

Prüfung der Kostenstudie 2016 von swissnuclear

Gutachten im Auftrag der Schweizerischen Energie-
Stiftung, Sihlquai 67, 8005 Zürich, CH

26.04.2017

Autorinnen und Autoren

Dipl.-Geol. Stefan Alt
Dr.-Ing. Veronika Ustohalova
Öko-Institut e.V.

Geschäftsstelle Freiburg

Postfach 17 71
79017 Freiburg

Hausadresse

Merzhauser Straße 173
79100 Freiburg
Telefon +49 761 45295-0

Büro Berlin

Schicklerstraße 5-7
10179 Berlin
Telefon +49 30 405085-0

Büro Darmstadt

Rheinstraße 95
64295 Darmstadt
Telefon +49 6151 8191-0

info@oeko.de
www.oeko.de

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	6
Zusammenfassung	7
1. Veranlassung und Aufgabenstellung	11
2. Bewertung übergreifender Aspekte der Kostenstudie 2016	13
2.1. Kostenstruktur	13
2.2. Kostengliederung und Risikovorsorge	14
2.2.1. Sicherheitszuschlag gem. SEFV	14
2.2.2. Kostengliederung	16
2.2.3. Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten	18
2.2.4. Zuschläge für Gefahren	20
2.2.5. Abzüge für Chancen	23
2.2.6. Zusätzlicher Sicherheitszuschlag	24
2.2.7. Gesamtzuschlag	25
2.3. Nachschusspflicht und Letzthaftung für finanzielle Risiken	26
2.4. Option der Laufzeitverlängerung der Schweizer Kernkraftwerke	28
3. Spezifische Hinweise zum Bericht „Kostenstudie 2016 (KS16) - Schätzung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen“	28
3.1. Stilllegungskosten in D, F und den USA	28
3.1.1. Deutschland	29
3.1.2. USA	30
3.1.3. Frankreich	31
3.2. Einordnung der Schweizer Kostenschätzung für die Stilllegungskosten	32
3.3. Einflussfaktoren auf die Stilllegungskosten	34
4. Spezifische Hinweise zum Bericht „Kostenstudie 2016 (KS16) - „Schätzung der Entsorgungskosten - Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung“	38
5. Spezifische Hinweise zum Bericht „Kostenstudie 2016 (KS16) - „Schätzung der Entsorgungskosten - geologische Tiefenlagerung“	38
5.1. Zeitplan und Kostenanfall	39
5.2. Politisch/gesellschaftliche Risiken	41
5.3. Rückholbarkeit	41
5.4. Vergleichbarkeit mit anderen Bergbaukosten	42

6. Wesentliche Schlussfolgerungen	43
Literaturverzeichnis	47
Anhang 1: In den Berichten der Kostenstudie dargestellte Kostenstrukturen	48

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Sicherheitszuschlag gem. SEFV in KS 11, KS16 (Basiskosten) und KS16 (Gesamtkosten)	15
Abbildung 3-1:	Stilllegungskostenschätzungen: Deutsche Kernkraftwerke	30
Abbildung 3-2:	Stilllegungskostenschätzungen: Beispiele US-amerikanischer Kernkraftwerke	31
Abbildung 3-3:	Stilllegungskostenschätzungen: Vergleich zwischen CH, D, USA und F	34
Abbildung 3-4:	Erfasste Massen der Schweizer Kernkraftwerke nach Herkunft und Entsorgungsziel	35
Abbildung 3-5:	Personalwand und Stilllegungskosten bei der Stilllegung der Schweizer Kernkraftwerke	37

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	In (sn 2016a) dargestellte Kostengliederung für die Entsorgungs- und Stilllegungskosten	17
Tabelle 2-2:	Kostengliederung für die Entsorgungskosten	18
Tabelle A-1:	In (sn 2016b) dargestellte Kostenstruktur: Stilllegung und Rückbau Kernkraftwerke	48
Tabelle A-2:	In (sn 2016b) dargestellte Kostenstruktur: Stilllegung und Rückbau Zwischenlager (Zwibez und Zwiilag)	49
Tabelle A-3:	In (sn 2016c) dargestellte Kostenstruktur: Entsorgungskosten - Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung	49
Tabelle A-4:	In (sn 2016d) dargestellte Kostenstruktur: Entsorgungskosten - geologische Tiefenlagerung	50

Zusammenfassung

Die Schweizerische Energie-Stiftung hat das Öko-Institut mit einem Gutachten zur aktuellen Kostenstudie KS 16 der swissnuclear beauftragt. Bearbeitungsschwerpunkt waren Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Angaben in den Teilberichten zu Stilllegungskosten, Entsorgungskosten (Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung) und Entsorgungskosten (Geologische Tiefenlagerung).

Neben einer Bewertung übergreifender Aspekte der Kostenstruktur, Kostengliederung und (finanzieller) Risikovorsorge wurden spezifische Hinweise zu den drei Teilberichten erarbeitet. Dabei wurden die Stilllegungskosten mit Vergleichswerten aus Deutschland, den USA und Frankreich verglichen und Einflussfaktoren wie die erfassten Massen und Personalkosten hinsichtlich ihrer Plausibilität und Nachvollziehbarkeit diskutiert. In Bezug auf die Kosten für Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung ergab sich kein Bedarf an spezifischer Kritik. Zu den Kosten der geologischen Tiefenlagerung wurden schwerpunktmäßig die sich aus dem langen Realisierungszeitraum ergebenden Implikationen für die Berechnung des heutigen Finanzbedarfs und die sich automatisch ergebende Verlagerung der Kosten aus dem Bereich der Kostenverursacher in den Bereich des Finanzmarkts und in nicht nukleare Geschäftsbereiche der Kostenpflichtigen thematisiert. Darüber hinaus werden die Aspekte politisch /gesellschaftliche Risiken, Rückholbarkeit und Vergleichbarkeit mit Kosten konventioneller bergbaulicher Maßnahmen adressiert.

Die wichtigsten Aspekte der sich aus der kritischen Durchsicht der Kostenstudie und den dazu angestellten Überlegungen ergebenden Schlussfolgerungen sind:

- Anzuerkennen ist eine deutliche Weiterentwicklung hinsichtlich des Informationsgehalts, wobei aber die Hintergründe der Kostenschätzungen nach wie vor unsichtbar bleiben. Darüber hinaus haben die einzelnen Berichte auf gleicher Darstellungsebene unterschiedliche Detaillierungsgrade. Die Nachvollziehbarkeit für eine unabhängige Öffentlichkeit ist dadurch in vielen Punkten nach wie vor nicht gegeben.
- Der Sicherheitszuschlag von 30 % nach SEFV wird in KS 16, anders als in KS 11, auf die Basiskosten bezogen und auf diese Weise mit den neuerdings ausgewiesenen (aber zumindest teilweise auch schon in KS 11 implizit enthaltenen) Risikozuschlägen für Prognoseungenauigkeiten und Gefahren verrechnet. In letzter Konsequenz bedeutet dies gegenüber KS 11 einen Verzicht auf finanzielle Vorsorge.
- Zuschläge für Prognose-Ungenauigkeiten wurden so bestimmt „*dass die prognostizierten Kosten mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht überschritten werden*“. Allerdings bleibt diese Aussage vage, da konkrete Angaben zur Wahrscheinlichkeit fehlen. Die Bewertung der Ungenauigkeit ist dabei in hohem Masse von nicht einsehbarem Expertenwissen und deren Einschätzungen abhängig.
- Die „Risikomatrix“ für kostenwirksame Gefahren bei Stilllegung, Zwischenlagerung, Transporten, Behältern und Wiederaufarbeitung wird nur angedeutet und ist für den Außenstehenden nicht nachvollziehbar. Für die geologische Tiefenlagerung werden kostenwirksamen Gefahren nur abstrakt beschrieben, ihre Herleitung ist mit den anderen Kostenstudien nicht konsistent. Es ist also festzustellen, dass die Herleitung der Gefahrenzuschläge für den Bereich der geologischen Tiefenlagerung dem Anspruch an eine transparente und nachvollziehbare Berichterstattung nicht gerecht wird.
- Für als „sehr unwahrscheinlich“ eingeschätzte Gefahren wird keine finanzielle Vorsorge getroffen. Hierzu zählen ggf. erforderliche Sanierungsarbeiten durch Wassereinträge in verschiede-

nen Stadien der Errichtung und des Betriebs des Endlagers. Nicht berücksichtigt werden auch die Kostenfolgen einer Abfallrückholung, die außerdem mit „*einigen 10 Prozent der Gesamtkosten*“ zu niedrig angesetzt werden. Eine Rückholung geht mit einer erneuten Zwischenlagerung und einem neuen Endlager einher, hierfür wären die Kostenfolgen deutlich höher einzuschätzen.

- Im Hinblick auf eine Verbesserung der Risikovorsorge wäre es hingegen überlegenswert, die Chancen zukünftig nicht mehr von den Kostenzuschlägen in Abzug zu bringen sondern ohne Folge für die Kostenschätzung auszuweisen. Sie wären damit den nicht berücksichtigten Gefahren gleichgestellt, die ja ebenfalls ohne Kostenfolgen dargestellt werden.
- Verglichen mit dem Umstand, dass die Autoren der Schweizer Kostenstudie zwar selbstbewusst, aber ohne im Detail nachvollziehbare Begründung darauf hinweisen, dass über die vorgenommenen Zuschläge hinaus ein in der Kostengliederung vorgesehener sogenannter zusätzlicher Sicherheitszuschlag „nicht begründbar“ sei, drängt sich der Eindruck auf, dass insbesondere für die Entsorgungskosten die Kostenrisiken eher optimistisch abgebildet worden sind.
- Ggf. zukünftige Kosten für „*das Unbekannte*“ sollen über die Nachfinanzierung geregelt werden. Damit wird auf eine explizite Vorsorge insbesondere gegenüber geologischen Risiken verzichtet, obwohl gerade bei bergbaulichen Tätigkeiten „Unbekanntes“ (z.B. in Bezug auf die Geologie oder Hydrogeologie) häufig zu kostenwirksamen Planungs- und Maßnahmenänderungen führt. Ob die ausgewiesenen Zuschläge dies angemessen berücksichtigen bleibt unklar, auch dieses Kostenrisiko bleibt letztlich in der Nachschusspflicht „versteckt“.
- Die Nachschusspflicht und die nachgelagerten Haftungsebenen sind Instrumente um zukünftige Kostenlücken durch Zahlungen der Abfallverursacher zu kompensieren. Durch die Besitzstruktur der Schweizer Kernkraftwerke liegt die Verantwortung hierfür letztlich in öffentlicher Hand. Hierzu gehört auch, dass diese Verpflichtung nach Betriebseinstellung der Kernkraftwerke aus anderen, nicht nuklearen Geschäftsbereichen der Eigentümer zu bedienen ist.
- Im Vergleich zu Schätzwerten aus Deutschland, den USA und Frankreich ordnen sich die Stilllegungskosten der Kernkraftwerke Mühleberg und Beznau an der Untergrenze des Spektrums ein, zusammen mit der in der Kritik stehenden und wenig verlässlichen Schätzung der französischen EDF. Die Kostenschätzungen für Gösgen und Leibstadt schneiden im Vergleich besser ab, was aber nichts über die Angemessenheit der Kostenschätzungen aussagt.
- Der Gesamtprozess der geologischen Tiefenlagerung wird noch mehr als einhundert Jahre dauern. Dies hat weitreichende Folgen für den heutigen Finanzbedarf: Der heutige Barwert der „Overnight-Kosten“ der Endlagerung (etwa 12,2 Mrd. SFR), beträgt nach Diskontierung mit einem Satz von 3,5 % gerade einmal 5,1 Mrd. SFR. Die tatsächlichen Kosten werden aber nicht dadurch verbilligt, dass ihre Abzinsung über lange Zeiträume die heute zu treffende finanzielle Vorsorge verringert.
- Dabei bleibt unklar inwieweit die notwendige Anlagenrendite von 3,5 % über den generationenübergreifenden Finanzierungszeitraum sichergestellt werden kann. Das deutsche Umweltbundesamt beispielsweise fordert bei generationenübergreifenden Umweltauswirkungen eine zusätzliche Sensitivitätsbetrachtung mit einem Diskontsatz von 0 %.
- Das Gros der Kosten für die geologische Tiefenlagerung soll in den 2030er bis 2090er Jahren anfallen, ein letzter großer Kostenblock (Verschluss der Endlager) wird erst Anfang des 22. Jahrhunderts erwartet. Die zukünftigen Kosten der nuklearen Entsorgung werden also nicht mehr aus Erträgen der Kernkraftwerke erwirtschaftet werden, sondern aus Erträgen der Fonds und ggf. der Nachschusspflichtigen aus nichtnuklearen Geschäftsbereichen.
- Auseinandersetzungen rechtlicher, politischer oder gesellschaftlicher Natur um die geologische Tiefenlagerung, und die damit ggf. verbundenen Kostenrisiken, sind aus der Kostenschätzung

ausgeblendet. Diese Vorgehensweise ist legitim, bedeutet aber auch, dass die durch den gesellschaftlichen Prozess hervorgerufenen Mehrkosten durch die Sicherungsinstrumente der Fonds (Erträge, Nachschusspflicht) aufzubringen sind.

- Vorkehrungen zur Gewährleistung der Rückholbarkeit von Abfällen sind in den Kostenschätzungen nicht sichtbar. Zu berücksichtigen wären beispielsweise Behälterspezifikationen oder vorzuhaltende Infrastrukturen bis hin zu Behandlungsanlagen und einem Zwischenlager für rückgeholte Abfälle. Aus den Kostenstudie lassen sich diesbezüglich keine Rückschlüsse ziehen. Da hier noch erhebliche konzeptionelle Änderungen entsprechend dem technologischen Fortschritt erwartet werden, muss auch für die entsprechenden Kostenfolgen mit einem hohen Maß an Unsicherheit gerechnet werden.

1. Veranlassung und Aufgabenstellung

Die Eigentümer der Schweizer Kernenergieanlagen sind per Gesetz verpflichtet, Einzahlungen in einen Stilllegungs- und einen Entsorgungsfonds zu leisten, mit deren Mitteln die nach dem Zeitpunkt der Außerbetriebnahme der Anlagen anfallenden Stilllegungs- und Entsorgungskosten zu decken sind. Die Fonds werden durch die Verwaltungskommission STENFO verwaltet.

Grundlage der Bemessung der jährlich in die Fonds einzuzahlenden Beiträge sind Kostenschätzungen, die seitens der Eigentümer alle fünf Jahre aktualisiert werden müssen. Im Dezember 2016 wurde die jüngste Fortschreibung der Kostenschätzungen veröffentlicht.

Die Schweizerische Energie-Stiftung hat das Öko-Institut beauftragt, ein Gutachten zur kritischen Prüfung bzw. Plausibilisierung dieser Kostenstudien vorzulegen. Das Gutachten beruht auf einer Durchsicht der von der swissnuclear zur Schweizer Kostenstudie (im Folgenden: KS16) veröffentlichten Berichte

- Mantelbericht
- Schätzung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen
- Schätzung der Entsorgungskosten - Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung
- Schätzung der Entsorgungskosten - geologische Tiefenlagerung.

Die Schätzung der Nachbetriebskosten stand nicht im Fokus der Betrachtung, da diese Kosten unmittelbar von den Betreibern der Anlagen zu zahlen sind und nicht den Fonds überantwortet werden.

Auf die den Berichten zugrunde liegenden Daten und Annahmen bestand kein Zugriff. Eine umfangreiche Prüfung der Kostenstudien war im gegebenen Projektrahmen auch nicht beabsichtigt. Inhaltliche Schwerpunkte des Gutachtens sind daher Nachvollziehbarkeit und Transparenz der Kostenstudien. Hierzu wurden die in den Studien veröffentlichten Informationen und aggregierten Zahlen und die daraus gezogenen Schlussfolgerungen beleuchtet und, wo angemessen, kommentiert. Die Angemessenheit der Kostenschätzungen in Gänze war nicht Gegenstand der Begutachtung. Ziel war es vielmehr, aus einer außenstehenden Perspektive die veröffentlichten Informationen nachzuvollziehen sowie Hinweise auf Unklarheiten zu geben die im weiteren Verlauf des von der Schweizerischen Energie-Stiftung geförderten öffentlichen Diskurses thematisiert und aufgeklärt werden können.

Der vorliegende Bericht gliedert sich demzufolge in verschiedene thematische Abschnitte: In Kapitel 2 werden zunächst übergreifende Aspekte der Kostenstruktur, der Kostengliederung und Risikovorsorge, der Nachschusspflicht und anderer Sicherungsinstrumente sowie der optional in der Kostenstudie dargestellten Kostenfolgen eines verlängerten Kernkraftwerksbetriebs kommentiert. Kapitel 3 bis 5 enthalten Hinweise, die sich aus dem Studium der Einzelberichte der Kostenstudie ergeben haben und die für das dort jeweils angesprochene Thema spezifisch sind: Kapitel 3 widmet sich der Schätzung der Stilllegungskosten (sb 2016b), mit Schwerpunkt auf einer Einordnung in vergleichbare Erfahrungswerte sowie auf den im Bericht adressierten „Einflussfaktoren auf die Stilllegungskosten“. Das Zwilag wird dabei vereinfachend ausgeblendet: sein Kostenanteil ist vergleichsweise gering, sein Betrieb unterscheidet sich grundlegend von dem der Kernkraftwerke, und seine Stilllegung wird erst einige Jahrzehnte nach Stilllegung der Kernkraftwerke erfolgen. Kapitel 4 geht kurz auf den Bericht zur Schätzung der Kosten für Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung (sn 2016c) ein, hier ergab sich kein Bedarf an einer vertieften Auseinan-

dersetzung. Kapitel 5 behandelt Fragestellungen, die besonders im Kontext der geologischen Tiefenlagerung (sn 2016d) relevant erscheinen: Die Auswirkungen der langen Projektdauer, politisch / gesellschaftliche Risiken, Rückholbarkeit und die Vergleichbarkeit mit anderen Bergbaukosten.

Mit Vorlage der Kostenstudie hat das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) die Aufgabe, alle sicherheitlich relevanten Aspekte der Kostenstudie zu prüfen. Die eigentlichen Kostenberechnungen wiederum sollen von unabhängigen Experten überprüft werden (s. STEN-FO 2016a). Für diese Prüfschritte ist selbstverständlich ein wesentlich tiefer gehender Zugriff auf die der Kostenstudie zugrunde liegenden Daten und Annahmen erforderlich als es mit den veröffentlichten Berichten der Fall ist.

2. Bewertung übergreifender Aspekte der Kostenstudie 2016

2.1. Kostenstruktur

KS 16 hat in ihrer Nachvollziehbarkeit für Außenstehende gegenüber der vorangegangenen Kostenstudie (im Folgenden: KS 11) einen deutlich größeren Detaillierungsgrad erreicht. Die Berichte der KS 16 präsentieren die Ergebnisse der Kostenschätzungen nunmehr gegliedert nach vorgegebenen Kostenstrukturen. Sie sind damit, soweit dargestellt, einzelnen Kostenkategorien sowie anteilmäßig den jeweiligen Einzahlungspflichtigen zuordenbar.

In Anhang 1 sind die in den einzelnen Berichten der KS 16 dargestellten Kostenstrukturebenen zusammengestellt. Die eigentliche Struktur und der Detaillierungsgrad sind für die hier betrachteten Segmente der Stilllegungskosten und der Entsorgungskosten unterschiedlich.

Die veröffentlichten Angaben umfassen dabei lediglich die obersten Gliederungsebenen, in denen die Werte der unteren Strukturebenen aggregiert dargestellt sind. Die oberste Ebene enthält dabei mit der jeweiligen Gesamtsumme nur eine Kategorie. Für Prüf- und Vergleichszwecke sind lediglich die zweite und dritte Gliederungsebene sichtbar. Ein Vergleich dieser Gliederungsebenen zeigt, dass in den drei Berichten (sn 2016b, sn 2016c, sn 2016d) bereits in den oberen Gliederungsebenen deutlich unterschiedliche Detaillierungsgrade ausgewiesen werden.

Die Struktur der Stilllegungskosten¹ enthalten z.B. als Gliederungselemente „Arbeitspakete“, die bereits in der Ebene drei vergleichsweise konkrete Tätigkeitsbezüge herstellen. So gliedert sich beispielsweise für die Stilllegung der Kernkraftwerke das Arbeitspaket „Rückbaubetrieb“ in der dritten Strukturebene bereits in zwölf Unterpakete, darunter Verwaltung, Überwachung behördliche Begleitung oder Betrieb der IT. Für die Stilllegung der Zwischenlager werden für das gleiche Arbeitspaket lediglich vier Unterpakete definiert, in denen die zugehörigen Tätigkeiten offenbar stärker zusammengefasst werden.

