

**swiss***nuclear*

Fachgruppe Kernenergie der swisselectric

**Kostenstudie 2011 (KS11)  
Schätzung der Stilllegungskosten der  
Schweizer Kernanlagen**

**swissnuclear**

Fachgruppe Kernenergie der swisselectric

Froburgstrasse 17

Postfach 1663

CH-4601 Olten

T +41 62 205 20 10

F +41 62 205 20 11

[info@swissnuclear.ch](mailto:info@swissnuclear.ch)

[www.swissnuclear.ch](http://www.swissnuclear.ch)

13. Oktober 2011

## Zusammenfassung

Das Kernenergiegesetz verpflichtet in Art. 77 die Betreiber der Kernkraftwerke, einen Stilllegungs- und Entsorgungsfonds zu bilden, der nach Ausserbetriebnahme der Kernkraftwerke über genügend Mittel verfügt, um die Entsorgungs- und Stilllegungskosten nach der Ausserbetriebnahme zu decken.

Die Bemessung der Beiträge in den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds sowie der Rückstellungen der Betreiber für die nukleare Entsorgung erfolgt auf Basis einer umfassenden Schätzung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten, die gemäss Art. 4 der Verordnung über den Stilllegungs- und den Entsorgungsfonds (SEFV) alle fünf Jahre erfolgen muss. Mit der Aktualisierung der Stilllegungs- und Entsorgungskostenstudien werden jeweils auch die Kosten für die so genannte Nachbetriebsphase neu geschätzt, welche die Kernkraftwerke direkt bezahlen und für die sie ebenfalls Rückstellungen zu bilden haben.

Die letzte Schätzung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten basiert auf Daten aus dem Jahr 2006. Sie wurde von der damaligen Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK, heute ENSI, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat) geprüft und durch die Kommission des Stilllegungs- und des Entsorgungsfonds genehmigt. Sie bildet die Grundlage für die Fondsbeiträge der Entsorgungspflichtigen in den Jahren 2007-2011. Im Rahmen der gesetzlich vorgesehenen periodischen Aktualisierungen wurde swissnuclear Anfang 2010 von der Kommission der Fonds beauftragt, die Kostenschätzungen in Zusammenarbeit mit den für die nukleare Entsorgung in der Schweiz verantwortlichen Organisationen erneut vorzunehmen und bis Ende 2011 fertig zu stellen. Mit dem vorliegenden Bericht wird diesem Auftrag bezüglich der Schätzung der Stilllegungskosten Rechnung getragen. Die Überprüfung der Kostenstudien 2011 erfolgt wiederum durch das ENSI im Auftrag der Kommission der Fonds.

Das Realisierungsprogramm für die vorliegende Kostenstudie orientiert sich am aktuellen Entsorgungsprogramm 2008. Ab 2016 sollen die Kostenstudien und das Entsorgungsprogramm jeweils synchron erstellt werden.

Als Berechnungsgrundlage wird für die Kernkraftwerke eine Betriebsdauer von 50 Jahren angenommen (Art. 8 SEFV). Kann ein Kernkraftwerk länger betrieben werden, passt das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) die Berechnungsgrundlage an.

Das in dieser Kostenschätzung modellierte Stilllegungskonzept setzt einen Zustand der Anlage zu Beginn der Rückbauarbeiten voraus, der sich vom betrieblichen Zustand u.a. dadurch unterscheidet, dass sich keine Brennelemente mehr in der Anlage befinden, und dass alle nicht mehr benötigten Betriebsmedien, sowie die Betriebsabfälle von der Anlage entfernt sind. Direkt nach der endgültigen Ausserbetriebnahme der Anlage beginnt die Nachbetriebsphase. Diese umfasst einerseits diejenigen (betrieblichen) Massnahmen, die für den sicheren Betrieb der noch benötigten Systeme notwendig sind und andererseits auch Massnahmen zur Vorbereitung der Stilllegung. Diese Massnahmen zur Vorbereitung der Stilllegung sind durch die Betriebsbewilligung gemäss Kernenergiegesetz abgedeckt.

Während der Nachbetriebsphase müssen die Brennelemente weiterhin gekühlt, gesichert und in Transport- und Lagerbehälter verpackt werden. Die Nachbetriebsphase endet fünf Jahre nach der endgültigen Ausserbetriebnahme. In dieser Zeit sind sämtliche Brennelemente in ein von der Anlage unabhängiges Lager überführt worden. Die Überführung der Betriebsabfälle in ein zentrales Zwischenlager oder in geologische Tiefenlager erfolgt ebenfalls während der Nachbetriebsphase.

Parallel zur Nachbetriebsphase laufen auch andere Vorbereitungen zum Rückbau. Darunter fallen z.B. das Erstellen der Unterlagen zum Stilllegungsprojekt und das Erwirken der Stilllegungsverfügung. Im Anschluss an die Nachbetriebsphase und nach Anordnung der Stilllegungsverfügung durch das zuständige Departement beginnen die Demontage- und Abbrucharbeiten. 15 bis 20 Jahre nach der endgültigen Ausserbetriebnahme ist ein KKW vollständig zurückgebaut und die grüne Wiese wieder hergestellt. Die Anlage wird aus dem Kernenergiegesetz entlassen.

Die letzte komplette Überarbeitung der Stilllegungskostenstudie erfolgte 2001. 2006 wurde diese Studie aktualisiert, aber nicht von Grund auf neu berechnet. Um die gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen aus den in Deutschland laufenden Stilllegungsprojekten sowie die aktuellen Verhältnisse in der Schweiz in der Stilllegungsstudie zu berücksichtigen, hat swissnuclear die NIS Ingenieurgesellschaft mbH (NIS) beauftragt, für die Schweizer Kernkraftwerke und die Anlagen der ZwiLag Zwischenlager Würenlingen AG neue Stilllegungskostenstudien zu erstellen. Die Stilllegungsstudien beinhalten auch den gemäss Art. 42 KEV geforderten Stilllegungsplan.

Die geschätzten Stilllegungskosten gemäss Studie 2011 sind in der folgenden Tabelle im Vergleich mit der im Jahr 2006 aktualisierten Studie 2001 aufgeführt. Für den direkten Vergleich wurden die in der KS06 geschätzten Kosten mit der in der SEFV verankerten und im Rückstellungsmodell berücksichtigten Teuerungsrate von 3 % pro Jahr von der Preisbasis 2006 (PB06) auf die Preisbasis 2011 (PB11) der Kostenstudie 2011 hochgerechnet.

Die Stilllegungskostenstudie 2011 fällt teuerungsbereinigt 17 % höher aus als die Kostenstudie 2001 (inklusive Aktualisierung 2006). Ein wesentlicher Beitrag zu den Mehrkosten entfällt auf den sogenannten Rückbaubetrieb, dessen Umfang und Dauer aufgrund von Erkenntnissen aus laufenden Stilllegungsprojekten erweitert worden ist. Der überdurchschnittliche Anstieg im Falle des KKW Beznau ist massgeblich auf den sequentiellen Rückbaubetrieb aufgrund von zwei Reaktorblöcken zurückzuführen. Die neue Stilllegungsstudie des ZwiLag wurde zum ersten Mal auf einer mit den KKW-Studien einheitlichen Basis durchgeführt. Die Stilllegungsstudie 2011 des ZwiLag wurde zum ersten Mal auf einer mit den KKW-Studien einheitlichen Basis durchgeführt. Die Studien 2006 und 2011 des ZwiLag sind nicht nur deswegen schwer vergleichbar, sondern auch weil für das ZwiLag ein wesentliches Kostenelement (Rückbaubetrieb) aus den Entsorgungskosten neu den Stilllegungskosten zugewiesen wurde. Die resultierenden Kosten sind jedoch vollständigshalber in der folgenden Tabelle ebenfalls dargestellt.

<b>Stilllegungskosten</b>	<b>KKB</b>	<b>KKM</b>	<b>KKG</b>	<b>KKL</b>	<b>ZWILAG</b>	<b>Total</b>
<b>KS11 PB11</b>	809	487	663	920	95	2'974
<b>KS06 PB11</b>	631	440	605	835	31	2'541
<b>Differenz Absolut</b>	178	47	59	86	64	433
<b>Differenz (%)</b>	28%	11%	10%	10%	204%	17% <sup>1</sup>

*Stilllegungskostenschätzung der KS11 und KS06 (Aktualisierung der Studie 2001), Preisbasis 2011 (MCHF)*

---

<sup>1</sup> Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Ausgangslage.....</b>	<b>1</b>
1.1	Einleitung .....	1
1.2	Gesetzlicher Rahmen.....	1
1.2.1	Verursacherprinzip .....	1
1.2.2	Kostenstudien der Entsorgungspflichtigen.....	1
1.2.3	Bereitstellung der finanziellen Mittel.....	2
1.3	Die Nagra .....	3
1.4	Entsorgungsprogramm .....	3
1.4.1	Entsorgungspfad.....	3
1.4.2	Radioaktive Abfälle.....	4
1.5	Zeitliche Gliederung der erforderlichen Geldmittel für die Stilllegung.....	5
<b>2</b>	<b>Randbedingungen und Annahmen .....</b>	<b>7</b>
2.1	Gesetze, Verordnungen und Richtlinien .....	7
2.1.1	Grundlegende Gesetze und Verordnungen .....	7
2.1.2	Richtlinien, Empfehlungen und Auslegungsanforderungen für die Anlagensicherheit und den Strahlenschutz .....	7
2.1.3	Transportvorschriften .....	8
2.1.4	Normen und Regeln .....	9
2.2	Spezifische Randbedingungen und Annahmen.....	9
2.3	Basis für die Qualität der Kostenschätzung der Firma NIS .....	12
<b>3</b>	<b>Stilllegungsvariante.....</b>	<b>15</b>
3.1	Sofortiger Rückbau .....	15
3.2	Späterer Rückbau nach einem gesicherten Einschluss.....	15
3.3	Auswahl der Stilllegungsvariante.....	15
<b>4</b>	<b>Einflussfaktoren auf die Stilllegungskosten.....</b>	<b>17</b>
4.1	Anlageninventar .....	17
4.2	Massenverteilung .....	21
4.3	Materialbehandlung und Entsorgung .....	27
4.3.1	Verpackungskonzept .....	27
4.4	Transport zum geologischen Tiefenlager SMA .....	36
4.5	Zuteilbare Lagerkosten für das geologische Tiefenlager SMA .....	41
4.6	Ablauf und Dauer der Stilllegung .....	42
4.6.1	Abgrenzung zwischen Nachbetriebsphase und Stilllegung .....	42
4.6.2	Inhalt der Nachbetriebsphase .....	43
4.6.3	Unterschiede zwischen den Studien 2001 und 2011 .....	44
4.7	Projektstrukturplan .....	47
4.8	Personalaufwand und Kollektivdosis .....	52
<b>5</b>	<b>Resultat der Schätzung der Stilllegungskosten .....</b>	<b>57</b>
5.1	Vergleich der Studie 2001 (Stand 2006) mit der Studie 2011 .....	57
5.2	Rückbaubetrieb.....	71
5.3	Zusammenfassung der Stilllegungsdauer und Stilllegungskosten .....	81
5.4	Währungsanteile bei den Stilllegungskosten.....	82
5.5	Resümee .....	82

<b>A</b>	<b>Anhänge.....</b>	<b>84</b>
A.1	NIS Referenzliste .....	84
A.2	Herleitung der Stilllegungskosten 2006 und 2011 .....	86
A.3	Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen.....	88
A.3.1	Abbildungsverzeichnis .....	88
A.3.2	Tabellenverzeichnis.....	89
A.4	Literaturverzeichnis.....	92
A.5	Begriffe.....	96
A.6	Verwendete Abkürzungen.....	98

# 1 Ausgangslage

## 1.1 Einleitung

Die Kostenstudie 2011 (auch KS11 oder Kostenschätzung 2011 genannt) umfasst drei Teilstudien.

- Schätzung der Entsorgungskosten der Schweizer Kernkraftwerke /2/
- Schätzung der Kosten der Nachbetriebsphase der Schweizer Kernkraftwerke /3/
- Schätzung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen (vorliegender Bericht)

Diese sind in einem Mantelbericht „Kostenstudie 2011 (KS11)“ /1/ zusammengefasst.

Der vorliegende Bericht der Kostenstudie 2011 ist die Teilstudie „Schätzung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen“.

Die Ausgangslage der Entsorgung der radioaktiven Abfälle und die Bereitstellung der finanziellen Mittel werden in Kapitel 1 dargelegt. In Kapitel 2 dieses Berichtes sind die Annahmen und Randbedingungen beschrieben. Kapitel 3 beschreibt die verschiedenen Stilllegungsvarianten und die für die Kostenschätzung gewählte Variante. In Kapitel 4 werden die Hauptresultate der Studie aufgezeigt und mit den Resultaten der Studie 2001 (Aktualisierung 2006) verglichen. Kapitel 5 fasst die Kosten zusammen. In Kapitel 6 werden die wichtigsten Änderungen seit 2001 (Aktualisierung 2006) zusammengefasst.

## 1.2 Gesetzlicher Rahmen

Das Kernenergiegesetz /4/, das Strahlenschutzgesetz /7/, die Kernenergieverordnung /5/ und die Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung /6/ regeln die Stilllegung von Kernanlagen und die Entsorgung von radioaktiven Abfällen und deren Finanzierung umfassend.

### 1.2.1 Verursacherprinzip

Radioaktive Abfälle werden durch die kommerzielle Nutzung der Kernenergie zur Stromproduktion und durch Medizin, Industrie, Forschung (MIF) verursacht. Das Kernenergiegesetz verankert in Art. 31 Abs. 1 das Verursacherprinzip: *„Wer eine Kernanlage betreibt oder stilllegt, ist auf eigene Kosten zur sicheren Entsorgung der aus der Anlage stammenden radioaktiven Abfälle verpflichtet.“* Abfälle, die nicht in Kernkraftwerken anfallen, die MIF, müssen gemäss Art. 27 StSG dem Bund abgeliefert werden, der die Verantwortung für deren Entsorgung übernimmt. Der Bund erhebt dafür eine Gebühr.

Die für den Bau und Betrieb von Infrastrukturanlagen zur Lagerung radioaktiver Abfälle in der Pflicht stehenden Abfallverursacher sind somit der Bund und die Betreiber der Kernkraftwerke. Die Entsorgungspflicht ist nach Art. 31 Abs. 2 KEG dann erfüllt, *„wenn die Abfälle in ein geologisches Tiefenlager verbracht worden und die finanziellen Mittel für die Beobachtungsphase und den Verschluss sichergestellt sind.“*

### 1.2.2 Kostenstudien der Entsorgungspflichtigen

Das Kernenergiegesetz verpflichtet in Art. 77 die Betreiber der Kernkraftwerke, einen Stilllegungs- und Entsorgungsfonds zu bilden, der nach Ausserbetriebnahme der Kernkraftwerke über genügend Mittel verfügt, um die Entsorgungs- und Stilllegungskosten nach der Ausser-

betriebsnahme zu decken. Die während des Betriebs anfallenden Kosten werden gemäss KEG Art. 82 und OR Art. 669 von den Betreibern direkt getragen.

Die Bemessung der Beiträge in den Stilllegungsfonds erfolgt auf Basis einer umfassenden Schätzung der Stilllegungskosten, die gemäss Art. 4 SEFV alle fünf Jahre erfolgen muss.

Als Berechnungsgrundlage wird für die Kernkraftwerke eine Betriebsdauer von 50 Jahren angenommen (Art. 8 SEFV). Kann ein Kernkraftwerk länger betrieben werden, passt das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) die Berechnungsgrundlage an.

Die letzte Schätzung der Stilllegungskosten basiert auf Daten aus dem Jahr 2006. Dabei wurden die Stilllegungsstudien der Schweizer Kernkraftwerke aus den Jahren 2001 und 2002 aktualisiert. Sie wurde von der damaligen Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK, heute ENSI, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat) geprüft und durch die Kommission des Stilllegungs- und des Entsorgungsfonds genehmigt. Sie bildet die Grundlage für die Fondsbeiträge der Entsorgungspflichtigen in den Jahren 2007–2011. Im Rahmen der gesetzlich vorgesehenen periodischen Aktualisierungen wurde swissnuclear Anfang 2010 von der Kommission der Fonds beauftragt, die Kostenschätzungen in Zusammenarbeit mit den für die nukleare Entsorgung in der Schweiz verantwortlichen Organisationen erneut vorzunehmen und bis Ende 2011 fertig zu stellen. Mit dem vorliegenden Bericht wird diesem Auftrag bezüglich der Schätzung der Stilllegungskosten Rechnung getragen. Die Überprüfung der Kostenstudien 2011 erfolgt wiederum durch das ENSI im Auftrag der Kommission der Fonds.

### **1.2.3 Bereitstellung der finanziellen Mittel**

Das KEG unterscheidet in Art. 77 Abs. 2 zwischen Entsorgungskosten, die während des Betriebes und solchen die nach Ausserbetriebnahme eines Kernkraftwerkes anfallen.

Die während des Betriebes anfallenden Entsorgungskosten (beispielsweise für Forschung, Transporte, Behälter, Zwischenlagerung und die Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente) werden gemäss KEG Art. 82 und OR Art. 669 durch die Entsorgungspflichtigen laufend aus der Betriebsrechnung bzw. Rückstellungen bezahlt.

Die Stilllegungskosten und die nach Ausserbetriebnahme der Kernkraftwerke anfallenden Kosten für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle werden mit Beiträgen der Betreiber in zwei staatlich kontrollierte Fonds, den Stilllegungsfonds für Kernanlagen und den Entsorgungsfonds für Kernkraftwerke sichergestellt, vgl. /6/. Aufgabe des Stilllegungsfonds ist es, die Kosten für die Stilllegung und für den Rückbau der Kernanlagen sowie für die Entsorgung der dabei entstehenden Abfälle zu decken. Der Fonds besteht seit 1984.

Aufgabe des Entsorgungsfonds ist es, die Kosten für die Entsorgung der Betriebsabfälle und der abgebrannten Brennelemente nach der definitiven Ausserbetriebnahme eines Kernkraftwerkes zu decken. Der Entsorgungsfonds wurde im Jahr 2000 gegründet.

Diese durch das Gesetz geforderten und durch den Gesetzgeber kontrollierten Fonds sollen sicherstellen, dass nach der Ausserbetriebnahme der Kernkraftwerke genügend finanzielle Mittel vorhanden sind, um sämtliche Stilllegungs- und noch ausstehenden Entsorgungsaufwendungen zu decken.



## 1.3 Die Nagra

Die Verursacher von radioaktiven Abfällen in der Schweiz, d.h. der Bund und die Betreiber der Schweizer Kernkraftwerke, haben 1972 die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) gegründet und diese mit der Entsorgungsaufgabe betraut. Die Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung gehen nach der gebührenpflichtigen Abgabe in das Eigentum des Bundes über. Diese Verursacher sind daher nicht entsorgungspflichtig.

## 1.4 Entsorgungsprogramm

Die entsorgungspflichtigen Abfallverursacher müssen gemäss Art. 32 KEG ein Entsorgungsprogramm erstellen. Dieses wird von den Bundesbehörden geprüft und vom Bundesrat genehmigt. Im Entsorgungsprogramm haben die Entsorgungspflichtigen unter anderem Angaben zu machen über die Menge und Art der radioaktiven Abfälle, die benötigten geologischen Tiefenlager einschliesslich ihres Auslegungskonzepts, die Zuteilung der radioaktiven Abfälle auf die geologischen Tiefenlager, das Realisierungsprogramm zur Erstellung der Lager und die Finanzierung der Entsorgung.

Das Entsorgungsprogramm muss periodisch an die sich ändernden Gegebenheiten angepasst werden. Dessen Einhaltung, inklusive Finanzierung, wird von den Behörden überwacht. Das Realisierungsprogramm für die vorliegende Kostenstudie orientiert sich am aktuellen Entsorgungsprogramm /9/. Ab 2016 sollen die Kostenstudien und das Entsorgungsprogramm jeweils synchron erstellt werden.

### 1.4.1 Entsorgungspfad

Der Entsorgungspfad beschreibt die für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle durchgeführten Schritte wie folgt.

- Erarbeitung der wissenschaftlichen Grundlagen/Inventarisierung der Abfälle
- Sammlung der radioaktiven Betriebsabfälle durch die Abfallverursacher
- Konditionierung, d.h. die Überführung der Abfälle in einer Form, die für die geologische Tiefenlagerung geeignet ist, und ihre Verpackung
- Transporte
- Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennelementen
- Zwischenlagerung
  - zentral – im Zwiilag oder
  - am Kraftwerksstandort im Zwibeiz – Zwischenlager des KKB
- Stilllegung der Kernanlagen und Konditionierung / Verpackung der anfallenden Stilllegungsabfälle
- Einlagerung der Abfälle in geologischen Tiefenlagern

Abgebrannte Brennelemente, die nicht für Wiederaufarbeitung vorgesehen sind, werden ohne Vorbehandlung in Transport- und Lagerbehälter (TLB) beladen und im Zwiilag bzw. im Zwibeiz (Zwischenlager des KKB) zwischengelagert, nachdem sie in den Brennelement-Becken der KKW bzw. im KKG-Nasslager genügend abgekühlt sind. Auch die Abfälle aus der Wiederaufarbeitung werden im Zwiilag bzw. Zwibeiz zwischengelagert. In der zentralen

Abfallbehandlung des Zwiilag werden schwach- und mittelradioaktive Abfälle aus Schweizer Kernkraftwerken sowie aus Medizin, Industrie und Forschung verarbeitet.

Eine schematische Darstellung des Entsorgungspfades ist in Abbildung 1 dargestellt.

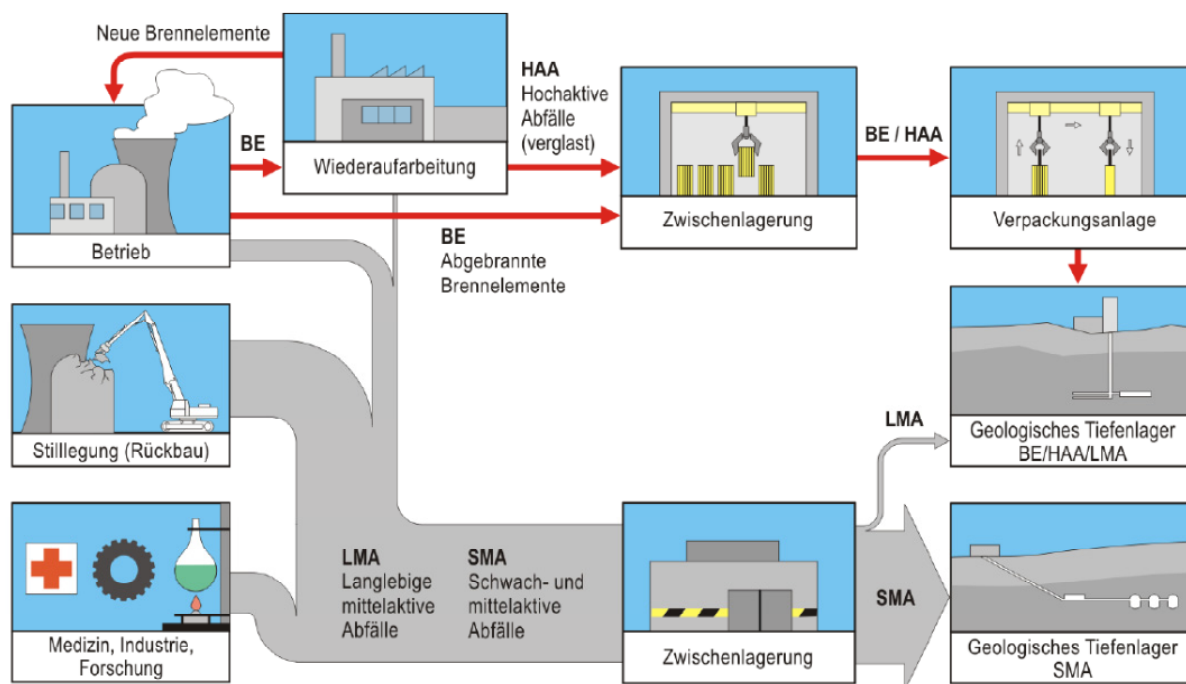


Abbildung 1: Schritte des in der Schweiz beschrittenen Entsorgungspfades für radioaktive Abfälle (Quelle: Nagra).

## 1.4.2 Radioaktive Abfälle

Herkunft, Art und Menge der in der Schweiz zu entsorgenden radioaktiven Abfälle sind bekannt. Die entstehenden Abfälle werden laufend charakterisiert, inventarisiert und konditioniert. Neben der Datenbank über die vorhandenen Abfälle besteht auch für die erst in Zukunft anfallenden Abfälle ein modellhaftes Inventar. Damit ist eine zuverlässige Basis für die Planung und Realisierung der benötigten Infrastruktur sowie deren Finanzierung vorhanden.

Radioaktive Abfälle werden nach ihrer Herkunft klassifiziert:

- Betriebs- und Stilllegungsabfälle aus Medizin, Industrie, Forschung (MIF)
- Betriebsabfälle (BA) und Reaktorabfälle (RA) der KKW
- Stilllegungsabfälle (SA) der KKW
- Brennelemente (BE)
- Wiederaufarbeitungsabfälle (WA) – hochaktive verglaste Abfälle (HAA) und mittelaktive Abfälle (WA-MA)
- Abfälle aus der Verpackungsanlage die bei der Verpackung von Brennelementen (VABE) und Hochaktivabfällen (VAHA) entstehen

Abbildung 2 zeigt den zeitlichen Anfall der radioaktiven Abfälle (in m<sup>3</sup>) der bestehenden Kernkraftwerke der Schweiz bei einer Betriebsdauer von 50 Jahren und der MIF-Abfälle für eine Sammelperiode bis 2050 (Verschluss SMA Lager).

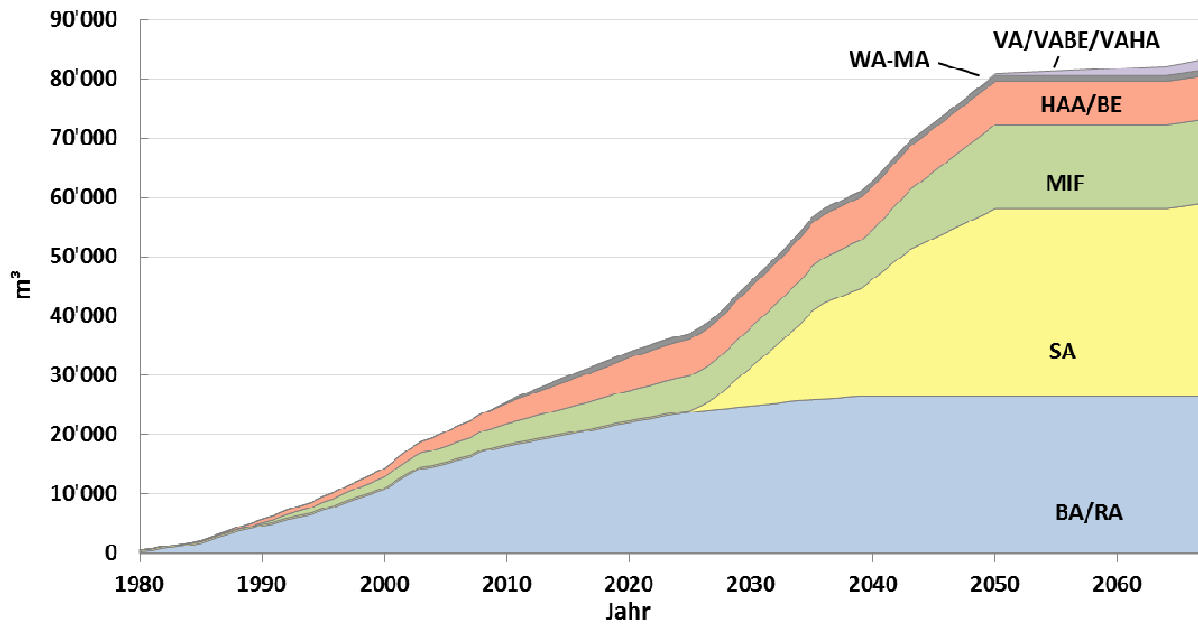


Abbildung 2: Zeitlicher Anfall der radioaktiven Abfälle (in  $m^3$ ) der bestehenden Kernkraftwerke der Schweiz bei einer Betriebsdauer von 50 Jahren und aus dem MIF-Bereich für eine Sammelperiode bis 2050, Volumen der konditionierten, in Endlager-Behälter verpackten Abfälle. (Quelle: Nagra)

Zusätzlich zur Herkunft müssen radioaktive Abfälle nach ihrem Gefährdungspotenzial unterschieden werden. Hier wird in absteigender Reihenfolge unterteilt in:

- Hochaktive Abfälle (HAA)
- Langlebige mittelaktive Abfälle (LMA)
- Schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA)

Das Kernenergiegesetz verankert die Entsorgungspflicht nicht nur über das Verursacherprinzip, sondern gibt in Art. 31 auch konkret vor, dass radioaktive Abfälle in so genannten geologischen Tiefenlagern entsorgt werden müssen.

Der Gesetzgeber lässt jedoch offen, ob sämtliche Abfalltypen (HAA, LMA, SMA) in einem einzigen geologischen Tiefenlager mit höchsten Anforderungen an die Geologie oder in zwei geologischen Tiefenlagern mit entsprechend der Radiotoxizität abgestuften Anforderungen an die Geologie und auf die Art der Abfälle abgestimmten Rahmenbedingungen für die technischen Barrieren entsorgt werden müssen.

Das aktuelle Entsorgungsprogramm sieht zwei geologische Tiefenlager vor. Diese werden als HAA-Lager und SMA-Lager bezeichnet. Gemäss heutigem Kenntnisstand soll die Einlagerung der LMA im HAA-Lager erfolgen /9/.

## 1.5 Zeitliche Gliederung der erforderlichen Geldmittel für die Stilllegung

Die Geldmittel für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle begannen mit der Gründung der Nagra im Jahre 1972 zu fließen. Die Zeitdauer, über die sich die Zahlungen erstrecken, hängt hauptsächlich von der Betriebsdauer der Kernkraftwerke und von der zeitlichen Ausdehnung des Entsorgungspfades ab.

