



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Realkosten der Atomenergie

**Bericht des Bundesrates in Beantwortung des Postulates
06.3714 Ory vom 14. Dezember 2006**

Mai 2008



Inhaltsverzeichnis

| | | |
|------|---------------------------------------------------------------|----|
| 1. | Einleitung | 3 |
| 2. | Leistung und Produktion | 4 |
| 3. | Kosten bestehender Kernkraftwerke | 5 |
| 3.1. | Kosten Bau, Betrieb der bestehenden Kernkraftwerke..... | 5 |
| 3.2. | Kosten Entsorgung, Stilllegung..... | 7 |
| 4. | Weitere Kosten | 8 |
| 4.1. | Kosten Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen..... | 8 |
| 4.2. | Kosten BFE | 9 |
| 4.3. | Kosten Forschung..... | 10 |
| 5. | Realkosten bestehender Kernkraftwerke | 11 |
| 6. | Kosten neuer Kernkraftwerke | 12 |
| | Literaturverzeichnis | 15 |



1. Einleitung

Am 14. Dezember 2006 reichte Frau Ständerätin Gisèle Ory ein Postulat ein mit folgendem Wortlaut:

„Der Bundesrat wird beauftragt, der Bundesversammlung einen umfassenden Bericht vorzulegen, der über die Realkosten der Atomenergie klar Auskunft gibt.

Der Bericht soll insbesondere die Zahlen zu den folgenden Punkten liefern:

- Kosten für den Bau der schweizerischen Kernreaktoren; Unterhaltskosten; Produktionskosten (Rohstoffe, Löhne, regelmässige Wartung, Transport usw.); voraussichtliche Amortisationsdauer;
- Kosten für Sicherheitskontrollen und Gutachten; Investitionen zur Gewährleistung und Erhöhung der Sicherheit;
- Kosten für die Wiederaufarbeitung der Abfälle; Kosten für die Zwischenlagerung der Abfälle, Dauer der Zwischenlagerung und der Überwachung der Lager; Kosten im Zusammenhang mit der Suche nach einem geeigneten Endlager; voraussichtliche Kosten für die Stilllegung der Anlagen (Einschätzung aufgrund der Erfahrungen, die in anderen europäischen Ländern gemacht wurden);
- Kosten, die von der öffentlichen Hand getragen werden (Kosten für die nukleare Sicherheit, der zuständigen Abteilung im Bundesamt für Energie usw.);
- Kosten für die Nuklearforschung; Kosten für den abgebrochenen Versuch von Lucens;
- Leistung der schweizerischen Reaktoren seit dem Bau, gegenwärtige jährliche Leistung, voraussichtliche Leistung bis zur Stilllegung;
- Realkosten pro Kilowattstunde unter Berücksichtigung der obengenannten Elemente.“

Am 14. Februar 2007 verabschiedete der Bundesrat die folgende Stellungnahme, mit der er die Annahme des Postulates beantragte:

„Im Rahmen der Perspektivarbeiten des Bundesamtes für Energie werden zurzeit die langfristigen energiepolitischen Ziele und Massnahmen untersucht und mit den interessierten Kreisen diskutiert. Die Perspektivarbeiten werden unter Berücksichtigung aller Kosten der verschiedenen Energieträger sowie der Energieeffizienz eine Gesamtbeurteilung der Energiezukunft der Schweiz erlauben. Die Arbeiten werden im April 2007 abgeschlossen.

Der Bundesrat wird sich in Kürze mit dem Ergebnis dieser konzeptionellen Arbeiten auseinandersetzen und - unter Berücksichtigung der Entscheide des Parlamentes u. a. über die CO₂-Abgabe und die Strommarktordnung - Grundsatzentscheide über die langfristige Energiepolitik treffen. Er wird anschliessend in einem Strategiebericht das Parlament über seine Absichten für Gesetzgebung und Vollzug im Energiebereich und damit auch über die Kosten der Kernenergie orientieren. Die Erfüllung des Postulates kann innerhalb dieses annehin geplanten Strategieberichtes erfolgen und führt daher nur zu marginalen zusätzlichen Kosten.“

Am 7. März 2007 wurde der Vorstoss vom Ständerat oppositionslos überwiesen.

In seiner Stellungnahme zum Postulat Ory ging der Bundesrat noch davon aus, er werde seine bevorstehenden Grundsatzentscheide über die langfristige Energiepolitik in einem umfassenden Strategie-



bericht vorlegen und darin auch über die Kosten der Kernenergie berichten. In der Folge verzichtete er aber auf einen solchen Bericht zugunsten einzelner Aktionspläne, die am 20. Februar 2008 verabschiedet wurden. Der nachfolgende Bericht wurde somit als eigenständiges Dokument erarbeitet.

Der Bericht zum Postulat Ory ist in erster Linie eine Auswertung der bestehenden Literatur zum Thema. Daneben werden auch Kostenangaben des Bundesamtes für Energie (BFE) sowie der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) verwendet. Als Hauptliteraturquellen gelten die jährlich vom BFE publizierte Elektrizitätsstatistik, die Schrift „Entwicklung der Elektrizitätsgestehungskosten in grosstechnischen Kraftwerken“, die im Jahre 1987 im Rahmen der Expertengruppe Energieszenarien von der Motor-Columbus Ingenieurunternehmung AG erstellt wurde sowie die Bände 4 (Exkurse) und 5 (Elektrizitätsangebot) der Energieperspektiven 2035 des BFE aus dem Jahre 2007. Während der Bericht der Expertengruppe Energieszenarien aus dem Jahre 1987 die Kosten der bestehenden Kernkraftwerke abdeckt, beziehen sich die Energieperspektiven 2035 des BFE auf künftige Kernkraftwerke.

