

Auftraggeber: Greenpeace Schweiz



**Kosten nukleare Entsorgung Schweiz:
eine erste Evaluation des Systems der Kostenberechnung**

Januar 2016

Marcos Buser

Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft INA GmbH

Funkackerstrasse 19, 8050 Zürich

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Kosten nukleare Entsorgung Schweiz: eine erste Evaluation des Systems der Kostenberechnung	
1 Ausgangslage und Problemstellung, Arbeiten	5
2 Erstevaluation der Kostenentwicklung der Entsorgung in den letzten Jahrzehnten	6
3 Prüfung der Robustheit der Berechnungsgrundlagen	10
3.1 Gesetzliche Grundlagen	10
3.2 Berechnungsgrundlagen	11
3.3 Umgang mit Grundlagen, die massgebenden Einfluss auf die Kostenplanung haben	20
3.4 Kontrolle der Kostenprogramme	28
4 Erfahrungen im Ausland	32
5 Grundsätze für die Erfassung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten im Hinblick auf die Kostenstudie KS16	35
6 Folgerungen und Empfehlungen	37

Figuren

Figur 2.1: Säulendiagramme Entsorgungskosten zwischen 1983 und 2013

Figur 3.2: Stabilisierungsmassnahmen in Stollen (Querschnitte).

Figur 3.3.1: Betrieb der Schweizer AKW mit Abschaltprognosen der Werke und einige Beispiele für die abgeänderten Prognosen für die Inbetriebnahme der Endlager SMA und HAA

Figur 3.3.2: Zweireihiges diatonisches Akkordeon: Drei Spielstellungen

Figur 3.3.3: Realisierungsplan Endlager HAA

Figur 3.3.4: Realisierungsplan für Endlager für hochaktive Abfälle im Entsorgungsprogramm 08

Figur 3.3.5: Details des Realisierungsplans Endlager HAA im Entsorgungsprogramm 08

Figur 3.3.6: Realisierungsplan für Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle im Entsorgungsprogramm 08

Figur 3.3.7: Realisierungsplan für Endlager hochradioaktive Abfälle der Nagra nach der im Jahr 2014 vorgenommenen Anpassung

Figur 3.3.8: Realisierungsplan für Endlager schwach- und mittelaktive Abfälle der Nagra nach der im Jahr 2014 vorgenommenen Anpassung

Tabellen

Tab. 2.1: Geschätzte oder errechnete Kosten für Stilllegung und Entsorgung gemäss Kostenstudien und Berichten der Verwaltungskommission (VK)

Tab. 2.2: Jahresdurchschnittliche Teuerung, Quelle Landes-Index der Konsumentenpreise

Tab. 3.1: Artikel des Kernenergiegesetzes, welche Kostenfragen regeln

Tab. 3.2: Artikel der Kernenergieverordnung (KEV), welche Kostenfragen regeln

Tab. 3.3: Artikel der Verordnung über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds, welche Kostenfragen regeln

Kosten nukleare Entsorgung Schweiz: eine erste Evaluation des Systems der Kostenberechnung

1 Ausgangslage und Problemstellung, Arbeiten

Ausgangslage und Problemstellung: Die Entwicklung der Kosten der nuklearen Entsorgung, welche insbesondere in den Kostenstudien der schweizerischen Kernenergie KS06 und KS11 zu beobachten waren, sowie die sich abzeichnenden Zusatzkosten infolge der Verschiebung der Entsorgungsprogramme, nähren die Befürchtungen, dass die Kostenschätzung der Entsorgung weiterhin weder realistisch noch belastbar ist und die Kostenschätzungen der Stilllegung, des Rückbaus und vor allem der Entsorgung ausser Kontrolle sind. Mit Blick auf die neue Kostenstudie KS16 empfiehlt es sich daher, der Kostenfrage prioritär nachzugehen. Im vorliegenden Gutachten sollen darum zwei Aspekte bearbeitet werden, die für eine verbesserte Kostenschätzung erforderlich sind: zum einen soll die Kostenentwicklung in der Vergangenheit in zentralen Positionen nachgezeichnet werden, um Einblick in die Zuverlässigkeit der Prognosen zu erhalten. Zum anderen sollen Erkenntnisse aus der Literatur zu Fehlprognosen bei Kostenermittlungen soweit als möglich verwertet werden.

Arbeiten: Drei Fragestellungen werden angedacht:

- **Erstevaluation der Kostenentwicklung der Entsorgung in den letzten Jahrzehnten:** Die historische Entwicklung der Entsorgungskosten wird soweit nachprüfbar anhand der publizierten Literatur zusammengestellt. Diese Zusammenstellung dient einerseits als Nachweis für den beobachtbaren Kostenschub der nuklearen Entsorgung und andererseits als Grundlage für die Entwicklung einer Methode, die realistischere Schätzungen über die Kostenentwicklung ermöglicht.
- **Methodisches Vorgehen zur Erfassung der Entsorgungskosten im Hinblick auf die Kostenstudie KS16:** Die Kostenentwicklung in der Vergangenheit zeigt, dass es erforderlich ist, mit einer anderen Methodik an die Erfassung der Entsorgungskosten heran zu gehen. In erster Linie sollen zentrale Positionen, die bei der nuklearen Entsorgung relevant sind, erfasst werden und in einer ersten Annäherung bestimmt werden, wie realistisch die bestehende Kostenerfassungsmethodik überhaupt ist. Zudem werden die Erfahrungen mit Kostenschätzungen von Grossprojekten aus der Literatur eingearbeitet, um besser zu erklären, wo und wie Kostenschätzungen in der Vergangenheit unterschätzt wurden.
- **Auswirkungen des Weiterbetriebs der Atomkraftwerke auf 60 Jahre:** Es soll kurz ausgeleuchtet werden, was ein allfälliger Weiterbetrieb der AKW mit Laufzeiten von 60 Jahren für Konsequenzen auf die Kostenentwicklung der Entsorgung hätte, insbesondere auch die Frage, ob ein Weiterbetrieb angesichts steigender Entsorgungs-Kosten überhaupt noch rentabel ist.

2 Erstevaluation der Kostenentwicklung der Entsorgung in den letzten Jahrzehnten

Die Kostenfrage im Nuklearbereich wurde auch in der Schweiz lange Zeit vernachlässigt. Werden Publikationen aus den Jahre 1970 -1990 konsultiert, finden sich nur selten Angaben über die Entwicklung der Kosten beim sogenannten „back end“, also der Wiederaufarbeitung von Brennelementen oder nuklearen Brennstoffen und der Entsorgung der Abfälle. Eine der wenigen historischen Einschätzungen zu den Kosten der Stilllegung von Nuklearanlagen und der nuklearen Entsorgung hält dazu fest: „Es ist gegenwärtig unmöglich die genauen Kosten für die gesamten Aufwendungen für die Bewirtschaftung und die Beseitigung der radioaktiven Abfälle anzugeben“ (OFEL 1982, S. 48).¹ Damals gingen Betreiber wie auch Behörden von relativ raschen Umsetzungsszenarien für die Errichtung von Endlagern aus, etwa 10 bis 20 Jahre für die schwach- und mittelaktiven Abfälle und 20 bis 50 Jahre für die hochaktiven Abfälle (OFEL 1982, S. 49, siehe auch INA 2011, S. 2).

Im Jahr 1979 erfolgt eine Schätzung der Kosten für den Standortwahlprozess inklusiv 12 Tief-Bohrungen und Rahmenbewilligung, der mit rund 200 Millionen Franken angegeben wird (Nagra 1979a, 1979b).

Eine erste Zahl für die Kosten für Stilllegung und Entsorgung findet sich bei WWF (1983), sie ist aber nicht referenziert. WWF (1983) nennt einen Betrag von rund 2 Milliarden Franken.

Ab 1984 verbessert sich mit der Verordnung vom 5. Dezember 1983 über den Stilllegungsfonds für Kernanlagen die Datenlage bei der Stilllegung der Werke. Die Eröffnung des Stilllegungsfonds erfolgt 1985. Die Entwicklung dieser Kosten wurde via Kostenstudien 2001, 2006 und 2011 überprüft.

1992 werden wieder Zahlen für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle genannt (Nagra 1992, S. 17): rund 1.2 Mia. Fr. für das Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA) und 2.8 Mia. Fr. für das Lager für hochaktive Abfälle (HAA).

1994 erfolgt die Ermittlung der Kosten nach einheitlichen Kriterien über eine Studie des Unterausschusses Kernenergie der Überlandwerke, allerdings ohne dass konkrete Zahlensichtlich werden.

1998 wird die Entsorgung mit einem Betrag von 13.1 Mia. Fr. angegeben (Verwaltungskommission des Entsorgungsfonds 2011, S. 5).

Im Jahr 2000 berichtet das Nuklearforum Schweiz, dass „bald eine Milliarde im Stilllegungsfonds für Kernanlagen“ liegt (Nuklearforum Schweiz [2000]). Am 25 Februar 2000 verabschiedet der Bundesrat die Verordnung über den Entsorgungsfonds für Kernkraftwerke, der im Jahr 2002 eröffnet wird.

2001 wird die Entsorgung mit 13.1 Mia. Fr. veranschlagt, die Stilllegung mit 1.5 Mia. Fr. (Verwaltungskommission des Entsorgungsfonds 2001, S. 6). Dieser Berechnung zugrunde gelegt ist eine Betriebsdauer von 40 Jahren. Ab 2001 liegen die Zahlen der Jahresberichte der Kommission vor (Verwaltungskommission des Entsorgungsfonds 2001 bis 2013). Zusätzlich publiziert sind auch die Jahresrechnung (Bilanz und Erfolgsrechnung) sowie der jährliche Bericht der Kontrollstelle². Tabelle 2.1 gibt einen Überblick über die Entwicklung der Berechnungen. Hinzuweisen bleibt

- auf die unterschiedliche angenommene Dauer des Betriebs der Werke, die ab dem Jahr 2006 (Kostenstudie KS06) 50 Jahre beträgt;
- auf die Schätzungen der Jahre 2003 und 2004, welche 1.3 Milliarden tiefere Kosten ausweisen als in den Jahren zuvor.

Tabelle 2.1 fasst die Kostenentwicklung zusammen, Figur 2.1 setzt diese für die Entsorgung bildlich um.

¹ OFEL (1982), Seite 48: „Il est impossible au stade actuel d'indiquer un coût exact pour l'ensemble de la gestion et de l'élimination des déchets radioactifs.“

² siehe Jahresberichte der Verwaltungskommission unter http://www.bfe.admin.ch/entsorgungsfonds/01476/index.html?lang=de&dossier_id=01493

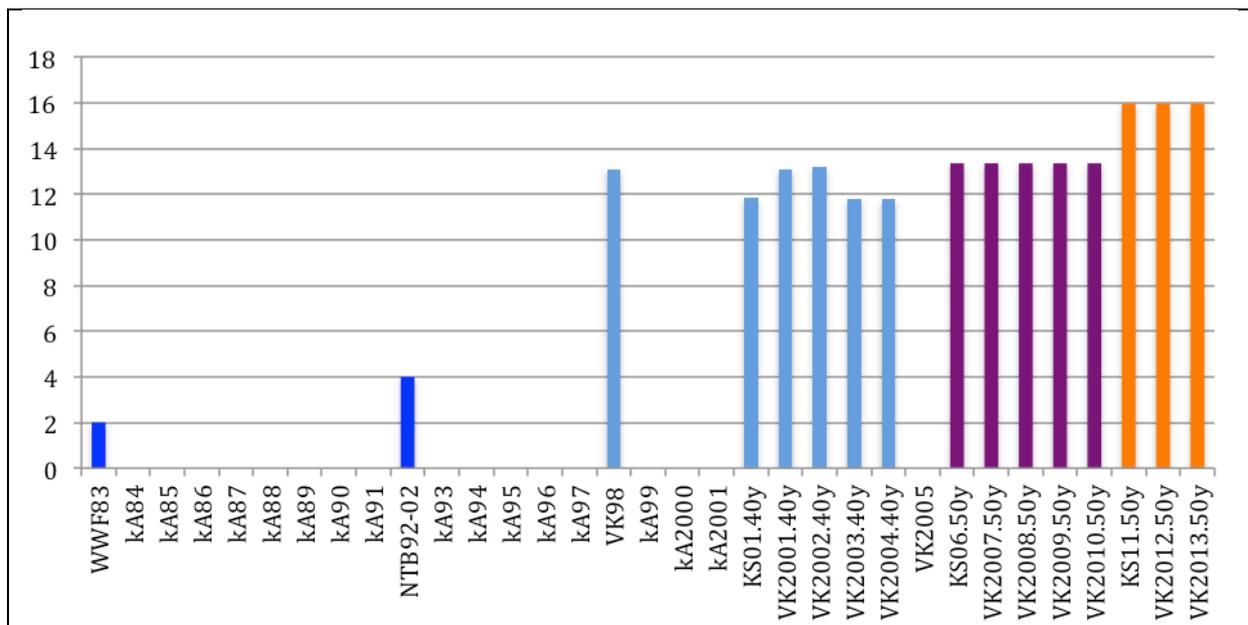
Jahr	Referenz	Betriebsdauer in Jahren	Stilllegung Mio. Fr.	Entsorgung Mio. Fr.	Total Mio. Fr.	Preisbasis
1979	Nagra, Standortwahl			200+		1979
1983	WWF				2'000	k.A
1992	Nagra			4'000		k.A
1998	VK 1998*			13'100		k.A
2001	KS01	40	1'835	11'816	13'651	2001
2001	KS01	50	1'890**	12'719	14'609	2001
2001	VK 2001*	40		13'100		1998
2002	VK 2001*	40		13'100		1998
2003	VK 2001*	40		11'800		2001
2004	VK 2001*	40		11'800		2001
2005	VK 2001*	40		k.A		k.A.
2006	KS06	50	2'192*	13.350	15'542	2006
2006	VK 2006*	50		13.350		2006
2007	VK 2007*	50		13.350		2006
2008	VK 2008*	50		13.350		2006
2009	VK 2009*	50		13.350		2006
2010	VK 2010*	50		13.350		2006
2011	KS11	50	2'974**	15.970	18'944	2011
2011	VK 2011*	50		15.970		2011
2012	VK 2012*	50		15.970		2011
2013	VK 2013*	50		15.970		2011

Tabelle 2.1: Geschätzte oder errechnete Kosten für Stilllegung und Entsorgung gemäss Kostenstudien und Berichten der Verwaltungskommission (VK), Werte Kostenschätzung KS01 aus swissnuclear (2006a/2009, 2006b/2009)

+ Nagra-Standortwahlprogramm Kristallin bis und mit Rahmenbewilligung

** Schätzung KS01 für 50 Betriebsjahre: Aufpreis von 3% gegenüber 40 Betriebsjahren (swissnuclear 2006a/2009, S. 5) k.A. = keine Angaben

* Stilllegung ZWILAG und alle AKW ** 2'541 = Wert KS06 (2'192) mit 3% jährlicher Teuerungsrate



Figur 2.1: Säulendiagramme Entsorgungskosten zwischen 1983 und 2013

Abzisse: Referenz und Jahre (siehe Abkürzungen in Tabelle 2.1); Ordinate: Angaben in Mia. Fr.

Aus der Figur 2.1 ergeben sich folgende Erkenntnisse :

- bis ins Jahr 1998 – also 28 Jahre nach Aufnahme des Vollbetriebs von Beznau 1 und 11 Jahre nach Aufnahme des Vollbetriebs von Leibstadt - gab es nur Abschätzungen aber keine Methode zur Erfassung der Kosten (blaue Balken in Figur 2.1). Erst seit Mitte der 1990er Jahre beginnen die Werke Methoden für die Berechnung der Kosten zu entwickeln.
- 1998 wird seitens der Verwaltungskommission (des Stilllegungsfonds) die Zahl von 13.1 Mia. Fr. für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle genannt. Die berechneten Entsorgungskosten haben sich seit der Schätzung der Nagra im Jahr 1992 innerhalb von 6 Jahren mehr als verdreifacht.
- Zwischen 1998 und 2005 werden die Entsorgungskosten für einen 40jährigen Betrieb der Werke berechnet. Interessant daran ist, dass die Entsorgungskosten bei den Berechnungen via Kostenstudie KS01 um rund 1.3 Mia. Fr. tiefer liegen, als die von der Verwaltungskommission berechneten Entsorgungskosten. In den Jahren 2003 und 2004 passt die Verwaltungskommission die Entsorgungskosten an und senkt diese auf das Niveau der Kostenstudie KS01.
- Die Kostenstudie KS01 rechnete für einen 50jährigen Betrieb der Werke bereits mit 12.7 Mia. Fr. Ab dem Jahr 2006 werden in den Kostenstudien Betriebszeiten von 50 Jahren aufgrund der Verordnung über den Stilllegungs- und Entsorgungsfonds zugrunde gelegt. Die ausgewiesenen Kostensteigerungen der Kostenstudie KS06 gegenüber der Kostenstudie 2001 betragen laut diesem Berechnungen rund 650 Millionen Franken in 5 Jahren (150 Mio. Fr. /a), und werden als „moderat“ eingestuft.
- Im Jahr 2011 steigen die Entsorgungs-Kosten dann stark an, von 13.35 Mia. Fr. auf 15.97 Mia.Fr., um durchschnittlich 19.625% also, und real um 2.62 Mia. Fr in 5 Jahren (= 524 Mio. Fr. / a oder rund 2 Mio. Fr. /d³).
- Die Teuerungsrate zwischen 1985 (erstmalige Einlage in den Stilllegungsfonds) und Ende 2012 betrug im Durchschnitt 1.46%/Jahr (UVEK 2013, S. 4). In der Verordnung wurde eine Teuerungsrate von 3% zugrunde gelegt. Die Teuerung im betrachteten Zeitraum zwischen 1982 und 2014 betrug gesamthaft rund 160%. Im letzten Jahrzehnt gab es de facto nur eine minimale Teuerung. Die Kostensteigerungen zwischen der KS06 und der KS11 sind also „reale“ Kostensteigerungen, die nicht inflationsbedingt sind sondern auf effektiven rechnerischen Zunahmen beruhen.