Abbildung 3 zeigt die für die Schätzung der Stilllegungskosten angenommenen Betriebs-, Nachbetriebs- und Stilllegungszeiten der wichtigsten Kernanlagen

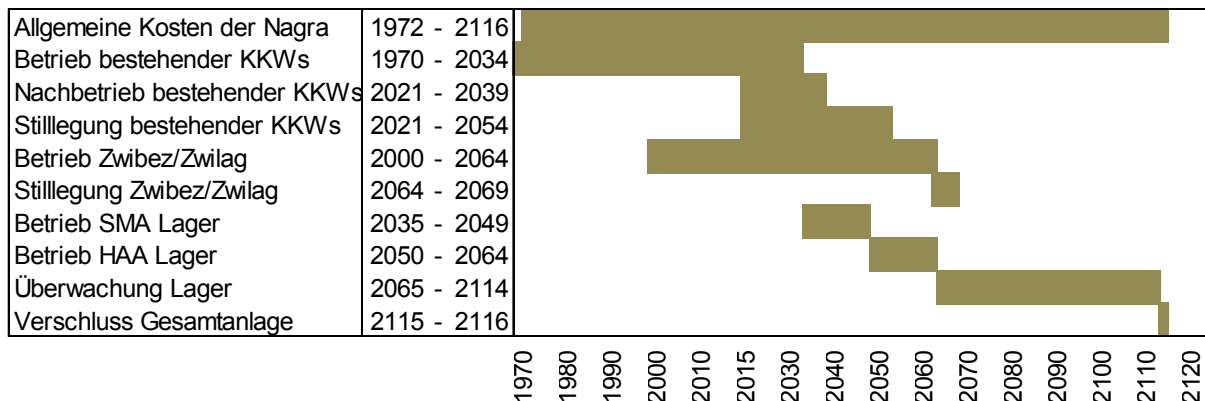


Abbildung 3: Betriebs-, Nachbetriebs- und Stilllegungszeiten der wichtigsten Kernanlagen bei einer Betriebsdauer der Kernkraftwerke von 50 Jahren (vereinfachte Darstellung).

## 2 Randbedingungen und Annahmen

### 2.1 Gesetze, Verordnungen und Richtlinien

Als Grundlage für die Stilllegungskostenberechnung für die Schweizer Kernanlagen dienen u.a. die in den folgenden Abschnitten aufgeführten Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Vorschriften, Normen und Regeln, vgl. auch Kapitel 1.2 Gesetzlicher Rahmen. Die Auflistung ist nicht abschliessend, nennt aber die für die Stilllegung zentralen Unterlagen.

#### 2.1.1 Grundlegende Gesetze und Verordnungen

- Strahlenschutzverordnung (StSV) /8/
- Bundesgesetz über die Arbeit in Industrie, Gewerbe und Handel (Arbeitsgesetz, ArG) mit zugehörigen Verordnungen (ArGV 1 bis 4) /13/ bis /17/
- Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten (Verordnung über die Unfallverhütung [VUV]) /18/
- Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen (VAPK) /34/
- Übrige Gesetze und Verordnungen des Bundes
- Gesetze und Verordnungen der Standortkantone der KKW

#### 2.1.2 Richtlinien, Empfehlungen und Auslegungsanforderungen für die Anlagensicherheit und den Strahlenschutz

Für die Stilllegung der Schweizer Kernanlagen sind insbesondere folgende Richtlinien, Empfehlungen und Auslegungsanforderungen für die nukleare Sicherheit und den Strahlenschutz zu erwähnen.

Richtlinien und Auslegungsanforderungen des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats (ENSI):

- A04 – Gesuchsunterlagen für freigabepflichtige Änderungen an kerntechnischen Anlagen /19/
- B04 – Freimessen von Materialien und Bereichen aus kontrollierten Zonen /20/
- B05 – Anforderungen an die Konditionierung radioaktiver Abfälle /21/
- B10 – Ausbildung, Wiederholungsschulungen und Weiterbildung von Personal /22/
- B13 – Ausbildung und Fortbildung des Strahlenschutzpersonals /23/
- G03 – Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis /24/
- G04 – Auslegung und Betrieb von Lagern für radioaktive Auslegung und Betrieb von Lagern für radioaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente /25/
- G07 – Organisation von Kernanlagen /27/
- G13 – Strahlenschutzmessmittel in Kernanlagen: Konzepte, Anforderungen und Prüfungen /28/
- G14 – Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung aufgrund von Emissionen radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen /29/
- G15 – Strahlenschutzziele für Kernanlagen /30/

- R07 – Richtlinie für den überwachten Bereich der Kernanlagen und des Paul Scherrer Instituts /31/
- R12 – Erfassung und Meldung der Dosen des strahlenexponierten Personals der Kernanlagen und des Paul Scherrer Instituts /32/
- R49 – Sicherheitstechnische Anforderungen an die Sicherung von Kernanlagen /33/

Brandschutzvorschriften der Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen (VKF), Brandschutznorm und diverse Brandschutzrichtlinien mit verschiedenen Ausgabejahren

Internationale Empfehlungen:

- Decommissioning Strategies for Facilities Using Radioactive Material  
IAEA Safety Reports Series No. 50 /35/
- Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors Safety Guide  
IAEA Safety Standards Series No. WS-G-2.1 /36/
- Organization and Management for Decommissioning of Large Nuclear Facilities  
IAEA Technical Reports Series No. 399 /37/
- Release of Sites from Regulatory Control on Termination of Practices Safety Guide  
IAEA Safety Standards Series No. WS-G-5.1 /38/
- The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection ICRP Publication 103 /39/

### 2.1.3 Transportvorschriften

Für die Anlieferung und den Abtransport von Abfällen sowie von abgebrannten Brennelementen gelten die jeweils gültigen Vorschriften für den Transport radioaktiver Stoffe. Für die vorliegende Studie sind dies:

- Für den Schienentransport
  - Verordnung des UVEK über die Beförderung gefährlicher Güter mit der Eisenbahn und mit Seilbahnen (RSD) /40/
  - Ordnung für die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter (RID)
- Für den Strassentransport
  - Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (SDR) /41/
  - Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (ADR)
    - Band I: Übereinkommen, Unterzeichnungsprotokoll und Anlage A  
Anlage A: Vorschriften über die gefährlichen Stoffe und Gegenstände
    - Band II: Anlage A (Fortsetzung) und Anlage B  
Anlage A: Vorschriften über die gefährlichen Stoffe und Gegenstände (Fortsetzung)  
Anlage B: Vorschriften über die Beförderungsausrüstung und die Durchführung der Beförderung
- Vorschriften und Empfehlungen der IAEA, z.B.:
  - Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material No. TS-R-1 /42/
  - Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material Safety Guide No. TS-G-1.1 /43/

## 2.1.4 Normen und Regeln

Für die Stilllegungsstudie werden u.a. berücksichtigt:

- Normen des Schweizerischen Ingenieur- und Architekten-Vereins (SIA)
- Technische Normen des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV)
- Sicherheitstechnische Regeln des Kerntechnischen Ausschusses (KTA)

## 2.2 Spezifische Randbedingungen und Annahmen

Neben der Kenntnis der erforderlichen Anlagendaten sind für die Schätzung der Stilllegungskosten eine Reihe von Randbedingungen, Annahmen und Eingangsdaten festzulegen, ohne die eine Kostenschätzung für ein Projekt, das noch weit in der Zukunft liegt, nicht durchführbar ist. Sofern nicht explizit erwähnt, gelten die Annahmen sowohl für die Schweizer Kernkraftwerke als auch für das Zwiilag.

Folgende Randbedingungen wurden für die Stilllegungsstudien gesetzt:

1. Im Anschluss an die endgültige Abschaltung folgt eine sogenannte Nachbetriebsphase, die noch unter die Betriebsbewilligung fällt. Wesentliche Aufgaben des Kernkraftwerks in der Nachbetriebsphase sind die Handhabung bzw. der Abtransport der Brennelemente, der Steuerstäbe, der Neutronenquellen usw. sowie sämtlicher vorhandener Betriebsabfälle und -medien. Die Kosten hierfür werden in betrieblichen Rückstellungen berücksichtigt und die Mittel dafür zurückgestellt. Sie sind somit nicht Bestandteil der Stilllegungsstudie. Im Fall des Zwiilag gibt es keine Nachbetriebsphase: Die Stilllegung erfolgt durch sofortigen Rückbau der Anlage ab 2065 nach Überführung aller zwischengelagerten Brennelemente und der radioaktiven Abfälle an das geologische Tiefenlager.
2. Die Stilllegung erfolgt durch sofortigen Rückbau der Anlage, d.h. ohne eine Phase des gesicherten Einschlusses. Stilllegungsarbeiten wie Erarbeitung des Stilllegungsprojekts beginnen parallel zur Nachbetriebsphase.
3. Die Stilllegung erfolgt planmässig im Anschluss an einen bestimmungsgemässen Betrieb. Für die erforderliche Planung und Unterlagenerstellung für die Stilllegung ist ein ausreichender Zeitraum vorhanden.
4. Es wird davon ausgegangen, dass die Stilllegung nach fristgemäßem Einreichen eines den gültigen Gesetzen, Verordnungen und sonstigen Regelungen in der Schweiz entsprechenden Stilllegungsprojektes durch das zuständige Departement ohne weiteres verfügt wird und das Departement gleichzeitig festlegt, welche Arbeiten einer Freigabe durch die Aufsichtsbehörden bedürfen.
5. Die mit dem Stilllegungsprojekt einzureichenden Unterlagen stellen das Gesamtkonzept dar, das u.a. auch eine Umweltverträglichkeitsprüfung beinhaltet. Nach Verfügung der Stilllegung erfolgt die Bearbeitung der Einzelschritte im Rahmen von Freigaben durch die Behörden.
6. Auswirkungen durch Verzögerungen, die durch das Verfahren zum Erwirken der Stilllegungsverfügung bedingt sind, werden nicht berücksichtigt.
7. Auswirkungen einer allfälligen Beteiligung der Öffentlichkeit am Verfahren zum Erwirken der Stilllegungsverfügung werden nicht berücksichtigt.

8. Es wird unterstellt, dass die Aufsichtsbehörde bzw. deren Gutachter den Fortgang der Arbeiten über den gesamten Demontagezeitraum beobachten und begleiten.
9. Es wird angenommen, dass das zuständige Departement zeitnah nach ordnungsgemäsem Abschluss der Stilllegungsarbeiten feststellt, dass die Anlage keine radiologische Gefahrenquelle mehr darstellt und somit nicht mehr der Kernenergiegesetzgebung untersteht.
10. In den Kostenschätzungen sind die Demontage der Einrichtungen und der Abbruch der Gebäude berücksichtigt. Im Fall des Zwiilag gilt: Die Demontage der Einrichtungen aus der kontrollierten Zone und der Abbruch des Gebäudes V (Plasma-Anlage) sind berücksichtigt. Die Restanlage kann im Anschluss der Stilllegung der freien wirtschaftlichen Disposition zur Verfügung gestellt werden.
11. Das Radioaktivitätsinventar setzt sich aus zwei Anteilen zusammen (für Zwiilag: nur kontaminiertes Material):  
Aktiviertes Material (im Bereich des Neutronenfeldes)  
Kontaminiertes Material
12. Das Radioaktivitätsinventar der aktivierten Teile wurde für die vorliegende Stilllegungsstudie von der Nagra neu bestimmt. Zur Bestimmung der Menge an kontaminiertem Material werden vorhandene anlagenspezifische Daten analysiert und die für die Stilllegungsstudie zugrunde zu legenden Werte festgelegt. Im Fall des Zwiilag gilt: Zur Bestimmung der Menge an kontaminiertem Material werden vorhandene anlagenspezifische Daten analysiert und die für die Stilllegungsstudie zugrunde zu legenden Werte festgelegt. Die natürliche Radioaktivität wird nicht betrachtet.
13. Bei allen Einrichtungen in der kontrollierten Zone wird so lange eine Kontamination unterstellt, bis durch eine Kontrollmessung nachgewiesen ist, dass die Kontamination unterhalb der zulässigen Freigabewerte liegt. Als Grundlage hierfür gelten die in der gültigen Schweizer Strahlenschutzverordnung /8/ (Stichtag 01.01.2011) aufgeführten Freigabewerte (Freigrenze (LE), Richtwert (CS) und Dosisleistung  $\leq 0.1 \mu\text{Sv/h}$  in 10 cm Abstand von der Oberfläche).
14. Alle konventionellen Gebäude und das Gelände des Standortes werden auf Kontamination überprüft. Es wird unterstellt, dass keine Kontamination vorliegt.
15. Die bei der Stilllegung eingesetzten Verfahren und Geräte entsprechen dem heutigen Stand der Technik.
16. Für die weitere Behandlung und Konditionierung von demontierten Materialien wird die Verfügbarkeit geeigneter Anlagen am Standort (z.T. speziell für diese Zwecke neu errichtet) bzw. extern (z.B. Behandlung in der Plasma-Anlage der Zwiilag) unterstellt. Nach der Systemdekontamination, die im Wesentlichen zur Reduzierung der Dosisleistung durchgeführt wird, werden Anlagenteile zum Zweck der anschliessenden Freigabe dekontaminiert.
17. Beim Rückbau fallen ausschliesslich schwach- und mittelaktive Abfälle an. Diese werden nach den in der Schweiz gültigen Regelwerken (z.B. Richtlinie HSK-B05/d /21/) bzw. Vereinbarungen mit der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) konditioniert. Es wird von der Verfügbarkeit des geologischen Tiefenlagers SMA ab 2035 ausgegangen /9/. Kosten für eine allfällige Zwischenlagerung werden ausgewiesen.
18. Die Lagerbehälter für die Verpackung der radioaktiven Abfälle werden entsprechend den Angaben der Nagra angenommen. Die maximale Aktivität je Behälter ist durch



- die geltenden Transportvorschriften limitiert, nicht durch das geologische Tiefenlager SMA. Die Hohlräume in den Behältern werden mittels geeigneter Füllmaterialien (z.B. zementbasierte Füllmaterialien /21/) vergossen. Darüber hinaus wird angestrebt, den Zielwert von 5 W/m<sup>3</sup> für die spezifische Wärmeleistung pro Gebindevolumen nicht zu überschreiten. Zur Verpackung der aktivierten RDB-Einbauten werden spezielle, dickwandige MOSAIK-Behälter verwendet. Die MOSAIK-Behälter werden erst am Standort des geologischen Tiefenlagers SMA in einen Lagerbehälter LC1 eingestellt und vergossen.
19. Die Transportkosten von der Anlage zum geologischen Tiefenlager SMA werden mit einem spezifischen Kostenansatz pro Transport- oder Lagercontainer (10'000 CHF pro Container) berücksichtigt, unabhängig von der Entfernung der Anlage vom geologischen Tiefenlager SMA.
  20. Die Gebäudestrukturen innerhalb des Stahlcontainments werden zum Nachweis der Kontaminationsfreiheit noch unter den Bedingungen einer kontrollierten Zone abgebrochen.
  21. Der Abbruch der Gebäude mit kontrollierter Zone erfolgt nach der Auszonung dieser Bereiche durch die Behörde. Alle anderen Gebäude werden davon unabhängig abgebrochen.
  22. Der Abbruch der Gebäudestrukturen wird grundsätzlich bis in eine Tiefe von 2 m unter dem Geländeniveau des Kraftwerkareals vorgenommen. Anlagen und Einrichtungen werden jedoch auch in grösseren Tiefen demontiert und die Gebäudeoberflächen – falls erforderlich – unter die gültigen Freigabewerte dekontaminiert, freigemessen und ausgezont.
  23. Der beim konventionellen Abbruch der Gebäude anfallende Betonschutt wird zerkleinert und von der Armierung getrennt. Im Fall des Zwiilag gilt: Der beim konventionellen Abbruch des Gebäudes V – Plasma-Anlage anfallende Betonschutt wird zerkleinert und von der Armierung getrennt. Danach wird er zu 50 % auf eine Deponie gebracht und zu 50 % kostenneutral anderweitig (z.B. im Strassenbau) verwertet.
  24. Für die Schätzung des erforderlichen Personalaufwandes für die Durchführung der Arbeiten werden geeignete Personalqualifikationen festgelegt und entsprechende, aus der Praxis abgeleitete Verrechnungssätze zugrunde gelegt. Es wird unterstellt, dass Personal mit Anlagenkenntnissen verfügbar ist.
  25. Die Demontage der kontaminierten und aktivierten Anlageteile sowie der Abbruch des aktivierten biologischen Schildes und der Drywell-Wand werden soweit sinnvoll im Ein- oder im Mehrschichtbetrieb durchgeführt.
  26. Die Bewachung der Anlage erfolgt in angemessener Weise rund um die Uhr.
  27. Der erforderliche Aufwand für den sogenannten Rückbaubetrieb wird definiert und kostenmässig berücksichtigt.
  28. Die Versicherungsprämien (nukleare Versicherungen und Sachversicherungen) werden entsprechend den aktuellen Erfordernissen (z.B. Kernenergiehaftpflichtgesetz) angenommen. Die geplante Erhöhung der Versicherungsprämien für die nukleare Haftpflichtversicherung wird noch nicht berücksichtigt, da das Abkommen noch nicht in Kraft ist, weil die Ratifizierung durch einige EU-Länder noch aussteht.
  29. Falls für die Schätzung der Kosten eine Währungsumrechnung von Euro auf Schweizer Franken notwendig ist, ist folgender Wechselkurs zu Grunde gelegt: 1 € = 1.40 CHF.

30. Bei dieser Kostenschätzung handelt es sich um so genannte "best estimates". "Best estimates"-Kosten sind Aufwendungen, die auf einem detaillierten technisch-wissenschaftlichen Konzept basieren, dem der neuste Wissenstand und ein klarer zeitlicher Ablauf der Ereignisse zu Grunde liegen. Die Kosten werden realistisch, jedoch ohne zusätzliche Sicherheitszuschläge nach bestem Expertenwissen zu heutigen Marktpreisen (Overnight-Kosten) geschätzt.
31. Um der mit der Berechnung der Stilllegungskosten verbundenen Unsicherheit Rechnung zu tragen, werden die Stilllegungskosten in regelmässigen Abständen neu berechnet. Die Kostenschätzung erfolgt jeweils auf Basis einer bestmöglichen Berücksichtigung aktueller technisch-wissenschaftlicher Erkenntnisse und gestützt auf die zum Zeitpunkt der Berechnung gültigen Preise.

### **2.3 Basis für die Qualität der Kostenschätzung der Firma NIS**

Die NIS Ingenieurgesellschaft mbH (NIS) arbeitet seit über 30 Jahren auf dem Gebiet der Stilllegung kerntechnischer Anlagen, wobei z.B. durch die Beteiligung an den zurzeit laufenden deutschen Stilllegungsprojekten (KKW Stade, KKW Würgassen, KKW Obrigheim) wesentliche praktische Erfahrungen gewonnen werden konnten. Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt der NIS liegt auf der Ermittlung der Kosten für die Stilllegung und den Abbau von Anlagen des Brennstoffkreislaufs. Diese Kostenermittlungen dienen beispielsweise zur Festlegung der notwendigen Rückstellungen für alle Leistungsreaktoren in Deutschland. Auch ausserhalb Deutschlands wurden Stilllegungsstudien erstellt und die Kosten dafür ermittelt, z.B. in den Niederlanden, Belgien, Slowenien, Frankreich, Italien und der Schweiz.

In Deutschland besteht gemäss den Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke, ähnlich wie in der Schweiz, die Forderung, bereits vor Inbetriebnahme eines Kernkraftwerkes die Stilllegung konzeptionell nachzuweisen. Darüber hinaus enthalten die Betriebsgenehmigungen einiger Kernkraftwerke die Auflage, einen Stilllegungsnachweis vorzulegen, der in bestimmten Zeitabständen zu aktualisieren ist. Aus diesen Gründen wurde die konzeptionelle Machbarkeit der Stilllegung von Kernkraftwerken am Beispiel eines Druckwasser- und eines Siedewasserreaktors bereits 1977 durch die so genannten Referenzstudien nachgewiesen. Diese wurden damals im Auftrag der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke e.V. (VDEW) von NIS erstellt. Diese Referenzstudien sind auch wesentlicher Bestandteil der Schweizer Stilllegungsstudien von 1980. Praktische Erfahrungen, die im Rahmen der Rückbaus stillgelegter Anlagen gewonnen wurden, sowie die Weiterentwicklung der Technik und Veränderungen in der Genehmigungspraxis führten zu mehrfachen Aktualisierungen der Referenzstudien durch die NIS. In diesen Studien werden die folgenden Aspekte einer Stilllegung behandelt:

- Rechtliche Grundlagen
- Einflüsse in Zusammenhang mit dem Genehmigungsverfahren
- Vergleich des Stilllegungskonzeptes der deutschen EVU mit den von der IAEA definierten Stilllegungsschritten (Stages)
- Einsetzbare Techniken und Verfahren
- Konzeptionelles Vorgehen bei der Stilllegung von Kernkraftwerken
- Methodik und die Vorgaben, Annahmen und Randbedingungen für die Ermittlung der Stilllegungskosten

NIS ermittelt auf regelmässiger Basis die Stilllegungskosten für die deutschen Kernkraftwerke. Dabei werden die Vorgaben, Annahmen und Randbedingungen für die Ermittlung der Kosten dem jeweils neuesten Stand angepasst. Dadurch ist gewährleistet, dass die Erfahrungen aus den laufenden Stilllegungsprojekten kontinuierlich eingearbeitet werden. Die ermittelten Stilllegungskosten sind Basis für die Bildung von Rückstellungen für die spätere Stilllegung der Kernkraftwerke.

Neben der Berechnung der Stilllegungskosten für die noch in Betrieb befindlichen Kernkraftwerke in Deutschland ermöglicht die weitere Anpassung der Methodik der Stilllegungskostenermittlung auch die Berechnung von Stilllegungskosten von Anlagen, die sich bereits in der Stilllegung befinden. Beispielhaft sind zu nennen:

- Kostenermittlung für die Stilllegung sämtlicher Blöcke am Standort Greifswald
- Kostenermittlung für die Stilllegung des Kernkraftwerkes Rheinsberg
- Jährliche projektbegleitende Ermittlung der Stilllegungskosten, Anpassung und Abgleich der Ergebnisse bei folgenden Kernkraftwerken:
  - Würgassen
  - Mülheim-Kärlich
  - Stade
  - Obrigheim

Die Flexibilität der Methodik und des Rechenprogramms erlauben es darüber hinaus, auch für andere kerntechnische Anlagen des Kernbrennstoffkreislaufes die Stilllegungskosten zu ermitteln. Dies wurde inklusive der Erstellung der dazugehörigen Stilllegungskonzepte von NIS z.B. für folgende Anlagen in Deutschland durchgeführt:

- Pilotkonditionierungsanlage Gorleben
- Urananreicherungsanlage in Gronau
- Wiederaufarbeitungsanlage in Karlsruhe (WAK, Aktualisierung 2011)
- Anlagen zur Behandlung, Verbrennung, Dekontamination und Konditionierung radioaktiver Abfälle des Forschungszentrums Karlsruhe (Aktualisierung 2011)

Daneben wird von der NIS die Methodik der Stilllegungskostenermittlung für Kernkraftwerke und andere Anlagen des Kernbrennstoffkreislaufes auch ausserhalb Deutschlands entsprechend angepasst und eingesetzt. Die ermittelten Ergebnisse werden dort zur Rückstellung von finanziellen Mitteln für die Stilllegung oder für die Budgetierung und Kostenkontrolle bei konkreten Stilllegungsprojekten verwendet. Im Anhang A.1 ist eine Referenzliste der Firma NIS aufgeführt.

Das Qualitätsmanagementsystem der NIS erfüllt die Anforderungen der DIN EN ISO 9001:2008 und der KTA Regel 1401 für ihre Ingenieur-, Dienst- und Beratungsleistungen. Das Qualitätsmanagementsystem nach DIN EN ISO 9001:2008 ist zertifiziert durch eine akkreditierte Prüfstelle (BSI Management Systems und Umweltgutachter GmbH). Darüber hinaus verfügt NIS über die Eignungsbestätigung zur Qualitätssicherung gemäss KTA 1401 der VGB-Arbeitsgemeinschaft „Auftragnehmerbeurteilung“.

Die Methodik der Kostenermittlung für die Stilllegung von Kernkraftwerken wurde auch von verschiedenen externen Organisationen geprüft und als nachvollziehbar und zutreffend bewertet, z.B.:

- Bundesamt für Finanzen und Länderfinanzbehörden (1997)
- Technische Universität Delft im Auftrag des niederländischen Ministeriums für Soziales und Arbeit (1997)

- Beurteilung der Stilllegungsstudien 2001 der Schweizer Kernkraftwerke durch die Schweizerische Aufsichtsbehörde HSK (heute ENSI) (2002)
- Auditierung der Kostenermittlung für die deutschen Kernkraftwerke durch PricewaterhouseCoopers Aktiengesellschaft Wirtschaftsprüfungsgesellschaft (2007)
- Expert Mission der IAEA bzgl. Stilllegungskostenermittlung für das Kernkraftwerk Krško (2010)

### **3 Stilllegungsvariante**

Gemäss international üblicher Vorgehensweise /35/ existieren für die Stilllegung eines Kernkraftwerkes verschiedene Stilllegungsvarianten. In der Schweiz kommen aus gesetzlichen Gründen (Art. 26 Abs. 2 Bst. d in Verbindung mit Art. 31 Abs. 2 Bst. a KEG /4/) nur ein sofortiger Rückbau oder ein späterer Rückbau nach einem gesicherten Einschluss in Frage (siehe /45/).

#### **3.1 Sofortiger Rückbau**

Bei einem sofortigen Rückbau werden die kontaminierten und aktivierten Einrichtungen, Komponenten und Bauwerke bzw. Bauteile des Kernkraftwerks entsorgt oder so weit dekontaminiert, dass die Anlage so bald wie möglich nach der endgültigen Abschaltung aus der nuklearen Aufsicht entlassen werden kann. Die Umsetzung dieser Stilllegungsvariante beginnt nach der endgültigen Abschaltung, in der Regel innerhalb von fünf Jahren. In der so genannten Nachbetriebsphase, d.h. zwischen endgültiger Abschaltung und Beginn der Rückbaumassnahmen, werden die Brennelemente entsorgt sowie die noch vorhandenen Betriebsabfälle konditioniert und ebenfalls entsorgt. Nicht mehr benötigte Systeme werden entleert und gespült. Das Stilllegungsprojekt wird erarbeitet und nach der Anordnung in der Stilllegungsverfügung umgesetzt. Beim sofortigen Rückbau wird das gesamte radioaktive Material aus der Anlage entfernt und konditioniert, um es entweder einer Zwischenlagerung oder direkt der geologischen Tiefenlagerung zuzuführen. Bauwerke, die weder kontaminierte noch aktivierte Bauteile enthalten, werden abgerissen oder können ohne durch die Kernenergiegesetzgebung bedingte Einschränkungen am Standort verbleiben.

#### **3.2 Späterer Rückbau nach einem gesicherten Einschluss**

Bei der Variante mit einem gesicherten Einschluss erfolgt der endgültige Rückbau der Anlage zeitverzögert. Die Anlage wird gesichert und in einem langfristig sicheren Zustand gehalten. Sie wird erst später dekontaminiert und zurückgebaut. Bis zum Rückbau wird ein Überwachungs- und Wartungsprogramm umgesetzt, um sicherzustellen, dass die erforderliche Sicherheit gewährleistet ist. Die Massnahmen der so genannten Nachbetriebsphase (siehe Kapitel 4.6.2) werden auch bei dieser Variante durchgeführt. Erste Dekontaminierungs- oder Rückbauarbeiten können bereits vor dem gesicherten Einschluss erforderlich sein (z.B. um den Einschlussbereich in angemessenem Umfang zu halten). Der wesentliche Teil der Anlage verbleibt jedoch im überwachten Zustand, der von einigen wenigen bis über 50 Jahre dauern kann. Erst danach wird der verbleibende Teil der Anlage zurückgebaut und die Stilllegung abgeschlossen. Anschliessend kann die Anlage, wie gesetzlich vorgesehen, aus der Kontrolle durch die Behörden entlassen werden.

#### **3.3 Auswahl der Stilllegungsvariante**

Die Auswahl der Stilllegungsvariante erfolgt in Übereinstimmung mit der Schweizer Gesetzgebung. Nebst dem Kernenergie- und dem Strahlenschutzgesetz ist die Umweltgesetzgebung wesentlich.

Das übergeordnete Ziel bei der Auswahl der Stilllegungsvariante ist, dass die Anlage nach ordnungsgemäsem Abschluss der Stilllegung keine radiologische Gefahrenquelle mehr darstellt und somit nicht mehr der Kernenergiegesetzgebung untersteht.

Bei der Entscheidungsfindung werden die gesetzlichen Stilllegungspflichten berücksichtigt. Dazu gehören insbesondere:

- nukleare Sicherheit und Sicherung
- Verfügbarkeit einer anderen Kernanlage, in welche die in der Anlage vorhandenen Kernmaterialien verbracht werden können
- Möglichkeiten zur Dekontamination der radioaktiven Teile
- Möglichkeit, die radioaktiven Abfälle zu entsorgen, insbesondere die zeitliche Verfügbarkeit betriebener geologischer Tiefenlager
- Möglichkeit zur Bewachung der Anlage, bis alle nuklearen Gefahrenquellen daraus entfernt sind

Nebst den gemäss Kernenergiegesetz zu berücksichtigenden Aspekten beeinflussen auch noch andere relevante Aspekte die Entscheidung. Gemäss den international üblichen Standards zum Schutz von Mensch und Umgebung, wie sie z.B. im Regelwerk der Internationalen Atomenergieagentur IAEA als Anforderungen /44/ formuliert sind, besteht die bevorzugte Variante im sofortigen Rückbau. Für diese Variante sprechen auch folgende Aspekte:

- Anlagenkenntnisse, die nur das Betriebspersonal haben kann, stehen zur Verfügung, d.h. kein Know-how-Verlust
- Aus dem Betrieb vorhandene Systeme können genutzt werden (z.B. Lüftungssystem, Behandlungseinrichtungen für radioaktive Abfälle)
- Mit zunehmender Wartezeit (gesicherter Einschluss kann über 50 Jahre dauern) verschlechtert sich die Messbarkeit bestimmter Radionuklide
- Entsorgungsstrategie in der Schweiz, z.B. zeitlich befristete Verfügbarkeit eines geologischen Tiefenlagers
- Aufgrund knapper Flächen in der Schweiz ist ein baldmöglichster Rückbau anzustreben
- Erfahrungen aus Stilllegungsprojekten von Kernkraftwerken (z.B. KKW Stade, KKW Obrigheim) im sofortigen Rückbau liegen vor

Deshalb wird in der vorliegenden Stilllegungsstudie und zur Ermittlung der zu erwartenden Stilllegungskosten die Variante sofortiger Rückbau gewählt.

