

Übersicht über Energieperspektiven in der Schweiz

1994 - 2003

Fragestellungen, Vorgehen, Annahmen, Ergebnisse und
Vergleiche

Ausgearbeitet durch

L. Dolecek

Bundesamt für Energie

Februar 2004

Bundesamt für Energie BFE

Worbentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen • Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 • office@bfe.admin.ch • www.admin.ch/bfe

Inhaltsverzeichnis	Seite
0. Zusammenfassung/Résumé	4
1. <u>Generelles</u>	6
1.1 Zweck der Perspektiven	6
1.2 Modelle	6
2. <u>Perspektivstudien und ihre Auftraggeber in der Schweiz seit 1994</u>	7
3. <u>BFE-Perspektiven</u> ¹	8
3.1 Auswirkungen von Energiegesetz, CO2-Abgabe und Abgaben-Initiativen	8
3.2 Starke CO2-Reduktion („Szenario IV“)	12
3.3 Auswirkungen von Energieabgaben und CO2-Abgabe	13
3.4 Auswirkungen der Initiativen „Strom ohne Atom“ und „MoratoriumPlus“	15
4. <u>Andere Perspektiven</u>	17
4.1 <u>VSE</u> : Vorschau '95 ²	17
4.2 <u>CAN</u> : "In die Zukunft ohne Atomenergie" ³	18
4.3 <u>SATW</u> : CH50% - Eine Schweiz mit halbiertem Verbrauch an fossilen Energien ⁴	19
4.4 <u>PSI</u> : Projekt GaBE ⁵	21
4.5 <u>Bremer Institut</u> : Volkswirtschaftliche Auswirkungen des KKW-Ausstiegs ⁶	24
4.6 <u>VSG/CEPE/PSI</u> : CO2-Reduktionspotential durch verstärkten Erdgaseinsatz ⁷	25
5. <u>Vergleich der Perspektiven</u>	29
5.1 Starke langfristige CO2-Reduktion: SATW und BFE-Szenario IV	29
5.2 Nichtnuklearer KKW-Ersatz: CAN, VSE, PSI, Bremer Institut und BFE	31
5.3 Vergleich BFE - Bremer Institut (SoA und M+40)	33
5.4 Vergleich BFE - PSI	36

¹ - Energieperspektiven 1990 – 2030, Arbeitsbericht Synthese, Prognos AG, Basel, 1994
 - Energieperspektiven der Szenarien I bis III 1990 – 2030, Prognos AG, Basel, 1996
 - Ergänzungen zu den Energieperspektiven 1990 – 2030 (Szenario IV), Prognos AG, Basel, 1997
 - Energetische und klimatische Auswirkungen der Förderabgabe und der Abgabe gemäss Grundnorm, Prognos AG, Basel, 2000
 - Szenarien zu den Initiativen "Strom ohne Atom" sowie "MoratoriumPlus", Prognos AG, Basel, 2001
 - Wirtschaftliche Auswirkungen der Volksinitiativen "Strom ohne Atom" und "MoratoriumPlus", Ecoplan, Bern, 2001

² Vorschau '95: Vorschau 1995 auf die Elektrizitätsversorgung der Schweiz bis zum Jahr 2030, VSE, Sept. 1995

³ In die Zukunft ohne Atomenergie, CAN Coalition Anti Nucléaire, Dezember 1995, Zürich

⁴ CH50% - Eine Schweiz mit halbiertem Verbrauch an fossilen Energien, SATW – Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften, 1999, Zürich

⁵ Projekt GaBE: Ganzheitliche Betrachtung von Energiesystemen, Paul Scherrer Institut (PSI), 2001, Villigen

⁶ Volkswirtschaftliche Auswirkungen des Ausstiegs der Schweiz aus der Kernenergie, Teil I und II, Pfafenberger/Gerdey, 2000/2001

⁷ CO2-Reduktionspotential Erdgas, CEPE, PSI, ESU services, Schwarz&Partner, Zürich 2003

0. Zusammenfassung

In der Übersicht werden Fragestellungen, Vorgehen, Annahmen und Ergebnisse der seit 1994 bis 2003 erstellten Energieperspektiven des Bundesamtes für Energie und anderer schweizerischer Organisationen kurz vorgestellt und verglichen.