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Indexbasis:							
Dezember 2010=100 Punkte	99.5	99.0	99.7	100.0	99.3	99.1	99.0
Dezember 2005=100 Punkte	103.7	103.2	103.9	104.1	103.4	103.2	103.2
Mai 2000=100 Punkte	109.1	108.6	109.4	109.6	108.8	108.6	108.6
Mai 1993=100 Punkte	115.8	115.2	116.0	116.3	115.5	115.2	115.2
Dezember 1982=100 Punkte	160.3	159.5	160.6	161.0	159.9	159.5	159.5
September 1977=100 Punkte	199.9	198.9	200.3	200.7	199.4	198.9	198.9
September 1966=100 Punkte	337.0	335.3	337.6	338.5	336.1	335.4	335.3
August 1939=100 Punkte	761.3	757.6	762.8	764.6	759.3	757.7	757.5
Juni 1914=100 Punkte	1044.4	1039.4	1046.5	1049.0	1041.7	1039.4	1039.2
Veränderungsraten in % gegenüber:							
Vorjahr	2.4	-0.5	0.7	0.2	-0.7	-0.2	0.0

Tabelle 2.2: Jahresdurchschnittliche Teuerung, Quelle Landes-Index der Konsumentenpreise⁴

³ Berechnungsgrundlage: 250 Arbeitstage pro Jahr (d/a)

⁴ <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/05/02/blank/key/jahresdurchschnitte.html>

Aus dieser kurzen historischen Betrachtung zu den Kostenevaluationen der Vergangenheit können vier Folgerungen gezogen werden:

- die ersten Kostenschätzungen für Stilllegung und Entsorgung waren über Jahrzehnte willkürlich d.h. sie erfolgten ohne indizierte und nachprüfbare Grundlagen;
- die Branche erarbeitete über Jahrzehnte (bis Ende 1990er Jahre / 2001) keine Berechnungsgrundlagen für eine systematische Erfassung der Kosten für die Stilllegung und Entsorgung;
- die Werke waren deshalb über Jahrzehnte (bis Ende 1990er Jahre / 2001) nicht in der Lage, Rückstellungen zu tätigen, die auf robusten Berechnungsgrundlagen beruhten;
- in den vergangenen Jahren erfolgte weiterhin ein realer und überproportionaler Anstieg der Stilllegungs- und Entsorgungskosten (Vergleich Zahlen KS06 – KS11), der eine Anpassung der Verordnung für Stilllegung und Entsorgung (SEFV) zur Folge hatte; die angepasste Verordnung (Stand 1. Januar 2015) verlangt neu in Art. 8 einen Sicherheitszuschlag von 30% auf die berechneten Kosten.

3 Prüfung der Robustheit der Berechnungsgrundlagen

Im folgenden Kapitel wird die Robustheit der Berechnungsgrundlagen unter folgenden Aspekten geprüft:

1. Gesetzliche Anforderungen: was wird von Gesetzes wegen gefordert?
2. Berechnungsgrundlagen: Sind diese heute grundsätzlich nachvollziehbar?
3. Umgang mit Grundlagen: Sind Schwachstellen im Umgang mit den Berechnungsgrundlagen erkennbar?

3.1 Gesetzliche Grundlagen

Grundlagen: Die wichtigen gesetzlichen Regelungen zu den Kosten der Stilllegung und Entsorgung sind im Kernenergiegesetz festgehalten. Tabelle 3.1 fasst diese Regelungen im Kernenergiegesetz zusammen. Zusätzlich wurden die Regelungen in der Kernenergieverordnung zusammengestellt (Tabelle 3.2). In der Stilllegungs- und Entsorgungsverordnung sind weitere Elemente für die Regelung der Kosten im Bereich der Stilllegung und der nuklearen Entsorgung enthalten (Tabelle 3.3).

Kommentar: Zusammenfassend lassen sich folgende wichtige Erkenntnisse aus dem Studium der Gesetzestexte gewinnen:

- Der Abfallverursacher (Entsorgungspflichtige) hat sämtliche Kosten für Stilllegung und Entsorgung zu tragen. Wichtig ist vor allem der Zusatz, dass die Abfälle „sicher zu entsorgen“ sind, was bedeutet, dass die Sicherheit als prioritär anzusehen ist, also Vorrang hat. Diese Sicht wird gestützt durch die Absichtserklärungen der wichtigen Handlungsträger wie die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra), das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (Ensi) oder das Bundesamt für Energie (BFE)⁵.
- Der Bund ist von Gesetz wegen verpflichtet, die Kosten für die Stilllegung und Entsorgung zu übernehmen, wenn die Abfallproduzenten nicht mehr dafür bezahlen können. Er hätte darum alles Interesse an einer umfassenden Kostenerhebung, welche auch die bereits sichtbaren Schwachstellen in der Finanzierung offenlegt; auch wenn die Solidarhaftung zwischen den Werken nach Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung (Art. 80, Nachschusspflicht) das Risiko für den Bund mindert, dafür jenes der Werke (Ausfallrisiko) erhöht.
- Alle Kosten für Stilllegung und Entsorgung sind laut KEG gesichert (Art 31, 77). Fehlen Gelder zur Deckung der Kosten, sind diese nachzuschüssen (Art 79, 80). Es ist darum zentral, die Kosten für Stilllegung und Entsorgung möglichst realistisch einzuschätzen und Unsicherheitsbereiche und Höhe von Fehlbeträgen schon heute klar auszuweisen.
- Die Kostenevaluationen gehen durchwegs von Schönwetter-Szenarien aus. Störfälle oder ein frühzeitiges Abschalten der Produktionswerke werden nicht in Betracht gezogen. Mögliche Unsicherheiten bei der künftigen Finanzierung werden via Nachschusspflicht erledigt, in der Hoffnung, es komme nie soweit. Die Kostenentwicklung lässt anderes erwarten (siehe Figur 2.1). Hinzu kommt, dass das Problem der Rückholung der Abfälle aus einem Tiefenlager nicht einmal thematisiert wurde, obschon die Rückholbarkeit im KEG (insb. Art 37) und in der KEV (insb. Art 11, 67) vorgeschrieben sind⁶. Die internationalen Erfahrungen mit Endlagern zeigen, dass die Frage der Rückholung von grosser Bedeutung und Aktualität ist. Alle drei bisher weltweit realisierten Endlager für

⁵ Bundesamt für Energie, newsletter Tiefenlager, Nr. 10, Oktober 2013, Seite 1: „... die Sicherheit ist nicht verhandelbar“.

⁶ Art. 67 Ziffer 2: Der Eigentümer eines geologischen Tiefenlagers hat ... „ die Verfüllung so vorzunehmen, dass die Langzeitsicherheit gewährleistet und eine Rückholung der Abfälle ohne grossen Aufwand möglich ist. “

radioaktive Abfälle Morsleben BRD, Asse BRD, WIPP USA) sind havariert, die Abfälle in der Asse sollen wieder zurückgeholt werden. Es wird mit Kosten von bis zu 6 Milliarden Euro gerechnet.

- Die Kernenergieverordnung (KEV) präzisiert einzelne Punkte des KEG. Insbesondere legt sie fest, dass die Entsorgungspflichtigen im Entsorgungsprogramm die Grundlagen für die Tiefenlager festzulegen haben (Abfälle, Mengen, Charakteristiken, Auslegungskonzept, Zuteilung der Abfälle, Realisierungspläne für die Erstellung der Tiefenlager und Angaben zur Zwischenlagerung [Dauer, Kapazitäten]). Auf dieser Grundlage soll ein Finanzplan erstellt werden und die Höhe der Kosten berechnet werden. Zwei Grundprobleme werden hier sichtbar: erstens fehlen Erfahrungswerte für Bau, Betrieb, Verschluss und Nachsorge von Tiefenlagern für radioaktive Abfälle, die über viele Generationen erstellt und betrieben werden müssen; zweitens lassen sich die Randbedingungen für die Sicherheit eines Tiefenlagers heute noch gar nicht charakterisieren, weil die geologischen Verhältnisse im Untergrund noch gar nicht bekannt sind. Die Lagerkonzeptionen sind heute bestenfalls angedacht, aber experimentell nicht überprüft.
- Bei Atomkraftwerken sind Nachsorgeleistungen nach dem Abschalten vorgesehen [Brennelement-Management]. Mit dem Verschluss eines Tiefenlagers geht die Übernahme für die Langzeitsicherheit an die öffentliche Hand über, unabhängig davon, ob noch Massnahmen zur Überwachung des Lagers angeordnet werden.⁷ Da heute nicht abzusehen ist, was künftig überwacht werden soll, ist eine Berechnung dieser Kosten und deren Rückstellung kaum möglich;
- Wie soll aber nachgeschossen werden, wenn die Kosten unterschätzt wurden und die Kraftwerke abgestellt beziehungsweise diese Gesellschaften aufgelöst sind? Die Antwort des Bundesrats vom 20. Mai 2015 auf die Interpellation 15.3479 Regula Rytz vom 6. Mai 2015 lässt erkennen, wer schliesslich die Kosten übernehmen muss: „Ist diese Kostenübernahme wirtschaftlich nicht tragbar, beschliesst die Bundesversammlung, ob und in welchem Ausmass sich der Bund an den nicht gedeckten Kosten beteiligt.“

3.2 Berechnungsgrundlagen

Die Frage, die sich im Anschluss an die Ausleuchtung der Gesetzesgrundlagen stellt, ist die, wie die Kosten für die Stilllegung und die Entsorgung berechnet werden und ob diese nachvollziehbar sind.

Wie der kurze historische Rückblick in Kapitel 2 zeigt, wurden die Kosten bis Ende der 1990er Jahre über den Daumen geschätzt. Erst an 1998 und vor allem ab den Kostenstudien 2001 hat die Nuklear-Branche systematischere Grundlagen für die Ermittlung der Kosten erarbeitet. Die Kostenstudien wurden 2006 (swissnuclear 2006a/2009; 2006b/2009; 2006c/2009) und 2011 (swissnuclear 2011a, b, c, d) wiederholt und sind auf dem Netz aufgeschaltet. Die Kostenstudie KS01 aus dem Jahr 2001 findet sich nicht auf dem Netz. Begründet wird dies dadurch, dass das Bundesgesetz über das Öffentlichkeitsprinzip der Verwaltung (BGÖ) erst 2004 in Kraft trat.

Die Berechnungsgrundlagen für Stilllegung und Entsorgung wurden kurz geprüft.

Stilllegung und Rückbau: In Bezug auf die Berechnungen der Stilllegungs- und Rückbaukosten sind folgende Aspekte zu beachten:

- Bei den Berechnungen der Stilllegungs- und Rückbaukosten einer Anlage sind bedeutend mehr Erfahrungen vorhanden, als bei der Berechnung einer völlig neuen Anlage wie das Tiefenlager;

⁷ Die Verantwortlichkeiten nach Verschluss der Endlager werden in der Regel nicht thematisiert. Eine Ausnahme bildet der Bericht „Die nukleare Entsorgung in der Schweiz“, 9. Februar 1978 (<http://www.nagra.ch/de/cat/publikationen/aeltere-publikationen/downloadcenter.htm>), der auf Seite 35 festhält: „Ein versiegeltes Endlager kann schliesslich aus der Bewilligungspflicht entlassen und vom Bund übernommen werden. Eine solche Übernahme bringt keine finanziellen Risiken für den Staat.“

Kosten nukleare Entsorgung Schweiz: eine erste Evaluation des Systems der Kostenberechnung

Kernenergiegesetz 21. März 2003 (1. Januar 2009)	Gegenstand	Kommentare / Nicht geregelte Fragen
Artikel 27 Absatz 1 Artikel 27 Absatz 2	Der Eigentümer der Anlage muss den Aufsichtsbehörden ein Projekt für die vorgesehene Stilllegung vorlegen. Das Projekt legt dar: ... f. die Gesamtkosten sowie die Sicherstellung der Finanzierung durch die Betreiberin.	Gesetzliche Grundlage für die Erfassung und für die Sicherstellung der Kosten der Stilllegung
Artikel 31 Absatz 1	Wer eine Kernanlage betreibt oder stilllegt, ist verpflichtet, die aus der Anlage stammenden radioaktiven Abfälle auf eigene Kosten sicher zu entsorgen.	Zentraler Grundsatz bezüglich der Übernahme aller Kosten durch den Abfallverursacher. Die Entsorgung hat sicher zu erfolgen.
Artikel 31 Absatz 1	Zur Entsorgungspflicht gehören auch die notwendigen Vorbereitungsarbeiten wie Forschung und erdwissenschaftliche Untersuchungen sowie die rechtzeitige Bereitstellung eines geologischen Tiefenlagers.	Nach Verschluss sind keine Aufwendungen vorgesehen (keine Nachsorge). Nachsorgekosten würden heute zu Lasten des Bundes gehen.
Artikel 31 Absatz 2	Die Entsorgungspflicht ist erfüllt, wenn a. die Abfälle in ein geologisches Tiefenlager verbracht worden sind und die finanziellen Mittel für die Beobachtungsphase und den allfälligen Verschluss sichergestellt sind; b. die Abfälle in eine ausländische Entsorgungsanlage verbracht worden sind.	Wichtiger Artikel. Die Koppelung an die Nachschusspflicht im Inland sollte klarer herausgestrichen werden. Die Bedingungen und die Nachschusspflicht für ein Endlager im Ausland sind zu präzisieren (Art. 80).
Art. 33 Absatz 1	Der Bund entsorgt a. die radioaktiven Abfälle die nach Artikel 27 Absatz 1 des Strahlenschutzgesetzes abgeliefert worden sind; b. die übrigen radioaktiven Abfälle auf Kosten des Entsorgungsfonds, wenn der Entsorgungspflichtige seinen Pflichten nicht nachkommt.	Der Bund ist verpflichtet, die gesamte Entsorgung zu übernehmen, wenn die Entsorgungspflichtigen nicht mehr selber in der Lage sind. Die Frage stellt sich aber, ob der Entsorgungsfonds dann reicht (z.B. im Fall von Konkursen).
Art. 77 Absatz 1	Der Stilllegungsfonds stellt die Finanzierung der Stilllegung und des Abbruchs von ausgedienten Kernanlagen sowie der Entsorgung der dabei entstehenden Abfälle (Stilllegungskosten) sicher.	Die bedeutet Volldeckung.
Art. 77 Absatz 2	Der Entsorgungsfonds stellt die Finanzierung der Entsorgung der radioaktiven Betriebsabfälle und abgebrannten Brennelemente nach Ausserbetriebnahme der Kernanlagen (Entsorgungskosten) sicher.	Die bedeutet Volldeckung.
Art. 77 Absatz 3	Die Eigentümer von Kernanlagen leisten Beiträge an den Stilllegungs- und an den Entsorgungsfonds. Der Bundesrat kann Eigentümer von Anlagen mit geringen Stilllegungs- und Entsorgungskosten von der Beitragspflicht befreien.	Z. B. Forschungsreaktoren
Art 78 Absatz 1	Ansprüche: Jeder Beitragspflichtige hat gegenüber den Fonds einen Anspruch im Umfang seiner geleisteten Beiträge, einschliesslich des Kapitalertrags und abzüglich des Aufwands. Dieser Anspruch kann nicht veräussert, verpfändet, gepfändet oder zur Konkursmasse gezogen werden.	
Art 78 Absatz 2	Ansprüche: Übersteigt der Anspruch eines Beitragspflichtigen gegenüber einem Fonds die geleistete Zahlung, wird ihm der Überschuss innerhalb eines Jahres nach der Schlussabrechnung zurückerstattet.	
Art 78 Absatz 3	Ansprüche: Wird eine Kernanlage aus einer Konkursmasse übernommen, geht der Anspruch gegenüber den Fonds auf den neuen Eigentümer über; dieser hat diejenigen Beiträge zu leisten, welche die konkursite Gesellschaft den Fonds schuldet.	Wer anders als der Bund oder die Eigentümer-Kantone werden eine konkursites Kraftwerk übernehmen?

Tabelle 3.1 (1): Artikel des Kernenergiegesetzes, welche Kostenfragen regeln

Kosten nukleare Entsorgung Schweiz: eine erste Evaluation des Systems der Kostenberechnung

Kernenergiegesetz 21. März 2003 (1. Januar 2009)	Gegenstand	Kommentare / Nicht geregelte Fragen
Art 78 Absatz 4	Wird die Gesellschaft nach Abschluss eines Konkursverfahrens mit Zustimmung des Departements im Handelsregister gelöscht und wird die Anlage nicht von einer anderen Gesellschaft übernommen, so fallen die eingezahlten Beiträge an die Fonds. Die Fonds verwenden diese Mittel zur Finanzierung der Stilllegungs- und Entsorgungsarbeiten für die betreffende Anlage. Der Bundesrat legt fest, wie ein allfälliger Überschuss verwendet wird.	Schönwetter Szenario. Der realistische Fall, dass die Fonds unterdotiert sind, wird nicht erwogen.
Art. 79 Absatz 1	Leistungen der Fonds: Reicht der Anspruch eines Beitragspflichtigen zur Deckung der Kosten nicht aus, deckt dieser die verbleibenden Kosten aus seinen Mitteln.	Im Falle eines Konkurses hinfällig.
Art. 79 Absatz 2	Weist der Beitragspflichtige nach, dass seine Mittel nicht ausreichen, deckt der Stilllegungs- oder der Entsorgungsfonds die verbleibenden Kosten mit den gesamten Mitteln. Dies gilt ebenfalls im Falle von Artikel 78 Absatz 4.	Der Fall der Unterdotierung der Fonds ist nicht geregelt.
Art. 79 Absatz 3	Der Entsorgungsfonds deckt die Kosten, die dem Bund durch die Entsorgungsleistungen nach Artikel 33 Absatz 1 Buchstabe b entstehen, aus den Beiträgen, die der Entsorgungspflichtige in den Fonds einbezahlt hat. Reichen diese Beiträge nicht aus, deckt der Fonds die verbleibenden Kosten mit seinen gesamten Mitteln.	Der Fall der Unterdotierung des Entsorgungs-Fonds ist nicht geregelt.
Art. 80 Absatz 1	Nachschusspflicht: Übersteigen die Zahlungen eines Fonds zu Gunsten eines Berechtigten dessen Anspruch, muss dieser dem Fonds den Differenzbetrag samt einem marktüblichen Zins zurückbezahlen.	
Art. 80 Absatz 2	Kann der Berechtigte die Rückerstattung innert einer vom Bundesrat festzulegenden Frist nicht leisten, so müssen die übrigen Beitragspflichtigen und Anspruchsberechtigten des entsprechenden Fonds den Differenzbetrag im Verhältnis ihrer Beiträge durch Nachschüsse decken.	
Art. 80 Absatz 3	Die Nachschusspflicht besteht auch: a. im Fall von Artikel 78 Absatz 4, wenn die an den Fonds verfallenen Gelder zur Deckung der Stilllegungs- oder Entsorgungskosten nicht ausreichen; b. im Fall von Artikel 79 Absatz 3, wenn der Entsorgungspflichtige den Differenzbetrag nicht dem Fonds zurückerstattet.	Wichtiger Artikel: Im Falle von Buchstabe a. liegt die Nachschusspflicht wieder bei der öffentlichen Hand (Bund oder Eigentümer-Kantone, siehe dazu Parallelitäten bei den konventionellen Altlasten).
Art. 80 Absatz 4	Ist die Deckung des Differenzbetrages für die Nachschusspflichtigen wirtschaftlich nicht tragbar, beschliesst die Bundesversammlung, ob und in welchem Ausmass sich der Bund an den nicht gedeckten Kosten beteiligt.	
Art. 82 Absatz 1	Sicherstellung der Finanzierung der übrigen Entsorgungstätigkeiten: Für die vor der Ausserbetriebnahme der Kernanlagen anfallenden Entsorgungskosten müssen die Eigentümer Rückstellungen entsprechend Artikel 669 des Obligationenrecht und gestützt auf die Berechnung der Entsorgungskosten des Entsorgungsfonds vornehmen.	Und falls die Anlage vorzeitig ausser Betrieb geht?
Art. 82 Absatz 1	Für die vor der Ausserbetriebnahme der Kernanlagen anfallenden Entsorgungskosten müssen die Eigentümer Rückstellungen entsprechend Artikel 669 des Obligationenrechts und gestützt auf die Berechnung der Entsorgungskosten des Entsorgungsfonds vornehmen.	Und falls die Anlage vorzeitig ausser Betrieb geht?