Allerdings könnte es sein, dass der sofortige Rückbau angesichts aller bei der Entscheidungsfindung zu berücksichtigenden Aspekte nicht die optimale Lösung darstellt. Es bleibt daher vorbehalten, dass in einer Revision der Stilllegungsstudie, unter Berücksichtigung weiterer, neuer Aspekte, eine andere Stilllegungsvariante gewählt wird. Der Eigentümer wird in seinem Stilllegungsprojekt die gewählte Lösung begründen.

## 4 Einflussfaktoren auf die Stilllegungskosten

Seit der letzten kompletten Überarbeitung der Stilllegungsstudie 2001 sind einige kommerzielle Kernkraftwerke stillgelegt und rückgebaut worden oder befinden sich zurzeit im Rückbau (vgl. Anhang A.1). In Deutschland gehören hierzu:

- KKW Würgassen
- KKW Stade
- KKW Mülheim-Kärlich
- KKW Obrigheim

Die gewonnenen Erfahrungen aus Stilllegungsprojekten stehen für die Planung anderer Stilllegungsprojekte weitgehend zur Verfügung. Sofern anwendbar, sind diese Kenntnisse auch in den aktualisierten Stilllegungsstudien für die Schweizer Kernkraftwerke berücksichtigt worden. Dadurch ergaben sich einige Änderungen im Ablauf, im Aufwand und in den Kosten für die Stilllegung der Schweizer Kernkraftwerke. Die wesentlichen Gründe für die Änderungen werden in diesem Kapitel dargestellt.

Die letzten kompletten Stilllegungsstudien wurden für KKM, KKG und KKL 2001 und für KKB 2002 erstellt. Diese Kostenstudien wurden 2006 technisch aktualisiert. Alle Aussagen in diesem Kapitel, die sich auf die Kostenstudien 2001 und 2002 beziehen, verstehen sich inkl. dieser 2006 vorgenommenen Aktualisierungen.

### 4.1 Anlageninventar

Eine wesentliche Voraussetzung für die Stilllegungsplanung und -kostenermittlung ist die Kenntnis des Anlageninventars, das abgebaut und abgerissen werden soll.

Hierbei ist nicht nur das physikalische Inventar (z.B. Massen der Komponenten und Einrichtungen, Gebäudemassen), sondern auch der radiologische Zustand der Anlage zum Zeitpunkt der Stilllegung relevant. Das physikalische Inventar und das radiologische Inventar aus Kontamination wurden von NIS in Zusammenarbeit mit Experten in den Schweizer KKW für die Stilllegungsstudie 2011 aktualisiert und dienen als Basis für die Stilllegungsstudie. Stand der verwendeten Daten ist August 2010. Das radiologische Inventar aus Aktivierung durch die Neutronenstrahlung wurde von der Nagra ermittelt und die Ergebnisse der NIS für die weiteren Auswertungen zur Verfügung gestellt.

Im Folgenden ist ein Überblick über die wesentlichen Änderungen gegenüber der Stilllegungsstudie 2001 gegeben. Für das physikalische Inventar sind folgende Unterscheidungen von Interesse.

- Komponenten und Einrichtungen
  - innerhalb kontrollierter Zone
  - ausserhalb kontrollierter Zone
- Gebäudestrukturen
  - oberhalb -2 m
  - unterhalb -2 m

Für die Stilllegungsplanung und -kostenermittlung sind die Komponenten und Einrichtungen innerhalb der kontrollierten Zone von wesentlicher Bedeutung.

Die Gebäudemassen unterhalb von -2 m wurden in der letzten Studie nicht aufgenommen, da diese Gebäudestrukturen gemäss Vorgabe nicht abgerissen werden, sondern am Standort verbleiben. Dieser Ansatz wurde auch in der Stilllegungsstudie 2011 unverändert übernommen. Um jedoch eine Erfassung des gesamten Standortes zu erhalten, wurden bei der Überprüfung bzw. Aktualisierung 2010 diese Massen zusätzlich erfasst.

Das radiologische Inventar setzt sich aus kontaminiertem und aktiviertem Material zusammen.

Für die Stilllegungsplanung und -kostenermittlung wird davon ausgegangen, dass alle Komponenten und Einrichtungen innerhalb der kontrollierten Zone als kontaminiert bzw. aktiviert angesehen werden, bis ein messtechnischer Nachweis erbracht worden ist, der zeigt, dass die Radioaktivität unterhalb der vorgeschriebenen Grenzwerte der aktuell gültigen Strahlenschutzverordnung (StSV) /8/ liegt.

Für die Zwecke der Stilllegungsstudie 2011 wurden die Komponenten und Einrichtungen, analog zu den Annahmen in der Stilllegungsstudie 2001, bezüglich des Grades ihrer Kontamination einer Kontaminationsklasse zugeordnet. Die Zuordnung wurde von KKW-Mitarbeitern überprüft und, falls erforderlich, nach aktuellem Kenntnisstand angepasst. Die Radioaktivitätswerte bezüglich Aktivierung wurden von der Nagra durch neue Berechnungen ermittelt.

Die Tabelle 1 (KKB), Tabelle 2 (KKM), Tabelle 3 (KKG) und Tabelle 4 (KKL) geben einen Überblick über die Änderungen bezüglich der Massen. Die Massen des Zwiilag sind in der Tabelle 5 aufgeführt.

KKB

	Studie 2002 [Mg]	Studie 2011 [Mg]	Differenz [Mg]
<b>Kontrollierte Zone</b>			
Komponentenmasse	10'271	14'991	4'720
Gebäudemasse (> -2m)	124'478	179'613	55'135
<b>Zwischensumme</b>	<b>134'749</b>	<b>194'604</b>	<b>59'855</b>
<b>Ausserhalb kontrollierte Zone</b>			
Komponentenmasse	14'955	17'732	2'777
Gebäudemasse (> -2m)	129'168	116'708	-12'460
<b>Zwischensumme</b>	<b>144'123</b>	<b>134'440</b>	<b>-9'683</b>
<b>Gesamt zu demontierende Masse</b>	<b>278'872</b>	<b>329'044</b>	<b>50'172</b>

Tabelle 1: Erfasste Massen des KKW Beznau (ohne Gebäudemassen unterhalb -2 m)

Die aktualisierte Datenerfassung ergab für die kontrollierte Zone eine um rund 4'700 Mg höhere Masse an zu demontierenden Einrichtungen. Die abzurechnenden Gebäudemassen (kontrollierte Zone) haben sich durch die Aktualisierung der Eingangsmassen um rund 55'100 Mg erhöht.

Die Gesamtmasse ausserhalb der kontrollierten Zone hat sich um rund 9'700 Mg verringert.



Die aufgezeigten Änderungen in den Massen ergeben sich aufgrund der 2010 durchgeführten Datenerfassung für das KKW Beznau:

**Komponenten:** In Zusammenarbeit mit dem Anlagenpersonal des KKW wurde durch NIS eine komplett neue Anlagenerfassung (kontrollierte Zone und ausserhalb kontrollierte Zone) durchgeführt.

**Gebüdemassen:** Die Gebäudemassen wurden durch die AXPO AG neu ermittelt. Die aktualisierte Datenerhebung führte zu den oben dargestellten Änderungen, z.B. wurde das Zwibez komplett neu aufgenommen.

Es ergaben sich für die Gebäudemassen unterhalb von -2 m rund 45'500 Mg aus Gebäuden mit kontrollierter Zone und rund 23'800 Mg aus Gebäuden ausserhalb der kontrollierten Zone, somit total rund 69'300 Mg.

#### KKM

	Studie 2001 [Mg]	Studie 2011 [Mg]	Differenz [Mg]
<b>Kontrollierte Zone</b>			
Komponentenmasse	10'632	11'986	1'354
Gebüdemasse (> -2m)	69'207	65'915	-3'292
<b>Zwischensumme</b>	<b>79'839</b>	<b>77'901</b>	<b>-1'938</b>
<b>Ausserhalb kontrollierte Zone</b>			
Komponentenmasse	3'094	3'690	596
Gebüdemasse (> -2m)	40'075	43'373	3'298
<b>Zwischensumme</b>	<b>43'169</b>	<b>47'063</b>	<b>3'894</b>
<b>Gesamt zu demontierende Masse</b>	<b>123'008</b>	<b>124'964</b>	<b>1'956</b>

*Tabelle 2: Erfasste Massen des KKW Mühleberg (ohne Gebäudemassen unterhalb -2 m)*

Die aktualisierte Datenerfassung ergab für die kontrollierte Zone eine um rund 1'350 Mg höhere Masse an zu demontierenden Einrichtungen. Die abzubrechenden Gebäudemassen (kontrollierte Zone) haben sich durch die Aktualisierung der Eingangsmassen um rund 3'300 Mg reduziert.

Die Massen ausserhalb der kontrollierten Zone haben sich um rund 3'900 Mg erhöht.

Es ergaben sich für die Gebäudemassen unterhalb von -2 m rund 49'200 Mg aus Gebäuden mit kontrollierter Zone und rund 22'100 Mg aus Gebäuden ausserhalb der kontrollierten Zone.

## KKG

	Studie 2001 [Mg]	Studie 2011 [Mg]	Differenz [Mg]
<b>Kontrollierte Zone</b>			
Komponentenmasse	11'773	13'189	1'416
Gebäudemasse (> -2m)	158'560	162'433	3'873
<b>Zwischensumme</b>	<b>170'333</b>	<b>175'622</b>	<b>5'289</b>
<b>Ausserhalb kontrollierte Zone</b>			
Komponentenmasse	16'715	22'694	5'979
Gebäudemasse (> -2m)	269'110	260'861	-8'249
<b>Zwischensumme</b>	<b>285'825</b>	<b>283'555</b>	<b>-2'270</b>
<b>Gesamt zu demontierende Masse</b>	<b>456'158</b>	<b>459'177</b>	<b>3'019</b>

Tabelle 3: Erfasste Massen des KKW Gösgen (ohne Gebäudemassen unterhalb -2 m)

Die aktualisierte Datenerfassung (inkl. „Anbau an das C-Gebäude“ und „Brennelement-Nasslager“) ergab für die kontrollierte Zone eine um rund 1'400 Mg höhere Masse an zu demontierenden Einrichtungen. Die abzurechnenden Gebäudemassen (kontrollierte Zone) haben sich durch die Aktualisierung der Eingangsmassen um rund 3'900 Mg erhöht.

Die Gesamtmasse ausserhalb der kontrollierten Zone hat sich um rund 2'300 Mg verringert.

Es ergaben sich für die Gebäudemassen unterhalb von -2 m rund 69'200 Mg aus Gebäuden mit kontrollierter Zone und rund 33'900 Mg aus Gebäuden ausserhalb der kontrollierten Zone.

## KKL

	Studie 2001 [Mg]	Studie 2011 [Mg]	Differenz [Mg]
<b>Kontrollierte Zone</b>			
Komponentenmasse	21'520	27'360	5'840
Gebäudemasse (> -2m)	212'175	263'811	51'636
<b>Zwischensumme</b>	<b>233'695</b>	<b>291'171</b>	<b>57'476</b>
<b>Ausserhalb kontrollierte Zone</b>			
Komponentenmasse	16'715	6'847	-9'868
Gebäudemasse (> -2m)	276'140	282'201	6'061
<b>Zwischensumme</b>	<b>292'855</b>	<b>289'048</b>	<b>-3'807</b>
<b>Gesamt zu demontierende Masse</b>	<b>526'550</b>	<b>580'219</b>	<b>53'669</b>

Tabelle 4: Erfasste Massen des KKW Leibstadt (ohne Gebäudemassen unterhalb -2 m)

Die vom Betreiber übergebenen Daten wurden von NIS für die weitere Bearbeitung in das NIS-Rechenprogramm übertragen. Die Auswertung der Daten ergab zusätzliche Massen, die für die Studie 2001 zwar erfasst, aber nicht ausgewiesen wurden. Es handelte sich hierbei im Wesentlichen um Angaben zu Massen, die nicht zur kontrollierten Zone gehören, sich aber in Gebäuden befinden, die als Gebäude der kontrollierten Zone ausgewiesen

sind. In Abstimmung mit dem KKL wurde vereinbart, dass für die neue Stilllegungsstudie die kompletten Daten verwendet werden sollen. Dies ergab für die kontrollierte Zone eine um rund 5'800 Mg höhere Masse an zu demontierenden Einrichtungen. Die abzurechnenden Gebäudemassen (kontrollierte Zone) haben sich durch die Aktualisierung der Eingangsdaten um rund 51'600 Mg erhöht.

Die Massen ausserhalb der kontrollierten Zone haben sich um rund 3'800 Mg verringert, da es aufgrund der aktualisierten Zuordnung (kontrollierte Zone oder ausserhalb kontrollierte Zone) zu Verschiebungen gekommen ist.

Es ergaben sich für die Gebäudemassen unterhalb von -2 m rund 116'800 Mg aus Gebäuden mit kontrollierter Zone. Für die Gebäude ausserhalb der kontrollierten Zone ist keine Masse erfasst.

#### Zwilag

	Kontrollierte Zone [Mg]		Ausserhalb kontrollierter Zone [Mg]		Gesamt- masse [Mg]
	Gesamt- masse*)	Umfang Studie	Gesamt- masse*	Umfang Studie	Umfang Studie
Lucens-Inventar	262	262			262
Komponentenmasse	4'475	4'475	464	60	4'535
Gebäudemasse (> -2m)	154'656	7'952	8'938		7'952
Gebäudemasse (< -2m)	43'293		1'342		
<b>Gesamt:</b>	<b>202'686</b>	<b>12'689</b>	<b>10'744</b>	<b>60</b>	<b>12'749</b>

\*) Die Gesamtmasse des Zwilag ist vollständigkeithalber aufgeführt, stilllegungspflichtig sind jedoch nur die Anlagen (Spalte Umfang Studie). Die nach der Stilllegung und Entlassung aus dem KEG sich auf dem Gelände befindlichen Gebäude können der freien wirtschaftlichen Disposition zur Verfügung gestellt werden.

Tabelle 5: Erfasste Massen des Zwilag

## 4.2 Massenverteilung

Damit, wie in Artikel 25 Absatz 2 StSG /7/ verlangt, möglichst wenig radioaktive Abfälle entstehen, werden radioaktive und nicht radioaktive Materialien getrennt und – wenn möglich und für eine Freigabe sinnvoll – eine Dekontamination der radioaktiven Materialien vorgenommen.

Daraus ergibt sich eine Aufteilung der Massen aus der kontrollierten Zone auf die beiden Entsorgungsziele Freigabe bzw. geologische Tiefenlagerung.

Ein Vergleich der Massen pro Entsorgungsziel (Stilllegungsstudie 2001 zu 2011) zeigen Tabelle 6 (KKB), Tabelle 8 (KKM), Tabelle 10 (KKG) und Tabelle 12 (KKL). Die Massen pro Entsorgungsziel des Zwilag ist in der Tabelle 14 aufgeführt.

Die radioaktiven Abfälle ergeben sich aus den kontaminierten bzw. aktivierten Primärmasse und den bei dem Rückbau und der Materialbehandlung erzeugten Sekundärmasse.

Die Aufteilung der radioaktiven Abfälle zeigen Tabelle 7 (KKB), Tabelle 9 (KKM), Tabelle 11 (KKG) und Tabelle 13 (KKL) im Vergleich der beiden betrachteten Stilllegungsstudien von 2001 und 2011. Die Masse für die Verpackung (Behälter bzw. Container) der radioaktiven Abfälle ist in den angegebenen Werten nicht enthalten.

Die Reduzierung der Mengen an radioaktiven Abfällen ist im Wesentlichen auf folgende Faktoren zurückzuführen:

- Neue Bewertung der Kontamination der Anlagensysteme führt zu weniger radioaktivem Abfall
- Abgabe von Materialien zum Schmelzen (war in Studie 2001 nicht berücksichtigt)
- Neue Kalkulation bezüglich der Aktivierung der beiden Biologischen Schilde ergab geringere Mengen an radioaktivem Abfall
- Anteil des radioaktiven Abfalls aus der Oberflächendekontamination der Gebäudestrukturen hat sich reduziert

In den Stilllegungsplänen wird angestrebt, dass möglichst wenig metallisches Material in das geologische Tiefenlager SMA eingebracht wird. Daher wurde die Möglichkeit berücksichtigt, schwach kontaminiertes bzw. aktiviertes Material zum Einschmelzen an einen Schmelzbetrieb, der eine entsprechende Umgangsbewilligung besitzt, zu bringen. Über den Schmelzvorgang lässt sich eine Dekontamination erzielen, die es erlaubt, das erzeugte Schmelzgut anschliessend freizugeben. Die Radioaktivität sammelt sich in den dabei entstehenden Schlacken und Filterstäuben, die zurückgenommen und als radioaktiver Abfall entsorgt werden.

#### KKB

Entsorgungsziele	Masse aus kontrollierter Zone		Differenz [Mg]
	Studie 2002 [Mg]	Studie 2011 [Mg]	
Freigabe	129'344	191'281	61'937
Geologisches Tiefenlager *)	5'575	4'302	-1'273
<b>Summe</b>	<b>134'919</b>	<b>195'583</b>	<b>60'664</b>

\*) Inkl. Sekundärabfälle und Abtrag aus Gebäudedekontamination

*Tabelle 6: Verteilung der Massen aus der kontrollierten Zone auf die Entsorgungsziele, KKB*

Bei dem Wert für das geologische Tiefenlager SMA in der Studie 2011 ist zu beachten, dass ca. 499 Mg Oberflächenabtrag aus der Gebäudedekontamination zusätzlich berücksichtigt sind (in der Studie 2001 in der Primärmasse berücksichtigt).

	Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA		Differenz [Mg]
	Studie 2002 [Mg]	Studie 2011 [Mg]	
Radioaktive Abfälle aus den Primärmassen			
kontaminierte Massen	2'013	1'081	-932
aktivierte Massen (z.B. RDB-Einbauten und RDB und Liner Bio-Schild)	595	615	20
Beton (z.B. aktivierter Beton des Bio-Schildes und Oberflächenabtrag aus Gebäudedekontamination)	2'796	2'125	-671
Abfälle aus den Sekundärmassen	170	481	311
<b>Gesamt</b>	<b>5'575</b>	<b>4'302</b>	<b>-1'273</b>

Tabelle 7: Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA, KKB

#### KKM

Entsorgungsziele	Masse aus kontrollierter Zone		Differenz [Mg]
	Studie 2001 [Mg]	Studie 2011 [Mg]	
Freigabe	76'762	75'649	-1'113
Geologisches Tiefenlager SMA *)	3'193	2'957	-236
<b>Summe</b>	<b>79'955</b>	<b>78'606</b>	<b>-1'349</b>

\*) Inkl. Sekundärabfälle und Abtrag aus Gebäudedekontamination

Tabelle 8: Verteilung der Massen aus der kontrollierten Zone auf die Entsorgungsziele, KKM

Bei dem Wert für das geologische Tiefenlager SMA in der Studie 2011 ist zu beachten, dass ca. 430 Mg Oberflächenabtrag aus der Gebäudedekontamination zusätzlich berücksichtigt sind (in der Studie 2001 als Primärmasse berücksichtigt)<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Die 430 Mg wurden bei den Gebäudemassen nicht abgezogen und sind daher doppelt berücksichtigt. Für die Stilllegungskostenermittlung ist dies vernachlässigbar.

	Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA		Differenz [Mg]
	Studie 2001 [Mg]	Studie 2011 [Mg]	
Radioaktive Abfälle aus den Primärmassen			
kontaminierte Massen	1'452	1'253	-199
aktivierte Massen (z.B. RDB-Einbauten und RDB)	355	386	31
Beton (z.B. aktivierter Beton des Bio-Schildes und Oberflächenabtrag aus Gebäudedekontamination)	1'270	1'043	-227
Abfälle aus den Sekundärmassen	116	275	159
<b>Gesamt</b>	<b>3'193</b>	<b>2'957</b>	<b>-236</b>

Tabelle 9: Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA, KKM

KKG

Entsorgungziele	Masse		Differenz [Mg]
	Studie 2001 [Mg]	Studie 2011 [Mg]	
Freigabe	167'244	173'220	5'976
Geologisches Tiefenlager *)	3'309	2'992	-317
<b>Summe</b>	<b>170'553</b>	<b>176'212</b>	<b>5'659</b>

\*) Inkl. Sekundärabfälle und Abtrag aus Gebäudedekontamination

Tabelle 10: Verteilung der Massen aus der kontrollierten Zone auf die Entsorgungsziele, KKG

Bei dem Wert für das geologische Tiefenlager SMA in der Studie 2011 ist zu beachten, dass ca. 224 Mg Oberflächenabtrag aus der Gebäudedekontamination zusätzlich berücksichtigt sind (in der Studie 2001 in der Primärmasse berücksichtigt).

	Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA		Differenz [Mg]
	Studie 2001 [Mg]	Studie 2011 [Mg]	
Radioaktive Abfälle aus den Primärmassen			
kontaminierte Massen	1'314	1'006	-308
aktivierte Massen (z.B. RDB-Einbauten und RDB)	506	526	20
Beton (z.B. aktivierter Beton des Bio-Schildes und Oberflächenabtrag aus Gebäudedekontamination)	1'323	1'094	-229
Abfälle aus den Sekundärmassen	166	366	200
<b>Gesamt</b>	<b>3'309</b>	<b>2'992</b>	<b>-317</b>

Tabelle 11: Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA, KKG

#### KKL

Entsorgungziele	Masse aus kontrollierter Zone		Differenz [Mg]
	Studie 2001 [Mg]	Studie 2011 [Mg]	
Freigabe	226'258	285'825	59'567
Geologisches Tiefenlager *)	7'733	6'479	-1'254
<b>Summe</b>	<b>233'991</b>	<b>292'304</b>	<b>58'313</b>

\*) Inkl. Sekundärabfälle und Abtrag aus Gebäudedekontamination

Tabelle 12: Verteilung der Massen aus der kontrollierten Zone auf die Entsorgungsziele, KKL

Bei dem Wert für das geologische Tiefenlager SMA in der Studie 2011 ist zu beachten, dass ca. 370 Mg Oberflächenabtrag aus der Gebäudedekontamination zusätzlich berücksichtigt sind (in der Studie 2001 in der Primärmasse berücksichtigt).

	Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA		Differenz [Mg]
	Studie 2001 [Mg]	Studie 2011 [Mg]	
Radioaktive Abfälle aus den Primärmassen			
kontaminierte Massen	3'317	1'860	-1'457
aktivierte Massen (ohne Beton)	2'142	2'353	211
Beton (z.B. aktivierter Beton des Bio-Schildes und Oberflächenabtrag aus Gebäudedekontamination)	1'978	1'502	-476
Abfälle aus den Sekundärmassen	296	764	468
<b>Gesamt</b>	<b>7'733</b>	<b>6'478</b>	<b>-1'255</b>

Tabelle 13: Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA, KKL

Zwilag

Das Lucens-Inventar wird neu im Rahmen der Zwilag-Stilllegungsabfälle ausgewiesen.

Entsorgungsziele	Masse aus kontrollierter Zone [Mg]
<b>Freigabe</b>	<b>12'204</b>
Inaktive Entsorgung	56
Weiterverwertung (z.T. nach Dekontamination)	12'149
<b>Geologisches Tiefenlager</b>	<b>529</b>
Primärabfälle	223
Sekundärabfälle *)	45
Lucens-Inventar	262
<b>Summe</b>	<b>12'734</b>

\*) Inkl. Betonabtrag aus Gebäudedekontamination (rd. 29 Mg)

Tabelle 14: Verteilung der Massen aus der kontrollierten Zone auf die Entsorgungsziele, Zwilag



## 4.3 Materialbehandlung und Entsorgung

### 4.3.1 Verpackungskonzept

Für die Verpackung der anfallenden radioaktiven Abfälle sind folgende Behälter bzw. Container vorgesehen:

- Presskartuschen (180 l), die beim Hochdruck-Pressen entstehenden Pellets werden in Fässer oder Lagercontainer verpackt
- Fässer (200 l)
- MOSAIK-Behälter Typ II
- Lagercontainer LC1
- Lagercontainer LC2

Die Behälter- bzw. Containertypen sind auch in der Stilllegungsstudie von 2001 zugrunde gelegt worden.

In der Stilllegungsstudie 2001 wurden die erzeugten Fässer und MOSAIK-Behälter am Standort in Lagercontainer LC1 eingestellt und die Hohlräume vergossen. Das Vergussmaterial und die Containerwand konnten als abschirmendes Material bei der Auslegung der maximalen Beladung der Fässer, aber vor allem der MOSAIK-Behälter berücksichtigt werden. Dies führte zu einer deutlich geringeren Anzahl an MOSAIK-Behältern, die zusätzlich noch weniger Innenabschirmung benötigten.

Nach Vorgabe für die Stilllegungsstudie 2011 werden die 200-l-Fässer und die MOSAIK-Behälter nicht am Standort der Kernanlage, sondern erst im Empfangsbereich des geologischen Tiefenlagers SMA in Lagercontainer LC1 eingestellt. Daher werden die Fässer (z.B. in 20'-Container) und die MOSAIK-Behälter (einzeln mit Transport-Stossdämpfern versehen) zu Transportgebinden zusammengestellt und abtransportiert.

Vor Ort direkt mit radioaktivem Abfall beladene oder direkt mit Pellets gefüllte Lagercontainer werden vor Ort vergossen und als konditionierte Abfallgebinde zum geologischen Tiefenlager SMA transportiert.

Die Berechnung der erforderlichen Anzahl Behälter und Container wird auf der Basis von Verpackungsfaktoren, d.h. Masse an Abfall je Behälter, durchgeführt. Die verwendeten Daten der Studie 2001 wurden überprüft und falls neue Erkenntnisse vorlagen (z.B. Stahl-Masse je 200-l-Fass wurde aufgrund von real erzeugten und gewogenen Fässern reduziert) entsprechend korrigiert. Einige Beispiele zu den Verpackungsfaktoren sind in Tabelle 15 gegenübergestellt.

Behälter- bzw. Container-Typ	Abfallart	Verpackte Masse in [kg]	
		Studie 2002	Studie 2011
200-I Fass	Stahl	310	240
	Glaskokille	336	340
	Konzentrate / Harze	100	100
	Dekontgranulat	630	450
MOSAIK Typ II	Stahl	790	770
MOSAIK Typ II (mit 60 mm Pb Zusatz-Abschirmung)	Stahl	nicht verwendet	460
MOSAIK Typ II (mit 140 mm Pb Zusatz-Abschirmung)	Stahl	nicht verwendet	210
Lagercontainer LC1	Normalbeton	16'300	15'410
Lagercontainer LC2	Stahl	12'700	12'730
	Normalbeton	9'700	7'780
Lagercontainer LC2 (mit 80 mm Fe)	Stahl	8'790	nicht verwendet
Lagercontainer LC2 (mit 80 mm Pb)	Stahl	nicht verwendet	9'920

Tabelle 15: Verpackungsfaktoren

Weil die MOSAIK-Behälter gemäss Vorgabe erst im Empfangsbereich des geologischen Tiefenlagers in Lagercontainer eingestellt werden, musste in der Studie 2011 jeder MOSAIK-Behälter die geltenden Transportvorschriften einhalten. Dies führte zu deutlich dickeren zusätzlichen Abschirmungen innerhalb der MOSAIK-Behälter und wegen der dadurch geringeren Lademöglichkeit zu deutlich mehr Behältern.

Die verpackte Masse und die erzeugten Lagerbehälter zeigen Tabelle 16 (KKB), Tabelle 18 (KKM), Tabelle 20 (KKG) und Tabelle 22 (KKL) im Vergleich.

Das neue Verpackungskonzept führt wegen der deutlich höheren Anzahl an MOSAIK-Behältern auch zu höheren Anschaffungskosten für Behälter sowie für die teilweise benötigten Zusatzabschirmungen für die Lagercontainer (siehe Tabelle 17 [KKB], Tabelle 19 [KKM], Tabelle 21 [KKG] und Tabelle 23 [KKL]). Die Kosten für die Lagercontainer LC1 und LC2 sind in den zuteilbaren Lagerkosten für das geologische Tiefenlager SMA enthalten.

Tabelle 28 zeigt für Zwiilag die Menge an radioaktivem Abfall, Behältertyp, -anzahl und -kosten sowie Transportkosten ins geologische Tiefenlager SMA und Kosten für die Lagerung im geologischen Tiefenlager SMA.