2. Leistung und Produktion

Für die Analyse ist es wichtig und üblich zwischen Leistung und Energie zu unterscheiden. Während die Leistung – Einheit Watt – angibt, wieviel Strom während einer Zeiteinheit maximal produziert werden kann, gibt die Energie an, wieviel Strom über eine bestimmte Zeit produziert wurde.

Der schweizerische Kraftwerkspark besteht vor allem aus Wasserkraft- und Kernkraftwerken. Während die Pumpspeicher- und Speicherkraftwerke zur Deckung der Spitzenlast dienen, werden Laufwasser- und Kernkraftwerke zur Deckung der Bandlast eingesetzt. Vor allem im Winter haben Laufwasserkraftwerke ein stark reduziertes Wasserdargebot, so dass die gesicherte Leistung im Winter nur 25% der installierten Leistung beträgt.

Kernenergie dient ausschliesslich der Produktion von Bandlastenergie und steht damit in Konkurrenz zu Kohlekraftwerken und allenfalls zu Gaskombikraftwerken. Letztere sind technisch als Bandlastkraftwerke einsetzbar, werden aus wirtschaftlichen Aspekten allerdings meist für die Mittellast verwendet.

In den Energieperspektiven 2035 wurden für die Kernkraftwerke Mühleberg, Beznau I und Beznau II Laufzeiten von 50 Jahren, für Gösgen und Leibstadt von 60 Jahren angenommen. Im weiteren werden für die Abschätzung der künftigen Produktion für die ersten 40 Betriebsjahre 7600 Vollaststunden und anschliessend 7400 unterstellt (Quelle: [2], S. 63). Tabelle 1 zeigt die in den Energieperspektiven 2035 unterstellte Betriebsdauer sowie die Nettoleistung der fünf Kernkraftwerke im Jahr 2006 jeweils in MW.

Tabelle 1: Betriebsdauer und Nettoleistung der bestehenden Kernkraftwerke der Schweiz. Quelle: [4].

| | Mühleberg | Beznau I | Beznau II | Gösgen | Leibstadt | Total |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|
| Betriebsdauer | 1969-2019 | 1969-2019 | 1971-2021 | 1979-2039 | 1984-2044 | |
| Leistung MW | 355 | 365 | 365 | 970 | 1165 | 3220 |

Für die Berechnung der vergangenen und künftig erwarteten Produktionsmengen werden bis ins Jahr 2006 die Elektrizitätsstatistik verwendet, für die Jahre 2007 bis 2044 die obigen Annahmen aus den Energieperspektiven. Die vergangenen und künftig erwarteten Produktionsdaten sind in Abbildung 1 dargestellt.

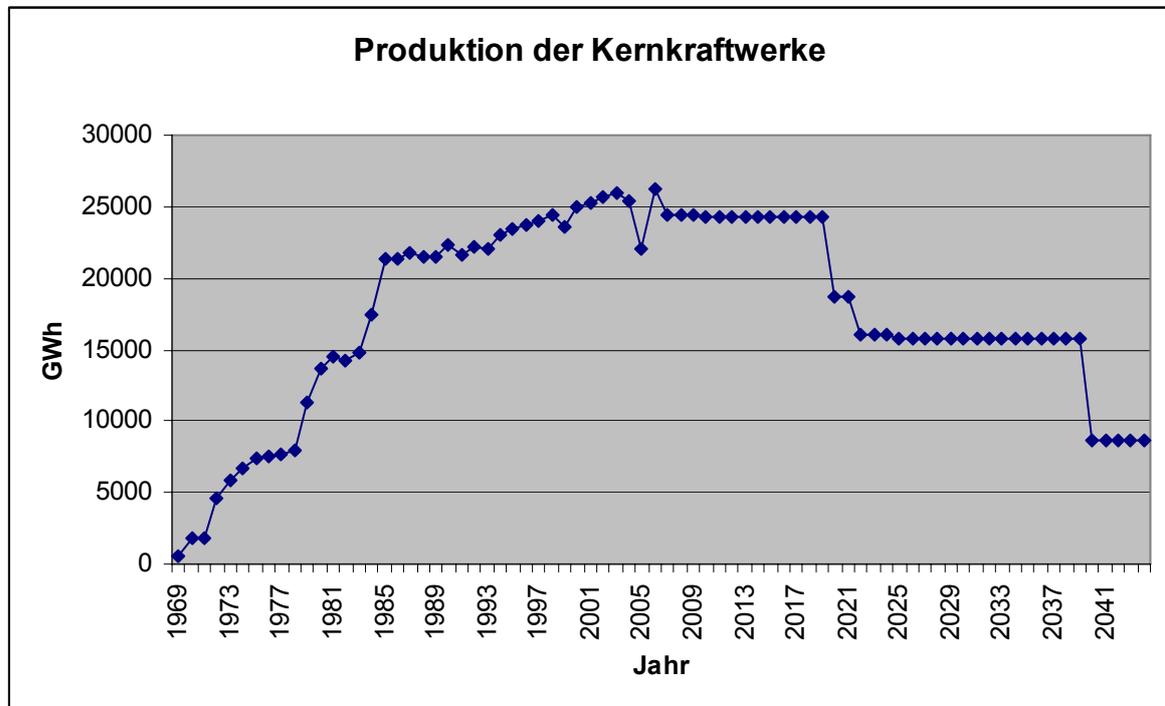


Abbildung 1: Produktion der bestehenden Kernkraftwerke in der Schweiz. Ab 2007 erwartete Werte. Quelle: [4], [2].

