



GREEN BUDGET GERMANY

---

FORUM ÖKOLOGISCH-SOZIALE MARKTWIRTSCHAFT

---

## **Kosten für Stilllegung/Rückbau und Entsorgung des von E.ON in Finnland geplanten Kernkraftwerks**

### **Kurzstudie im Auftrag von Greenpeace e.V.**

**Tristan Fuhrmann**

Kontakt: 0175/ 20 66 432  
tristan.fuhrmann@gmx.de

**Dipl.-Volksw. Bettina Meyer**

Kontakt: 0431/ 80 28 26  
bettina.meyer@foes.de

02. Mai 2012

#### **Kurzübersicht**

In dieser Studie wird auf der Grundlage der Schweizerischen Kostenstudien 2011 und der von Greenpeace zur Verfügung gestellten Informationen bezüglich des von E.ON. geplanten Neubau eines Kernkraftwerks im finnischen Pyhäjoki abgeschätzt, welche Kosten mit Stilllegung, Rückbau und der Realisierung eines Endlagers allein für die radioaktiven Abfälle aus diesem KKW verbunden wären.

Zusammenfassend lautet das Ergebnis, dass einschließlich der Suche nach einem geeigneten Endlagerstandort und Bereitstellung einer Risikovorsorge für Kostenerhöhungen und mögliche Probleme am Endlager Gesamtkosten für Stilllegung/Rückbau und Entsorgung in der Spannweite von 12,1 - 18,7 Mrd. € zu erwarten sind. Im mittleren Best-Guess-Szenario betragen die Kosten 16,5 Mrd. € und damit 2,7 Cent pro Kilowattstunde erzeugte Strommenge. Dieser Wert beträgt das 2,7-fache des Durchschnittswertes der deutschen Kernkraftwerke. In einem möglichen Szenario mit hohen spezifischen Kosten müsste E.ON allein für Stilllegung/Rückbau und Entsorgung des KKW in Pyhäjoki 18,7 Mrd. € finanzieren. Große Risiken für E.ON bestehen darin, dass die Laufzeit kürzer ist und/oder Rückbau und Entsorgung deutlich teurer werden als bei Projektplanung einkalkuliert wird. Wird die Laufzeit – z.B. durch einen schweren nuklearen Unfall und/oder eine politische Neubewertung der Kernenergie in Finnland – etwa auf 30 Jahre begrenzt, würde bei entsprechend geringerer Bruttostromerzeugung eine Belastung allein für Rückbau und Entsorgung von 5,6 Ct pro kWh resultieren. Das Risiko für ein auch finanzielles Desaster ist beträchtlich hoch.

## Inhalt

<b>I.</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>3</b>
<b>II.</b>	<b>BERECHNUNG DER ENTSORGUNGSKOSTEN</b>	<b>6</b>
A.	Fakten und Annahmen zu dem von E.ON in Finnland geplanten KKW-Neubau	6
B.	Berechnungsgrundlage: Die Schweizer Kostenstudien 2011	6
C.	Übertragung der Schweizer Entsorgungskostenstudie 2011 auf Pyhäjoki	6
<b>III.</b>	<b>ANHANG:</b>	<b>13</b>
A.	Aufbau, Berechnungsgrundlage und Methodik der Schweizer Kostenstudien	13
B.	Struktur der Entsorgungskosten in der Schweizer Entsorgungskostenstudie 2011	14
C.	Struktur der Entsorgungskosten in der Schweizer Entsorgungskostenstudie 2011	15
D.	Das Schweizer Zwischenlagerkonzept	16
E.	Das Schweizer Konzept für die Endlagerung	18
F.	Erläuterungen zur Berechnung der spezifischen Entsorgungskosten	22
G.	Erläuterungen zum Konzept des fairen Wechselkurses nach der Kaufkraftparität	25
	<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>26</b>
	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>28</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	
Tabelle 1	Berechnung der Kosten pro kWh	4
Tabelle 2	Mengen radioaktiver Abfälle aus dem KKW Pyhäjoki	7
Tabelle 3	Berechnung der gesamten Entsorgungskosten des KKW Pyhäjoki bei Umrechnung der Schweizer Kostenschätzungen	11
Tabelle 4	Vergleich der Kosten pro kWh inklusive Risikozuschlägen und Vorsorge	12
Tabelle 5	Summe und Struktur der Entsorgungskosten in der Schweiz	14
Tabelle 6	Anteil fixer und variabler Kosten an den Gesamtkosten der Entsorgung	15
Tabelle 7	Kosten für das Endlagersuchverfahren in der Schweiz	15
Tabelle 8	Betriebszeiten und Kapazitäten der Zwischenlager	17
Tabelle 9	Kosten der Zwischenlagerung in der Schweiz	18
Tabelle 10	Zeitplan für Planung, Bau und Betrieb der geologischen Tiefenlager	20
Tabelle 11	Schematische Darstellung eines HAA/LMA und eines SMA-Lagers	21

## I. ZUSAMMENFASSUNG

E.ON plant den Neubau eines Kernkraftwerks im finnischen Pyhäjoki. Die Entsorgung des anfallenden Atomabfalls dieses geplanten KKW ist bislang völlig ungeklärt. Zwar wird in Olkiluoto zurzeit ein mögliches Endlager geprüft, doch wird dieses von den Firmen Teollisuuden Voima Oyj (TVO) und Fortum Power & Heat Oy als Betreibern der vier bereits laufenden AKW in Finnland geführt. Das neue Konsortium Fennovoima hat nach derzeitigem Stand der Planungen keinen Zugriff darauf. Zudem ist fraglich, ob das Lager genügend Kapazität hätte um den Müll aufzunehmen.

In dieser Kurzstudie werden die Kosten für Rückbau (einschließlich Stilllegung) und Entsorgung ermittelt für das Szenario, dass E.ON bei der Entsorgung der radioaktiven Abfälle aus Rückbau und Betrieb keinen Zugang zum Endlager für die anderen finnischen radioaktiven Abfälle erhält und gezwungen sein würde, ein Endlager allein für die Abfälle aus dem KKW Pyhäjoki (KKP) zu finanzieren.

Für die Schätzung der Entsorgungskosten werden die 2011 in aktualisierter Fassung veröffentlichten Schweizer Studien zu den Kosten für Stilllegung/ Rückbau und Entsorgung zugrunde gelegt, da diese Kostenstudien außerordentlich transparente Angaben und Erläuterungen zu den Gesamtkosten und den einzelnen Kostenbestandteilen enthalten. Neben verschiedenen Kostenarten wird innerhalb dieser Kostenarten auch zwischen fixen und variablen Kosten unterschieden, so dass die Schweizer Kostenstudien erlauben, die Kostenschätzung auf andere Abfallmengen zu übertragen. Etwa 80% der Kosten für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle haben Fixkostencharakter; sie fallen also unabhängig von der anfallenden Menge stets in gleicher Größenordnung an.

Für diese Kurzstudie werden drei Szenarien für die Kosten für Stilllegung/Rückbau und Entsorgung unterschieden, um eine Spannbreite der Kosten abhängig von verschiedenen Einflussfaktoren angeben zu können. Die drei Szenarien unterscheiden sich vor allem bei den folgenden fünf Einflussfaktoren. Im Einzelnen werden die Annahmen in Tabelle 1 dargestellt und in Anhang F ausführlich erläutert.

- Sowohl im Max-, als auch im Best Guess-Szenario verfügt das Kraftwerk über eine installierte Leistung von 1.600 MW; im Min-Szenario wird eine installierte Leistung von 1.700 MW unterstellt (Zeile 1).
- Im Szenario mit hohen spezifischen Kosten (Max-Szenario) werden eine vergleichsweise geringe Laufzeit von 30 Jahren und eine durchschnittliche Verfügbarkeit von 80% unterstellt, in den anderen beiden Szenarien werden höhere Laufzeiten und Verfügbarkeiten angenommen (Zeilen 4 und 5). Im Max-Szenario wird angenommen, dass beim Rückbau des KKP schwach- und mittelradioaktive Abfälle mit einem Volumen von 7.000 m<sup>3</sup> anfallen; im Best-Guess- und im Min-Szenario beträgt dieser Wert 6.000 m<sup>3</sup> bzw. 5.000 m<sup>3</sup> (Zeile 11).
- Im Min-Szenario wird der Standort für das Endlager für das E.ON-KKW im Rahmen der Standortsuche für das Endlager für die laufenden bzw. in Bau befindlichen finnischen KKW mit bestimmt und E.ON muss keine Suchkosten finanzieren. In den anderen beiden Szenarien muss E.ON auch die Kosten der Standortsuche finanzieren (Zeile 15).
- Im Max-Szenario werden außerdem höhere Risikozuschläge berücksichtigt für das Risiko von Kostenerhöhungen während der Durchführung von Stilllegung/Rückbau und Entsorgung (Zeilen 20-22) sowie für das Risiko, dass nach Verschluss des Endlagers eine Havarie eintritt und eine Bergung der Abfälle, eine Sanierung des Endlagers und/oder ein neues Endlager nötig werden (Zeile 23).

Unter diesen Annahmen werden die drei Szenarien berechnet und führen zu folgenden Ergebnissen:

Tabelle 1 Berechnung der Kosten pro kWh

		Einheit	Deutschland	Schweiz	E.ON-Neubauprojekt Finnland (KKW Pyhojaki - KKP)		
			Best Guess	Best Guess*	Min (Geringe Kosten)	Best Guess	Max (Hohe Kosten)
X	Installierte Leistung noch rückzubauender KKW	MW	23.300	3.408	1.700	1.600	1.600
X	Anzahl noch rückzubauender KKW	Anzahl	19	5	1	1	1
= 1/2	Durchschnittliche Leistung pro KKW	MW	1.226	682	1.700	1.600	1.600
X	Laufzeit in Jahren	Jahre	32	50	60	50	30
X	Verfügbarkeit	%	85%	85%	90%	85%	80%
X	Kumulierte Bruttostromerzeugung (gesamte Laufzeit)	TWh	5.552	1.269	804	596	336
X	HAA-Menge bereinigt um Wiederaufarbeitung	Tonnen Schwermetall	17.471	3.600	2.155	1.690	1.014
=7/6	HAA pro TWh	tSM	3,1	2,8	2,7	2,8	3,0
X	SMA Betriebsabfälle	m <sup>3</sup>	76.000	30.000	17.958	14.085	8.451
=9/6	SMA Betriebsabfälle pro TWh	m <sup>3</sup>	13,7	23,6	22,3	23,6	23,6
X	SMA Rückbauabfälle	m <sup>3</sup>	85.000	30.000	5.000	6.000	7.000
=11/2	SMA Rückbauabfälle pro KKW	m <sup>3</sup>	5.000	6.000	5.000	6.000	7.000
=9+11	SMA Abfälle gesamt	m <sup>3</sup>	161.000	60.000	22.958	20.085	15.451
X	Entsorgungskosten ohne Endlagersuche	Mrd. €	22,5	10,1	6,3	5,5	3,7
X	Kosten der Endlagersuche	Mrd. €	1,3	1,3	0,0	1,3	1,3
=14+15	Summe Entsorgungskosten	Mrd. €	23,7	11,4	6,3	6,8	5,0
X	Kosten für Rückbau (incl. Stilllegung)	Mrd. €	19,0	3,3	1,0	1,2	1,4
=16+17	<b>Gesamtkosten Rückbau und Entsorgung vor Berücksichtigung Risikozuschläge</b>	<b>Mrd. €</b>	<b>42,7</b>	<b>14,7</b>	<b>7,3</b>	<b>8,0</b>	<b>6,4</b>
=18/6		<b>Ct/kWh</b>	<b>0,8</b>	<b>1,2</b>	<b>0,9</b>	<b>1,3</b>	<b>1,9</b>
X	Risikozuschlag für Kostenerhöhung bei Entsorgung	%	20%	0%	20%	20%	40%
X	Risikozuschlag für Kostenerhöhung bei Rückbau	%	0%	0%	0%	0%	20%
=20*16+21*17	Summe Kostenerhöhungs-Risikozuschläge	Mrd. €	8,5	0,0	1,3	1,4	2,3
X	Risikovorsorge für Bergung, Sanierung, neues Endlager	Mrd. €	7,0	0,0	3,5	7,0	10,0
=18+22+23	<b>Gesamtkosten Rückbau und Entsorgung (inkl. Risikozuschlägen)</b>	<b>Mrd. €</b>	<b>54,5</b>	<b>14,7</b>	<b>12,1</b>	<b>16,3</b>	<b>18,7</b>
=24/6		<b>Ct/kWh</b>	<b>1,0</b>	<b>1,2</b>	<b>1,5</b>	<b>2,7</b>	<b>5,6</b>

\* Die Angaben zu den Kosten für Stilllegung/Rückbau und Entsorgung inklusive Endlagersuche in der Schweiz beruhen auf Schätzungen des Bundesamtes für Energie und swissnuclear, dem Branchenverband der schweizerischen KKW-Betreiber. Es handelt sich um eine konservative Schätzung, da keine Risikozuschläge oder Risikovorsorge mit einbezogen werden.

