit der der Begrenzung auf jeweils zwei Standortgebiete für HAA- oder SMA-Lager nicht zugestimmt. Falls der Bundesrat dieser Einschätzung folgt, sind für Etappe 3 SGT drei Standortgebiete näher zu untersuchen, was in der Kostenstudie als Gefahr berücksichtigt wurde.
- Im Zuge der Prüfungen in Etappe 2 SGT hat das ENSI die generischen Konzeptstudien und Standortvorschläge der Nagra für die OFA geprüft und als plausibel und stufengerecht bewertet. Das ENSI begrüsst, dass die Konzepte im Hinblick auf die Kostenstudie 2016 weiterentwickelt wurden. Von den funktionellen und betrieblichen Abläufen, insbesondere aber auch von den Durchsätzen her, müssen aus Sicht des ENSI für die Verpackungsanlage SMA/LMA des Kombilagers wesentliche Anpassungen gegenüber dem Anlagenteil «Verpackung LMA» des HAA-Lagers gemacht werden. Aus Sicht des ENSI ist es absolut unüblich und entspricht auch nicht dem Stand heute betriebener Anlagen in Heisszellentechnik, dass eine Anlage zur offenen Handhabung grosser Mengen an bestrahlten Brennelementen und zur Dekontamination und Zerlegung von mehr als 25'000 t Material, welches über Jahrzehnte in teilweise direktem Kontakt mit den bestrahlten Brennelementen war, nicht mit Einrichtungen zur Sammlung und Verarbeitung kontaminierter Dekontaminationslösungen ausgestattet ist. Die geometrischen Kennzahlen der OFA sind für die einzelnen Anlagenteile jeweils plausibel. Fügt man die einzelnen Teilanlagen / Gebäude jeweils zur konzeptionell beschriebenen Gesamtanlage zusammen, ergeben sich im Detail Inkonsistenzen. Insgesamt kommt das ENSI zum Schluss, dass die verwendeten Konzepte für die Oberflächenanlagen des SMA-Lagers und des HAA-Lagers für die Schätzung der Kosten in der Kostenstudie 2016 geeignet sind. Allfällige Auswirkungen des erkannten Ergänzungsbedarfs werden im Vergleich zur Planungsunschärfe zum gegenwärtigen Projektstand nicht ins Gewicht fallen.
- Im Hinblick auf die bautechnischen Aspekte ist der Detaillierungsgrad der technischen Berichte stufengerecht. Die geprüften technischen Lösungen sind grundsätzlich nachvollziehbar und vollständig in den geprüften Dokumenten beschrieben und entsprechen weitgehend dem Stand der Technik. Die beschriebenen Basisprojekte stellen eine belastbare Basis zur Ermittlung der zu erwartenden technischen Basiskosten dar. Zusammen mit dem in [9] erläuterten Umgang mit Chancen und Gefahren ermöglichen diese eine stufengerechte Bestimmung der aus technischen Aspekten zu erwartenden Baukosten.
- Die aufgeführten Sicherungsmassnahmen für die Vorhaben HAA-Lager und SMA-Lager sind vollständig und entsprechen den gesetzlichen Vorgaben.
- Die Begrenzung der Strahlenexposition kann für die Vorhaben HAA-Lager und SMA-Lager durch die vorgesehenen Mittel und Massnahmen eingehalten werden. Die Umsetzung der Anforderungen an

den Strahlenschutz ist in den Informationsblättern zur Sicherheit [15, 17] aus Sicht des ENSI für die geforderte Kostenstudie ausreichend detailliert dargelegt.

- Aus Sicht des ENSI ist die in den Lagerkonzepten des HAA-Lagers und des SMA-Lagers beschriebene modellhafte Umsetzung der nuklearen Betriebssicherheit ausreichend für die Schätzung der Kosten in der Kostenstudie 2016. Das ENSI weist darauf hin, dass im Rahmen der zukünftigen Auslegung von HAA/SMA-Lagern bei der systematischen Störfallanalyse und dem Nachweis der Einhaltung der radiologischen Kriterien eine strukturierte Vorgehensweise gemäss Art. 2 UVEK-Verordnung [54] zu wählen ist und die Häufigkeiten der Störfälle inkl. Störfallkategorie anzugeben sind.