Die Kostenstruktur der Entsorgungskosten für Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung² kommt in den oberen Gliederungsebenen mit einer deutlich gröberen Struktur aus: Die hier als „Kostenstrukturelemente“ bezeichneten Kategorien beinhalten in der zweiten Ebene zunächst nur die Aufgliederung in die vier Themen Behälter, Transporte, Zwischenlagerung und Wiederaufarbeitung. In Ebene drei bleibt die weitere Untergliederung vage: So werden die Kosten der Zwischenlagerung zwischen den Anlagen Zwi1ag und Zwi2ag aufgeteilt, bei Transporten wird lediglich zwischen zwei grundlegenden Abfallarten unterschieden. Weitere Untergliederungen sind nicht sichtbar.

Die Entsorgungskosten der geologischen Tiefenlagerung³ beschreiben in Ebene zwei die hier „Hauptaktivitäten“ genannten Strukturelemente, verzichten aber weitergehend auf eine weitere Untergliederung in Ebene drei. Lediglich zu den drei Hauptaktivitäten „Anlagenplanung und -bau“, „Anlagenbetrieb“ und „Stilllegung, Rückbau und Verschluss der Anlagen“ werden weitere Angaben gemacht, die sich jeweils auf die räumliche Zuordnung von Kosten zur Oberflächeninfrastruktur, zu den Zugängen nach Untertage und zu den Bauwerken auf Lagerebene beziehen. Aus dem Mantelbericht⁴ geht diesbezüglich hervor, dass die drei obersten Gliederungsebenen für die geologische Tiefenlagerung festgelegt sind, und das auf der vierten Gliederungsebene Anpassungen vor-

¹ Anhang 1, Tabelle A-1 und Tabelle A-2

² Anhang 1, Tabelle A-3

³ Anhang 1, Tabelle A-4

⁴ (sn 2016a), S. 21

genommen wurden. Da die vierte Gliederungsebene in den Berichten nicht dargestellt ist, entziehen sich diese Informationen einer weiteren Betrachtung.

Obwohl hinsichtlich des prinzipiellen Aufbaus ähnlich, sind also die dargestellten Kostenstrukturen auf gleicher Ebene in ihrem Detaillierungsgrad nicht gleichwertig. Die unterschiedliche Darstellungsweise ist wahrscheinlich mit unterschiedlich ausgeprägtem Kenntnisstand, Komplexität, Anzahl und Untergliederung der „tieferen“ Strukturebenen und unterschiedlich scharf definierbarer zeitlicher Rahmenbedingungen für die anstehenden Aufgaben im Bereich Stilllegung oder Entsorgung zu begründen und daher vielleicht unvermeidbar.

In der Darstellung der Berichte zur KS16 führt dies dazu, dass mit der Beschränkung auf lediglich die obersten Kostenstrukturelemente die Schätzungen der Stilllegungskosten, der Kosten für Behälter, Transporte, Zwischenlagerung und Wiederaufarbeitung sowie die Kosten der geologischen Tiefenlagerung unterschiedlich grob veröffentlicht werden und daher auch nicht miteinander vergleichbar sind.

Die in den Berichten zur KS16 abgebildeten obersten Gliederungsebenen und die Benennung der grundlegenden Methoden sind dabei nachvollziehbar. Die Nachvollziehbarkeit der Kostenangaben im Einzelnen endet aber naturgemäß für Außenstehende mit dem Detaillierungsgrad der abgebildeten Kostenstrukturen. Grundsätzlich gilt: Unterhalb der jeweils dargestellten dritten Gliederungsebenen bleiben die Kostenstrukturen unsichtbar, von Außenstehenden kann nicht geprüft werden, ob die berücksichtigten Kostenaspekte vollständig bzw. abdeckend sind.

Eine Prüfung und Kommentierung der Kostenschätzung durch Außenstehende muss sich auf die veröffentlichten Informationen beschränken. Eine hierüber hinausgehende Sichtbarkeit der Aufschlüsselung für eine breitere Interessentengruppe würde eine wesentlich umfangreichere Veröffentlichung der Grundlagen der Kostenschätzungen erfordern, was für eine unabhängige Prüfung wünschenswert wäre. Die textlichen Erläuterungen in den Berichten der Kostenstudie sind dem gegenüber eher vage gehalten und verweisen bezüglich der Hintergründe der ausgewiesenen Kosten i. W. auf Expertenwissen, beispielsweise das der Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH, die mit der Schätzung der Nachbetriebskosten und der Stilllegungskosten beauftragt war, das der Nagra für die Schätzung der Entsorgungskosten sowie das der Betreiber der Kernkraftwerke und Zwischenlager.

2.2. Kostengliederung und Risikovorsorge

2.2.1. Sicherheitszuschlag gem. SEFV

An dieser Stelle ist es zunächst wichtig darauf hinzuweisen, dass der Begriff des Sicherheitszuschlags, wie er in der Kostengliederung der KS16⁵ verwendet wird, nicht identisch ist mit dem Sicherheitszuschlag gem. SEFV. In der KS16 beschreibt der Begriff einen zusätzlichen Zuschlag zur Minimierung des „optimism bias“ als Teil des Gesamtzuschlags. Die SEFV nennt hingegen in Artikel 8a einen „Sicherheitszuschlag auf die berechneten Kosten“, der auf 30 % festgelegt wird⁶, meint also den Gesamtzuschlag.

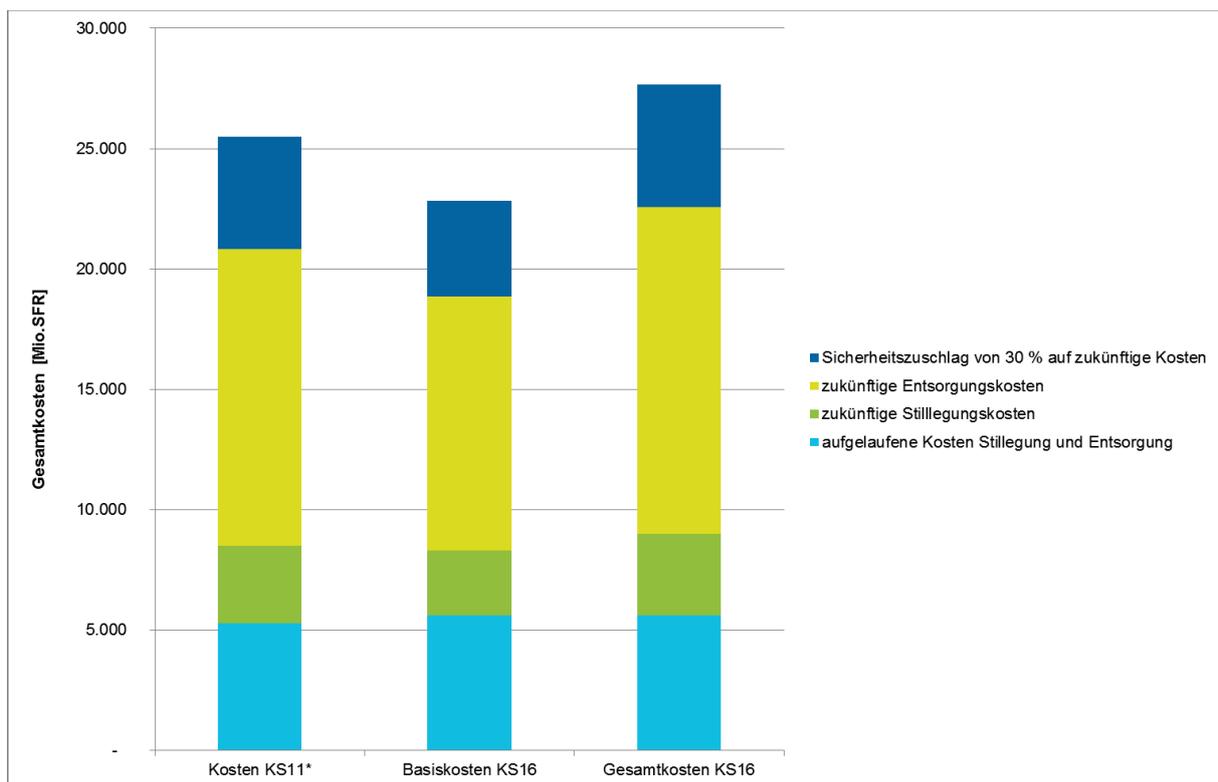
⁵ (sn 2016a), S. 25

⁶ (SEFV 2016), s. d. Anhang 1

Die SEFV enthält keine darüber hinaus gehenden Vorgaben zur Berechnung des Sicherheitszuschlags, er wird aber in der KS16 als „gesamter Zuschlag auf die zukünftigen Basiskosten“⁷ interpretiert. Auch STENFO bezieht diesen Zuschlag neuerdings auf die zukünftigen Basiskosten⁸.

Diese Lesart lässt sich allerdings aus der SEFV nicht unmittelbar ableiten, da hier nur von „berechneten Kosten“ gesprochen wird. Tatsächlich ergibt sich ein markanter Unterschied zur Behandlung des Sicherheitszuschlags bei der vorangegangenen Kostenschätzung:

Abbildung 2-1: Sicherheitszuschlag gem. SEFV in KS 11, KS16 (Basiskosten) und KS16 (Gesamtkosten)



Eigene Darstellung, Daten: (sn 2016a), Entsorgungs- und Stilllegungskosten (Nachbetriebskosten nicht berücksichtigt)
*KS11: Preisbasis 2016

In KS 11 wurden „Die Kosten [...] realistisch, jedoch ohne zusätzliche Sicherheitszuschläge nach bestem Expertenwissen zu heutigen Marktpreisen (Overnight-Kosten) geschätzt.“⁹ In KS 16 heißt es mit Blick auf die KS 11 aber außerdem: „Die früheren Kostenstudien wurden als so genannte „Best Estimate“ Schätzungen erstellt. „Best Estimate“ Schätzungen enthalten aufgrund der Erfahrung der Kostenschätzer aus laufenden und abgeschlossenen vergleichbaren Projekten bereits inhärente Zuschläge für Ungewissheiten und Risiken. Diese inhärenten Zuschläge werden jedoch in einer „Best Estimate“ Schätzung nicht explizit ausgewiesen. Auch sind in einer „Best Estimate“ Schätzung nicht vollumfänglich alle Risiken und Ungewissheiten eingepreist.“¹⁰ Auch in den Schätzkosten der KS11 waren also bereits Risikozuschläge enthalten, wenn auch nicht explizit

⁷ (sn 2016a, S. 2)

⁸ (STENFO 2016b), S. 8

⁹ (sn 2011), S. 4

¹⁰ (sn 2016a), S. 2

benannt, so dass weder Umfang noch Vollständigkeit geprüft bzw. diskutiert werden konnten. Bei der Bemessung der Fondsbeiträge für die Stilllegungs- und Entsorgungsfonds aus KS11 wurde der Sicherheitszuschlag gem. SEFV dann auf die hierdurch ausgewiesenen Kosten veranschlagt.

Die Berechnung des Sicherheitszuschlags nach SEFV auf die zukünftigen Basiskosten der KS16 bedeutet nun, dass dieser mit den neuerdings ausgewiesenen (aber zumindest teilweise auch schon in KS 11 implizit enthaltenen) Risikozuschlägen verrechnet wird. In letzter Konsequenz führt dies gegenüber KS11 zu einem Verzicht auf finanzielle Risikovorsorge: Wurde für KS11 ein Sicherheitszuschlag von 30 % auch auf implizite Zuschläge der Experten („*inhärente Zuschläge für Ungewissheiten und Risiken*“, s.o.) erhoben (s.a. Abbildung 2-1, „Kosten KS11“), so erfolgt dies nun nicht mehr. Gegenüber KS11 sinken dadurch die Gesamtkosten inklusive Risikovorsorge sogar (s.a. Abbildung 2-1, „Basiskosten KS16“). Würde der Sicherheitszuschlag in gleicher Weise erhoben wie auf Basis der KS11, lägen die Gesamtkosten für Stilllegung und Entsorgung etwa 3,7 Mrd. SFR höher (s.a. Abbildung 2-1, „Gesamtkosten KS16“).

2.2.2. Kostengliederung

Die Ausweisung von Risikozuschlägen in der KS16 beruht auf gestiegenen Anforderungen und entsprechenden Vorgaben seitens der Behörden. Die verwendete Kostengliederung weist daher zusätzlich zu den als Basiskosten bezeichneten unmittelbaren Kosten, die sich aus der Kostenstruktur ergeben, zwei Arten von Zuschlägen aus, mit denen Prognoseungenauigkeiten und kostenwirksame Gefahren als Kostensteigerungen abgebildet werden. Zusätzlich werden Chancen identifiziert, die sich kostenmindernd auswirken können. Die Kostengliederung weist darüber hinaus einen sogenannten „zusätzlichen Sicherheitszuschlag“ auf, mit dem eine ggf. zu optimistische Kosteneinschätzung seitens der Projektverantwortlichen („*optimism bias*“) ausbalanciert werden soll. Diese Aufgliederung der kostenmäßigen Risikobewertung soll ein „*höheres Sicherheitsniveau in Bezug auf die Abdeckung von kostenerhöhenden Risiken*“¹¹ erreichen.

Im Mantelbericht ¹² (sn 2016a) wird diesbezüglich auch darauf hingewiesen, dass die neue Kostengliederung zu Kostenzuschlägen geführt hat, „*die nicht im gleichen Umfang in den Kostenschätzungen früherer Kostenstudien berücksichtigt worden sind.*“ Spezifiziert wird dieser Unterschied allerdings nicht.

¹¹ (sn 2016a), S. 22

¹² (sn 2016a), S. 28

In der Umsetzung bei der Kostenstudie ergeben sich die nachfolgend für Stilllegung und Entsorgung zusammengefassten Werte:

Tabelle 2-1: In (sn 2016a) dargestellte Kostengliederung für die Entsorgungs- und Stilllegungskosten

	(Summe) Entsorgungskosten		Stilllegungskosten		Summe Kosten Entsorgung und Stilllegung	
	%	(Mio. SFR)	%	(Mio. SFR)	%	(Mio. SFR)
aufgelaufene Kosten bis 2015		5.590		19		5.609
künftige Basiskosten		10.567		2.689		13.256
Zuschläge auf künftige Basiskosten	28,6	3.020	26,0	698	28,0	3.718
<i>davon Prognoseungenauigkeit</i>	17,8	1.877	11,2	301	16,4	2.178
<i>davon Gefahren</i>	13,0	1.373	18,3	491	14,1	1.864
<i>davon Chancen</i>	-2,2	-230	-3,5	-94	-2,4	-324
<i>davon Sicherheitszuschlag</i>	0,0	0	0,0	0	0,0	0
Summe		19.177		3.406		22.583

Werte: Mantelbericht (sn 2016a), Prozentangaben bezogen auf die zukünftigen Basiskosten, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

Für die Entsorgungskosten enthält die KS 16 zwei getrennte Kostenstudien: Kosten für Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung (sn 2016c) werden getrennt von den Kosten der geologischen Tiefenlagerung (sn 2016d) geschätzt. Der Mantelbericht stellt die Ergebnisse beider Studien summarisch dar. Da insbesondere hinsichtlich der Risikoeinschätzung zwischen beiden Studien ein markanter Unterschied besteht, der auf die Spezifika der jeweils behandelten Themen zurückgeht, ist es sinnvoller, die beiden Studienergebnisse getrennt darzustellen. Hierdurch werden die spezifischen Risikobewertungen sichtbar. Die nachfolgende Tabelle schlüsselt daher die Entsorgungskosten nach den Ergebnissen der Studien (sn 2016c) und (sn 2016d) auf:

Tabelle 2-2: Kostengliederung für die Entsorgungskosten

	Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung		geologische Tiefenlagerung		Summe Entsorgungskosten
	%	(Mio. SFR)	%	(Mio. SFR)	(Mio. SFR)
aufgelaufene Kosten bis 2015		4.293		1.296	5.590
künftige Basiskosten		2.443		8.125	10.567
Zuschläge auf künftige Basiskosten	13,2	323	33,2	2.697	3.020
<i>davon Prognoseungenauigkeit</i>	6,9	169	21,0	1.708	1.877
<i>davon Gefahren</i>	6,3	154	15,0	1.220	1.373
<i>davon Chancen</i>	0,0	0	-2,8	-230	-230
<i>davon Sicherheitszuschlag</i>	0,0	0	0,0	0	0
Summe		7.059		12.119	19.177

Werte: (sn 2016c), (sn 2016d), (sn 2016a), Prozentangaben bezogen auf die zukünftigen Basiskosten, Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

In den Berichten zu KS16 (sn 2016b, sn 2016c, sn 2016d) werden die Zuschläge und Chancen bis auf die jeweils dargestellten Strukturelemente weiter heruntergebrochen. Die Begründungen, die zu den jeweiligen Einschätzungen geführt haben, sind in den Berichten nicht veröffentlicht. In den nachfolgenden Kapiteln wird auf die Zuschläge im Einzelnen eingegangen.

2.2.3. Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten

Prognoseungenauigkeiten adressieren in KS16 mögliche Veränderungen in Leistungsumfang, Mengen und Preisen der geplanten Maßnahmen¹³.

Derartige Prognoseungenauigkeiten werden hinsichtlich der Stilllegungskosten (sn 2016b) in Summe mit etwa 11,2 % der Basiskosten bewertet. Sie werden in der Kostenstudie als Beträge den einzelnen Tätigkeitsbereichen und Anlagen zugeordnet¹⁴. Ohne dass die einzelnen Zuschläge geprüft werden können fällt auf, dass für das Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) von den Autoren vergleichsweise geringe Ungenauigkeiten gesehen werden. Insbesondere für die Kosten des Rückbaubetriebs werden für das KKM offenbar praktisch keine relevanten Zuschläge definiert, während in den anderen drei Anlagen gerade in diesem Bereich etwa 1/3 des Zuschlags für Prognoseunsicherheiten ausgewiesen werden. Eine Erklärung für diesen Unterschied enthält die Studie nicht.

Für Behälter, Transporte, Zwischenlagerung und Wiederaufarbeitung werden Zuschläge für Ungenauigkeiten von etwa 7 % angegeben. Sie beruhen i. W.¹⁵ auf der Behälterbeschaffung und den Kosten der zentralen Zwischenlagerung im Zwiilag. Für Transporte werden mit Verweis auf den starken Wettbewerb im Logistikmarkt¹⁶ sehr geringe Prognoserisiken ausgewiesen. Ob dies allerdings für den Markt der Nukleartransporte in gleicher Weise zutrifft wie hier angedeutet, darf durchaus bezweifelt werden, andererseits ist der Kostenanteil der Transporte insgesamt so gering,

¹³ (sn 2016a), S. 24

¹⁴ (sn 2016b), Tabelle 41 und 42

¹⁵ (sn 2016c), Tabellen 11 bis 15

¹⁶ (sn 2016c), S. 55

dass es müßig ist hierüber im Detail zu spekulieren. Da im Themenfeld „Behälter, Transporte, Zwischenlagerung und Wiederaufarbeitung“ die maßgeblichen Mengengerüste recht gut prognostizierbar sind oder sogar feststehen (z.B. Abfälle aus der Wiederaufarbeitung), und da ohnehin bereits etwa 2/3 der erwarteten Kosten angefallen sind, ist die recht hohe Erwartung an die Genauigkeit, die sich in den vergleichsweise optimistischen Zuschlägen für Prognoserisiken ausdrückt, insgesamt nachvollziehbar.

Die Prognoseungenauigkeiten bei der geologischen Tiefenlagerung werden in (sn 2016d), anders als in den sonstigen Berichten der KS16, zunächst als Anteil an den Gesamtkosten ausgewiesen¹⁷ und zusätzlich in Bezug zu den Basiskosten gesetzt. Für die Basisvariante der beiden Einzellager ergibt sich, bezogen auf die Gesamtkosten, ein Anteil von 14 %. Eine Umrechnung mit Bezug zu den zukünftigen Basiskosten ergibt für die Summe der Einzellager einen Zuschlag von etwa 21 %¹⁸. Hiermit werden die Prognosen für die geologische Tiefenlagerung (sn 2016d) zurecht deutlich vorsichtiger bewertet als die der anderen beiden Kompartimente (sn 2016b, sn 2016c).

Zur Ermittlung der Prognoseungenauigkeiten werden in den Kostenstudien Monte-Carlo-Simulationen¹⁹ eingesetzt. Vereinfacht dargestellt untersucht die Monte-Carlo Simulation die Unsicherheiten bzw. Bandbreiten der Eingangsgrößen (hier Kosten) in Bezug auf ihren Einfluss auf das Endergebnis (hier die Gesamtkosten). Die Monte-Carlo Methode, entwickelt und beschrieben in den 1990er Jahren^{20,21}, findet heute breite Anwendung bei verschiedensten Themenbereichen, in denen Parameterunsicherheiten untersucht und bewertet werden sollen. Sie hat sich insofern als effizientes Hilfsmittel etabliert und wird neben Ingenieur- und Naturwissenschaften auch bei betriebswirtschaftlichen Fragestellungen eingesetzt. Ihre Verwendung im Kontext der Prognoseunsicherheiten ist daher nicht zu beanstanden.