KKB

Studie 2011			
Behälter-Typ	Verpackte Masse [Mg]	Anzahl Behälter bzw. Container [ - ]	Bemerkung
200-I Fass <= 175 mSv/h	706	2'166	entspricht ca. 61 LC1 mit 200-I Fässern
LC1	163	9	
LC2	3'056	331	
LC2 mit 40 mm Pb	245	13	
LC2 mit 50 mm Pb	13	4	
MOSAIK-Behälter Typ II mit 20 mm Pb	10	32	entspricht ca. 109 LC1 mit MOSAIK-Behältern
MOSAIK-Behälter Typ II mit 40 mm Pb	10	26	
MOSAIK-Behälter Typ II mit 50 mm Pb	53	105	
MOSAIK-Behälter Typ II mit 80 mm Pb	26	69	
MOSAIK-Behälter Typ II mit 100 mm Pb	4	11	
MOSAIK-Behälter Typ II mit 140 mm Pb	18	83	
<b>Summe</b>	<b>4'302</b>	<b>2'848</b>	

Studie 2002			
Behälter-Typ	Verpackte Masse [Mg]	Anzahl Behälter bzw. Container [ - ]	Bemerkung
LC1 mit 200-I Fässern	170	20	entspricht ca. 720 Fässer
LC1	4'228	212	
LC1 mit MOSAIK-Behälter Typ II	137	65	entspricht ca. 195 MOSAIK-Behälter
LC2	44	5	
LC2 mit Innenabschirmung	996	136	
<b>Summe</b>	<b>5'575</b>	<b>438</b>	

<b>Differenz der Summen (Studie 2011 - Studie 2002)</b>	<b>-1'272</b>	<b>2'410</b>	
---	---------------	--------------	--

Tabelle 16: Verpackte Masse radioaktiver Abfälle und Anzahl Behälter bzw. Container, KKB

Studie 2011			
Behälter-Typ	Verpackte Masse	Anzahl Behälter bzw. Container	Behälterkosten *)
	[Mg]	[ - ]	[kCHF]
200-I Fass <= 175 mSv/h	706	2'166	1'300
LC1	163	9	0
LC2	3'056	331	0
LC2 mit 40 mm Pb	245	13	1'983
LC2 mit 50 mm Pb	13	4	773
MOSAIK-Behälter Typ II mit 20 mm Pb	10	32	2'847
MOSAIK-Behälter Typ II mit 40 mm Pb	10	26	2'515
MOSAIK-Behälter Typ II mit 50 mm Pb	53	105	10'597
MOSAIK-Behälter Typ II mit 80 mm Pb	26	69	7'708
MOSAIK-Behälter Typ II mit 100 mm Pb	4	11	1'339
MOSAIK-Behälter Typ II mit 140 mm Pb	18	83	10'819
<b>Summe</b>	<b>4'302</b>	<b>2'848</b>	<b>39'882</b>

\*) Die Kosten der Lagercontainer (LC1 und LC2) sind in den Kosten für das geologische Tiefenlager enthalten. Hier genannte Kosten sind nur die Kosten für die Zusatzabschirmung.

Studie 2002			
Behälter-Typ	Verpackte Masse	Anzahl Behälter bzw. Container	Behälterkosten (eskaliert auf Preisbasis 2011)
	[Mg]	[ - ]	[kCHF]
LC1 mit 200-I Fässern	170	20	673
LC1	4'228	212	4'185
LC1 mit MOSAIK-Behälter Typ II	137	65	15'619
LC2	44	5	74
LC2 mit Innenabschirmung	996	136	6'084
<b>Summe</b>	<b>5'575</b>	<b>438</b>	<b>26'634</b>

<b>Differenz der Summen (Studie 2011 - Studie 2002)</b>	<b>-1'272</b>	<b>2'410</b>	<b>13'248</b>
---	---------------	--------------	---------------

Tabelle 17: Kosten der Behälter und der Zusatzabschirmungen (ohne LC1- und LC2-Kosten), KKB

## KKM

Studie 2011			
Behälter-Typ	Verpackte Masse [Mg]	Anzahl Behälter bzw. Container [-]	Bemerkung
200-I Fass <= 175 mSv/h	391	1'198	entspricht ca. 34 LC1 mit 200-I Fässern
LC1	548	35	
LC2	1'877	162	
LC2 mit 20 mm Pb	81	3	
LC2 mit 80 mm Pb	11	1	
MOSAIK-Behälter Typ II mit 20 mm Pb	4	10	entspricht ca. 50 LC1 mit MOSAIK-Behältern
MOSAIK-Behälter Typ II mit 40 mm Pb	4	12	
MOSAIK-Behälter Typ II mit 80 mm Pb	17	45	
MOSAIK-Behälter Typ II mit 110 mm Pb	24	83	
<b>Summe</b>	<b>2'957</b>	<b>1'549</b>	
Studie 2001			
Behälter-Typ	Verpackte Masse [Mg]	Anzahl Behälter bzw. Container [-]	Bemerkung
LC1 mit 200-I Fässern	116	13	entspricht ca. 468 Fässern
LC1	422	14	
LC1 mit MOSAIK-Behälter Typ II	41	19	entspricht ca. 57 MOSAIK-Behältern
LC2	2'520	188	
LC2 mit Innenabschirmung	95	12	
<b>Summe</b>	<b>3'193</b>	<b>246</b>	
<b>Differenz der Summen (Studie 2011 - Studie 2001)</b>	<b>-236</b>	<b>1'303</b>	

Tabelle 18: Verpackte Masse radioaktiver Abfälle und Anzahl Behälter bzw. Container, KKM

<b>Studie 2011</b>			
<b>Behälter-Typ</b>	<b>Verpackte Masse</b>	<b>Anzahl Behälter bzw. Container</b>	<b>Behälterkosten *)</b>
	<b>[Mg]</b>	<b>[ - ]</b>	<b>[kCHF]</b>
200-I Fass <= 175 mSv/h	391	1'198	719
LC1	548	35	0
LC2	1'877	162	0
LC2 mit 20 mm Pb	81	3	274
LC2 mit 80 mm Pb	11	1	326
MOSAIK-Behälter Typ II mit 20 mm Pb	4	10	890
MOSAIK-Behälter Typ II mit 40 mm Pb	4	12	1'163
MOSAIK-Behälter Typ II mit 80 mm Pb	17	45	5'001
MOSAIK-Behälter Typ II mit 110 mm Pb	24	83	9'900
<b>Summe</b>	<b>2'957</b>	<b>1'549</b>	<b>18'274</b>
*) Die Kosten der Lagercontainer (LC1 und LC2) sind in den Kosten für das geologische Tiefenlager enthalten. Hier genannte Kosten sind nur die Kosten für die Zusatzabschirmung.			
<b>Studie 2001</b>			
<b>Behälter-Typ</b>	<b>Verpackte Masse</b>	<b>Anzahl Behälter bzw. Container</b>	<b>Behälterkosten (eskaliert auf Preisbasis 2011)</b>
	<b>[Mg]</b>	<b>[ - ]</b>	<b>[kCHF]</b>
LC1 mit 200-I Fässern	116	13	410
LC1	422	14	267
LC1 mit MOSAIK-Behälter Typ II	41	19	4'494
LC2	2'520	188	2'929
LC2 mit Innenabschirmung	95	12	414
<b>Summe</b>	<b>3'193</b>	<b>246</b>	<b>8'514</b>
<b>Differenz der Summen (Studie 2011 - Studie 2001)</b>	<b>-236</b>	<b>1'303</b>	<b>9'759</b>

Tabelle 19: Kosten der Behälter und der Zusatzabschirmungen (ohne LC1- und LC2-Kosten), KKM

KKG

Studie 2011			
Behälter-Typ	Verpackte Masse [Mg]	Anzahl Behälter bzw. Container [ - ]	Bemerkung
200-I Fass <= 175 mSv/h	511	1'520	entspricht ca. 43 LC1 mit 200-I Fässern
LC1	542	32	
LC2	1'752	169	
LC2 mit 20 mm Pb	116	5	
LC2 mit 80 mm Pb	13	1	
MOSAIK-Behälter Typ II mit 20 mm Pb	8	22	entspricht ca. 54 LC1 mit MOSAIK-Behältern
MOSAIK-Behälter Typ II mit 40 mm Pb	11	32	
MOSAIK-Behälter Typ II mit 60 mm Pb	23	50	
MOSAIK-Behälter Typ II mit 110 mm Pb	17	58	
<b>Summe</b>	<b>2'992</b>	<b>1'890</b>	

Studie 2001			
Behälter-Typ	Verpackte Masse [Mg]	Anzahl Behälter bzw. Container [ - ]	Bemerkung
LC1 mit 200-I Fässern	166	18	entspricht ca. 648 Fässer
LC1	176	11	
LC1 mit MOSAIK-Behälter Typ II	81	35	entspricht ca. 105 MOSAIK-Behälter
LC2	2'769	205	
LC2 mit Innenabschirmung	117	14	
<b>Summe</b>	<b>3'309</b>	<b>283</b>	

<b>Differenz der Summen (Studie 2011 - Studie 2001)</b>	<b>-317</b>	<b>1'607</b>	
---	-------------	--------------	--

Tabelle 20: Verpackte Masse radioaktiver Abfälle und Anzahl Behälter bzw. Container, KKG

Studie 2011			
Behälter-Typ	Verpackte Masse	Anzahl Behälter bzw. Container	Behälterkosten *)
	[Mg]	[ - ]	[kCHF]
200-I Fass <= 175 mSv/h	511	1'520	912
LC1	542	32	0
LC2	1'752	169	0
LC2 mit 20 mm Pb	116	5	407
LC2 mit 80 mm Pb	13	1	387
MOSAIK-Behälter Typ II mit 20 mm Pb	8	22	1'957
MOSAIK-Behälter Typ II mit 40 mm Pb	11	32	3'069
MOSAIK-Behälter Typ II mit 60 mm Pb	23	50	5'309
MOSAIK-Behälter Typ II mit 110 mm Pb	17	58	6'903
<b>Summe</b>	<b>2'992</b>	<b>1'890</b>	<b>18'944</b>

\*) Die Kosten der Lagercontainer (LC1 und LC2) sind in den Kosten für das geologische Tiefenlager enthalten. Hier genannte Kosten sind nur die Kosten für die Zusatzabschirmung.

Studie 2001			
Behälter-Typ	Verpackte Masse	Anzahl Behälter bzw. Container	Behälterkosten (eskaliert auf Preisbasis 2011)
	[Mg]	[ - ]	[kCHF]
LC1 mit 200-I Fässern	166	18	594
LC1	176	11	213
LC1 mit MOSAIK-Behälter Typ II	81	35	7'752
LC2	2'769	205	3'184
LC2 mit Innenabschirmung	117	14	391
<b>Summe</b>	<b>3'309</b>	<b>283</b>	<b>12'134</b>

<b>Differenz der Summen (Studie 2011 - Studie 2001)</b>	<b>-317</b>	<b>1'607</b>	<b>6'810</b>
---	-------------	--------------	--------------

Tabelle 21: Kosten der Behälter und der Zusatzabschirmungen (ohne LC1- und LC2-Kosten), KKG



KKL

Studie 2011			
Behälter-Typ	Verpackte Masse [Mg]	Anzahl Behälter bzw. Container [ - ]	Bemerkung
200-I Fass <= 175 mSv/h	1'178	3'470	entspricht ca. 97 LC1 mit 200-I Fässern
LC1	1'112	70	
LC2	4'081	327	
LC2 mit 80 mm Pb	21	2	
MOSAIK-Behälter Typ II mit 20 mm Pb	6	17	entspricht ca. 70 LC1 mit MOSAIK-Behältern
MOSAIK-Behälter Typ II mit 40 mm Pb	6	20	
MOSAIK-Behälter Typ II mit 60 mm Pb	54	118	
MOSAIK-Behälter Typ II mit 80 mm Pb	21	54	
<b>Summe</b>	<b>6'478</b>	<b>4'078</b>	

Studie 2001			
Behälter-Typ	Verpackte Masse [Mg]	Anzahl Behälter bzw. Container [ - ]	Bemerkung
LC1 mit 200-I Fässern	296	38	entspricht ca. 1'368 Fässer
LC1	855	33	
LC1 mit MOSAIK-Behälter Typ II	106	55	entspricht ca. 165 MOSAIK-Behälter
LC2	6'265	431	
LC2 mit Innenabschirmung	211	15	
<b>Summe</b>	<b>7'733</b>	<b>572</b>	

<b>Differenz der Summen (Studie 2011 - Studie 2001)</b>	<b>-1'255</b>	<b>3'506</b>	
---	---------------	--------------	--

Tabelle 22: Verpackte Masse radioaktiver Abfälle und Anzahl Behälter bzw. Container, KKL

Studie 2011			
Behälter-Typ	Verpackte Masse	Anzahl Behälter bzw. Container	Behälterkosten *)
	[Mg]	[ - ]	[kCHF]
200-I Fass <= 175 mSv/h	1'178	3'470	2'082
LC1	1'112	70	0
LC2	4'081	327	0
LC2 mit 80 mm Pb	21	2	628
MOSAIK-Behälter Typ II mit 20 mm Pb	6	17	1'512
MOSAIK-Behälter Typ II mit 40 mm Pb	6	20	1'939
MOSAIK-Behälter Typ II mit 60 mm Pb	54	118	12'556
MOSAIK-Behälter Typ II mit 80 mm Pb	21	54	6'060
<b>Summe</b>	<b>6'478</b>	<b>4'078</b>	<b>24'778</b>

\*) Die Kosten der Lagercontainer (LC1 und LC2) sind in den Kosten für das geologische Tiefenlager enthalten. Hier genannte Kosten sind nur die Kosten für die Zusatzabschirmung.

Studie 2001			
Behälter-Typ	Verpackte Masse	Anzahl Behälter bzw. Container	Behälterkosten (eskaliert auf Preisbasis 2011)
	[Mg]	[ - ]	[kCHF]
LC1 mit 200-I Fässern	296	38	1'278
LC1	855	33	645
LC1 mit MOSAIK-Behälter Typ II	106	55	13'921
LC2	6'265	431	6'696
LC2 mit Innenabschirmung	211	15	521
<b>Summe</b>	<b>7'733</b>	<b>572</b>	<b>23'061</b>
<b>Differenz der Summen (Studie 2011 - Studie 2001)</b>	<b>-1'255</b>	<b>3'506</b>	<b>1'716</b>

Tabelle 23: Kosten der Behälter und der Zusatzabschirmungen (ohne LC1- und LC2-Kosten), KKL

Zwilag-Resultate, siehe Tabelle 28.

#### 4.4 Transport zum geologischen Tiefenlager SMA

Die verpackten radioaktiven Abfälle werden in ein geologisches Tiefenlager SMA transportiert. In der Studie 2001 wurden nur Lagercontainer LC1 und LC2 transportiert. In der Studie 2011 wird aufgrund des geänderten Verpackungskonzeptes (siehe Kapitel 4.3.1) berücksichtigt, dass 40 Stück 200-I-Fässer in einem Transportcontainer (z.B. 20'-Container) transportiert werden. Für einen Transport der MOSAIK-Behälter wird unterstellt, dass je zwei MOSAIK-Behälter zu einem Transport zusammengestellt werden. Die Kosten

je Transport wurden in der Studie 2001 mit 4'000 CHF (teuerungsbereinigt auf Preisbasis 2011: 5'360 CHF) berechnet. In der Studie 2011 wurden die Transportkosten mit 10'000 CHF je Transport berechnet.

Tabelle 24 (KKB), Tabelle 25 (KKM), Tabelle 26 (KKG) und Tabelle 27 (KKL) zeigen, dass trotz Reduktion der verpackten Masse in der Studie 2011 gegenüber der Studie 2001 die Anzahl der Transporte und die Transportkosten gestiegen sind. Dies ist auf die neue Verpackungsstrategie (z.T. erst am Standort des geologischen Tiefenlagers SMA in LC verpacken) und den höheren spezifischen Preis je Transport zurückzuführen.

## KKB

Studie 2011				
Behälter-Typ	Verpackte Masse [Mg]	Anzahl Behälter bzw. Container [ - ]	Anzahl Transporte [ - ]	Kosten für Transport ins geologische Tiefenlager SMA [kCHF]
200-I Fass <= 175 mSv/h	706	2'166	54	532
LC1	163	9	9	86
LC2	3'056	331	331	3'305
LC2 mit 40 mm Pb	245	13	13	125
LC2 mit 50 mm Pb	13	4	4	39
MOSAIK-Behälter Typ II mit 20 mm Pb	10	32	16	160
MOSAIK-Behälter Typ II mit 40 mm Pb	10	26	13	130
MOSAIK-Behälter Typ II mit 50 mm Pb	53	105	53	526
MOSAIK-Behälter Typ II mit 80 mm Pb	26	69	35	345
MOSAIK-Behälter Typ II mit 100 mm Pb	4	11	6	57
MOSAIK-Behälter Typ II mit 140 mm Pb	18	83	42	416
<b>Summe</b>	<b>4'302</b>	<b>2'848</b>	<b>573</b>	<b>5'720</b>

Studie 2002				
Behälter-Typ	Verpackte Masse [Mg]	Anzahl Behälter bzw. Container [ - ]	Anzahl Transporte [ - ]	Kosten für Transport ins geologische Tiefenlager SMA (eskaliert auf Preisbasis 2011) [kCHF]
LC1 mit 200-I Fässern	170	20	20	107
LC1	4'228	212	212	1'136
LC1 mit MOSAIK-Behälter Typ II	137	65	65	348
LC2	44	5	5	27
LC2 mit Innenabschirmung	996	136	136	729
<b>Summe</b>	<b>5'575</b>	<b>438</b>	<b>438</b>	<b>2'348</b>

<b>Differenz der Summen (Studie 2011 - Studie 2002)</b>	<b>-1'272</b>	<b>2'410</b>	<b>135</b>	<b>3'372</b>
---	---------------	--------------	------------	--------------

Tabelle 24: Kosten für den Transport zum geologischen Tiefenlager SMA, KKB

## KKM

Studie 2011				
Behälter-Typ	Verpackte Masse [Mg]	Anzahl Behälter bzw. Container [-]	Anzahl Transporte [-]	Kosten für Transport ins geologische Tiefenlager SMA [kCHF]
200-I Fass <= 175 mSv/h	391	1'198	30	300
LC1	548	35	35	347
LC2	1'877	162	162	1'620
LC2 mit 20 mm Pb	81	3	3	34
LC2 mit 80 mm Pb	11	1	1	11
MOSAIK-Behälter Typ II mit 20 mm Pb	4	10	5	50
MOSAIK-Behälter Typ II mit 40 mm Pb	4	12	6	60
MOSAIK-Behälter Typ II mit 80 mm Pb	17	45	22	224
MOSAIK-Behälter Typ II mit 110 mm Pb	24	83	41	414
<b>Summe</b>	<b>2'957</b>	<b>1'549</b>	<b>306</b>	<b>3'059</b>
Studie 2001				
Behälter-Typ	Verpackte Masse [Mg]	Anzahl Behälter bzw. Container [-]	Anzahl Transporte [-]	Kosten für Transport ins geologische Tiefenlager SMA (eskaliert auf Preisbasis 2011) [kCHF]
LC1 mit 200-I Fässern	116	13	13	70
LC1	422	14	14	75
LC1 mit MOSAIK-Behälter Typ II	41	19	19	102
LC2	2'520	188	188	1'008
LC2 mit Innenabschirmung	95	12	12	64
<b>Summe</b>	<b>3'193</b>	<b>246</b>	<b>246</b>	<b>1'319</b>
<b>Differenz der Summen (Studie 2011 - Studie 2001)</b>	<b>-236</b>	<b>1'303</b>	<b>60</b>	<b>1'740</b>

Tabelle 25: Kosten für den Transport zum geologischen Tiefenlager SMA, KKM

## KKG

Studie 2011				
Behälter-Typ	Verpackte Masse [Mg]	Anzahl Behälter bzw. Container [ - ]	Anzahl Transporte [ - ]	Kosten für Transport ins geologische Tiefenlager SMA [kCHF]
200-I Fass <= 175 mSv/h	511	1'520	38	380
LC1	542	32	32	324
LC2	1'752	169	169	1'691
LC2 mit 20 mm Pb	116	5	5	50
LC2 mit 80 mm Pb	13	1	1	13
MOSAIK-Behälter Typ II mit 20 mm Pb	8	22	11	110
MOSAIK-Behälter Typ II mit 40 mm Pb	11	32	16	159
MOSAIK-Behälter Typ II mit 60 mm Pb	23	50	25	252
MOSAIK-Behälter Typ II mit 110 mm Pb	17	58	29	289
<b>Summe</b>	<b>2'992</b>	<b>1'890</b>	<b>327</b>	<b>3'267</b>

Studie 2001				
Behälter-Typ	Verpackte Masse [Mg]	Anzahl Behälter bzw. Container [ - ]	Anzahl Transporte [ - ]	Kosten für Transport ins geologische Tiefenlager SMA (eskaliert auf Preisbasis 2011) [kCHF]
LC1 mit 200-I Fässern	166	18	18	96
LC1	176	11	11	59
LC1 mit MOSAIK-Behälter Typ II	81	35	35	188
LC2	2'769	205	205	1'099
LC2 mit Innenabschirmung	117	14	14	75
<b>Summe</b>	<b>3'309</b>	<b>283</b>	<b>283</b>	<b>1'517</b>

<b>Differenz der Summen (Studie 2011 - Studie 2001)</b>	<b>-317</b>	<b>1'607</b>	<b>44</b>	<b>1'750</b>
---	-------------	--------------	-----------	--------------

Tabelle 26: Kosten für den Transport zum geologischen Tiefenlager SMA, KKG

KKL

Studie 2011				
Behälter-Typ	Verpackte Masse [Mg]	Anzahl Behälter bzw. Container [ - ]	Anzahl Transporte [ - ]	Kosten für Transport ins geologische Tiefenlager SMA [kCHF]
200-I Fass <= 175 mSv/h	1'178	3'470	87	867
LC1	1'112	70	70	696
LC2	4'081	327	327	3'270
LC2 mit 80 mm Pb	21	2	2	21
MOSAIK-Behälter Typ II mit 20 mm Pb	6	17	9	85
MOSAIK-Behälter Typ II mit 40 mm Pb	6	20	10	100
MOSAIK-Behälter Typ II mit 60 mm Pb	54	118	59	592
MOSAIK-Behälter Typ II mit 80 mm Pb	21	54	27	271
<b>Summe</b>	<b>6'478</b>	<b>4'078</b>	<b>590</b>	<b>5'902</b>

Studie 2001				
Behälter-Typ	Verpackte Masse [Mg]	Anzahl Behälter bzw. Container [ - ]	Anzahl Transporte [ - ]	Kosten für Transport ins geologische Tiefenlager SMA (eskaliert auf Preisbasis 2011) [kCHF]
LC1 mit 200-I Fässern	296	38	38	204
LC1	855	33	33	177
LC1 mit MOSAIK-Behälter Typ II	106	55	55	295
LC2	6'265	431	431	2'310
LC2 mit Innenabschirmung	211	15	15	80
<b>Summe</b>	<b>7'733</b>	<b>572</b>	<b>572</b>	<b>3'066</b>

<b>Differenz der Summen (Studie 2011 - Studie 2001)</b>	<b>-1'255</b>	<b>3'506</b>	<b>18</b>	<b>2'836</b>
---	---------------	--------------	-----------	--------------

Tabelle 27: Kosten für den Transport zum geologischen Tiefenlager SMA, KKL

## Zwilag

Behälter-Typ	Verpackte Masse	Anzahl Behälter	Behälter-kosten	Kosten für Transport ins geologische Tiefenlager SMA
	[Mg]	[ - ]	[MCHF]	[MCHF]
Lucens-Inventar	262	23		0.05
200-l Fass <= 175 mSv/h	35	106	0.06	0.03
LC2	233	23		0.23
<b>Summe</b>	<b>529</b>	<b>152</b>	<b>0.06</b>	<b>0.31</b>

Tabelle 28: Menge an radioaktivem Abfall, Behältertyp, -anzahl und -kosten sowie Transportkosten ins geologische Tiefenlager SMA, Zwilag

## 4.5 Zuteilbare Lagerkosten für das geologische Tiefenlager SMA

Die zuteilbaren Lagerkosten der Stilllegungsabfälle im geologischen Tiefenlager SMA wurden von der Nagra wie bis anhin auf Grenzkostenbasis ermittelt. Es wird also angenommen, dass den Stilllegungskosten nur noch die für die Einlagerung der Stilllegungsabfälle zusätzlich erforderlichen Aufwendungen, wie z.B. für das Auffahren von weiteren Stollen, zusätzliche Betriebskosten etc., zugerechnet werden. Alle anderen Kosten des SMA-Lagers werden den Entsorgungskosten /2/ zugeordnet.

Diese Grenzkosten der KS06 und KS11 /11/ sind in der Tabelle 29 aufgeführt.

Zuteilbare Lagerkosten (PB11)		
	Grenzkosten [MCHF]	
Anlage	KS06	KS11
KKB	27.687	32.41
KKM	11.683	18.32
KKG	13.798	19.81
KKL	27.852	36.39
Zwilag	*)	2.13
<b>Summe</b>	<b>81.019</b>	<b>109.055</b>

\*) Die Zwilag-Kosten (0.94 MCHF) wurden in der KS06 auf die KKW verteilt und nicht weiter in der Zwilag-eigenen Stilllegungskostenschätzung berücksichtigt.

Tabelle 29: zuteilbare Lagerkosten auf Grenzkostenbasis, KS06 und KS11, PB11

Im Anhang A.2 ist die Herleitung der Stilllegungskosten 2006 und 2011 inkl. der zuteilbaren Lagerkosten dargestellt.

## 4.6 Ablauf und Dauer der Stilllegung

### 4.6.1 Abgrenzung zwischen Nachbetriebsphase und Stilllegung

Die vorliegende Kostenschätzung basiert auf der Stilllegungs- und Rückbauvariante sofortiger Rückbau nach einem 50-jährigen ordnungsgemässen Betrieb mit den Abschnitten:

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

Die Nachbetriebsphase und der konventionelle Abriss treffen auf Zwiilag nicht zu. Im Falle des Zwiilag wird das Stilllegungsprojekt während der letzten Betriebsjahre erstellt und die Stilllegungsverfügung direkt nach dem Betriebsende erwirkt.

Die Arbeiten des ersten Abschnitts (Stilllegungsprojekt und Stilllegungsverfügung) beginnen bereits während der Nachbetriebsphase, die noch unter der Betriebsbewilligung abgewickelt wird und sich direkt an die endgültige Abschaltung anschliesst. Der Rückbau (zweiter Abschnitt) erfolgt im Anschluss an die Nachbetriebsphase, also nach Anordnung der Stilllegungsverfügung durch das zuständige Departement. Dies schliesst nicht aus, dass Massnahmen, die technisch zur Stilllegung gehören, bereits in der Nachbetriebsphase, im Rahmen der Betriebsbewilligung, ausgeführt werden. Ebenso ist es möglich, dass Gebäudestrukturen, die unter den konventionellen Abriss fallen (dritter Abschnitt), zeitlich bereits während des Rückbaus abgebrochen werden, etwa um Platz für die weiteren Rückbauarbeiten zu schaffen.

Die Nachbetriebs- und die Stilllegungsphase sind entsprechend der unterschiedlichen Bewilligung bzw. Verfügung sowie technisch und kostenmässig klar voneinander abgegrenzt, zeitlich jedoch überlappend. Da die Dauer der Nachbetriebsphase einen Einfluss auf den Ablauf der Stilllegung hat, wird im nachfolgenden Kapitel deren Umfang kurz erläutert.



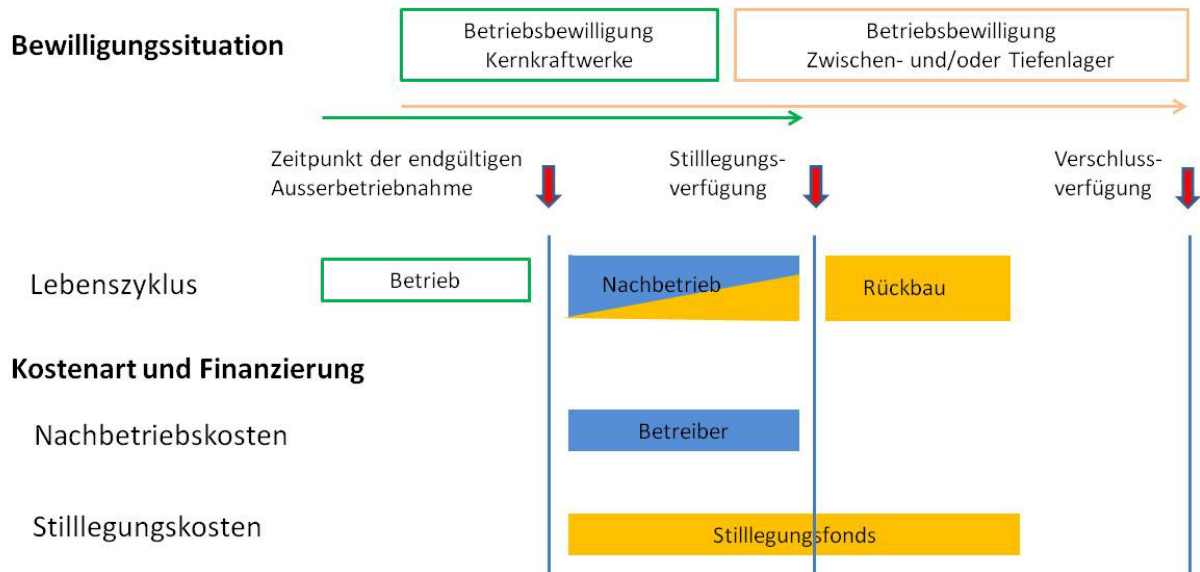


Abbildung 4: Relation zwischen der Bewilligungssituation und der Finanzierung der Nachbetriebsphase sowie der Stilllegung

#### 4.6.2 Inhalt der Nachbetriebsphase

Die Kosten der Nachbetriebsphase werden aus den Kosten eines laufenden Geschäftsjahres abgeleitet und sind in folgende Kostenpakete zusammengefasst:

- Personalkosten (Eigen- und Fremdpersonal)
- Betriebs-sachkosten (z.B. Hilfs- und Betriebsstoffe, Energiekosten inkl. Strom)
- Unterhaltssachkosten (z.B. laufende Instandhaltung, ENSI-Kosten)
- Wasserentnahmegebühr
- Übrige Aufwendungen (z.B. Versicherungen, Mieten und Pachten, Geschäfts- und Verwaltungskosten, soziale und sonstige Aufwendungen)
- Andere übrige Aufwendungen (z.B. Steuern)

Den Kostenpaketen sind einzelne Reduktionsfaktoren zugeordnet, um den Effekt der sukzessiven Ausserbetriebnahme der Anlage zu berücksichtigen.

Hierzu kommen noch einmalige Kosten aus Massnahmen wie z.B. für die Entsorgung der Reaktorabfälle.