Tabelle 3.1 (2): Artikel des Kernenergiegesetzes, welche Kostenfragen regeln

Kosten nukleare Entsorgung Schweiz: eine erste Evaluation des Systems der Kostenberechnung

Kernenergieverordnung 10. Dezember 2004 (1. Mai 2012)	Gegenstand	Kommentare / Nicht geregelte Fragen
Art. 45 Buchstabe j.	<p>Projektunterlagen: Der Stilllegungspflichtige hat folgende Unterlagen zum Stilllegungsprojekt einzureichen:</p> <p>j. die Zusammenstellung sämtlicher aus der Stilllegung anfallender Kosten, inklusive für die Entsorgung der radioaktiven und nicht radioaktiven Abfälle und die Sicherstellung der Finanzierung.</p>	korrekte Berechnung der Stilllegungskosten aufgrund von Erfahrungswerten ist vorzunehmen
Art. 52 Absatz 1	<p>Entsorgungsprogramm: Die Entsorgungspflichtigen haben im Entsorgungsprogramm Angaben zu machen über:</p> <p>f. den Finanzplan für die Entsorgungsarbeiten bis zur Ausserbetriebnahme der Kernanlagen, mit Angaben über:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. die zu tätigen Arbeiten; 2. die Höhe der Kosten; 3. die Art der Finanzierung; 	Problem der Berechnung der Entsorgungskosten, keine oder schlechte Erfahrungswerte (z.B. Waste Isolation Pilot Plant WIPP New Mexico)
Art. 62	<p>Rahmenbewilligungsgesuch</p> <p>Der Gesuchsteller für eine Rahmenbewilligung für ein geologisches Tiefenlager hat zusätzlich zu den Gesuchsunterlagen nach Artikel 23 einen Bericht mit folgenden Angaben einzureichen:</p> <ol style="list-style-type: none"> a. einen Vergleich der zur Auswahl stehenden Optionen hinsichtlich der Sicherheit des geplanten Tiefenlagers; b. eine Bewertung der für die Auswahl des Standorts ausschlaggebenden Eigenschaften; c. die Höhe der Kosten. 	Problem der Berechnung der Entsorgungskosten, insbesondere, wenn Lagerauslegungsvarianten geprüft werden sollten

Tabelle 3.2: Artikel der Kernenergieverordnung (KEV), welche Kostenfragen regeln

Stilllegungs- und Entsorgungsverordnung 7. 12. 2007 (01.01.2015)	Gegenstand	Kommentare / Nicht geregelte Fragen
Art 2 Absatz 2	<p>Zu den Stilllegungskosten gehören namentlich die Kosten für:</p> <ol style="list-style-type: none"> a. anlagentechnische Vorbereitung für die Stilllegung; b. Einschluss, Unterhalt und Bewachung der Anlage; c. Dekontamination oder Demontage und Zerkleinerung der aktivierten und kontaminierten Teile; d. Transport und Entsorgung der bei der Stilllegung anfallenden radioaktiven Abfälle; e. Abbruch der Gebäude und Deponie der inaktiven Abfälle; f. Planung, Projektierung, Projektleitung und Überwachung; g. Strahlen- und Arbeitsschutzmassnahmen; h. behördliche Bewilligungen und Aufsicht; i. Versicherungen; j. Verwaltungskosten. 	<p>Die Zwischenlagerung und die Konditionierung der radioaktiven Abfälle sind nicht explizit aufgeführt.</p>
Art 3 Absatz 2	<p>Zu den Entsorgungskosten gehören namentlich die Kosten für:</p> <ol style="list-style-type: none"> a. den Transport und die Entsorgung der radioaktiven Betriebsabfälle; b. den Transport, die Wiederaufarbeitung und die Entsorgung der abgebrannten Brennelemente; c. eine Beobachtungsphase von 50 Jahren für ein geologisches Tiefenlager; d. Planung, Projektierung, Projektleitung, Bau, Betrieb, Rückbau und Überwachung von Entsorgungsanlagen; e. Strahlen- und Arbeitsschutzmassnahmen; f. behördliche Bewilligungen und Aufsicht; g. Versicherungen; h. Verwaltungskosten. 	<p>Explizit nicht erwähnt sind hier zwei kostenrelevante Faktoren:</p> <ul style="list-style-type: none"> - die Beobachtungsphase über 50 Jahre (vor Verschluss) - der Rückbau (= Bergung und Rückholung) <p>Nicht explizit erwähnt sind ausserdem:</p> <ul style="list-style-type: none"> - die Zwischenlagerung über lange Zeiträume - Konditionierungen und Re-Konditionierungen von Abfällen
Art 4	<p>Berechnung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten</p> <p>¹ Die voraussichtliche Höhe der Stilllegungs- und Entsorgungskosten wird alle fünf Jahre gestützt auf die Angaben des Eigentümers für jede Kernanlage berechnet, erstmals bei der Inbetriebnahme.</p> <p>² Sie werden zudem neu berechnet, wenn:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. eine Kernanlage endgültig ausser Betrieb genommen wird; 2. infolge unvorhergesehener Umstände eine wesentliche Änderung der Kosten zu erwarten ist. <p>³ Sie werden gestützt auf das Entsorgungsprogramm und aktuellen technisch wissenschaftlichen Erkenntnissen sowie auf die im Zeitpunkt der Berechnung gültigen Preise ermittelt.</p>	<p>Zu Ziffer 1: Die Berechnung der Kosten erfolgte 17 (Leibstadt) bis 31 Jahre (Beznau 1) nach Inbetriebnahme gestützt auf Angaben der Eigentümer.</p> <p>Zu Ziffer 2: Eine Neuberechnung kann auch erfolgen, wenn wesentliche Änderungen der Kosten zu erwarten sind.</p>
Art 7	<p>Dauer der Beitragspflicht: Die Beitragspflicht beginnt mit der Inbetriebnahme und endet mit der Ausserbetriebnahme der Kernanlage.</p>	<p>Mehrkosten nach Ausserbetriebnahme sind kaum mehr von den Entsorgungspflichtigen einzutreiben.</p>
Art 8	<p>Bemessung der Beiträge:</p> <p>¹ Die Berechnung der Beiträge erfolgt aufgrund eines finanzmathematischen Modells für jede Anlage einzeln.</p> <p>² Als Berechnungsgrundlage wird für die Kernkraftwerke eine Betriebsdauer von 50 Jahren angenommen. Kann ein Kernkraftwerk länger betrieben werden, passt das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (Departement) die Berechnungsgrundlage an.</p>	<p>Zu Ziffer 1: Annahmen und Risikoermittlung durch ein solches Modell müssten überprüft werden.</p> <p>Zu Ziffer 2: Die Laufzeitverlängerung von 40 auf 50 Jahre erfolgte zwischen den Kostenstudie 2001 (KS01) und 2006 (KS06).</p>

	<p>³ Die für die Entsorgungsanlagen anzunehmende Betriebsdauer ist im Entsorgungsprogramm festzulegen.</p> <p>⁴ Die Höhe der Beiträge bemisst sich nach:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. den berechneten Stilllegungs- und Entsorgungskosten, unter Berücksichtigung der Entwicklung der Kosten und des jeweiligen Fondsvermögens bis zum Abschluss der Stilllegungs- bzw. Entsorgungsarbeiten; b. den Verwaltungskosten der Fonds; c. der Anlagerendite vom angesammelten Kapital sowie der Teuerungsrate. <p>⁵ Es werden eine Anlagerendite von 5 % (nach Abzug der Kosten für die Vermögensbewirtschaftung inkl. Bankgebühren und Umsatzabgaben) und eine Teuerungsrate von 3 % zugrunde gelegt.</p>	<p>Zu Ziffer 3: Das Entsorgungsprogramm ist ein Schlüsseldokument für die Zeitplanung.</p> <p>Zu Ziffer 4: Die effektiven Kosten werden erst nach Abschluss der Entsorgung sichtbar, mindestens 2 Generationen nach der Ausserbetriebnahme der Produktionswerke.</p> <p>Zu Ziffer 5: Renditen 2015: << 5%* Teuerung in der revidierten SEFV, Art. 8a: 1.5% Jahresteuern 2014: 0%, Prognose 2015: - 1%.** (siehe auch Tabelle 2.2)</p>
Art 19	<p>Rückstellungen für Entsorgungskosten vor Ausserbetriebnahme der Kernkraftwerke Art. 19</p> <p>¹ Die Eigentümer unterbreiten der Kommission für die vor Ausserbetriebnahme der Kernkraftwerke anfallenden Entsorgungskosten den Rückstellungsplan zur Genehmigung.</p> <p>² Sie legen der Kommission zudem den Prüfbericht der Revisionsstelle über die Einhaltung des Rückstellungsplanes und die zweckgebundene Verwendung von Rückstellungen vor.</p>	<p>Die Kommission verfügt über sehr grosse Entscheidungsbefugnis in Kostenfragen. Die Frage, ob die Kommission über Fachkompetenz im Entsorgungsbereich verfügt, ist zu prüfen.</p>
Art 20 bis 28	<p>Organisationsfragen. Art 21 legt fest:</p> <p>¹ Der Kommission gehören höchstens neun Mitglieder an.</p> <p>² Die Eigentümer haben Anspruch auf eine angemessene Vertretung, höchstens aber auf die Hälfte der Kommissionssitze.</p> <p>³ Die Kommission kann Fachleute beiziehen.</p>	<p>Bis 2014 waren ENSI und BFE in der Kommission</p>

Tabelle 3.3: Artikel der Verordnung über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds (SEFV), welche Kostenfragen regeln

* <http://www.fuw.ch/article/thema-der-woche-17-2015/>

**<http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/05/02.html>

- Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH, Alzenau (BRD), welche die Berechnungen der Stilllegungs- und Rückbaukosten ausgeführt hat, konnte auf Erfahrungswerte aus dem Rückbau von Atomanlagen in der Bundesrepublik zurückgreifen (siehe Liste der rückgebauten Werke in swissnuclear 2011a, S. 13).
- die wesentlichen Einflussfaktoren für Stilllegung und Rückbau einer Atomanlage (Anlagecharakter, Abfallinventar, Rückbauarbeiten, Transporte usw.) lassen sich aufgrund der Erfahrungswerte im Ausland soweit erfassen, dass einigermaßen realistische Kostenschätzungen möglich sind. Kostenabweichungen können im Bereich von wenigen 10% liegen, eventuell auch bis zu einem Faktor zwei betragen, sich aber nicht wie bei der Entsorgung vervielfältigen. Dennoch lassen die publizierten Unterlagen eine Prüfung der Kosten des Rückbaus nur sehr beschränkt zu.

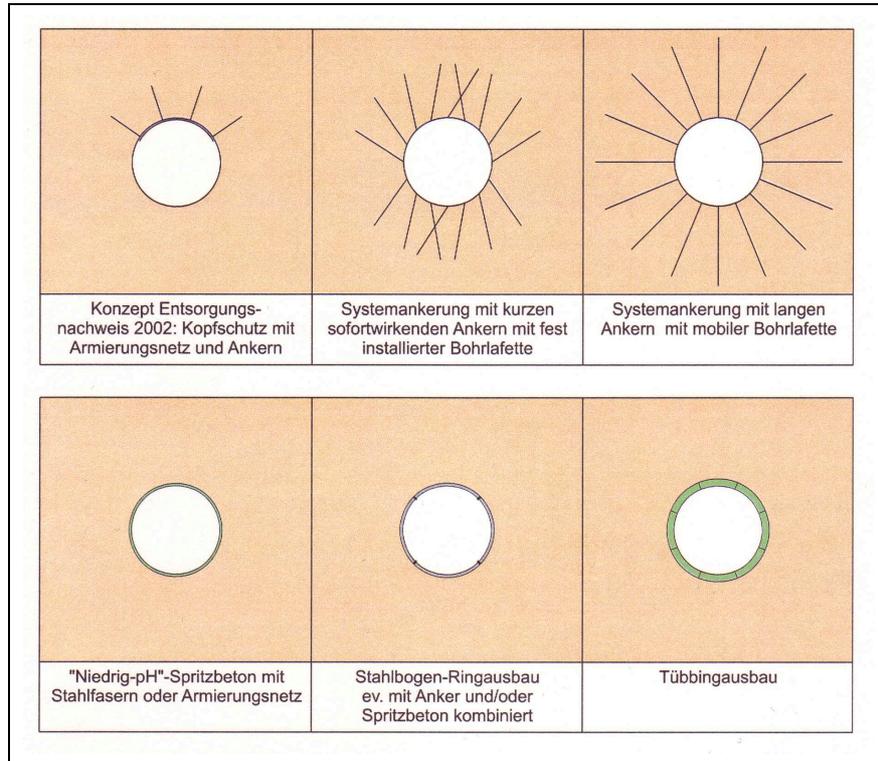
Trotzdem bleiben eine Anzahl kostenrelevanter Feststellungen und Fragestellungen offen:

- bei Risikoanlagen wie Atomkraftwerken wird der Abschaltungstermin letztlich vom einwandfreien Funktionieren der Anlage in einem stabilen Marktumfeld bestimmt. Treten Störungen oder schwere Unfälle auf, sind Alterserscheinungen an den Anlagen sicherheitsrelevant oder treten grundlegend veränderte Marktbedingungen ein, ist eine vorzeitige Ausserbetriebnahme des Werkes jederzeit möglich. Ein solches Szenario wird aber in Kostenstudien nicht in Betracht gezogen;
- gerade bei älteren Werken sind diese Faktoren ausschlaggebend, umso mehr als die Erfahrungen beim Betrieb von Atomanlagen mit mehr als 50 Jahre Betriebsdauer begrenzt sind;
- treten Schwierigkeiten bei der Nachbetriebsphase und dem Entladen und Abtransportieren der abgebrannten Brennelemente auf, wirken sich verzögerte Zeitpläne direkt auf die Kosten der Stilllegung und des Rückbaus der Werke aus; der veranschlagte Zeitplan von 5 Jahren für die Nachbetriebsphase wird als knapp beurteilt (insb. bei Werken mit MOX-Brennelementen);
- die Kostenstudie 2011 (KS11) für die Stilllegung und den Rückbau hat auch auf die verschiedenen technischen Schwierigkeiten beim Rückbau (Umfang und Dauer, siehe swissnuclear 2011a, S. II, S. 82/83) hingewiesen;
- schwere Störfälle und Unfälle hätten katastrophale Folgen für die Stilllegung, die Dekontamination und die Sicherung der havarierten Anlage. Diese Feststellung, dass die Kosten dann nicht kalkulierbar sind, gehört ebenfalls in eine Kostenstudie und ist für die Abschätzung des Finanzrisikos einer Anlage und Technologie ausschlaggebend.

Entsorgungskosten: Die Kosten für die Entsorgung sind bedeutend schwieriger zu erfassen. Dies hat insbesondere folgende Gründe:

- das System „Tiefenlager“ steht erst in einer frühen Projektierungsphase, die weitreichende Projektänderungen erwarten lässt. Heute werden weltweit Varianten des schwedischen KBS-Endlager-Konzepts verfolgt. Ob diese Konzeption bautechnisch und betrieblich so umsetzbar ist, wie von den Betreibern erwartet, kann heute insbesondere für Lager für hoch radioaktive Abfälle nicht beurteilt werden.
- das System „Tiefenlager Schweiz“ im Opalinuston ist eine angepasste Variante des Gewähr-Projektes im kristallinen Grundgebirge der Nordostschweiz mit reduzierten Längen der Lagerstollen (von 1600 m auf 800 m). Die Stabilitäts-Verhältnisse im grundsätzlich standfesten Kristallin sind nur beschränkt übertragbar auf ein semi-plastisches Gestein wie dem Opalinuston. Beispiele für solche – kostenrelevanten – baulichen Verstärkungsmassnahmen bei der Anpassung des Kristallin-Konzepts auf den Opalinuston sind aus Figur 3.2 ersichtlich. Die Planungen für die Lagerkonzeptionen (Lagerauslegung, Dimensionen und Geometrie, Ausbaustandard, industrielle Umsetzung, Platzierungstechnik bei realen Abfällen usw.) dürften noch einen langen Weg haben, bis sie im industriellen Massstab angewendet

werden können, wie dies auch die Erfahrungen beim Auffahren und Stabilisieren des 50m-Stollens FE-Experiments im Forschungslabor Mont-Terri im Kanton Jura bestätigen.



Figur 3.2: Stabilisierungsmassnahmen in Stollen (Querschnitte), oben links das ursprüngliche Konzept des Entsorgungsnachweises 2002 der Nagra, andere Bilder mögliche Varianten für die Stabilisierung der Stollen (von Systemankern bis Ringausbauten oder einer Kombination derselben, aus Nagra 2010).

- der Betrieb eines Tiefenlagers lässt sich - was die nicht-nuklearen Bereiche anbelangt - besser abschätzen (z.B. Erfahrungen beim Betrieb und Wartung/Unterhalt von Bergwerken über 200 Jahre). Hingegen sind die Erfahrungen beim Betrieb von nuklearen Anlagen im Tiefuntergrund nur sehr beschränkt und die Kosten des Langzeitbetriebs damit grossen Unsicherheiten ausgesetzt (siehe unten). Das Risikomanagement bei einer Alterung der Anlage ist ebenfalls kostenrelevant. Hinzu kommen Sicherheitsanlagen und -dispositive, welche mit einem konventionellen Bergwerk oder einem Tunnel nicht zu vergleichen sind (spezielle Ventilationen insb. im Fall von Bränden, Hochleistungsfiler für radioaktive Aerosole, Explosionen oder Wassereintrich, Strahlenschutz-Vorrichtungen für das Personal, Robotik für die Platzierung von Abfallgebinden und den laufenden Verschluss von Einlagerungsabschnitten usw.).