In die Berechnung fließen nicht Einzelwerte der Eingangsgrößen ein, sondern geschätzte Mittelwerte, Toleranzgrenzen ($-x\%$ / $+y\%$ Abweichung vom Mittelwert) und Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Werte. In (sn 2016b) wird ausgeführt, dass diese Angaben auf der Ebene der Elemente des Projektstrukturplans (PSP²²), definiert werden, sie sind mithin in der Darstellungstiefe der Kostenstudien nicht sichtbar. Immerhin wird ausgeführt, dass i. W. vier Klassen von Toleranzbereichen verwendet wurden, die von $\pm 5\%$ bis $-30\%/+50\%$ reichen²³. Die Toleranzgrenzen bilden je nach Einschätzung der Unsicherheiten symmetrische oder asymmetrische Intervalle um den jeweiligen Mittelwert ab.

Nähere Angaben über verwendete Verteilungsfunktionen und Toleranzbereiche für die einzelnen Kostenarten werden nicht gemacht, dies wäre auch nur auf der Ebene einzelner Elemente der Projektstruktur sinnvoll, die in der Kostenstudie aber nicht veröffentlicht wurden. Es kann also anhand der Unterlagen nicht beurteilt werden, wie detailliert diese Zuordnungen gemacht wurden, welches

¹⁷ z.B. sn 2016d, S. 54

¹⁸ in Mantelbericht (sn 2016a) werden die Entsorgungskosten aus den Berichten (sn 2016c) und (sn 2016d) aggregiert dargestellt, daraus ergibt sich für die Prognoseungenauigkeit ein aggregierter Zuschlag von 17,8 %, s.a. Tabelle 2-1

¹⁹ in den Berichten zu den Stilllegungskosten (sn 2016b) und den Kosten für Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung (sn 2016c) wird die Monte-Carlo-Simulation auch als Instrument zur Untersuchung der Auswirkung von Gefahren und Chancen erwähnt, allerdings ohne nähere Erläuterung und beschränkt auf die Aussage, „dass die Kostenfolgen der häufigsten Gefahren- beziehungsweise Chancenkombinationen mit dem festgelegten Zuschlag, der sich rechnerisch als Differenz des Zuschlags für Gefahren und des Abzugs für Chancen ergibt, hinreichend abgedeckt sind“.

²⁰ Jörg Schneider, Hans Peter Schlatter: Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen: Grundwissen für Ingenieure, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, ISBN 3-7281-2167-3, erste Auflage 1993

²¹ Jörg Schneider: Introduction to Safety and Reliability of Structures – Herausgeber Internationale Vereinigung für Brückenbau und Hochbau IVBH, ETH-Hönggerberg, 2006, erste Auflage 1997

²² (sn 2016b), S. 23ff

²³ (sn 2016b), S. 23, s. d. Fußnote 47

Mengengerüst dem zugrunde liegt und wie der Toleranzbereich einzelner Elemente begründet wird. „Die Festlegung der Toleranzgrenzen beruht auf langjähriger Erfahrung der Kostenschätzer und auf Rückschlüssen aus vergleichbaren noch laufenden oder bereits abgeschlossenen Rückbauprojekten.“²⁴. Die Monte-Carlo-Simulation hängt also ganz wesentlich von den Einschätzungen der beauftragten Experten ab. Es ist davon auszugehen, dass hierüber eine Dokumentation angefertigt wurde, diese ist aber nicht Bestandteil der veröffentlichten Unterlagen.

Ergebnis der Simulation ist nicht ein einzelner Wert, sondern die Wahrscheinlichkeitsverteilung von möglichen Ergebnissen. Erzielt wird diese durch eine große Anzahl wiederholter Rechenläufe, mit innerhalb ihrer Wertebereiche und Verteilungsfunktionen zufällig generierten Einzelparametern. Die Ergebnisse werden statistisch ausgewertet. Laut Kostenstudie führt das gewählte Modell nach etwa 20.000 Simulationen zu einem stabilen Ergebnis. Anhand der Monte Carlo-Analysen wurden in KS 16 die Zuschläge für Prognose-Ungenauigkeiten so bestimmt „dass die prognostizierten Kosten mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht überschritten werden“²⁵. Dieses Vorgehen ist an sich nicht zu beanstanden. Allerdings fehlt in den veröffentlichten Informationen zumindest eine Angabe, welches Perzentil hierfür als hinreichend angesehen wird. Mit einer Erläuterung, was in diesem Zusammenhang unter „hoher Wahrscheinlichkeit“ von den Autoren der Studie verstanden wird, wäre das Vertrauen in die ermittelten Zuschläge leichter nachzuvollziehen. Ohne eine solche Angabe bleibt die Aussage zur Sicherheit der Zuschläge allerdings vage.

2.2.4. Zuschläge für Gefahren

In den Berichten zur KS16 wird eine Reihe von Gefahren adressiert, deren mögliche Kostenfolgen in entsprechenden Zuschlägen auf die zukünftigen Basiskosten abgebildet werden sollen.

Bezüglich der **Stilllegungskosten** (sn 2016b) macht der für Gefahren eingestellte Zuschlag immerhin insgesamt 18,3 % der zukünftigen Basiskosten aus. Adressiert werden hiermit eine ganze Reihe von Gefahren, die zukünftig zu Verzögerungen und Mehraufwand führen können²⁶, und deren Eintrittswahrscheinlich im Rahmen von Expertenschätzungen als „möglich“ bis „sehr wahrscheinlich“ eingeschätzt wurden. Die Expertenschätzungen wurden im Rahmen mehrerer Workshops von „Vertretern sämtlicher Kernanlagen“²⁷ erarbeitet, von durch swissnuclear beauftragte Experten geprüft und durch ein externes „Risikoboard“ kommentiert.

Die konkreten Einschätzungen sind in der Kostenstudie nicht enthalten, es wird lediglich eine qualitative Einordnung und Darstellung in einer Risikomatrix beschrieben²⁸. Hier ist anzumerken, dass die in (sn 2016d) konkreter benannten Gefahren und die in der Risikomatrix, leider nur „exemplarisch“, dargestellten Stichworte, nicht übereinstimmen. Dem Außenstehenden fällt es daher schwer, eine unmittelbare Verknüpfung zwischen der beschriebenen Gefahr und der vorgenommenen Risikoeinschätzung herzustellen. Es wäre empfehlenswert, hier zukünftig eine bessere Vergleichbarkeit herzustellen und die beschriebenen Gefahren und die in der Risikomatrix dargestellten Aspekte miteinander in Bezug zu setzen.

Aus dem Katalog der in (sn 2016b)²⁹ angeführten Gefahren stechen drei Aspekte heraus, die im Folgenden kommentiert werden sollen:

²⁴ (sn 2016b), S. 23

²⁵ so in (sn 2016b), S. 77. In (sn 2016c) und (sn 2016d) gibt es hierzu keine Angaben.

²⁶ (sn 2016b), S. 80-82

²⁷ (sn 2016b), S. 25

²⁸ (sn 2016b), S. 83 ff

²⁹ s. d. S. 80 ff

Interessant ist beispielsweise, dass in der Risikomatrix der Stilllegungskosten eine Gefahr im Aspekt „*Fremdpersonalmanagement*“ als „*sehr wahrscheinlich*“ eingestuft wird, die sich in den im Text beschriebenen Gefahren offenbar unter dem Aspekt „*Verfügbarkeit externer Spezialisten*“ und ggf. auch „*Marktentwicklung bei spezifischen Tätigkeiten mit nuklearem Rückbau-Know-How*“ oder auch „*Ausfall eines wichtigen Vertragspartners*“ wiederfindet. Dieser Aspekt adressiert ein Grundproblem der Kerntechnik-Branche nicht nur in der Schweiz: Bei einer perspektivisch immer größer werdenden Anzahl stillzulegender Anlagen, und im Hinblick auf die lange andauernden Verfahren und Maßnahmen, sieht sich die Branche insbesondere beim Fremdpersonal zukünftig einem absehbaren Fachkräftemangel und der Konkurrenz mit anderen, attraktiveren Technologiesektoren um Nachwuchskräfte ausgesetzt, verbunden mit *einer „Konzentration auf dem Anbietermarkt und [...] einer Verknappung der Expertise“*. Dem gegenüber werden die Betreiber bei der Stilllegung zunächst hauptsächlich eigenes Personal einsetzen können, so dass das Risiko des (Fremd-) Personalmangels erst im späteren Verlauf einer Stilllegung und/oder bei steigendem Fremdpersonalbedarf relevant werden und sich in den Stilllegungskosten niederschlagen kann.

Vergleichsweise großen Raum nehmen bei der Gefahrenbeschreibung Aspekte aus dem behördlichen Handlungsfeld ein. Genannt werden hier Gebühren, Genehmigungsstruktur, Eingaben und Beschwerden, Verzögerungen bei der Entlassung der Anlagen aus der nuklearen Aufsicht oder die Senkung von Freigabegrenzwerten im Rahmen der Novellierung der Schweizer Strahlenschutzverordnung. Zumindest letzteres wird in der Risikomatrix ebenfalls als „*sehr wahrscheinlich*“ eingestuft, für die anderen im behördlichen Handlungsfeld angesiedelten Gefahren lassen sich die Risikoeinschätzungen nicht genau nachvollziehen, es sei denn unter den Aspekten „*Verzögerungen*“ (als „*möglich*“ eingestuft) oder „*Schnittstellen*“ (als „*wahrscheinlich*“ eingestuft).

Eine weitere in (sn 2016d) angeführte und auch aus unserer Sicht relevante Gefahr mit Kostenfolgen ist der Umstand, dass Abbruchmaterial „*nicht zu 80 Prozent kostenneutral verwertet*“ werden kann. Dahinter steckt die Annahme, dass freigegebenes (mineralisches) Abbruchmaterial dem Wertstoffkreislauf zugeführt und beispielsweise im Straßenbau verwendet werden soll. Diese Annahme ist theoretisch zutreffend: genau hierfür wird die Freigabe von Material, bei dem keine radioaktive Kontamination feststellbar ist, durchgeführt. Erfahrungsgemäß ist es aber nicht selbstverständlich, dass für solches Material auch ein Abnehmer gefunden werden kann. Gerade in Deutschland sind hier in der Vergangenheit und aktuell eher negative Erfahrungen gemacht worden, die im Endeffekt zu einer kostenpflichtigen Deponierung von freigegebenem Abbruchmaterial aus Kernkraftwerken führen. Hintergrund ist die mangelnde Marktakzeptanz für Abbruchmaterial aus dem kerntechnischen Bereich. Auch ohne dass dies in der Risikomatrix näher spezifiziert wird, sollte diese Gefahr daher als „*sehr wahrscheinlich*“ eingestuft werden.

Auch für die Gefahren bei den Entsorgungskosten für **Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung** (sn 2016c) wird in KS16 eine Risikomatrix „*exemplarisch*“ dargestellt, in deren vereinfacht oder zusammengefasst dargestellten Stickworten sich die im Text adressierten Gefahren nicht unmittelbar einordnen lassen. Die angeführten Gefahren beinhalten i. W. diverse Verzögerungen in den Betriebsabläufen und Änderungen regulatorischer Randbedingungen, darunter beispielsweise Gebühren, Verlust der Typengenehmigung für Behälter, verzögerte Stilllegungsverfügung oder abgesenkte Grenzwerte für konventionelle Schadstoffe.

Bemerkenswert ist, dass auch in diesem Teilbericht, wie bei den Kosten der Stilllegung, das Problem des Know-How-Erhalts wie die „*Verfügbarkeit von externen Spezialisten*“ und der „*Know-How-Verlust in der Zwiilag*“ als mögliche kostenwirksame Gefahren genannt werden.

Kostenwirksame Gefahren bei der **geologischen Tiefenlagerung** (sn 2016d) werden für die Basisvariante (zwei Einzellager) mit einem Zuschlag von insgesamt ca. 15 % auf die zukünftigen Basiskosten ausgewiesen. Es fällt dabei insbesondere auf, dass die Gefahren selbst nur sehr abstrakt angegeben werden, es gibt auch keine nähere Beschreibung, wie die Risikoeinschätzung zustande gekommen ist. Auch die in (sn 2016b) und (sn 2016c) verwendete Methodik der Risikomatrix findet keine Erwähnung. Man muss also vermuten, dass es hinsichtlich der Ausweisung der Gefahrenzuschläge methodische Unterschiede zu (sn 2016b) und sn 2016c) gibt. Insgesamt erscheint die Herleitung und Darstellung der als zuschlagsbedürftig eingeschätzten Gefahren³⁰ für den Bereich der geologischen Tiefenlagerung mit den übrigen Kostenstudien nicht konsistent, die Angaben an sich kaum nachvollziehbar. Die Zuschlagswerte werden lediglich mitgeteilt, es gibt, anders als in den Teilberichten (sn 2016b) und (sn 2016c) keinerlei methodische Hinweise.

In (sn 2016d)³¹ werden die berücksichtigten „Gefahren für Typen von betrachteten Varianten“ zusammengestellt. Als Gefahren werden dabei „Standortvarianten, Auslegungsvarianten, Änderungen von Dimensionen, Änderungen beim Aufwand“ genannt, aber nicht weiter erläutert und auch nicht voneinander oder von grundsätzlichen Begrifflichkeiten der Kostenstudie abgegrenzt. So wird zum Beispiel im Mantelbericht (sn 2016a) erläutert, dass Ungenauigkeiten im Leistungsumfang bei Prognoseungenauigkeiten berücksichtigt werden. In (sn 2016d) bleibt dem gegenüber unklar, welche Abgrenzung oder welche unterschiedliche Sichtweise dazu führt, dass hier „Änderungen beim Aufwand“ als Gefahr klassifiziert werden.

Eine weitere Tabelle³² stellt die in Summe gleichen Zuschläge als Funktion von „Abweichungsbegründungen“ dar. Die dabei verwendeten Begrifflichkeiten sind ebenfalls weitgehend unspezifisch und darüber hinaus redundant: Die Unterschiede zwischen den Begriffen „Geologie/Technologie“ und „Geologie (Standortvarianten)“ werden nicht erläutert, ebensowenig wie die Unterschiede zwischen den Abweichungsbegründungen „gesellschaftliches Umfeld/Markt“ und „Markt“ oder „Geologie/Technologie“ und „Technologie und Wissenschaft“.

In einer dritten Tabelle³³ wird eine weitere Zuordnung der Gefahrenzuschläge, nunmehr zu den „Hauptaktivitäten und Objektgruppen“ vorgenommen. Hier fallen insbesondere Abweichungen von der eigentlichen Kostenstruktur³⁴ auf: Auf Ebene der Objektgruppen (Ebene drei), die für die Hauptaktivitäten „Anlagenplanung und -bau“, „Anlagenbetrieb“ und „Stilllegung, Rückbau und Verschluss“ definiert sind, wird jeweils eine zusätzliche Objektgruppe „Andere“ eingeführt. Obwohl maßgebliche Anteile der Gefahrenzuschläge dieser abstrakten „Objektgruppe“ zugeordnet werden, fehlt es völlig an einer inhaltlichen Befassung mit diesem Gefahrenaspekt. Auch auf Ebene der Hauptaktivitäten (Ebene zwei) wird eine zusätzliche Kategorie „übergreifende Gefahren“ ausgewiesen, in der in Summe etwa 28 % der Gefahrenzuschläge für die Basisvariante versammelt werden, ohne dass die Studie selbst hierüber inhaltlich Auskunft gibt.

Es ist also festzustellen, dass die Herleitung der Gefahrenzuschläge für den Bereich der geologischen Tiefenlagerung dem Anspruch an eine transparente und nachvollziehbare Berichterstattung nicht gerecht wird. Es ist eindringlich zu empfehlen, hier ausführlichere Informationen bereitzustellen und ggf. auch einen methodischen Abgleich mit (sn 2016b), (sn 2016c) und den übergeordneten Randbedingungen der Kostenstudie (e.g. Abgrenzung zwischen Prognoseungenauigkeiten und Gefahren) herbeizuführen, schon um dem sich derzeit einstellenden Eindruck der Beliebigkeit

³⁰ (sn 2016d)=, S. 60f

³¹ (sn 2016d) Tabelle 14a

³² (sn 2016d) Tabelle 14b

³³ (sn 2016d) Tabelle 15

³⁴ s.a. Kap. 2.1 und Anhang 1, dort Tabelle A-4

der Herleitung zukünftig vorzubeugen. Hierzu gehören auch Definitionen und eine nachvollziehbare gegenseitige Abgrenzung der zur Kategorisierung verwendeten Begriffe.

Deutlich konkretere Angaben werden in (sn 2016d) zu **nicht berücksichtigten Gefahren** gemacht, die als „sehr unwahrscheinlich“ eingestuft und daher in der Kostenstudie nicht monetisiert werden.

Thematisiert wird eine Ablehnung der Rahmenbewilligung, verbunden mit einem Neustart der Endlagersuche und erheblichen Verzögerungen, aber auch einer damit verlängerten Ansparphase der Stilllegungs- und Entsorgungsfonds.

Außerdem werden die Folgen eines „*extremen Wassereintruchs*“ in verschiedenen Stadien der Realisierung (Bau der Sondierschächte, untertägige Erkundung (Exploration), Bau der Zugänge oder Betrieb des Lagers) angesprochen. Als Gegenmaßnahme wird dabei jeweils die Sanierung der Bauwerke angenommen, verbunden mit entsprechenden, von den Autoren offenbar als überschaubar eingeschätzten, Kostenfolgen. Eine Aufgabe des Standorts infolge eines nicht beherrschbaren Wassereintruchs wird in diesem Zusammenhang nicht thematisiert, auch nicht die Frage, ob im Fall eines extremen Wassereintruchs der Nachweis der Langzeitsicherheit des Endlagers überhaupt noch erbracht werden kann und der Standort nicht aus diesem Grund aufgeben werden müsste.

Zu den sehr unwahrscheinlichen Gefahren wird auch die Aufgabe des Standorts und anschließende Realisierung an einem Ersatzstandort aufgrund „*ungünstiger geologischer Befunde*“ während der Exploration oder während des Baus des Lagers gezählt.

Schließlich wird die „*Rückholung eines Teils der Endlagerbehälter nach Verschluss der Lagerkammern*“ ebenfalls als sehr unwahrscheinlich aus der finanziellen Gefahrenvorsorge ausgeklammert. Auch hier werden die möglichen Kostenfolgen als überschaubar dargestellt: „*Je nach Umfang der rückgeholtten Endlagerbehälter und dem nachfolgenden Aufwand wird von Kostenfolgen in der Größenordnung von einigen 10 Prozent der Gesamtkosten ausgegangen.*“ Hier wäre ergänzend zu bemerken, dass die Gründe für eine Rückholung von Abfällen aus den verschlossenen Lagerkammern, soweit sie nicht in (durch geeignete Maßnahmen auszuschließenden) Qualitätsmängeln der Abfalleinlagerung zu suchen wären, in aller Regel auf Monitoring-Ergebnisse aus der Beobachtung der verschlossenen Lagerkammern und/oder die nachträglich aufkommende Befürchtung eines Versagens der geologischen Barriere und damit Nichtigkeit des Langzeitsicherheitsnachweises zurückzuführen wäre. Dies müsste konsequenter Weise die vollständige Rückholung der Abfälle zur Folge haben. Die Kostenfolgen, als "Overnight-Kosten" ausgedrückt, lägen dann eher in der Größenordnung von mehr als 200 Prozent der Gesamtkosten (Aufwand der Rückholung plus Realisierung des Endlagers an einem anderen Ort). Eine solche Einschätzung der Kostenfolgen einer Rückholung wäre auch gegenüber den anderen thematisierten Szenarien nicht berücksichtigter Gefahren finanziell abdeckend.

Von der Gefahr einer tatsächlichen Rückholung ist in diesem Zusammenhang die Rückholbarkeit als einzuplanende Fähigkeit zu unterscheiden. Maßnahmen, die zur Gewährleistung der Rückholbarkeit getroffen werden müssen, und die damit verbundenen Kosten, müssen Gegenstand der Schätzung der Basiskosten sein. Sie sind in der KS 16 (s. sn 2016d) allerdings nicht gesondert ausgewiesen (siehe hierzu auch Kapitel 5.3).

2.2.5. Abzüge für Chancen

Die in den Berichten der KS16 ausgewiesenen kostenmindernden Chancen, beispielsweise die Realisierung der geologischen Tiefenlagerung als Kombilager (sn 2016d), Betriebskosten für die

Zwischenlagerung (sn 2016c) oder Entwicklung kostensenkender Technologien und Nutzung von Synergieeffekten (sn 2016b) summieren sich für Entsorgung und Stilllegung auf lediglich etwa 2,4 % der zukünftigen Basiskosten. Obwohl es sich auch hierbei um Beträge von in Summe etwa 324 Mio. SFR³⁵ handelt, werden die Möglichkeiten der Kostensenkung im Vergleich zum Gesamtumfang des zukünftigen Mittelbedarfs von über 13 Mrd. SFR offenbar als eher untergeordneter Aspekt angesehen, der die abgebildeten finanziellen Risiken nur wenig mildert.