3. Kosten bestehender Kernkraftwerke

3.1. Kosten Bau, Betrieb der bestehenden Kernkraftwerke

Im Jahr 1987 hat die Motor-Columbus Ingenieurunternehmung AG im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft (BEW), heute Bundesamt für Energie, eine Studie über die „Entwicklung der Elektrizitätsgestehungskosten in grosstechnischen Kraftwerken“ durchgeführt. Diese Studie ist im Rahmen der Expertengruppe Energieszenarien (EGES) in der Schriftenreihe als Band 4 publiziert worden. Neuere Studien zu den Kostenbestandteilen der bestehenden Kernkraftwerke existieren nicht, da diese Daten von Kraftwerken nicht publiziert werden. Hingegen gibt es Studien, die die Kostenbestandteile neu zu bauender Kernkraftwerke analysieren (siehe Kapitel 6).

Nachfolgend eine Zusammenfassung der Ergebnisse zu den Kostenbestandteilen der bestehenden Kernkraftwerke (Quelle [5]). Tabelle 2 zeigt eine technische Beschreibung der bestehenden Anlagen.

Anlagekosten

Für die bestehenden Kernkraftwerke wurden die realen Anlagekosten auf den Zeitpunkt 1.10.1985 hochgerechnet. Dazu wurde ein gewichteter Teuerungsindex aus Grosshandels- und Lohnindex gebildet. Da keine Angaben über den tatsächlichen Zahlungsverlauf zur Verfügung standen, wurde näherungsweise davon ausgegangen, dass alle Kosten bei Halbzeit der Planungs- und Bauzeit angefallen seien.



Tabelle 2: Technische Beschreibung der bestehenden Anlagen. Quelle: [5].

| Anlage | Kapazitäten | | | | jährliche Betriebsdauer | Inbetriebnahme | Planungs- und Bauzeit | Landbedarf |
|------------------|-----------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|-------------------------|----------------|-----------------------|------------|
| | installierte Bruttoleistung | verfügbare Leistung | Eigenbedarfsleistung | Anlagenwirkungsgrad | | | | |
| | MW | MW | MW | % | h | Monat/Jahr | Jahre | ha |
| Beznau I | 364 | 350 | 14 | 32.2 | 7000 | 01/70 | 4.2 | 4 |
| Beznau II | 364 | 350 | 14 | 32.2 | 7000 | 02/72 | 3.8 | 4 |
| Mühleberg | 336 | 322 | 14 | 33.7 | 7000 | 08/72 | 5.2 | 8 |
| Gösgen | 970 | 920 | 50 | 34.6 | 7300 | 01/79 | 6.0 | 12 |
| Leibstadt | 1000 | 942 | 58 | 33.2 | 7200 | 06/84 | 10.0 | 14 |

Tabelle 3 zeigt, dass die spezifischen Anlagekosten der Kernkraftwerke im Verlaufe der 15 Jahre, die zwischen der Inbetriebnahme von Beznau I und Leibstadt liegen, kostspieliger geworden sind. Während auf Preisbasis 1985 ein kW Leistung bei Beznau I noch 1283 CHF kostete waren es in Leibstadt fast 6000 CHF. Diese Entwicklung ist in erster Linie auf die wesentlich verschärften Sicherheitsanforderungen zurückzuführen, welche sich in längeren Planungs- und Bauperioden, aber auch in Materialqualitäten und Sicherheitsmassnahmen niedergeschlagen haben. Die durchschnittliche reale Teuerung über die Betrachtungsperiode, das heisst von 1967 bis 1985 betrug rund 7.5% pro Jahr.

Tabelle 3: Ersatzteilkosten, Bauzinsen und Anlagekosten in Mio. CHF sowie spezifische Analgenkosten (Preisbasis 1.10.1985). Quelle: [5].

| Anlage | gesamte Baukosten | Ersatzteilkosten | Zinsen | Anlagekosten | spezifische Anlagekosten in CHF/kW _{el} |
|-----------------------------|-------------------|------------------|--------|--------------|--------------------------------------------------|
| Beznau I | 433 | 6 | 28 | 467 | 1283 |
| Nano I¹⁾ | 257 | 5 | 36 | 298 | |
| Beznau II | 433 | 6 | 28 | 467 | 1283 |
| Nano II¹⁾ | 257 | 5 | 36 | 298 | |
| Mühleberg | 577 | 12 | 49 | 638 | 1899 |
| Susan¹⁾ | 132 | 3 | 11 | 146 | |
| Gösgen | 2185 | 44 | 845 | 3074 | 3169 |
| Leibstadt | 4243 | 85 | 1612 | 5940 | 5940 |

¹⁾ Nano I, Nano II (Nachrüstung für den Notstand) und Susan (Spezielles unabhängiges System zur Abfuhr der Nachzerfallwärme) sind die ausgewiesenen Kosten für Nachrüstungen die für die Jahre nach 1985 bereits geplant waren. Spätere Nachrüstungen sind nicht enthalten.



Gestehungskosten

Die Ermittlung der Stromgestehungskosten beinhalten vier Hauptkostenelemente:

- Kapitallasten
- Kosten für Betrieb und Unterhalt
- Brennstoffkosten
- Kosten für Stilllegung, Abbruch und Entsorgung

Dabei wurden die Kapitallasten als Annuität über einen Zeitraum von 30 Jahren berechnet mit einem Zinssatz von 4%, wobei die Anlagekosten als Ausgangspunkt dienen. Die Betriebskosten fallen kontinuierlich verteilt über das ganze Jahr an, ebenso die Brennstoffkosten. Daraus ergeben sich auf Preisbasis 1.10.1985 die Stromgestehungskosten gemäss Tabelle 4.