Zusammenfassend lautet das Ergebnis, dass einschließlich der Suche nach einem geeigneten Endlagerstandort und Bereitstellung einer Risikovorsorge für Kostenerhöhungen und mögliche Probleme am Endlager Gesamtkosten für Stilllegung/Rückbau und Entsorgung in der Spannbreite von 12,1 -

18,7 Mrd. € zu erwarten sind (Zeile 24). Im mittleren Best-Guess-Szenario betragen die Kosten 16,3 Mrd. € und damit 2,7 Cent pro Kilowattstunde erzeugter Strommenge. Dieser Wert beträgt das 2,7-fache des Vergleichswertes für den Durchschnitt der deutschen Kernkraftwerke. In einem möglichen Szenario mit hohen spezifischen Kosten müsste E.ON allein für Stilllegung/Rückbau und Entsorgung des KKW in Pyhäjoki 18,7 Mrd. € finanzieren (Zeile 24). Große Risiken für E.ON bestehen darin, dass die Laufzeit kürzer ist und/oder Rückbau und Entsorgung deutlich teurer werden als bei Projektplanung einkalkuliert wird. Wird die Laufzeit – z.B. durch einen schweren nuklearen Unfall und/oder eine politische Neubewertung der Kernenergie in Finnland – z.B. auf 30 Jahre begrenzt, würde bei entsprechend geringerer Bruttostromerzeugung eine Belastung allein für Rückbau und Entsorgung von 5,6 Ct /kWh resultieren (Zeile 25). Das Risiko für ein auch finanzielles Desaster ist beträchtlich hoch.

Im günstigsten Fall erzeugt das KKW Pyhäjoki über 60 Jahre mit hoher Verfügbarkeit (90%) Strom, es kommt nicht zu Kostenerhöhungen, es fallen keine Kosten für die Suche eines Endlagerstandorts an und die finnische Regierung verlangt auch keine Risikovorsorge für eine mögliche Havarie des Endlagers. Dann kann E.ON die moderaten Kosten für Stilllegung/Rückbau und Entsorgung von 0,9 Ct/kWh während der Betriebszeit erwirtschaften (Zeile 19).

In allen drei Szenarien weist das E.ON-Neubauprojekt KKW Pyhäjoki im Vergleich mit Deutschland und der Schweiz die niedrigsten absoluten Gesamtkosten für Stilllegung/Rückbau und Entsorgung auf (vor Berücksichtigung von Risikozuschlägen; Zeile 18). Da sich diese Kosten aber auf die mit Abstand kleinste Gesamtstrommenge verteilen, liegen die spezifischen Gesamtkosten für Rückbau und Entsorgung beim KKW Pyhäjoki mehr oder weniger deutlich über den spezifischen Kosten der deutschen und der Schweizerischen Kernkraftwerke (Zeile 19).

Mit Risikozuschlägen und der als Fixkosten zu sehenden Vorsorge liegen sogar die absoluten Gesamtkosten für Rückbau und Entsorgung des KKW Pyhäjoki im Best-Guess- und im Max-Szenario über denen der Schweiz, für die in Orientierung an den Schweizer Kostenstudien keine Risikozuschläge berechnet werden (Zeilen 20-22). Die spezifischen Kosten für Rückbau und Entsorgung des KKW Pyhäjoki belaufen sich im Best-Guess-Szenario auf das 2,7-fache des Vergleichswertes für Deutschland. Im Max-Szenario betragen die spezifischen Kosten mit Risikozuschlägen beim KKW Pyhäjoki sogar das 5,6-fache der spezifischen Kosten in Deutschland (Zeile 25).

## II. BERECHNUNG DER ENTSORGUNGSKOSTEN

### A. Fakten und Annahmen zu dem von E.ON in Finnland geplanten KKW-Neubau

Für unsere Berechnungen in dieser Studie nehmen wir auf der Grundlage der uns durch Greenpeace zur Verfügung gestellten Informationen Folgendes an:

- E.ON. wird das Endlager für radioaktive Abfälle der anderen Kernkraftwerksbetreiber in Finnland nicht mit benutzen können und somit ein Endlager nur für Abfälle aus Betrieb, Stilllegung und Rückbau des KKW Pyhäjoki (KKP) errichten und betreiben müssen
- Neben dem eigens für das KKP zu errichtenden Endlager muss auch ein Zwischenlager speziell für die Abfälle aus dem Kraftwerk gebaut, betrieben und rückgebaut werden
- Das KKW Pyhäjoki wird eine installierte Leistung von 1.600 bis 1.700 MW aufweisen
- Das KKP wird zwischen 30 und 60 Jahren im Leistungsbetrieb sein
- Das KKP wird über die gesamte Laufzeit betrachtet eine Verfügbarkeit von 80-90% aufweisen

### B. Berechnungsgrundlage: Die Schweizer Kostenstudien 2011

Als Berechnungsgrundlage dient in dieser Kurzstudie die Schweizer Kostenstudie zu den Entsorgungskosten im Nuklearbereich aus 2011. Ausführliche Informationen zu Aufbau, Berechnungsgrundlagen und Methodik der Studien<sup>1</sup>, sowie Angaben über Anteile fixer und variabler Kosten<sup>2</sup> und die Kosten des Endlagersuchverfahrens<sup>3</sup> finden sich im Anhang dieser Kurzstudie und ausführlicher in der FÖS-Studie **Rückstellungen für Rückbau und Entsorgung im Atombereich. Thesen und Empfehlungen zu Reformoptionen.**

### C. Übertragung der Schweizer Entsorgungskostenstudie 2011 auf Pyhäjoki

Die Kostenschätzung für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle in der Schweiz dient im Folgenden als Berechnungsgrundlage für die Kosten der Entsorgung in Deutschland. Dabei wird wie folgt vorgegangen:

- Zunächst werden die allgemeinen Daten für die Hochrechnung der Entsorgungskosten bestimmt (Abschnitt a). Diese bestehen einmal aus den einzulagernden Mengen radioaktiver Abfälle in der Schweiz und beim KKW Pyhäjoki. Zudem wird ein Wechselkurs von CHF zu € festgelegt und seine Auswahl begründet.
- In einem zweiten Schritt werden Annahmen bezüglich der Hochrechnung der einzelnen Entsorgungskostenbestandteile getroffen (Abschnitt b). Dabei wird erst allgemein zwischen fixen und variablen Kosten der Entsorgung unterschieden. Anschließend wird eine Einteilung der einzelnen Kostenbestandteile in diese beide Kategorien vorgenommen und es werden Umrechnungsfaktoren von der Schweiz auf das KKW Pyhäjoki festgelegt. Auch auf die Probleme der Übertragung von der Schweiz auf Deutschland bei einzelnen Kostenbestandteilen wird eingegangen. Soweit konkrete Kenntnisse zu den bei der Entsorgung der radioaktiven Abfälle aus dem KKW

---

<sup>1</sup> Siehe Anhang A

<sup>2</sup> Siehe Anhang B

<sup>3</sup> Siehe Anhang C

Pyhäjoki anfallenden Kosten vorliegen, werden diese anstelle einer Hochrechnung der Schweizer Kostenschätzungen verwendet.

- Anschließend werden die Unsicherheiten der vorgenommenen Hochrechnung dargestellt und erläutert wie damit bei der Berechnung verfahren wurde (Abschnitt c).
- Der letzte Schritt besteht daraus, die errechneten anfallenden Entsorgungskosten des KKW Pyhäjokizu mit der kumulierten Bruttostromerzeugung des Kraftwerks in Bezug zu setzen (Abschnitt d).

#### a. Allgemeine Daten für die Hochrechnung der Entsorgungskosten

##### Einzulagernde Mengen

In der Schweiz sind laut BFE nach einer angenommenen Gesamtlaufzeit der fünf Kraftwerke von 50 Jahren insgesamt 70.000 m<sup>3</sup> (endlagerverpackt) radioaktive Abfälle einzulagern. Etwa 10% Prozent davon, genau 7.300 m<sup>3</sup> sind hochaktive Abfälle. Dieser ergeben sich aus einer Menge abgebrannter Brennelemente von 3.600 Tonnen Schwermetall, wovon 1.100 Tonnen wiederaufgearbeitet wurden. Durch die Wiederaufarbeitung hat sich die Menge endzulagernder hochradioaktiver Abfälle in der Schweiz reduziert. Ohne Wiederaufarbeitung würde sich in der Schweiz ein Volumen hochradioaktiver Abfälle in Höhe von 9.750 m<sup>3</sup> ergeben.<sup>4</sup> Da die Wiederaufarbeitung in Finnland rechtlich nicht mehr zulässig ist, besteht diese Möglichkeit die Menge der hochradioaktiven Abfälle zu reduzieren dort nicht. Um die zu erwartenden Abfallmengen beim KKP abschätzen zu können haben wir die schweizerischen Abfallmengen als Berechnungsgrundlage herangezogen. Für unsere drei Szenarien ergeben sich folgende Abfallmengen:

**Tabelle 2 Mengen radioaktiver Abfälle aus dem KKW Pyhäjoki<sup>5</sup>**

	Einheit	Deutschland	Schweiz	E.ON-Neubauprojekt Finnland		
				Min (Geringe Kosten)	Best Guess	Max (Hohe Kosten)
		Best Guess	Best Guess			
HAA-Menge bereinigt um Wiederaufarbeitung	Tonnen Schwermetall	17.471	3.600	2.155	1.690	1.014
HAA pro TWh	tSM	3	3	3	3	3
SMA Betriebsabfälle	m <sup>3</sup>	76.000	30.000	17.958	14.085	8.451
SMA Betriebsabfälle pro TWh	m <sup>3</sup>	14	24	22	24	24
SMA Rückbauabfälle	m <sup>3</sup>	85.000	30.000	5.000	6.000	7.000
SMA Rückbauabfälle pro KKW	m <sup>3</sup>	5.000	6.000	5.000	6.000	7.000
SMA Abfälle gesamt	m <sup>3</sup>	161.000	60.000	22.958	20.085	15.451

<sup>4</sup> [http://www.nagra.ch/g3.cms/s\\_page/79880/s\\_name/volumen](http://www.nagra.ch/g3.cms/s_page/79880/s_name/volumen)

<sup>5</sup> Die genauen Berechnungen finden sich in Anhang F

## Wechselkurs<sup>6</sup>

In dieser Studie wird nicht mit dem – in den letzten Jahren sehr volatilen – aktuellen nominalen Wechselkurs gearbeitet, sondern auf das Konzept des „fairen“ Wechselkurses nach der Kaufkraftparität zurückgegriffen. Die aktuelle Kaufkraft des Schweizer Franken wird in verschiedenen Quellen in der Größenordnung von 1,35-1,40 CHF/€ angegeben.<sup>7</sup> Für die Zugrundelegung der Kaufkraftparität spricht auch, dass in den Kostenschätzungen 2011 des schweizerischen Bundesamtes für Energie (BFE) ebenfalls ein Wechselkurs von 1€ = 1,40 CHF unterstellt wird (BFE 2011g, 24).

**Ergebnis: Als Umrechnungskurs des Schweizer Franken zum Euro wird ein Kurs von 1,40 CHF/€ verwendet.**

### b. Annahmen und Unsicherheiten bei der Umrechnung der einzelnen Entsorgungskostenbestandteile

Folgende Annahmen werden bei der Übertragung der Schweizer Kostenschätzung auf das KKW Pyhäjoki zugrunde gelegt:

- In den Schweizer Entsorgungskostenstudien wird zwischen fixen und variablen Kosten unterschieden.<sup>8</sup> Eine genaue Unterscheidung von fixen und variablen Kostenbestandteilen findet sich in Anhang B. Für die Übertragung der **variablen Kosten** der schweizerischen Kostenschätzung auf die variablen Kosten beim KKW wurden die prozentualen Anteile an den Schweizer Abfällen als Umrechnungsfaktoren benutzt. Dabei ergeben sich für das Min-, das Max- und das Best-Guess-Szenario unterschiedliche Abfallmengen und demzufolge auch unterschiedliche Umrechnungsfaktoren.

Für die Kostenarten Transportlagerbehälter (TLB), Transport und Wiederaufarbeitung enthält die Schweizer Kostenstudie die Angabe, dass sie kraftwerksgenau berechnet werden können (BFE 2011g, S. 8/9). Sie können daher eindeutig den variablen Kosten zugerechnet werden (siehe Tabelle 6).