Die Beschreibung der Chancen und die Ausweisung ihrer Kostenfolgen scheinen auch eher kurssorisch auf Basis von nicht näher beschriebenen Experteneinschätzungen vorgenommen worden zu sein. Aufgrund des insgesamt geringen Umfangs der hier ausgewiesenen Beträge ist die Fehlertoleranz dieser Einschätzungen gegenüber dem Gesamtumfang ohnehin groß, so dass eine vertiefte Herleitung auch nicht erforderlich scheint.

Im Sinne einer sparsamen Haushaltsführung wären sich bietende Chancen natürlich grundsätzlich zu identifizieren und als kostenmindernde Maßnahmen zu ergreifen. Im Hinblick auf eine Verbesserung der Risikovorsorge wäre es hingegen auch überlegenswert, die Chancen zukünftig nicht mehr von den Kostenzuschlägen in Abzug zu bringen sondern ohne Folge für die Kostenschätzung auszuweisen. Sie wären damit den nicht berücksichtigten Gefahren gleichgestellt, die ja ebenfalls ohne Kostenfolgen dargestellt werden.

2.2.6. Zusätzlicher Sicherheitszuschlag

Die Kostenstudie verzichtet vollständig auf die Ausweisung eines zusätzlichen Sicherheitszuschlags zur Minimierung des „optimism bias“, wie er in der Kostengliederung eigentlich vorgesehen ist. Im Mantelbericht der Kostenstudie (sn 2016a) wird dies nicht näher begründet. In den Berichten zu den Stilllegungskosten (sn 2016b) und den Entsorgungskosten (sn 2016c, sn 2016d) wird diesbezüglich praktisch wortgleich ausgeführt, die Zuschläge für die Ungenauigkeiten und Gefahren bzw. Abzüge für Chancen würden *„konsequent, einheitlich und umfassend erhoben und breit abgestützt“*³⁶. Betont wird, dass unabhängige Gutachter die Kostenschätzung durchführen, dass ein spezialisiertes unabhängiges Unternehmen die Zuschläge für Prognoseungenauigkeiten ausarbeite und dass *„die durch eine Vielzahl von Experten in einem mehrstufigen Verfahren erarbeitete Bewertung der Gefahren und Chancen [...] durch ein ebenfalls unabhängiges Risikoboard überprüft [wurden]“*³⁷. Ein zusätzlicher Sicherheitszuschlag zur Berücksichtigung eines „optimism bias“ sei *„unter diesen Voraussetzungen nicht begründbar“*³⁸.

Im Bericht zur Schätzung der Kosten für die geologische Tiefenlagerung (sn 2016d) wird zusätzlich der Verzicht auf einen Zuschlag für *„das Unbekannte“*³⁹ diskutiert. Begründet wird der Verzicht zum einen mit dem allgemeinen methodischen Ansatz der Kostenstudie, zum anderen mit der Möglichkeit zur Nachfinanzierung durch die Entsorgungspflichtigen, wenn im Rahmen der periodischen Aktualisierung Kostensteigerungen und weiter entwickelte Kenntnisse und Planungen bekannt werden.

Es ist anzumerken, dass die maßgeblichen Unbekannten bei der kerntechnischen Entsorgung in den geologischen Risiken liegen. Diese wurden in der Kostenstudie weitgehend den „nicht berücksichtigten Gefahren“ (s. Kap. 2.2.4) zugeordnet und mit dem Hinweis auf umfangreiche Voruntersuchungen als „sehr unwahrscheinlich“ eingestuft. Dennoch führen gerade bei bergbaulichen Tä-

³⁵ s. Tabelle 2-1, Preisbasis 2016

³⁶ so oder ähnlich s. (sn 2016b), S. 24, (sn 2016c), S. 34, m (sn 2016d), S. 24

³⁷ so oder ähnlich s. (sn 2016b), S. 85, (sn 2016c), S. 61,

³⁸ so oder ähnlich s. (sn 2016b), S. 24, (sn 2016c), S. 34, (sn 2016d), S. 24

³⁹ (sn 2016d), Kap. 3.2

tigkeiten unbekannte Ereignisse oder Befunde (z.B. in Bezug auf die Geologie oder Hydrogeologie) häufig zu kostenwirksamen Planungs- und Maßnahmenänderungen. Ob diese in den Prognoseunsicherheiten oder den berücksichtigten Gefahren für die geologische Tiefenlagerung angemessen berücksichtigt sind, bleibt aufgrund der hier spärlichen Informationen unklar. Die Autoren der Kostenstudie halten es offenbar nicht für erforderlich, für geologische Risiken eine über die Prognoseungenauigkeiten und Gefahrenzuschläge hinausgehende finanzielle Vorsorge in der Kostenschätzung abzubilden.

2.2.7. Gesamtzuschlag

Die Zuschläge und Chancenabzüge für die Stilllegungs- und Entsorgungskosten summieren sich gegenüber den Basiskosten auf in Summe etwa 28 % (s. a. Tabelle 2-1). Für die Entsorgungskosten alleine (geologische Tiefenlagerung inkl. Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung) werden 28,6 % an Zuschlägen ausgewiesen. Im Mantelbericht ⁴⁰ (sn 2016a) wird diesbezüglich außerdem darauf hingewiesen, dass die neue Kostengliederung zu Kostenzuschlägen geführt hat, *„die nicht im gleichen Umfang in den Kostenschätzungen früherer Kostenstudien berücksichtigt worden sind.“*

Diese Zuschläge lassen sich mit aktuellen Verhandlungsergebnissen zur Risikovorsorge bei den zukünftigen Kosten der kerntechnischen Entsorgung in Deutschland vergleichen: Das aktuelle (noch nicht in Kraft getretene) deutsche Entsorgungsfondsgesetz (EntsorgFondsG)⁴¹ weist zu den dort in Anhang 2 ausgewiesenen Grundbeträgen für die zukünftigen Kosten der kerntechnischen Entsorgung⁴² einen Risikoaufschlag von 35,47 % aus. Die Kostenzuschläge in der Schweiz liegen damit deutlich unter der in Deutschland vorgesehenen finanziellen Risikovorsorge.

Ein markanter Unterschied zwischen der in Deutschland vorgesehenen und der in der Schweiz praktizierten Vorgehensweise mag darin gesehen werden, dass in Deutschland mit der Zahlung des Risikoaufschlags eine Entlassung der Entsorgungspflichtigen aus der Nachschusspflicht in Aussicht gestellt wird, während in der Schweiz die Nachschusspflicht grundsätzlich erhalten bleibt. Dies mag zumindest teilweise als Begründung für die in Deutschland höher angesetzte Risikovorsorge dienen.

Unterschiede in den Sachständen zu den jeweiligen Prozessen bei der Realisierung der kerntechnischen Entsorgung in der Schweiz und in Deutschland sind natürlich ebenfalls vorhanden, kompensieren sich aber zumindest teilweise (ohne dass dies hier quantifiziert werden könnte): In der Schweiz werden für den Standort der beiden in der Basisvariante gesuchten Endlagerstandorte⁴³ konkrete Standortoptionen diskutiert, die aber noch nicht abschließend erkundet sind. In Deutschland wird der Standortauswahlprozess für einen Endlagerstandort für hoch radioaktive Abfälle erst beginnen, verbunden mit de facto unbekanntem Aufwand für die Ausweisung und Erkundung von Standortoptionen. Dagegen steht mit Inbetriebnahme von Schacht Konrad ein Endlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle in zumindest absehbarer Zeit zur Verfügung.

⁴⁰ (sn 2016a), S. 28

⁴¹ „Gesetz zur Errichtung eines Fonds zur Finanzierung der kerntechnischen Entsorgung (Entsorgungsfondsgesetz – EntsorgFondsG)“, als Artikel 1 im „Gesetz zur Neuordnung der Verantwortung in der kerntechnischen Entsorgung“

⁴² Diese umfassen die zukünftigen Kosten für Zwischen- und Endlagerung konditionierter schwach- und mittelradioaktiver Abfälle sowie die Zwischenlagerung, endlagerergerechte Konditionierung und Endlagerung hochradioaktiver Abfälle.

⁴³ In der Basisvariante werden zwei getrennte Endlagerstandorte für schwach- und mittelradioaktive Abfälle einerseits und hochradioaktive Abfälle andererseits berücksichtigt. Die als „Kombilager“ bezeichnete Variante eines gemeinsamen Endlagerstandorts wird als mögliche Chance zur Kostenreduzierung durch Synergieeffekte genannt.

Verglichen mit dem Umstand, dass die Autoren der Schweizer Kostenstudie zwar selbstbewusst, aber ohne im Detail nachvollziehbare Begründung darauf hinweisen, dass über die vorgenommenen Zuschläge hinaus ein zusätzlicher Sicherheitszuschlag „nicht begründbar“ sei, drängt sich der Eindruck auf, dass insbesondere für die Entsorgungskosten die Kostenrisiken eher optimistisch abgebildet worden sind. Auf die inhaltlichen Schwächen bei der Ermittlung der Gefahrenzuschläge für die geologische Tiefenlagerung wird in Kap. 2.2.4 hingewiesen.

Trotz der vorhandenen Unterschiede weist der in Deutschland um etwa $\frac{1}{4}$ höhere Risikoaufschlag darauf hin, dass die im Bereich der nuklearen Entsorgung angesiedelten Kostenrisiken durchaus höher eingeschätzt werden können als dies offenbar in der Schweiz der Fall ist.. Es bleibt fraglich, ob die gewählte Vorgehensweise den Anspruch an ein „*höheres Sicherheitsniveau in Bezug auf die Abdeckung von kostenerhöhenden Risiken*“⁴⁴ erfüllen kann.

Über eine tatsächlich angemessene finanzielle Risikovorsorge in der nuklearen Entsorgung lässt sich, zumindest was den mit Abstand größten Kostenblock der geologischen Tiefenlagerung betrifft, in einem weiten Spektrum spekulieren, je nachdem welche Risiken als vorsorgerelevant angesehen werden, und in welchem Maße die Risikovorsorge auch für das Eintreten mehrerer Gefahren abdeckend sein soll. Die KS16 verzichtet hier, insbesondere im Hinblick auf die oben diskutierten „nicht berücksichtigten Gefahren“ und unbekannte (i. W. geologische) Risiken jedenfalls auf eine zusätzlich finanzielle Vorsorge im Sinne des in der Kostengliederung vorgesehenen zusätzlichen Sicherheitszuschlags zur Minimierung des „optimism bias“.

Zieht man den in Deutschland ausgewiesenen Zuschlag zum Vergleich heran, dann lässt sich immerhin vermuten, dass hierdurch in der Schweizer Kostenstudie Kostenrisiken entweder nicht abgebildet sind, mit den gegebenen Zuschlägen implizit verrechnet oder grundsätzlich niedriger bewertet werden. Die hierin enthaltenen finanziellen Auswirkungen wären dann automatisch der Nachschusspflicht (s. Kap. 2.3) zuzuordnen. Sie bleiben damit für die Stilllegungs- und Entsorgungsfonds zunächst unsichtbar.

2.3. Nachschusspflicht und Letzthaftung für finanzielle Risiken

Das Schweizer Kernenergiegesetz sieht vor, dass in erster Linie die Abfallverursacher als Einzahlungspflichtige der Stilllegungs- und Entsorgungsfonds für Kosten haften, die über den jeweils eigenen Auszahlungsanspruch hinausgehen. Diese Nachschusspflicht besteht zusätzlich zur Einzahlungspflicht in die beiden Fonds. Abfallverursacher sind die Betreiber der Schweizer Kernkraftwerke sowie der Bund für die ihm zuzurechnenden bzw. von ihm übernommenen radioaktiven Abfälle aus Medizin, Forschung und Industrie.

Diese Haftung für zukünftige Mehrkosten ist auch an die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit des Einzahlungspflichtigen geknüpft. Für den Fall, dass die eigenen Mittel eines Einzahlungspflichtigen zur Deckung einer Kostenlücke nicht ausreichen, tritt der Fonds in Vorleistung. Der Einzahlungspflichtige zahlt diese Vorleistung mit Zinsen zurück, soweit er dazu in der Lage ist. Ist er das nicht, werden alle anderen Einzahlungspflichtigen zur Kostentragung herangezogen. Ist dies für die Herangezogenen „wirtschaftlich nicht tragbar“, bedarf es eines Entschlusses der Bundesversammlung zu einer Beteiligung an den nicht gedeckten Kosten⁴⁵.

Die Abfallerzeuger sind also grundsätzlich per Gesetz zu Nachzahlungen verpflichtet, wenn die Mittel des Fonds hierfür nicht ausreichen.

⁴⁴ (sn 2016a), S. 22

⁴⁵ z. B. (sn 2016a), S. 5

Nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs können die Kernkraftwerke selbst nicht mehr zur Erwirtschaftung ggf. erforderlicher Nachzahlungen beitragen. Die Kostenstudie⁴⁶ geht davon aus, dass das Kernkraftwerk Mühleberg seinen Betrieb im Jahr 2019 einstellen wird, die beiden Blöcke des Kernkraftwerks Beznau um das Jahr 2020⁴⁷, das Kernkraftwerk Gösgen 2029 und das Kernkraftwerk Leibstadt 2034. Die Kraftwerke werden dann 50 Jahre (Mühleberg: 47 Jahre) in Betrieb gewesen sein. Bis 2015 haben sie dabei vergleichsweise stabile Strommengen produziert und entsprechende Erträge erwirtschaftet⁴⁸. Der aktuelle langfristige und weiter andauernde Betriebsstillstand in Block 1 des Kernkraftwerks Beznau und ungeplante Betriebsausfälle im Kernkraftwerk Leibstadt erwecken derzeit den Eindruck einer nachlassenden Betriebsbereitschaft und damit unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten auch sinkender Erträge.

Es ist also festzustellen, dass mit der Nachschusspflicht und den nachgelagerten Haftungsebenen bei Ausfall eines Zahlungspflichtigen ein Instrument geschaffen wurde, um zukünftige Kostensteigerungen, die nicht durch die Fondstruktur und die vom Fonds selbst erwirtschafteten Erträge abgedeckt werden können, durch Zahlungen der Abfallverursacher zu kompensieren. Vorausgesetzt dass die Leistungsfähigkeit der Abfallverursacher auch nach Betriebseinstellung der Kernkraftwerke erhalten bleibt, ist dieses Sicherungsinstrument auch wirksam.

Hierzu gehört auch, dass die Eigentümer der Schweizer Kernkraftwerke nach deren Betriebseinstellung über Erträge anderer Geschäftsbereiche verfügen und hieraus zu entsprechenden Zahlungen entsprechend der Nachschusspflicht herangezogen werden können. Allerdings hängt die Möglichkeit eines Durchgriffs auf die Eigentümer von der jeweiligen Gesellschaftsform ab. Für die Betriebsgesellschaften der Kernkraftwerke Gösgen und Leibstadt, die als eigenständige Aktiengesellschaften geführt werden, ist ein Durchgriff auf die Eigentümer nicht selbstverständlich. Hier sind weiter gehende Vereinbarungen zwischen den Anteilseignern und dem Staat erforderlich, zumal die Betriebsgesellschaften in der Stilllegungsphase definitiv keine Erträge aus wirtschaftlicher Tätigkeit mehr erzielen werden.

Die Schweizer Kernkraftwerke befinden sich darüber hinaus zu weit überwiegenden Anteilen in öffentlichem Besitz. Maßgebliche Anteilseigner sind Kantone und Kommunen, sowie kantonale bzw. kommunale Energieversorger. Für Ausfälle haften letztendlich die i. W. öffentlichen Anteilseigner und damit deren Haushalte. Damit liegt auch die Verantwortung für die aufzubringenden Kosten für Stilllegung und Entsorgung der Schweizer Kernkraftwerke letztlich in öffentlicher Hand.

Der Umstand, dass derartige Instrumente bestehen, kann dazu verleiten, Kostenrisiken mit dem Verweis auf zukünftige Korrekturmöglichkeiten nicht weiter auszuweisen. Im Fall der Kostenschätzung für die geologische Tiefenlagerung (sn 2016d)⁴⁹ wird von den Autoren auch explizit genau hierauf hingewiesen: Mit der Möglichkeit der Nachfinanzierung wird der Verzicht auf einen Sicherheitszuschlag für bis dato unbekannte Kostenfaktoren („das Unbekannte“) gerechtfertigt. Dem ist entgegenzuhalten, dass gerade bei bergbaulichen Tätigkeiten unbekannte Ereignisse oder Befunde (z.B. in Bezug auf die Geologie oder Hydrogeologie) häufig zu kostenwirksamen Planungs- und Maßnahmenänderungen führen. Ob diese in den berücksichtigten Gefahren für die geologische Tiefenlagerung angemessen berücksichtigt sind, bleibt aufgrund der hier spärlichen Informationen (s.a. Kap. 2.2.4) zumindest unklar. Der Verzicht darauf, für unbekannte Entwicklungen eine zusätzliche finanzielle Vorsorge in der Kostenstudie abzubilden, führt an dieser Stelle jedenfalls dazu, dass dieses Kostenrisiko in der Nachschusspflicht „versteckt“ bleibt.

⁴⁶ (sn 2016b), S. 9

⁴⁷ in (sn 2016b) als „mittleres Außerbetriebnahmejahr“ bezeichnet.

⁴⁸ s. z.B. Daten des Power Reactor Information Systems (PRIS) der IAEA:
<https://www.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/CountryDetails.aspx?current=CH>

⁴⁹ sn 2016d Kap. 3.2

2.4. Option der Laufzeitverlängerung der Schweizer Kernkraftwerke

Die für den Fall eines längeren Weiterbetriebs der Kernkraftwerke in der Kostenstudie ausgewiesenen Mehrkosten der Stilllegungs- und Entsorgungskosten sind gering: Für die Stilllegungskosten werden lediglich Kostensteigerungen von in Summe etwa 28,5 Mio. SFR erwartet⁵⁰, für Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung sollen die Kosten mengenproportional zu den eingesetzten Brennelementen um etwa 400 Mio. SFR steigen⁵¹, für die geologische Tiefenlagerung werden 459 Mio. SFR an Mehrkosten veranschlagt⁵². In Summe wären dies Mehrkosten von etwa 888 Mio. SFR. Einer um etwa 20 % verlängerten Betriebsdauer mit entsprechenden Erträgen stünden demzufolge etwa 5 % höhere Kosten für Stilllegung und Entsorgung gegenüber.

Für diese unter finanziellen Randbedingungen offensichtlich attraktive Option ist aber nicht außer Acht zu lassen, dass der Weiterbetrieb alternder Kernkraftwerke hinsichtlich ihrer Sicherheit, und nur nachrangig hinsichtlich finanzieller Vorteile, zu bewerten ist. Bis heute ist weltweit noch kein Kernkraftwerk tatsächlich über einen Zeitraum von 50 Jahren und mehr betrieben worden. Die weltweiten Erfahrungen zeigen vielmehr, dass Kernkraftwerke älterer Bauarten, sobald sie für einen über die geplante Lebensdauer hinausgehenden Betrieb ertüchtigt und an weiterentwickelte Sicherheitsanforderungen angepasst werden sollen, die Schwelle zur Wirtschaftlichkeit in aller Regel unterschreiten, oder den Nachweis einer möglichen sicherheitsgerichteten Nachrüstung nicht erbringen können. Vor diesem Hintergrund sind die in der Kostenstudie KS 16 als Option berechneten Effekte einer Laufzeitverlängerung auf 60 Jahre als theoretische, aber nicht besonders wahrscheinliche zukünftige Entwicklung zu sehen.

3. Spezifische Hinweise zum Bericht „Kostenstudie 2016 (KS16) - Schätzung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen“

3.1. Stilllegungskosten in D, F und den USA

Naturgemäß zeigen die Stilllegungskosten für Kernkraftwerke signifikante Unterschiede, die z.T. anlagenspezifisch sind (Druck- oder Siedewasserreaktor, Ein- oder Mehrblockanlage, Alter und Anlagenzustand, Betriebshistorie etc.), z.T. durch die jeweiligen nationalen Randbedingungen beeinflusst werden⁵³. Es gibt hierbei im Übrigen auch keine eindeutige Korrelation zwischen der Leistung eines Kernkraftwerks und den erforderlichen Stilllegungskosten, daher wird in den folgenden Betrachtungen hierauf auch nicht abgestellt.

Im Folgenden werden die Schätzungen zu den Stilllegungskosten in der Schweiz mit Angaben aus Deutschland, den USA und Frankreich verglichen, für die zumindest ähnliche, wenn auch nicht unmittelbar übertragbare Randbedingungen und fortgeschrittene Stilllegungserfahrungen vorausgesetzt werden können. Aus Frankreich liegt trotz der großen Reaktorflotte lediglich ein generischer durchschnittlicher Schätzwert der Stilllegungskosten für einen Druckwasserreaktor vor.