Tabelle 4: Diskontierte Stromgestehungskosten (Preisbasis 01.10.1985). Quelle: [5].

| Anlage | Datum der Inbetriebnahme | Stromgestehungskosten in Rp./kWh | | | |
|-----------|--------------------------|----------------------------------|-------------------|------------|--------|
| | | Kapitallasten Rückstellung | Betrieb/Unterhalt | Brennstoff | Gesamt |
| Beznau I | 01.01.1970 | 1.081 | 1.837 | 1.98 | 4.898 |
| Nano I | 1993 | 0.980 | | | 0.980 |
| Beznau II | 01.02.1972 | 1.081 | 1.837 | 1.98 | 4.898 |
| Nano II | 1992 | 0.878 | | | 0.878 |
| Mühleberg | 01.08.1972 | 1.479 | 1.996 | 1.98 | 5.455 |
| Susan | 1990 | 0.381 | | | 0.381 |
| Gösgen | 01.01.1979 | 2.707 | 1.992 | 1.98 | 6.679 |
| Leibstadt | 01.06.1984 | 5.108 | 1.946 | 1.98 | 9.034 |

3.2. Kosten Entsorgung, Stilllegung

Die Erzeuger von radioaktiven Abfällen sind gesetzlich verpflichtet, diese auf eigene Kosten sicher zu beseitigen. Die während des Betriebs anfallenden Entsorgungskosten (z.B. für die Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente, Untersuchungen der NAGRA, den Bau von Zwischenlagern) werden laufend bezahlt. Die Finanzierung der Stilllegungskosten sowie der nach Ausserbetriebnahme der Kernkraftwerke (KKW) anfallenden Kosten für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle wird mit Beiträgen der Betreiber in zwei unabhängige Fonds, den Stilllegungsfonds für Kernanlagen und den Entsorgungsfonds für Kernkraftwerke, sichergestellt. Sowohl die Kostenberechnung als auch die Festlegung der jährlichen Beiträge in die beiden Fonds werden regelmässig überprüft.

Eine vom Bundesrat eingesetzte Verwaltungskommission erstellt die Jahresberichte. Diese sind öffentlich, enthalten die Jahresrechnungen und die Berichte der Revisionsstelle und informieren über die Grundsätze und Ziele der Vermögensanlage. Die Jahresberichte von Stilllegungs- und Entsorgungsfonds sind öffentlich zugänglich (<http://www.bfe.admin.ch/entsorgungsfonds/>).

Wichtige Bestimmungen, die früher in den Verordnungen oder Reglementen enthalten waren, sind im Kernenergiegesetz vom 21. März 2003 geregelt. Seit 1. Februar 2008 ist zudem die revidierte Verord-



nung über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen (SEFV) in Kraft, welche zwei frühere Verordnungen und Reglemente zu einer einzigen Verordnung zusammenführt.

Stilllegungsfonds für Kernanlagen

Mit dem Stilllegungsfonds für Kernanlagen soll die Finanzierung der Kosten für die Stilllegung und für den Abbruch von ausgedienten Kernanlagen sowie für die Entsorgung der dabei entstehenden Abfälle sichergestellt werden. Beitragspflichtig sind die Eigentümer der KKW Beznau I und II, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt sowie des Zentralen Zwischenlagers für radioaktive Abfälle in Würenlingen.

Die Stilllegungskosten für die fünf schweizerischen KKW sowie für das Zentrale Zwischenlager belaufen sich gemäss Kostenstudien 2006 auf 2.19 Mia. CHF (Preisbasis 2006). Ende 2007 betrug das angesammelte Fondskapital 1.322 Mia. CHF.

Entsorgungsfonds für Kernkraftwerke

Mit dem Entsorgungsfonds für Kernkraftwerke soll die Deckung der nach der Ausserbetriebnahme eines KKW's anfallenden Kosten für die Entsorgung der Betriebsabfälle und der abgebrannten Brennelemente sichergestellt werden. Beitragspflichtig sind die Eigentümer der fünf KKW Beznau I und II, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt.

Die Entsorgungskosten belaufen sich gemäss Kostenstudien 2006 auf 13.35 Mia. CHF. Die Kosten teilen sich wie folgt auf (in Mia. CHF):

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Wiederaufarbeitung | 2.740 |
| Zwischenlagerung inkl. zentrale Abfallbehandlung | 2.245 |
| Beschaffung Transport- und Lagerbehälter für HAA/BE | 0.760 |
| Transporte | 0.388 |
| Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle | 2.110 |
| Lager für hochaktive Abfälle inkl. Verpackungsanlage für Brennelemente und hochaktive Abfälle | 5.107 |

Bis Ende 2005 sind 4.212 Mia. CHF bereits bezahlt worden (z.B. Forschungs- und Vorbereitungsarbeiten, Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente, Erstellung Zentrales Zwischenlager, Beschaffung von Transport- und Lagerbehälter). Ein weiterer Teil davon fällt ab 2006 bis zur Ausserbetriebnahme an und wird von den Entsorgungspflichtigen laufend beglichen (2.830 Mia. CHF). Durch den Fonds sind die verbleibenden 6.308 Mia. CHF sicherzustellen. Ende 2007 belief sich das angesammelte Fondskapital auf 3.013 Mia. CHF. Bei der Festlegung des erforderlichen Fondskapitals und der Jahresbeiträge werden neben den bereits bezahlten und der noch bis zur Ausserbetriebnahme anfallenden Kosten die Anlagerendite (gemäss Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung 5%) und die Teuerungsrate (gemäss SEFV 3%) berücksichtigt.