7 Zusammenfassung der Empfehlungen des ENSI für die nächste Kostenstudie

Hinsichtlich der nächsten Aktualisierung der Kostenstudie, die für das Jahr 2021 vorgesehen ist, empfiehlt das ENSI die folgenden Elemente der Kostenschätzung zu überprüfen:

Empfehlung 3-1: Für die nächste Aktualisierung der Kostenstudie empfiehlt das ENSI eine Überarbeitung der Massenangaben in den Tabellen 5-6 der Stilllegungsstudien [10-13]. 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 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 3-3: Die Daten zu den Materialströmen und Stilllegungsabfällen sind für die nächste Aktualisierung der Kostenstudie zu überarbeiten und in prüfbarer Form darzulegen.

Empfehlung 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 [30] spezifische Festlegungen gibt.

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

Empfehlung 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 Kombilagere zu verwenden.

Empfehlung 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 4-6: Für die nächste Kostenstudie sind die modellhaften Umsetzungen der OFA für die verschiedenen Lagerprojekte (HAA, SMA und Kombi) hinsichtlich der Schnittstellen zwischen den einzelnen Anlagenteilen zu überarbeiten, existierende Inkonsistenzen zu bereinigen und fehlende Angaben zu ergänzen (vgl. Empfehlung 4-4). Dabei sind insbesondere auch alle Anforderungen zu berücksichtigen, die sich aus der Bearbeitung der beiden vorgenannten Empfehlungen hinsichtlich der Quantifizierung von Auslegungsparametern ergeben.

8 Abkürzungen

ADR	Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route
AGT	Abfallgebindetyp
BE	Brennelement
ELFB	Endlagerfähigkeitsbescheinigung
HAA	hochaktive Abfälle
HAA-Lager	geologisches Tiefenlager für hochaktive Abfälle
KKB	Kernkraftwerk Beznau
KKG	Kernkraftwerk Gösgen
KKL	Kernkraftwerk Leibstadt
KKM	Kernkraftwerk Mühleberg
KKW	Kernkraftwerk
LMA	langlebige, mittelaktive Abfälle
LMA-Lager	Lagerbereich innerhalb des HAA- oder SMA-Lagers für langlebige, mittelaktive Abfälle
MIF-Abfälle	Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung
RDB	Reaktordruckbehälter
SMA	schwach- und mittelaktive Abfälle
SMA-Lager	geologisches Tiefenlager für schwach- und mittelaktive Abfälle
STENFO	Stilllegungsfonds für Kernanlagen und Entsorgungsfonds für Kernkraftwerke, www.stenfo.ch
TLB	Transport- und Lagerbehälter
VK-STENFO	Verwaltungskommission des Stilllegungsfonds für Kernanlagen und Entsorgungsfonds für Kernkraftwerke. Die Verwaltungskommission ist das Leitungsorgan der Fonds und trifft alle wichtigen Entscheide. Die Mitglieder der Kommission müssen Gewähr für eine einwandfreie Geschäftstätigkeit der Stilllegungsfonds- und Entsorgungsfonds bieten. Der Kostenausschuss der VK-STENFO ist das Steuerungs-, Koordinations- und Überwachungsorgan für die Kostenberechnung und die Auszahlungen.
Zwibez	Zwischenlager Beznau
Zwilag	Zwischenlager Würenlingen AG