Die Vergleiche sollen dazu dienen, die aktuellen Schätzungen der Stilllegungskosten in der Schweiz in ihrer Größenordnung einzuordnen. Die z.T. aus unterschiedlichen Jahren stammenden

⁵⁰ sn 2016b, S. 97

⁵¹ sn 2016c, S. 71

⁵² sn 2016d, S. 80

⁵³ Diese Schwierigkeit bei der vergleichenden Bewertung von Stilllegungskosten und entsprechenden Kostenschätzungen ist ein weltweit zu beobachtendes Problem, s. z.B.: (NEA 2016), S. 28 *“However, current cost estimates are not directly comparable across countries, making comparisons difficult. Moreover, the available cost estimations show significant differences and are affected by large uncertainties even between facilities of the same type. Overall, there is considerable variability in the format, content and practice of cost estimates both within and across countries.”*

Angaben werden dabei zum Zwecke des vorliegenden Gutachtens auf die jeweilige Preisbasis 2016 bezogen und mit Hilfe der in der KS16 vorgegeben Wechselkurse⁵⁴ auf SFR umgerechnet.

Hinzuweisen ist in diesem Zusammenhang natürlich auch darauf, dass bis dato nur sehr wenige Kernkraftwerke tatsächlich vollständig zurückgebaut wurden, und dass daher nahezu alle Angaben zu Stilllegungskosten auf Schätzungen mit einem limitierten Umfang an tatsächlicher Erfahrung basieren. Über die reine Größenordnung hinaus gehende Vergleiche zwischen den Anlagen werden daher immer bald an Grenzen stoßen. Stilllegungsprojekte sind heute noch immer hinsichtlich ihrer Kosten sehr spezifische Projekte, und werden es auch in absehbarer Zukunft bleiben.

3.1.1. Deutschland

Aktuell befinden sich in Deutschland 18 Kernkraftwerke (Leistungs- und Prototypreaktoren) in unterschiedlichen Stadien der Stilllegung⁵⁵. Am Kernkraftwerkstandort Würgassen ist dabei die Stilllegung am weitesten vorangeschritten, die Rückbauarbeiten sind abgeschlossen, damit sind auch die Stilllegungskosten weitgehend realisiert. Drei weitere Prototypreaktoren geringer Leistung und kurzer Betriebszeit aus der Anfangszeit der Kernenergienutzung in Deutschland sind mittlerweile vollständig zurückgebaut und aus dem Geltungsbereich des deutschen Atomgesetzes entlassen.

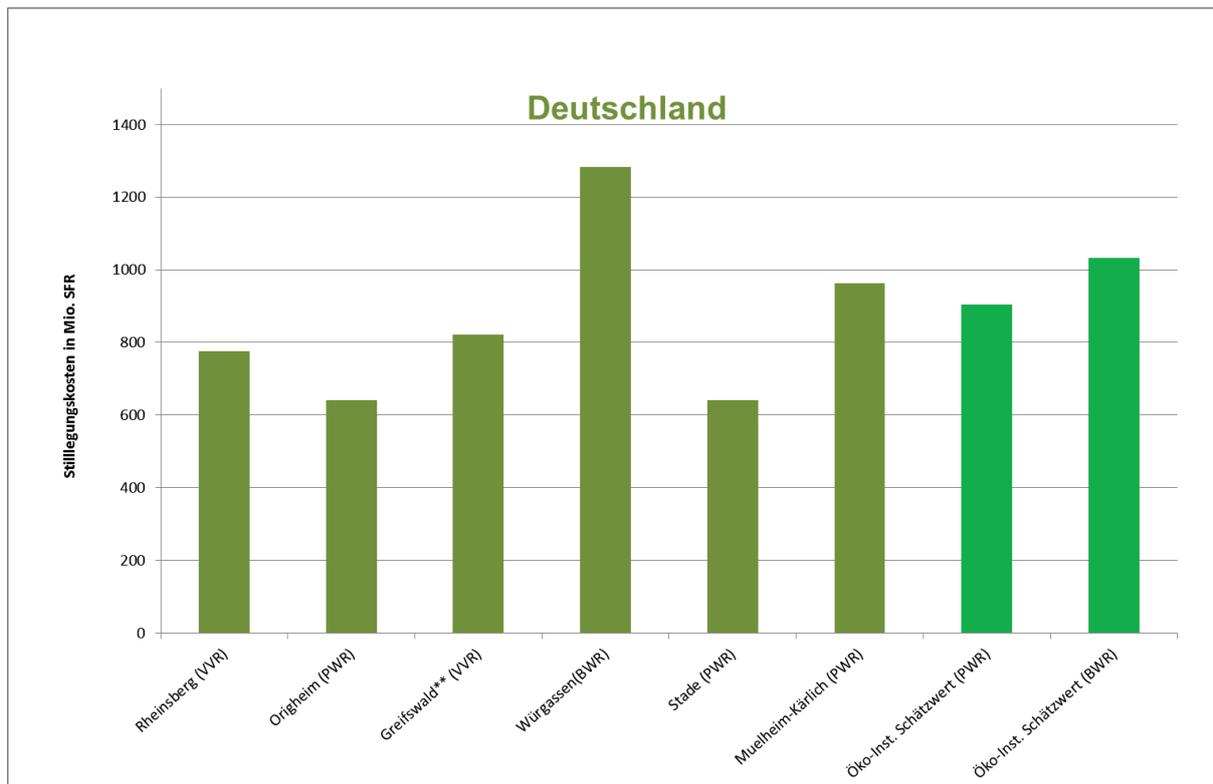
Aus diesen Stilllegungsvorhaben stammen die in Deutschland vorliegenden Stilllegungs-Erfahrungen, auf die auch die mit der Schätzung der Schweizer Stilllegungskosten beauftragte Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH verweist. Neben dem Kernkraftwerk Würgassen werden in Deutschland häufig die Kostenerfahrungen aus der Stilllegung der Kernkraftwerke Rheinsberg, Greifswald, Stade oder Mülheim-Kärlich angesprochen.

Abbildung 3-1 zeigt die für diese Anlagen veröffentlichten Gesamtkostenschätzungen. Ergänzend zu den genannten Anlagen wird in der Grafik die aktuell vom Öko-Institut vertretene Schätzmeinung zu den Stilllegungskosten eines durchschnittlichen deutschen Siede- bzw. Druckwasserreaktors dargestellt. Die Bandbreite der in Deutschland kommunizierten Stilllegungskosten liegt demzufolge zwischen etwa 0,65 und 1,43 Mrd. SFR. Das Öko-Institut selbst rechnet derzeit mit Stilllegungskosten in der Größenordnung von etwa 0,9 Mrd. SFR für einen Druckwasserreaktor und 1,0 Mrd. SFR für einen Siedewasserreaktor.

⁵⁴ sn 2016a, S. 8

⁵⁵ Quelle: http://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/berichte/kt/kernanlagen-stilllegung.pdf?__blob=publicationFile&v=18, Stand Februar 2017

Abbildung 3-1: Stilllegungskostenschätzungen: Deutsche Kernkraftwerke



Eigene Darstellung, Umrechnung auf SFR, Preisbasis 2016
 VVR: Reaktor sowjetischer Bauart, PWR: Druckwasserreaktor, BWR: Siedewasserreaktor
 **Greifswald: Angaben als Durchschnitt der 5 Reaktorblöcke

3.1.2. USA

Die US-amerikanische Regierungsbehörde Nuclear Regulatory Commission (NRC) nennt derzeit insgesamt 19 Reaktoren⁵⁶ als in Stilllegung befindlich und unterscheidet dabei drei Strategien:

- DECON - Dekontamination oder Entfernung aller Strukturen bis zur Entlassung aus der atombehördlichen Überwachung
- SAFSTOR - Überführung der Anlage in einen sicheren Betriebszustand (inkl. Brennstofffreiheit), bis zur Rückbauentscheidung (Übergang zur DECON-Strategie)
- ENTOMB - langfristige „Einkapselung“ zum Abklingen der Radioaktivität. Diese auch als „sicherer Einschluss“ bezeichnete Strategie wird heute aus radiologischer Sicht als nicht mehr geeignet angesehen.

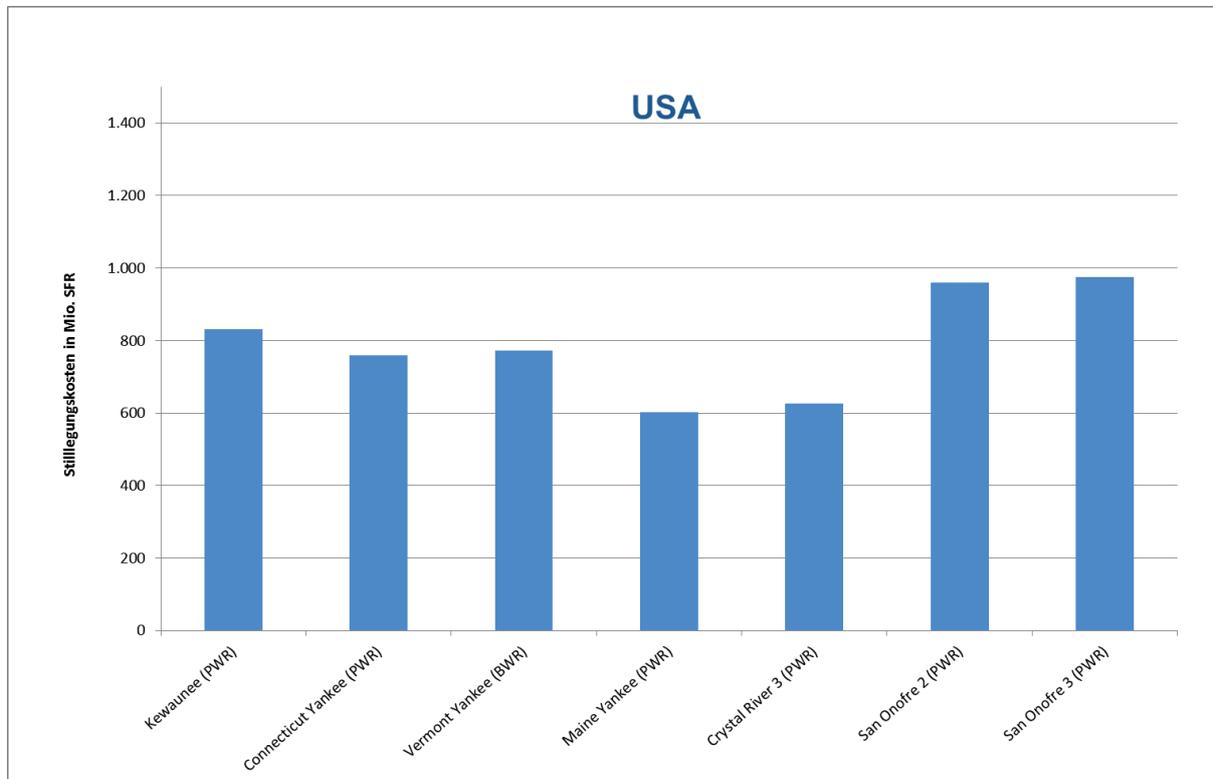
Die Betreiber erstellen im Zusammenhang mit der Betriebseinstellung einen sogenannten „Post-Shutdown Decommissioning Activities Report“ (PSDAR) für die Genehmigungsbehörde. Dieser beinhaltet auch eine Schätzung der Stilllegungskosten. Auf dieser Grundlage schätzt die U.S.NRC derzeit die Stilllegungskosten für einen US-amerikanischen Reaktor in einer weiten Bandbreite zwischen 280 und 612 Mio. \$⁵⁷. Es ist anzumerken, dass sich diese Schätzungen aufgrund unterschiedlicher Randbedingungen und der Bandbreite der verfolgten Strategien nicht ohne weiteres

⁵⁶ <https://www.nrc.gov/info-finder/decommissioning/power-reactor/>

⁵⁷ <https://www.nrc.gov/waste/decommissioning/finan-assur.html>

auf europäische Verhältnisse übertragen lassen. Sie mögen aber immerhin die in den USA diskutierte Größenordnung und Bandbreite von Stilllegungskosten veranschaulichen.

Abbildung 3-2: Stilllegungskostenschätzungen: Beispiele US-amerikanischer Kernkraftwerke



Eigene Darstellung nach Daten der US NRC, Umrechnung auf SFR, Preisbasis 2016
 PWR: Druckwasserreaktor, BWR: Siedewasserreaktor

In Abbildung 3-2 sind Gesamtkostenschätzungen für einige beispielhafte U-amerikanische Stilllegungsprojekte dargestellt, bei denen eine nähere Vergleichbarkeit mit der Vorgehensweise bei der Reaktorstilllegung in Deutschland bzw. der Schweiz unterstellt werden kann. Es handelt sich um weit fortgeschrittene oder abgeschlossene Stilllegungsprojekte. Für die dargestellten Anlagen wird in den veröffentlichten Berichten über Stilllegungskosten zwischen umgerechnet etwa 0,6 und knapp unter 1 Mrd. SFR berichtet. Bei den Beispielen wurden im Hinblick auf das Kernkraftwerk Beznau mit den Reaktoren San Onofre 2 und 3 auch Reaktoren einer Mehrblockanlage mit aufgeführt.

3.1.3. Frankreich

In Frankreich ist der in staatlichem Besitz befindliche EDF-Konzern für die Stilllegung der französischen Kernkraftwerke verantwortlich. Gegenwärtig gelten 12 Kernkraftwerke als stillgelegt, darunter 8 gasgekühlte graphitmoderierte Reaktoren aus den 60er und frühen 70er Jahren, zwei Brutreaktoren und ein Schwerwasserreaktor. Für allgemeine Kostenvergleiche sind diese sehr speziellen Anlagen nicht geeignet. Die Elektrizitätserzeugung beruht in Frankreich hingegen ausschließlich auf bisher insgesamt 59 Druckwasserreaktoren, von denen erst einer, der Reaktorblock Chooz-A, sich in Stilllegung befindet. Mit der laufenden Stilllegung des Kernkraftwerks Chooz-A sollen eige-

ne Erfahrungen zum Rückbau von Druckwasserreaktoren gesammelt und für den späteren Rückbau der französischen Druckwasser-Reaktorflotte genutzt werden.

Die Stilllegungskosten werden in Frankreich mit durchschnittlich etwa 350 Mio. € (gem. KS 16 umgerechnet etwa 420 Mio. SFR) angegeben. Obwohl EDF die vergleichsweise niedrige Schätzung mit Verweis auf Synergieeffekte durch ein übergreifendes Stilllegungsmanagement, durch die große Reaktorflotte und die angenommene Repräsentativität der Stilllegungserfahrungen aus Chooz-A begründet, steht sie in Frankreich in der Kritik. So hat der französische Rechnungshof⁵⁸ (Cour de Comptes, CC) bereits in 2012 darauf hingewiesen, dass im internationalen Vergleich die von EDF geschätzten Stilllegungskosten sehr niedrig liegen. Er sieht offenbar eine zu optimistische Herangehensweise und hat in diesem Zusammenhang auch auf erhebliche Kostenrisiken durch Nichtberücksichtigung von Ungenauigkeiten und unvorhergesehenen Entwicklungen hingewiesen. In einem jüngst erschienenen Bericht⁵⁹ der französischen Kommission für nachhaltige Entwicklung und Planung⁶⁰ für die französische Nationalversammlung haben die Autoren die niedrige Schätzung der Stilllegungskosten ebenfalls als zu optimistisch und im europäischen Vergleich als zu niedrig kritisiert (s.a. ^{61, 62}).

3.2. Einordnung der Schweizer Kostenschätzung für die Stilllegungskosten

Die Schätzung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen (sn 2016b) bringt zur Berechnung der Bemessungsgrundlage der Fondsbeiträge die bis zur endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs anfallenden Stilllegungskosten von den Gesamtkosten in Abzug, da diese unmittelbar von den Betreibern getragen und nicht den Fonds zugeordnet werden⁶³. Für das Kernkraftwerk Mühleberg handelt es sich bei diesen Kosten um einen Anteil von 15 % der Gesamtkosten, für die anderen Schweizer Anlagen liegt der Anteil bei 5 bis 6 %. Für eine Einordnung der Stilllegungskostenschätzungen in die, in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen, Kostenrahmen werden im Folgenden die in (sn 2016b) aufgeführten Gesamtkosten für die Schweizer Kernkraftwerkstandorte herangezogen, da eine solche Unterscheidung in den herangezogenen Schätzwerten aus Deutschland, den USA und Frankreich nicht angelegt ist.

Am Standort des Kernkraftwerks Beznau befinden sich zwei Reaktorblöcke sowie das Zwischenlager Beznau. In der Kostenstudie werden die beiden Reaktorblöcke des Kernkraftwerks Beznau integral betrachtet, d.h. es werden keine auf den einzelnen Reaktorblock bezogenen Angaben zu den Stilllegungskosten gemacht. Zum Zweck des Vergleichs mit den Schätzwerten aus Deutschland, den USA und Frankreich wurden die Gesamtkosten für das Kernkraftwerk Beznau, in (sn 2016b) angegeben als rd. 900 Mio. SFR, gleichmäßig auf beide Reaktorblöcke verteilt.

Die Kosten für die Stilllegung des Zwischenlagers Beznau werden teilweise gesondert ausgewiesen (bei den Basiskosten und den Zuschlägen für Prognoseunsicherheiten), teilweise aber auch nicht (bei den Gesamtkosten, den Zuschlägen für Gefahren, den Abzügen für Chancen und bei der Schätzung der Stilllegungskosten vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs). Die mit dem Zwischenlager unmittelbar assoziierten Kosten (rd. 5 Mio. SFR) sind im Vergleich zu den Kos-

⁵⁸ s. (CC 2012), p.113f

⁵⁹ s. (Assemblée Nationale 2016)

⁶⁰ Commission du Développement durable et de l'Aménagement du Territoire

⁶¹ s. a.: France's lower-cost decommissioning plan rests on Chooz A reactor learnings; Nuclear Energy Insider, 22. Februar 2017, <http://analysis.nuclearenergyinsider.com/frances-lower-cost-decommissioning-plan-rests-chooz-reactor-learnings>, zuletzt aufgerufen am 28.03.2017

⁶² s. a.: EDF defends reactor decommissioning plans; World Nuclear News, 02. Februar 2017 <http://www.world-nuclear-news.org/WR-EDF-defends-reactor-decommissioning-plans-0202174.html>, zuletzt aufgerufen am 28.03.2017

⁶³ s. z.B. (sn 2016b) Tabelle 1

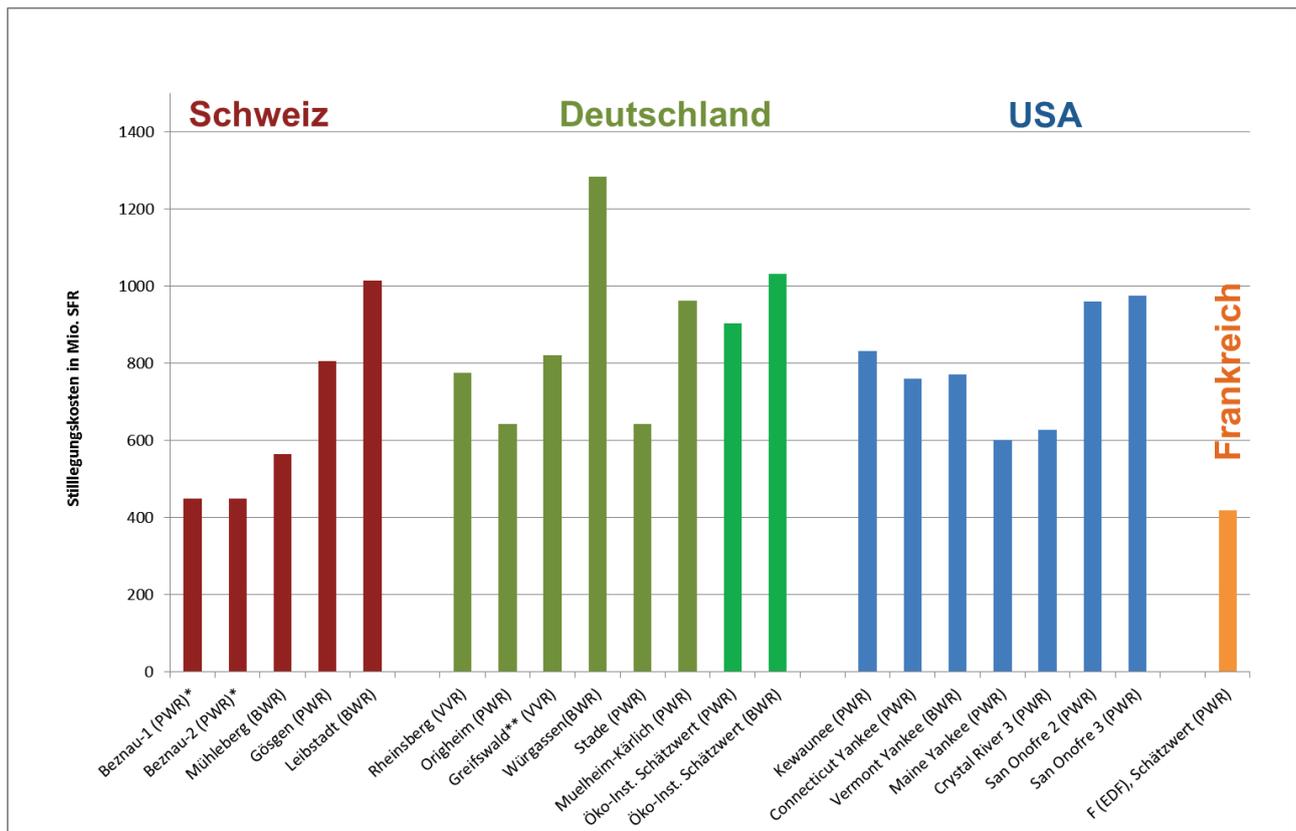
ten des Kernkraftwerks gering, so dass diese systematische Unschärfe im Folgenden vernachlässigt werden kann.