Die betrieblichen Schwierigkeiten bei den heute havarierten Endlagern (insbesondere Asse aber auch WIPP) zeigen, dass die bisherigen Konzeptionen des Systems „Tiefenlager“ nicht adäquat und der Betrieb der Anlagen in Sicherheitsfragen mangelhaft war (DOE 2014a, 2014b, Möller 2009). Solche Störfallsituationen führen auch deshalb zu Komplikationen und massiv höheren Kosten, weil die Einstellung des Betriebs auch auf die Belieferung der Abfälle zurückschlägt, was zu Rückstau-Problemen führt (= längere Zwischenlagerung der Abfälle, beziehungsweise Neubewertung von Konditionierungsmassnahmen);

- Der Zeitraum für den Betrieb des Pilotlagers ist nirgends verbindlich definiert und kann erst im Laufe des Betriebs des Pilotlagers präziser festgelegt werden. Der von der Nagra angegebene Zeitraum von 50 Jahren ist als Minimalvariante anzusehen. EKRA (2000, S. 55), auf deren Vorstellungen das KEG und die gesamte Entsorgungskonzeption der Schweiz beruht, ist von bis zu 100 Jahren oder mehr Offenhaltung ausgegangen und präzisierte, dass die Entscheidung in der Hand künftiger Generationen liege. Der Zeitpunkt des definitiven Verschlusses der Anlage mit den entsprechenden Aufwendungen für Wartung, Unterhalt und Überwachung ist dehnbar und damit kostenrelevant.
- Das Anlieferungs- und Verpackungskonzept ist sehr viel anspruchsvoller als im Zwiilag, weil der Zustand der Abfälle nach mehreren Jahrzehnten Lagerzeit nicht bekannt ist. Es ist damit zu rechnen, dass die Umpackung von Abfällen zusätzliche Arbeiten in der „heissen Zelle“ erfordert (insb. bei abgebrannten Brennelementen), inklusive Rekonditionierungen oder Neuverpackungen vor Ort, welche wiederum kostenrelevant sind.
- Es sind zudem Kosten zu betrachten, welche sich durch längere Betriebs- und Zwischenlagerungszeiten ergeben können. Diese betreffen die Qualität der Gebinde und Abfallverpackungen auswirken (Korrosion, bei Abfällen mit Organika: Gasproduktion und Blähungen von Fässern, bei Brennelementen und Jahrzehntelanger Zwischenlagerung Schäden der Hüllrohren durch Temperatur/Strahlung usw.). Solche Effekte können kostenmässig relevant sein, insbesondere wenn eine Neubehandlung und -konditionierung anstehen würde.
- Weitere Unsicherheitsfaktoren ergeben sich aus den Zeitverschiebungen bei der Umsetzung der Programme. Dieser Faktor wird separat in Kapitel 3.3 beleuchtet.

Effekte: Wichtigste Folgerung aus den bisherigen Betrachtungen zu den Berechnungsmethoden und -grundlagen ist, dass sich die Kosten des heute ins Auge gefassten Stilllegungs- und Entsorgungssystems auf der bestehenden Basis nicht genügend zuverlässig in der Zukunft abbilden lassen und damit grössere Unsicherheitsfaktoren in Bezug auf die reale Kostenentwicklung der Entsorgung gegeben sind. Allein schon die Zeitplanverschiebungen der Jahre 2014 und 2015 werden substantielle Mehrkosten mit sich bringen (siehe dazu Kapitel 3.3). Grundsätzliche für eine umfassende Abschätzung von Zeitverzögerungen betroffene Kostendaten (z.B. für den jährlichen Betrieb von Anlagen wie Nasslager Gösigen, Zwiibez Beznau, Konditionierungsanlagen in den Werken) sind in Geschäftsberichten der Branche (z.B. Jahresbericht KKG Gösigen 2013) nicht aufgeschlüsselt.

Bei zwei Anlagen liegen Kostendaten vor, welche für Prognosen verwendet werden können :

- Zwiilag AG (2014, S. 25): 40 Millionen / Jahr Betriebskosten
- Nagra (2015, S. 52): 50 Millionen Fr. / Jahr Betriebskosten (ca. 30 Millionen Fr./Jahr im Jahrzehnte langen Durchschnitt, Tendenz steigend)

Der Entsorgungsbetrieb aller Anlagen dürfte damit massiv über 100 Millionen Franken / Jahr betragen. Bei Verzögerungen von 10 Jahren wäre allein über die Posten Nagra/Zwiilag mit Kosten von gegen einer Milliarde zu rechnen. Werden die sich abzeichnenden Zeit-Verschiebungen im Sachplanverfahren mit einbezogen⁸ dürfte ein weiteres Jahrzehnt für die Umsetzung des heute vorgesehenen Programms veranschlagt werden. Allein diese beiden Posten würden also eine weitere Milliarde kosten. Bei jedem Jahrzehnt Mehrbetrieb der Werke (also Betriebsdauer von 60 Jahren) käme für diese beiden Posten eine weitere Milliarde hinzu. Es ist daher notwendig, das Stilllegungs- und Entsorgungssystem in allen Punkten (und Anlagen) im Detail zu definieren, um in der Zukunft realistischere Kostenprognosen zu erhalten.

⁸ Verschiebung von bis zu einem Jahr für die Nachbearbeitung der bautechnischen Grundlagen durch die Nagra und vertiefte Prüfung des 2x2-Vorschlags der Nagra, erwartete Verzögerungen von mehreren Jahren für die Ausführung der 3D-Seismik und der Bohrungen, siehe dazu INA 2011

3.3 Umgang mit Grundlagen, die massgebenden Einfluss auf die Kostenplanung haben

Im vorhergehenden Kapitel wurden eine Vielzahl von Faktoren aufgeführt, welche die Kostenberechnung und die Kostenprognosen beeinflussen. Einer dieser Faktoren soll im folgenden Kapitel ausführlicher beleuchtet werden, nämlich die Frage der Zeitplanungen und ihre Effekte auf die Planung des Entsorgungssystems.

Die Probleme der Nuklearbranche mit der Entsorgungszeitplanung sind Jahrzehnte alt. INA (2011) gibt Beispiele für diese Fehlplanungen, welche in den letzten 37 Jahren zu Verzögerungen von rund sieben Jahrzehnten geführt haben. Wurde nämlich im Jahre 1978 sogar noch mit einer Betriebsaufnahme des Endlagers für hochaktive Abfälle anfangs der 1990er Jahre gerechnet, so hat sich dieser Zeitpunkt nun bis 2060 – also um ca. 7 Jahrzehnte - verzögert. Die Figur 3.3.1 gibt einen Gesamtüberblick über die Strategie der Zeitplanverschiebung und ihrer Effekte auf die Entsorgungsplanung.

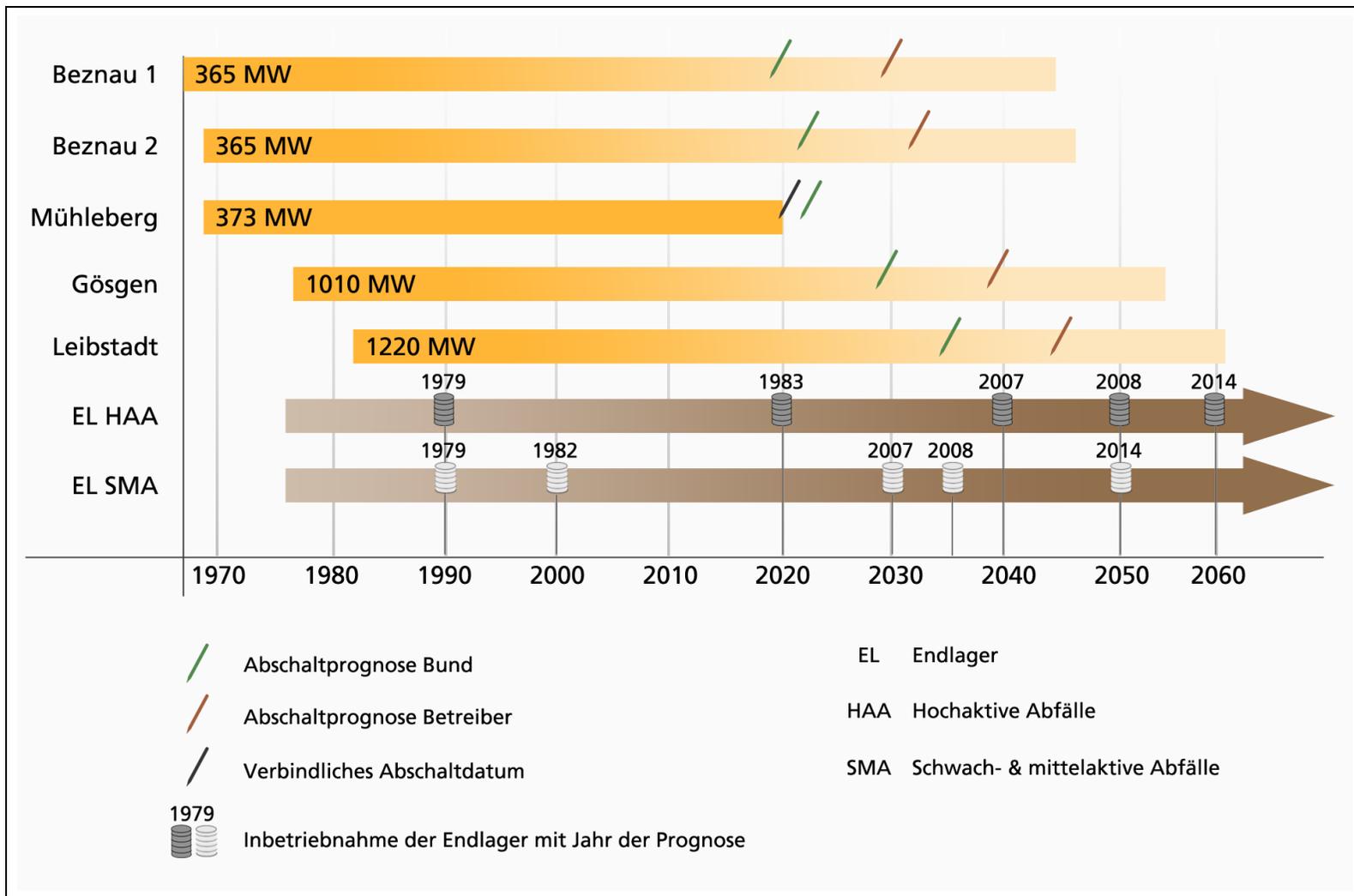
Die Gründe für die massiven und ausserordentlichen Verschiebungen in den Zeitplanungen, die auch im Vergleich zu anderen verzögerten Projekten im Ausland einmalig sind, können im wesentlichen auf drei Faktoren zurückgeführt werden, auf die auch in der Fachliteratur immer wieder verwiesen wird (z.B. Flyvbjerg 2005, 2006, 2007, 2014, Flyvbjerg et al. 2005) und die in Kapitel 4 kurz ausgeführt werden: Planungsfehler, Missmanagement und Kontrolldefizite.

Zeitplanungen und -anpassungen erfolgen, indem besonders kurze oder sogar minimale Zeitspannen für die Realisierung oder Umsetzung von Programmschritten angenommen werden. Treten dann aber Schwierigkeiten bei der Umsetzung solcher Zeitpläne auf, werden neue Zielsetzungen definiert oder die Termine werden einfach angepasst und verlängert. Die Zeitpläne werden auseinandergezogen wie bei einem Akkordeon. Dieser Vorgang wird übrigens in den seltensten Fällen von den zuständigen Behörden beanstandet. Damit besteht auch seitens des Projektanten kein Anlass, dieses Vorgehen zu verändern. Solange die Behörden dieses wiederkehrende Vorgehen akzeptieren, wird sich an diesem Mecano auch nichts ändern.

Figur 3.3.2 illustriert die Mechanik des Vorgehens: In Planungsphasen wird ein minimaler Zeitbedarf veranschlagt, der die Umsetzung wie auch die Kosten des Projektes als vertretbar erscheinen lassen (Ausgangsposition A). Mit geschönten Zeitplänen und zurechtgemachten Kostenprognosen sichern sich die Projektverantwortlichen die Unterstützung der Entscheidungsgremien. Ist die Unterstützung einmal da und sind die Sachzwänge dann einmal geschaffen, wird das Projekt in der Regel durchgezogen, auch wenn massive Zeit- und Kostenüberschreitungen daraus resultieren. Die Entscheidungsgremien werden sich den Sachzwängen beugen und den Zeit- wie Kostenanpassungen (Positionen B bis C) – wenn auch murrend – zustimmen, denn sie unterstützten ja den früheren Fehlentscheid.



Figur 3.3.2: Zweireihiges diatonisches Akkordeon: Drei Spielstellungen: **A** Balg in Ausgangsstellung, also geschlossen (links); **B** Balg halboffen (mitte); **C** Balg offen (rechts)



Figur 3.3.1: Betrieb der Schweizer AKW mit Abschaltprognosen der Werke und einige Beispiele für die abgeänderten Prognosen für die Inbetriebnahme der Endlager SMA und HAA

Im schweizerischen Entsorgungsprogramm kann dieses Vorgehen gut nachgezeichnet werden. INA (2011) zeigt die Ausgangsposition (das geschlossene Akkordeon) aus dem Jahr 1978 (Figur 3.3.3).

Tätigkeiten	Jahr	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	
1. Festlegung und Überprüfen der Anforderungen (Beurteilungskriterien)		[Bar chart showing activity from 1978 to 1985]								
2. Ermittlung der in Frage kommenden geologischen Formationen, Wahl geeigneter Standorträume für Felduntersuchungen		[Bar chart showing activity from 1978 to 1979]								
3. Ausführung der Felduntersuchungen (tiefe Sondierbohrungen), Auswertung der Resultate		[Bar chart showing activity from 1980 to 1984]								
4. Evaluation der Endlagerstandorte, Standortwahl		[Bar chart showing activity from 1984 to 1985]								
5. Erarbeitung der Detailprojekte und der Sicherheitsberichte		[Bar chart showing activity from 1985 to 1985]								
6. Nukleares Baubewilligungsverfahren: Einleitung ab 1985		[Bar chart showing activity from 1985 to 1985]								
7. Bauphase (je nach Einlagerungskonzept: ein bis mehrere Jahre)		[Bar chart showing activity from 1985 to 1985]								
8. Einlagerungsphase: frühestens anfangs der 90er Jahre)		[Bar chart showing activity from 1985 to 1985]								
9. Übernahme der Langzeitverantwortung durch den Bund (frühestens Ende der 90er Jahre)		[Bar chart showing activity from 1985 to 1985]								

Figur 3.3.3: Realisierungsplan Endlager HAA, Quelle VSE et al (1978, S. A25-6b), aus INA (2011)

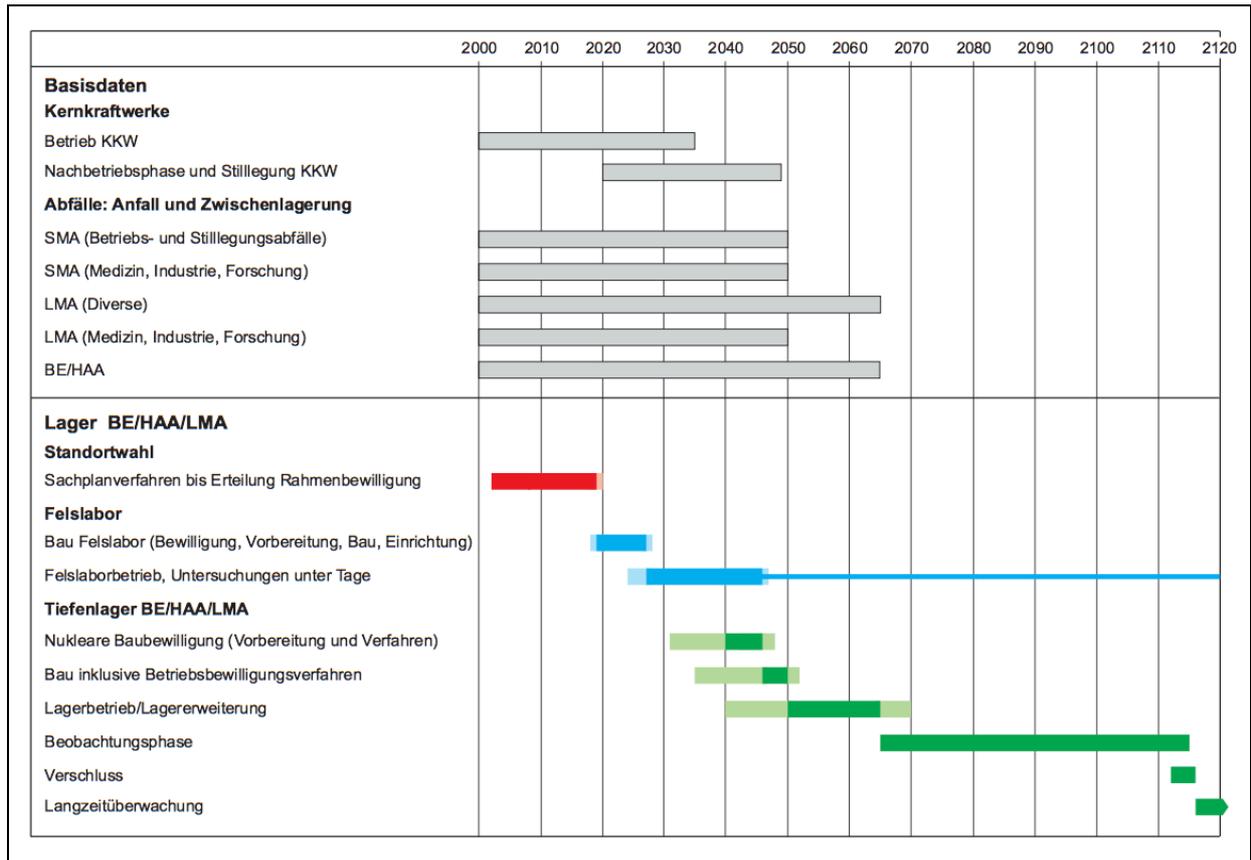
Verzögerungen 2008: Zeitbedarf wie auch die Kosten wuchsen danach in regelmässigen Abständen (siehe auch Figuren 2.1 und 3.3.1). Im Jahr 2008, bei der Veröffentlichung des Entsorgungsprogrammes 08, lag der Zeitpunkt der Inbetriebnahme eines HAA-Endlagers bereits im Jahr 2040 (siehe Figur 3.3.4). Interessant an dieser Figur ist, dass die Methode der Minimalschätzungen wieder angewendet wurde.

Aus der Figur 3.3.5 sind Details des Realisierungsplans ersichtlich. Links sind die Schnittstellen Sachplan (rot) – Felslabor (blau). Der Zeitplan Sachplan gemäss Konzept BFE (2008) bis Rahmenbewilligung wurde gleichgesetzt mit der Bewilligung für das Felslabor. In nur 8 Jahren mit minimalen Reserven von ca. 1 Jahr sieht die Nagra vor, Bewilligung, Vorbereitung der Planungen, die Projektierung der Anlage und die Ausführung der Anlage inklusiv Einrichtung aller sicherheitsrelevanter Installationen erreichen zu können.