Die Kosten der Stilllegung und Entsorgung werden von den Kernkraftwerksbetreibern getragen und sind Bestandteil der Gestehungskosten der heutigen Kernkraftwerke.

4. Weitere Kosten

4.1. Kosten Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen

Die Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) begutachtet und beaufsichtigt in der Schweiz als Aufsichtsbehörde des Bundes die Kernanlagen. Dazu gehören die Kernkraftwerke, die



Zwischenlager bei den Kraftwerken, das Zentrale Zwischenlager in Würenlingen sowie die nuklearen Einrichtungen am Paul Scherrer Institut (PSI) und an zwei Hochschulen in Basel und Lausanne. Die HSK beurteilt die nukleare Sicherheit in diesen Anlagen. Mittels Inspektionen, Aufsichtsgesprächen, Prüfungen und Analysen sowie der Berichterstattung der Anlagebetreiber verschafft sich die HSK den notwendigen Überblick über die nukleare Sicherheit. Sie wacht darüber, dass die Vorschriften eingehalten werden und die Betriebsführung gesetzeskonform erfolgt. Zu ihrem Aufsichtsbereich gehören auch die Transporte radioaktiver Stoffe sowie die Vorbereitungen zur geologischen Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle.

Die HSK unterhält eine eigene Notfallorganisation. Sie ist Bestandteil einer landesweiten Notfallorganisation. Diese käme im Fall eines schweren Störfalls in einer schweizerischen Kernanlage zum Einsatz.

Abbildung 2 zeigt die Zusammenstellung der Kosten der HSK seit 1969, wobei die Beträge von 1969 bis 1992 geschätzte Werte sind.

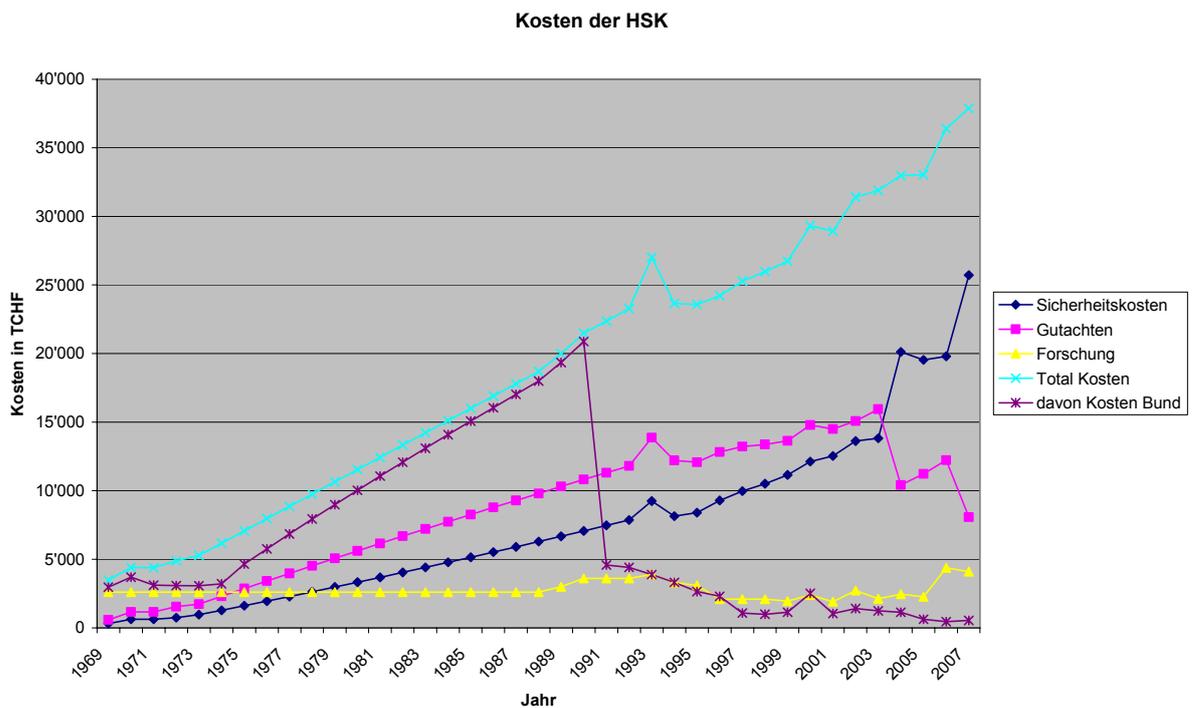


Abbildung 2: Kosten der HSK aufgeschlüsselt nach Verwendungsgebieten. Quelle: HSK.

Die Kosten der Aufsicht über die Sicherheit der Kernanlagen werden fast vollständig von den Kernkraftwerkbetreibern getragen und sind Bestandteil der Gestehungskosten der heutigen Kernkraftwerke.

4.2. Kosten BFE

Das Bundesamt für Energie BFE erfüllt wesentliche Aufgaben beim Vollzug der Kernenergiegesetzgebung. Es bereitet Bewilligungsentscheide für Kernkraftwerke und für Lager für radioaktive Abfälle zuhänden des Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, des Bundesrats und des Parlaments vor und bearbeitet alle Rechtsfragen in diesem Bereich.