- Die Kosten der **Wiederaufarbeitung** können und dürfen nicht auf das Projekt in Pyhäjoki übertragen werden, da die Wiederaufbereitung in Finnland gesetzlich untersagt ist. In der Schweiz wurden insgesamt mehr als 1.100 Tonnen Brennstoff der Wiederaufarbeitung zugeführt (Nagra 2008, S. 7). Die Kosten der Wiederaufarbeitung werden für das KKW Pyhäjoki gleich „0“ gesetzt, da voraussichtlich keine Wiederaufarbeitung stattfinden würde.
- Die **Hochrechnung der Fixkosten** kann nur als grobe Schätzung vorgenommen werden. Bei den in der Kostenstudie 2011 für die Schweizer Entsorgungskosten als fix dargestellten Kosten stellt sich die Frage, ab welchen Minderungen radioaktiver Abfälle auch diese Kostenkomponenten wie stark absinken. So ist es z.B. plausibel, dass geringfügig kleinere Mengen von Abfällen zu kaum niedrigeren Kosten führen. Hierbei würden sich nur die variablen Kosten für Maschinen, Material und Arbeitskräfte verringern. Handelt es sich aber um deutlich kleinere Mengen von Abfällen, kann man annehmen, dass insgesamt weniger Maschinen und Arbeiter zur Errichtung

<sup>6</sup> Für eine eingehende Differenzierung dieser beiden Konzepte siehe Anhang G

<sup>7</sup> Siehe Kellermann 2011, S. 506, Credit Suisse 2011, S. 12, UBS 2012, S. 33

<sup>8</sup> Fixe und variable Kosten werden in der Entsorgungskostenstudie des Schweizerischen Bundesamtes für Energie dahingehend unterschieden, ob sie direkt einem Abfallverursacher zugerechnet werden können oder nicht. Ist diese Zurechenbarkeit gegeben, dann handelt es sich um variable Kosten, die, dem Verursacherprinzip folgend, allein von diesem zu tragen sind. (siehe: BFE 2011: Kostenstudie 2011 (KS11). Schätzung der Entsorgungskosten der Schweizer Kernkraftwerke, S. 20.

der Lager nötig sind bzw. dass der Einlagerungsbetrieb entsprechend schneller zu bewerkstelligen ist. Damit sinken neben den variablen Kosten auch die in der Schweizer Kostenstudie als Fixkosten ausgewiesenen Kosten. Zudem müssen bei deutlich geringeren Entsorgungsmengen entsprechend weniger Kammern im Endlager gebaut werden. Eine fundierte Übertragung der Schweizer Kostenrechnung für ein Endlager speziell für das KKW Pyhäjoki ist nicht möglich. Hier werden die für die Schweiz als Fixkosten ausgewiesenen Kosten mit den Umrechnungsfaktoren 0,5 bei den schwach- und mittelradioaktiven Abfällen und mit 0,9/0,8/0,5 (Min/Best-Guess/Max) bei den hochradioaktiven Abfällen multipliziert, so dass als Ergebnis eine Spannbreite der Kostenschätzung für das KKW Pyhäjoki resultiert. Die Kosten für das Endlagersuchverfahren wurden als vollkommen fix gesetzt und folglich für das Max-, und das Best-Guess-Szenario mit dem Faktor 1 umgerechnet und beim Min-Szenario auf „0“ gesetzt, da dieses Szenario kein Suchverfahren vorsieht. Spalte 5 der Tab. Tabelle 3 (Gesamtkostentabelle) zeigt, mit welchem Faktor der jeweilige Kostenbestandteil insgesamt multipliziert wurde.

Die nach der Schweizer Kostenschätzung anfallenden Kosten für das **HAA-Lager** (Lager für hochradioaktive Abfälle), das **SMA-Lager** (Lager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle), die **Verpackungsanlage, Transportlagerbehälter (TLB), Transport und Reinigung** rechnen wir für das KKW Pyhäjoki um, indem wir die variablen Kosten mit den Faktoren umrechnen, die auch das Verhältnis der finnischen zu den Schweizerischen Abfällen beschreiben. Diese Faktoren sind bei schwach- und mittelradioaktiven Abfällen 0,26/0,22/0,17 (Min/Best-Guess/Max) und bei den hochaktiven Abfällen 0,80/0,63/0,38 (Min/Best-Guess/Max). Die Fixkosten werden mit den oben stehenden Faktoren umgerechnet. Der durchschnittliche Hochrechnungsfaktor für die einzelnen Kostenbestandteile kann Spalte 5 der Tab. Tabelle 3 entnommen werden).

- Die Kosten für die **50-jährige Beobachtungsphase** für das HAA-Lager von 998 Mio. CHF (vgl. BFE 2011g, S. 31) sind eine Besonderheit des Schweizer Endlagerkonzepts und können letztlich nur in eine Hochrechnung einbezogen werden, wenn ein analoges Konzept für das Endlager des KKW Pyhäjoki verfolgt werden würde. Dennoch rechnen wir auch diesen Kostenbestandteil von der Schweiz auf das KKW Pyhäjoki mit um, da es nicht handhabbar wäre, jede einzelne Kostenposition auf Kompatibilität mit dem Endlagerkonzept für das KKW Pyhäjoki zu überprüfen, zumal letzteres noch nicht abschließend festgelegt wurde.
- Die Kosten für das **Endlagersuchverfahren** können nicht eins zu eins übertragen werden. Dies liegt zum einen daran, dass das schweizerische Konzept für den Endlager-Auswahlprozess ein hohes Maß an gesellschaftlicher Partizipation vorsieht und über drei Etappen hinweg verschiedenen Standorte ausführlich miteinander verglichen werden (BFE 2011i). Mit 1.802 Mio. CHF (BFE 2011g, S. 30-31), also etwa 1.287 Mio. € ist das Endlagersuchverfahren in der Schweiz damit vergleichsweise teurer als weniger aufwendige Verfahren. Dem gegenüber steht die Annahme, dass die Kosten des Suchverfahrens hohen Fixkostencharakter aufweisen, da der Suchprozess an sich völlig unberührt von etwaigen Mengenveränderungen bleibt. Um diesen Umständen Rechnung zu tragen werden die Kosten für das Endlagersuchverfahren im Szenario mit den geringsten spezifischen Kosten gleich „0“ gesetzt, da E.ON beispielsweise ein Endlagerstandort zugewiesen wird oder Ergebnisse aus dem anderen Suchverfahren mit genutzt werden können. Bei den anderen beiden Szenarien werden die Kosten eins zu eins aus der Schweiz übernommen. (siehe Anhang C und Tabelle 3).
- Die Kosten für die **Zwischenlagerung** sind nicht schematisch von der Schweiz auf das KKW Pyhäjoki übertragbar, da in der Schweiz ein großer Teil der Abfälle zentral zwischengelagert

wird<sup>9</sup>, wohingegen die Abfälle des KKP komplett am Kraftwerksstandort zwischengelagert werden müssen. Da die Errichtung eines Zwischenlager nur für die Abfälle eines KKW proportional teurer sein dürfte als wenn sich mehrere KKW ein Zwischenlager teilen, ist es eine konservative Annahme, zu sagen, die Kosten der Zwischenlagerung der KKP-Abfälle werden im selben Verhältnis wie die Abfallmenge im Vergleich zur Schweiz ausfallen. Für die Umrechnung haben wir jeweils eine Formel angewendet, bei der das Verhältnis der hochradioaktiven Abfälle doppelt und das Verhältnis der schwachradioaktiven Abfälle einfach gewichtet wird, da die Zwischenlagerung der hochradioaktiven Abfälle einen größeren Einfluss auf die Gesamtkosten der Zwischenlagerung hat.<sup>10</sup>

### c. Ergebnis in absoluten Zahlen

Unter der Annahme von 30 Jahren Laufzeit und einer installierten Leistung von 1.600 MW für das Szenario mit den geringsten absoluten Gesamtkosten und einer Laufzeit von 60 Jahren und einer installierten Leistung von 1.700 MW im Szenario mit den höchsten absoluten Gesamtkosten ergeben sich für das KKW Pyhäjoki Kosten der Entsorgung in Höhe von 6,4 Mrd. € bis 8,6 Mrd. € mit Endlagersuchverfahren und Kosten in Höhe von 4,9 Mrd. € bis 7,3 Mrd. € ohne Endlagersuchverfahren.

<sup>9</sup> Näheres zum Schweizer Zwischenlagerkonzept in Anhang D

<sup>10</sup> 
$$\text{Umrechnungsfaktor} = \frac{\frac{\text{SMA aus KKP}}{\text{SMA in CH}} + 2 * \left( \frac{\text{HAA aus KKP}}{\text{HAA in CH}} \right)}{3}$$

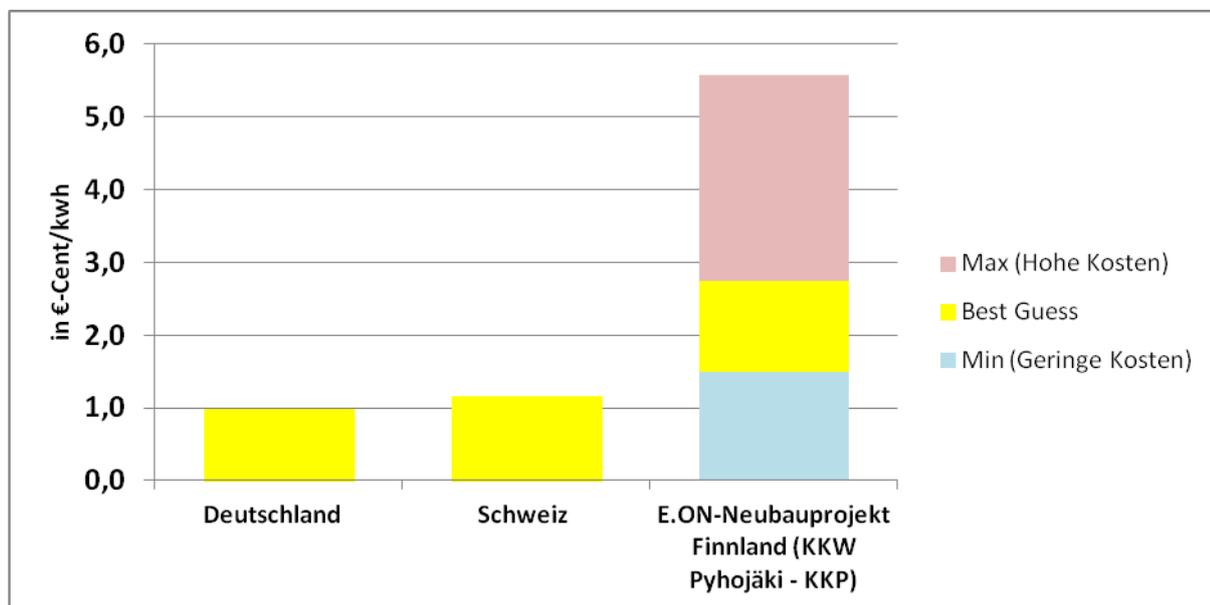
**Tabelle 3 Berechnung der gesamten Entsorgungskosten des KKW Pyhäjoki bei Umrechnung der Schweizer Kostenschätzungen**

		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)		(6)		(7)				
		Gesamtkosten CH in Mrd. CHF	in Mrd. € bei Kurs 1,40 CHF/€	Anteil variabler Kosten	Anteil fixer Kosten	Durchschnittlicher Umrechnungsfaktor *		Gesamtkosten FIN mit Suchverfahren in Mrd. € *		Gesamtkosten FIN ohne Suchverfahren in Mrd. € *				
<b>A.</b>	<b>Zwischenlager SMA + HAA</b>	<b>2,8</b>	<b>2,0</b>	<b>100%</b>	<b>0%</b>	<b>0,6</b>	-	<b>0,3</b>	<b>1,2</b>	-	<b>0,6</b>	<b>1,2</b>	-	<b>0,6</b>
<b>B.</b>	<b>Kosten für SMA</b>	<b>2,6</b>	<b>1,9</b>	<b>5%</b>	<b>95%</b>	<b>0,8</b>	-	<b>0,8</b>	<b>1,4</b>	-	<b>1,4</b>	<b>0,9</b>	-	<b>0,9</b>
1.	GT SMA ohne Suchverfahren	2,6	1,8	4%	96%	0,5	-	0,5	0,9	-	0,9	0,9	-	0,9
1. a.	Suchverfahren	0,7	0,5	0%	100%	1,0	-	1,0	0,5	-	0,5	0,0	-	0,0
2.	Transport	0,1	0,0	100%	0%	0,2	-	0,1	0,0	-	0,0	0,0	-	0,0
<b>C.</b>	<b>Kosten für HAA/LMA</b>	<b>10,6</b>	<b>7,6</b>	<b>44%</b>	<b>56%</b>	<b>0,7</b>	-	<b>0,4</b>	<b>5,0</b>	-	<b>3,0</b>	<b>4,2</b>	-	<b>2,2</b>
1.	GT HAA/LMA	4,0	2,9	7%	93%	0,9	-	0,5	2,6	-	1,4	8,9	-	1,4
2.	Suchverfahren	1,1	0,8	0%	100%	1,0	-	1,0	0,8	-	0,8	0,0	-	0,0
3.	Verpackungsanlage BE+HAA	1,4	1,0	29%	71%	0,9	-	0,5	0,9	-	0,5	0,9	-	0,5
4.	TLB	0,8	0,6	100%	0%	0,8	-	0,4	0,5	-	0,2	0,5	-	0,2
5.	TLB-Reinigung	0,2	0,2	44%	56%	0,9	-	0,4	0,1	-	0,1	0,1	-	0,1
6.	Transport	0,2	0,1	100%	0%	0,8	-	0,4	0,1	-	0,1	0,1	-	0,1
7.	Wiederaufbereitung	2,8	2,0	100%	0%	0,0	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	-	0,0
<b>D.</b>	<b>Gesamtkosten</b>	<b>16,0</b>	<b>11,4</b>	<b>20%</b>	<b>80%</b>	<b>0,8</b>	-	<b>0,6</b>	<b>8,6</b>	-	<b>6,4</b>	<b>7,3</b>	-	<b>4,9</b>
* Unterer Wert der Spannweite: Fixkosten der Schweiz werden mit Faktor 0,5 für SMA und HAA umgerechnet														
Oberer Wert der Spannweite: Fixkosten der Schweiz werden mit Faktor 0,5 für SMA und 0,9 für HAA umgerechnet														
Bei den variablen Kosten werden die konkreten prozentualen Anteile der Abfallmengen im Verhältnis zur Schweiz als Umrechnungsfaktoren herangezogen.														
Die Kosten für das Endlagersuchverfahren werden in allen Szenarien als absolut fix gesetzt. Ihre Höhe ist vollkommen unabhängig von der Menge der radioaktiven Abfälle.														
Hellgrün markiert: Es liegen spezifische Erkenntnisse bzw. Annahmen für das KKW Pyhäjoki vor, die die schematische Anwendung von Hochrechnungen ersetzen														