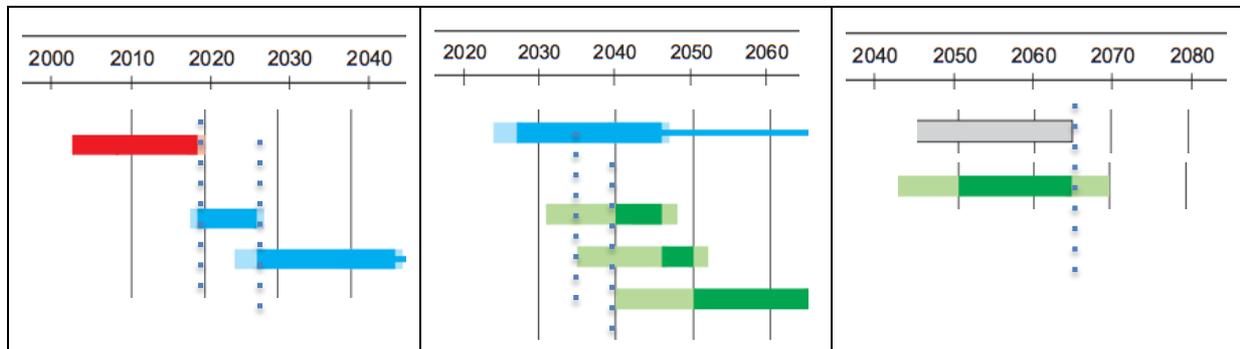
Verzögerungen durch optimistische Planungen, durch Einsparungen, oder durch schwere Bauunfälle, wie sie etwa beim Bau der Schachtanlagen 1987 in Gorleben oder 2002 beim Labor Bure in Frankreich auftraten, um nur einige Beispiele zu nennen, sind nicht Gegenstand einer Prüfung. Die Zeit-Reserven sind minimalistisch.

Im mittleren Bild sind die Arbeiten im Felslabor und die Planungen und Ausführungen für das Endlager dargestellt. Grundlegend dienen die Arbeiten im Felslabor mit einer 20jährigen Prüfzeit nach EKRA (2000) der Überprüfung der Standortqualität (Testbereiche). Erst zu Ende dieser Prüfzeit kann entschieden werden, ob der Standort die Voraussetzungen für den Bau des Pilot- und des Hauptlagers überhaupt erfüllt. Ein Verschieben der Bewilligung gegen vorne (also Richtung links) wie in der Figur angezeigt, ist unmöglich. Gleiches gilt für den Bau des Endlagers, das laut Figur um 10 Jahre vorversetzt wird.

Im rechten Bild der Figur 3.3.5 wird etwa der Abschluss der Zwischenlagerung mit dem Abschluss des Einbringens der Brennelemente gleichgesetzt. Stilllegung und Rückbau der Zwischenlager werden nicht ins Auge gefasst. Stilllegung und Rückbau der Brennelementverpackungsanlage sind ebenfalls inexistent. Für den ganzen Zeitraum vom Beginn des Sachplankonzeptes bis zum Abschluss des Lagerbetriebs (ca. 68 Jahre) wird eine Zeitreserve von 5 Jahren veranschlagt (ca. 7.4%).

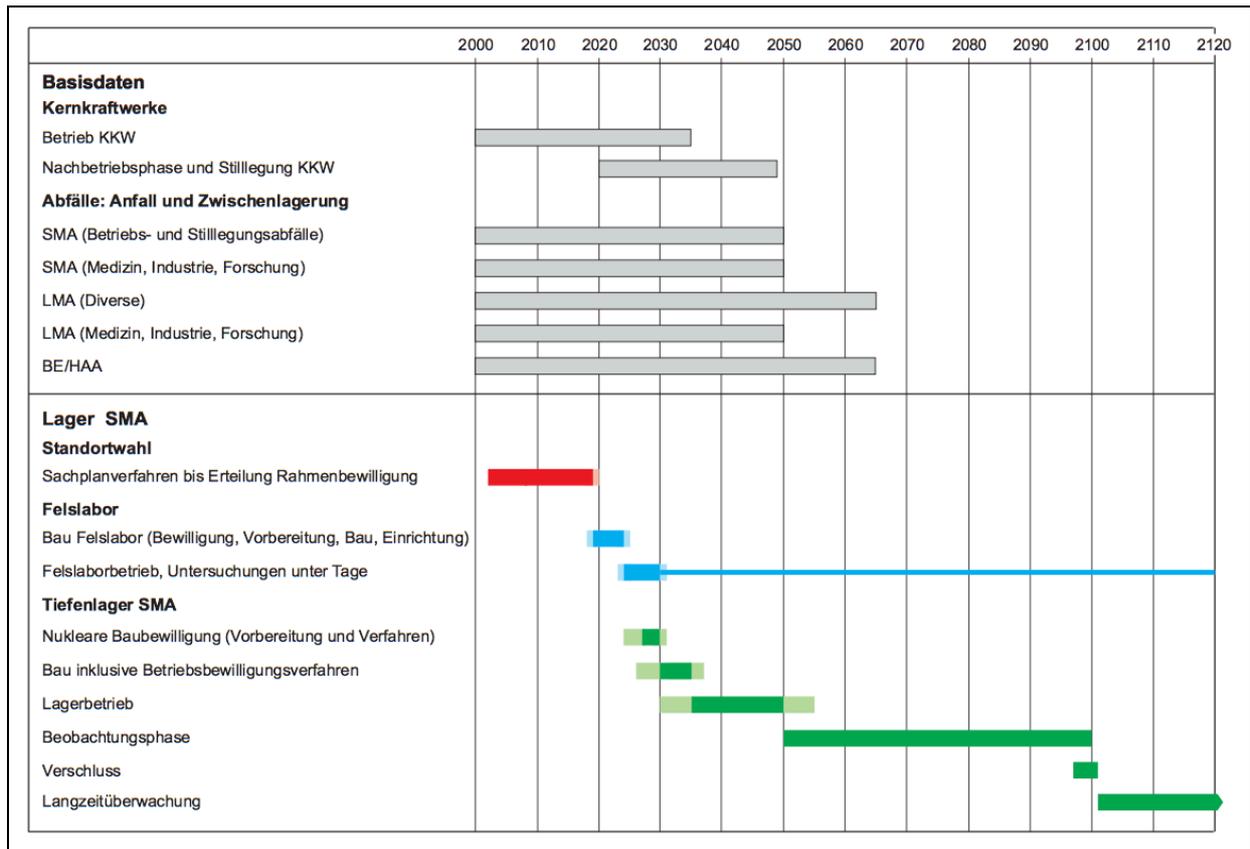


Figur 3.3.4: Realisierungsplan für Endlager für hochaktive Abfälle im Entsorgungsprogramm 08 (Nagra 2008)



Figur 3.3.5: Details des Realisierungsplans Endlager HAA im Entsorgungsprogramm 08 (Nagra 2008)
 links: Schnittstelle Sachplan – Felslabor; Mitte: Vom Felslabor zum Tiefenlager
 Rechts: Zwischenlagerung Brennelemente - Lagerbetrieb

Figur 3.3.4 bestätigt, dass eine Anzahl wesentlicher Anlagen im Realisierungszeitplan vergessen wurden. Bei den schwach- und mittelaktiven Abfällen SMA (Betriebs- und Stilllegungsabfälle) werden z.B. nur die Fraktionen aus den Kraftwerken einbezogen, nicht aber die SMA aus dem Zwischenlager Zwilag oder der Brennelementverpackungsanlage. Bei den SMA-Abfällen aus Medizin, Industrie und Forschung hört die Produktion dieser Abfälle im Jahr 2050 auf. Figur 3.3.6 für die SMA-Abfälle bestätigt den Verschluss des Endlagers SMA: der Lagerbetrieb wird 2050 eingestellt, womit ab diesem Zeitpunkt kein Endlager für MIF-Abfälle mehr in der Schweiz vorhanden wäre.

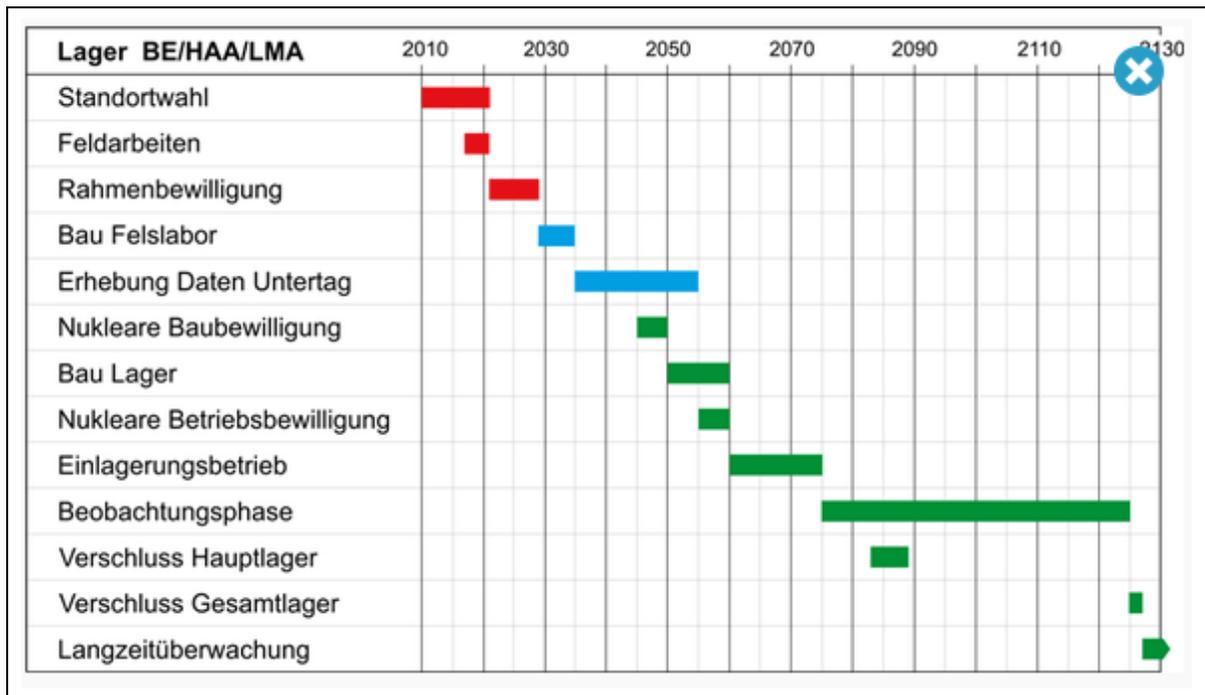


Figur 3.3.6: Realisierungsplan für Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle im Entsorgungsprogramm 08 (Nagra 2008)

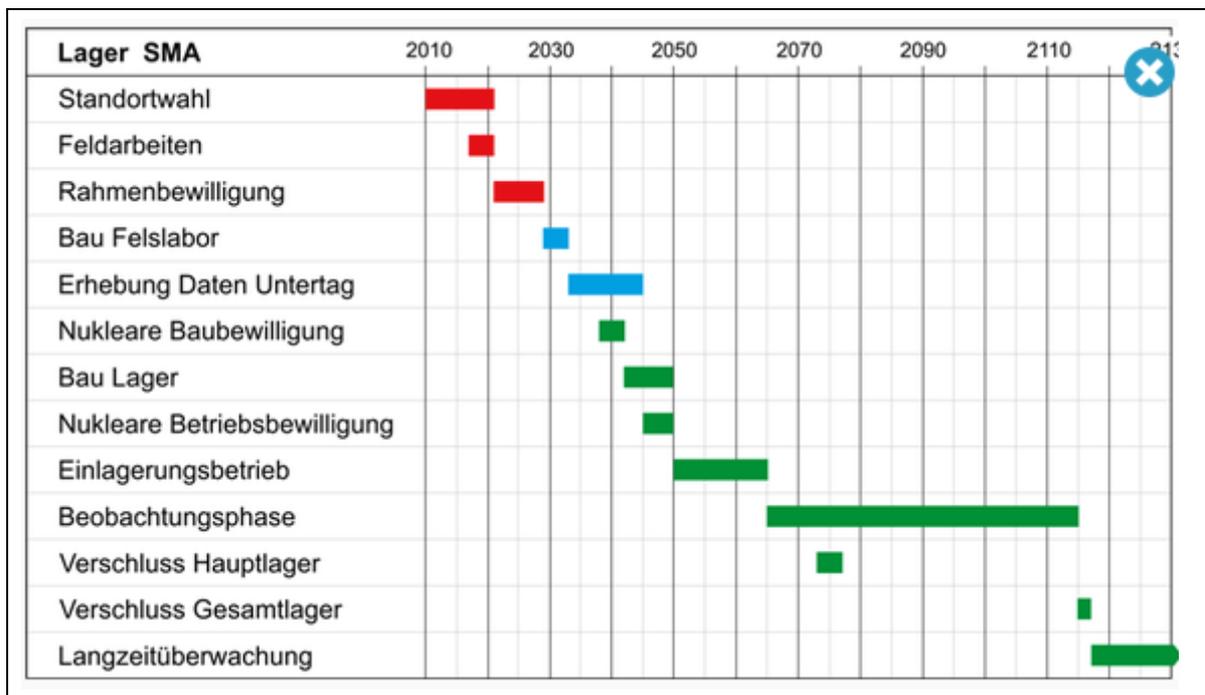
Verzögerungen 2014: Nach x-fachen Interventionen der Eidg. Kommission für nukleare Sicherheit (KNS) bezüglich den viel zu knappen Zeitplänen im Entsorgungsprogramm 08 und im Sachplan geologische Tiefenlager, publizierten Bundesamt für Umwelt beziehungsweise Nagra zwischen Frühjahr und Sommer 2014 angepasste Zeitpläne. Der neue Realisierungsplan wurde um weitere 10 bis 15 Jahre verschoben, ohne weitere materielle Begründung. Figuren 3.3.8 und 3.3.9 zeigen die neuen Realisierungspläne.

Gegenüber der Version des Entsorgungsprogramms 08 zeichnen sich diese Zeitpläne durch folgende Eigenschaften aus:

- die Dauer des Sachplans wurde um mindestens 10 Jahre verlängert;
- der extrem ambitionöse Zeitplan wurde beibehalten, wobei die Umsetzung keine weitere Flexibilität zulässt.
- die Staffelung der Arbeiten ist unrealistisch: der Bau des Felslabors schliesst weiterhin nahtlos an die Rahmenbewilligung an, die Umsetzung dieser Phase ist viel zu optimistisch, die nukleare Baubewilligung soll während der Erhebung der Daten im Felslabor erfolgen, was wissenschaftlich nicht vertretbar ist, usw. Die Zeitpläne spiegeln einmal mehr die Situation des Akkordeons mit geschlossenem Balg wieder, also mit Minimal-Zeitplänen. Dieses Vorgehen ist kostenrelevant, weil die realen Kosten effektiv und signifikant unterschätzt werden (siehe Kapitel 3.3.2);
- die Verschiebung des Einlagerungsbetriebs um 10 bis 15 Jahre gegenüber der Situation 2008 führt zu längeren Lagerzeiten, was ebenfalls kostenrelevant ist (Zwischenlagerung und Konditionierungen, längere Planung und Projektierung usw.).



Figur 3.3.7: Realisierungsplan für Endlager hochradioaktive Abfälle der Nagra nach der im Jahr 2014 vorgenommenen Anpassung (<http://www.nagra.ch/de/zeitplan.htm>)



Figur 3.3.8: Realisierungsplan für Endlager schwach-und mittelaktive Abfälle der Nagra nach der im Jahr 2014 vorgenommenen Anpassung (<http://www.nagra.ch/de/zeitplan.htm>)

Das BFE rechtfertigte diese Verschiebung mit der Begründung, „dass das Verfahren genau deshalb länger dauert, weil die einzelnen Schritte mit Sorgfalt und Seriosität angegangen werden“ (BFE 2014, S. 1)! Dieselbe Argumentation wird auch der einjährigen Verschiebung verwendet, welche im September 2015 bekanntgegeben wurde (siehe Kapitel 3.3.2). Dass seit Jahren Kritik am planerischen Vorgehen des BFE laut wurden und weiterhin bestehen (z.B. INA 2011, Stellungnahmen der KNS 2010 und 2011 im Rahmen des Sachplanverfahrens), wird indes verschwiegen.

Finanzielle Konsequenzen von Zeitplan-Verschiebungen: Die Verschiebung der Zeitpläne hat finanzielle Konsequenzen. Anlagen müssen länger betrieben und Institutionen länger finanziert werden. Ob die Mittel angesichts der Verzinsungen ausreichen, um die aus einer Verschiebung resultierenden Mehrkosten zu kompensieren, ist eine andere Frage. Zunächst muss nämlich festgestellt werden, wie hoch die Kosten der Stilllegung und Entsorgung sind und welche Mehrkosten entstehen, wenn Änderungen eintreten. Erst danach können Anlagestrategien und Finanzierungsmodelle geprüft werden.

Wir haben bereits in Kapitel 3.3.2 eine erste Schätzung über die jährlichen Mehrkosten von zwei gesicherten Posten im Entsorgungsbereich vorgenommen. Programmverzögerungen führen schon allein bei diesen beiden Posten zu Mehrkosten von gegen 100 Millionen Franken pro Jahr. Dabei sind dies nur zwei von vielen wichtigen Anlageteilen im Entsorgungsprogramm. Es ist daher ausserordentlich wichtig, dass das gesamte Entsorgungssystem im Detail aufgezeichnet wird und Laufzeit und jährliche Kosten der einzelnen Anlagen sauber ermittelt und berechnet werden. Nur auf diese Weise lassen einigermaßen zuverlässige Kostenschätzungen für die Zukunft abbilden.

Kommt hinzu, dass das Entsorgungssystem noch lange nicht vollständig verstanden wird und schon gar nicht als ausgereift betrachtet werden kann. Die Unsicherheiten in diesem System sind beträchtlich und rücken diese Projekte im Moment auf das Niveau „nicht konsolidierte Konzeptstudien im Frühstadium mit ersten Schätzungen von Kosten“. Sicherheitszuschläge von 30% auf den Kostenschätzungen reichen in solchen Fällen nicht aus, um die Kostenlawine aufzufangen, wie wir im Kapitel 4 aufzeigen. Der Faktor „Zeitplanverschiebung“ kann aber bereits als einer der relevanten kostentreibenden Grössen bezeichnet werden.

Bewertung: Die über Jahrzehnte laufenden Verzögerungen mit einer weiteren Ausdehnung der Realisierungspläne der Entsorgungsprogramme lassen zwei hauptsächliche Folgerungen zu:

- die Verschiebungen bei den Realisierungsplänen sind in hohem Ausmass kostenrelevant. Es geht um eine Vervielfachung der Umsetzungsdauer seit dem Beginn der Standortsuche in der Schweiz im Jahr 1978 und damit auch um eine Vervielfachung der Kosten. Der nicht indexierte Kostenanstieg zwischen 1978 und 2011 dürfte bereits einen Faktor 10 übersteigen (siehe auch Figur 2.1).
- die Verschiebungen bei den Realisierungsplänen zeigen, dass das systemische Verständnis der Entsorgungskette und ihrer Anlagen für korrekte Kostenevaluationen ungenügend ist. Die Schätzung der Entsorgungskosten beruht auf einem Konzept, das dem einer generellen Studie entspricht.
- Zu den Fragen der Kontrolle durch die zuständigen Sicherheitsbehörden beziehungsweise durch die Verwaltung der Fonds wird auf das Kapitel 3.3.2 verwiesen.