Das BFE übernimmt zudem technische Aufgaben im Zusammenhang mit der Kernenergienutzung. Es erarbeitet die Grundlagen für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle und führt das Sekretariat der Arbeitsgruppe des Bundes für die nukleare Entsorgung (AGNEB); zentrale Aufgabe ist zur Zeit die Erarbeitung des Sachplans Geologische Tiefenlager und die Leitung des Standortauswahlverfahrens. Weiter erteilt es Bewilligungen für Transporte von Kernbrennstoffen und radioaktiven Abfällen und es ist verantwortlich für den Vollzug der gesetzlichen Bestimmungen über die Sicherstellung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten. Dem BFE obliegen zudem die nationale Kernbrennstoffkontrolle und -buchhaltung sowie weitere Aufgaben, welche sich aus bilateralen und multilateralen Verpflichtungen der Schweiz in den Bereichen Kernbrennstoffkreislauf und Exportkontrolle nuklearer Güter ergeben.

Die Kosten für diese Aufgaben betragen gemäss Angaben des BFE für das Jahr 2008 rund 3 Mio. CHF auf Vollkostenbasis, das heisst Löhne plus Strukturkosten. Diese Kosten werden zu einem grossen Teil den Kernkraftwerksbetreibern in Rechnung gestellt und sind somit Bestandteil der Gesteungskosten der heutigen Kernkraftwerke.

4.3. Kosten Forschung

Seit 30 Jahren erfasst das Bundesamt für Energie (BFE) Daten zu Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprojekten im Energiebereich in der Schweiz. Dabei werden nur Projekte erhoben, die – ganz oder teilweise – von der öffentlichen Hand (Bund, Kantone, Gemeinden), vom Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung oder von der Kommission der Europäischen Union finanziert werden.

Von der öffentlichen Hand flossen im Jahr 2005 knapp 48 Mio. CHF in die Kernenergieforschung. Bei der Kernspaltung besteht die Forschung im Wesentlichen im Bereich der Sicherheit. Bei der Kernfusion handelt es sich um die Beteiligung am europäischen Kernfusionsforschungsprogramm (siehe Tabelle 5). Mit je rund 20 Mio. CHF wurden das PSI und die EPFL durch die öffentliche Hand für ihre Kernenergieforschung finanziert. Etwa gleich viel Forschungsmittel im Kernenergiebereich stammen aus der Privatwirtschaft (Schätzung des BFE).

Tabelle 5: Übersicht über die die Aufwendungen der öffentlichen Hand und der Privatwirtschaft für die Energieforschung im Jahre 2005. Quelle: [3].

| Forschungsgebiete (in Mio. CHF) im Jahr 2005 | öffentliche Hand | Privatwirtschaft |
|----------------------------------------------|------------------|------------------|
| Effiziente Energienutzung | 54.3 | 550 |
| Erneuerbare Energien | 42.8 | 120 |
| Energiewirtschaftliche Grundlagen | 11.0 | 25 |
| Kernenergie | 47.8 | 45 |
| Kernspaltung (Fission) | 22.5 | |
| Sicherheit | 13.5 | |
| Radioaktive Abfälle | 5.3 | |
| Vorausschauende Forschung | 3.8 | |
| Kernfusion | 25.2 | |
| Plasmaphysik, Heizmethoden | 22.6 | |
| Fusionstechnologie | 0.8 | |
| Beiträge für internationale Einbindung | 1.9 | |



Abbildung 3 zeigt die von der öffentlichen Hand getragenen Kosten der Kernenergieforschung seit 1956. Darin sind auch die Kosten für den Versuchsreaktor in Lucens enthalten.