9 Referenzen

- [1] VK-STENFO: Vorgaben für die Erarbeitung der KS16, Kommission des Stilllegungsfonds für Kernanlagen und des Entsorgungsfonds für Kernkraftwerke (2014).
- [2] SEFV: Verordnung über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen vom 1. Februar 2008, Schweiz, SR 732.17.
- [3] swissnuclear: Kostenstudie 2016 (KS16) – Mantelbericht, swissnuclear – Fachgruppe Kernenergie der swisselectric (2016).
- [4] swissnuclear: Kostenstudie 2016 (KS16) – Schätzung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen, swissnuclear – Fachgruppe Kernenergie der swisselectric (2016).
- [5] swissnuclear: Kostenstudie 2016 (KS16) – Schätzung der Entsorgungskosten Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung, swissnuclear – Fachgruppe Kernenergie der swisselectric (2016).
- [6] swissnuclear: Kostenstudie 2016 (KS16) – Schätzung der Entsorgungskosten – geologische Tiefenlagerung, swissnuclear – Fachgruppe Kernenergie der swisselectric (2016).
- [7] swissnuclear: Kostenstudie 2016 (KS16) – Chancen- und Gefahrenkatalog Stilllegung, swissnuclear – Fachgruppe Kernenergie der swisselectric (2016).
- [8] swissnuclear: Kostenstudie 2016 (KS16) – Chancen- und Gefahrenkatalog Zwischenlagerung, Transporte, Behälter, Wiederaufarbeitung, swissnuclear – Fachgruppe Kernenergie der swisselectric (2016).
- [9] Nagra (2016): Kostenstudie 2016 (KS16) – Erläuterungen zum Risikoregister, Nagra unpubl. Interner Bericht, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Wettingen.
- [10] NIS: Stilllegungsstudie für das KKW Beznau Block 1 und 2 (Preisbasis 01.01.2016), NIS Ingenieurgesellschaft mbH (2016).
- [11] NIS: Stilllegungsstudie für das KKW Gösgen (Preisbasis 01.01.2016), NIS Ingenieurgesellschaft mbH (2016).
- [12] NIS: Stilllegungsstudie für das KKW Leibstadt (Preisbasis 01.01.2016), NIS Ingenieurgesellschaft mbH (2016).
- [13] NIS: Stilllegungsstudie für das KKW Mühleberg (Preisbasis 01.01.2016), NIS Ingenieurgesellschaft mbH (2016).
- [14] NIS: Stilllegungsstudie für das Zentrale Zwischenlager Würenlingen – Zwiilag – (Preisbasis 01.01.2016), NIS Ingenieurgesellschaft mbH (2016).
- [15] Nagra (2016): Vorhaben 'HAA-Lager' – Anforderungen, Randbedingungen und modellhafte Umsetzung im Rahmen der Kostenstudie 2016, Nagra unpubl. Interner Bericht, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Wettingen.
- [16] Nagra (2016): Vorhaben 'Kombilager' – Anforderungen, Randbedingungen und modellhafte Umsetzung im Rahmen der Kostenstudie 2016, Nagra unpubl. Interner Bericht, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Wettingen.

- [17] Nagra (2016): Vorhaben 'SMA-Lager' – Anforderungen, Randbedingungen und modellhafte Umsetzung im Rahmen der Kostenstudie 2016, Nagra unpubl. Interner Bericht, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Wettingen.
- [18] Stellungnahme Kostenstudien 2016 – Schweizer Kernanlagen, TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG, Expertenbericht zuhanden des ENSI, 2017.
- [19] Stellungnahme zu den technischen Aspekten der Kostenstudie 2016 (Teil geologische Tiefenlager), Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG, Expertenbericht zuhanden des ENSI, Zürich, 2017.
- [20] StSV: Revision der Strahlenschutzverordnung vom 1. Januar 2018, Schweiz, SR 814.501.
- [21] NIS: Abschätzung der Kosten für den Nachbetrieb des KKW Beznau Block 1 und 2 (Preisbasis 01.01.2016), NIS Ingenieurgesellschaft mbH (2016).
- [22] NIS: Abschätzung der Kosten für den Nachbetrieb des KKW Gösgen (Preisbasis 01.01.2016), NIS Ingenieurgesellschaft mbH (2016).
- [23] NIS: Abschätzung der Kosten für den Nachbetrieb des KKW Leibstadt (Preisbasis 01.01.2016), NIS Ingenieurgesellschaft mbH (2016).
- [24] NIS: Abschätzung der Kosten für den Nachbetrieb des KKW Mühleberg (Preisbasis 01.01.2016), NIS Ingenieurgesellschaft mbH (2016).
- [25] swissnuclear: Kostenstudie 2016 (KS16) – Schätzung der Nachbetriebskosten der Schweizer Kernkraftwerke, swissnuclear – Fachgruppe Kernenergie der swisselectric (2016).
- [26] KEG: Kernenergiegesetz vom 21. März 2003, Schweiz, SR 732.1.
- [27] KEV: Kernenergieverordnung vom 10. Dezember 2004, Schweiz, SR 732.11.
- [28] ENSI-G17: Stilllegung von Kernanlagen, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Richtlinie, Brugg, 2014.
- [29] IAEA: Release of Sites from Regulatory Control on Termination of Practices, International Atomic Energy Agency (2006).
- [30] ENSI-B05: Anforderungen an die Konditionierung radioaktiver Abfälle, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Richtlinie, Würenlingen, 2007.
- [31] StSV: Strahlenschutzverordnung vom 22. Juni 1994, Schweiz, SR 814.501.
- [32] NTB 16-01: Entsorgungsprogramm 2016 der Entsorgungspflichtigen, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2016.
- [33] Nagra (2016): Kostenstudie 2016 – Transportgerüste (Mengen und Kosten) für 50 und 60 Jahre Betrieb der KKW, Nagra unpubl. Interner Bericht, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Wettingen.
- [34] SDR: Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse vom 1. Januar 2003, Schweiz, SR 741.621.
- [35] swissnuclear: Basiskosten für die Behandlung und Zwischenlagerung von radioaktiven Abfällen (Entsorgungskostenstudie – KS16 Variante 47/50/50/50), swissnuclear – Fachgruppe Kernenergie der swisselectric (2016).
- [36] swissnuclear: Basiskosten für die Behandlung und Zwischenlagerung von radioaktiven Abfällen (Entsorgungskostenstudie – KS16 Variante 47/60/60/60), swissnuclear – Fachgruppe Kernenergie der swisselectric (2016).