Was heisst dies für die Verlängerung des KKW-Betriebs auf 60 oder mehr Jahre: Im September 2015 erschienen zwei neue Studien, die von der Sozialdemokratischen Partei der Schweiz in Auftrag gegeben wurden, und sich den Fragen möglicher Entschädigungsforderungen für alte AKW annehmen. Das Gutachten Rechsteiner (2015) leuchtete dabei auch die Aussichten der Atomenergie im bestehenden und sich verschärfenden Umfeld eines liberalisierten Marktes aus. Konkret verweist Rechsteiner darauf, dass

der europäische Stromüberschuss auf lange Zeit übersättigt sein wird und es wirtschaftlicher wäre, sich den Strom direkt auf dem europäischen Markt zu besorgen. Die Wettbewerbsfähigkeit der alten Atomkraftwerke im europäischen Markt sei einfach nicht vorhanden, die „teuren Lieferanten“ würden einfach vom Markt verdrängt.⁹ Rechsteiner folgert deshalb, dass es billiger sei, die Werke sofort abzuschalten, als deren Betrieb um weitere 10 oder 15 Jahre zu verlängern.

Der Langzeitbetrieb der Werke auf 60 oder mehr Jahre wird auch deshalb zunehmend unter Druck geraten:

- die Kostenschätzung 2016 (KS16) wird unter anderen Voraussetzungen und unter Überwachung durch verschiedene Institutionen erfolgen. Es ist zu erwarten, dass die Kosten gegenüber der Kostenschätzung KS11 massiv ansteigen. Allein der Betrieb von Zwiilag und Nagra wird bei der angekündigten 10-jährigen Verzögerung 1 Milliarde mehr kosten. Im Sachplanverfahren sind weitere Zeitverzögerungen eingetreten beziehungsweise bei den Feldarbeiten der Etappe 3 vorherzusehen (siehe auch INA 2011). Wir gehen heute bei einem Bohrprogramm unter Einbezug des Standorts „Nördlich Lägern“ und den erforderlichen Abklärungen zum Permo-Karbon-Trog von weiteren 5 bis 10 Jahren aus. Alles in allem darf bei der KS16 mit weiteren 2-3 Milliarden Fr. gerechnet werden, die allein auf Zeitplanverzögerungen zurückzuführen sind. Andere Kostenfaktoren sind hierbei noch nicht einbezogen.
- Laufzeitverlängerungen der Werke werden automatisch die Realisierungszeitpläne am „back-end“ (Zwischenlagerung, Endlager) um die entsprechenden Zeitspannen verlängern, mit entsprechenden Kostensteigerungen. Hinzu kommt die Alterung der Anlagen, erhöhter Wartungs-, Erneuerungs- und damit Investitionsbedarf (sowohl bei der Konditionierung wie der Zwischenlagerung) und steigende Störfallrisiken (z.B. Ausfallrisiken). Schätzungen zu dieser Entwicklung liegen nicht vor und werden für die KS16 auszuweisen sein.
- Mit der Ausserbetriebnahme von Mühleberg wird sich der Kostendruck für die verbleibenden Werke verstärken. Jedes weitere vorzeitig vom Netz genommene Werk wird den Kostendruck für die anderen Werke erhöhen.
- Mit der Präzisierung der Stilllegungs- und Entsorgungsprogramme zeichnen sich weitere signifikante Kostensteigerungen eines solchen Mega-Projektes ab. Wir verweisen diesbezüglich auf die Ausführungen in Kapitel 4. Allein der Einbezug der Rückholbarkeit (gemäss KEG Art. 37) und die Rückstellung der entsprechenden Beiträge erhöht die Entsorgungs-Kosten mindestens um den Faktor 2!¹⁰

Die Atomindustrie ist aus verschiedenen Seiten gleichzeitig unter Druck: sinkende Wettbewerbsfähigkeit, Alterung der Anlagen, steigende Risiken, steigende Kosten, Verteilung der Endrechnung auf weniger Schultern usw. Wir stehen am Beginn einer „Kettenreaktion der Stilllegungs- und Entsorgungskosten.“

⁹ Rechsteiner (2015), S. 3: „Man stellt fest, dass heute mit den Stromerlösen gemäss EEX (unter Fortschreibung der aktuellen Futurespreise bis 2030) in keinem einzigen Kernkraftwerk die variablen Kosten gedeckt sind ... Es ist deshalb falsch, davon zu sprechen, dass diese Anlagen noch Deckungsbeiträge liefern. Kaufmännisch logisch wäre die Schliessung der Atomkraftwerke und die Beschaffung von Elektrizität am europäischen Markt.“

¹⁰ siehe z.B. Erfahrungen bei der Untertagedeponie Stocamine, Wittelsheim, bei der nur marginale Rückstellungen für die Wiederauslagerung erfolgten und die heute auf Kosten der französischen Staatskasse „saniert“ werden muss

3.4 Kontrolle der Kostenprogramme

Die Kostenstudien der Jahre 2006 (KS06) und 2011 (KS11) wurden durch die Hauptabteilung für die Sicherheit von Kernanlagen (HSK) beziehungsweise durch das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (Ensi) geprüft. Beide Berichte sind auf dem Internet aufgeschaltet (HSK 2006, Ensi 2011). Zusätzlich wurde vom Ensi ein Prüfbericht zur Kostenstudie KS11 in Auftrag gegeben, dessen Zusammenfassung ebenfalls auf dem Netz publiziert ist (Basler&Hoffmann 2011).

Im weiteren hat sich die Eidgenössische Finanzkontrolle (EFK) mit der Kostenkontrolle der Stilllegung und der nuklearen Entsorgung beschäftigt. 2014 erarbeitete sie einen Bericht zur Gouvernanz des Stilllegungs- und Entsorgungsfonds (EFK 2014). Im April 2015 folgte ein Bericht einer Arbeitsgruppe „Strahlenschutz“ des Bundesamts für Gesundheitsschutzes (BAG), welche die Kosten der Entsorgung radioaktiver Abfälle im Verantwortungsbereich des Bundes überprüfte (BAG 2015). Auch diese beiden Berichte sind auf dem Netz aufgeschaltet.

Die Überprüfung der Kostenstudien ergab folgendes Bild:

3.4.1 HSK: Beurteilung der Kostenstudie KS06 (HSK 2006)

Hauptaussagen: Der Bericht prüft die verschiedenen Bestandteile des Stilllegungs- und Entsorgungssystems (HSK 2006, S. 3-4, 8-9). Bei den Stilllegungskosten wird darauf hingewiesen, dass weitere Anlagen zu berücksichtigen seien (Gösgen: Nasslager und Hilfsanlagegebäude; Zwiilag: Lagerhalle S). Die Kostenschätzungen werden grundlegend als plausibel betrachtet.

Bei der Entsorgung weist die HSK auf 6 Risikofaktoren hin, die unbekannt seien, darunter technische Faktoren wie die Entsorgungskosten für die Transport- und Lagerbehälter, ein anderes Sicherheitskonzept der Tiefenlager, ein unterschiedliches Wirtgestein sowie das Abfallmengengerüst (CERN-Abfälle). Zudem werden auch die Verzögerung bei der Realisierung der Tiefenlager genannt mit längeren Zwischenlagerzeiten sowie eine Verlängerung der Beobachtungsphase des Tiefenlagers (HSK 2006, S. 9-10).

Grundsätzlich beurteilt der Bericht die Kostenschätzungen KS06 als geeignete Grundlage für die Ermittlung der Kosten beziehungsweise „als nach heutigem Wissenstand vernünftig und angemessen. Die genannten Risikofaktoren dürften bei den späteren Aktualisierungen nach und nach genauer bestimmt werden können“ (HSK 2006, 2006, 16-18).

Beurteilung: Zentrale Risikofaktoren, die für massive Kostenüberschreitungen verantwortlich sein können, wurden von HSK 2006 korrekt identifiziert. Die daraus zu ziehenden Folgerungen, dass zumindest Szenarienanalysen mit Bandbreiten (best-case, worst-case) zu entwickeln seien, wurden aber in diesem Bericht nicht gezogen. Eine einfache Rechnung hätte beispielsweise die Kostenrelevanz einer 10-jährigen Verzögerung des Entsorgungsprogramms in Milliardenhöhe aufzeigen können (z.B. Zusatzkosten der Zwischenlagerung und der Finanzierung der Institutionen, namentlich NAGRA, ENSI, ZWILAG). Die Überprüfung erfolgte nicht unter Anwendung konservativer Annahmen.

3.4.2 ENSI: Beurteilung der Kostenstudie KS1 (ENSI 2011)

Hauptaussagen: Der Bericht des ENSI prüfte wiederum die verschiedenen Bestandteile des Stilllegungs- und Entsorgungssystems (ENSI 2011, S. 3-4, 8-9) unter Beizug externer Gutacher (TÜV Nord EnSys, Basler&Hoffmann). Bei den Stilllegungskosten wies das ENSI auf weitere Kostentreiber hin (Rückbau und Entsorgung konventioneller Schadstoffe, Lucens-Abfälle, Neuzuteilung einzelner Kostenelemente [ENSI 2011, S. 12-13, 15-16]). Bei den Entsorgungskosten wurde die starke Zunahme von 7.5 Mia. Fr. (2006) auf 9. Mia. Fr. (2011) auf das Sachplanverfahren und verschärfte Vorgaben für die Auslegung der Tiefenlager zurückgeführt (ENSI 2011, S. 22-23). Basler&Hoffmann (2012, S. 8, 12) weisen auf einzelne

Problempunkte wie den Zeitbedarf für Vorbereitung und Bau des SMA-Lagers hin (siehe auch Figuren 3.36 und 3.3.9) und stellen richtigerweise fest, dass die Projektreife einer Planungsstudie entspricht (viele Unbekannte, grosser Zeithorizont, siehe Basler&Hoffmann 2012, S. 11-12). Das ENSI kommt zum Schluss, dass die „Gesamtkosten für die Stilllegung der Kernanlagen in der Schweiz“ „bei optimaler Planung und Durchführung sowie unter Einbezug von ‚lessons learned‘ eingehalten werden“ können (ENSI 2011, S. 27). Für die Entsorgung beurteilt das ENSI – trotz Kostenermittlung auf Niveau Vorstudie - die Kosten KS11 „als nach heutigem Wissensstand vollständig und plausibel“ (Basler&Hoffmann 2012, S. 27-28).

Beurteilung: Das ENSI hat, im Gegensatz zur HSK in der Kostenstudie KS06, keine Risikofaktoren ausgeleuchtet (Zeitpläne, Wirtgestein, Lagerauslegung usw., siehe oben). Dass die Erhebung der Entsorgungskosten auf Niveau einer Vorstudie erfolgte, wurde zwar dargelegt, deren Tragweite für eine zuverlässigere Kostenschätzung aber nicht thematisiert. Die Spannweite möglicher Kostenentwicklungen sowie deren Plausibilitäten wurden nicht abgeklärt. Das Grundproblem bei der Überprüfung des ENSI lag in diesem Falle daran, dass sich die Behörde auf die Angaben der Nagra gestützt hat, ohne diese zu hinterfragen. So wurden etwa die Zeitpläne (ENSI 2011, S. 8, 21) auf ihre Machbarkeit weder überprüft noch hinterfragt. Dabei spielen die Realisierungszeitpläne eine wesentliche Rolle bei der Kostenermittlung beziehungsweise bei den Kostenüberschreitungen (siehe Kapitel 3.3).

3.4.3 EFK: Governance des Stilllegungs- und Entsorgungsfonds (EFK 2014)

Hauptaussagen mit Bezug auf den Entsorgungsfonds und die Organisationsstruktur: Die Prüfung der Gouvernanz des Stilllegungs- und Entsorgungsfonds durch die EFK (2014) ist breiter angelegt und untersucht die Einhaltung der Grundsätze der Gouvernanz bei der Verwaltung des Stilllegungs- und Entsorgungsfonds, organisatorische Aspekte, die Berechnungsgrundlagen für die Erhebung der Beiträge an den Stilllegungs- und Entsorgungsfonds, die Finanzierungsstrategien und deren Risiken sowie die Haftungsrisiken für den Bund. Der Bericht zeigt Schwachpunkte bei den Berechnungsgrundlagen der Beitragserhebung auf, insbesondere die Verzögerungen bei den Realisierungsplänen (EFK 2014, S. 36, 37), die Qualität der Schätzungen, die nicht nur auf sehr groben Annahmen beruhen (Stufe Vorprojekt, siehe EFK 2014, S. 37) sondern auch optimistische Schätzungsmethoden abbilden (*best-estimates*, siehe swiss-nuclear 2011b, S. 24 und EFK 2014, S. 37), das Fehlen von Szenarienanalysen (EFK 2014, S. 39) und die Analyse von Projektrisiken (EFK 2014, S. 39). Hinsichtlich der Organisationsstruktur wurde auf das Problem der gewichtsmässigen Übervertretung und den Einfluss der Branche im Fonds verwiesen sowie auf jenes der Vermischung von Fondsverwaltung und Aufsicht. Letzteres betrifft in erster Linie BFE und das UVEK beziehungsweise das ENSI (EFK 2014, S. 23-24). Die Intervention der EFK hat zur Entflechtung der Doppelrollen BFE und ENSI geführt.

Beurteilung: EFK hat wesentliche Schwachstellen bei der Gouvernanz des Stilllegungs- und Entsorgungsfonds erkannt und Berichtigungen gefordert. Die wissenschaftlich-technische Überprüfung der Beitrags-erhebung, insbesondere beim Entsorgungsfonds, sollte erweitert werden. Die Risikoevaluation (Erhebungs- und Umsetzungsrisiken) sollte vertieft werden.

3.4.4 BAG: Entsorgung radioaktiver Abfälle im Verantwortungsbereich des Bundes (BAG 2015)

Hauptaussagen: 2015 erschien die Studie des Bundesamt für Gesundheit, welche nach rund 20 Jahren die Kostensituation bezüglich den Abfällen aus Medizin, Industrie und Forschung (MIF) sowie Abfällen im Eigentum des Bundes (PSI) überprüfte. Gegenüber den in den 1990er Jahren berechneten Kosten von 300 bis 360 Millionen Fr. ergab sich eine Korrektur auf 1.4 Mia. Fr, was etwa einer Vervierfachung der Kosten in einem Zeitraum von rund 15 bis 20 Jahren entspricht (BAG 2015, S. 2, 6). Bezüglich der neu berechneten Entsorgungskosten von 744 Mio. Fr. stützte sich das BAG auf die Beurteilung des ENSI ab, wonach „die Kosten fundiert ermittelt wurden“ (BAG 2015, S. 3). Hinzu kommen die Kosten für Konditionierung und Zwischenlagerung, die auf über 700 Mio. Fr. berechnet wurden. Das BAG weist auf

technische Verbesserungen bei der Konditionierung und die Herabsetzung der Freigrenzen hin. Einsparungen und Mehrkosten halten sich die Waage, dürften also gleich gross sein.

Beurteilung: Der Bericht ist als erste Neuschätzung der Kosten der „Bundes“-Abfälle zu verstehen, der aber Fragen der Risiken bei der Erhebung der Kosten und der Umsetzung der Entsorgungsprogramme nicht thematisiert. In diesem Sinne dürfte die Überprüfung der Kostenstudie 2016 auch für diese Abfälle weitergehende Kostensteigerungen abbilden.

3.4.5 *Wirksamkeit der Kontrolle von Kostenprogrammen*

Die Beurteilung der Wirksamkeit der Kontrolle von Kostenprogrammen fällt unterschiedlich aus. Bei der wissenschaftlich-technischen Kontrolle durch das Ensi fällt auf, dass diese die Entwicklung des Entsorgungsprogramms, namentlich die Zeitplanproblematik, nicht erkannt hat oder nicht erkennen wollte. In der früheren Beurteilung des Ensi zur Kostenstudie KS06 wurden zunächst noch Risikofaktoren aufgezählt, welche in der nächsten Beurteilung (KS11) nicht mehr erschienen. Generell ist die Kontrolle der Kostenprogramme durch das Ensi nicht als Prüfung der wissenschaftlich-technischen Grundlagen der Stilllegung und Entsorgung anzusehen, sondern gerade nur als „Nachprüfung“ der Richtigkeit von Aussagen eines eingereichten Berichtes. Eine solchermaßen verstandene „Kontrolle“ genügt in keinem Fall, um die Risiken von Fehlentwicklungen und Auslassungen bei den Kostenberechnungen des technisch-wissenschaftlichen Systems zu orten.

Obschon die Eidgenössische Finanzkontrolle kein spezifisches Vorwissen im komplexen System der nuklearen Stilllegung und Entsorgung einbringen kann, haben ihre Überprüfungen bereits auf eine Anzahl zentrale wunde Punkte hingewiesen und die Kostenschätzungen – wie im Falle der MIF-Abfälle – in die Höhe schnellen lassen. Wesentlich für die Qualität dieser Kontrolle ist die fachtechnische Kompetenz in Finanzfragen und vor allem die Unabhängigkeit der Kontrolle und ihre Distanz zu dem zu überprüfenden System. Unvoreingenommenheit ist eine zentrale Voraussetzung, um wirkungsvolle Kontrollen durchzuführen. Diese Distanz zu partikulären Interessen sollte in künftigen Kostenstudien markant erweitert werden. Kostenstudien sollten durch Fachleute ohne Bindung zur Nuklear-Branche erstellt und durch völlig unabhängige Fachinstitutionen wie die EFK überprüft und kontrolliert werden.

3.4.6 *Gesamtbewertung der Kontrolle von Kostenprogrammen*

Die Bewertung bei der Überprüfung der Kostenstudien fällt geteilt aus. Die Sicherheitsbehörde (HSK/ENSI) hält sich bei der Analyse der Stilllegungs- und Entsorgungskosten zurück und geht nur sehr begrenzt auf die effektiven Risiken ein, die sich aus veränderten Rahmenbedingungen (Projekt, Realisierung) ergeben. Die Folgerung, dass „die dokumentierten Gesamtkosten betreffend Bauvorgängen, Zeitbedarf, Material und Unterhalt nachvollziehbar, vollständig und plausibel sind“ (ENSI 2011, S. 22), ist angesichts der Entwicklungen im Entsorgungsbereich unhaltbar. Weshalb die noch in der Beurteilung der Kostenstudie 06 genannten Risikofaktoren in der Stellungnahme des ENSI von 2011 nicht mehr erscheinen, ist erklärungsbedürftig. Als Sicherheitsbehörde dürfte das ENSI sich in keinem Fall an „*best estimates*“ orientieren, sondern müsste verschiedene Szenarien ausleuchten. Dass die Realisierungspläne des Entsorgungsprogramms trotz ihren offensichtlichen Schwächen und den entsprechenden Kritiken aus Fachkreisen nicht überprüft wurden, zeigt, dass die Qualitätssicherung der Kostenprogramme durch das ENSI zumindest nicht in der erforderlichen fachlichen Unabhängigkeit erfolgt. Bei der Überprüfung der Kosten der Abfälle im Verantwortungsbereich des Bundes (MIF, PSI-Abfälle) fällt in erster Linie ins Auge, wie weit auseinander die Überprüfungszeiträume liegen (>> 15 Jahre). Auch beim BAG-Bericht werden die Risikofaktoren für Kostensteigerungen in der Zukunft nur sehr bedingt wenn überhaupt angesprochen.