Abbildung 3-3 stellt die verschiedenen Kostenschätzung einander gegenüber. Es fällt zunächst auf, dass für die drei in naher Zukunft stillzulegenden Reaktoren Mühleberg (Stilllegung 2019) sowie Beznau (um 2020) die Stilllegungskosten deutlich niedriger angesetzt werden als für Gösgen und Leibstadt. Im Allgemeinen werden hierfür häufig Unterschiede in Bezug auf die Reaktorleistung angeführt. Dies läge auch für die Schweizer Kernanlagen nahe: Die Reaktoren in Mühleberg und Beznau liegen in ihrer (Brutto-)Leistung unter 400 MWe, Gösgen bei 1.060 und Leibstadt bei 1.275 MWe. Es sei aber angemerkt, dass eine solche unmittelbare Korrelation mit der Reaktorleistung bei der Stilllegung bis dato nicht belegt ist, sondern dass anlagenspezifische Randbedingungen und Herausforderungen im Projektmanagement die Stilllegungskosten meist stärker beeinflussen.

Betrachtet man die in Abbildung 3-3 dargestellten Schätzwerte als ein für die maßgebenden westlichen Industrienationen einigermaßen repräsentatives Spektrum, dann ordnen sich die Stilllegungskosten für Mühleberg und Beznau eher an der Untergrenze dieses Spektrums ein, zusammen mit der in Frankreich selbst in der Kritik stehenden Schätzung der EDF (s.a. Kapitel 3.1.3). Hingegen scheinen die Kostenschätzungen für Gösgen und Leibstadt den heute verbreiteten Kenntnisstand recht gut wiederzugeben, sogar eher in seinem oberen Bereich zu liegen.

Wie diese Diskrepanz letztlich zustande kommt, oder ob sich hier für Mühleberg und Beznau, wie in Frankreich kritisiert, ein vielleicht unangemessener Optimismus oder eine Risikounterschätzung in der Kostenschätzung manifestiert, kann an dieser Stelle nicht beantwortet werden. Verglichen mit dem Umstand, dass die Autoren der Schweizer Kostenstudie zwar selbstbewusst, aber ohne im Detail nachvollziehbare Begründung darauf hinweisen, dass über die vorgenommenen Zuschläge hinaus ein zusätzlicher Sicherheitszuschlag zur Dämpfung eines „optimism bias“ „*nicht begründbar*“ sei (s.a. Kap. 2.2.6), drängt sich jedenfalls der Eindruck auf, dass dies für die Stilllegungskosten der Kernkraftwerke Mühleberg und Beznau nicht uneingeschränkt zutrifft.

Abbildung 3-3: Stilllegungskostenschätzungen: Vergleich zwischen CH, D, USA und F

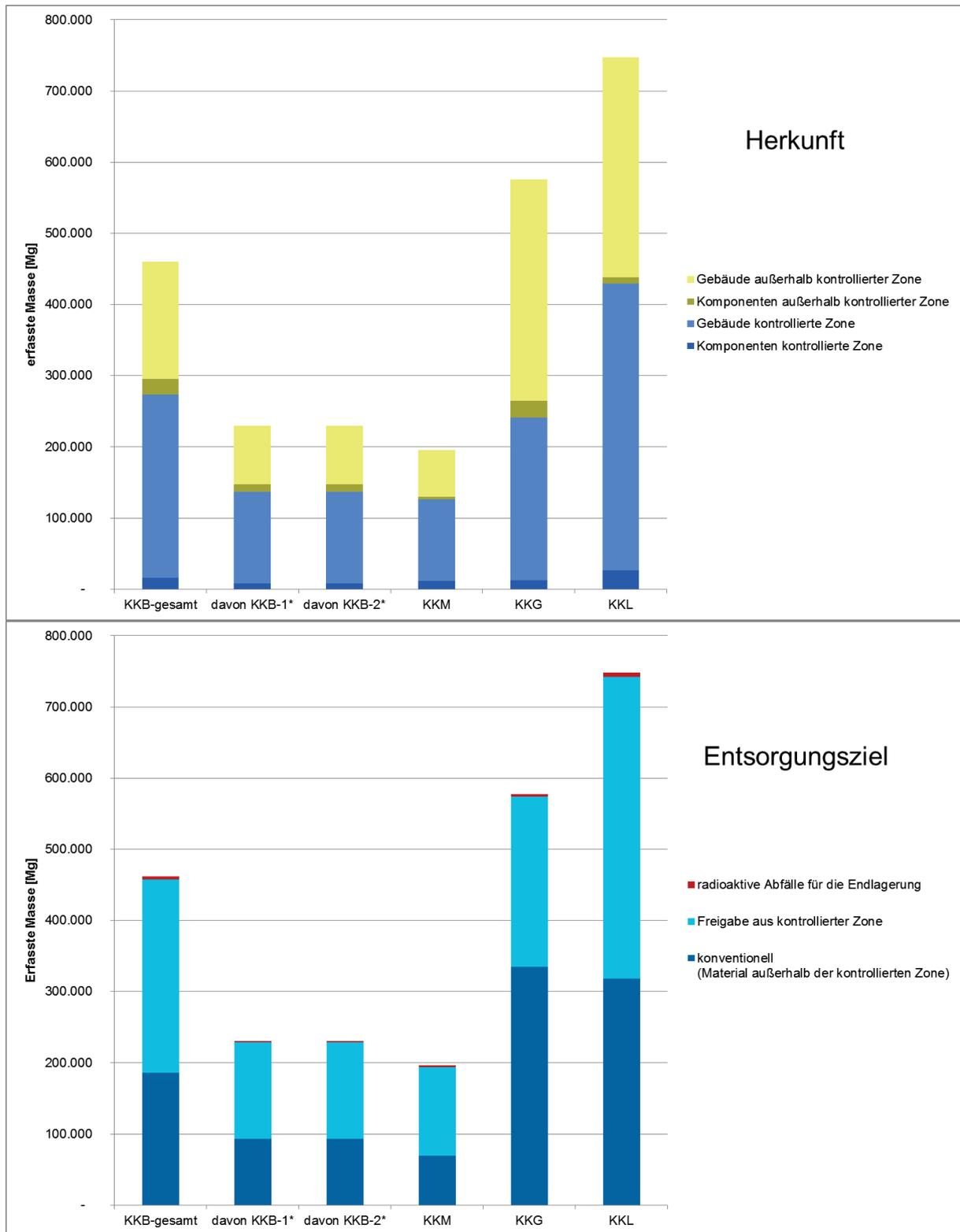


Eigene Darstellung, Umrechnung auf SFR, Preisbasis 2016
 VVR: Reaktor sowjetischer Bauart, PWR: Druckwasserreaktor, BWR: Siedewasserreaktor
 *Beznau 1 und 2: je 50 % der in (sn 2016b) angegebenen Schätzkosten
 **Greifswald: Angaben als Durchschnitt der 5 Reaktorblöcke

3.3. Einflussfaktoren auf die Stilllegungskosten

Der Bericht zur Schätzung der Stilllegungskosten geht in seinem Kapitel 4 („Einflussfaktoren auf die Stilllegungskosten“) auf das Mengengerüst der beim Rückbau der (kernbrennstofffreien) Kernkraftwerke anfallenden Massen, sowie auf den Gesamtzeitraum der Stilllegung und den Personalaufwand ein. Leider lässt sich zwischen den hier gemachten Angaben und den in Kapitel 5 („Resultat der Schätzung der Stilllegungskosten“) desselben Berichts zusammengestellten Kosten für den Außenstehenden kein unmittelbarer Zusammenhang zwischen Massen und Kosten herstellen. Für den Personalaufwand ist dies aber auf der obersten Darstellungsebene der Arbeitspakete möglich. Außerdem lassen sich hinsichtlich der beschriebenen Einflussfaktoren einige grundlegende Plausibilitätsbetrachtungen anstellen. Hinsichtlich des Kernkraftwerks Beznau wurden dabei die in (sn 2016b) für den Gesamtstandort gemachten Angaben vereinfachend jeweils zur Hälfte auf die beiden Kraftwerksblöcke KKB-1 und KKB-2 verteilt, um die jeweiligen Angaben besser mit den anderen Schweizer Kernkraftwerken vergleichen zu können.

Abbildung 3-4: Erfasste Massen der Schweizer Kernkraftwerke nach Herkunft und Entsorgungsziel



Eigene Darstellung, Daten (sn 2016b)

*Beznau 1 und 2: je 50 % der in (sn 2016b) angegebenen Massen für KKB-gesamt

Die in (sn 2016b) abgeschätzten Massen und ihre Verteilung auf die kontrollierte Zone und den Bereich außerhalb der kontrollierten Zone (s. Abbildung 3-4, obere Grafik) erscheinen insgesamt plausibel, aber auch typ- und anlagenspezifisch. Für heutige Siedewasserreaktoren wird erfahrungsgemäß häufig von einem Verhältnis des Masseaufkommens von im Mittel etwa 55-60 % innerhalb, entsprechend rd. 40-45 % außerhalb der kontrollierten Zone ausgegangen, bei Druckwasserreaktoren kehrt sich das Verhältnis meist um.

Für den Siedewasserreaktor KKL stimmt die Schätzung bei einem Verhältnis von 57/43 gut mit dem Erwartungswert überein. Auch für Mühleberg (KKM) ergibt sich mit 65/35 ein für den Siedewasserreaktor noch typisches Verhältnis, mit einer allerdings etwas umfangreicheren kontrollierten Zone. Für den Druckwasserreaktor Gösgen (KKG) ist das Verhältnis mit 42/58 für diesen Reaktortypus ebenfalls typisch. Das Verhältnis von 60/40 für die Doppelblockanlage Beznau ist für Druckwasserreaktoren zwar nicht unbedingt typisch, andererseits aber durch Synergieeffekte bei der Nutzung von Gebäuden und Komponenten im nichtnuklearen Teil der Anlage leicht erklärbar.

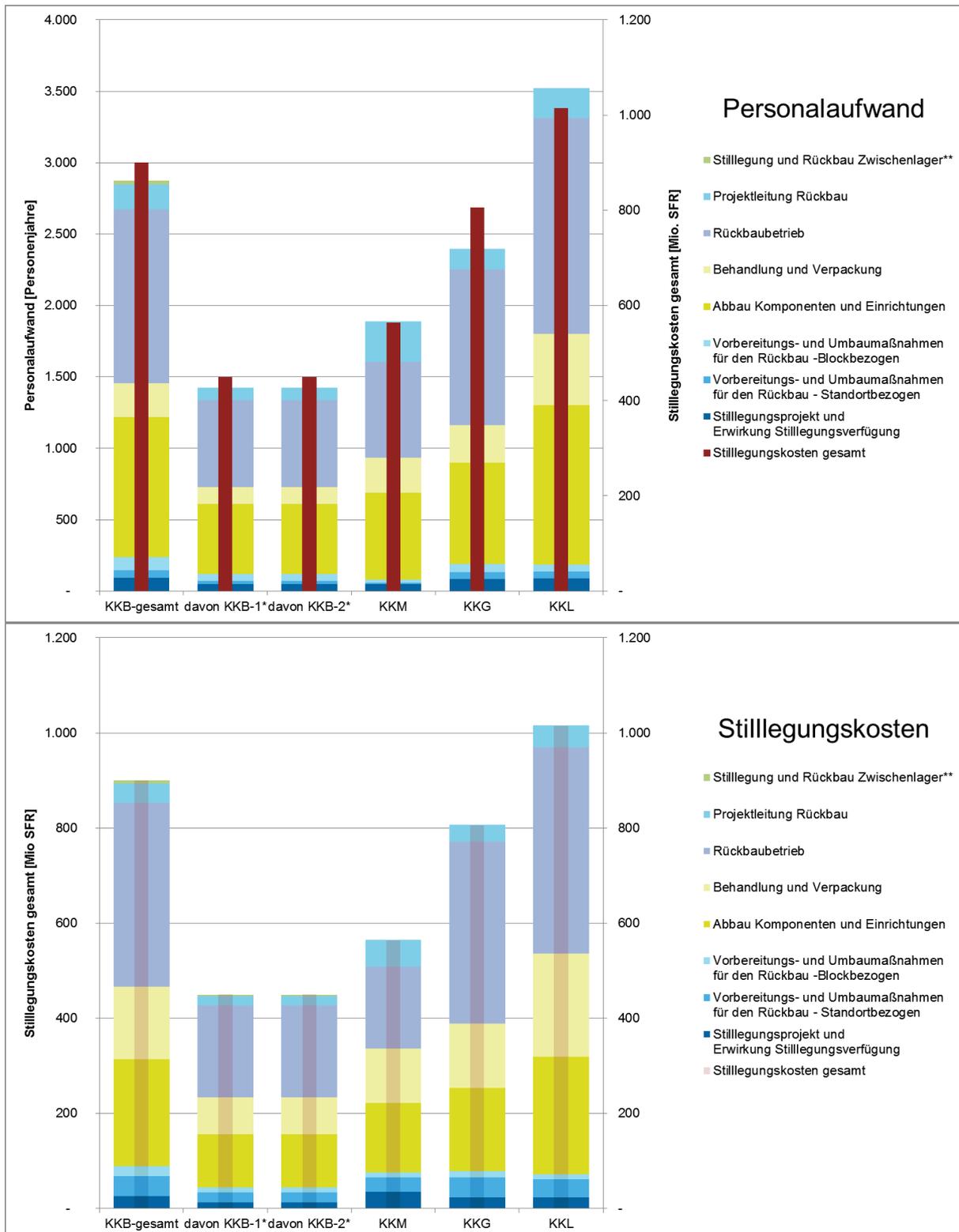
Betrachtet man die erfassten Massen nach den angestrebten Entsorgungszielen, dann fällt zunächst auf, dass nur ein sehr kleiner Teil der anfallenden Stoffe für die Endlagerung vorgesehen ist (s. Abbildung 3-4, untere Grafik). Der Anteil dieser Fraktion an den Stoffen aus der kontrollierten Zone beträgt zwischen etwa 1,3 % (KKG) und etwa 2,2 % (KKM). Auch diese Angaben sind mit denen anderer Stilllegungsvorhaben vergleichbar⁶⁴ und damit plausibel. Wie das Risiko nicht erkannter Kontaminationen und daraus folgender Mengenerhöhungen bei den radioaktiven Abfällen in der Risikoversorge (Prognoseungenauigkeiten und/oder Gefahren) berücksichtigt ist, lässt sich wegen der fehlenden Darstellung des Zusammenhangs zwischen den Massenangaben und den Arbeitspaketkosten nicht beurteilen.

Einer der größten, wenn nicht der größte Kostenfaktor bei Stilllegung und Rückbau eines Kernkraftwerks sind die Personalkosten⁶⁵. In (sn 2016b) ist der Personalaufwand für die Stilllegung als Anzahl Personenjahre für die betrachteten Anlagen dargestellt. Abbildung 3-5 stellt diese Angaben für die Schweizer Kernkraftwerke grafisch einander gegenüber und vergleicht sie mit den Gesamt-Stilllegungskosten. Die obere Abbildung stellt dabei den Personalaufwand, aufgeteilt auf die in der Kostenstruktur definierten Haupt-Arbeitspakete, zusammen mit den Gesamt-Stilllegungskosten dar. Bereits hier zeigt sich die deutliche Abhängigkeit der Kosten von dem in der jeweiligen Anlage benötigten Personal. Die untere Abbildung schlüsselt die Stilllegungskosten nach den gleichen Haupt-Arbeitspaketen auf. Es zeigt sich das nahezu gleiche Bild wie beim Personalaufwand: Sowohl beim Personal als auch bei den Gesamtkosten bilden die jeweils gleichen Arbeitspakete ähnliche Anteile am Gesamtaufwand ab. Rückbaubetrieb und Abbau von Komponenten sind die jeweils größten Blöcke, gefolgt von der Behandlung und Verpackung von Abfällen. Auch dies unterstreicht, dass die Stilllegungskosten vom jeweiligen Personalaufwand wesentlich beeinflusst werden. Es gibt bezüglich der Verteilung des Personalaufwands und der Stilllegungskosten auch keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Anlagen.

⁶⁴ so beträgt beispielsweise der Anteil der radioaktiven Abfälle aus der abgeschlossenen Stilllegung des deutschen Kernkraftwerks Würgassen etwa 2,1 % der Kontrollbereichsmasse, für Unterweser wird der Anteil auf 2,2 % geschätzt, für Isar 1 auf 1,5 % und für Grafenrheinfeld auf 1,1 %. Zahlen abgeleitet aus Angaben des Betreibers PreussenElektra auf <https://www.preussenelektra.de/pe-internet/Stilllegung-Ruckbau-282.htm>

⁶⁵ KS16 macht diesbezüglich auch auf kostenwirksame Gefahren aufmerksam, siehe hierzu auch Kapitel 2.2.4

Abbildung 3-5: Personalwand und Stilllegungskosten bei der Stilllegung der Schweizer Kernkraftwerke



Eigene Darstellung, Daten (sn 2016b)

*Beznau 1 und 2: je 50 % der in (sn 2016b) angegebenen Massen für KKB-gesamt

**nur Zwibez bei KKB-gesamt

Es ist nicht möglich, anhand der veröffentlichten, nur in Personenjahren angegebenen, Zahlen den konkreten Zusammenhang zwischen den im Laufe der Stilllegung tatsächlich anfallenden Arbeiten und dem dafür erforderlichen Personalaufwand unmittelbar nachzuvollziehen. Zwar werden in der methodischen Beschreibung⁶⁶ die „*Verwendung spezifischer Faktoren*“, „*Erfahrungen aus laufenden Rückbauprojekten*“ und eine „*Kalkulation sämtlicher Arbeitsschritte*“ beschrieben. Gerade die Relation zwischen konkretem Arbeitsaufwand und Personaleinsatz ist aber nicht erkennbar, da die Kalkulationsgrundlagen nicht veröffentlicht sind. Dieser Befund entspricht Erfahrungen des Öko-Instituts mit ähnlichen Aufwandschätzungen, die im Übrigen ebenfalls von der auch mit diesem Teil der Kostenstudie beauftragten Siempelkamp NIS erstellt wurden. Die den Studien zugrunde liegenden Annahmen zum erforderlichen Personalaufwand lassen sich in der Regel nicht extern und unabhängig prüfen. Dies ist insofern bedeutend, als derartige Kostenstudien im Rahmen ihrer Revision häufig, bei an sich gleich bleibendem Aufwand, maßgebliche Änderungen, z.B. im Gesamtzeitplan oder bei den verwendeten Eingangsgrößen, erfahren, deren Umsetzung in Personalaufwand und -kosten dann nicht ohne weiteres erklärt werden können. Da insbesondere die Personalkosten großen Einfluss auf die Stilllegungskosten haben und damit auch die in den Stilllegungsfonds einzuzahlenden Beträge maßgeblich bestimmen, wäre hier dringend zu einem höheren Maß an Transparenz und damit Prüfbarkeit zu raten als dies bisher erreicht worden ist.

4. Spezifische Hinweise zum Bericht „Kostenstudie 2016 (KS16) - „Schätzung der Entsorgungskosten - Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung“

Das die zukünftig erwarteten Kosten für Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung maßgeblich bestimmende Mengengerüst der radioaktiven Abfälle ist gut prognostizierbar: Die noch anfallenden hoch radioaktiven Abfälle (abgebrannte Brennelemente) sind aus den aktuellen Planungen zur Laufzeit der Kernkraftwerke ablesbar, die Abfälle aus der Wiederaufarbeitung sind eine feste Größe. Der Großteil der hoch radioaktiven Abfälle ist bereits angefallen, in Behälter verpackt und zwischengelagert, und die erforderliche Infrastruktur (i. W. Zwilag und Zwibez) existiert.

Etwa 2/3 der in der Kostenschätzung angegebenen Kosten sind bereits aufgelaufen⁶⁷, wurden also schon verausgabt und sind insofern nicht mehr risikorelevant. Vor diesem Hintergrund kann man davon ausgehen, dass die Kostenschätzung für Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung auf fundierter Grundlage erfolgen kann und dass das dargestellte Ergebnis nur wenige Risiken beinhaltet.