- [37] ENSI-B04: Freimessung von Materialien und Bereichen aus kontrollierten Zonen, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Richtlinie, Würenlingen, 2009.
- [38] IAEA: Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance, International Atomic Energy Agency (2004).
- [39] NAB 13-66: Standortareal JO-3+-SMA im Planungssperimeter Jura Ost für die Oberflächenanlage eines geologischen Tiefenlagers SMA – Planungsstudie, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2013.
- [40] NAB 14-28: Standortareal ZNO-6b-HAA im Planungssperimeter Zürich Nordost für die Oberflächenanlage eines geologischen Tiefenlagers HAA – Planungsstudie, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2014.
- [41] NTB 11-01: Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2: Vorschläge zur Platzierung der Standortareale für die Oberflächenanlage der geologischen Tiefenlager sowie zu deren Erschliessung, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2011.
- [42] NTB 13-01: Standortunabhängige 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] ENSI 33/456: Bautechnische Beurteilung der Standortareale für Oberflächenanlagen, Dr. von Moos AG Beratende Geologen und Ingenieure, Expertenbericht zuhanden des ENSI, Zürich, 2016.
- [44] ENSI 33/467: Sachplan geologische Tiefenlager (SGT) Etappe 2: Beurteilung der Standortareale und der Platzierung einer Oberflächenanlage – Ausgewählte externe Gefährdungen und Sicherheitsaspekte, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Aktennotiz, Brugg, 2015.
- [45] 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.
- [46] ENSI: Resultate der Prüfung von NTB 13-01 zuhanden des BFE, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (2013).
- [47] ENSI 10/677: Stellungnahme zur Kostenstudie 2011 über die Stilllegungs- und Entsorgungskosten der Kernanlagen in der Schweiz, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg, 2012.
- [48] Nagra (2016): Kostenstudie 2016 (KS16)- Gefahren und Chancen: Kurzbeschreibung der Kostenfolgen und Eintretenswahrscheinlichkeiten, Nagra unpubl. Interne Aktennotiz, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Wettingen.
- [49] ENSI-G15: Strahlenschutzziele für Kernanlagen, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Richtlinie, Brugg, 2010.
- [50] ENSI-B09: Ermittlung und Aufzeichnung der Dosis strahlenexponierter Personen, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Richtlinie, Brugg, 2011.
- [51] 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.

- [52] ENSI 33/458: Ergänzende Sicherheitsbetrachtungen für die Zugangsbauwerke, Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG, Expertenbericht zuhanden des ENSI, Zürich, 2015.
- [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 vom 17. Juni 2009, Schweiz, SR 732.112.2.

ENS-AN-9930

ENSI, CH-5200 Brugg, Industriestrasse 19, Telefon +41 (0)56 460 84 00, e-mail: info@ensi.ch, www.ensi.ch