Von Zielrichtung anders gelagert ist die Kostenüberprüfung des EFK, die bereits in dieser ersten Fassung breit angelegt ist und auch wesentliche Schwachstellen thematisiert. Aber auch in diesem Fall ist die Frage aufzuwerfen, weshalb eine solche Überprüfung erst in nach 2011 (KS11) erfolgt, also rund 40 Jahre nach der Inbetriebnahme der ersten drei Atommeiler der Schweiz.

Gesamthaft zeigt sich, dass die Kostenkontrolle bei Stilllegung und Entsorgung radioaktiver Abfälle erst in den letzten Jahren zu greifen beginnt. Die Qualität der Kontrollen muss deutlich ausgebaut werden, was in erster Linie die technisch-wissenschaftliche Überprüfung der Grundlagen der Kostenberechnungen und die Ermittlung und Qualifizierung von Risikofaktoren angeht. Dass solch grundlegende Arbeiten von den Sicherheitsbehörden unterlassen wurden, ist nicht akzeptierbar.

4 Erfahrungen im Ausland

In diesem Kapitel werden Erkenntnisse aus der Kostenentwicklung von Stilllegungs- und Entsorgungsprojekten in anderen Ländern mit Atomtechnologie beziehungsweise die Erfahrungen bei der Kostenentwicklung von Grossprojekten kurz erläutert.

Kostenentwicklung in anderen Ländern: In den letzten Jahren wurden die Kostenschätzungen für die Stilllegung und Entsorgung in verschiedenen Ländern massiv nach oben korrigiert. In Frankreich erfolgte z.B. allein für die Endlager für hochradioaktive Abfälle eine Korrektur der Entsorgungskosten von 16.5 Mia. Euro (Schätzung 2005) auf 36 Mia. Euro (Cour des comptes 2012, S. 161) und der französische Rechnungshof weist auf die Unsicherheiten und den Bedarf besserer Prognosen bei der Kostenschätzung von Entsorgungsprogrammen für hochaktive und langlebige Abfälle hin.¹¹

In Schweden haben die Behörden ebenfalls auf Unterdotierungen der Rückstellungs Fonds von 1.1 Mia. Euro hingewiesen und entsprechend Korrekturen bei den Rückstellungsbeiträgen die für Stilllegung, Rückbau und Entsorgung gefordert (von 2.2 öre auf 3.8 öre).¹²

Die Entwicklung in Grossbritannien geht in die gleiche Richtung, mit Kostensteigerungen für Stilllegung und Rückbau der Wiederaufarbeitungsanlage Sellafield von 47 auf 67 Mia. Pfund.¹³

Würdigung: Es wäre zweifelsohne interessant, die Kostenentwicklung im Ausland in Beziehung zu den Ereignissen in der Schweiz zu bringen, auch um die Frage zu klären, welche Parallelitäten sich in den einzelnen Ländern herauschälen lassen in Sachen Kostenentwicklung, Organisationsformen, Umgang mit Transparenz, Gründe für die Kostensteigerungen usw. Z.B. fällt auf, dass sich zunehmend die Rechnungshöfe oder Finanzkontrollen der Staaten Sorgen über die Kostensteigerungen im Atombereich machen. Es wäre prüfenswert, inwieweit dieser Faktor zu einer Beschleunigung berechtigter Kostenerhebungen führt. Immerhin haben die beiden Berichte der Finanzkontrolle (EFK 2014) und des Bundesamts für Gesundheit (BAG 2015), der auch unter Einbezug der EFK erfolgte, zu deutlichen Korrekturen bei der Organisation und der Berechnung der Kostenschätzungen für Stilllegung und Entsorgung geführt.

Studien zu Kostenprognosen und ihrer Genauigkeit: Kostenfragen und Fragen der Genauigkeit von Kostenprognosen werden auch von Wirtschaft und Hochschulen zunehmend eng verfolgt. Es gibt inzwischen eine Vielzahl von Arbeiten, die auf dem Monitoring und einer Rückverfolgung der Kostenentwicklung bei Bauprojekten beruhen (Ackermann et al. 2001, Flyvbjerg et al. 2005, Flyvbjerg 2005, 2006, 2014, Mumford et al. 2015, Priemus et al. 2013, Stamatis 2014 usw.). Einige Kernfolgerungen solcher Studien sollen kurz dargelegt werden.

- es ist zentral, die Reife eines Projektes klar zu bestimmen (Lessard et al. 2013, Priemus et al. 2015). Kostenprognosen variieren entsprechend dem Reifegrad des Projektes, also entsprechend dem Stand, ob es sich um Vorstudien, Studien, Vorprojekte oder Detailprojekte handelt. Hinzu kommt das Risiko, dass Projektziele oder Detaillierungsgrad im Laufe der Zeit stark variieren können (Flyvbjerg 2005, McKay et al. 2015, Leijten 2013); die dramatische Kosten-Entwicklung der Elbphilharmonie oder des Berliner Flughafens mit Kosten-Überschreitungen von vielen 100% sind unter anderem Ausdruck dieses Problems;

¹¹ Cour des comptes (2012, p. 277): „However, the provision for the long-term management of high-level and medium-level long-lived waste has not been clearly defined. This provision is currently calculated using an estimate drawn up in 2003, which has since been thoroughly revised by ANDRA, resulting in an estimate nearly double the initial one, in current Euros. Thus, EDF, AREVA and the CEA will have to readjust the amount of their provisions once the estimate has been finalized.“

¹² Proposals for nuclear waste fees and guarantees for 2015, <https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/In-English/About-the-Swedish-Radiation-Safety-Authority1/News1/Proposals-for-nuclear-waste-fees-and-guarantees-for-2015/>, siehe auch https://www.oecd-nea.org/rwm/profiles/Sweden_report_web.pdf

¹³ <http://www.theguardian.com/environment/2012/nov/16/nuclear-waste-sellafield>

- lange dauernde Projekte und lange Planungshorizonte erhöhen das Risiko von Fehlprognosen genauso wie Technologien oder Projekte, die nicht standardisiert sind, für die also auf wenig bis keine Erfahrung zurückgegriffen werden kann (Flyvbjerg 2005, Priemus et al. 2013). Hinzu kommt, dass bei Mega-Projekten häufig Ergebnisse und Lösungswege vor der Analyse erfolgen und Abweichungen dann verhindern / erschweren (siehe ‚front-end‘-Probleme in Lessard et al. 2013);
- wichtig für Fehlprognosen ist auch, ob eine „externe Sicht“ eingebracht werden kann, oder ob in erster Linie nur „Insiderwissen“ für die Prognostik angewendet wird (Flyvbjerg 2006, Savage et al. 2015, Bühler et al. 2015). Damit einher geht auch die Frage der Qualitätssicherung und der Kontrollen;
- bei Studien, die bereits einen höheren technischen Reifegrad haben, kommen ungenaue Prognosetechniken, ungenaue Daten, fehlende Erfahrung usw. (Flyvbjerg 2005) als Fehlerquelle hinzu. Allerdings halten sich diese Kostenüberschreitungen in Grenzen und betragen in der Regel nicht mehr als wenige Zehnerprozent (Flyvbjerg 2006), erreichen also nie eine Vervielfachung, wie sie bei Projekten wie der Elbphilharmonie, dem Berliner Flughafen, der nuklearen Stilllegung und Entsorgung oder – als krasses Beispiel - dem Bau des Suezkanals bereits eingetreten sind (bis Verzehnfachung oder mehr);
- umstrittene Projekte unter Beteiligung vieler Akteure erhöhen das Risiko von Fehlprognosen, vor allem dann, wenn solche Projekte Interessen betreffen, die umstritten sind (Flyvbjerg 2005, Montoya et al. 2015);
- eine wichtige Rolle spielt auch das Prestige eines Projektes, etwa im Falle der Elbphilharmonie oder des Berliner Flughafens, und der politisch-wirtschaftliche Kontext (Flyvbjerg 2005, Mumford et al. 2015), was zu strategischen Fehlinterpretationen führen kann (Flyvbjerg 2006). In diesen Fällen kann auch der politische Druck eine grosse Rolle spielen, Kostenprognosen nach der politischen Befindlichkeit auszurichten;
- Flyvbjerg et al. (2005) verweisen auch darauf, dass Planer oft Teil des Kostenproblems sind, und nicht die Lösung, und dass sich vor allem die Frage stellt, wie man Planer dazu bringt, Vorurteile zu unterlassen (Eubanks et al. 2015) oder andere Interessen (Kontrolle, Herrschaft) auszuüben;
- Schliesslich kommt immer auch die Frage nach der wissenschaftlichen Redlichkeit auf (Flyvbjerg 2005, 2006, Flyvbjerg et al. 2005). In diesem Kontext stellen sich auch Fragen bezüglich ausserstehenden Kontrollen und Sanktionsordnungen. Nationale Rechnungshöfe sind diesbezüglich ein sehr wirksames Instrument, um solchem Abgleiten von Projekten entgegen zu treten.

Flyvbjerg et al. (2005) empfehlen ein Vielzahl von Massnahmen, um die Prognosequalität zu erhöhen. In diesem Sinne sind auch die Erkenntnisse in der Finanzwelt (Hawley et al. 2011) von grossem Interesse.

Würdigung: Die Literatur bezüglich Kostenschätzungen und Fehlprognosen ist – wie oben aufgezeigt – sehr reichhaltig und sollte unbedingt vermehrt Berücksichtigung finden. Die Vielzahl der Beispiele von Fehlprognosen dürfte es deshalb ermöglichen, Kostensettings im Bereich der nuklearen Stilllegung und Entsorgung auf ein anderes Qualitätsniveau zu heben. Übertragen auf die Schweizer Situation wären eine Anzahl Korrekturen vorzunehmen, die teilweise auch von der Eidgenössischen Finanzkontrolle (2014) bereits erwähnt wurden und für die konkrete Empfehlungen vorliegen. Wir weisen insbesondere auf vier Faktoren hin:

- *Organisationsstruktur:* Kostenprognosen sind in Gremien zu erarbeiten, die zumindest nicht von den jeweiligen Wirtschaftsinteressen dominiert und abhängig sind (Empfehlung EFK 2014). Ein konkretes Beispiel: die Erstellung der Kostenprognosen wäre nicht in erster Linie von der Nagra zu leisten, sondern von erfahrenen Fachleuten des Bundes und von externen Fachexperten im Entsorgungsbereich;

- *Kompetenzen und Abgrenzungen:* die fachliche Kompetenz ist für die Erstellung von Kostenprognosen von grosser Bedeutung, und zwar nicht nur in Detailfragen. Es braucht Fachleute, welche das kostenmässig abzubildende System verstehen, auch Fachleute also, die man als „Generalisten“ bezeichnet. Finanzfachleute sollen nicht auf die Erhebung des technischen Systems der nuklearen Stilllegung und Entsorgung Einfluss nehmen können. Ihr Wissen ist gefragt, wenn es um die Finanzplanung und die Investitionen geht;
- *Deklaration:* Kostenprognosen bedürfen einer klarer Deklarationspflicht. Es ist zentral, den Grad der Unsicherheit bei der Abbildung eines Systems darzustellen. Z.B. erlaubt eine Vorstudie keine detaillierten Kostenprognosen. Dies stellt hohe Anforderung an die Kompetenz und die wissenschaftliche Redlichkeit der Akteure.
- *Kontrolle und Sanktionen:* Es braucht externe Kontrollen für die Kostenprognosen und es sind auch Sanktionen vorzusehen für Fälle, bei denen wissentlich irreführt oder offensichtlich gemogelt wird. Als Beispiel: das bewusste Zusammendrücken von Zeitplänen (siehe Kapitel 3.3) müsste sanktioniert werden, in dem Autoren, die für bewusste Manipulationen von Prognosen verantwortlich sind, aus den Projekten abgezogen würden. Es wird in diesem Zusammenhang auf die Sanktionsordnungen bei Plagiaten in wissenschaftlichen Institutionen hingewiesen (z.B. ETH).

Wir weisen in diesem Zusammenhang auch darauf hin, dass bei der Revision der Verordnung über die Stilllegung und Entsorgung (vom 7. Dezember 2007, Stand 1. Januar 2015), Artikel 8a, ein Sicherheitszuschlag von 30% auf die berechneten Kosten der Stilllegung und Entsorgung eingeführt wurde. Die Erfahrungen mit Bauprojekten im Inland und vor allem im Ausland zeigen aber:

- Sicherheitszuschläge von 30% werden üblicherweise voll ausgeschöpft beziehungsweise überschritten. Dies wird durch detaillierte Studien über Projektkosten und Kostenentwicklungen in der Bau- und Infrastrukturbranche belegt (siehe Arbeiten von Flyvbjerg et al. etc., einige davon in dieser Arbeit zitiert). Diese Projekte weisen einen anderen Detaillierungsgrad auf (Detailprojekte), weshalb sich Kostenüberschreitungen in Grenzen halten;
- Anders liegt die Sache bei Projekten in einem frühen Konzeptstadium oder bei Vorstudien oder generellen Studien. Bei solchen Arbeiten ist es nur möglich, die Grössenordnung der Realisierungskosten abzuschätzen. Vielfach differieren diese Kostenschätzungen von den realen Kosten um das mehrfache und teilweise sogar über das Zehnfache, weil das Projekt verändert wird und wächst (siehe in jüngster Zeit die bereits erwähnten Beispiele des Flughafens Berlin¹⁴ oder der Elbphilharmonie¹⁵, beide Kostenexplosionen innerhalb von 10 Jahren). Um wieviel grösser ist die Kostenunsicherheit bei einem Projekt von mindestens 150 Jahren, wie beim Entsorgungsprogramm Schweiz.

Es ist darum für Kostenberechnungen essentiell, die Grundlagen, auf denen Kostenberechnungen erfolgen, sauber auszuweisen. Sind es Konzepte und Vorstudien, auf denen ein komplexes und Jahrzehnte andauernde Planungsprojekt beruhen, reicht ein Sicherheitszuschlag von 30% bei weitem nicht aus, um die realen Kosten zu decken.

Aufgrund der bisherigen Erkenntnisse und mit Blick auf die Kostenstudie KS16 von swissnuclear wird darum ein Vorgehen skizziert, das dazu beitragen soll, die Kosten der Stilllegung und Entsorgung in der Schweiz künftig besser zu erfassen, beziehungsweise die Unsicherheitsbereich zu vermindern.

¹⁴ 761 Mio. Euro 1995 budgetiert, 2014 5.1 Mia. Euro erwartet, = Vervielfachung um Faktor 6.7, nicht teuerungsbereinigt

¹⁵ Grundlagenermittlung: 77 Mio. Euro, Budgetierung 23. April 2013: 789 Mio. Euro, nicht teuerungsbereinigt

5 Grundsätze für die Erfassung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten im Hinblick auf die Kostenstudie KS16

Im Hinblick darauf, verbesserte Kostenschätzungen für die anstehende Kostenstudie KS 16 zu erhalten, wird ein anderes Vorgehen zur Ermittlung der Kosten der Stilllegung und Entsorgung empfohlen. Es soll auf vier zentralen Pfeilern beruhen:

- *Definition der Leistungsphasen und der in diesen Phasen enthaltenen Arbeiten* (siehe auch Definition und Analyse des Projektsystems, cf. McKay et al. 2015, Priemus et al. 2013) sowie des Unsicherheitsbereichs aufgrund bestehender Erfahrungen: Hier würde es darum gehen, die Leistungs- bzw. Projektphasen zu definieren und das Niveau der Kenntnisse in der entsprechenden Projektphase auszuweisen. Ingenieur- und Bauprojekte weisen z.B. Leistungs- und Honorarordnungen aus, in der Schweiz die SIA 103¹⁶ oder in Deutschland die HOAI 2013. Die Genauigkeit der Kostenschätzungen widerspiegelt das Systemverständnis eines Projektes (siehe auch unten). Wichtig ist, dass die Ungenauigkeiten der Schätzungen für das Gesamtprojekt und die Teilprojekte oder Teilschritte ausgewiesen wird.

Das nukleare System Schweiz ist also zunächst aufzuzeichnen und besser zu erfassen. Die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Anlagen sind zu verstehen, ebenso deren Abhängigkeiten voneinander (z.B. Verzögerte Endlagerplanung hat längere Zwischenlagerung zur Folge, dies wiederum stellt die Frage nach der Alterung des Lagergutes und Nachbehandlungen usw.). Die Unsicherheiten in diesem System sind zu klären. Stilllegung, Rückbau von Anlagen und vor allem die Entsorgung können nur schrittweise entwickelt werden, was beträchtliche Kostenunsicherheiten mit sich bringt. Dies soll nicht als Kritik verstanden werden, sondern ist eine simple Feststellung bezüglich dem heutigen Stand der Projektierung (siehe unten). Notwendig ist also die Offenheit, die Situation so darzustellen wie sie ist.

- *Zeit- und Realisierungspläne*, welche diesen Vorgaben der Projektplanung folgen, mit möglichen Szenarien und realistischen Rahmenbedingungen. Kapitel 3.3 zeigt etwa auf, wie man unrealistische Zeitpläne mit gewaltigen Kostenfolgen produzieren kann. Dies gilt es in Zukunft zu vermeiden.

Eine historische Aufarbeitung der bisherigen Realisierungspläne ist eine Grundlage für die verbesserte Zeitplanung. Die Zeitplanung sollte auf Szenarien beruhen, um eine Bandbreite von Kosten zu eruieren (minimalen, maximales und mittleres Zeitszenario). Wichtig sind periodische Überprüfungen der Projektfortschritte, so wie sie vom neuen Kernenergiegesetz auch vorgesehen sind (Art. 32 Entsorgungsprogramm)

- *Definition und Analyse des Projektsystems* und der in einem solchen Projektsystem enthaltenen Teilsysteme (siehe erster Punkt). Dieser Schritt ist bei einem Projekt wie der Stilllegung von Atomanlagen und der Entsorgung ein ausserordentlich anspruchsvolles Unternehmen, denn eine Projektplanung über eines komplexen Systems über 100 Jahre und mehr und unter Einbezug von technisch-wissenschaftlichen, wirtschaftlichen, rechtlichen und anderen Faktoren und deren Wandel in der Zeit, ist zweifelsohne eine Herausforderung besonderer Art. Umso mehr ist es erforderlich, die diversen zu betrachtenden Teilsysteme zu charakterisieren in Bezug auf die vorhandene Erfahrung bei ihrer Planung und Umsetzung.

¹⁶ SIA 103 unterscheidet etwa Phasen wie die strategische Planung, die Vorstudie, die Projektierung, die Ausschreibung, die Realisierung usw., bei denen der Detaillierungsgrad eines Projektes und die Kosten sukzessiv präzisiert und eingengt werden. HOAI (2013, siehe http://www.hoi.de/online/HOAI_2013/HOAI_2013.php) definiert ein ähnliches Verfahren mit Leistungsphasen (Konzepte, Vorplanungen und Entwurfsplanungen, Bewilligungsplanungen, Ausführungsplanungen, Vergabedokumente mit Leistungsverzeichnissen, Kostenvoranschläge der Anbieter, Kostenmonitoring bei Projektumsetzung, Abschlusskosten Projekt usw.