Im Wesentlichen wird der Ablauf der Nachbetriebsphase durch die in der Anlage vorhandenen Brennelemente bzw. durch deren Abtransport bestimmt. Die Dauer der Nachbetriebsphase hängt in erster Linie von den Eigenschaften derjenigen Brennelemente ab, die sich nach der endgültigen Abschaltung noch im Reaktorkern und Brennelementlagerbecken befinden. Diese Eigenschaften sind von Brennstoff zu Brennstoff unterschiedlich. Um jedoch eine Aussage über die Dauer der Nachbetriebsphase zu treffen, muss die Zeitspanne bestimmt werden, mit der aus heutiger Sicht das Entfernen des Brennstoffes aus dem Kernkraftwerk erfolgen kann. Aus eingehenden Untersuchungen der einzelnen Kernkraftwerke in der Schweiz hat sich gezeigt, dass der Abtransport sämtlicher heute bekannter Kernladungen innerhalb von fünf Jahren möglich ist. Deshalb wird für die Kostenstudien für alle Schweizer Kernkraftwerke modellhaft eine einheitliche Dauer der Nachbetriebsphase von fünf Jahren angenommen.

Neben den betrieblichen Aufgaben zur Instandhaltung der noch betriebenen Systeme und den Aufgaben bei der Entsorgung der Brennelemente beinhalten die Massnahmen in der Nachbetriebsphase folgende Schwerpunkte:

- Entsorgung der aus dem Betrieb vorhandenen Betriebsabfälle
- Entsorgung der während der Nachbetriebsphase entstehenden Betriebsabfälle
- Entsorgung der vorhandenen Reaktorabfälle
- Ausserbetriebnahme nicht mehr benötigter Systeme
- Ordnungsgemässer Betrieb (inkl. aller Wartungs- und Instandhaltungsmassnahmen) der noch benötigten Systeme

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

### **4.6.3 Unterschiede zwischen den Studien 2001 und 2011**

Die Studien von 2001 und 2011 untersuchen beide die Stilllegungs- und Rückbauvariante sofortiger Rückbau nach einem ordnungsgemässen Betrieb. Gegenüber der Studie von 2001, wo ein 40-jähriger Betrieb der Anlagen unterstellt wurde, wird in der Studie 2011 von einem 50-jährigen Betrieb der Anlage ausgegangen. In der Aktualisierung 2006 der Studie von 2001 wurde als Auswirkungen der längeren Betriebszeit auf die Stilllegungs- und Rückbauarbeiten ein pauschaler Kostenzuschlag von 3 % verwendet.

Auch der geplante generelle Ablauf der Stilllegung ist in den Studien von 2001 und 2011 vergleichbar. In beiden Studien wird eine fünfjährige Nachbetriebsphase im Anschluss an die endgültige Ausserbetriebnahme berücksichtigt. Aus den aktuellen Stilllegungsprojekten von Kernkraftwerken in Deutschland ergaben sich jedoch einige Erkenntnisse bezüglich der zeitlichen Anordnung und der erforderlichen Dauer für bestimmte Rückbauarbeiten. Diese Erfahrungen wurden in der Studie 2011 berücksichtigt. Gegenüber der Studie 2001 betrifft dies im Wesentlichen folgende Aspekte:

- Durchführung von stilllegungsorientierten Arbeiten (Vorbereitungsmassnahmen) bereits während der Nachbetriebsphase (→ Reduzierung der Rückbaudauer)
- Demontage aktivierter Komponenten (z.B. RDB inkl. Einbauten) zu einem früheren Zeitpunkt (→ Reduzierung des Aufwands für den Rückbaubetrieb aufgrund von früherer Stillsetzung Wasser führender Systeme)
- Verlängerung der Demontagedauer für aktivierte Komponenten (→ Verlängerung der Projektdauer)
- Erhöhter Aufwand für Restdemontage von kontaminierten Komponenten sowie Gebäudedekontamination und -freigabe (→ Verlängerung der Projektdauer)

Die Verlängerung der Projektdauer führt zu einem erhöhten Personalaufwand (siehe Kapitel 4.8) und zu einer Kostensteigerung (siehe Kapitel 5), die sich vor allem im Arbeitspaket „Rückbaubetrieb“ auswirken.

## KKB

In Summe führen die Änderungen im Ablauf und der kalkulierten Dauer zu einer Verlängerung des Projektes um ca. 3.5 Jahre (vgl. Tabelle 30).

	Studie 2002		Studie 2011	
	nicht zeitkritische Dauer [Jahre]	zeitkritische Dauer [Jahre]	nicht zeitkritische Dauer [Jahre]	zeitkritische Dauer [Jahre]
Nachbetriebsphase (nicht Bestandteil der Stilllegungsstudie)		5		5
Stilllegungsprojekt sowie Stilllegungsverfügung	3		5	
Vorbereitungsmassnahmen	3		4.5	
Rückbau inkl. Freigabe Gebäude (ohne Zwibez)		6		10
Demontage Einrichtungen konventioneller Bereich inkl. Gebäudeabriss bis "Grüne Wiese"	7	2.5	11	2
<b>Gesamtdauer nach endgültiger Abschaltung</b>		<b>13.5</b>		<b>17</b>

Tabelle 30: Voraussichtliche Dauer der Stilllegungs- und Rückbauarbeiten, KKB

## KKM

In Summe führen die Änderungen im Ablauf und der kalkulierten Dauer zu einer Verlängerung des Projektes um ca. 3 Jahre (vgl. Tabelle 31).

	Studie 2001		Studie 2011	
	nicht zeitkritische Dauer [Jahre]	zeitkritische Dauer [Jahre]	nicht zeitkritische Dauer [Jahre]	zeitkritische Dauer [Jahre]
Nachbetriebsphase (nicht Bestandteil der Stilllegungsstudie)		5		5
Stilllegungsprojekt sowie Stilllegungsverfügung	3		5	
Vorbereitungsmassnahmen	1		5	
Rückbau inkl. Freigabe Gebäude		5		8.5
Demontage Einrichtungen konventioneller Bereich inkl. Gebäudeabriss bis "Grüne Wiese"	5.5	1.5	6	1
<b>Gesamtdauer nach endgültiger Abschaltung</b>		<b>11.5</b>		<b>14.5</b>

Tabelle 31: Voraussichtliche Dauer der Stilllegungs- und Rückbauarbeiten, KKM

KKG

In Summe führen die Änderungen im Ablauf und der kalkulierten Dauer zu einer Verlängerung des Gesamtprojektes um ca. 0.5 Jahre. Die eigentliche Rückbautätigkeit hingegen verlängert sich um ca. 2 Jahre, dadurch verringert sich die Dauer des autarken Betriebes des Nasslagers gegenüber der Studie 2001 von 3 Jahre auf 1.5 Jahre (vgl. Tabelle 32).

	Studie 2001		Studie 2011	
	nicht zeitkritische Dauer [Jahre]	zeitkritische Dauer [Jahre]	nicht zeitkritische Dauer [Jahre]	zeitkritische Dauer [Jahre]
Nachbetriebsphase (nicht Bestandteil der Stilllegungsstudie)		5		5
Stilllegungsprojekt sowie Stilllegungsverfügung	3		5	
Vorbereitungsmassnahmen	1		5	
Rückbau inkl. Freigabe Gebäude (ohne BE-Nasslager)		7		9
Demontage Einrichtungen konventioneller Bereich inkl. Gebäudeabriss	8	2	10.5	2.5
Betrieb des BE-Nasslagers über Rückbau/Abbruch der Restanlagen hinaus		3		1.5
Rückbau BE-Nasslager inkl. Freigabe und Gebäudeabriss bis "Grüne Wiese"		2		1.5
<b>Gesamtdauer nach endgültiger Abschaltung</b>		<b>19</b>		<b>19.5</b>

Tabelle 32: Voraussichtliche Dauer der Stilllegungs- und Rückbauarbeiten, KKG

KKL

In Summe führen die Änderungen im Ablauf und der kalkulierten Dauer zu einer Verlängerung des Projektes um ca. 5.5 Jahre (vgl. Tabelle 33).

	Studie 2001		Studie 2011	
	nicht zeitkritische Dauer [Jahre]	zeitkritische Dauer [Jahre]	nicht zeitkritische Dauer [Jahre]	zeitkritische Dauer [Jahre]
Nachbetriebsphase (nicht Bestandteil der Stilllegungsstudie)		5		5
Stilllegungsprojekt sowie Stilllegungsverfügung	3		5	
Vorbereitungsmassnahmen	1.5		6	
Rückbau inkl. Freigabe Gebäude		7		11
Demontage Einrichtungen konventioneller Bereich inkl. Gebäudeabriss bis "Grüne Wiese"	8	2	13	3.5
<b>Gesamtdauer nach endgültiger Abschaltung</b>		<b>14</b>		<b>19.5</b>

Tabelle 33: Voraussichtliche Dauer der Stilllegungs- und Rückbauarbeiten, KKL

Zwilag

Das Stilllegungsprojekt sowie die Erwirkung der Stilllegungsverfügung erfolgen während der drei letzten Betriebsjahren. Die zeitkritische Stilllegung dauert fünf Jahre.

## 4.7 Projektstrukturplan

In der Studie 2001 und in der Studie 2011 wurden zur Planung und Kostenermittlung die Massnahmen der Stilllegung in einem Projektstrukturplan hierarchisch auf verschiedenen Ebenen zusammengestellt. Die Inhalte und damit die zu kalkulierenden Kosten wurden in Arbeitspaketen (AP) zusammengefasst. Die Arbeitspakete sind in Tabelle 34 gegenübergestellt. Bei gewissen AP werden im Falle des KKB beide Blöcke hervorgehoben. Der Rückbau des Zwibez ist ebenfalls KKB-spezifisch. Im Falle der SWR-Anlagen KKM und KKL werden nicht nur der biologische Schild sondern auch die Drywell-Einbauten demontiert.

Die Inhalte der Arbeitspakete „Dekontamination“ und „Strahlen- und Arbeitsschutz“ aus der Studie 2001 wurden aufgrund der inhaltlichen Zusammengehörigkeit auf andere Arbeitspakete verteilt. Die Aufwendungen und Kosten der beiden Arbeitspakete aus der Studie 2001 würden sich in etwa auf die neuen Arbeitspakete aus der Studie 2011 wie in Tabelle 35 (KKB), Tabelle 36 (KKM), Tabelle 37 (KKG) und Tabelle 38 (KKL) gezeigt verteilen.

Die Arbeitspakete „Behördliche Projektbegleitung“, „Baustellenbetrieb und Objektschutz“ und „Projekt- und Bauleitung“ sind in der Studie 2011 in dem Arbeitspaket „Rückbaubetrieb“ zusammengefasst. Das Arbeitspaket „Rückbaubetrieb“ umfasst alle Leistungen, um den Betrieb der Baustelle zu ermöglichen und aufrecht zu erhalten. In diesem Arbeitspaket sind die übergeordneten Tätigkeiten wie z.B. die Anlagen- und Projektleitung, die Projektkoordination (z.B. Betreuung und Steuerung der Fremdfirmen), die übergeordnete Bauleitung, der Kontakt zu den Behörden, die erforderlichen Betriebs- und Unterhaltskosten sowie die übrigen Aufwendungen zusammengefasst. Hierzu gehört auch die Bewachung der Anlage bis zur Entlassung des Standortes aus dem Kernenergiegesetz (KEG). Es wird angenommen, dass die Behörden bzw. von ihr beauftragte Gutachter den Fortgang der Arbeiten permanent überwachen. Im Vergleich zu der Studie 2001 ergeben sich die grössten Änderungen in diesem Arbeitspaket.

Aus laufenden Stilllegungsprojekten in Deutschland wurde in den letzten Jahren erkennbar, dass diesem Aufgabenbereich bisher in den Stilllegungskostenschätzungen nicht ausreichend Rechnung getragen wurde. Vor allem die Aufwendungen für Instandhaltungs- und Wartungsmassnahmen während der Stilllegung und des Rückbaus wurden deutlich unterschätzt.

Arbeitspakete	
Stilllegungsstudie 2001	Stilllegungsstudie 2011
Planung und Erstellen Unterlagen	Stilllegungsprojekt sowie Stilllegungsverfügung
Begutachtung und Bewilligung	
Vorbereitung der Anlage für den Abbau	Vorbereitungsmassnahmen
Demontage kontaminierter Komponenten	Demontage Einrichtungen der kontrollierten Zone - Block 1 und 2
Demontage aktivierter Komponenten (RDB-Einbauten und RDB)	Demontage RDB-Einbauten und Demontage RDB - Block 1 und 2
Demontage Biologischer Schild	Demontage Biologischer Schild - Block 1 und 2
Demontage restlicher Komponenten	Restdemontage Einrichtungen der kontrollierten Zone - Block 1 und 2
Gebäudedekontamination und Freimessen Gebäudeoberflächen	Dekontamination und Freigabe Gebäude
Dekontamination *)	*) Massnahmen sind in anderen AP enthalten
Strahlen- und Arbeitsschutz *)	
Konditionierung und Entsorgung	Materialbehandlung und Entsorgung
Ausräumen der Gebäude und Gebäudeabbruch	Demontage Einrichtungen konventioneller Bereich und konventioneller Abriss
Behördliche Projektbegleitung	Rückbaubetrieb
Baustellenbetrieb und Objektschutz	
Projekt- und Bauleitung	
-	Rückbau Zwibez

Tabelle 34: Arbeitspakete zur Planung und Kostenermittlung der Stilllegungskosten

KKB

Arbeitspaket	Proz. Verteilung
<b>Dekontamination:</b>	
Vorbereitungsmassnahmen	23%
Demontage Einrichtungen der kontrollierten Zone - Block 1 und 2	4%
Demontage RDB-Einbauten und Demontage RDB - Block 1 und 2	3%
Demontage Biologischer Schild - Block 1 und 2	2%
Restdemontage Einrichtungen der kontrollierte Zonen - Block 1 und 2	3%
Dekontamination und Freigabe Gebäude	0%
Materialbehandlung und Entsorgung	54%
Rückbaubetrieb	11%
<b>Strahlen- und Arbeitsschutz:</b>	
Vorbereitungsmassnahmen	0%
Demontage Einrichtungen der kontrollierten Zone - Block 1 und 2	5%
Demontage RDB-Einbauten und Demontage RDB - Block 1 und 2	3%
Demontage Biologischer Schild - Block 1 und 2	3%
Restdemontage Einrichtungen der kontrollierten Zone - Block 1 und 2	1%
Dekontamination und Freigabe Gebäude	11%
Materialbehandlung und Entsorgung	33%
Rückbaubetrieb	43%

*Tabelle 35: Prozentuale Aufteilung der Inhalte der Arbeitspakete „Dekontamination“ und „Strahlen- und Arbeitsschutz“ aus der Studie 2002 auf Arbeitspakete 2011, KKB*

KKM

Arbeitspaket	Proz. Verteilung
<b>Dekontamination:</b>	
Vorbereitungsmassnahmen	12%
Demontage Einrichtungen der kontrollierten Zone	7%
Demontage RDB-Einbauten und Demontage RDB	2%
Demontage Biologischer Schild und Drywell-Einbauten	2%
Restdemontage Einrichtungen kontrollierte Zone	1%
Dekontamination untf Freigabe Gebäude	0%
Materialbehandlung und Entsorgung	55%
Rückbaubetrieb	22%
<b>Strahlen- und Arbeitsschutz:</b>	
Vorbereitungsmassnahmen	0%
Demontage Einrichtungen der kontrollierten Zone	12%
Demontage RDB-Einbauten und Demontage RDB	4%
Demontage Biologischer Schild und Drywell-Einbauten	4%
Restdemontage Einrichtungen kontrollierte Zone	0%
Dekontamination untf Freigabe Gebäude	11%
Materialbehandlung und Entsorgung	24%
Rückbaubetrieb	45%

*Tabelle 36: Prozentuale Aufteilung der Inhalte der Arbeitspakete „Dekontamination“ und „Strahlen- und Arbeitsschutz“ aus der Studie 2001 auf Arbeitspakete 2011, KKM*



KKG

<b>Arbeitspaket</b>	<b>Proz. Verteilung</b>
<b>Dekontamination:</b>	
Vorbereitungsmassnahmen	14%
Demontage Einrichtungen der kontrollierten Zone	4%
Demontage RDB-Einbauten und Demontage RDB	2%
Demontage Biologischer Schild	0%
Restdemontage Einrichtungen kontrollierte Zone	2%
Dekontamination und Freigabe Gebäude	0%
Materialbehandlung und Entsorgung	56%
Rückbaubetrieb	22%
<b>Strahlen- und Arbeitsschutz:</b>	
Vorbereitungsmassnahmen	0%
Demontage Einrichtungen der kontrollierten Zone	9%
Demontage RDB-Einbauten und Demontage RDB	4%
Demontage Biologischer Schild	0%
Restdemontage Einrichtungen kontrollierte Zone	1%
Dekontamination und Freigabe Gebäude	8%
Materialbehandlung und Entsorgung	25%
Rückbaubetrieb	53%

*Tabelle 37: Prozentuale Aufteilung der Inhalte der Arbeitspakete „Dekontamination“ und „Strahlen- und Arbeitsschutz“ aus der Studie 2001 auf Arbeitspakete 2011, KKG*

KKL

Arbeitspaket	Proz. Verteilung
<b>Dekontamination:</b>	
Vorbereitungsmassnahmen	7%
Demontage Einrichtungen der kontrollierten Zone	10%
Demontage RDB-Einbauten und Demontage RDB	2%
Demontage Biologischer Schild und Drywell-Einbauten	1%
Restdemontage Einrichtungen kontrollierte Zone	1%
Dekontamination und Freigabe Gebäude	0%
Materialbehandlung und Entsorgung	64%
Rückbaubetrieb	16%
<b>Strahlen- und Arbeitsschutz:</b>	
Vorbereitungsmassnahmen	0%
Demontage Einrichtungen der kontrollierten Zone	24%
Demontage RDB-Einbauten und Demontage RDB	5%
Demontage Biologischer Schild und Drywell-Einbauten	2%
Restdemontage Einrichtungen kontrollierte Zone	0%
Dekontamination und Freigabe Gebäude	9%
Materialbehandlung und Entsorgung	22%
Rückbaubetrieb	37%

Tabelle 38: Prozentuale Aufteilung der Inhalte der Arbeitspakete „Dekontamination“ und „Strahlen- und Arbeitsschutz“ aus der Studie 2001 auf Arbeitspakete 2011, KKL

## 4.8 Personalaufwand und Kollektivdosis

Im Gegensatz zur Studie 2001 wird in der Studie 2011 das erforderliche Personal für die Stilllegung der Anlage auf zwei Arten ermittelt.

Neu in der Studie 2011 ist, dass der personelle Aufwand für administrative Tätigkeiten und Massnahmen des Rückbaubetriebs, ausgehend von dem Personalstand zum Zeitpunkt der endgültigen Ausserbetriebnahme der Anlage unter Berücksichtigung des Projektfortschrittes über Reduktionsstufen und -faktoren, berücksichtigt wird.

Das bezüglich Anzahl und Qualifikation für die sonstigen Stilllegungs- und Rückbauarbeiten benötigte Personal wird aufgrund der erforderlichen Aufgaben ermittelt. Für die Kalkulationen in der Studie 2011 wurde davon ausgegangen, dass die Arbeiten weitgehend von Fremdpersonal durchgeführt werden. Der Arbeitsaufwand für die Stilllegungs- und Rückbauarbeiten wird zumeist unter Verwendung spezifischer Faktoren (z.B. Personenstunden/kg) in Zusammenhang mit den Massen oder anderer anlagenspezifischer Kenndaten berechnet. Dieses Vorgehen deckt sich mit dem Vorgehen in der Studie 2001.

Nach Kalkulation sämtlicher Arbeitsschritte erhält man eine Aussage zu der Anzahl des Stilllegungs- und Rückbaupersonals sowie dessen Verteilung über die Projektlaufzeit. Das Eigenpersonal wird, wie bereits weiter oben erwähnt, ausgehend von dem Personalstand zum Zeitpunkt der endgültigen Ausserbetriebnahme über die Reduktionsfaktoren der Rückbaustufen berücksichtigt.

In der Studie 2011 wurden die Erkenntnisse aus aktuell laufenden Stilllegungsprojekten in der Kalkulation berücksichtigt. Daraus ergibt sich ein höherer Personalaufwand als in der Studie 2001, was sich auch in der ermittelte Dauer für die Rückbaumassnahmen (siehe Kapitel 4.6.3) zeigt. Der grösste Unterschied ergibt sich beim Rückbaubetrieb, der z.B. aufgrund der erforderlichen Massnahmen für Instandhaltung, Wartung und auch Bewachung der Anlage entsteht. Die Bewachung der Anlage muss nach KEG (Art. 26, Abs. 2, Bst. e) sichergestellt sein, bis alle nuklearen Gefahrenquellen aus der Anlage entfernt sind. D.h. für die Stilllegungsstudie 2011 wurde unterstellt, dass die Anlage bis zum Nachweis der Kontaminationsfreiheit bewacht wird. Darüber hinaus wurde aus Sicherheitsgründen der Baustelle am Standort eine Bewachung (ca. 10 % des Aufwandes während des Betriebs der Anlage) berücksichtigt.

Der ermittelte Personalaufwand der Studie 2011 ist in Tabelle 39 (KKB), Tabelle 40 (KKM), Tabelle 41 (KKG) und Tabelle 42 (KKL) dem ermittelten Aufwand der Studie 2001 gegenübergestellt. Der Personalaufwand und die Kollektivdosis des Zwiilag sind in Tabelle 43 aufgeführt.

Wird ein Arbeitsschritt in der kontrollierten Zone durchgeführt, wird zur Berechnung der zu erwartenden Kollektivdosis der kalkulierte Arbeitsaufwand dieses Arbeitsschrittes mit einem Dosisleistungsmittelwert multipliziert. Die den Arbeitsschritten zugewiesenen Dosisleistungsmittelwerte werden im Modell zur Berechnung in verschiedene Dosisleistungsklassen eingeteilt. Sie basieren auf Erfahrungen bei Revisionsmassnahmen und beim Rückbau von den Kernkraftwerken. Da der Personalaufwand für die Rückbaumassnahmen in der Studie 2011 angestiegen ist, ergibt sich daraus auch ein höherer Wert für die Kollektivdosis gegenüber den Werten der Studie 2001. Die Ergebnisse können ebenfalls der oben genannten Tabellen entnommen werden.

KKB

Arbeitspaket	Studie 2002		Studie 2011		Differenz	
	Personal-aufwand [Personen-Jahre]	Kollektiv-dosis [Sv]	Personal-aufwand [Personen-Jahre]	Kollektiv-dosis [Sv]	Personal-aufwand [Personen-Jahre]	Kollektiv-dosis [Sv]
Stilllegungsprojekt sowie Stilllegungsverfügung	86	< 0.1	95	< 0.1	9	0.0
Vorbereitungsmassnahmen	116	0.6	124	0.6	8	0.0
Demontage Einrichtungen kontrollierte Zone - Block 1 und 2	97	2.9	90	1.1	-7	-1.8
Demontage RDB Einbauten - Block 1 und 2	60	0.4	122	2.1	118	2.7
Demontage RDB - Block 1 und 2			56	1.0		
Demontage Biologischer Schild - Block 1 und 2	45	0.6	95	1.8	50	1.2
Restdemontage Einrichtungen der kontrollierten Zone - Block 1 und 2	28	0.2	147	1.6	119	1.4
Dekontamination und Freigabe Gebäude	82	0.3	121	0.8	39	0.5
Materialbehandlung und Entsorgung	349	5.7	288	2.8	-61	-2.9
Demontage Einrichtungen konventioneller Bereich	140	0.0	140	0.0	143	0.0
Konventioneller Abriss			143	0.0		
Rückbaubetrieb	596	1.4	1'779	1.4	1'183	0.0
Rückbau Zwibez	0	0.0	36	< 0.1	36	< 0.1
<b>Gesamt</b>	<b>1'598</b>	<b>12.0</b>	<b>3'236</b>	<b>13.2</b>	<b>1'638</b>	<b>1.2</b>

Tabelle 39: Personalaufwand und Kollektivdosis nach Arbeitspaket, KKB

KKM

Arbeitspaket	Studie 2001		Studie 2011		Differenz	
	Personal-aufwand [Personen-Jahre]	Kollektiv-dosis [Sv]	Personal-aufwand [Personen-Jahre]	Kollektiv-dosis [Sv]	Personal-aufwand [Personen-Jahre]	Kollektiv-dosis [Sv]
Stilllegungsprojekt sowie Stilllegungsverfügung	86	< 0.1	86	< 0.1	0	0.0
Vorbereitungsmassnahmen	34	0.4	40	0.2	6	-0.2
Demontage Einrichtungen kontrollierte Zone	117	1.7	69	0.6	-48	-1.1
Demontage RDB Einbauten	34	0.2	36	0.5	24	0.6
Demontage RDB			22	0.3		
Demontage Biologischer Schild und Drywell inkl. Einbauten	40	0.5	58	0.8	18	0.3
Restdemontage Einrichtungen kontrollierte Zone	5	0.0	87	0.8	82	0.8
Dekontamination und Freigabe Gebäude	96	0.3	117	0.4	21	0.1
Materialbehandlung und Entsorgung	199	2.3	250	2.8	51	0.5
Demontage Einrichtungen konventioneller Bereich	74	0.0	73	0.0	77	0.0
Konventioneller Abriss			78	0.0		
Rückbaubetrieb	537	0.9	863	0.8	326	-0.1
<b>Gesamt</b>	<b>1'222</b>	<b>6.2</b>	<b>1'779</b>	<b>7.2</b>	<b>557</b>	<b>1.0</b>

Tabelle 40: Personalaufwand und Kollektivdosis nach Arbeitspaket, KKM

KKG

Arbeitspaket	Studie 2001		Studie 2011		Differenz	
	Personal-aufwand [Personen-Jahre]	Kollektiv-dosis [Sv]	Personal-aufwand [Personen-Jahre]	Kollektiv-dosis [Sv]	Personal-aufwand [Personen-Jahre]	Kollektiv-dosis [Sv]
Stilllegungsprojekt sowie Stilllegungsverfügung	89	< 0.1	86	< 0.1	-3	0.0
Vorbereitungsmassnahmen	33	0.4	89	0.5	56	0.1
Demontage Einrichtungen kontrollierte Zone	108	3.6	123	1.7	15	-1.9
Demontage RDB Einbauten	39	0.5	85	0.9	81	1.1
Demontage RDB			35	0.7		
Demontage Biologischer Schild	6	0.1	13	0.2	7	0.1
Restdemontage Einrichtungen kontrollierte Zone	35	0.2	72	0.8	37	0.6
Dekontamination und Freigabe Gebäude	140	0.2	170	2.0	30	1.8
Materialbehandlung und Entsorgung	289	5.0	228	3.5	-61	-1.5
Demontage Einrichtungen konventioneller Bereich	253	0.0	146	0.0	23	0.0
Konventioneller Abriss			130	0.0		
Rückbaubetrieb	667	1.0	1'226	1.2	559	0.2
<b>Gesamt</b>	<b>1'659</b>	<b>11.0</b>	<b>2'403</b>	<b>11.6</b>	<b>744</b>	<b>0.6</b>

Tabelle 41: Personalaufwand und Kollektivdosis nach Arbeitspaket, KKG

KKL

Arbeitspaket	Studie 2001		Studie 2011		Differenz	
	Personal-aufwand [Personen-Jahre]	Kollektiv-dosis [Sv]	Personal-aufwand [Personen-Jahre]	Kollektiv-dosis [Sv]	Personal-aufwand [Personen-Jahre]	Kollektiv-dosis [Sv]
Stilllegungsprojekt sowie Stilllegungsverfügung	86	< 0.1	85	< 0.1	-1	0.0
Vorbereitungsmassnahmen	38	0.4	79	0.6	41	0.2
Demontage Einrichtungen kontrollierte Zone	367	5.4	244	2.4	-123	-3.0
Demontage RDB Einbauten	71	0.3	112	1.9	97	2.3
Demontage RDB			56	0.7		
Demontage Biologischer Schild und Drywell inkl. Einbauten	62	0.7	101	1.2	39	0.5
Restdemontage Einrichtungen kontrollierte Zone	20	0.1	206	1.5	186	1.4
Dekontamination und Freigabe Gebäude	141	0.4	149	1.0	8	0.6
Materialbehandlung und Entsorgung	489	6.2	523	8.2	34	2.0
Demontage Einrichtungen konventioneller Bereich	310	0.0	49	0.0	-77	0.0
Konventioneller Abriss			184	0.0		
Rückbaubetrieb	786	1.4	1'776	1.4	990	0.0
<b>Gesamt</b>	<b>2'371</b>	<b>14.9</b>	<b>3'564</b>	<b>18.9</b>	<b>1'193</b>	<b>4.0</b>

Tabelle 42: Personalaufwand und Kollektivdosis nach Arbeitspaket, KKL

Zwilag

AP-Nr.	Arbeitspaket	Personal-	Kollektivdosis
		aufwand	
		[Personen-Jahre]	[Sv]
1.01	Stilllegungsprojekt sowie Stilllegungsverfügung	12	
1.02	Vorbereitungsmassnahmen	6	0.00
1.03	Demontage Einrichtungen der kontrollierten Zone	112	0.15
1.04	Dekontamination und Freigabe Gebäude	17	0.01
1.05	Materialbehandlung und Entsorgung	36	0.04
1.06	Demontage Einrichtungen konventioneller Bereich	1	
1.07	Konventioneller Abriss	3	
1.08	Rückbaubetrieb	121	
<b>Gesamt</b>		<b>308</b>	<b>0.20</b>

*Tabelle 43: Personalaufwand und Kollektivdosis nach Arbeitspaket, Zwilag*

## **5 Resultat der Schätzung der Stilllegungskosten**

### **5.1 Vergleich der Studie 2001 (Stand 2006) mit der Studie 2011**

Die Kosten wurden mit den NIS-Rechenprogrammen ermittelt, die speziell zur Ermittlung der Stilllegungs- und Rückbaukosten von Kernanlagen entwickelt wurden. Die Programme, die für die Kalkulation der Kosten gemäss Studie 2011 verwendet wurden, sind eine Weiterentwicklung des Programms, das für die Kalkulationen der Studie 2001 eingesetzt wurde.

Die letzten kompletten Stilllegungsstudien wurden für KKM, KKG und KKL 2001 und für KKB 2002 erstellt. Diese Kostenstudien wurden 2006 technisch aktualisiert. Alle Aussagen in diesem Kapitel, die sich auf die Kostenstudien 2001 und 2002 beziehen, verstehen sich inkl. dieser 2006 vorgenommenen Aktualisierungen.