#### d. Ergebnis in Cent pro Kilowattstunde erzeugter Strommenge (spezifische Kosten)

Betrachtet man die Kosten für Stilllegung, Rückbau und Entsorgung pro Kilowattstunde erzeugter Strommenge ergeben sich folgende Werte für die Schweiz, Deutschland und das KKW Pyhäjoki im Vergleich:

**Tabelle 4 Vergleich der Kosten pro kWh inklusive Risikozuschlägen und Vorsorge**



*Hinweis: Für Deutschland wird hier nur die mittlere Best-Guess-Schätzung dargestellt; in der FÖS-Studie zu den Kosten für Stilllegung/Rückbau und Entsorgung und Deutschland werden ebenfalls zwei weitere Szenarien unterschieden.*

### III. ANHANG:

#### A. Aufbau, Berechnungsgrundlage und Methodik der Schweizer Kostenstudien

In der Schweiz gibt es vier Kernkraftwerke mit insgesamt fünf Leistungsreaktoren.<sup>11</sup>

Dem Verursacherprinzip folgend müssen die Betreiber für die Kosten der Entsorgung der radioaktiven Abfälle, der Nachbetriebsphase sowie Stilllegung und Rückbau dieser KKW aufkommen. Die Schweizer Kostenstudien dienen in erster Linie der Bemessung der Beiträge, die die Kraftwerksbetreiber in den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds zu entrichten haben (näheres dazu in FÖS 2012, Abschnitt 7 und in BFE 2011a-c) sowie der Bemessung der Rückstellungen der Betreiber für die Kosten, die noch während der Betriebsphase anfallen. Die Kostenschätzungen erfolgen kraftwerksgenau, d. h. jedem Kraftwerk wird ein individueller Anteil an den Gesamtkosten zugewiesen. Zusätzlich werden die Kosten für den Bund, der die Entsorgung der radioaktiven Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung übernimmt, berechnet. Es handelt sich bei den Kostenstudien um umfassende Schätzungen der Stilllegungs- und Entsorgungskosten, die gemäß Art. 4 der Verordnung über den Stilllegungs- und den Entsorgungsfonds (SEFV) alle fünf Jahre erfolgen müssen.<sup>12</sup> Mit der Aktualisierung der Stilllegungs- und Entsorgungskostenstudien werden jeweils auch die Kosten für die sogenannte Nachbetriebsphase neu geschätzt, welche die Kernkraftwerke direkt bezahlen und für die sie ebenfalls Rückstellungen zu bilden haben (BFE 2011d, S. I).

Demzufolge besteht die Kostenstudie 2011 aus drei Teilstudien:

- Schätzung der Entsorgungskosten der Schweizer Kernkraftwerke (BFE 2011g)
- Schätzung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernkraftwerke. (BFE 2011e)
- Schätzung der Kosten der Nachbetriebsphase der Schweizer Kernkraftwerke (BFE 2011f)

Zusammengefasst werden die Kostenstudien in einem Mantelbericht (BFE 2011d).

Grundlage ist das im Jahr 2008 verabschiedete Entsorgungsprogramm<sup>13</sup> mit dem dazugehörigen Zwischen- und Endlagerkonzept (vgl. FÖS 2012, Abschnitte 3 und 4). Es wird eine jeweilige Laufzeit von 50 Jahren bei den KKW angenommen (BFE 2011d, S. 2).

Die Kostenstudie 2011 wurde von swissnuclear – der Fachgruppe Kernenergie der großen schweizerischen Stromversorger – im Auftrag der Kommission des Entsorgungs- und des Stilllegungsfonds erstellt und wird vom Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) überprüft (BFE 2011d, S. 4).

Im Folgenden wird näher auf die Kostenstudie zu den Entsorgungskosten der Schweizer Kernkraftwerke eingegangen.

---

<sup>11</sup> KKW Beznau 1 und 2: je 380 MWe, KKW Gösgen: 1035 MWe, KKW Leibstadt: 1220 MWe, Mühleberg: 390 MWe; Summe 3.405 MWe (Quelle: <http://www.ensi.ch/de/kernanlagen/kernanlagen-in-der-schweiz/>)

<sup>12</sup> Im Vergleich zur Kostenstudie 2006 sind die Gesamtkosten um etwa 10% gestiegen, was unter anderem auf veränderte regulatorische, gesellschaftliche und technische Rahmenbedingungen, sowie Erfahrungen mit Stilllegungsprojekten im Ausland zurückzuführen ist. Die nächste Kostenstudie wird turnusgemäß im Jahr 2016 erscheinen (BFE 2011e, S. II).

<sup>13</sup> Siehe [http://www.bfe.admin.ch/radioaktiveabfaelle/01274/01280/01286/05186/index.html?lang=de&dossier\\_id=02828](http://www.bfe.admin.ch/radioaktiveabfaelle/01274/01280/01286/05186/index.html?lang=de&dossier_id=02828)

## B. Struktur der Entsorgungskosten in der Schweizer Entsorgungskostenstudie 2011

In der Schweiz gibt es vier Kernkraftwerke mit insgesamt fünf Leistungsreaktoren.<sup>14</sup>

Die gesamten Entsorgungskosten werden in der Schweiz aktuellen Schätzungen zufolge etwa 16,7 Milliarden CHF betragen (BFE 2011g, 51).<sup>15</sup>

Tabelle 5 enthält die Gesamtkosten einschließlich der bis 2010 schon angefallenen Kosten.

Aus den Kostenstudien ist bei den meisten Positionen die Zuordnung zu hoch radioaktiven Abfällen (HAA) bzw. schwach und mittel radioaktiven Abfällen (SMA) möglich. Transport- und Lagerbehälter (TLB), Reinigung der TLB und die Verpackungsanlage sind ausschließlich den HAA zurechenbar. Die Transportkosten entfallen anteilig auf SMA (50 Mio. CHF) und HAA (189 Mio. CHF) (BFE 2011g, S. 38). Nur bei den Kosten für Zwischen- und Nasslagerung wird in den Kostenstudien keine Aufteilung auf HAA/LMA und SMA vorgenommen.

Im Einzelnen stellt sich die Struktur der Kosten wie folgt dar:

**Tabelle 5** Summe und Struktur der Entsorgungskosten in der Schweiz

		in Mio CHF	€/CHF	in Mio €
<b>A.</b>	<b>Kosten Zwischenlagerung HAA und SMA</b>	<b>2.783</b>	1,4	<b>1.988</b>
<b>B.</b>	<b>Kosten für SMA</b>	<b>3.330</b>		<b>2.379</b>
1.	GT SMA	3.280		2.343
	davon Kosten bis zur Standortentscheidung	776		554
	davon Kosten nach der Standortentscheidung	2.504		1.789
2.	Transporte	50		36
<b>C.</b>	<b>Kosten für LMA/HAA</b>	<b>10.601</b>		<b>7.572</b>
1.	GT LMA/HAA	5.122		3.659
	davon Kosten bis zur Standortentscheidung	1.016		725
	davon Kosten nach der Standortentscheidung	4.106		2.933
2.	Verpackungsanlage	1.416		1.011
	davon Kosten bis zur Standortentscheidung	9		6
	davon Kosten nach der Standortentscheidung	1.407		1.005
3.	TLB	848		606
4.	Transporte	189		135
5.	TLB-Reinigung	231		165
6.	Wiederaufarbeitung	2.795		1.996
<b>D.</b>	<b>Gesamtkosten</b>	<b>16.714</b>	<b>11.939</b>	

Quelle: BFE 2011g, S. 29-31 sowie eigene Berechnungen

Weiter werden in der Entsorgungskostenschätzung 2011 des schweizerischen Bundesamtes für Energie fixe und variable Kosten dahingehend unterschieden, ob sie direkt einem Abfallverursacher zugerechnet werden können oder nicht. Ist diese Zurechenbarkeit gegeben, dann handelt es sich um variable Kosten, die, dem Verursacherprinzip folgend, allein von diesem zu tragen sind. Die Verteilung von fixen und variablen Kosten stellt sich wie folgt dar:

<sup>14</sup> KKW Beznau 1 und 2: je 380 MWel, KKW Gösgen: 1035 MWel, KKW Leibstadt: 1220 MWel, Mühleberg: 390 MWel; Summe 3.405 MWe (Quelle: <http://www.ensi.ch/de/kernanlagen/kernanlagen-in-der-schweiz/>)

<sup>15</sup> Die hier ausgewiesenen Gesamtkosten unterscheiden sich von den in den zusammenfassenden Faktenblättern und dem Mantelbericht zu den Kostenstudien (BFE 2011e, S. 5 und BFE 2011g, S. II) angegebenen Gesamtkosten in Höhe von 15.970 Mio. CHF da sie auch den Entsorgungskostenanteil des Bundes in Höhe von 744 Mio. CHF enthalten.

**Tabelle 6 Anteil fixer und variabler Kosten an den Gesamtkosten der Entsorgung**

	Variable Kosten in Mio. CHF	Variable Kosten in Prozent	Fixkosten in Mio. CHF*	Fixkosten in Prozent
TLB	848	100%	0	0%
Transport	239	100%	0	0%
Zwischen- und Nasslager	2.783	100%	0	0%
Wiederaufarbeitung	2.795	100%	0	0%
GT SMA	143	4%	3.137	96%
GT HAA/LMA	343	7%	4.779	93%
Verpackungsanlage	407	29%	1.009	71%
TLB-Reinigung	101	44%	130	56%
<b>Gesamtkosten</b>	<b>7.659</b>	<b>46%</b>	<b>9.055</b>	<b>54%</b>

\* Die Kompensationen für die Standortgemeinden der beiden Geologischen Tiefenlager wurden als Fixkosten gesetzt, da diese weitgehend unabhängig von den eingelagerten Mengen anfallen.

Quelle: BFE 2011g, S. 34-49

### C. Struktur der Entsorgungskosten in der Schweizer Entsorgungskostenstudie 2011

Die Schweiz hat 2008 einen Endlager-Auswahlprozess mit sechs potenziell geeigneten Standortregionen und einer breiten Öffentlichkeitsbeteiligung eingeleitet. Die Standortsuche erfolgt in drei Etappen und wird rund zehn Jahre dauern. Frühestmöglicher Termin für eine Inbetriebnahme des Endlagers für hoch radioaktive Abfälle ist das Jahr 2040 (BFE 2011), wobei in den Materialien des schweizerischen Bundesamtes für Energie (BFE) auch spätere Termine – bis hin zum Jahr 2050 (BFE 2011g, S. 16) – genannt werden. Die Gesamtkosten für das Endlagersuchverfahren in der Schweiz in Höhe von 1.802 Mio. CHF verteilen sich wie folgt auf die einzelnen Komponenten und Zeitabschnitte:

**Tabelle 7 Kosten für das Endlagersuchverfahren in der Schweiz**

	In Mio. CHF	€/CHF	In Mio. €	Anteil an den Gesamtkosten
Standortwahl und Rahmen- bewilligung SMA-Lager	336	1,40	240	19%
Standortwahl und Rahmen- bewilligung HAA/LMA-Lager	439		314	24%
Standortwahl und Rahmen- bewilligung Verpackungsanlagen	9		6	0%
<b>Gesamtkosten ab 2011</b>	<b>784</b>		<b>560</b>	<b>44%</b>
Bereits angefallene Kosten	1.018		727	56%
<b>Gesamtkosten</b>	<b>1.802</b>		<b>1.287</b>	<b>100%</b>

Quelle: BFE 2011g, S. 29-31

## D. Das Schweizer Zwischenlagerkonzept

Bevor die radioaktiven Abfälle der Endlagerung zugeführt werden können, müssen sie zwischengelagert werden. Dies geschieht in der Schweiz auf folgende Art und Weise:<sup>16</sup>

Die Betriebs- und Reaktorabfälle der KKW werden entweder direkt bei den Kraftwerken oder in einem zentralen Zwischenlager, genannt **ZWILAG**, zwischengelagert. Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung (MIF) kommen in das sogenannte Bundeszwischenlager (**BZL**) auf dem Gelände des Paul-Scherrer-Instituts (PSI), das zu den Eidgenössischen Technischen Hochschulen gehört. Zusätzlich gibt es am Kernkraftwerk Beznau noch ein Zwischenlager für hoch radioaktive Abfälle mit dem Namen **ZWIBEZ**, in dem die Abfälle dieses KKW zwischengelagert werden.