Während z.B. für die Stilllegung von Atomkraftwerken erste richtungsweisende Erfahrungen vorliegen, sind die entsprechenden Erfahrungen beim Entsorgungssystem „Tiefenlager“ nur sehr beschränkt vorhanden. Die Erfahrungen bei der Realisierung von Mega-Projekten im Bereich der „nuklearen Entsorgung“ sind kaum vorhanden, und wenn es sie gibt, sind es ausschliesslich Problemprojekte (Asse und Morsleben BRD, WIPP USA).

In diesem Rahmen sollen zwei Beispiele aufgegriffen werden, die kostenrelevant sind und zeigen, wie wichtig eine systematische Auslegung und Entwicklung von Gross- oder Megaprojekten ist.

- a. *Unerwartete Ereignisse, Störfälle, Reserven:* Bei vielen Gross- oder Megaprojekten treten unerwartete Entwicklungen ein, die grossen Einfluss auf die Kosten haben. Z.B. der Abbruch des Wellenberg- oder des Kristallin-Programms der Nagra in der Schweiz, ähnlichen Entwicklungen im Falle des Projektes Gorleben (BRD) oder Yucca-Mountain (USA). Störfälle werden nie in Kostenschätzungen einkalkuliert, weder die Entwicklungen in Asse oder Morsleben oder der Unfall im WIPP vom 2014. Da solche Forderungen laufende Projekte zum Erliegen bringen könnten, werden sie – aus Zumutbarkeitsgründen – gar nicht gestellt. Es werden also keine oder kaum Rückstellungen gebildet für den Stör- oder Krisenfall, Kosten, die problemlos in die Milliarden gehen oder sogar zu einem Neuanfang der Projektierung führen können (= Verdoppelung der Kosten). Die Erfahrungen mit Risikoprojekten im Allgemeinen und mit Abfallprojekten im Speziellen sollten dafür sorgen, dass Rückversicherungen für solche Fälle vorgesehen werden. Unerwartete Ereignisse oder Störfälle können zu dramatischen Kostenfolgen führen und sollten daher in irgendeiner Form in Kostenschätzungen Eingang finden.
- b. *Rückholbarkeit:* kein Projekt im Bereich der nuklearen Entsorgung geht vom Versagen des Projektes oder der Projektplanung aus. Dabei haben die bisherigen Umsetzungen gezeigt, dass keines der weltweit realisierten Endlager für radioaktive Abfälle bzw. einige der bisher umgesetzten Endlager für chemo-toxische Abfälle ernste Sicherheitsprobleme aufweisen oder sogar gescheitert sind. Im Fall des Versuchsendlagers Asse erfolgten keine Rückstellungen für den Fall des Scheiterns des Projektes. Nach Eintreten der von einigen Geologen prognostizierten Schwierigkeiten sollen die Abfälle heute unter grossen Kostenfolgen für die Steuerzahler geborgen werden. Im Endlager für chemo-toxische Abfälle von St-Ursanne war die Situation ähnlich (Buser 2014). Im Fall der Sondermülldeponie Stocamine, Wittelsheim, Frankreich, wurde Reversibilität und Totalbergung der Abfälle als Auflage in der Bewilligung von 1997 vorgeschrieben (Copil 2011), dann aber missachtet, als die Grube nach dem Brandunfall 2002 zum Sanierungsfall wurde.

Was damit gesagt werden soll: Bergung oder Rückholung von Abfällen werden nie in die Kostenvoranschläge aufgenommen, obschon sie mit erschreckender Regelmässigkeit eintreten und zu gewaltigen Folgekosten führen.

Die häufigen schlechten Erfahrungen mit Gross- und Mega-Projekten sollten dazu genutzt werden, anders mit der Planung von Grossprojekten umzugehen und entsprechende Modelle zu entwickeln, wie Kosten auch in solchen Fällen berechnet und sichergestellt werden könnten.

- *Qualitätssicherung und Kontrolle:* Eine enge, kompetente Qualitätssicherung ist erforderlich, um ein richtiges Aufgleisen des Verfahrens zu gewährleisten und die Kostenentwicklung unter Kontrolle zu halten. Dies betrifft sowohl die Erarbeitung robuster Projektgrundlagen (siehe oben), die Rückstellungs- und Investitionsinstrumentarien wie auch die Gouvernanz der Programme und der Fonds sowie deren Risiken (Füglister 2015).

Dies bedingt aber, dass entsprechende Kontrollinstitutionen installiert sind mit hinreichenden Kompetenzen und Fachwissen. Mit der Eidgenössischen Finanzkontrolle verfügt die Schweiz über eine Institution, welche diese Rolle übernehmen kann. Das heutige Gesetz (Tab. 3.1) schreibt die periodische Überprüfung der Kosten (Kostenstudien) vor.

6 Folgerungen und Empfehlungen

Folgerungen: Drei wichtige Folgerungen aus der vorliegenden Untersuchung werden wie folgt zusammengefasst:

- die historische Erhebung der Kosten für Stilllegung und Entsorgung nuklearer Anlagen und Abfälle in der Schweiz zeigen eine systematische und dramatische Unterschätzung der realen Kosten auf. Grossen Anteil an diesen Fehlschätzungen haben systemische Fehler bei der Analyse von Gross- oder Megaprojekten wie auch enorme Schwierigkeiten bei der Einschätzung und Umsetzung von Realisierungsplänen, welche die effektiven Kosten bei weitem nicht abbilden. Die Kostentransparenz war lange nicht gewährleistet und bleibt auch heute noch in vielen Belangen unbefriedigend;
- die Gründe für die systematische Unterschätzung der Kosten seit vielen Jahrzehnten sind komplex und vielschichtig. Sicher ist es zweckmässig, diese Gründe auszuleuchten, um künftige Probleme bei Kostenschätzungen im Stilllegungs- und Entsorgungsbereich zu verringern. Eine der wichtigsten Erkenntnisse in diesem Zusammenhang ist es darum, die entsprechenden Qualitätskontrollen wie auch die externen Kontrollen zu gewährleisten. Dass die Eidgenössische Finanzkontrolle zunehmend in der Kostenkontrolle aktiv ist, ist begrüssenswert.
- die Gouvernanz der Kostenprogramme muss grundlegend überprüft werden, indem die Kompetenz und Unabhängigkeit der Organismen sichergestellt ist, welche die Kostenschätzungen ausführen. Diese Folgerungen sind durch internationale Erfahrungen bei Gross- und Megaprojekten im Ausland sehr gut belegt. Es gilt auch im Nuklearbereich, das Verursacherprinzip konsequent umzusetzen. Gleichzeitig gilt es aber auch sicherzustellen, dass die Kostenerhebungen korrekt ausgeführt werden. Dafür braucht es Unabhängigkeit und Redlichkeit seitens der mit einer solchen Aufgabe betrauten Institutionen und Personen.

Empfehlungen: Mit Blick auf die Kostenstudie 2016 (KS16) der Nuklearbranche (swissnuclear) wird empfohlen:

- die Grundsätze für die Erfassung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten im Hinblick auf die Kostenstudie KS16 und das Verständnis des Kostensystems zu vertiefen, um die Kostenstudie KS16 bezüglich den Eckdaten der Erhebung verfolgen zu können;
- auf die Trennung zwischen der Erhebung von Eck- und Grundlagedaten für Kostenschätzungen und der Gouvernanz von Fonds (Finanzierungsinstrumente, Anlagestrategien, Kontrollinstrumente usw.) zu achten und diese beiden Bereiche sorgsam voneinander zu trennen;
- interessierte Stellen (EFK, politische Verantwortliche, Umweltorganisationen, swissnuclear, usw.) breit über die Risiken der heutigen Kostensituation im Stilllegungs- und Entsorgungsbereich zu informieren, beziehungsweise direkte Gespräche mit verantwortlichen Stellen des Bundes zu vereinbaren.

Zürich, den 28. September 2015

Marcos Buser

Literatur

- Ackerman, Susan-Rose, Soreide, Tina, Eds. (2011): International Handbook on the Economics of Corruption, Volume Two, Edward Elgar Publishing, Inc., Northampton, Massachusetts.
- BAG (2015): Finanzierung der Entsorgung radioaktiver Abfälle im Verantwortungsbereich des Bundes, Bericht der Arbeitsgruppe, Abteilung Strahlenschutz, Bundesamt für Gesundheit, 23. April 2015.
- Basler&Hoffmann (2012): Prüfbericht zur Kostenstudie KS11: Extended Summary, Überprüfung der Kosten für den Bau der Untertage- anlagen der SMA- und HAA-Tiefenlager zuhanden des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorates ENSI, 31. Mai 2012.
- BFE (2014): Newsletter Tiefenlager, Nr. 13, August 2014.
- Bühler, R., Griffin, D. (2015): The Planning Fallacy: When Plans Lead to Optimistic Forecasts, in Mumford, D., Frese, M., Eds. (2015): The Psychology of Planning in Organizations, Research and Applications, Routledge New York.
- Buser, M. (2014): Galeries des anciens Fours à Chaux à St.-Ursanne: synthèse succincte de l'histoire, de l'assainissement et du remblayage (rapport final), Extraits des Actes 2014 de la société jurassienne d'émulation.
- Copil (2011): Comité de pilotage Stocamine, rapport d'expertise, juillet 2011.
- DOE (2014a): Accident Investigation Report, Underground Salt Haul Truck Fire at the Waste Isolation Pilot Plant on February 5, 2014, Department of Energy (DOE), Office of Environmental Management, March 2014.
- DOE (2014b): Accident Investigation Report, Phase 1, Radiological Release Event at the Waste Isolation Pilot Plant on February 14, 2014, Department of Energy (DOE), Office of Environmental Management, April 2014.
- EFK (2014) Stilllegungs- und Entsorgungsfonds, Prüfung der Governance, Eidg. Finanzkontrolle, 1. September 2014 EFK-14172.
- EKRA (2000): Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle, Schlussbericht, im Auftrag des Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, 31. Januar 2000.
- ENSI (2011): Stellungnahme zur Kostenstudie 2011 über die Stilllegungs- und Entsorgungskosten der Kernanlagen in der Schweiz, Oktober 2012.
http://static.ensi.ch/1351860942/ensi-stellungnahme-zur-kostenstudie_2011_web.pdf
- Eubanks D., Read, D., Grushka-Cockayne, Y. (2015): Biases as Constraints of Planning Performance, in Mumford, D., Frese, M., Eds. (2015): The Psychology of Planning in Organizations, Research and Applications, Routledge New York.
- Flyvbjerg, Bent, Skamris Holm, Mette, Buhl, Soren (2005): How (In)accurate Are Demand Forecasts in Public Work Projects, Journal of the American Planning Association, Spring 2005, Vol. 71, No.2, <http://flyvbjerg.plan.aau.dk/Traffic91PRINTIAPA.pdf>.
- Flyvbjerg, Bent (2005): Policy and Planning for Large Infrastructure Projects: Problems, Causes, Cures, World Bank Policy Research Working Paper 3781, December 2005.
- Flyvbjerg, Bent (2006): From Nobel Prize to Project Management: Getting Risks Right, Project Management Journal, Vol. 37, 3. August 2006.
- Flyvbjerg, Bent (2014): What You Should Know About Megaprojects and Why, Project Management Journal, Vol. 45, No. 2.
- Füglistner, S. (2015): Governance der Axpo, mangelnde Steuerung erhöht die Risiken, Bericht zuhanden Greenpeace Schweiz, August 2015.
- Hawley, J., Kamath, S., Williams, A. (2011): Corporate Governance Failures, Penn, University of Pennsylvania Press, Philadelphia.
- HSK (2006): Beurteilung der Kostenstudie KS06 der Stilllegungs- und Entsorgungskosten, HSK-AN-6284.
- INA (2011): Erfahrungswerte bei der Planung und Umsetzung des Sachplans und des Realisierungsplans geologische Tiefenlager und Planungsgrundlagen für das weitere Vorgehen,

zuhanden Kommission für nukleare Sicherheit, Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft INA GmbH, Version 5, September 2011.

- Leijten, M. (2013): Real-world decision-making on mega-projects: politics, bias and strategic behaviour, in Priemus, Hugo, van Wee, Bert (2013): International Handbook on Mega-Projects, Edward Elgar Publishing, Inc., Northampton, Massachusetts.
- Lessard, D., Miller, R. (2013): The shaping of large engineering projects, in Priemus, Hugo, van Wee, Bert (2013): International Handbook on Mega-Projects, Edward Elgar Publishing, Inc., Northampton, Massachusetts.
- McKay, K., van Wezel, W., Waefler T. (2015) Expertise in Organizational Planning, Impact on Performance, in Mumford, D., Frese, M., Eds. (2015): The Psychology of Planning in Organizations, Research and Applications, Routledge New York.
- Möller, Detlev (2009): Endlagerung radioaktiver Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland, Studien zur Technik-, Wirtschafts- und Sozialgeschichte, Vol. 15, Peter Lang, Internationaler Verlag der Wissenschaften.
- Montoya, A., Carter, D., Martin, J., DeChurch, L. (2015) The Five Perils of Team Planning: Regularities and Remedies, in Mumford, D., Frese, M., Eds. (2015): The Psychology of Planning in Organizations, Research and Applications, Routledge New York.
- Müller, Kaspar (2013): Kernenergie – ist die Finanzierung durch die Verursacher gesichert? 7. Vollversammlung Regionalkonferenz Südranden, Schaffhausen, 17. April 2013.
- Mumford, D., Frese, M., Eds. (2015): The Psychology of Planning in Organizations, Research and Applications, Routledge New York.
- Mumford, M., Giorgini, V., Steele, L. (2015): Factors Influencing Leader Planning Performance, in Mumford, D., Frese, M., Eds. (2015): The Psychology of Planning in Organizations, Research and Applications, Routledge New York.
- Nagra (1979a): Das Forschungsprogramm der Nagra zur Endlagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Informiert Nr. 2, Nagra Baden, März 1979.
- Nagra (1979b): Die bevorstehenden Probebohrungen als Bestandteile des 200-Millionen-Forschungsprogramms der Nagra, Nagra Informiert Nr. 5, Nagra Baden, 1979.
- Nagra (1992): Nukleare Entsorgung Schweiz – Konzept und Realisierungsplan, Nagra Technischer Bericht NTB 92-02, Nagra, Wettingen, Dezember 1992.
- Nagra (2008): Entsorgungsprogramm, NTB 08-01, Oktober 2008.
- Nagra (2010): Beurteilung der geologischen Unterlagen für die provisorischen Sicherheitsanalysen in SGT Etappe 2 - Klärung der Notwendigkeit ergänzender geologischer Untersuchungen, NTB 10-01, Oktober 2010.
- Nagra (2015): Geschäftsbericht 2014, Nagra Wettingen
- OFEL (1982): Aperçu de l'élimination des déchets nucléaires en Suisse, Office d'électricité de la Suisse romande, mars 1982.
- Priemus, Hugo, van Wee, Bert (2013): International Handbook on Mega-Projects, Edward Elgar Publishing, Inc., Northampton, Massachusetts.
- Priemus, H., Bosch-Rekvelde, M., Giezen, M. (2013): Dealing with complexity, uncertainties and risk of mega-projects: redundancy, resilience and adaptivity, in Priemus, Hugo, van Wee, Bert (2013): International Handbook on Mega-Projects, Edward Elgar Publishing, Inc., Northampton, Massachusetts.
- Rechsteiner, Rudolf (2015): Entschädigung für alte Atomkraftwerke? Gutachten für die SP-Schweiz, re-solution.ch, 1. September 2015
- Riva, Enrico, Müller, Reto (2015): Mögliche Entschädigungsforderungen von AKW-Betreibern, Gutachten zuhanden der Sozialdemokratischen Fraktion der schweizerischen Bundesversammlung, Bern, 8. September 2015
- Savage, N., Marlow, S., Salas, E. (2015): Examining the Multi-Level Effects on Organizational Planning on Performance, in Mumford, D., Frese, M., Eds. (2015): The Psychology of Planning in Organizations, Research and Applications, Routledge New York.

- Stamatis, D.H. (2014): Introduction to Risk and Failures, Tools and Methodologies, CRC Press Boca Raton FL.
- swissnuclear (2006a/2009): Kostenstudie 2006 (KS06), Aktualisierung der Stilllegungskosten, Fachgruppe Kernenergie der swisselectric, Revision 24.02.2009.
http://www.bfe.admin.ch/entsorgungsfonds/?lang=de&dossier_id=05721
- swissnuclear (2006b/2009): Kostenstudie 2011 (KS06), Aktualisierung der Entsorgungskosten der Schweizer Kernkraftwerke, Fachgruppe Kernenergie der swisselectric, Revision 20.02.2009.
http://www.bfe.admin.ch/entsorgungsfonds/?lang=de&dossier_id=05721
- swissnuclear (2006c/2009): Kostenstudie 2006 (KS06), Ermittlung der Kosten für die Nachbetriebsphase der Schweizer, Fachgruppe Kernenergie der swisselectric, Revision 02.03.2009.
http://www.bfe.admin.ch/entsorgungsfonds/?lang=de&dossier_id=05721
- swissnuclear (2011a): Kostenstudie 2011 (KS11), Schätzung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen, Fachgruppe Kernenergie der swisselectric.
http://www.bfe.admin.ch/entsorgungsfonds/index.html?lang=de&dossier_id=05278
- swissnuclear (2011b): Kostenstudie 2011 (KS11), Schätzung der Entsorgungskosten der Schweizer Kernkraftwerke, Fachgruppe Kernenergie der swisselectric.
http://www.bfe.admin.ch/entsorgungsfonds/index.html?lang=de&dossier_id=05278
- swissnuclear (2011c): Kostenstudie 2011 (KS11), Schätzung der Kosten der Nachbetriebsphase der Schweizer Kernkraftwerke, Fachgruppe Kernenergie der swisselectric.
http://www.bfe.admin.ch/entsorgungsfonds/index.html?lang=de&dossier_id=05278
- swissnuclear (2011d): Kostenstudie 2011 (KS11), Mantelbericht, Fachgruppe Kernenergie der swisselectric. www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?...de...
- UVEK (2013): Revision der Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung (SEFV), Erläuterungsbericht, Eidg. Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, 21. August 2013
- Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke et al. (1978): Die nukleare Entsorgung in der Schweiz, Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE), Gruppe der Kernkraftwerkbetreiber und -projektanten (GKBP), Konferenz der Ueberlandwerke (UeW), Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra), 9. Februar 1978.
- Verwaltungskommission des Entsorgungsfonds (2001-2013): Jahresberichte 2001 - 2013, Entsorgungsfonds für Kernkraftwerke.
http://www.bfe.admin.ch/entsorgungsfonds/01476/index.html?lang=de&dossier_id=01493
- WWF (1983): Atommüllsorgen, Panda II/83. Autor: M. Buser.
- Zwilag (2015) Geschäftsbericht 2014, Zwilag AG Würenlingen