5. Spezifische Hinweise zum Bericht „Kostenstudie 2016 (KS16) - „Schätzung der Entsorgungskosten - geologische Tiefenlagerung“

Im Gegensatz zu den Stilllegungskosten (s. Kapitel 3) ergeben grenzüberschreitende Vergleiche von Kostenschätzungen zur geologischen Tiefenlagerung in der Regel nur wenig Sinn: Zu spezifisch sind die jeweiligen Kostenbausteine: Von den nationalen Randbedingungen (vom Abfallinventar über den Rechtsrahmen bis zu den wirtschaftlichen Rahmendbedingungen und dem Lohn-Niveau) über die Verfügbarkeit von geeigneten Wirtsgesteinsvorkommen und die zugehörigen Endlagerkonzepte, über den Prozess der Standortauswahl und die dort zu betrachtenden Optionen bis hin zu den regionalen und lokalen Eigenschaften der Standorte, den Ablauf der Öffentlichkeitsbeteiligung und letztlich den Erfolg oder Misserfolg der Realisierung von Errichtung, Betrieb und

⁶⁶ (sn 2016b), S. 59

⁶⁷ (sn 2016c), Tabelle 1

Verschluss eines Endlagers an einem geeigneten Standort reihen sich eine Vielzahl an Einflussfaktoren aneinander. Diese sind letztlich auch kostenbestimmend, werden sich aber bei Kostenvergleichen, zumindest was die oberen Ebenen der Kostenstruktur, also die aggregierten Gesamtkosten, betrifft, über Ländergrenzen hinweg nie befriedigend miteinander vergleichen lassen. Auf entsprechende übergeordnete Vergleiche mit Kostenschätzungen anderer Staaten wird daher verzichtet. Die der Kostenstudie diesbezüglich unterlegten Daten sind ohnehin einer genaueren Prüfung nicht zugänglich.

Die nachfolgend kommentierten Aspekte sind Einzelaspekte, die sich zum einen aus der Durchsicht der Kostenstudie zur geologischen Tiefenlagerung (sn 2016d) ergaben, zum anderen seitens der Schweizerischen Energie-Stiftung als Punkte von Interesse genannt wurden. Hieraus ergaben sich die nachfolgenden Hinweise.

5.1. Zeitplan und Kostenanfall

Die mit Abstand langfristigen Folgen der nuklearen Entsorgung ergeben sich auch in der KS16 für den Prozess der geologischen Tiefenlagerung, der auch den größten Kostenblock darstellt. Der Gesamtprozess wird sich weit ins 22. Jahrhundert hineinziehen⁶⁸ und aus heutiger Sicht demnach noch mehr als einhundert Jahre dauern. Derart langfristige zeitliche Randbedingungen haben weitreichende Folgen für die Ermittlung eines heutigen Finanzbedarfs. Vor diesem Hintergrund werden in (sn 2016d) der angenommene zeitliche Verlauf der jährlichen Ausgaben für die beiden Endlager der Basisvariante (HAA-Lager und SMA-Lager) grafisch dargestellt und daraus der Barwert für die Preisbasis 2016 berechnet.

Die Kostenstudie selbst enthält keine Angaben über die zugrunde gelegte Teuerungsrate und die für die Barwertberechnung anzusetzende Anlagenrendite. Die aktuelle Fassung der SEFV⁶⁹ gibt hier eine Teuerungsrate von 1,5 % und eine Anlagenrendite (netto, also nach Abzug der Kosten) von 3,5 % vor. Diese ist auch als Diskontsatz für die Barwertberechnung der Kosten der geologischen Tiefenlagerung anzuwenden. Die Realrendite läge dann bei 2,0 %. Als Barwert für die Entsorgungskosten werden auf dieser Grundlage 5,1 Mrd. SFR für die Basisvariante (zwei Einzellager) angegeben. Dem gegenüber beläuft sich die Schätzung der „Overnight-Kosten“ auf etwa 12,2 Mrd. SFR.

Inwieweit die nach SEFV vorausgesetzte Anlagenrendite von 3,5 % über den sehr langen, generationenübergreifenden Finanzierungszeitraum erreicht werden kann, ist zumindest fraglich. Auch in Deutschland wird die Diskontierung von weit in die Zukunft reichenden Umweltwirkungen diskutiert. Das deutsche Umweltbundesamt beispielsweise hat bezüglich der Diskontierung von Umweltschäden in 2012 eine Methodenkonvention (UBA 2012) veröffentlicht, in der bei generationenüberschreitenden Umweltauswirkungen zumindest eine Sensitivitätsrechnung mit einem Diskontsatz von 0 % gefordert wird.

Im Rahmen der Revision der SEFV⁷⁰ wurde bereits eine Senkung der anzusetzenden Anlagenrendite von ehemals 5,0 % auf die heutigen 3,5 % diskutiert und letztlich auch in der derzeit geltenden Fassung umgesetzt. Inwieweit die heutige und schon mehrere Jahre andauernde Niedrigzinsphase hier weitere Anpassungen in naher Zukunft erforderlich machen wird, bleibt abzuwarten. Jede Absenkung des Diskontsatzes führt dabei zu einer Erhöhung des jeweiligen Barwertes, der dann über die Nachschusspflicht der Einzahlungspflichtigen abgefangen werden müsste. Würde man die

⁶⁸ s. z.B. (sn 2016d), S. 69

⁶⁹ (SEFV 2016): Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung vom 7. Dezember 2007 (Stand am 1. Januar 2016)

⁷⁰ (SEFV 2013)

Kompensation der Teuerungsrate als Mindestanforderung an die Anlagenrendite des Fonds ansetzen, dann wären letztlich mit Beginn der Stilllegung der jeweiligen Anlage Mittel in Höhe der jeweils zuzurechnenden „Overnight“-Kosten, wie sie zusammengefasst im Mantelbericht⁷¹ dargestellt sind, als Fondvermögen erforderlich.

Absehbare Investitionen in einer noch Jahrzehnte entfernten Zukunft verlieren also durch Abzinsung für den heutigen Kapitalbedarf an Bedeutung. In gleicher Weise machen sich Verlängerungen im Zeitplan bemerkbar. Die in der Kostenschätzung berücksichtigte Verlängerung im Realisierungsplan der geologischen Tiefenlagerung, insbesondere die um 15 (SMA-Lager) bzw. 10 (HAA-Lager) Jahre in die Zukunft verschobene Inbetriebnahme der Endlager, führt zwar real zu absehbaren Mehrkosten, sei es als Aufwand für die Zwischenlagerung, für die über einen längeren Zeitraum auflaufenden Personalkosten in den spezifischen Aufgabenbereichen oder über die allgemeine Teuerung. Die Verlängerung der Zeitachse führt aber auch dazu, dass der Barwert für zukünftige Ausgaben für die heutige Kostenschätzung merkbar niedriger ausfällt. Durch die längere Verzinsungsphase des Fondvermögens sinkt der heute zu leistende Beitrag zur finanziellen Vorsorge, so dass die seitens Stenfo aktuell ausgewiesenen provisorischen Beiträge⁷² sinken. Für das Kernkraftwerk Beznau fallen infolge dessen im Veranlagungszeitraum 2017-2021 sogar überhaupt keine Beiträge an.

In (sn 2016d)⁷³ wird dieser Umstand unter der Überschrift *„Nicht berücksichtigte Gefahren und Chancen“* ebenfalls aufgegriffen. Dort heißt es sowohl zu der als sehr unwahrscheinlich eingeschätzten Ablehnung der Erteilung der Rahmenbewilligung (verbunden mit dem Hinweis *„Bei Ablehnung der Rahmenbewilligung ist das weitere Vorgehen offen.“*) als auch zu einer denkbaren Aufgabe des Standorts wegen ungünstiger geologischer Befunde erst während der untertägigen Erkundung (verbunden mit dem Hinweis *„Das Lager wird an einem Reservestandort realisiert“*) wortgleich: *„Unter Berücksichtigung, dass [in diesen Fällen] die großen Investitionen nach hinten geschoben werden und während dieser Zeit Zinserträge des geäußerten Fonds anfallen, zeigt sich, dass dies keine höheren Rückstellungen verlangt“*.

Dies gilt für jede Art zukünftiger zeitlicher Verzögerungen im Realisierungsplan: In dem Maße wie der Realisierungsplan heute zeitlich gestreckt wird, z.B. weil die Betriebsabläufe langsamer eingeschätzt werden, weil eine längere Beobachtungsphase nach Verschluss erwartet wird, oder weil unterstellt wird, dass sich die Entscheidung über den endgültigen Verschluss aufgrund von unklaren Beobachtungsergebnissen und einer begleitenden gesellschaftlichen / politischen Diskussion über Erfolg oder Misserfolg der Endlagerung verzögert, sinkt durch die Abzinsung automatisch der heutige Bedarf an finanzieller Vorsorge.

Die Vorgehensweise der Barwertberechnung ist dabei hinsichtlich der betriebswirtschaftlichen Methodik und dem hierfür anzuwendenden finanzmathematischen Modell nicht grundsätzlich zu beanstanden, und in der SEFV zur Berechnung der Fondsbeiträge auch so vorgesehen⁷⁴. Sie betrifft auch nicht die tatsächlichen Kosten, sondern beschreibt die Erwartung, dass und wie die benötigten Mittel bis zum Zeitpunkt ihrer Verausgabung erwirtschaftet werden können. Die tatsächlichen Kosten werden nicht dadurch verbilligt, dass ihre Abzinsung überlange Zeiträume die heute zu treffende finanzielle Vorsorge verringert.

In der Art und Weise wie die Mittel durch die Fonds oder die Nachschusspflichtigen zukünftig erwirtschaftet werden, sind die Verantwortlichen dabei natürlich frei. Es sei aber darauf hingewiesen,

⁷¹ (sn 2016a), Tabelle 1

⁷² (STENFO 2016a)

⁷³ s. d., S. 61

⁷⁴ (SEFV 2016), Art. 8

dass die die Kosten verursachenden kerntechnischen Anlagen, also im Wesentlichen die Schweizer Kernkraftwerke, nach ihrer Betriebseinstellung hierzu nichts mehr beitragen werden. Ohnehin wird der Großteil der Entsorgungskosten, verbunden mit Errichtung, Betrieb und Verschluss der Endlager, erst Jahrzehnte nach der Betriebseinstellung der Kernkraftwerke anfallen. In der aktuellen Kostenstudie⁷⁵ wird damit gerechnet, dass das Gros der Kosten für das HAA-Endlager, das auch das teuerste Kompartiment der Entsorgung darstellt, in den 2050er bis 2090er Jahren anfallen wird, ein letzter großer Kostenblock wird mit den Aufwendungen für den Verschluss erst Anfang des 22. Jahrhunderts erwartet. Für das SMA-Lager wird das Gros der Kosten Mitte der 2030er bis Ende der 2070er Jahre dargestellt, der Verschluss wird auch hier erst Anfang des 22. Jahrhunderts zu Buche schlagen.

Die zukünftigen Kosten der nuklearen Entsorgung werden also nicht mehr aus Erträgen der eigentlichen Kostenverursacher, der Kernkraftwerke, erwirtschaftet werden, sondern aus Erträgen der Fonds und, im Fall nicht abgedeckter Kostensteigerungen, durch Erträge der Nachschusspflichtigen aus ihren nichtnuklearen Geschäftsbereichen.

5.2. Politisch/gesellschaftliche Risiken

Prozessrisiken, die sich aus den rechtlichen und gesellschaftlichen Auseinandersetzungen ergeben, sind in den Kostenschätzungen grundsätzlich nicht abgebildet. In der Kostenstudie zur geologischen Tiefenlagerung heißt es hierzu:

„Die vorgesehenen Maßnahmen gehen davon aus, dass das Projekt in einem gesellschaftlich, politisch und planerisch stabilen Umfeld und mit dem entsprechenden gesellschaftlichen Willen zur Entsorgung mittels Tiefenlagerung realisiert wird. Für die Maßnahmen sind die von Dritten (Behörde bzw. Politik) vorgegebenen generellen Randbedingungen (Gesetze) und deren geeignete Anwendung (Sachplanverfahren und Rahmenbewilligungsverfahren sowie weitere Bewilligungsschritte), welche die Realisierung sicherstellen, Voraussetzung.“⁷⁶

Mit dieser Einschränkung sind zeitliche Verzögerungen, die sich aus den durchaus erwartbaren Auseinandersetzungen rechtlicher, politischer oder gesellschaftlicher Natur um den Standort oder die Standorte der geologischen Tiefenlagerung ergeben können, und die damit ggf. verbundenen Kostenrisiken, aus der Kostenschätzung ausgeblendet.

Insoweit dies als Randbedingung für die Kostenstudien vorgegeben ist, ist diese Festlegung legitim, zumal sich derartige Risiken kaum mit unstrittigen Geldbeträgen in einer Kostenschätzung abbilden lassen. Dies bedeutet aber auch, dass hierfür keine explizite finanzielle Vorsorge abgebildet wird, so dass die durch den gesellschaftlichen Prozess hervorgerufenen Mehrkosten durch die Sicherungsinstrumente der Fonds (Erträge, Nachschusspflicht) aufzubringen sind.

5.3. Rückholbarkeit

Im Schweizerischen Entsorgungsprogramm wird die Rückholbarkeit von Abfällen aus einem Endlager als „integraler Bestandteil der Tiefenlagerkonzepte“ bezeichnet. „Für die Rückholung und für die Überwachung bestehen technische Konzepte, die periodisch an die neuesten Erkenntnisse angepasst werden.“⁷⁷

⁷⁵ (sn 2016d), Abbildung 16 auf S. 69

⁷⁶ (sn 2016d), S. 26

⁷⁷ (Nagra 2016), S. 35

Weiter heißt es dort im Zusammenhang mit der Rückholbarkeit: *„Im Hinblick auf eine allfällige Rückholung wurden Konzepte auf Grundlage bestehender Technik entwickelt. Auch hier wird bis zum nuklearen Baugesuch noch eine erhebliche Entwicklung der Technik (z.B. im Untertagbau) erwartet und auch in den ausländischen Programmen wird weitere Erfahrung anfallen. Der technologische Fortschritt wird bei der Auslegung des geologischen Tiefenlagers im Rahmen der nuklearen Baubewilligung zum Tragen kommen.“*

Die Kostenstudie KS16 gibt keine Auskunft darüber, welche Kostenfolgen sich aus den erforderlichen Vorkehrungen zur Gewährleistung der Rückholbarkeit ergeben. Der Begriff der Rückholbarkeit wird in den Berichten zur Kostenstudie auch nicht verwendet. Es ist zu vermuten, dass Schätzkosten hierfür in den Kostenschätzungen enthalten sind. Zu berücksichtigen wären beispielsweise entsprechende Behälterspezifikationen, aber auch Überlegungen, inwieweit entsprechende Infrastrukturen, bis hin zu Behandlungsanlagen und einem geeigneten Zwischenlager für rückgeholte Abfälle, während des Zeitraums der Rückholbarkeit vorgehalten werden sollen. Die veröffentlichten Kostenstrukturen sind aber zu grob, als das hieraus Rückschlüsse bezüglich der für die Gewährleistung der Rückholbarkeit angenommenen Maßnahmen und angesetzten Schätzkosten gezogen werden könnten. Der oben angeführte Verweis aus (Nagra 2016) weist allerdings darauf hin, dass hier noch erhebliche konzeptionelle Änderungen entsprechend dem technologischen Fortschritt erwartet werden, so dass auch für die entsprechenden Kostenfolgen mit einem hohen Maß an Unsicherheit gerechnet werden muss.

Die Rückholung von Abfällen aus dem Endlager selbst wird in der KS16 lediglich als „nicht berücksichtigte Gefahr“ (s.a. Kap. 2.2.4) angesprochen. Sie wird als sehr unwahrscheinlich und daher nicht als relevant für die finanzielle Vorsorge angesehen. Da die Rückholung selbst nicht Ziel der Endlagerung ist, sondern nur als Folge eines Systemversagens in Frage käme, ist dies auch nachvollziehbar. Die Kostenfolgen einer Rückholung lägen im schlimmsten anzunehmenden Falle einer vollständigen Rückholung auch in einer Größenordnung von sicherlich mehr als 200 Prozent der Gesamtkosten (Aufwand der Rückholung plus Realisierung des Endlagers an einem anderen Ort).

Obwohl die Rückholbarkeit also als Fähigkeit gewährleistet und daher kostenmäßig bereits in den Basiskosten enthalten sein muss, ist das Gesamtvorhaben einer Endlagerung darauf auszurichten, die Rückholung selbst durch fortwährende Prüfung der Langzeitsicherheit zu verhindern, so dass das Endlager am Ende des Prozesses mit größtmöglichem Vertrauen in seine Sicherheit auch verschlossen werden kann. Der Prozess der Endlagerung ist also darauf auszurichten, eine tatsächliche Rückholung möglichst unwahrscheinlich zu machen.

5.4. Vergleichbarkeit mit anderen Bergbaukosten

Im Bericht zu den Kosten der geologischen Tiefenlagerung⁷⁸ wird darauf hingewiesen, dass in die Grundlagen der Schätzung für die Untertagebauwerke (Zugangstunnel, Bau- und Betriebstunnel, Lagerstollen, Schächte) Vergleiche mit bestehenden untertägigen Bauten einbezogen werden: *„Für die Schätzung der diesbezüglichen Kosten für die geologischen Tiefenlager wird auf Erfahrungen mit entsprechenden Bauwerken abgestützt.“* Dies wird allerdings auch mit dem Hinweis ergänzt dass *„Untertagebauten im Opalinuston und die Anforderungen eines geologischen Tiefenlagers spezielle Herausforderungen bieten.“* Nähere Erläuterungen zu den Vergleichen einerseits und zu den spezifischen Herausforderungen andererseits werden nicht gegeben.

Die Autoren weisen also auf vergleichbare Untertagebauwerke, insbesondere aus dem Tunnelbau, als Erfahrungsquelle hin. Dies ist insofern gerechtfertigt, als die Untertage zur Errichtung von Bau-

⁷⁸ (sn 2016d), S. 51

werken eingesetzten Techniken vergleichbar sind, und dass diesbezüglich auf tatsächlich erprobte Vorgehensweisen und Gerätschaften verwiesen werden kann.

Die nur oberflächlich angegebene Kostenstruktur erlaubt es nicht im Einzelnen nachzuvollziehen, wie diese Erfahrungen in die Kostenschätzung eingeflossen sind und wie insbesondere die Spezifika des Opalinustons sich in der Kostenschätzung niederschlagen. So kann beispielsweise nicht nachvollzogen werden, inwieweit die Bauerfahrungen im Opalinuston aus dem Felslabor Mont Terri Niederschlag in die Aufwandschätzung berücksichtigt wurden. Vergleiche auf Basis der oberen, aggregierten Kostenebenen mit veröffentlichten Gesamtkosten anderer Bauwerke, beispielsweise von Schweizer Tunnelbauwerken der letzten Jahre, führen hier zu keinem Ergebnis, dazu sind die Randbedingungen der einzelnen Vorhaben zu spezifisch. Kostenvergleiche ließen sich erst auf der Detailebene einzelner Gewerke und Tätigkeiten unter Tage ableiten, aus den veröffentlichten aggregierten Zahlen ist dies aber nicht möglich.

Die eigentliche Unsicherheit hinsichtlich der Kosten und ihrer Herleitung besteht also nicht unbedingt darin dass einzelne Tätigkeiten und ihr Aufwand aus Erfahrungswerten nicht genau genug beschrieben werden können. Sie besteht vielmehr darin, inwieweit der Umfang der Maßnahmen (d.h. das Mengengerüst) zum Schätzzeitpunkt fixiert werden kann. Insofern gilt die Kostenschätzung auch nur für das derzeit zugrunde gelegte Endlagerkonzept. Jede Änderung am Konzept oder der konkreten Ausgestaltung (z.B. in der Anzahl der Endlagerbehälter, ihrem Abstand voneinander nach Einbau unter Tage, in der Länge von Zufahrtsrampen oder der Tiefe von Schächten) wird sich auch in den Kosten niederschlagen.

6. Wesentliche Schlussfolgerungen

Im Rahmen der Begutachtung der Kostenstudie KS16 wurden einige ausgewählte Aspekte thematisiert, soweit dies im vereinbarten Bearbeitungsumfang möglich war. Auf Basis einer kritischen Durchsicht der Kostenstudie und den voranstehend beschriebenen Überlegungen ergaben sich dabei die folgenden wesentlichen Schlussfolgerungen:

- KS16 hat sich gegenüber KS11 hinsichtlich des Informationsgehalts deutlich weiter entwickelt. Sie gibt nun einen Einblick in die Kostenstrukturen, Unsicherheiten und die finanzielle Vorsorge gegen eine Reihe von kostenwirksamen Gefahren, die so aus der Kostenstudie KS11 noch nicht ablesbar waren. Naturgemäß bleiben die Hintergründe der Kostenschätzungen aber unterhalb der jeweils dargestellten dritten Gliederungsebenen weiterhin unsichtbar.