Um die abgebrannten Brennelemente in Transport- und Lagerbehälter (TLB) einbringen zu können, müssen diese vorher entweder in den Brennelementebecken der KKW oder im Falle des KKW Gösgen im angegliederten Nasslager des Kraftwerks (**KKG-Nasslager**) abgekühlt werden. Die Errichtung des KKG-Nasslagers wurde nötig, da das KKG langfristig nicht über genug eigene Kapazitäten zur Abkühlung der verbrauchten Brennelemente verfügt und zudem so direkt nach Außerbetriebnahme des Kraftwerks mit dessen Stilllegung begonnen werden kann, da die Brennelemente nicht im Kraftwerk verbleiben müssen. Das KKG-Nasslager verfügt im Endausbau über eine Kapazität von bis zu 1.000 Brennelementen (Areva, S. 3-4). Es wurde von 2002 bis 2008 errichtet und wird voraussichtlich von 2008 bis 2046 in Betrieb sein. Dabei fallen Kosten in Höhe von 157 Mio. CHF an (BFE 2011g, S.16 und 28). Diese sind komplett vom KKG zu tragen (BFE 2006, S. 7 Anhang). Auch für die Abfälle aus der Wiederaufarbeitung und die Stilllegungsabfälle sind im ZWILAG und im ZWIBEZ entsprechende Kapazitäten vorgesehen. Das ZWILAG übernimmt zusätzlich noch Aufgaben der zentralen Abfallbehandlung von schwach und mittel radioaktiven Abfällen.

Die Zwischenlagerung erfolgt insgesamt so, dass die Abfälle ohne weitere Eingriffe in Endlagerbehälter verpackt und anschließend in die geologischen Tiefenlager verbracht werden können. Dabei bleiben die Abfälle solange in den Zwischenlagern, bis die Tiefenlager fertig gestellt sind und die Wärmeleistung der hoch radioaktiven Abfälle (HAA)<sup>17</sup> ausreichend abgeklungen ist. Das schweizerische Konzept sieht flexible Betriebszeiten für die Zwischenlager vor, um auf eventuelle Verzögerungen beim Bau der Tiefenlager oder eine Verlängerung der Kraftwerkslaufzeiten reagieren zu können. Für den Transport in die geologischen Tiefenlager sollen die Abfälle in geeignete Transportbehälter verladen werden. Hierbei sollen für die abgebrannten HAA (insbesondere Brennelemente) die bereits vorhandenen TLB verwendet werden. Dazu ist es allerdings zwingend nötig, dass diese Behälter erneut zertifiziert werden können, ansonsten bedarf es neuer Behälter. Zudem ist für den Transport die entsprechende Infrastruktur mit Spezialfahrzeugen und –Maschinen für Be- und Entladung der Transportbehälter und für den Transport per Schiene und Straße bereitzustellen. Die Betriebszeiten und Kapazitäten der einzelnen Zwischenlager stellen sich voraussichtlich wie folgt dar:

---

<sup>16</sup> Für die folgenden Ausführungen siehe Nagra 2008, S. 65-67.

<sup>17</sup> HAA umfassen die Brennelemente sowie die Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (Glaskokillen).  
[http://www.nagra.ch/g3.cms/s\\_page/79850/s\\_name/hochaktiveabfaelle](http://www.nagra.ch/g3.cms/s_page/79850/s_name/hochaktiveabfaelle)

Tabelle 8 Betriebszeiten und Kapazitäten der Zwischenlager<sup>18</sup>

	Voraussichtliche Betriebszeit	Kapazität in m <sup>3</sup>	erwartete maximale Auslastung in %
<b>1 Standortzwischenlager</b>		<b>&gt; 8.655</b>	
davon KKB/ZWIBEZ SMA	1970-2025	4.200	100
davon KKG	1979-2034	590	87
davon KKL	1984-2039	2.515	92
davon KKM	1972-2027	1.350	100
davon ZWIBEZ HAA	2008-2062	48*	96
davon KKG-Nasslager	2008-2046	1000**	<100
<b>2 Zentrale Zwischenlager</b>		<b>&gt; 42.200</b>	
davon BZL	1992-2050	4.200	98
davon ZWILAG SA	2005-2065	27.000	15
davon ZWILAG MA	2000-2065	11.000	68
davon ZWILAG HAA	2000-2065	200-236*	75-88
<b>3 Gesamt</b>		<b>&gt; 50.855</b>	

Quelle: Nagra 2008, S. 65-67

Alle im Schweizer Zwischenlagerkonzept vorgesehenen Zwischenlager wurden bis spätestens Ende 2008 fertig gestellt und befinden sich bereits in Betrieb (BFE 2011g, S.16). Die meisten Kosten für die Zwischenlager fallen aber nicht für den Bau, sondern für den Betrieb, die Instandhaltung und die Stilllegung der Lager an. So sind bis zum Jahr 2010 für die Zwischenlager in der Schweiz insgesamt Kosten in Höhe von 1,128 Mrd. CHF angefallen. Von 2011 bis zum Abschluss der Stilllegungs- und Rückbauarbeiten werden die Lager aber noch Kosten von 1,898 Mrd. CHF verursachen (BFE 2011g, S. 41/42).

Insgesamt liegen bei den Zwischenlagern in der Schweiz die Betriebskosten mit 1,690 Mrd. CHF höher als die Investitionskosten in Höhe von 1,092 Mrd. CHF.<sup>19</sup>

<sup>18</sup>

Legende:

- BZL = Bundeszwischenlager; zentrales Zwischenlager für Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung
- KKB = Kernkraftwerk Beznau; hier: eigene Zwischenlagerkapazitäten des Kraftwerks
- ZWIBEZ SMA = Teil für schwach-/ mittelaktive Abfälle im an das KKB angegliederten Zwischenlager
- KKG = Kernkraftwerk Gösgen-Däniken; hier: eigene Zwischenlagerkapazitäten des Kraftwerks
- KKL = Kernkraftwerk Leibstadt; hier: eigene Zwischenlagerkapazitäten des Kraftwerks
- KKM = Kernkraftwerk Mühleberg; hier: eigene Zwischenlagerkapazitäten des Kraftwerks
- ZWILAG SA = Teil für schwachaktive Abfälle im zentralen Zwischenlager am Standort Würenlingen
- ZWILAG MA = Teil für mittelaktive Abfälle im zentralen Zwischenlagern am Standort Würenlingen
- ZWILAG HAA = Teil für hochaktive Abfälle im zentralen Zwischenlagern am Standort Würenlingen
- ZWIBEZ HAA = Teil für hochaktive Abfälle im an das KKB angegliederten Zwischenlager
- KKG-Nasslager = Abkühlungslager für verbrauchte Brennelemente des Kernkraftwerks Gösgen-Däniken

<sup>19</sup>

Betriebskosten (Jahreskosten) umfassen nach BFE 2011g (S.10) die gesamte betriebliche Tätigkeit inklusive Unterhalt der Anlagen, Betriebsmittel, Personalaufwand, Administration/Verwaltung und Finanzierung. Weiter heißt es „Für die Anwendung der Kostenverteilungsschlüssel müssen sowohl Investitions- als auch Betriebskosten in ihre festen und variablen, d.h. einem Anlagenutzer direkt zuteilbare Anteile zerlegt werden [...]. Variable, einem Nutzer direkt zurechenbare Investitionskosten fallen beim Zwilag nicht an“ (S. 21)

Dies impliziert, dass für Betriebs- und Investitionskosten eine andere Trennlinie gezogen wird als für variable und fixe Kosten. Nur die Investitionskosten des ZWILAG haben vollständig Fixkostencharakter.

**Tabelle 9 Kosten der Zwischenlagerung in der Schweiz**

<b>Tab.: Kosten der Zwischenlagerung in der Schweiz</b>			
	in Mio CHF	€/CHF	in Mio. €
Kosten bis 2010	885	1,2	738
Kosten ab 2011	1.898		1.582
Gesamtkosten	2.783		2.319
davon Investitionskosten	1.092		910
davon Betriebskosten	1.690		1.408

Quelle: BFE 2011g, S. 41/42

## E. Das Schweizer Konzept für die Endlagerung

Am 2. April 2008 hat der Schweizer Bundesrat den Konzeptteil des Sachplans „Geologische Tiefenlager“ verabschiedet. Ziel des Schweizer Endlagerkonzeptes ist die Umsetzung einer „kontrollierten geologischen Langzeitlagerung“, also einer Verbindung von Endlagerung und Rückholbarkeit.<sup>20</sup> Zur Erreichung dieses Ziels sieht das Konzept die Errichtung eines Lagers für hoch radioaktive und langlebige mittel radioaktive Abfälle (HAA/LMA) in einer Tiefe von 400-900 Meter und eines Lagers für schwach und mittel radioaktive Abfälle in einer Tiefe von 200-800 Meter vor. Diese beiden Lager können (aber müssen nicht) am selben Standort errichtet werden, da sie unterschiedliche Anforderungen an die sie umgebende Geologie haben (Nagra 2008, S.19 und BFE 2011j). Die beiden Lager sollen durch mehrfache technische und natürliche Barrieren gesichert werden und lassen sich wiederum in den Testbereich, das Pilotlager und das Hauptlager unterteilen.

Geplant ist, dass im Jahr 2022 die endgültige Bewilligung für den Bau der beiden Lager vorliegt. Im Jahr 2023 soll mit dem Bau der Testbereiche, auch Felslabore genannt, begonnen werden. Die Felslabore dienen dazu, die Untersuchungen im Hinblick auf den Bau und Betrieb des Lagers durchzuführen. Diese Untersuchungen werden teilweise auch während des Betriebs der Einlagerung und der anschließenden Beobachtungsphase fortgeführt. Der Bau der Felslabore dauert drei (SMA-Lager) bzw. sechs (LMA/HAA-Lager) Jahre.

Anschließend sollen vier Jahre lang (SMA-Lager) bzw. acht Jahre lang (HAA/LMA-Lager) Daten untertage in den Felslaboren erhoben und ausgewertet werden.

Im Jahr 2032 (SMA-Lager) bzw. im Jahr 2044 soll dann der eigentliche Bau der Endlager und der Verpackungsanlage für die verbrauchten Brennelemente und hoch radioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung beginnen. Als erstes sollen die sogenannten Pilotlager errichtet werden. Diese gleichen dem jeweiligen Hauptlager, sind aber räumlich von diesem abgegrenzt. Zweck des Pilotlagers ist es, das Verhalten des Barrierensystems anhand einer kleinen repräsentativen Abfallmenge zu überwachen. Das Pilotlager ist der Bereich, in dem die ersten Abfälle eingelagert werden, um einen möglichst langen Überwachungszeitraum zu erreichen.

<sup>20</sup>

Das BFE spricht von Rückholbarkeit und Reversibilität. Allerdings wohl nur für die Dauer der Beobachtungsphase: „Nach Abschluss des Einlagerungsbetriebs ist eine längere Beobachtungsphase gesetzlich vorgeschrieben, während der die Abfälle ohne grossen Aufwand wieder zurückgeholt werden können“ (BFE 2008a, S. 13).

Die Einlagerung der radioaktiven Abfälle soll im SMA-Lager im Jahr 2035, im HAA/LMA-Lager im Jahr 2050 beginnen.

Nach Abschluss der Einlagerungsarbeiten ist eine etwa 50 Jahre dauernde Beobachtungsphase vorgesehen (SEFV Art. 3), die aber bei Bedarf auch zeitlich angepasst werden kann. Während der ganzen Beobachtungsphase müssen das Pilotlager zugänglich und die Rückholung der Abfälle auch aus den Hauptlagern mit vertretbarem Aufwand möglich sein. Das soll durch die Verwendung von speziellem Mörtel und geeigneten Lagerbehältern gewährleistet werden. Die Hauptlager sollen mittlerweile schon verschlossen sein. Nach Abschluss der Beobachtungsphase soll nach Anordnung des Verschlusses durch den Bundesrat die Anlage vollständig verschlossen und versiegelt werden; anschließend wird voraussichtlich die Überwachung von der Oberfläche weitergeführt (Nagra 2008, S. 24/25 und 34/36).