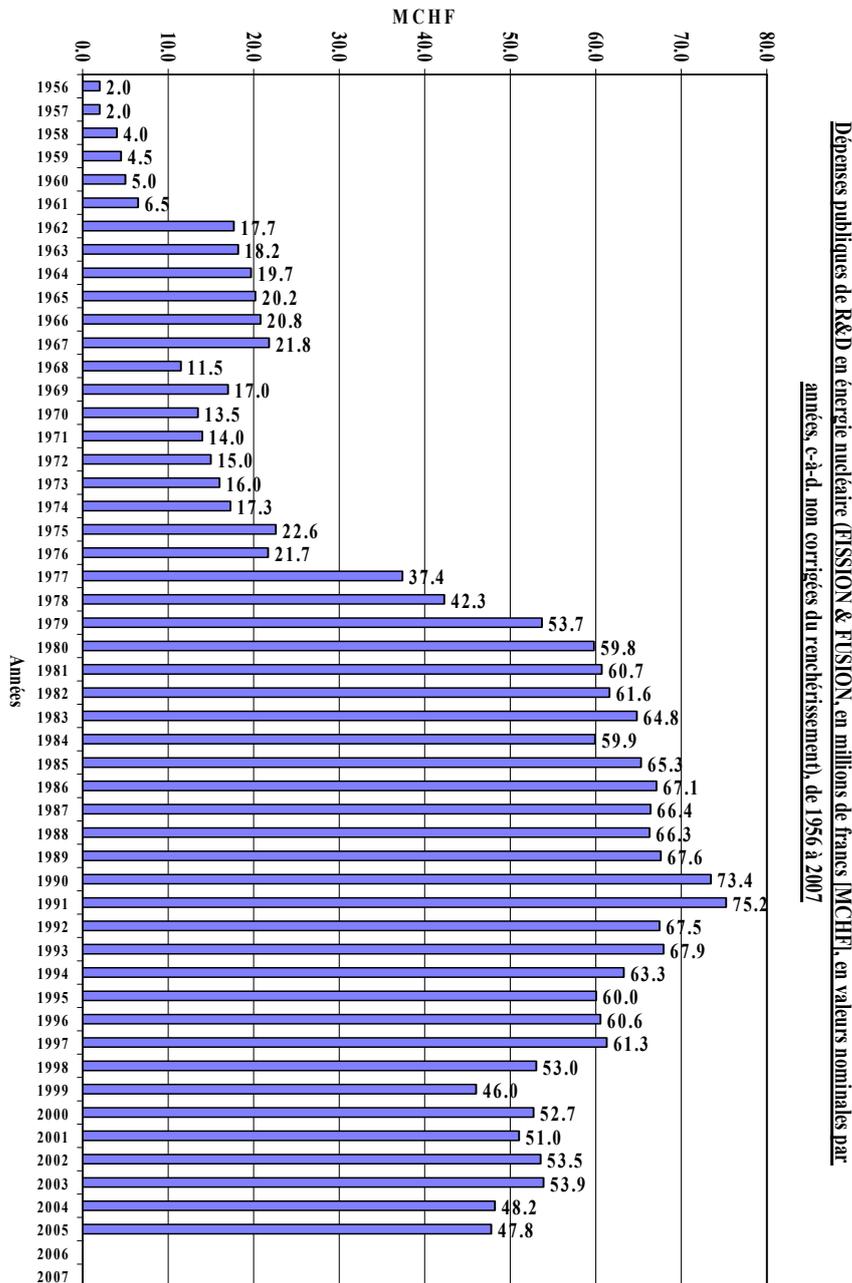


Abbildung 3: Übersicht über die öffentlichen Forschungsgelder für die Kernenergie in Mio. CHF von 1956 bis 2005. Quelle: BFE.

5. Realkosten bestehender Kernkraftwerke

Die heutigen Kernkraftwerke tragen die Kosten für den Bau, Betrieb, Unterhalt, Rohstoffe, Nachrüstungen, Bewilligungen und Aufsicht, Wiederaufbereitung, Stilllegung und Entsorgung selber. Diese



Kosten sind Bestandteil der Gestehungskosten der heutigen Kernkraftwerke. Rund 50% der Kernenergieforschung wird vom Staat getragen, die andere Hälfte von der Privatwirtschaft, ein Grossteil davon von den Kernkraftwerksbetreibern.

Da verschiedene Kostenelemente nicht, nur vage oder nur mit entsprechenden Annahmen vorliegen, kann eine seriöse Berechnung der „Realkosten“ der Kernenergie zur Zeit nicht erfolgen. Als Indikator der Gestehungskosten bestehender Kernkraftwerke verweisen wir auf die publizierten Geschäftsberichte: Die neueren Kernkraftwerke Gösgen und Leibstadt weisen gemäss letzten Geschäftsberichten Stromgestehungskosten zwischen 3.6 und 5.1 Rp./kWh aus.

Die Kernkraftwerke Mühleberg sowie Beznau I und II sind Bestandteil des Mutterkonzerns, während die Kernkraftwerke Gösgen und Leibstadt eigenständige Gesellschaften sind. Deshalb können bei den neueren Kernkraftwerken Gösgen und Leibstadt in den Geschäftsberichten die Strukturen der Jahreskosten mit entsprechenden Stromgestehungskosten gefunden werden (Tabelle 6).

Tabelle 6: Struktur der Jahreskosten der Kernkraftwerke Gösgen und Leibstadt jeweils in Prozent. Quellen: Geschäftsbericht 2006 des Kernkraftwerkes Leibstadt und Geschäftsbericht 2007 der Kernkraftwerk Däniken-Gösgen AG.

| | KKW Gösgen | KKW Leibstadt |
|-----------------------------|----------------|----------------|
| Betrieb | 49.7 % | 29.2 % |
| Kernbrennstoff | 14.6 % | 7.7 % |
| Nukleare Entsorgung | 14.8 % | 18.6 % |
| Stilllegung und Nachbetrieb | 8.5 % | 4.7 % |
| Abschreibungen Sachanlagen | 6.2 % | 28.2 % |
| Finanzerfolg und Gewinn | 6.2 % | 11.6 % |
| Jahreskosten | 297.3 Mio. CHF | 476.6 Mio. CHF |
| Stromgestehungskosten | 3.64 Rp./kWh | 5.09 Rp./kWh |

6. Kosten neuer Kernkraftwerke

Obwohl vom Postulat nicht explizit gefordert, dürften für die politische Diskussion die Kosten neuer Kernkraftwerke von grossem Interesse sein. So wurden im Rahmen der Energieperspektiven 2035, welche zwischen 2003 und 2007 erarbeitet wurden, unter anderem die Kosten für neue Kernkraftwerke analysiert. Der Stand der Angaben basiert auf einer Recherche und Abstimmung mit der AG Energieperspektiven 2035 in 2005.

Aufgrund der schwankenden Uranpreise, der Entwicklungen des (verzögerten) Baus eines EPR in Finnland, der gestiegenen Stahlpreise und der Engpässe im Kraftwerksbau hat das BFE für den vorliegenden Bericht eine Aufdatierung der Kostendaten eines neuen Kernkraftwerks bei der prognos AG in Auftrag gegeben.

Ziel der Kurzstudie ist eine umfassende Analyse über die möglichen Kosten eines neuen Kernkraftwerks, die Darstellung der Unsicherheiten bzw. Bandbreiten sowie eine Beschreibung künftiger Entwicklungen in den zugehörigen Märkten auf Basis des aktuellen Wissensstandes.