Obwohl hinsichtlich des prinzipiellen Aufbaus ähnlich, sind die in den drei Berichten (sn 2016b), (sn 2016c) und (sn 2016d) dargestellten Kostenstrukturen auf jeweils gleicher Darstellungsebene in ihrem Detaillierungsgrad nicht gleichwertig: Erlauben die „Arbeitspakete“ der Stilllegungskosten relativ konkrete Bezüge zu einzelnen Tätigkeitsbereichen und sogar grobe Rückschlüsse auf den angesetzten Personalaufwand, so bleibt die Kostenstruktur der Tiefenlagerung mit ihren „Hauptaktivitäten“ deutlich unspezifischer.

Trotz Weiterentwicklung ist daher die Nachvollziehbarkeit für eine unabhängige Öffentlichkeit in vielen Punkten nach wie vor nicht gegeben.

- Insbesondere für die Ermittlung von Zuschlägen für Prognoseunsicherheiten wird in den Studien über die Verwendung von Monte-Carlo-Simulationen berichtet. Anhand der Monte Carlo-Analysen wurden in KS 16 die Zuschläge für Prognose-Ungenauigkeiten so bestimmt „*dass die prognostizierten Kosten mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht überschritten werden*“⁷⁹. Dieses Vor-

⁷⁹ so in (sn 2016b), S. 77. In (sn 2016c) und (sn 2016d) gibt es hierzu keine Angaben.

gehen ist zwar nicht zu beanstanden, allerdings fehlt zumindest eine Angabe, welches Perzentil hierfür als hinreichend angesehen wird. Ohne eine solche Angabe bleibt die Aussage zur Sicherheit der Zuschläge vage. Die Bewertung der Ungenauigkeit ist dabei in hohem Masse von Expertenwissen und deren Einschätzungen abhängig, die für Außenstehende nicht einsehbar sind.

- Als Instrument für die Einschätzung von kostenwirksamen Gefahren wird bei der Stilllegung (sn 2016b) sowie bei Zwischenlagerung, Transporten, Behältern und Wiederaufarbeitung (sn 2016c) eine „Risikomatrix“ beschrieben. Allerdings stimmen die diesbezüglich exemplarisch dargestellten Gefahrenaspekte nicht mit den in der Studie beschriebenen Gefahren überein, so dass es schwerfällt, eine unmittelbare Verknüpfung zwischen Gefahr und Risikoeinschätzung der Experten herzustellen. Hier sollte zukünftig eine bessere Vergleichbarkeit hergestellt werden.

Für die geologische Tiefenlagerung (sn 2016d) wird keine Risikomatrix verwendet. Die Gefahren werden nur sehr abstrakt beschrieben. Ihre Herleitung ist mit den übrigen Kostenstudien nicht konsistent, die Angaben an sich sind kaum nachvollziehbar. Außerdem bestehen Unklarheiten in der Abgrenzung zwischen den Kategorien „Prognoseunsicherheit“ und „Gefahr“, aber auch in der Abgrenzung der Gefahren untereinander. Es ist eindringlich zu empfehlen, hier ausführlichere Informationen bereitzustellen und ggf. auch einen methodischen Abgleich mit den anderen Berichten der Kostenstudie (sn 2016b), (sn 2016c) und ihren übergeordneten Randbedingungen (e.g. Abgrenzung zwischen Prognoseungenauigkeiten und Gefahren) herbeizuführen.

- Relativ umfangreich wird in der Studie zur geologischen Tiefenlagerung auf den Aspekt der „nicht berücksichtigten Gefahren“ eingegangen. Interessanter Weise bedeutet dies, dass beispielweise für die dort beschriebenen Sanierungsarbeiten durch Wassereinträge in verschiedenen Stadien der Errichtung und des Betriebs des Endlagers keine finanzielle Vorsorge getroffen wird. Hierzu gehören auch die Kostenfolgen einer Abfallrückholung, die mit „*einigen 10 Prozent der Gesamtkosten*“ sehr niedrig angesetzt werden. Berücksichtigt man, dass eine Rückholung von Abfallgebinden, für die als Ursache ein Systemversagen unterstellt werden müsste, mit deren erneuter Zwischenlagerung und dem Bedarf an ein neues Endlager einhergeht, wären die Kostenfolgen dieser Gefahr deutlich höher einzuschätzen.
- Hinsichtlich der Abzüge für Chancen liegt die Empfehlung nahe, hierauf in Zukunft zu verzichten und damit die Risikovorsorge robuster auszustatten.
- Der systematische Verzicht auf den in der Kostengliederung eigentlich vorgesehenen zusätzlichen Sicherheitszuschlag wird i. W. mit der Qualität der Kostenstudie selbst begründet. Ein Verzicht auf einen Zuschlag für „das Unbekannte“ wird zusätzlich mit der Möglichkeit zur Nachfinanzierung begründet. Dabei liegt der Gesamtzuschlag unter 30 %. In Deutschland wird derzeit ein um etwa $\frac{1}{4}$ höherer Gesamt-Risikoaufschlag angenommen, was darauf hinweist, dass die im Bereich der nuklearen Entsorgung angesiedelten Kostenrisiken durchaus auch höher eingeschätzt werden können als dies offenbar in der Schweiz der Fall ist. Es ist zu vermuten, dass dadurch in der Schweizer Kostenstudie Kostenrisiken entweder nicht abgebildet sind, mit den gegebenen Zuschlägen implizit verrechnet oder grundsätzlich niedriger bewertet werden. Die hierin enthaltenen finanziellen Auswirkungen wären dann der Nachschusspflicht zuzuordnen und blieben für die Stilllegungs- und Entsorgungsfonds unsichtbar.
- Der Sicherheitszuschlag nach SEFV wird in KS 16, anders als in KS 11, auf die Basiskosten bezogen und auf diese Weise mit den neuerdings ausgewiesenen (aber zumindest teilweise auch schon in KS 11 implizit enthaltenen) Risikozuschlägen verrechnet. In letzter Konsequenz bedeutet dies gegenüber KS 11 einen Verzicht auf finanzielle Vorsorge: Wurde für KS11 ein Ri-

sikozuschlag von 30 % auch auf implizit enthaltene Zuschläge der Experten erhoben, so erfolgt dies nun nicht mehr.

- Mit der Nachschusspflicht und den nachgelagerten Haftungsebenen sind Instrumente vorhanden um zukünftige Kostensteigerungen, die nicht durch die Fondstruktur und die Fonderträge abgedeckt werden können, durch Zahlungen der Abfallverursacher zu kompensieren. Die Schweizer Kernkraftwerke befinden sich zu weit überwiegenden Anteilen in öffentlichem Besitz. Damit liegt auch die Verantwortung für die aufzubringenden Kosten für Stilllegung und Entsorgung der Schweizer Kernkraftwerke letztlich in öffentlicher Hand. Hierzu gehört auch, dass die Eigentümer nach Betriebseinstellung der Kernkraftwerke aus Erträgen anderer, nicht nuklearer Geschäftsbereiche zu entsprechenden Zahlungen herangezogen werden können. Dies ist aber für die Kernkraftwerke Gösgen und Leibstadt bzw. die sie betreibenden Aktiengesellschaften nicht selbstverständlich, da die Gesellschaften selbst keine anderen Geschäftsbereiche haben und auf die Aktionäre nicht ohne weiteres durchgegriffen werden kann.

Im Fall der Kostenschätzung für die geologische Tiefenlagerung (sn 2016d) wird von den Autoren darauf hingewiesen, dass zukünftige Kosten für bis dato unbekannte Kostenfaktoren („das Unbekannte“) über die Nachfinanzierung geregelt werden sollen. Damit wird insbesondere auf eine explizite Vorsorge gegenüber den geologischen Risiken verzichtet, obwohl gerade bei bergbaulichen Tätigkeiten unbekannte Ereignisse oder Befunde (z.B. in Bezug auf die Geologie oder Hydrogeologie) häufig zu kostenwirksamen Planungs- und Maßnahmenänderungen führen. Ob diese in den berücksichtigten Gefahren für die geologische Tiefenlagerung angemessen berücksichtigt sind, bleibt aufgrund der hier spärlichen Informationen unklar, das Risiko an sich bleibt in der Nachschusspflicht „versteckt“.

- Für einen verlängerten Weiterbetrieb der Schweizer Kernkraftwerke werden in der Kostenstudie nur geringe Mehrkosten ausgewiesen: Einer um etwa 20 % verlängerten Betriebsdauer stünden demzufolge etwa 5 % höhere Kosten für Stilllegung und Entsorgung gegenüber. Demgegenüber ist zu betonen, dass der Weiterbetrieb alternder Kernkraftwerke vorrangig hinsichtlich ihrer Sicherheit und nur nachrangig hinsichtlich finanzieller Vorteile bewertet werden muss. Ein dauerhaft sicherer und dabei wirtschaftlicher Betrieb von Kernkraftwerken über einen Zeitraum von 60 Jahren ist bis dato nirgends erfolgt.
- Im Vergleich mit Schätzwerten zu Stilllegungskosten von Kernkraftwerken in Deutschland, den USA und Frankreich ordnen sich die Stilllegungskosten der in naher Zukunft stillzulegenden Kernkraftwerke Mühleberg und Beznau eher an der Untergrenze dieses Spektrums ein, zusammen mit der im eigenen Land in der Kritik stehenden und daher wenig verlässlichen Schätzung der französischen EDF (s.a. Kapitel 3.1.3). Hingegen scheinen die Kostenschätzungen für Gösgen und Leibstadt den heutigen Kenntnisstand recht gut wiederzugeben, sogar eher in seinem oberen Bereich zu liegen.
- Die Stilllegungskosten werden maßgeblich von den Personalkosten beeinflusst. Erfahrungen zeigen hier, dass das in der Kostenstudie erreichte Maß an Transparenz noch nicht ausreicht, um die hier gemachten Angaben unabhängig prüfen und zukünftige Änderungen bewerten zu können.
- Die Kostenstudie für Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung enthält naturgemäß nur wenige Risiken und Unsicherheiten, da das Mengengerüst gut prognostizierbar ist und 2/3 der Kosten bereits aufgelaufen sind.
- Die langfristigen Folgen der nuklearen Entsorgung ergeben sich für die geologische Tiefenlagerung (sn 2016d), die auch den größten Kostenblock darstellt. Der Gesamtprozess wird aus heutiger Sicht noch mehr als einhundert Jahre dauern. Dies hat weitreichende Folgen für die Ermittlung des heutigen Finanzbedarfs, weil die Kosten als Barwert berechnet werden: Gegen-

über dem errechneten Barwert von rd. 5,1 Mrd. SFR beläuft sich die Schätzung der „Overnight-Kosten“ auf etwa 12,2 Mrd. SFR.

Die Vorgehensweise der Barwertberechnung ist nicht grundsätzlich zu beanstanden und in der SEFV auch so vorgesehen. Sie betrifft auch nicht die tatsächlichen Kosten sondern die Erwartung, dass und wie die benötigten Mittel bis zum Zeitpunkt ihrer Verausgabung erwirtschaftet werden können. Die tatsächlichen Kosten werden nicht dadurch verbilligt, dass ihre Abzinsung über lange Zeiträume die heute zu treffende finanzielle Vorsorge verringert. Dabei bleibt unklar inwieweit die notwendige Anlagenrendite von 3,5 % über den generationenübergreifenden Finanzierungszeitraum sichergestellt werden kann.

Würde man lediglich die Kompensation der Teuerungsrate als Mindestanforderung an die Anlagenrendite des Fonds heranziehen, dann wären mit Beginn der Stilllegung der jeweiligen Anlage Mittel in Höhe der jeweils zuzurechnenden „Overnight-Kosten“ als Fondvermögen erforderlich.

- In der aktuellen Kostenstudie wird damit gerechnet, dass das Gros der Kosten für das HAA-Endlager in den 2050er bis 2090er Jahren anfallen wird, ein letzter großer Kostenblock wird mit den Aufwendungen für den Verschluss erst Anfang des 22. Jahrhunderts erwartet. Für das SMA-Lager wird das Gros der Kosten Mitte der 2030er bis Ende der 2070er Jahre dargestellt, der Verschluss wird auch hier erst Anfang des 22. Jahrhunderts zu Buche schlagen. Die die Kosten verursachenden Schweizer Kernkraftwerke werden nach ihrer Betriebseinstellung hierfür keine Deckungsbeiträge mehr erwirtschaften. Die zukünftigen Kosten der nuklearen Entsorgung werden also nicht mehr aus Erträgen der eigentlichen Kostenverursacher, der Kernkraftwerke, erwirtschaftet werden, sondern aus Erträgen der Fonds und, im Fall nicht abgedeckter Kostensteigerungen, durch Erträge der Nachschusspflichtigen aus ihren nichtnuklearen Geschäftsbereichen.
- Zeitliche Verzögerungen, die sich aus Auseinandersetzungen rechtlicher, politischer oder gesellschaftlicher Natur um den Standort oder die Standorte der geologischen Tiefenlagerung ergeben können, und die damit ggf. verbundenen Kostenrisiken, sind aus der Kostenschätzung ausgeblendet. Insoweit dies als Randbedingung für die Kostenstudien vorgegeben ist, ist diese Festlegung legitim. Dies bedeutet aber auch, dass die durch den gesellschaftlichen Prozess hervorgerufenen Mehrkosten durch die Sicherungsinstrumente der Fonds (Erträge, Nachschusspflicht) aufzubringen sind.
- Die Kostenstudie gibt keine Auskunft darüber, welche Kostenfolgen sich aus den Vorkehrungen zur Gewährleistung der Rückholbarkeit von Abfällen ergeben. Es ist zu vermuten, dass Schätzkosten hierfür in den Kostenschätzungen enthalten sind. Zu berücksichtigen wären beispielsweise entsprechende Behälterspezifikationen, aber auch Überlegungen, inwieweit entsprechende Infrastrukturen, bis hin zu Behandlungsanlagen und einem Zwischenlager für rückgeholte Abfälle, während des Zeitraums der Rückholbarkeit vorgehalten werden sollen. Aus den veröffentlichten Kostenstrukturen lassen sich diesbezüglich keine Rückschlüsse ziehen. Da hier noch erhebliche konzeptionelle Änderungen entsprechend dem technologischen Fortschritt erwartet werden, muss auch für die entsprechenden Kostenfolgen mit einem hohen Maß an Unsicherheit gerechnet werden.

Literaturverzeichnis

- (Assemblée Nationale 2016) Assemblée Nationale : Rapport d'information relative à la faisabilité technique et financière du démantèlement des installations nucléaires de base ; au nom de la Commission du Développement Durable et de l' Aménagement du Territoire, et présenté par M. Julien Aubert, président, et Mme Barbara Romagnan, rapporteure ; No 4428, Paris, 01.02.2017
- (CC 2012) Cour des Comptes: The costs of the nuclear power sector -Thematic public report, Januar 2012
- (Nagra 2016) Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle: Technischer Bericht 16-01 Entsorgungsprogramm 2016 der Entsorgungspflichtigen, 28. November 2016
- (NEA 2016) OECD/NEA: Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants, NEA No. 7201; Paris 2016
- (NRC 2015) US-NRC: SECY-15-0122: Summary Findings Resulting from the Staff Review of the 2015 Decommissioning Funding Status Reports for Operating Power Reactor Licensees, Enclosure 1 - Spreadsheet of All Plants; September 2015
- (SEFV 2013) Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK: Revision der Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung (SEFV) - Erläuterungsbericht, 21. August 2013
- (SEFV 2016) Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung vom 7. Dezember 2007 (Stand am 1. Januar 2016)
- (sn 2011) swissnuclear: Kostenstudie 2011 (KS11) Mantelbericht, 13.10.2011
- (sn 2016a) swissnuclear: Kostenstudie 2016 (KS16) - Mantelbericht; 31.10.2016
- (sn 2016b) swissnuclear: Kostenstudie 2016 (KS16) - Schätzung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen; 31.10.2016
- (sn 2016c) swissnuclear: Kostenstudie 2016 (KS16) - Kostenstudie 2016 (KS16) - Schätzung der Entsorgungskosten - Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung; 31.10.2016
- (sn 2016d) swissnuclear: Kostenstudie 2016 (KS16) - Schätzung der Entsorgungskosten – geologische Tiefenlagerung; 31.10.2016
- (STENFO 2016a) STENFO: Factsheet - Stilllegungsfonds und Entsorgungsfonds, Kurzversion für den Schnelleser
- (STENFO 2016b) STENFO: Kosten der Stilllegung und Entsorgung der Schweizer Kernkraftwerke - Ergebnisse Kostenstudie 2016 - Medienkonferenz vom 15. Dezember 2016; Präsentation
- (UBA 2012) Umweltbundesamt: Ökonomische Bewertung von Umweltschäden - Methodenkonvention 2.0 zur Schätzung von Umweltkosten (inklusive Anhang A und B); August 2012

Anhang 1: In den Berichten der Kostenstudie dargestellte Kostenstrukturen

Tabelle A-1: In (sn 2016b) dargestellte Kostenstruktur: Stilllegung und Rückbau Kernkraftwerke

Arbeitspakete Ebene 2	Arbeitspakete Ebene 3
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	Planerische Vorarbeiten
	Erstellung der Gesuchsunterlagen
	Stilllegungsverfügung
Vorbereitungs- und Umbaumaßnahmen - Standortbezogen	Umbau und Neueinrichtungen
Vorbereitungs- und Umbaumaßnahmen - Blockbezogen	Außerbetriebnahme Systeme
	In-Situ Dekontamination Kreisläufe
	Systemtechnische Anpassungen
	Umbau und Neueinrichtungen-
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	Abbau Vorlaufend / Mobil
	Abbau Kontaminiert
	Abbau Aktiviert
	Abbau Betonstrukturen
	Abbau restlicher Einrichtungen
	Abbau außerhalb Kontrollierter Zone
	Dekontamination und Freigabe Gebäude
	Nachweisführung Areal / ex Areal Projekt
	Behandlung und Verpackung
Dekontamination von Einzelteilen	
Konditionierung und Verpackung	
Freimessung / konv. Entsorgung / Erlöse	
Abbau Einrichtungen zum Rückbau und zur Materialbehandlung	
Rückbaubetrieb	
	Überwachung
	Sicherung / Arealüberwachung
	Behördliche Begleitung
	Fachabteilung Betrieb Anlage
	Werkstätten
	Laufende Prüfung und Instandhaltung
	Instandhaltungsprojekte
	Betrieb IT
	Betriebs- und Unterhaltsachkosten
	Betrieb Lagereinrichtungen
Sonstige betriebliche Aufwendungen	
Projektleitung Rückbau	Gesamprojektleitung
	Übergeordnete Planungsmaßnahmen
	Leitung Teilprojekte

**Tabelle A-2: In (sn 2016b) dargestellte Kostenstruktur:
Stilllegung und Rückbau Zwischenlager (Zwibez und Zwilag)**

Arbeitspakete Ebene 2	Arbeitspakete Ebene 3
Stilllegungsprojekt und Erwirkung Stilllegungsverfügung	Planerische Vorarbeiten
Vorbereitungs- und Umbaumaßnahmen für den Rückbau	Erstellung der Gesuchunterlagen
	Umbau und Neueinrichtungen
	Außerbetriebnahmen
	Anpassung Infrastruktur
Abbau der Komponenten und Einrichtungen	Abbau Kontaminiert
	Dekontamination der Gebäude
	Abbau außerhalb Kontrollierter Zone
	Nachweisführung Areal / ex Areal
Behandlung und Verpackung	Nachzerlegung und Behandlung
	Dekontamination von Einzelteilen
	Konditionierung und Verpackung
	Freimessung
Rückbaubetrieb	Laufende Prüfung und Instandhaltung
	Überwachung
	Sicherung / Arealüberwachung
	Betriebs- und Unterhaltssachkosten und Behörde

**Tabelle A-3: In (sn 2016c) dargestellte Kostenstruktur:
Entsorgungskosten - Zwischenlagerung, Transporte, Behälter und Wiederaufarbeitung**

Kostenstrukturelemente Ebene 2	Kostenstrukturelemente Ebene 3
TLB (Transport- und Lagerbehälter)	Behälterbeschaffung
	Zulassung
	Inspektion
Transporte	Betriebsabfälle / Reaktorabfälle
	Wiederaufbereitungsabfälle / abgebrannte Brennelemente
Zwischenlagerung	Zwilag
	Zwibez
Wiederaufarbeitung	La Hague
	Sellafield

**Tabelle A-4: In (sn 2016d) dargestellte Kostenstruktur:
Entsorgungskosten - geologische Tiefenlagerung**

Hauptaktivität	Ggf. Objektgruppe
Erdwissenschaftliche Arbeiten	
Sicherheit und Systemanalysen	
Radioaktive Materialien	
Anlagenplanung und -bau	Oberflächeninfrastruktur
	Zugang nach Untertag
	Bauwerke auf Lagerebene
Anlagenbetrieb	Oberflächeninfrastruktur
	Zugang nach Untertag
	Bauwerke auf Lagerebene
Forschung und Entwicklung	
Stilllegung, Rückbau und Verschluss der Anlagen	Oberflächeninfrastruktur
	Zugang nach Untertag
	Bauwerke auf Lagerebene
Allgemeine Kosten, insbesondere die Aufwendungen für die Geschäftsstelle	
Behördentätigkeiten, Gebühren und Abgeltungen	