Wenn diese Phase beendet ist, sollen auch die Pilotlager und die Gesamtanlage verschlossen werden. Der geplante Zeitraum dafür sind die Jahre 2099-2101 (SMA-Lager) bzw. 2114-2116 (HAA/LMA-Lager) (BFE 2011g, S. 16). Auch nach Verschluss der Gesamtanlage sollen die Abfälle aus den Tiefenlagern zurückgeholt werden können, was allerdings mit deutlich höherem technischen und finanziellen Aufwand verbunden sein würde (BFE 2011j). So würde die Rückholung (bzw. im deutschen Sprachgebrauch die Bergung)<sup>21</sup> aus den bereits verschlossenen Tiefenlagern in etwa so viel kosten wie Bau und Betrieb der Anlagen zusammen.<sup>22</sup>

<sup>21</sup> In Deutschland unterscheidet das Bundesamt für Strahlenschutz zwischen Rückholung und Bergung und erläutert den Unterschied wie folgt (BfS 2011b): *“Rückholbarkeit ist eine Anforderung an das zu planende Endlagersystem und bedeutet, dass die Abfallgebände mit den darin enthaltenen radioaktiven Abfällen auf den noch zugänglichen bzw. neu herzurichtenden Strecken und den vorhandenen Schächten zurückgeholt und wieder nach übertage gebracht werden können.“*

***Bergbarkeit:** “Die Endlagerbehälter müssen so beschaffen sein und so endgelagert werden, dass nach Abschluss der Einlagerungsbetriebsphase eines Endlagers und nach Abschluss der Stilllegungsmaßnahmen mit Verschluss sämtlicher Zugangsstrecken, Schächte oder Rampen während weiterer 500 Jahre die Endlagerbehälter mit den Abfällen gegebenenfalls wieder geborgen werden können. Diese Anforderung richtet sich an die Endlagerbehälter, deren technische Integrität über diesen Zeitraum zur Gewährleistung der Handhabbarkeit erhalten bleiben muss.“*

<sup>22</sup> Auf den Infoseiten des BFE heißt es im Wortlaut (<http://www.BFE.admin.ch/radioaktiveabfaelle/01274/01280/01286/05187/index.html?lang=de>, Abruf 20.12.2011, Stand laut BFE 30.11.2011):

*“Langfristig muss der dauernde Schutz von Mensch und Umwelt durch passive Barrieren sichergestellt sein, d. h. ohne menschliches Zutun. Geologische Tiefenlager werden schrittweise verfüllt und so in einen passiv sicheren Zustand überführt. Während dieser Zeit ist eine erleichterte Rückholung der Abfälle möglich. Die radioaktiven Abfälle können auch nach dem Verschluss aus einem geologischen Tiefenlager zurückgeholt werden. Dies wäre allerdings mit einem grösseren finanziellen und technischen Aufwand verbunden.*

*Das Konzept für eine allfällige Rückholung der Abfälle wird durch den Betreiber des Lagers mit dem Baubewilligungsgesuch für das geologische Tiefenlager vorgelegt.*

*Bei Tiefenlagern für schwach- und mittelaktive Abfälle sowie für hochradioaktive Abfälle fallen 1,66 Milliarden bzw. 2,88 Milliarden Franken für Bau und die Einlagerung an. In dieser Grössenordnung dürften sich auch die Kosten für die vollständige Rückholung der Abfälle aus einem verschlossenen Tiefenlager bewegen.“*

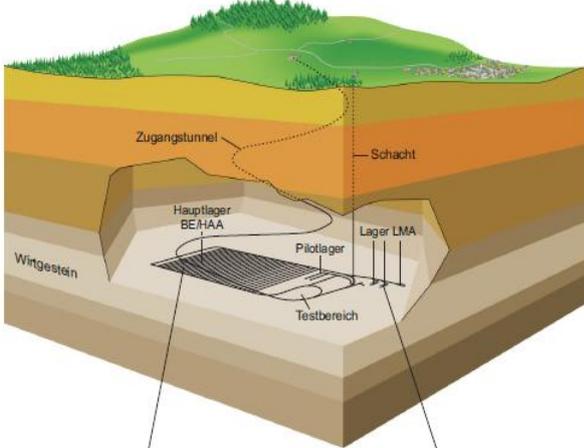
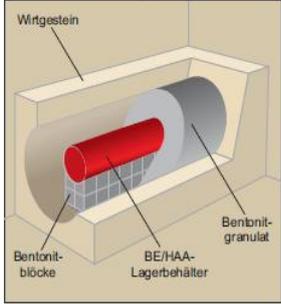
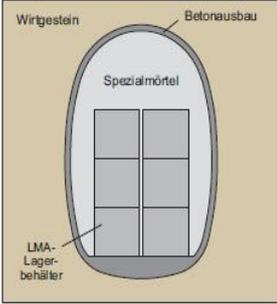
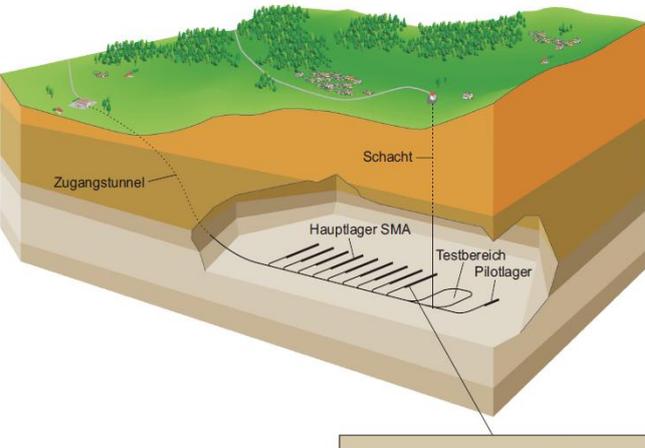
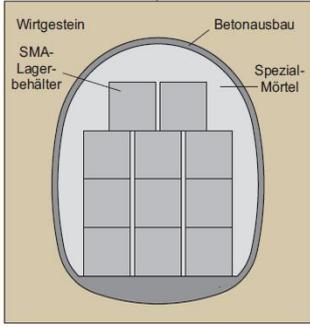
**Tabelle 10 Zeitplan für Planung, Bau und Betrieb der geologischen Tiefenlager**

	SMA-Lager			HAA/LMA-Lager		
	von	bis	Dauer in Jahren	von	bis	Dauer in Jahren
Standortwahl	2011	2018	8	2011	2018	8
Rahmenbewilligungen	2019	2022	4	2019	2022	4
Bau Felslabore	2023	2026	4	2023	2030	8
Datenerhebung untertage	2027	2031	5	2031	2043	13
Bau Lager	2032	2034	3	2044	2049	6
Bau Verpackungsanlage				2044	2049	6
(Verpackungs-) und Einlagerungsbetrieb	2035	2049	15	2050	2064	15
Stilllegung Verpackungsanlage				2065	2065	1
Verschluss der Hauptlager und Beobachtungsphase	2050	2099	50	2065	2114	50
Verschluss der Gesamtanlage inkl. Pilotlager	2100	2101	2	2115	2116	2

Quelle: BFE 2011g, S. 16

Nach Abschluss der ersten Phase des Endlagersuchprozesses stehen in der Schweiz noch sechs potenzielle Standorte zur Wahl. Bei all diesen Standorten wäre das Wirtsgestein ein Tongestein, genauer: Opalinuston, Brauner Dogger oder Effinger Schichten (BFE 2010, S. 12-22). Vorzüge des hohen Tonmineralgehaltes sind dabei ein hoher Grad an Selbstabdichtung bei Rissen, eine große Oberfläche für die Bindung radioaktiver Stoffe und nahezu wasserundurchlässige Verhältnisse in der Umgebung eines solchen Lagers. Für ein Lager für hoch radioaktive und langlebige mittel radioaktive Abfälle kommt in der Schweiz nur noch Opalinuston als Wirtsgestein in Frage. Dieses etwa 180 Millionen Jahre alte Tongestein weist besonders gute Isolations- und Abdichtungseigenschaften auf. Es kommt in der Schweiz mit einer Mächtigkeit von bis zu 100 Metern vor und die geologischen Vorgänge, die die geologische Struktur des Gesteins bestimmen, lassen sich über hunderte von Millionen Jahren zurückverfolgen, wovon man sich eine bessere Prognostizierbarkeit zukünftiger Entwicklungen verspricht. Zudem ist es von gering durchlässigen tonig-mergeligen Schichten über- und unterlagert (BFE 2011k).

Tabelle 11 Schematische Darstellung eines HAA/LMA und eines SMA-Lagers

Schematische Darstellung eines HAA/LMA/BE-Lagers	Schematische Darstellung eines SMA-Lagers
 <p>Zugangstunnel, Schacht, Hauptlager BE/HAA, Lager LMA, Pilotlager, Testbereich, Wirtgestein</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="178 878 459 1182">  <p>Wirtgestein, Bentonitblöcke, BE/HAA-Lagerbehälter, Bentonitgranulat</p> <p>Lagerstollen BE/HAA</p> </div> <div data-bbox="485 878 762 1182">  <p>Wirtgestein, Betonausbau, Spezialmörtel, LMA-Lagerbehälter</p> <p>Lagertunnel LMA</p> </div> </div>	 <p>Zugangstunnel, Schacht, Hauptlager SMA, Testbereich, Pilotlager, Wirtgestein</p> <div style="display: flex; justify-content: center;"> <div data-bbox="1139 855 1449 1182">  <p>Wirtgestein, Betonausbau, SMA-Lagerbehälter, Spezialmörtel</p> <p>Lagerkaverne SMA</p> </div> </div>
<p>Quelle: Nagra 2008, S. 26</p>	<p>Quelle: Nagra 2008, S. 60</p>

## F. Erläuterungen zur Berechnung der spezifischen Entsorgungskosten

- Zeile 1 „Installierte Leistung noch rückzubauender KKW“: Die Angabe über die Gesamtleistung der fünf Schweizer KKW stammt vom BFE<sup>23</sup>. In Deutschland wird die installierte Leistung aller 23 westdeutschen kommerziellen KKW einbezogen, die sechs vor 2011 stillgelegten KKW werden aufgrund ihrer kürzeren Laufzeiten allerdings nur anteilig gemäß dem geschätzten noch rückzubauenden bzw. zu entsorgenden Anteil. Insgesamt wird von einer noch rückzubauenden KKW-Installierte Leistung von rund 23.300 MW bzw. 19 noch voll rückzubauenden KKW ausgegangen. Bei der Leistung des KKW Pyhäjoki gehen wir davon aus, dass entweder ein Reaktor des Typs EPR mit 1.700 MW installierter Leistung oder ein ABWR mit 1.600 MW zum Einsatz kommt.
- Zeile 2 „Anzahl noch rückzubauender KKW“: Für Deutschland siehe Erklärung zu Zeile 4. Die Angaben zur Schweiz stammen vom BFE. Beim KKW Pyhäjoki handelt es sich um nur ein Kraftwerk.
- Zeile 4 „Laufzeit in Jahren“: In den Schweizerischen Kostenstudien geht man von einer Laufzeit von 50 Jahren der einzelnen KKW aus (BFE 2011d, S. 2), in Deutschland werden die neueren Reaktoren durch den beschlossenen Atomausstieg auf eine durchschnittliche Laufzeit von 32 Jahren kommen. Für das KKW Pyhäjoki nehmen wir im günstigsten Fall an, dass es auf eine Laufzeit von 60 Jahren kommt. Technische Probleme oder politische Entscheidungen könnten die Laufzeit aber auch auf 50 (Best-Guess) oder 30 Jahre (Max) verkürzen.
- Zeile 5 „Verfügbarkeit“: Die Arbeitsverfügbarkeit ist eine Kennzahl, die auf die Zuverlässigkeit eines Kernkraftwerks hinweist. Dabei werden die Stromproduktion, die in einem bestimmten Zeitraum (z. B. ein Jahr) unter Berücksichtigung der geplanten Minderproduktion (Stillstände wegen Revisionsarbeiten) und der ungeplanten Minderproduktion (Leistungsreduktionen oder Stillstände aufgrund technischer Fehler oder klimabedingter Kühlwasserrestriktionen) möglich war und die Stromproduktion, die im selben Zeitraum theoretisch ans Netz hätte abgegeben werden können, wenn das Kernkraftwerk ununterbrochen auf maximaler Leistung in Betrieb gewesen wäre (Nennarbeit) ins Verhältnis gesetzt.<sup>24</sup> Die besten deutschen Kraftwerke (Neckarwestheim II und Emsland) weisen über ihre gesamte Laufzeit hinweg eine Verfügbarkeit von knapp über 93% auf, der Schnitt aller Kraftwerke liegt allerdings bei etwa 85%, da einige Kraftwerke auch Verfügbarkeitswerte von weniger als 80% aufweisen.<sup>25</sup> Auch in der Schweiz liegt der Durchschnittswert bei etwa 85%.<sup>26</sup> Für das KKW Pyhäjoki rechnen wir mit einer Verfügbarkeit zwischen 80 und 90%. Nicht weniger als 80%, da sich die Verfügbarkeit bei einem Kraftwerk der neuesten Generation eigentlich verbessert haben sollte, aber auch nicht mehr als 90%, da wir im Min-Szenario von einer Laufzeit von 60 Jahren ausgehen und sich die Verfügbarkeitswerte mit zunehmendem Alter des Kraftwerks verschlechtern.