Die Kostenangaben (in CHF2007) werden unter folgenden Annahmen für die Rahmensetzungen ermittelt:



- Typ: EPR
- Leistung: 1600 MW_{el}
- Inbetriebnahme: ca. 2030
- Bauzeit: 5 Jahre
- Infrastruktur: vorhanden (Bau auf bestehenden KKW-Geländen)

Zudem wird davon ausgegangen, dass bereits mehrere EPR in Europa gebaut worden sein werden, bevor mit dem Bau des schweizerischen Kernkraftwerks begonnen wird. Es handelt sich dann also nicht um einen „Prototyp“, sondern um ein standardisiertes Kraftwerk.

Kostentreiber der Rohstoffpreise sowie der Stahlpreise sind die starke Nachfrage, bedingt insbesondere durch das Wachstum in den asiatischen Ländern wie China und Indien, (geo-)politische Instabilitäten, Engpässe bei der Gewinnung und Verarbeitung von Rohstoffen sowie Monopol- und Oligopolmärkte in verschiedenen Sektoren. Eine Entspannung der Stahlpreise ist voraussichtlich in den nächsten Jahren nicht zu erwarten. Auch die Kapazitätsengpässe der Kraftwerkshersteller und der Zulieferbranchen bleiben vorerst angespannt.

Die Gewährleistung der Sicherheit kann tendenziell zu höheren spezifischen Investitionskosten führen. Zudem wird die (internationale) Knappheit oder die unzureichende Verfügbarkeit von qualifiziertem Personal bei Kernkraftwerksbau und -betrieb zunehmend als Problem erkannt; diese kann auch für die Schweiz (langfristig) eine Rolle spielen.

Die wesentlichen Kostenannahmen für ein neues Kernkraftwerk der Generation III (Druckwasserreaktor-Technologie, EPR) der Leistung 1'600 MW sind in der Tabelle 7 zusammengefasst.

Tabelle 7: Kostenannahmen für ein neues Kernkraftwerk. Quelle: [6].

| | Einheit | Referenz | Bandbreite | Bemerkung: |
|---------------------------------------------------|-------------------------|----------|---------------|--------------------------------|
| Typ | - | EPR | - | Druckwasser |
| Leistung | MW _{el} | 1'600 | - | Bei anderen Typen: 1'000-1'500 |
| Gesamtwirtschaftlicher Zinssatz | % | 2.5 | - | |
| Lebens- und Abschreibungsdauer ¹⁾ | a | 60 | - | |
| Volllaststunden | h/a | 7'600 | 7'400 - 8'000 | |
| Investitionskosten | CHF/kW _{el} | 3'350 | 2'750 - 3'750 | |
| Betriebskosten | CHF/kW _{el} /a | 100 | 70 - 120 | Exkl. Nachrüstung |
| Stilllegungskosten | CHF/kW _{el} | 575 | 350 - 1'100 | |
| Nachrüstkosten | CHF/kW _{el} | 840 | 300 - 1'300 | |
| Brennstoffkosten (vollständiger Brennstoffzyklus) | CHF/MWh _{el} | 14.5 | 13 - 16 | Ohne Wiederaufbereitung |

1) Bei der hier verwendeten gesamtwirtschaftlichen Betrachtung ist die Abschreibungsdauer mit der technischen Lebensdauer bzw. Laufzeit identisch

Prognos 2008

Ausgehend von den Eingangsdaten in der Tabelle 7 betragen die gesamtwirtschaftlichen Stromgestehungskosten inklusive Nachrüstungs-, Stilllegungs- und Sicherheitskosten, ohne sonstige externe Kosten, 4.8 Rp./kWh (Basis 2007).



Zu den Kostendaten neuer Kernkraftwerke sind in der Literatur grosse Bandbreiten zu finden. Um die Robustheit der Ergebnisse gegenüber Veränderungen der Rahmenparameter zu überprüfen, wurde hierzu eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Die stärksten Einflussfaktoren sind der Abschreibungszeitraum, die Volllaststunden sowie die Investitionskosten. Eine Verzögerung der Bauzeit, wegen Planungs- und Sicherheitsaspekten, kann zudem die Investitions- bzw. Kapitalkosten erheblich erhöhen, wie der Bau des EPR in Finnland illustriert. Die Uranpreise, obwohl durch die Gewinnungs- und Anreicherungsengpässe und langfristig durch die begrenzte Verfügbarkeit volatil und tendenziell steigend, haben nur einen geringen Einfluss auf die Gestehungskosten.

Aufgrund neuer technischer Vorschriften der UTCE muss in Zukunft jedes Land Reservekapazitäten in der Grösse der grössten Produktionsanlage des Landes bereitstellen. Neue Kernkraftwerke mit einer Leistung von 1600 MW würden die Kosten der Reservekapazitätshaltung erheblich verteuern. Wie diese Kosten die Gestehungskosten bestehender und neuer Produktionsanlagen belasten ist zurzeit noch offen. Der Überwälzungsmechanismus und -schlüssel ist von der ELCOM noch festzulegen.



Literaturverzeichnis

- [1] BFE: Die Energieperspektiven 2035 – Band 4, Bern 2007.
- [2] BFE: Die Energieperspektiven 2035 – Band 5, Bern 2007.
- [3] BFE: Projektliste der Energieforschung des Bundes 2004/2005, Bern 2007.
- [4] BFE: Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2006, Bern 2007.
- [5] Motor-Columbus Ingenieurunternehmung AG: Entwicklung der Elektrizitätsgestehungskosten in grosstechnischen Kraftwerken; Expertengruppe Energieszenarien, Schriftenreihe Nr. 4; Bern 1987.
- [6] Prognos AG: Kurzstudie Kosten neuer Kernkraftwerke Aufdatierung der Kostendaten der Energieperspektiven Schweiz 2035, Basel 2008.