Die Kosten in der Stilllegungsstudie 2001 wurden auf Preisbasis 2001 ermittelt. Für die Kostenermittlung auf Preisbasis 2006 wurden diese Ergebnisse mit jährlich 3 % teuerungsbereinigt (Art. 8, Abs. 5, SEFV /6/). In der Stilllegungsstudie 2011 wurden die zu erwartenden Kosten für die Stilllegung der Schweizer Kernkraftwerke komplett neu auf der Preisbasis 2011 kalkuliert. Für den Vergleich der Ergebnisse der Studie 2011 mit den Ergebnissen der Studie 2001 werden daher die Kosten gemäss Studie 2011 auf Preisbasis 2011 mit Kosten gemäss Studie 2001 ebenfalls auf Preisbasis 2011 (Eskalation mit der jährlichen, modellhaften dreiprozentigen Steigerung) verglichen.

Basis der Kostenermittlung ist ein Rückbaukonzept, das dem heutigen Stand der Technik entspricht sowie Verfahren und Techniken berücksichtigt, die auch in den zurzeit laufenden Rückbauprojekten eingesetzt werden.

Die ermittelten Stilllegungskosten (Studie 2001 und Studie 2011) setzen sich im Wesentlichen zusammen aus:

- Personalkosten
- Sachkosten, z.B.:
  - Investitionen (z.B. Neueinrichtungen, Fernhantierungseinrichtungen)
  - Verbrauchsmittel (z.B. Betriebsmedien, Kleidung, Dekontaminationsmittel, Werkzeuge)
- Entsorgungskosten, z.B.:
  - Kosten für externe Behandlung von Materialien (Plasma-Anlage der Zwiilag, Schmelzanlage)
  - Deponiekosten
  - Behälterkosten
  - Transportkosten
  - zuteilbare Lagerkosten

Die Gesamtergebnisse der Kostenermittlungen der Studie 2001 und der Studie 2011 vergleichen Tabelle 44 (KKB), Tabelle 46 (KKM), Tabelle 48 (KKG) und Tabelle 50 (KKL).

Diese sind wie folgt aufgebaut:

**Spalte A:** Die Spalte A enthält die Ergebnisse der Studie 2001 inkl. der Abschätzung relevanter Änderungen aus dem Jahr 2006 /11/ teuerungsbereinigt auf die Preisbasis 01/2011 (Annahme: 3 % Steigerung pro Jahr, Art. 8, Abs. 5, SEFV /6/). Die Kosten der Arbeitspakete „Dekontamination“ und „Strahlen- und Arbeitsschutz“ sind entsprechend der Tabelle 45 (KKB), Tabelle 47 (KKM), Tabelle 49 (KKG) und Tabelle 51 (KKL) den Arbeitspaketen der Studie 2011 zugeordnet.

**Spalte B:** Die Spalte B zeigt den prozentualen Anteil der Arbeitspaketkosten an den Gesamtkosten.

**Spalte C:** In der Spalte C sind die ermittelten Kosten gemäss Studie 2011 dargestellt (Preisbasis 01/2011)

**Spalte D:** Analog zu Spalte B ist in dieser Spalte der prozentuale Anteil der Arbeitspaketkosten an den Gesamtkosten dargestellt.

**Spalte E:** Die Spalte E zeigt die Differenz der Ergebnisse der Studie 2011 (Spalte C, Preisbasis 01/2011) und der auf die gleiche Preisbasis eskalierten Ergebnisse der Studie 2001 (Spalte A).

**Spalte F:** In dieser Spalte ist der prozentuale Unterschied der Kosten in den Spalten C und A dargestellt.

Die Arbeitspakete „Dekontamination“ und „Strahlen- und Arbeitsschutz“ der Studie 2001 sind in der Studie 2011 nicht mehr verwendet worden. Die prozentuale Aufteilung der Inhalte der beiden Arbeitspakete auf die anderen Arbeitspakete ist in Tabelle 45 (KKB), Tabelle 47 (KKM), Tabelle 49 (KKG) und Tabelle 51 (KKL) gezeigt.

Tabelle 52 zeigt pro Arbeitspaket die Gesamt- Personal- und Sachkosten des Zwiilag.



KKB

KKB-Stillegungskostenstudie 2001, aktual. 2006			KKB-Stillegungskostenstudie 2011			Delta	
Arbeitspaket (AP) Kostenstudie/Preisbasis	A 06/2011 *) MCHF	B (A/Total A)	Arbeitspaket	C 11/2011 MCHF	D (C/Total C) **)	E (A-C) MCHF	F (E/C) pro AP
Planung und Erstellen Unterlagen	25.3	4%	Stilllegungsprojekt sowie Stilllegungsverfügung	23.8	3%	-5.2	-18%
Begutachtung und Bewilligung	3.7	1%					
Vorbereitung der Anlage für den Abbau	66.4	11%	Vorbereitungsmassnahmen	51.2	6%	-15.2	-23%
Demontage kontaminierter Komponenten	41.3	7%	Demontage Einrichtungen der kontrollierten Zone - Block 1 und 2	19.3	2%	-22.0	-53%
Demontage aktivierter Komponenten (RDB- Einbauten und RDB)	41.7	7%	Demontage RDB-Einbauten und Demontage - RDB Block 1 und 2	54.4	7%	12.7	30%
Demontage biologischer Schild	12.6	2%	Demontage biologischer Schild Block 1 und 2	20.8	3%	8.2	65%
Demontage restlicher Komponenten	6.6	1%	Restdemontage Einrichtungen kontrollierten Zone - Block 1 und 2	26.3	3%	19.7	298%
Gebäudedekontamination und Freimessen Gebäudeoberflächen	27.5	4%	Dekontamination und Freigabe Gebäude	24.8	3%	-2.7	-10%
Dekontamination	***)	***)					
Strahlen- und Arbeitsschutz	***)	***)					
Konditionierung und Entsorgung	164.0	26%	Materialbehandlung und Entsorgung	127.9	16%	-36.1	-22%
Ausräumen der Gebäude und Gebäudeabbruch	62.7	10%	Demontage Einrichtungen konventioneller Bereich und konventioneller Abriss	51.1	6%	-11.6	-19%
			Rückbau und Abriss Zwibez	7.9	1%	7.9	
Behördliche Projektbegleitung	179.1	28%	Rückbaubetrieb	399.8	49%	220.7	123%
Baustellenbetrieb und Objektschutz							
Projekt- und Bauleitung							
Auslagerungskosten SA des Zwibez				2.0	0%	2.0	
<b>Summen</b>	<b>631.0</b>	<b>100%</b>		<b>809.3</b>	<b>100%</b>	<b>178.3</b>	<b>28%</b>

\*) Eskalation gemäss SEFV (3%/Jahr)

\*\*\*) "0%" bedeutet, dass der Wert kleiner 0,5 % ist

\*\*\*\*) Massnahmen sind in anderen AP enthalten (Aufteilung siehe Tabelle 45)

Tabelle 44: Stilllegungskosten für das KKW Beznau

Arbeitspaket	[MCHF <sub>01/2001</sub> ]	Proz. Verteilung
<b>Dekontamination</b>	<b>36.57</b>	
Vorbereitung der Anlage für den Abbau	8.36	23%
Demontage kontaminierter Komponenten	1.62	4%
Demontage aktivierter Komponenten (RDB-Einbauten und RDB)	0.97	3%
Demontage Biologischer Schild	0.76	2%
Demontage restlicher Komponenten	1.02	3%
Gebäudedekontamination und Freimessen Gebäudeoberflächen		0%
Konditionierung und Entsorgung	19.78	54%
Baustellenbetrieb und Objektschutz; Projekt- und Bauleitung	4.06	11%

<b>Strahlen- und Arbeitsschutz</b>	<b>38.09</b>	
Vorbereitung der Anlage für den Abbau		0%
Demontage kontaminierter Komponenten	2.01	5%
Demontage aktivierter Komponenten (RDB-Einbauten und RDB)	1.28	3%
Demontage Biologischer Schild	0.98	3%
Demontage restlicher Komponenten	0.41	1%
Gebäudedekontamination und Freimessen Gebäudeoberflächen	4.24	11%
Konditionierung und Entsorgung	12.63	33%
Baustellenbetrieb und Objektschutz; Projekt- und Bauleitung	16.54	43%

Tabelle 45: Neue Aufteilung der Massnahmen der Arbeitspakete „Dekontamination“ und „Strahlen- und Arbeitsschutz“, KKB

Die Spalte E zeigt, dass die vier Arbeitspakete in der Studie 2011

- Demontage RDB-Einbauten und Demontage RDB – Block 1 und 2
- Demontage Biologischer Schild – Block 1 und 2
- Restdemontage Einrichtungen der kontrollierten Zone – Block 1 und 2
- Rückbaubetrieb

Kosten über denen in der Studie 2002 (Spalte A) aufweisen. Die folgenden zwei Pakete sind in der Studie 2011 neu:

- Rückbau Zwibez
- Auslagerungskosten der SA im Zwibez

Die höheren Kosten in den Arbeitspaketen „Demontage RDB-Einbauten und Demontage RDB – Block 1 und 2“ und „Demontage Biologischer Schild“ ergeben sich aus der Neubewertung des erforderlichen Personalaufwandes (siehe Tabelle 39) und der Kosten für die einzusetzenden Werkzeuge.

Die höheren Kosten für das Arbeitspaket „Restdemontage Einrichtungen der kontrollierten Zone – Block 1 und 2“ ergeben sich einerseits durch die Neubewertung des erforderlichen Personalaufwandes (vgl. oben) und andererseits durch die Verschiebung von Demontageaufwand aus dem Arbeitspaket „Demontage Einrichtungen kontrollierte Zone“ in dieses Arbeitspaket. Die Kosten beider Arbeitspakete zusammen ergeben auch einen geringfügig niedrigeren Betrag als die Summe der Kosten für beide Arbeitspakete in der Studie 2002 (Spalte A). Die Verschiebung von Massnahmen zwischen den Arbeitspaketen erfolgte aufgrund des neu geplanten zeitlichen Ablaufs des Rückbaus. In der aktuellen Stilllegungsstudie erfolgt die Demontage der aktivierten Teile (RDB-Einbauten, RDB, Biologischer Schild, usw.) früher als noch in der Studie 2002 angenommen. Dadurch verschieben sich Demontagemassnahmen der kontaminierten Teile zeitlich gesehen nach hinten und werden nun in dem Arbeitspaket „Restdemontage Einrichtungen kontrollierte Zone“ berücksichtigt.

Das Arbeitspaket „Rückbau Zwibez“ wurde in die Studie 2011 aufgenommen. Der Ausbau der Anlage Zwibez zur Nutzung als Behälterlager erfolgte erst nach der Erstellung der Studie 2002 und wurde deswegen dort noch nicht berücksichtigt. Die Kosten für die Auslagerung der Stilllegungsabfälle im Zwibez wurden in der Studie 2011 aufgenommen.

Dass die Gesamtkosten gemäss Studie 2011 trotzdem ca. 28 % über den teuerungsbereinigten Kosten gemäss Studie 2002 liegen, ist vor allem auf das Arbeitspaket „Rückbaubetrieb“ zurückzuführen. Das Arbeitspaket umfasst alle Leistungen, um den Betrieb der Baustelle zu ermöglichen und aufrecht zu erhalten. Im Kapitel 5.2 wird das Arbeitspaket beschrieben.

KKM

KKM-Stilllegungskostenstudie 2001, aktualisiert 2006 Arbeitspaket (AP) Kostenstudie/Preisbasis	A	B	Arbeitspaket	KKM-Stilllegungskostenstudie 2011		Delta	
	06/2011 *)	(A/Total A)		C	D	E	F
	MCHF			11/2011	(C/Total C) **)	(A-C)	(E/C) pro AP
				MCHF		MCHF	
Planung und Erstellen Unterlagen	24.7	6%	Stilllegungsprojekt sowie Stilllegungsverfügung	21.3	4%	-7.1	-25%
Begutachtung und Bewilligung	3.7	1%					
Vorbereitung der Anlage für den Abbau	34.8	8%	Vorbereitungsmassnahmen	29.2	6%	-5.6	-16%
Demontage kontaminierter Komponenten	30.6	7%	Demontage Einrichtungen der kontrollierten Zone	13.8	3%	-16.8	-55%
Demontage aktivierter Komponenten (RDB- Einbauten und RDB)	29.5	7%	Demontage RDB-Einbauten und Demontage RDB	26.6	5%	-3.0	-10%
Demontage biologischer Schild und Drywell-Einbauten	11.2	3%	Demontage biologischer Schild und Drywell inkl. Einbauten	12.2	3%	1.0	9%
Demontage restlicher Komponenten	1.3	0%	Restdemontage Einrichtungen der kontrollierten Zone	16.9	3%	15.5	1156%
Gebäudedekontamination und Freiessen Gebäude- oberflächen	28.8	7%	Dekontamination und Freigabe Gebäude	25.7	5%	-3.1	-11%
Dekontamination	***)	***)					
Strahlen- und Arbeitsschutz	***)	***)					
Konditionierung und Entsorgung	82.4	19%	Materialbehandlung und Entsorgung	96.8	20%	14.4	17%
Ausräumen der Gebäude und Gebäudeabbruch	31.3	7%	Demontage Einrichtungen konventioneller Bereich und konventioneller Abriss	24.4	5%	-6.9	-22%
Behördliche Projektbegleitung	157.0	36%	Rückbaubetrieb	217.9	45%	60.9	39%
Baustellenbetrieb und Objektschutz							
Projekt- und Bauleitung							
Zwischen- & Auslagerung SA im Zwiilag	4.0	1%		2.0	0%	-2.0	-50%
<b>Summen</b>	<b>439.4</b>	<b>100%</b>		<b>486.8</b>	<b>100%</b>	<b>49.3</b>	<b>11%</b>

\*) Eskalation gemäss SEFV (3%/Jahr)

\*\*)"0%" bedeutet, dass der Wert kleiner 0,5 % ist

\*\*\*) Massnahmen sind in anderen AP enthalten (Aufteilung siehe Tabelle 47)

Tabelle 46: Stilllegungskosten für das KKW Mühleberg

<b>Arbeitspaket</b>	<b>[MCHF<sub>01/2001</sub>]</b>	<b>Proz. Verteilung</b>
<b>Dekontamination</b>	<b>29.28</b>	
Vorbereitung der Anlage für den Abbau	3.41	12%
Demontage kontaminierter Komponenten	1.92	7%
Demontage aktivierter Komponenten (RDB-Einbauten und RDB)	0.54	2%
Demontage biologischer Schild und Drywell-Einbauten	0.58	2%
Demontage restlicher Komponenten	0.2	1%
Gebäudedekontamination und Freimessen Gebäudeoberflächen		0%
Konditionierung und Entsorgung	16.11	55%
Baustellenbetrieb und Objektschutz; Projekt- und Bauleitung	6.52	22%
<b>Strahlen- und Arbeitsschutz</b>	<b>27.89</b>	
Vorbereitung der Anlage für den Abbau		0%
Demontage kontaminierter Komponenten	3.29	12%
Demontage aktivierter Komponenten (RDB-Einbauten und RDB)	1.11	4%
Demontage biologischer Schild und Drywell-Einbauten	1.00	4%
Demontage restlicher Komponenten	0.05	0%
Gebäudedekontamination und Freimessen Gebäudeoberflächen	3.10	11%
Konditionierung und Entsorgung	6.73	24%
Baustellenbetrieb und Objektschutz; Projekt- und Bauleitung	12.61	45%

Tabelle 47: Neue Aufteilung der Massnahmen der Arbeitspakete „Dekontamination“ und „Strahlen- und Arbeitsschutz“, KKM

Die Spalte E zeigt, dass von den neu ermittelten Kosten die vier Arbeitspakete in der Studie 2011

- Demontage biologischer Schild und Drywell inkl. Einbauten
- Restdemontage Einrichtungen der kontrollierten Zone
- Rückbaubetrieb
- Materialbehandlung und Entsorgung

Kosten über denen in der Studie 2001 (Spalte A) aufweisen.

Die höheren Kosten in dem Arbeitspaket „Demontage biologischer Schild und Drywell inkl. Einbauten“ ergeben sich aus der Neubewertung des erforderlichen Personalaufwandes (siehe Tabelle 40) und der Kosten für die einzusetzenden Werkzeuge.

Die höheren Kosten für das Arbeitspaket „Restdemontage Einrichtungen kontrollierte Zone“ ergeben sich durch die Verschiebung von Demontageaufwand aus dem Arbeitspaket „Demontage Einrichtungen kontrollierte Zone“ in dieses Arbeitspaket. Die Kosten beider Arbeitspakete zusammen ergeben auch einen geringfügig niedrigeren Betrag als die Summe der Kosten für beide Arbeitspakete in der Studie 2001 (Spalte A). Die Verschiebung von Massnahmen zwischen den Arbeitspaketen erfolgte aufgrund des neu geplanten zeitlichen Ablaufs des Rückbaus. In der aktuellen Stilllegungsstudie erfolgt die Demontage der aktivierten Teile (RDB-Einbauten, RDB, biologischer Schild, usw.) früher als noch in der Studie 2001 angenommen. Dadurch verschieben sich Demontagemassnahmen der kontaminierten Teile zeitlich gesehen nach hinten und werden nun in dem Arbeitspaket „Restdemontage Einrichtungen kontrollierte Zone“ berücksichtigt. Die höheren Kosten für die Verpackung der radioaktiven Abfälle (z.B. MOSAIK-Behälter) und den Transport zum geologischen Tiefenlager sowie die höheren zuteilbaren Lagerkosten (vgl. Tabelle 29), schlagen sich im Arbeitspaket Materialbehandlung und Entsorgung nieder.

Dass die Gesamtkosten gemäss Studie 2011 trotzdem ca. 10 % über den teuerungsbereinigten Kosten gemäss Studie 2001 liegen, ist vor allem auf das Arbeitspaket „Rückbaubetrieb“ zurückzuführen. Das Arbeitspaket umfasst alle Leistungen, um den Betrieb der Baustelle zu ermöglichen und aufrecht zu erhalten. Im Kapitel 5.2 wird das Arbeitspaket beschrieben.

KKG

KKG-Stillegungskostenstudie 2001, aktual. 2006			KKG-Stillegungskostenstudie 2011			Delta	
Arbeitspaket (AP) Kostenstudie/Preisbasis	A 06/2011 *) MCHF	B (A/Total A)	Arbeitspaket	C 11/2011 MCHF	D (C/Total C) **)	E (A-C) MCHF	F (E/C) pro AP
Planung und Erstellen Unterlagen	25.6	4%	Stilllegungsprojekt sowie Stilllegungsverfügung	21.3	3%	-8.2	-28%
Begutachtung und Bewilligung	3.9	1%					
Vorbereitung der Anlage für den Abbau	41.7	7%	Vorbereitungsmassnahmen	44.0	7%	2.2	5%
Demontage kontaminierter Komponenten	30.6	5%	Demontage Einrichtungen der kontrollierten Zone	24.2	4%	-6.4	-21%
Demontage aktivierter Komponenten (RDB- Einbauten und RDB)	34.3	6%	Demontage RDB-Einbauten und Demontage RDB	39.5	6%	5.2	15%
Demontage biologischer Schild	1.8	0%	Demontage biologischer Schild	3.9	1%	2.1	115%
Demontage restlicher Komponenten	8.9	1%	Restdemontage Einrichtungen der kontrollierten Zone	12.9	2%	4.0	45%
Gebäudedekontamination und Freiessen Gebäude- oberflächen	40.2	7%	Dekontamination und Freigabe Gebäude	36.9	6%	-3.4	-8%
Dekontamination	***)	***)					
Strahlen- und Arbeitsschutz	***)	***)					
Konditionierung und Entsorgung	111.1	18%	Materialbehandlung und Entsorgung	112.8	17%	1.7	2%
Ausräumen der Gebäude und Gebäudeabbruch	108.0	18%	Demontage Einrichtungen konventioneller Bereich und Konventioneller Abriss	52.8	8%	-55.2	-51%
Behördliche Projektbegleitung	198.3	33%	Rückbaubetrieb	314.9	47%	116.6	59%
Baustellenbetrieb und Objektschutz							
Projekt- und Bauleitung							
<b>Summen</b>	<b>604.5</b>	<b>100%</b>		<b>663.1</b>	<b>100%</b>	<b>58.5</b>	<b>10%</b>

\*) Eskalation gemäss SEFV (3%/Jahr)

\*\*) "0%" bedeutet, dass der Wert kleiner 0,5 % ist

\*\*\*) Massnahmen sind in anderen AP enthalten (Aufteilung siehe Tabelle 49)

Tabelle 48: Stilllegungskosten für das KKW Gösgen

Arbeitspaket	[MCHF <sub>01/2001</sub> ]	Proz. Verteilung
<b>Dekontamination</b>	<b>39.87</b>	
Vorbereitung der Anlage für den Abbau	5.65	14%
Demontage kontaminierter Komponenten	1.77	4%
Demontage aktivierter Komponenten (RDB-Einbauten und RDB)	0.62	2%
Demontage Biologischer Schild	0.09	0%
Demontage restlicher Komponenten	0.68	2%
Gebäudedekontamination und Freimessen Gebäudeoberflächen		0%
Konditionierung und Entsorgung	22.20	56%
Baustellenbetrieb und Objektschutz; Projekt- und Bauleitung	8.87	22%

<b>Strahlen- und Arbeitsschutz</b>	<b>34.87</b>	
Vorbereitung der Anlage für den Abbau		0%
Demontage kontaminierter Komponenten	3.03	9%
Demontage aktivierter Komponenten (RDB-Einbauten und RDB)	1.27	4%
Demontage Biologischer Schild	0.16	0%
Demontage restlicher Komponenten	0.38	1%
Gebäudedekontamination und Freimessen Gebäudeoberflächen	2.92	8%
Konditionierung und Entsorgung	8.70	25%
Baustellenbetrieb und Objektschutz; Projekt- und Bauleitung	18.41	53%

Tabelle 49: Neue Aufteilung der Massnahmen der Arbeitspakete „Dekontamination“ und „Strahlen- und Arbeitsschutz“, KKG

Die Spalte E zeigt, dass die sechs Arbeitspakete in der Studie 2011

- Vorbereitungsmaßnahmen
- Demontage RDB-Einbauten und Demontage RDB
- Demontage Biologischer Schild
- Restdemontage Einrichtungen der kontrollierten Zone
- Materialbehandlung und Entsorgung
- Rückbaubetrieb

Kosten über denen in der Studie 2001 (Spalte A) aufweisen.

Die höheren Kosten für das Arbeitspaket „Vorbereitungsmaßnahmen“ ergeben sich aus der Neubewertung (nahezu Verdreifachung) des erforderlichen Personalaufwandes (siehe Tabelle 41).

Die höheren Kosten in den Arbeitspaketen „Demontage RDB-Einbauten und Demontage RDB“ und „Demontage Biologischer Schild“ ergeben sich aus der Neubewertung (Ar-



beitspaket 4 → Verdreifachung / Arbeitspaket 5 → Verdoppelung) des erforderlichen Personalaufwandes (siehe Tabelle 41) und der Kosten für die einzusetzenden Werkzeuge.

Die höheren Kosten für das Arbeitspaket „Restdemontage Einrichtungen der kontrollierten Zone“ ergeben sich einerseits durch die Verschiebung von Demontageaufwand aus dem Arbeitspaket „Demontage Einrichtungen kontrollierte Zone“ in dieses Arbeitspaket und andererseits durch eine Neubewertung des notwendigen Arbeitsaufwandes. Die Kosten beider Arbeitspakete zusammen ergeben auch einen geringfügig niedrigeren Betrag als die Summe der Kosten für beide Arbeitspakete in der Studie 2001 (Spalte A). Die Verschiebung von Massnahmen zwischen den Arbeitspaketen erfolgte aufgrund des neu geplanten zeitlichen Ablaufs des Rückbaus. In der aktuellen Stilllegungsstudie erfolgt die Demontage der aktivierten Teile (RDB-Einbauten, RDB, biologischer Schild etc.) früher als noch in der Studie 2001 angenommen. Dadurch verschieben sich Demontagemassnahmen der kontaminierten Teile zeitlich gesehen nach hinten und werden nun in dem Arbeitspaket „Restdemontage Einrichtungen kontrollierte Zone“ berücksichtigt. Die höheren zuteilbaren Lagerkosten (vgl. Tabelle 29) schlagen sich im Arbeitspaket Materialbehandlung und Entsorgung nieder.

Dass die Gesamtkosten gemäss Studie 2011 trotzdem ca. 10 % über den teuerungsbereinigten Kosten gemäss Studie 2001 liegen, ist vor allem auf das Arbeitspaket „Rückbaubetrieb“ zurückzuführen. Das Arbeitspaket umfasst alle Leistungen, um den Betrieb der Baustelle zu ermöglichen und aufrecht zu erhalten. Im Kapitel 5.2 wird das Arbeitspaket beschrieben.

KKL

KKL-Stilllegungskostenstudie 2001, aktual. 2006			KKL-Stilllegungskostenstudie 2011			Delta	
Arbeitspaket (AP) Kostenstudie/Preisbasis	A 06/2011 *) MCHF	B (A/Total A)	Arbeitspaket	C 11/2011 MCHF	D (C/Total C) **)	E (A-C) MCHF	F (E/C) pro AP
Planung und Erstellen Unterlagen	25.0	3%	Stilllegungsprojekt sowie Stilllegungsverfügung	21.3	2%	-3.6	-15%
Begutachtung Bewilligung	3.7	0%					
Vorbereitung der Anlage für den Abbau	39.3	5%	Vorbereitungsmassnahmen	42.0	5%	2.7	7%
Demontage kontaminierter Komponenten	96.4	12%	Demontage Einrichtungen kontrollierte Zone	46.1	5%	-50.3	-52%
Demontage aktivierter Komponenten (RDB- Einbauten und RDB)	46.9	6%	Demontage RDB-Einbauten und Demontage RDB	51.2	6%	4.2	9%
Demontage biologischer Schild und Drywell-Einbauten	17.0	2%	Demontage biologisches Schild und Drywell inkl. Einbauten	22.4	2%	5.4	32%
Demontage restlicher Komponenten	5.1	1%	Restdemontage Einrichtungen kontrollierte Zone	38.2	4%	33.1	653%
Gebäudedekontamination und Freimessen Gebäude- oberflächen	40.9	5%	Dekontamination und Freigabe Gebäude	32.1	3%	-8.8	-21%
Dekontamination	***)	***)					
Strahlen- und Arbeitsschutz	***)	***)					
Konditionierung und Entsorgung	200.8	24%	Materialbehandlung und Entsorgung	191.1	21%	-9.7	-5%
Ausräumen der Gebäude und Gebäudeabbruch	130.5	16%	Demontage Einrichtungen konventioneller Bereich und Konventioneller Abriss	62.5	7%	-68.0	-52%
Behördliche Projektbegleitung	229.0	27%	Rückbaubetrieb	413.3	45%	184.3	80%
Baustellenbetrieb und Objektschutz							
Projekt- und Bauleitung							
<b>Summen</b>	<b>834.6</b>	<b>100%</b>		<b>920.2</b>	<b>100%</b>	<b>89.4</b>	<b>10%</b>

\*) Eskalation gemäss SEFV (3%/Jahr)

\*\*\*) "0%" bedeutet, dass der Wert kleiner 0,5 % ist

\*\*\*) Massnahmen sind in anderen AP enthalten (Aufteilung siehe Tabelle 49)

Tabelle 50: Stilllegungskosten für das KKW Leibstadt

<b>Arbeitspaket</b>	<b>[MCHF<sub>01/2001</sub>]</b>	<b>Proz. Verteilung</b>
<b>Dekontamination</b>	<b>62.79</b>	
Vorbereitung der Anlage für den Abbau	4.61	7%
Demontage kontaminierter Komponenten	6.02	10%
Demontage aktivierter Komponenten (RDB-Einbauten und RDB)	1.13	2%
Demontage Biologischer Schild und Drywell-Einbauten	0.45	1%
Demontage restlicher Komponenten	0.46	1%
Gebäudedekontamination und Freimessen Gebäudeoberflächen		0%
Konditionierung und Entsorgung	40.00	64%
Baustellenbetrieb und Objektschutz; Projekt- und Bauleitung	10.11	16%
<b>Strahlen- und Arbeitsschutz</b>	<b>42.49</b>	
Vorbereitung der Anlage für den Abbau		0%
Demontage kontaminierter Komponenten	10.28	24%
Demontage aktivierter Komponenten (RDB-Einbauten und RDB)	2.33	5%
Demontage Biologischer Schild und Drywell-Einbauten	0.76	2%
Demontage restlicher Komponenten	0.21	0%
Gebäudedekontamination und Freimessen Gebäudeoberflächen	3.64	9%
Konditionierung und Entsorgung	9.35	22%
Baustellenbetrieb und Objektschutz; Projekt- und Bauleitung	15.92	37%

*Tabelle 51: Neue Aufteilung der Massnahmen der Arbeitspakete „Dekontamination“ und „Strahlen- und Arbeitsschutz“, KKL*

Die Spalte E zeigt, dass die fünf Arbeitspakete in der Studie 2011

- Vorbereitungsmaßnahmen
- Demontage RDB-Einbauten und Demontage RDB
- Demontage biologischer Schild und Drywell inkl. Einbauten
- Restdemontage Einrichtungen der kontrollierten Zone
- Rückbaubetrieb

Kosten über denen in der Studie 2001 (Spalte A) aufweisen.

Die höheren Kosten für das Arbeitspaket „Vorbereitungsmaßnahmen“ ergeben sich aus der Neubewertung (Verdoppelung) des erforderlichen Personalaufwandes (siehe Tabelle 42).

Die höheren Kosten in den Arbeitspaketen „Demontage RDB-Einbauten und Demontage RDB“ und „Demontage biologischer Schild und Drywell inkl. Einbauten“ ergeben sich

aus der Neubewertung (Arbeitspaket 4 → mehr als Verdoppelung / Arbeitspaket 5 → nahezu verdoppelt) des erforderlichen Personalaufwandes (siehe Tabelle 42) und der Kosten für die einzusetzenden Werkzeuge.