---

<sup>23</sup> <http://www.bfe.admin.ch/themen/00511/index.html?lang=de>

<sup>24</sup> [http://www.kkl.ch/de/i/kennzahlen-content---1--1178.html#anchor\\_CJZHQA](http://www.kkl.ch/de/i/kennzahlen-content---1--1178.html#anchor_CJZHQA)

<sup>25</sup> <http://pris.iaea.org/Public/CountryStatistics/CountryDetails.aspx?current=DE>

<sup>26</sup> <http://pris.iaea.org/Public/CountryStatistics/CountryDetails.aspx?current=CH>

- Zeile 6 „Kumulierte Bruttostromerzeugung über gesamte Laufzeit“:

$$x = \frac{\text{Leistung in MW} * \text{Laufzeit in Stunden} * \text{Verfügbarkeit in \%}}{1} .000.000$$

- Zeile 7 „HAA-Menge bereinigt um Wiederaufbereitung“: Die Menge der hochradioaktiven Abfälle, die ohne Wiederaufbereitung endzulagern wäre lässt sich den Angaben des BfS<sup>27</sup> und des BFE (BFE 2011g, S. 17) entnehmen. Die Menge der hochradioaktiven Abfälle aus dem KKW Pyhäjoki haben wir mit folgendem Umrechnungsfaktor berechnet:

$$x = \frac{\text{Leistung KKW Pyhäjoki}}{\text{Gesamtleistung CH – KKW}} * \frac{\text{Laufzeit KKW Pyhäjoki}}{\text{Laufzeit CH – KKW}}$$

- Zeile 9 „SMA-Betriebsabfälle“: Die Menge der schwachradioaktiven Abfälle aus dem Betrieb der KKW kann den Angaben des BfS<sup>28</sup> und des BFE<sup>29</sup> entnommen werden. Die SMA-Betriebsabfälle aus dem KKW Pyhäjoki haben wir mit folgendem Umrechnungsfaktor berechnet:

$$x = \frac{\text{Leistung KKW Pyhäjoki}}{\text{Gesamtleistung CH – KKW}} * \frac{\text{Laufzeit KKW Pyhäjoki}}{\text{Laufzeit CH – KKW}}$$

- Zeile 11 „SMA-Rückbauabfälle“: Die Menge der SMA-Rückbauabfälle für Deutschland und die Schweiz kann wieder den entsprechenden Angaben des BfS und des BFE entnommen werden. Weiter gibt das BfS an, dass pro KKW SMA-Rückbauabfälle von 5.000 m<sup>3</sup> anfallen, für die Schweizer KKW ergeben sich rechnerisch 6.000 m<sup>3</sup>. Da das KKW Pyhäjoki deutlich leistungsstärker ist als die Schweizer KKW kann angenommen werden, dass bis zu 7.000 m<sup>3</sup> SMA beim Rückbau anfallen. Da das BfS aber von pauschal 5.000 m<sup>3</sup> pro KKW spricht haben wir uns für eine Bandbreite von 5.000 m<sup>3</sup> bis 7.000 m<sup>3</sup> entschieden.
- Zeile 14 „Entsorgungskosten ohne Endlagersuche“: Der Schätzung der Entsorgungskosten basiert auf einer umfangreichen Übertragung der Schweizer Entsorgungskostenstudie 2011. Die Struktur der Kosten, sowie die entsprechenden Umrechnungsfaktoren finden sich in Tabelle 3 und Abschnitt C b. Annahmen und Unsicherheiten bei der Umrechnung der einzelnen Entsorgungskostenbestandteile.
- Zeile 15 „Kosten der Endlagersuche“: In der Schweizer Entsorgungskostenstudie werden für die Suche nach dem SMA- und dem HAA-Lager Kosten von 1,8 Mrd. Franken (BFE 2011g, S. 29-31) – also etwa 1,3 Mrd. € - genannt. Die Kosten der Endlagersuche sind als absolut fixe Kosten anzusehen, da die Menge der Abfälle praktisch keinen Einfluss auf den Suchprozess hat. Aus diesem Grund werden sowohl für Deutschland, als auch für das Best-Guess- und das Max-Szenario für das KKW die Kosten eins zu eins übertragen. Da das Min-Szenario keine Endlagersuche vorsieht werden die Kosten hierfür auf „0“ gesetzt.
- Zeile 17 „Kosten für Rückbau (incl. Stilllegung)“: Die gesamten Kosten für Stilllegung und Rückbau der fünf Schweizer KKW belaufen sich auf 3,3 Mrd. €, also 650 Mio. € pro KKW. Für die deutschen KKW, die im Durchschnitt wesentlich leistungsstärker sind als die

<sup>27</sup> <http://www.bfs.de/de/endlager/abfaelle/prognose.html>

<sup>28</sup> <http://www.bfs.de/de/endlager/abfaelle/prognose.html>

<sup>29</sup> [http://www.nagra.ch/g3.cms/s\\_page/79880/s\\_name/volumen](http://www.nagra.ch/g3.cms/s_page/79880/s_name/volumen)

schweizerischen kann von Stilllegungs- und Rückbaukosten von durchschnittlich einer Milliarde € - mindestens 800 Mio. € und maximal 1,2 Mrd. € ausgegangen werden, insgesamt also 19 Mrd. €. <sup>30</sup> Da der in Pyhäjoki geplante Reaktor wiederum deutlich leistungsstärker ist als das durchschnittliche deutsche KKW, gehen wir davon aus, dass sich die Stilllegungs- und Rückbaukosten zwischen 1,0 und 1,4 Mrd. € belaufen.

- Zeile 20 „Risikozuschlag für Kostenerhöhung bei Entsorgung“ und 21 „Risikozuschlag für Kostenerhöhung bei Stilllegung: Bereits die Erfahrungen mit weniger komplexen Großprojekten zeigen, dass es geradezu typisch ist, dass sich die ex-ante-Kostenschätzungen während der Umsetzung als erheblich zu niedrig erweisen. Bei öffentlichen Bahn- und Brückenbauten betragen die durchschnittlichen Kostensteigerungen 35-45%; doppelt so hohe Kosten resultierten beispielsweise beim Kanaltunnel zwischen England und Frankreich und selbst Kostensteigerungen um den Faktor 12 (Bau des Flugzeugs Concorde) oder 15 (Oper von Sydney) sind vorgekommen. <sup>31</sup> Da bei Stilllegung/ Rückbau und stärker noch bei der nuklearen Entsorgung (für die es keine Referenzprojekte und Erfahrungswerte gibt) unerwartete Probleme und Zusatzaufwendungen auftreten können, ist die Gefahr erheblicher, nicht vorhergesehener Mehrkosten als hoch einzuschätzen. **Lösungsvorschlag:** Eine Option ist, vor diesem Hintergrund die Kostenschätzungen mit einem „Kostenerhöhungs-Risikofaktor“ von pauschal 20-40% hochzurechnen. Bei den Kosten der Entsorgung gibt es bisher keine Erfahrungswerte, deshalb ist es plausibel, dass es zu Kostensteigerungen wie bei den oben genannten Projekten kommt. Wir rechnen mit einem Risikofaktor von 20% im Min- und Best-Guess-Szenario und mit 40% im Max-Szenario. Bei Stilllegung und Rückbau basieren die Kostenschätzungen stärker auf tatsächlichen Erfahrungswerten mit bereits umgesetzten Vorhaben. Daher wird hier im Sinne einer vorsichtigen (die Kosten eher unter- als überschätzenden) Vorgehensweise bei den Kosten für Stilllegung und Rückbau nur im Max-Szenario ein Kostenerhöhungs-Risikofaktor von 20% angewendet. Für die Schweiz werden keine Risikofaktoren angesetzt, sondern nur die Originaldaten verwendet. Die Berechnungen für Deutschland finden sich in **FÖS 2012**.
- Zeile 23 „Risikovorsorge für Bergung, Sanierung und neues Endlager“: Es besteht das Risiko, dass es nach Abschluss aller Arbeiten (vollständiger Rückbau aller KKW und Verschluss aller Endlager) Probleme in einem der Endlager gibt mit der Folge, dass eine Bergung, Sanierung und/oder die Umlagerung in ein neues Endlager erforderlich wird. In dieser Studie legen wir eine Risikovorsorge von 3,5 bis 10 Mrd. € zu Grunde. Dies entspricht den reinen Bau- und Betriebskosten eines neuen Endlagers plus einem Überschlagsbetrag für die Sanierung und Bergung des alten Lagers. Da es hierfür noch keine detaillierten Kostenschätzungen gibt, wird ihre Höhe nicht zuletzt durch politische Entscheidungen bestimmt. Für die Schweiz haben wir auch diesen Aspekt nicht berücksichtigt, sondern auf die Originaldaten zurückgegriffen, die keinerlei Risikovorsorge vorsehen. Die Berechnungen für Deutschland finden sich in **FÖS 2012**.

<sup>30</sup> Für Näheres siehe FÖS 2012, S. 76-89.

<sup>31</sup> Alle Beispiele sind folgenden beiden Artikeln entnommen (Abruf jeweils 2.3.2012)

Überteuerte Großprojekte. Auf Lügen errichtet. SZ 02.08.2011

<http://www.sueddeutsche.de/politik/ueberteuerte-grossprojekte-auf-luegen-errichtet-1.1127004>

Stuttgart 21. Warum bei Großprojekten die Kosten explodieren. FAZ 26.08.2010

<http://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/wirtschaftswissen/stuttgart-21-warum-bei-grossprojekten-die-kostenexplodieren-11026150.html>

## G. Erläuterungen zum Konzept des fairen Wechselkurses nach der Kaufkraftparität

Hinsichtlich des Wechselkurses von Schweizer Franken (CHF) zum Euro (€) muss eine Entscheidung zwischen zwei methodischen Ansätzen getroffen werden:

- **Aktueller nominaler Wechselkurs.**

In den vergangenen eineinhalb Jahren ist der Schweizer Franken zum Euro drastisch aufgewertet, allein in 2011 um 20%. 2006 war ein Euro noch 1,65 Franken wert. Der nominale Wechselkurs ist stark durch Einflüsse auf den Finanzmärkten bestimmt; seit Beginn der Eurokrise wird der Franken als eine Fluchtwährung genutzt. Seit dem 6.9.2011 hat die Schweizer Notenbank eine Wechselkursuntergrenze von 1 € = 1,20 CHF eingeführt. Damals drohte der Eurokurs ein weiteres Mal abzustürzen und das Rekordtief bei 1,0075 CHF vom 9.8.2011 zu unterbieten. Um die Schweizer Wirtschaft vor einem allzu starken Franken zu schützen, wurde der Franken an den Euro gekoppelt.<sup>32</sup> Seit den stabilisierenden Eingriffen der Schweizer Notenbank liegt der Wechselkurs zwischen 1,20 und 1,21 CHF/€. <sup>33</sup> Würde man also den tatsächlichen und von der Schweizer Notenbank festgelegten Mindestwechelkurs zugrunde legen, könnte die Umrechnung der Schweizer Kostenstudien mit dem Kurs von 1,20 CHF/E erfolgen. Das hätte aber den Effekt, dass die Kosten für Deutschland aktuell ganz anders geschätzt würden als noch vor ein bis zwei Jahren oder auch in ein oder zwei Jahren. Da sich das inländische Preisniveau in Deutschland nicht im selben Maße verändert hat wie der nominale Wechselkurs und das höchstwahrscheinlich auch in Zukunft nicht tun wird, würde die Verwendung des nominalen Wechselkurses zu einem verzerrten Ergebnis führen.

- **„Fairer“ Wechselkurs nach der Kaufkraftparität**

Eine bessere Grundlage für die Umrechnung von Güterpreisen ist daher die Kaufkraftparität. Mit diesem Indikator wird die Kaufkraft der nationalen Währung in verschiedenen Ländern verglichen. Die Kaufkraftparität ist für die Umrechnung der Preise für Güter und Dienstleistungen besser geeignet als ein finanzmarktpolitisch bestimmter Wechselkurs, da sie im Zeitverlauf eine wesentlich geringere Volatilität aufweist, also nicht so sehr vom tagesaktuellen Geschehen an den Finanzmärkten beeinflusst wird. Die aktuelle Kaufkraft des Schweizer Franken wird in verschiedenen Quellen in der Größenordnung von 1,35-1,40 CHF/€ angegeben.<sup>34</sup> Für die Zugrundelegung der Kaufkraftparität spricht auch, dass in den Kostenschätzungen 2011 des schweizerischen Bundesamtes für Energie (BFE) ebenfalls ein Wechselkurs von 1€ = 1,40 CHF unterstellt wird (BFE 2011g, 24).