Die höheren Kosten für das Arbeitspaket „Restdemontage Einrichtungen kontrollierte Zone“ ergeben sich durch die Verschiebung von Demontageaufwand aus dem Arbeitspaket „Demontage Einrichtungen der kontrollierten Zone“ in dieses Arbeitspaket. Die Kosten beider Arbeitspakete zusammen ergeben einen niedrigeren Betrag als die Summe der Kosten für beide Arbeitspakete in der Studie 2001 (Spalte A). Die Verschiebung von Massnahmen zwischen den Arbeitspaketen erfolgte aufgrund des neu geplanten zeitlichen Ablaufs des Rückbaus. In der aktuellen Stilllegungsstudie erfolgt die Demontage der aktivierten Teile (RDB-Einbauten, RDB, Biologischer Schild, usw.) früher als noch in der Studie 2001 angenommen. Dadurch verschieben sich Demontagemassnahmen der kontaminierten Teile zeitlich gesehen nach hinten und werden nun in dem Arbeitspaket „Restdemontage Einrichtungen der kontrollierten Zone“ berücksichtigt.

Dass die Gesamtkosten gemäss Studie 2011 trotzdem ca. 10 % über den teuersten Kosten gemäss Studie 2001 liegen, ist vor allem auf das Arbeitspaket „Rückbaubetrieb“ zurückzuführen. Im Kapitel 5.2 wird das Arbeitspaket beschrieben.

#### Zwilag

Die Stilllegungsstudie 2011 des Zwilag wurde zum ersten Mal auf einer mit den KKW-Studien einheitlichen Basis durchgeführt. Die Studien 2006 und 2011 des Zwilag sind nicht nur deswegen schwer vergleichbar, sondern auch weil für das Zwilag ein wesentliches Kostenelement (Rückbaubetrieb) aus den Entsorgungskosten neu den Stilllegungskosten zugewiesen wurde. Deswegen kann kein detaillierter Vergleich vorgenommen werden.

AP-Nr.	Arbeitspaket	Gesamtkosten [MCHF]	Personalkosten [MCHF]	Sachkosten [MCHF]
1.01	Stilllegungsprojekt sowie Stilllegungsverfügung	3.18	3.11	0.07
1.02	Vorbereitungsmassnahmen	1.88	0.99	0.90
1.03	Demontage Einrichtungen der kontrollierten Zone	20.97	20.27	0.70
1.04	Dekontamination und Freigabe Gebäude	3.85	3.42	0.44
1.05	Materialbehandlung und Entsorgung	10.74	6.25	4.49
1.06	Demontage Einrichtungen konventioneller Bereich	0.14	0.13	0.01
1.07	Konventioneller Abriss	0.77	0.36	0.41
1.08	Rückbaubetrieb	53.30	25.39	27.91
<b>Gesamt:</b>		<b>94.83</b>	<b>59.93</b>	<b>34.90</b>

Tabelle 52: Stilllegungskosten für das Zwilag

## 5.2 Rückbaubetrieb

Ein direkter Vergleich der Kosten aus der Studie 2011 mit den Werten der Studie 2001 lässt sich nur bedingt durchführen, da die Kosten auf unterschiedliche Art und Weise ermittelt wurden. In der Studie 2001 wurden die Kosten von NIS auf Basis der damals vorhandenen Informationen über eine Abschätzung des erforderlichen Personal- und Sachkostenaufwands kalkuliert. Die Kosten in der Studie 2011 berücksichtigen die Erfahrungen aus mehreren Stilllegungs- und Rückbauprojekt von grossen Kernkraftwerken in Deutschland. Die kalkulierten Kosten für den Rückbaubetrieb wurden aus Angaben der Kernkraftwerke für ein Betriebsjahr abgeleitet. Ein Grossteil der Kostenerhöhung ergibt sich aus den für die Studie 2011 festgelegten Randbedingungen folgender Aspekte:

- Kosten für die Bewachung der Anlage
- Versicherungskosten
- Kosten für Behörde und Gutachter
- Personal- sowie Betriebs- und Unterhaltssachkosten

Eine Gegenüberstellung dieser Kosten aus den Studien 2001 und 2011 zeigen Tabelle 54 (KKB), Tabelle 56 (KKM), Tabelle 58 (KKG) und Tabelle 60 (KKL).

Das Arbeitspaket umfasst alle Leistungen, um den Betrieb der Baustelle zu ermöglichen und aufrecht zu erhalten. Die wesentlichen Aufwendungen sind in folgenden Paketen zusammengefasst (für weitere Details siehe Tabelle 53 [KKB], Tabelle 55 [KKM], Tabelle 57 [KKG] Tabelle 59 [KKL] und Tabelle 61 [Zwilag]):

- Personal
- Betriebs- und Unterhaltssachkosten
- Wasserentnahmegebühr
- Übrige Aufwendungen
- Betrieblich nicht beeinflussbare Kosten

Den Kosten gemäss Studie 2001 lagen folgende abgestimmte Randbedingungen zugrunde:

- Bewachung der Anlage: In zwei Tagschichten wurden jeweils eine Person und in der Nachtschicht zwei Personen in der Kostenermittlung berücksichtigt.
- Versicherungen: Die nukleare Haftpflichtversicherung wurde mit 1 MCHF pro Jahr, die Sachversicherung mit einmalig 0.5 MCHF kalkuliert.
- Behörde und Gutachter: Die Kosten wurden aus einer Gesamtkostenangabe für die Stilllegung des Kernkraftwerkes Gösgen (4 MCHF) über die Projektdauer abgeleitet.
- Personal- und Sachkosten: Diese Kosten wurden von NIS aufgrund der damaligen Einschätzung des erforderlichen Aufwands abgeschätzt.

Die Kosten in der Studie 2011 basieren auf den Einschätzungen der Schweizer Kernkraftwerke bezüglich des aktuell anzunehmenden Aufwands bzw. auf den Kosten zum Zeitpunkt der endgültigen Abschaltung, korrigiert über durch die Schweizer Kernkraftwerke festgelegte Reduktionsfaktoren in Form von Multiplikatoren, ausgehend von den Werten zum Zeitpunkt der endgültigen Ausserbetriebnahme.

- Bewachung der Anlage: Bis Ende der Demontage Biologischer Schild – 80 % des Aufwandes bleibt, danach wird in zwei Stufen reduziert: 40 % bleibt bis Nachweis Kontaminationsfreiheit, dann bleibt 10 % bis grüne Wiese.

- Versicherungen: Abhängig von der Versicherung bleiben zwischen 10 % und 20 % des Wertes zum Zeitpunkt der endgültigen Ausserbetriebnahme.
- Behörde und Gutachter: Reduzierung in mehreren Stufen: 40 % bis 5 % des Wertes bleiben.
- Personal- und Sachkosten: Reduzierung in mehreren Stufen: Personalkosten: es bleiben zwischen 40 % und 0.5 %; Sachkosten: zwischen 100 % und 0 %.

KKB

Bezeichnung	Gesamtkosten [MCHF]
<b>Summe Rückbaubetrieb</b>	<b>399.8</b>
<b>Personalkosten</b>	<b>180.7</b>
Personalkosten (inkl. übr. Personalkosten)	172.7
Fremdpersonal	8.0
<b>Betriebs- und Unterhaltssachkosten (ohne Betriebsabfälle)</b>	<b>83.8</b>
Energiekosten	30.5
Heizölverbrauch	9.5
Wasserverbrauch	3.8
Stromverbrauch	17.1
Laufende Instandhaltung	25.2
<i>ENSI-Kosten *)</i>	28.0
Umgebungsüberwachung	0.1
<b>Wasserentnahmegebühr</b>	<b>2.8</b>
<b>Übrige Aufwendungen</b>	<b>132.5</b>
Grundstücke und Gebäude	60.7
<i>Versicherungen</i>	15.1
<i>Maschinenbruchversicherung *)</i>	1.8
<i>Haftpflichtversicherung nuklear *)</i>	10.6
<i>Verschiedene Versicherungen bzw. Sachversicherungen *)</i>	2.7
Mieten und Pachten	2.4
Geschäfts- und Verwaltungskosten	10.0
Sonstige Aufwendungen	36.2
Umlagen und Leistungsverrechnung	8.1

\*) Ausgangswert und Reduktionsfaktor von Arbeitsgruppe vorgegeben

Tabelle 53: Kostenaufteilung des Arbeitspakets „Rückbaubetrieb“, KKB

Der Rückbaubetrieb in der Studie 2011 liegt für KKB 221. Mio. CHF über dem teuerungsbereinigten Wert der Studie 2002.

Eine Gegenüberstellung dieser Kosten aus den Studien 2001 und 2011 zeigt Tabelle 54.

	Studie 2002 (eskaliert auf Preisbasis 2011) [MCHF]		Studie 2011 [MCHF]	Differenz (Studie 2011 minus Studie 2002) [MCHF]
<b>Behördliche Projektbegleitung, Baustellenbetrieb und Objektschutz, Projekt- und Bauleitung</b>	<b>179.1</b>	<b>Rückbaubetrieb</b>	<b>399.8</b>	<b>220.7</b>
Bewachung der Anlage	3.9	Bewachung der Anlage	54.5	50.6
Versicherungen	9.1	Versicherungen	15.1	6.0
Behörde und Gutachter	4.6	Behörde und Gutachter	28.0	23.4
Personal- und Sachkosten	161.6	Personal- und Sachkosten	302.2	140.6

*Tabelle 54: Vergleich der Kosten für den Rückbaubetrieb, KKB*



## KKM

Bezeichnung	Gesamtkosten [MCHF]
<b>Summe Rückbaubetrieb</b>	<b>217.9</b>
<b>Personalkosten</b>	<b>91.9</b>
Personalkosten	90.4
Personal Servicebereich Gesellschafter	1.5
<b>Betriebs- und Unterhaltssachkosten (ohne Betriebsabfälle)</b>	<b>60.2</b>
Energiekosten	21.7
Heizölverbrauch	9.7
Wasserverbrauch	0.5
Stromverbrauch	11.6
Laufende Instandhaltung	21.0
<i>ENSI-Kosten *)</i>	17.5
<b>Wasserentnahmegebühr</b>	<b>1.6</b>
<b>Übrige Aufwendungen</b>	<b>64.2</b>
Grundstücke und Gebäude (inkl. Personal für Bewachung)	29.9
<i>Versicherungen</i>	8.3
<i>Maschinenbruchversicherung *)</i>	1.2
<i>Verbundene Sachversicherung *)</i>	2.1
<i>Haftpflichtversicherung nuklear *)</i>	5.1
<i>Verschiedene Versicherungen *)</i>	<0,1
Mieten und Pachten	2.6
Geschäfts- und Verwaltungskosten	5.5
Soziale Aufwendungen (inkl. Personal für Personalrestaurant)	0.6
Sonstige Aufwendungen	17.3

\*) Ausgangswert und Reduktionsfaktor von Arbeitsgruppe vorgegeben

Tabelle 55: Kostenaufteilung des Arbeitspakets „Rückbaubetrieb“, KKM

Der Rückbaubetrieb in der Studie 2011 liegt für KKM 61 Mio. CHF über dem teuerungs-  
bereinigten Wert der Studie 2001.

Eine Gegenüberstellung dieser Kosten aus den Studien 2001 und 2011 zeigt Tabelle 56.

	Studie 2001 (eskaliert auf Preisbasis 2011) [MCHF]		Studie 2011 [MCHF]	Differenz (Studie 2011 minus Studie 2001) [MCHF]
<b>Beördliche Projektbegleitung, Baustellenbetrieb und Objektschutz, Projekt- und Bauleitung</b>	<b>157.0</b>	<b>Rückbaubetrieb</b>	<b>217.9</b>	<b>60.9</b>
Bewachung der Anlage	3.2	Bewachung der Anlage	29.9	26.7
Versicherungen	7.6	Versicherungen	8.3	0.7
Behörde und Gutachter	4.0	Behörde und Gutachter	17.5	13.5
Personal- und Sachkosten	142.2	Personal- und Sachkosten	162.2	20.0

*Tabelle 56: Vergleich der Kosten für den Rückbaubetrieb, KKM*

## KKG

Bezeichnung	Gesamtkosten [MCHF]
<b>Summe Rückbaubetrieb</b>	<b>314.9</b>
<b>Personalkosten</b>	<b>157.5</b>
Personalkosten Stammpersonal	154.3
Personalkosten Fremdpersonal	3.3
<b>Betriebs- und Unterhaltssachkosten (ohne Betriebsabfälle)</b>	<b>75.7</b>
Energiekosten	21.6
Heizöl / Diesel	3.4
Wasserverbrauch	0.6
Andere (z.B. Schmiermittel, Chemikalien, Gase, Filter)	6.0
Stromverbrauch	11.7
Laufende Instandhaltung	32.4
<i>ENSI-Kosten *)</i>	21.7
<b>Wasserentnahmegebühr</b>	<b>2.5</b>
<b>Übrige Aufwendungen</b>	<b>77.5</b>
Grundstücke und Gebäude (inkl. Personal für Bewachung)	27.7
<i>Versicherungen</i>	13.1
<i>Maschinenbruchversicherung *)</i>	2.6
<i>Verbundene Sachversicherung *)</i>	3.0
<i>Haftpflichtversicherung nuklear *)</i>	7.5
<i>Verschiedene Versicherungen *)</i>	<0.1
Mieten und Pachten	3.3
Geschäfts- und Verwaltungskosten	28.3
Soziale Aufwendungen	0.9
Sonstige Aufwendungen	4.2
<b>Betrieblich nicht beeinflussbare Kosten</b>	<b>1.7</b>

\*) Ausgangswert und Reduktionsfaktor von Arbeitsgruppe vorgegeben

Tabelle 57: Kostenaufteilung des Arbeitspakets „Rückbaubetrieb“, KKG

Der Rückbaubetrieb in der Studie 2011 liegt für KKG 117 Mio. CHF über dem teuerungs- bereinigten Wert der Studie 2001.

Eine Gegenüberstellung dieser Kosten aus den Studien 2001 und 2011 zeigt Tabelle 58.

	Studie 2001 (eskaliert auf Preisbasis 2011) [MCHF]		Studie 2011 [MCHF]	Differenz (Studie 2011 minus Studie 2001) [MCHF]
<b>Behördliche Projektbegleitung, Baustellenbetrieb und Objektschutz, Projekt- und Bauleitung</b>	<b>198.3</b>	<b>Rückbaubetrieb</b>	<b>314.9</b>	<b>116.6</b>
Bewachung der Anlage	5.2	Bewachung der Anlage	27.7	22.5
Versicherungen	10.1	Versicherungen	13.1	3.0
Behörde und Gutachter	5.7	Behörde und Gutachter	21.7	16.0
Personal- und Sachkosten	177.3	Personal- und Sachkosten	252.4	75.1

*Tabelle 58: Vergleich der Kosten für den Rückbaubetrieb, KKG*

KKL

Bezeichnung	Gesamtkosten [MCHF]
<b>Summe Rückbaubetrieb</b>	<b>413.3</b>
<b>Personalkosten</b>	<b>223.5</b>
Personalkosten Stammpersonal	193.3
Personalkosten	14.6
Personal Servicebereich Gesellschafter	15.6
<b>Betriebs- und Unterhaltssachkosten (ohne Betriebsabfälle)</b>	<b>107.0</b>
Energiekosten	29.1
Heizölverbrauch	9.9
Wasserverbrauch	3.5
Stromverbrauch	15.7
Verschiedenes	4.4
Laufende Instandhaltung	46.2
<i>ENSI-Kosten *)</i>	26.9
Umgebungsüberwachung	0.3
<b>Wasserentnahmegebühr</b>	<b>3.2</b>
<b>Übrige Aufwendungen</b>	<b>79.4</b>
Grundstücke und Gebäude (inkl. Personal für Bewachung)	30.6
<i>Versicherungen</i>	19.1
<i>Maschinenbruchversicherung *)</i>	4.8
<i>Verbundene Sachversicherung *)</i>	4.9
<i>Haftpflichtversicherung nuklear *)</i>	9.3
<i>Verschiedene Versicherungen *)</i>	0.1
Mieten und Pachten	0.1
Geschäfts- und Verwaltungskosten	15.7
Soziale Aufwendungen (inkl. Personal für Personalrestaurant)	3.6
Sonstige Aufwendungen	10.3
<b>Betrieblich nicht beeinflussbare Kosten</b>	<b>0.3</b>

\*) Ausgangswert und Reduktionsfaktor von Arbeitsgruppe vorgegeben

Tabelle 59: Kostenaufteilung des Arbeitspakets „Rückbaubetrieb“, KKL

Der Rückbaubetrieb in der Studie 2011 liegt für KKM 184 Mio. CHF über dem teuerungsbereinigten Wert der Studie 2001.

Eine Gegenüberstellung dieser Kosten aus den Studien 2001 und 2011 zeigt Tabelle 60.

	Studie 2001 (eskaliert auf Preisbasis 2011) [MCHF]		Studie 2011 [MCHF]	Differenz (Studie 2011 minus Studie 2001) [MCHF]
<b>Behördliche Projektbegleitung, Baustellenbetrieb und Objektschutz, Projekt- und Bauleitung</b>	<b>229.1</b>	<b>Rückbaubetrieb</b>	<b>413.3</b>	<b>184.2</b>
Bewachung der Anlage	4.6	Bewachung der Anlage (nur Leistungen von externen)	3.2	-1.4
Versicherungen	10.6	Versicherungen	19.1	8.5
Behörde und Gutachter	6.1	Behörde und Gutachter	26.9	20.8
Personal- und Sachkosten	207.8	Personal- und Sachkosten	364.1	156.3

Tabelle 60: Vergleich der Kosten für den Rückbaubetrieb, KKL

Zwilag

Bezeichnung	Gesamtkosten [MCHF]
<b>Rückbaubetrieb</b>	<b>53.30</b>
<b>Personalkosten</b>	<b>17.51</b>
Personalkosten Stammpersonal	17.51
<b>Material + Fremdleistungen</b>	<b>17.06</b>
Unterhalt unbewegliche Sachanlagen (500)	3.12
Hilfs- und Betriebsstoffe (Energie, Filter, Wasser) ( 502)	1.46
Unterhalt Betriebs- und Geschäftsausstattungen (503)	4.85
Fremdleistungen Betrieb	0.50
Umgebungsüberwachung	0.48
Bewachung (Fremdpersonal des KKB)	6.65
<b>Übriger Betriebsaufwand</b>	<b>16.97</b>
Büro- und Verwaltungsaufwand	0.78
Beratungen und Dienstleistungen	0.73
Versicherung Haftpflicht	0.58
Versicherung Sachversicherung	0.29
Versicherung Maschinenbruch	0.10
Mieten/Benutzungsentsch.	0.51
Vergütungen Spesen	0.45
Standortentschädigungen Gemeinde	9.03
Behördliche Überwachung (Ensi)	4.49
<b>Steuern</b>	<b>1.77</b>
Gemeindeabgabe (Pauschale mit Gemeindeabgabe)	1.00
Staatssteuer, übrige Steuern	0.77

Tabelle 61: Kostenaufteilung des Arbeitspakets „Rückbaubetrieb“, Zwilag

### 5.3 Zusammenfassung der Stilllegungsdauer und Stilllegungskosten

Tabelle 62 fasst die Betriebsjahre und die im Kapitel 4.6 aufgezeigten Stilllegungszeiten der Schweizer KKW und deren Lager zusammen

Anlage	IBN von	ABN bis inkl.	NBP		Stilllegung			
			von	bis inkl.	von	Freigabe Gebäude bis. inkl.	Ende konv. Abriss bis. inkl.	Jahre nach ABN bis grüne Wiese
KKB <sup>a)</sup>	1970	2020	2021	2025	2021	2035	2037	17
KKM	1972	2022	2023	2027	2023	2036	2037	15
KKG	1979	2029	2030	2034	2030	2043	2046	17
KKL	1984	2034	2035	2039	2035	2050	2054	20
KKG Nasslager	2008	2047	keine		2048		2049	2
Zwibez	2008	2063	keine		2064		2066	3
Zwilag	2000	2064	keine		2065		2069	5

<sup>a)</sup> Für die jährliche Verteilung der Tiefenlagerkosten wird der Einfachheit halber für beide Blöcke des KKB das Jahr 2020 als "mittleres" Stilllegungsjahr verwendet.

Tabelle 62: Inbetriebnahme (IBN)-Jahre und Ausserbetriebnahme (ABN)-Jahre sowie Stilllegungszeiten der Schweizer KKW, Lager an den KKW-Standorten sowie des Zwilag

Die Resultate der Kostenschätzung sind in der Tabelle 63 zusammengefasst und belaufen sich auf 2'974 Mio. CHF.

Die Stilllegungskosten der im Jahre 2006 aktualisierten Studie 2001 /10/ sind ebenfalls aufgeführt und mit den Kosten der KS11 auf Preisbasis 01.01.2011 verglichen. Die im Kapitel 4 erläuterten Veränderungen tragen hauptsächlich zu einem realen Anstieg der Stilllegungskosten von 17 % bei. Der Rückbaubetrieb verursacht für die Stilllegung des KKW Beznau einen stärkeren Kostenanstieg, da Beznau aus zwei Blöcken besteht. Die Stilllegungsstudie 2011 des Zwilag wurde zum ersten Mal auf einer mit den KKW-Studien einheitlichen Basis durchgeführt. Die Studien 2006 und 2011 des Zwilag sind nicht nur deswegen schwer vergleichbar, sondern auch weil für das Zwilag ein wesentliches Kostenelement (Rückbaubetrieb) aus den Entsorgungskosten neu den Stilllegungskosten zugewiesen wurde. Die resultierenden Kosten sind jedoch vollständigshalber hier aufgeführt.

	KKB	KKM	KKG	KKL	ZZL	Total
KS11 PB11	809	487	663	920	95	2'974
KS06 PB11	631	440	605	835	31	2'541
Differenz Absolut	178	47	59	86	64	433
Differenz (%)	28%	11%	10%	10%	204%	17%

Tabelle 63: Vergleich der Stilllegungskosten, Studie 2011 und Studie 2001 auf Basis der Aktualisierung 2006 (Preisbasis 2011)

## 5.4 Währungsanteile bei den Stilllegungskosten

Die ermittelten Stilllegungskosten für die Schweizer Kernkraftwerke sind in Schweizer Franken angegeben. Da bis heute keine grösseren Stilllegungsprojekte auf dem kerntechnischen Gebiet in der Schweiz abgewickelt wurden, ist der Bestand an Firmen, die auf diesem Gebiet tätig sind, gering. Deshalb erscheint es aus heutiger Sicht wahrscheinlich, dass einige Lieferungen und Leistungen für den Rückbau eines Kernkraftwerkes im Ausland eingekauft werden müssen. Diese Lieferungen und Leistungen sind auf dem europäischen Markt verfügbar (z.B. Frankreich und Deutschland), so dass eine Aufteilung der Stilllegungskosten in Schweizer Franken und Euro momentan ausreichend ist.

Legt man die aktuellen Stilllegungsstudien zugrunde, zeigen sich folgende Aspekte, für die ausländische Firmen die in Frage kommen können:

- Lieferung von hoch abschirmenden Behältern für die Lagerung radioaktiver Abfälle (z.B. MOSAIK-Behälter)
- Fernhantierungseinrichtungen für die Demontage der RDB-Einbauten und des RDB selbst
- Verfahren zur Systemdekontamination
- Personelle Unterstützung bei der Planung und Durchführung des Rückbaus (Annahme: rund 30 % des Personalaufwandes ohne Rückbaubetrieb)

Legt man die geschätzten Kosten für die oben genannten Lieferungen und Leistungen in den Stilllegungskosten zugrunde, ergibt sich nach Abschätzung der NIS ein Euro-Anteil von rund 17 %. 2006 wurde ein Anteil von 25 % geschätzt. Der Rückgang ist vorwiegend auf die Zunahme der Kosten des Rückbaubetriebs zurückzuführen, die im Schweizer Franken anfallen.

Der Währungsanteil ist für weitergehende Analysen und Währungsabsicherungen bei den Rückstellungen angegeben und wird in der vorliegenden Studie nicht verwendet. Alle Kosten sind in Schweizer Franken ausgewiesen.

## 5.5 Resümee

In die Stilllegungsstudie 2011 und die darin enthaltene Stilllegungskostenermittlung sind die Erfahrungen und Erkenntnisse der NIS aus den laufenden Stilllegungsprojekten eingeflossen. Die wesentlichen Änderungen gegenüber der Studie 2001 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Einige Stilllegungsarbeiten werden bereits während der Nachbetriebsphase durchgeführt (z.B. Ausserbetriebnahmen, Systemdekontamination, Einrichtung von Ersatzsystemen).
- Möglichst früh im Projekt werden die aktivierten RDB-Einbauten demontiert, um Wasser führende Systeme ausser Betrieb nehmen zu können und dadurch Instandhaltungs- und Wartungsaufwand zu reduzieren.
- Die durch das Schweizer Entsorgungskonzept vorgegebenen Randbedingungen (z.B. Einstellen von Fässern und MOSAIK-Behälter in Lagercontainer erst am Standort des geologischen Tiefenlagers) führen zu höheren Kosten für die Verpackung der radioaktiven Abfälle (z.B. MOSAIK-Behälter) und den Transport zum geologischen Tiefenlager (siehe Kapitel 4.3.1 und 4.4). Die zuteilbaren Kosten für das geologische Tiefenlager sind ebenfalls gestiegen (siehe 4.5).



- Der Demontageaufwand und die Dauer für die Rückbauarbeiten haben sich durch Umsetzen der gewonnenen Erfahrungen und Erkenntnisse im Stilllegungskonzept erhöht bzw. verlängert (siehe Kapitel 4.6.3 und 4.8).
- Der Rückbaubetrieb wurde aufgrund der neuen Erkenntnisse komplett neu bewertet. Die neuen Ansätze sind massgeblich für die Gesamtkostensteigerung verantwortlich.
- Wenn die Planungen in der Zukunft noch detaillierter werden, bestehen Optimierungsmöglichkeiten in verschiedenen Bereichen, z.B. Materialbehandlung und Entsorgung (Stichwort: Schmelzen, Verpackung), Einsatz von Ersatzsystemen (Stichwort: Instandhaltung und Wartungsmassnahmen) oder Ablaufplanung der Rückbaumassnahmen (Stichwort: Zeitoptimierung).

## A Anhänge

### A.1 NIS Referenzliste

Für folgende Anlagen hat NIS Stilllegungskonzepte entwickelt und die damit verbundenen Stilllegungskosten ermittelt (z.T. inzwischen mehrfach aktualisiert):

#### Niederlande

- Kernkraftwerk Borssele, Druckwasserreaktor 480 MWel (netto), Betrieb seit 1973  
Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (zuletzt aktualisiert 2010)
- Kernkraftwerk Dodewaard, Siedewasserreaktor 58 MWel (brutto) von General Electric, Betrieb ab 1969, Stilllegung seit März 1997  
Während der Betriebszeit Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (1994); mit Beginn der Stilllegung Nachführung der Stilllegungskosten (1997, 1999, zuletzt aktualisiert 2010)  
Die Stilllegungskostenermittlung von 1997 wurde im Auftrag des niederländischen Ministeriums für Soziales und Arbeit von der TU Delft einer umfangreichen Untersuchung unterzogen, und die Ergebnisse konnten verifiziert werden.
- Forschungsreaktor der Uni Delft 2 MWth, Betrieb seit 1963  
Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (2010)
- Forschungsreaktor des Forschungszentrum in Petten 45 MWth, Betrieb seit 1962  
Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (2005, Aktualisierung 2011)

#### Belgien

- Tihange 1, Druckwasserreaktor 962 MWel (netto), Betrieb seit 1975  
Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (zuletzt aktualisiert 2010)
- Tihange 2, Druckwasserreaktor 1'008 MWel (netto), Betrieb seit 1983  
Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (zuletzt aktualisiert 2010)
- Tihange 3, Druckwasserreaktor 1'015 MWel (netto), Betrieb seit 1985  
Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (zuletzt aktualisiert 2010)
- Doel 1/2, Doppelblockanlage mit Druckwasserreaktor 392 bzw. 433 MWel (netto), Betrieb seit 1975  
Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (zuletzt aktualisiert 2010)
- Doel 3, Druckwasserreaktor 1'006 MWel (netto), Betrieb seit 1982  
Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (zuletzt aktualisiert 2010)
- Doel 4, Druckwasserreaktor 1'008 MWel (netto), Betrieb seit 1985  
Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (zuletzt aktualisiert 2010)

- MOX Brennelemente-Fabrik in Dessel  
Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (zuletzt aktualisiert 2007)

### **Slowenien/Kroatien**

- Krško, Druckwasserreaktor 664 MWel (brutto), Betrieb seit 1981  
Ermittlung der Stilllegungskosten zur Bildung von Rückstellungen (zuletzt aktualisiert 2010)  
Die Ergebnisse der Studie wurden 2010 in einer Expert Mission der IAEA einer eingehenden Überprüfung unterzogen und bestätigt.

### **Frankreich**

- Cattenom, Druckwasserreaktor 1'300 MWel (brutto), Betrieb seit 1986  
Ermittlung der Stilllegungskosten zur Bildung von Rückstellungen (2008)

### **Italien**

- Caorso, Siedewasserreaktor 840 MWel von Ansaldo/Getesco, Betrieb ab 1978, Stilllegung seit 1990  
Stilllegungskostenermittlung zur Budgetierung des Stilllegungsprojektes (1999)
- Trino Vercellese, Druckwasserreaktor 260 MWel von Westinghouse, Betrieb ab 1964, Stilllegung seit 1990  
Stilllegungskostenermittlung zur Budgetierung des Stilllegungsprojektes (1999)
- Garigliano, Siedewasserreaktor 160 MWel von Igeosa, Betrieb ab 1963, Stilllegung seit 1982  
Stilllegungskostenermittlung zur Budgetierung des Stilllegungsprojektes (2000)

### **Schweiz**

- Beznau; Doppelblockanlage mit Druckwasserreaktor 2 x 380 MWel von Westinghouse, Betrieb seit 1969 bzw. 1971  
Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (Ersterstellung 2002 und zuletzt aktualisiert 2006)
- Gösgen, Druckwasserreaktor 1'020 MWel von Siemens/KWU, Betrieb seit 1979  
Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (Ersterstellung 2001 und zuletzt aktualisiert 2006)
- Leibstadt, Siedewasserreaktor 1'145 MWel von General Electric, Betrieb seit 1984  
Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (Ersterstellung 2001 und zuletzt aktualisiert 2006)
- Mühleberg, Siedewasserreaktor 373 MWel von General Electric, Betrieb seit 1972  
Stilllegungskostenermittlung zur Bildung von Rückstellungen (Ersterstellung 2001 und zuletzt aktualisiert 2006)

## A.2 Herleitung der Stilllegungskosten 2006 und 2011

Tabelle 64 fasst die Aktualisierung der Studie 2001 im Jahre 2006 zusammen /10/.

Die technische Aktualisierung der Kostenstudie 2001 (inklusive stilllegungspflichtiger Neubauten) im Jahr 2006 führte wegen der angenommenen längeren Nutzungsdauer (50 statt 40 Betriebsjahre) zu einem Anstieg der Kosten um 3 % (Preisbasis 2001). Diese Kosten werden mit einer Teuerung von 3 % pro Jahr gemäss SEFV auf Preisbasis 2006 hochgerechnet. Unter Berücksichtigung der Grenzkosten für die SA im SMA-Lager (gemäss KS06), der Stilllegungskosten des Zwiilag und den Zwischenlagerungskosten der SA des KKM ergibt sich die Gesamtsumme von 2'192 Mio. CHF (Preisbasis 2006) für die Stilllegung der KKW und des Zwiilag. Für den Vergleich mit der KS11 werden diese Kosten weiter mit 3 % Teuerung pro Jahr auf Preisbasis 2011 hochgerechnet. Die resultierenden Gesamtkosten der Kostenstudie 2001 zu Preisen des Jahres 2011 betragen demnach 2'541 Mio. CHF.

	KKB	KKG	KKL	KKM	ZZL	Total
<b>NIS Studie 2001 PB01 aktualisiert 2006 inkl. alter Tiefenlagerkosten 2001</b>	482	451	630	326		1889
<i>%abzüglich alter Tiefenlagerkosten</i>	46	24	47	20		137
<b>NIS Studie 2001 PB01 aktualisiert 2006 exkl. alter Tiefenlagerkosten 2001</b>	436	427	583	306		1'751
<i>zuzüglich 50 Jahre KKW Betrieb (+3%)</i>	13	13	17	9		53
<b>NIS Studie 2001 PB01 aktualisiert 2006 50J</b>	449	440	600	315		1'804
<i>Aktualisierung PB06 (SEFV, 3%/Jahr)</i>	71	70	96	50		287
<b>NIS Studie 2001 PB06 aktualisiert 2006 50J</b>	520	510	696	366		2'118
<i>zuzüglich neuer Tiefenlagerkosten KS06</i>	24	12	24	10		70
<i>zuzüglich Stilllegungskosten Zwiilag</i>					27	27
<i>zuzüglich Zwischenlagerung von SA des KKM im Zwiilag</i>				4		4
<b>Total KS06 PB06</b>	<b>544</b>	<b>522</b>	<b>720</b>	<b>379</b>	<b>27</b>	<b>2'192</b>
<i>Aktualisierung PB11 (SEFV, 3%/Jahr)</i>	87	83	115	60	4	349
<b>Total KS06 PB11</b>	<b>631</b>	<b>605</b>	<b>835</b>	<b>440</b>	<b>31</b>	<b>2'541</b>

Tabelle 64: Zusammenfassung der Stilllegungskosten, Studie 2006 (Mio. CHF)

Die Stilllegungsstudie wurde begonnen, bevor die Schätzung der Entsorgungskosten der Stilllegungsabfälle im geologischen Tiefenlager SMA vorlag. Die in den Stilllegungsstudien der jeweiligen KKW und des Zwiilag durch NIS rapportierten Stilllegungskosten basieren daher auf provisorischen Grenzkosten. Die von der Nagra effektiv geschätzten Kosten liegen ca. 10 % höher. In der Tabelle 65 sind die Resultate der Studie 2011 aufgeführt. Es werden die provisorischen Grenzkosten abgezogen und durch die von der Nagra ermittelten Kosten ersetzt. Zusätzlich werden die Kosten für die Auslagerung der Stilllegungsabfälle aus dem Zwiilag/Zwibeiz berücksichtigt. Die Einlagerungskosten der KKM-SA ins Zwiilag sind unter den Entsorgungskosten aufgeführt.

	<b>KKB</b>	<b>KKG</b>	<b>KKL</b>	<b>KKM</b>	<b>ZZL</b>	<b>Total</b>
NIS Studie 2011 PB11 inkl. prov. Tiefenlagerkosten	804	661	917	483	95	2'960
<i>abzüglich prov Tiefenlagerkosten</i>	29	18	33	17	2	98
NIS Studie 2011 PB11 exkl. prov. Tiefenlagerkosten	775	643	884	466	93	2'861
<i>zuzüglich def. Tiefenlagerkosten</i>	32	20	36	18	2	109
<b>NIS Studie 2011 PB11 inkl def.Tiefenlagerkosten</b>	<b>807</b>	<b>663</b>	<b>920</b>	<b>485</b>	<b>95</b>	<b>2'971</b>
<i>zuzüglich Auslagerung von SA des KKM (ZZL) und KKB (Zwibez)</i>	2			2		4
<b>Stilllegungskosten KS11 PB11</b>	<b>809</b>	<b>663</b>	<b>920</b>	<b>487</b>	<b>95</b>	<b>2'974</b>

Tabelle 65: Zusammenfassung der Stilllegungskosten, Studie 2011 (Mio. CHF)

## **A.3 Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen**

### **A.3.1 Abbildungsverzeichnis**

<i>Abbildung 1: Schritte des in der Schweiz beschrifteten Entsorgungspfades für radioaktive Abfälle (Quelle: Nagra).....</i>	<i>4</i>
<i>Abbildung 2: Zeitlicher Anfall der radioaktiven Abfälle (in m<sup>3</sup>) der bestehenden Kernkraftwerke der Schweiz bei einer Betriebsdauer von 50 Jahren und aus dem MIF-Bereich für eine Sammelperiode bis 2050, Volumen der konditionierten, in Endlager-Behälter verpackten Abfälle. (Quelle: Nagra).....</i>	<i>5</i>
<i>Abbildung 3: Betriebs-, Nachbetriebs- und Stilllegungszeiten der wichtigsten Kernanlagen bei einer Betriebsdauer der Kernkraftwerke von 50 Jahren (vereinfachte Darstellung).....</i>	<i>6</i>
<i>Abbildung 4: Relation zwischen der Bewilligungssituation und der Finanzierung der Nachbetriebsphase sowie der Stilllegung.....</i>	<i>43</i>

### A.3.2 Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1:</i>	<i>Erfasste Massen des KKW Beznau (ohne Gebäudemassen unterhalb -2 m).....</i>	<i>18</i>
<i>Tabelle 2:</i>	<i>Erfasste Massen des KKW Mühleberg (ohne Gebäudemassen unterhalb -2 m).....</i>	<i>19</i>
<i>Tabelle 3:</i>	<i>Erfasste Massen des KKW Gösgen (ohne Gebäudemassen unterhalb -2 m).....</i>	<i>20</i>
<i>Tabelle 4:</i>	<i>Erfasste Massen des KKW Leibstadt (ohne Gebäudemassen unterhalb -2 m).....</i>	<i>20</i>
<i>Tabelle 5:</i>	<i>Erfasste Massen des Zwiilag .....</i>	<i>21</i>
<i>Tabelle 6:</i>	<i>Verteilung der Massen aus der kontrollierten Zone auf die Entsorgungsziele, KKB.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabelle 7:</i>	<i>Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA, KKB.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabelle 8:</i>	<i>Verteilung der Massen aus der kontrollierten Zone auf die Entsorgungsziele, KKM.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabelle 9:</i>	<i>Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA, KKM.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabelle 10:</i>	<i>Verteilung der Massen aus der kontrollierten Zone auf die Entsorgungsziele, KKG .....</i>	<i>24</i>
<i>Tabelle 11:</i>	<i>Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA, KKG .....</i>	<i>25</i>
<i>Tabelle 12:</i>	<i>Verteilung der Massen aus der kontrollierten Zone auf die Entsorgungsziele, KKL.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabelle 13:</i>	<i>Radioaktive Abfälle für die geologische Tiefenlagerung SMA, KKL.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabelle 14:</i>	<i>Verteilung der Massen aus der kontrollierten Zone auf die Entsorgungsziele, Zwiilag.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabelle 15:</i>	<i>Verpackungsfaktoren.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabelle 16:</i>	<i>Verpackte Masse radioaktiver Abfälle und Anzahl Behälter bzw. Container, KKB .....</i>	<i>29</i>
<i>Tabelle 17:</i>	<i>Kosten der Behälter und der Zusatzabschirmungen (ohne LC1- und LC2- Kosten), KKB.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabelle 18:</i>	<i>Verpackte Masse radioaktiver Abfälle und Anzahl Behälter bzw. Container, KKM.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabelle 19:</i>	<i>Kosten der Behälter und der Zusatzabschirmungen (ohne LC1- und LC2- Kosten), KKM.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabelle 20:</i>	<i>Verpackte Masse radioaktiver Abfälle und Anzahl Behälter bzw. Container, KKG.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabelle 21:</i>	<i>Kosten der Behälter und der Zusatzabschirmungen (ohne LC1- und LC2- Kosten), KKG.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabelle 22:</i>	<i>Verpackte Masse radioaktiver Abfälle und Anzahl Behälter bzw. Container, KKL.....</i>	<i>35</i>

---

Tabelle 23:	<i>Kosten der Behälter und der Zusatzabschirmungen (ohne LC1- und LC2-Kosten), KKL</i> .....	36
Tabelle 24:	<i>Kosten für den Transport zum geologischen Tiefenlager SMA, KKB</i> .....	37
Tabelle 25:	<i>Kosten für den Transport zum geologischen Tiefenlager SMA, KKM</i> .....	38
Tabelle 26:	<i>Kosten für den Transport zum geologischen Tiefenlager SMA, KKG</i> .....	39
Tabelle 27:	<i>Kosten für den Transport zum geologischen Tiefenlager SMA, KKL</i> .....	40
Tabelle 28:	<i>Menge an radioaktivem Abfall, Behältertyp, -anzahl und -kosten sowie Transportkosten ins geologische Tiefenlager SMA, Zwiilag</i> .....	41
Tabelle 29:	<i>zuteilbare Lagerkosten auf Grenzkostenbasis, KS06 und KS11, PB11</i> .....	41
Tabelle 30:	<i>Voraussichtliche Dauer der Stilllegungs- und Rückbauarbeiten, KKB</i> .....	45
Tabelle 31:	<i>Voraussichtliche Dauer der Stilllegungs- und Rückbauarbeiten, KKM</i> .....	45
Tabelle 32:	<i>Voraussichtliche Dauer der Stilllegungs- und Rückbauarbeiten, KKG</i> .....	46
Tabelle 33:	<i>Voraussichtliche Dauer der Stilllegungs- und Rückbauarbeiten, KKL</i> .....	46
Tabelle 34:	<i>Arbeitspakete zur Planung und Kostenermittlung der Stilllegungskosten</i> .....	48
Tabelle 35:	<i>Prozentuale Aufteilung der Inhalte der Arbeitspakete „Dekontamination“ und „Strahlen- und Arbeitsschutz“ aus der Studie 2002 auf Arbeitspakete 2011, KKB</i> .....	49
Tabelle 36:	<i>Prozentuale Aufteilung der Inhalte der Arbeitspakete „Dekontamination“ und „Strahlen- und Arbeitsschutz“ aus der Studie 2001 auf Arbeitspakete 2011, KKM</i> .....	50
Tabelle 37:	<i>Prozentuale Aufteilung der Inhalte der Arbeitspakete „Dekontamination“ und „Strahlen- und Arbeitsschutz“ aus der Studie 2001 auf Arbeitspakete 2011, KKG</i> .....	51
Tabelle 38:	<i>Prozentuale Aufteilung der Inhalte der Arbeitspakete „Dekontamination“ und „Strahlen- und Arbeitsschutz“ aus der Studie 2001 auf Arbeitspakete 2011, KKL</i> .....	52
Tabelle 39:	<i>Personalaufwand und Kollektivdosis nach Arbeitspaket, KKB</i> .....	54
Tabelle 40:	<i>Personalaufwand und Kollektivdosis nach Arbeitspaket, KKM</i> .....	54
Tabelle 41:	<i>Personalaufwand und Kollektivdosis nach Arbeitspaket, KKG</i> .....	55
Tabelle 42:	<i>Personalaufwand und Kollektivdosis nach Arbeitspaket, KKL</i> .....	55
Tabelle 43:	<i>Personalaufwand und Kollektivdosis nach Arbeitspaket, Zwiilag</i> .....	56
Tabelle 44:	<i>Stilllegungskosten für das KKW Beznau</i> .....	59
Tabelle 45:	<i>Neue Aufteilung der Massnahmen der Arbeitspakete „Dekontamination“ und „Strahlen- und Arbeitsschutz“, KKB</i> .....	60
Tabelle 46:	<i>Stilllegungskosten für das KKW Mühleberg</i> .....	62
Tabelle 47:	<i>Neue Aufteilung der Massnahmen der Arbeitspakete „Dekontamination“ und „Strahlen- und Arbeitsschutz“, KKM</i> .....	63
Tabelle 48:	<i>Stilllegungskosten für das KKW Gösgen</i> .....	65



<i>Tabelle 49:</i>	<i>Neue Aufteilung der Massnahmen der Arbeitspakete „Dekontamination“ und „Strahlen- und Arbeitsschutz“, KKG.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabelle 50:</i>	<i>Stilllegungskosten für das KKW Leibstadt .....</i>	<i>68</i>
<i>Tabelle 51:</i>	<i>Neue Aufteilung der Massnahmen der Arbeitspakete „Dekontamination“ und „Strahlen- und Arbeitsschutz“, KKL.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabelle 52:</i>	<i>Stilllegungskosten für das Zwiilag.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabelle 53:</i>	<i>Kostenaufteilung des Arbeitspakets „Rückbaubetrieb“, KKB .....</i>	<i>73</i>
<i>Tabelle 54:</i>	<i>Vergleich der Kosten für den Rückbaubetrieb, KKB .....</i>	<i>74</i>
<i>Tabelle 55:</i>	<i>Kostenaufteilung des Arbeitspakets „Rückbaubetrieb“, KKM .....</i>	<i>75</i>
<i>Tabelle 56:</i>	<i>Vergleich der Kosten für den Rückbaubetrieb, KKM.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabelle 57:</i>	<i>Kostenaufteilung des Arbeitspakets „Rückbaubetrieb“, KKG.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabelle 58:</i>	<i>Vergleich der Kosten für den Rückbaubetrieb, KKG .....</i>	<i>78</i>
<i>Tabelle 59:</i>	<i>Kostenaufteilung des Arbeitspakets „Rückbaubetrieb“, KKL .....</i>	<i>79</i>
<i>Tabelle 60:</i>	<i>Vergleich der Kosten für den Rückbaubetrieb, KKL.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabelle 61:</i>	<i>Kostenaufteilung des Arbeitspakets „Rückbaubetrieb“, Zwiilag.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabelle 62:</i>	<i>Inbetriebnahme (IBN)-Jahre und Ausserbetriebnahme (ABN)-Jahre sowie Stilllegungszeiten der Schweizer KKW, Lager an den KKW-Standorten sowie des Zwiilag.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabelle 63:</i>	<i>Vergleich der Stilllegungskosten, Studie 2011 und Studie 2001 auf Basis der Aktualisierung 2006 (Preisbasis 2011) .....</i>	<i>81</i>
<i>Tabelle 64:</i>	<i>Zusammenfassung der Stilllegungskosten, Studie 2006 (Mio. CHF) .....</i>	<i>86</i>
<i>Tabelle 65:</i>	<i>Zusammenfassung der Stilllegungskosten, Studie 2011 (Mio. CHF) .....</i>	<i>87</i>

## A.4 Literaturverzeichnis

- /1/ Kostenstudie 2011 (KS11) - Mantelbericht., swissnuclear Bericht, 13. Oktober 2011, Olten, Schweiz.
- /2/ Kostenstudie 2011 (KS11), Schätzung der Entsorgungskosten der Schweizer Kernkraftwerke, swissnuclear Bericht, 13. Oktober 2011, Olten, Schweiz.
- /3/ Kostenstudie 2011 (KS11), Schätzung der Kosten der Nachbetriebsphase der Schweizer Kernkraftwerke, swissnuclear Bericht, 13. Oktober 2011, Olten, Schweiz.
- /4/ Kernenergiegesetz vom 21. März 2003 (KEG)  
SR 732.1  
Stand 01. Januar 2009
- /5/ Kernenergieverordnung vom 10. Dezember 2004 (KEV)  
SR 732.11  
Stand 01. Januar 2009
- /6/ Verordnung vom 7. Dezember 2007 über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen (Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung, SEFV)  
SR 732.17  
Stand 01. Februar 2008
- /7/ Strahlenschutzgesetz (StSG) vom 22. März 1991  
SR 814.50  
Stand 01. Januar 2007
- /8/ Strahlenschutzverordnung (StSV) vom 22. Juni 1994  
SR 814.501  
Stand 01. Januar 2011
- /9/ Entsorgungsprogramm 2008 der Entsorgungspflichtigen, Nagra Technischer Bericht NTB 08-01. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- /10/ Kostenstudie 2006 (KS06), Aktualisierung der Stilllegungskosten, swissnuclear Bericht BET/06/001 Rev. 2, Olten, Schweiz.
- /11/ Kostenstudie 2006 (KS06), Aktualisierung der Entsorgungskosten der Schweizer Kernkraftwerke, swissnuclear Bericht BET/06/002 Rev. 2, Olten, Schweiz.
- /12/ Kostenstudie 2006 (KS06), Ermittlung der Kosten für die Nachbetriebsphase der Schweizer Kernkraftwerke, swissnuclear Bericht BET/06/003 Rev. 1, Olten, Schweiz.
- /13/ Bundesgesetz vom 13. März 1964 über die Arbeit in Industrie, Gewerbe und Handel (Arbeitsgesetz, ArG)  
SR 822.11  
Stand 01. August 2008
- /14/ Verordnung 1 zum Arbeitsgesetz (ArGv 1) vom 10. Mai 2000  
SR 822.111  
Stand 01. Juni 2009

- /15/ Verordnung 2 zum Arbeitsgesetz (ArGV 2) vom 10. Mai 2000  
(Sonderbestimmungen für bestimmte Gruppen von Betrieben oder Arbeitnehmern  
und Arbeitnehmerinnen)  
SR 822.112  
Stand 01. Januar 2010
- /16/ Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz (ArGV 3) vom 18. August 1993  
(Gesundheitsvorsorge)  
SR 822.113  
Stand 01. Januar 2008
- /17/ Verordnung 4 zum Arbeitsgesetz (ArGV 4) vom 18. August 1993  
(Industrielle Betriebe, Plangenehmigung und Betriebsbewilligung)  
SR 822.114  
Stand 01. Juni 2009
- /18/ Verordnung vom 19. Dezember 1983 über die Verhütung von Unfällen und Berufs-  
krankheiten (Verordnung über die Unfallverhütung [VUV])  
SR 832.30  
Stand 01. Januar 2009
- /19/ Gesuchsunterlagen für freigabepflichtige Änderungen an kerntechnischen Anlagen  
ENSI-A04/d  
Juli 2008, Revision vom 24. September 2009
- /20/ Freimessen von Materialien und Bereichen aus kontrollierten Zonen  
ENSI-B04/d  
August 2009
- /21/ Anforderungen an die Konditionierung radioaktiver Abfälle  
HSK-B05/d  
Februar 2007
- /22/ Ausbildung, Wiederholungsschulungen und Weiterbildung von Personal  
ENSI-B10/d  
Oktober 2010
- /23/ Ausbildung und Fortbildung des Strahlenschutzpersonals  
ENSI-B13/d  
November 2010
- /24/ Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen  
an den Sicherheitsnachweis  
ENSI-G03/d  
April 2009
- /25/ Auslegung und Betrieb von Lagern für radioaktive Auslegung und Betrieb von La-  
gern für radioaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente  
ENSI-G04/d  
September 2010
- /26/ Transport- und Lagerbehälter für die Zwischenlagerung  
ENSI-G05/d  
April 2008

- /27/ Organisation von Kernanlagen  
ENSI-G07/d  
April 2008
- /28/ Strahlenschutzmessmittel in Kernanlagen:  
Konzepte, Anforderungen und Prüfungen  
ENSI-G13/d  
Februar 2008
- /29/ Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung aufgrund von Emissionen  
radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen  
ENSI-G14/d  
Februar 2008, Revision 1 vom 21. Dezember 2009
- /30/ Strahlenschutzziele für Kernanlagen  
ENSI-G15/d  
November 2010
- /31/ Richtlinie für den überwachten Bereich der Kernanlagen und des Paul Scherrer Insti-  
tuts  
HSK-R-07/d  
Juni 1995
- /32/ Erfassung und Meldung der Dosen des strahlenexponierten Personals in Kernanlagen  
und des Paul Scherrer Instituts  
HSK-R-12/d  
Oktober 1997
- /33/ Sicherheitstechnische Anforderungen an die Sicherung von Kernanlagen  
HSK-R-49/d  
Dezember 2003
- /34/ Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen (VAPK)  
732.143.1  
Stand Januar 2009
- /35/ Decommissioning Strategies for Facilities Using Radioactive Material  
IAEA Safety Reports Series  
No. 50  
Vienna 2007
- /36/ Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors Safety Guide  
IAEA Safety Standards Series  
No. WS-G-2.1  
Vienna 1999
- /37/ Organization and Management for Decommissioning of Large Nuclear Facilities  
IAEA Technical Reports Series  
No. 399  
Vienna 2000
- /38/ Release of Sites from Regulatory Control on Termination of Practices Safety Guide  
IAEA Safety Standards Series  
No. WS-G-5.1  
Vienna 2006

- /39/ The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection  
ICRP Publication 103, 2007
- /40/ Verordnung des UVEK vom 3. Dezember 1996 über die Beförderung gefährlicher Güter mit der Eisenbahn und mit Seilbahnen (RSD)  
SR 742.401.6  
Stand 01. Januar 2009
- /41/ Verordnung vom 29. November 2002 über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (SDR)  
SR 741.621  
Stand 01. Januar 2010
- /42/ Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, 2009 Edition Safety Requirements  
IAEA Safety Standards Series  
No. TS-R-1  
Vienna 2009
- /43/ Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material Safety Guide  
IAEA Safety Standards Series  
No. TS-G-1.1 (Rev. 1)  
Vienna 2008
- /44/ Decommissioning of Facilities Using Radioactive Material  
IAEA Safety Requirements  
No. WS-R-5  
Vienna 2006
- /45/ Stilllegungskonzept als Bestandteil der Planung neuer Kernanlagen in der Schweiz am Beispiel der Rahmenbewilligungsgesuche für die Anlagen zum Ersatz der Kernkraftwerke Beznau und Mühleberg  
Veröffentlichung zur KONTEC 2011  
Dresden, April 2011
- /46/ State of the Art Technology for Decontamination and Dismantling of Nuclear Facilities  
Technical Report Series No. 395  
International Atomic Agency  
Vienna 1999
- /47/ Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen  
Erfahrungen und Perspektiven  
Brenk Systemplanung GmbH  
Aachen, November 2009

## A.5 Begriffe

- *Entsorgung*: Konditionierung, Zwischenlagerung und Lagerung der radioaktiven Abfälle in einem geologischen Tiefenlager /4/;
- *Freimessung*: messtechnischer Nachweis, dass Materialien nicht mehr in den Geltungsbereich der Strahlenschutzverordnung /8/ fallen /5/;
- *Geologisches Tiefenlager*: Anlage im geologischen Untergrund, die geschlossen werden kann, sofern der dauernde Schutz von Mensch und Umwelt durch passive Barrieren sichergestellt wird /4/;
- *Instandhaltung*: alle Massnahmen zur Bewahrung und Wiederherstellung des Soll-Zustandes sowie zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes von Ausrüstungen und Systemen /5/;
- *Inaktiv*: Material, das nicht in den Geltungsbereich der Strahlenschutzverordnung fällt, gilt als inaktiv /20/;
- *Kernanlagen*: Einrichtungen zur Nutzung von Kernenergie, zur Gewinnung, Herstellung, Verwendung, Bearbeitung oder Lagerung von Kernmaterialien sowie zur Entsorgung von radioaktiven Abfällen im Sinne von Artikel 2 Absatz 1 Buchstabe c des Schweizer Kernenergiegesetzes /4/;
- *Konditionierung*: Gesamtheit der Operationen, mit denen radioaktive Abfälle für die Zwischenlagerung oder für die Lagerung in einem geologischen Tiefenlager vorbereitet werden; insbesondere die mechanische Verkleinerung, die Dekontamination, die Verpressung, die Verbrennung, die Einbettung in Abfallmatrizen und die Verpackung /4/;
- *Primärmasse*: Masse aller Komponenten und Einrichtungen der Kernanlage, die zu Beginn der Stilllegung vorhanden sind;
- *Radioaktive Abfälle*: radioaktive Stoffe oder radioaktiv kontaminierte Materialien, die nicht weiter verwendet werden /4/;
- *Rückbau*: die Demontage, die Zerlegung und Dekontamination der Einrichtungen, die Trennung der radioaktiven von den nicht radioaktiven Materialien und die Entsorgung der Abfälle (inkl. deren Konditionierung) sowie die Dekontamination und der Abriss der Gebäude;
- *Rückbaubetrieb*: Die während des Rückbaus notwendigen Massnahmen zur Aufrechterhaltung des Baustellenbetriebs. Der Rückbaubetrieb umfasst die Aufwendungen um den Rückbau zu ermöglichen und aufrechtzuerhalten
- *Sekundärmasse*: Massen, die während des Rückbaus erzeugt werden (z.B. Zonenkleidung, Folien, Dekontaminationsmittel, Flüssigkeiten);
- *Stilllegung*: alle Massnahmen zur Vorbereitung des Rückbaus (z.B. Erwirken der Stilllegungsverfügung mit dem Vorlegen des Stilllegungsprojektes, Ausserbetriebnahme

von Systemen) und des Rückbaus selbst (z.B. Demontage der Einrichtungen und Abriss der Gebäude);

- *Stilllegungsprojekt*: Das Stilllegungsprojekt legt für die Stilllegung die Phasen und den Zeitplan, die einzelnen Schritte von Demontage und Abbruch, die Schutzmassnahmen, den Personalbedarf und die Organisation, die Entsorgung der radioaktiven Abfälle, die Gesamtkosten sowie die Sicherstellung der Finanzierung durch die Betreiberin dar /4/;
- *Zusatzmasse*: Masse aus den speziell für den Rückbau der Anlage neu installierten Komponenten und Einrichtungen (z.B. Fernbedienungs-, Zerlege-, Dekontaminations-einrichtungen).

## A.6 Verwendete Abkürzungen

ABN	Ausserbetriebnahme
AP	Arbeitspaket
ATA	alphatoxische Abfälle
BA	Betriebsabfälle der KKW
BE	abgebrannte Brennelemente
BFE	Bundesamt für Energie
BrK	Brennstoffkommission
CHF	Schweizer Franken
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
EP08	Entsorgungsprogramm 2008 der Entsorgungspflichtigen
EKRA	Expertengruppe Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle
GT	Geologisches Tiefenlager
HAA	hochaktive Abfälle
HAA-Lager	Geologisches Tiefenlager für hochaktive und langlebige mittelaktive Abfälle
HSK	Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen
IAEA	International Atomic Energy Agency
IBN	Inbetriebnahme
ICRP	International Commission on Radiological Protection
kCHF	Tausend Schweizer Franken
KEG	Kernenergiegesetz
KEV	Kernenergieverordnung
KKB	Kernkraftwerk Beznau
KKG	Kernkraftwerk Gösgen
KKL	Kernkraftwerk Leibstadt
KKM	Kernkraftwerk Mühleberg
KKW	Kernkraftwerk
KS06	Kostenstudie 2006
KS11	Kostenstudie 2011
kWh	Kilowattstunde
LMA	langlebige mittelaktive Abfälle
MCHF	Millionen Schweizer Franken (Mio. CHF)
MIF	Medizin, Industrie und Forschung
MWh	Megawatt-Stunden ( $10^6$ Watt-Stunden)
MWth	Megawatt thermisch (thermische Reaktorleistung)
MW <sub>therm</sub>	Megawatt thermisch (thermische Reaktorleistung)
NAGRA	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle
NBP	Nachbetriebsphase
NIS	NIS Ingenieurgesellschaft mbH
NL	Nasslager
p.a.	per annum (= pro Jahr)
PB06	Preisbasis 01.01.2006
PB11	Preisbasis 01.01.2011
PSI	Paul Scherrer Institut
RA	austauschbare Kernkomponenten der KKW (Reaktorabfälle)
RDB	Reaktordruckbehälter
SA	Stilllegungsabfälle der KKW
SAA	Schwachaktive Abfälle



SEFV	Verordnung über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen
SGT	Konzept Sachplan geologische Tiefenlager
SM	Schwermetall (= Uran und/oder Plutonium)
SMA	schwach- und mittelaktive Abfälle
SMA-Lager	Geologisches Tiefenlager für schwach- und mittelaktive Abfälle
StSG	Strahlenschutzgesetz
tSM	Tonnen Schwermetall (= Tonnen Uran und Plutonium)
tU	Tonnen Uran
TL	Tiefenlager
TLB	Transport- und Lagerbehälter
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
VA	Verpackungsanlage für BE und HAA
VABE	Verpackungsanlage für BE
VAHA	Verpackungsanlage für HAA
VGB	Verband der Großkessel-Besitzer e.V. als Fachverband der Strom- und Wärmeerzeugung als freiwilliger Zusammenschluss der Kraftwerksbetreiber und -hersteller
WA	Wiederaufarbeitung
WAA	Wiederaufarbeitungsabfälle
Zwibez	Zwischenlager Beznau (HAA, SAA)
Zwilag	Zwilag Zwischenlager Würenlingen AG
ZZL	Zentrales Zwischenlager