<sup>32</sup> <http://eurokurs.blogspot.com/2011/12/chf-prognose-2012-euro-anstieg-auf.html>

<sup>33</sup> <http://www.schweizer-franken.eu/>

<sup>34</sup> Siehe Kellermann 2011, S. 506, Credit Suisse 2011, S. 12, UBS 2012, S. 33

**ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS**

ABN	Außerbetriebnahme
BE	Brennelemente
BFE	Bundesamt für Energie (Schweiz)
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BMU	Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Bq	Becquerel; Maß für die Aktivität eines radioaktiven Stoffes
BZL	Bundeszwischenlager (Schweiz)
CHF	Schweizer Franken
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
EVU	Energieversorgungsunternehmen
GNS	Gesellschaft für Nuklear-Service mbH
GT	Geologisches Tiefenlager
HAA	Hochaktive Abfälle
ITP	Integrated Toxic Potential
KEG	Kernenergiegesetz (Schweiz)
KKB	Kernkraftwerk Beznau (Schweiz)
KKG	Kernkraftwerk Gösgen-Däniken (Schweiz)
KKL	Kernkraftwerk Leibstadt (Schweiz)
KKM	Kernkraftwerk Mühleberg (Schweiz)
KKP	Kernkraftwerk Pyhäjoki
KKW	Kernkraftwerk
LMA	Langlebige mittelaktive Abfälle
MIF	Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung
MWel	Megawatt elektrischer Leistung
MWth	Megawatt thermischer Leistung
Nagra	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Schweiz)
NCS	Nuclear Cargo + Service GmbH
PSI	Paul-Scherrer-Institut (Schweiz)

SMA	Schwach und mittelaktive Abfälle
SEFV	Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung (Schweiz)
SÖW	sozioökonomisch-ökologische Wirkungsstudie (Schweiz)
TLB	Transport- und Lagerbehälter
UVEK	Eidg. Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
VA	Verpackungsanlage
WAK	Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe
ZLN	Zwischenlager Nord (Greifswald)
ZWIBEZ	Zwischenlager des KKB (Schweiz)
ZWILAG	Zentrales Zwischenlager für Abfälle aller Kategorien (Schweiz)

## LITERATURVERZEICHNIS

Weitere Literatur zu Nuklearrückstellungen siehe auch in der FÖS-Studie 2012 zu Rückstellungen für Rückbau und Entsorgung im Atombereich. Thesen und Empfehlungen zu Reformoptionen.

Gefettet sind die verwendeten Kurzzitierungen im Text.

**Areva:** Separates Brennelement-Nasslager im Kernkraftwerk Gösgen-Däniken

<http://www.kkg.ch/upload/cms/user/ArevaNasslagerKKG.pdf>

**BFE** (Schweizerisches Bundesamt für Energie, Sektion Entsorgung radioaktive Abfälle) **2003:** Kernenergiegesetz vom 21.3.2003

<http://www.bfe.admin.ch/themen/00544/00550/index.html?lang=de>

**BFE 2004:** Kernenergieverordnung vom 10.12.2004

<http://www.bfe.admin.ch/themen/00544/00550/index.html?lang=de>

**BFE 2006:** Kostenstudie 2006 (KS06) Aktualisierung der Entsorgungskosten der Schweizer Kernkraftwerke

[http://www.bfe.admin.ch/entsorgungsfonds/01476/index.html?lang=de&dossier\\_id=01493](http://www.bfe.admin.ch/entsorgungsfonds/01476/index.html?lang=de&dossier_id=01493)

**BFE 2008a:** Sachplan geologische Tiefenlager. Konzeptteil. 2.4.2008

<http://www.bfe.admin.ch/radioaktiveabfaelle/01375/04389/index.html?lang=de>

**BFE 2008b:** Gemeinsam einen Standort finden. Das Auswahlverfahren für geologische Tiefenlager. Broschüre, September 2008

<http://www.bfe.admin.ch/radioaktiveabfaelle/01277/index.html?lang=de>

**BFE 2010:** Sachplan geologische Tiefenlager: Etappe 1. Ergebnisbericht: Festlegungen und Objektblätter, 20.08.2010

<http://www.admin.ch/ch/d/gg/pc/documents/1915/Vorlage.pdf>

### Faktenblätter zum Sachplan geologische Tiefenlager

[http://www.bfe.admin.ch/radioaktiveabfaelle/01277/index.html?lang=de&dossier\\_id=02755](http://www.bfe.admin.ch/radioaktiveabfaelle/01277/index.html?lang=de&dossier_id=02755)

**BFE 2008c:** Faktenblatt 1 : Überblick: Worum geht es?, Stand 1.10.2008

**BFE 2009:** Faktenblatt 2: Auswahl der Standorte: Ein transparentes und verbindliches Verfahren, Stand 9.12.2009

**BFE 2008d:** Faktenblatt 3: Zeitplan 2008 – 2038/48, 1.10.2008

### Faktenblätter zum Stilllegungs- und Entsorgungsfonds für Kernanlagen

[http://www.bfe.admin.ch/entsorgungsfonds/index.html?lang=de&dossier\\_id=03842](http://www.bfe.admin.ch/entsorgungsfonds/index.html?lang=de&dossier_id=03842)

**BFE 2011a:** Faktenblatt Nr. 1: Rechtsgrundlagen, Organisation und allgemeine Informationen, Stand 24.11.2011

**BFE 2011b:** Faktenblatt Nr. 2. Kostenberechnung und Beitragsfestlegung, Stand 24.11.2011

**BFE 2011c:** Faktenblatt Nr. 3: Anlagestrategie und finanzielle Situation per 31.12.2010, Stand 24.11.2011

**Kostenstudien 2011**

[http://www.bfe.admin.ch/entsorgungsfonds/index.html?lang=de&dossier\\_id=05278](http://www.bfe.admin.ch/entsorgungsfonds/index.html?lang=de&dossier_id=05278)

**BFE 2011d:** Kostenstudie 2011 (KS11) - Mantelbericht

**BFE 2011e:** Kostenstudie 2011 (KS11) - Schätzung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen

**BFE 2011f:** Kostenstudie 2011 (KS11) - Schätzung der Kosten der Nachbetriebsphase der Schweizer Kernkraftwerke

**BFE 2011g:** Kostenstudie 2011 (KS11) - Schätzung der Entsorgungskosten der Schweizer Kernkraftwerke

**BFE 2011h:** Standortsuche für geologische Tiefenlager: Bundesrat legt sechs Gebiete fest und startet Etappe 2, Bern, 01.12.2011

<http://www.bfe.admin.ch/energie/00588/00589/00644/index.html?lang=de&msg-id=42480>

**Faktenblätter zur Standortsuche für geologische Tiefenlager**

[http://www.bfe.admin.ch/radioaktiveabfaelle/01277/index.html?lang=de&dossier\\_id=02755](http://www.bfe.admin.ch/radioaktiveabfaelle/01277/index.html?lang=de&dossier_id=02755)

**BFE 2011i:** Faktenblatt 1: Überblick: Worum geht es?, Stand 30.11.2011

**BFE 2011j:** Faktenblatt 3: Zeitplan, Stand: 30.11.2011

**BFE 2011k:** Faktenblatt 4: Geologische Tiefenlager. Die Wichtigsten Fakten, Stand 30.11.2011

**BFE 2011m:** Faktenblatt Opalinuston, Stand 01.11.2011

[http://www.bfe.admin.ch/radioaktiveabfaelle/01274/01280/01286/05189/index.html?lang=de&dossier\\_id=05205](http://www.bfe.admin.ch/radioaktiveabfaelle/01274/01280/01286/05189/index.html?lang=de&dossier_id=05205)

**BFE 2011n:** Übersicht über die fünf Schweizer KKW

<http://www.bfe.admin.ch/themen/00511/index.html?lang=de>

**BfS 2005:** Konzeptionelle und sicherheitstechnische Fragen der Endlagerung radioaktiver Abfälle

[http://www.bfs.de/de/endlager/publika/Synthesebericht\\_Endfassung.pdf](http://www.bfs.de/de/endlager/publika/Synthesebericht_Endfassung.pdf)

**BfS 2011a:** Auflistung kerntechnischer Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland, Stand 2/2011

[http://www.bfs.de/de/kerntechnik/Kerntechnische\\_Anlagen\\_in\\_Deutschland](http://www.bfs.de/de/kerntechnik/Kerntechnische_Anlagen_in_Deutschland)

**BfS 2011b:** Was bedeutet die Bergbarkeit oder Rückholbarkeit im Zusammenhang mit der Endlagerung radioaktiver Abfälle? Stand: 29.9.2011

[http://www.bfs.de/de/endlager/standortfindung/bergbarkeit\\_rueckholbarkeit.html](http://www.bfs.de/de/endlager/standortfindung/bergbarkeit_rueckholbarkeit.html)

**BfS 2011c:** Fragen und Antworten zum Thema „Zwischenlager“, Stand 3.6.2011

[http://www.bfs.de/de/transport/faq/faq\\_zwischenlager.html](http://www.bfs.de/de/transport/faq/faq_zwischenlager.html)

**BfS 2011d:** Kosten und Kostenverteilung des Endlagerprojekts Schacht Konrad

Stand: 24. August 2011, Abruf 15.12.2011

[http://www.endlager-konrad.de/cln\\_116/nn\\_1072978/DE/Themen/Kosten/\\_node.html?\\_nnn=true](http://www.endlager-konrad.de/cln_116/nn_1072978/DE/Themen/Kosten/_node.html?_nnn=true)

**BfS 2011e:** Abfallprognosen, Stand laut BfS 23.9.2011, Abruf 24.2.2012

<http://www.bfs.de/de/endlager/abfaelle/prognose.html>

**Credit Suisse 2011:** Equilibrium Exchange Rates. Fair Value 2011

<http://www.credit-suisse.com/researchandanalytics>

**ENSI** (Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat) **2011**: Kernanlagen in der Schweiz

<http://www.ensi.ch/de/kernanlagen/kernanlagen-in-der-schweiz/>

**FÖS 2012**: Rückstellungen für Rückbau und Entsorgung im Atombereich. Thesen und Empfehlungen zu Reformoptionen, FÖS-Studie im Auftrag von Greenpeace, Bettina Meyer, Mitarbeit von Tristan Fuhrmann, Berlin, 11.04.2012

<http://www.foes.de/publikationen/studien/>

**GNS** Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen

<http://www.gns.de/binary.ashx/2597>

**Kellermann, Kersten 2011**: Franken - Massiv überbewertet, in Wirtschaftsdienst, Nr. 8/2011, S. 506

**Nagra 2008**: Technischer Bericht 08-01. Entsorgungsprogramm 2008 der Entsorgungspflichtigen

[http://www.bfe.admin.ch/radioaktiveabfaelle/01274/01280/01286/05186/index.html?lang=de&dossier\\_id=02828](http://www.bfe.admin.ch/radioaktiveabfaelle/01274/01280/01286/05186/index.html?lang=de&dossier_id=02828)

**UBS Investment Research 2012**: Chartset Schweiz, Stand 9.2.2012

[http://www.static-](http://www.static-ubs.com/ch/de/swissbank/business_banking/market_information/forecasting/konjunktur/jcr_content/par/linklist/link.1827995403.file/bGluay9wYXRoPS9jb250ZW50L2RhbS91YnMvY2gvc3dpc3NiYW5rL2Jlc2luZXNzX2JhbmtpbmcbvWFya2V0X2luZm9ybWF0aW9uL0NoYXJ0c2V0X0RFLnBkZg==/Chartset_DE.pdf)

[ubs.com/ch/de/swissbank/business\\_banking/market\\_information/forecasting/konjunktur/jcr\\_content/par/linklist/link.1827995403.file/bGluay9wYXRoPS9jb250ZW50L2RhbS91YnMvY2gvc3dpc3NiYW5rL2Jlc2luZXNzX2JhbmtpbmcbvWFya2V0X2luZm9ybWF0aW9uL0NoYXJ0c2V0X0RFLnBkZg==/Chartset\\_DE.pdf](http://www.static-ubs.com/ch/de/swissbank/business_banking/market_information/forecasting/konjunktur/jcr_content/par/linklist/link.1827995403.file/bGluay9wYXRoPS9jb250ZW50L2RhbS91YnMvY2gvc3dpc3NiYW5rL2Jlc2luZXNzX2JhbmtpbmcbvWFya2V0X2luZm9ybWF0aW9uL0NoYXJ0c2V0X0RFLnBkZg==/Chartset_DE.pdf)