Das Bundesamt für Energie (BFE) hat seit 1994 die Auswirkungen folgender energiepolitischer Massnahmen untersucht: der Energienutzungsbeschluss, das Energiegesetz, die CO₂-Abgabe, die Solarinitiative, die Energie-Umwelt-Initiative, die Förderabgabe, die Abgabe gemäss Grundnorm sowie die Stilllegungsinitiativen „Strom ohne Atom“ und „MoratoriumPlus“. Die langfristigen Auswirkungen betrafen den Energie- und Elektrizitätsverbrauch, die CO₂-Emissionen, punktuell die NO_x-Emissionen sowie die Mehrkosten der Stilllegungsinitiativen. Zudem hat das BFE 1997 die Machbarkeit einer CO₂-Reduktion um 60 % bis 2030 geprüft.

Die Machbarkeit einer Halbierung der CO₂-Emissionen und den dafür benötigten Zeitrahmen hat 1999 auch die Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften (SATW) untersucht.

Der Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE) hat sich 1995 mit der langfristigen Sicherung der schweizerischen Elektrizitätsversorgung auseinandergesetzt.

Das tat 2001 auch das Paul Scherrer Institut (PSI), allerdings zusätzlich unter Einbezug der Wärmeversorgung.

Die CAN (Coalition Anti Nucléaire) hatte 1995 einen Ausstieg aus der Kernenergie innert 10 Jahre zum Thema.

Das Bremer Institut (Prof. Pfaffenberger) hat 2000 - 2001 wie das BFE die mit den Initiativen „MoratoriumPlus“ und „Strom ohne Atom“ verbundenen Mehrkosten berechnet.

Der Verband Schweizerischer Gasindustrie (VSG) hat 2001 - 2003 die Ermittlung des CO₂-Reduktionspotentials durch verstärkten Erdgaseinsatz in Auftrag gegeben.

0. Résumé

Le condensé des perspectives énergétiques décrit et compare brièvement les bases conceptuelles et les résultats des travaux réalisés par l'Office fédéral de l'énergie et d'autres organisations suisses entre 1994 et 2003.

L'Office fédéral de l'énergie (OFEN) a analysé depuis 1994 les effets des mesures de politique énergétique suivantes: l'arrêté sur l'énergie, la loi sur l'énergie, la taxe sur le CO₂, l'initiative solaire, l'initiative «Energie et environnement», les taxes d'incitation et la norme de base, ainsi que les initiatives «Sortir du nucléaire» et «Moratoire Plus». S'agissant des effets à long terme ont été évalués la consommation d'énergie et d'électricité, les rejets de CO₂ et, partiellement, de NOx ainsi que les coûts supplémentaires que pourraient générer les initiatives atomiques. Par ailleurs, l'OFEN a réalisé en 1997 une étude de faisabilité portant sur une diminution des rejets de CO₂ de 60 % jusqu'en 2030.

L'Académie suisse des sciences techniques (SATW) a de son côté étudié la faisabilité d'une réduction de moitié des rejets de CO₂ et le temps nécessaire pour y parvenir.

L'Association suisse des électriciens (ASE) s'est penchée en 1995 sur la sécurité à long terme de l'approvisionnement électrique.

En 2001, ce thème a également fait l'objet d'une étude de l'Institut Paul Scherrer (IPS), lequel a en outre inclus l'approvisionnement en chaleur dans son analyse.

La Coalition Antinucléaire (CAN) a étudié en 1995 l'éventualité d'une sortie du nucléaire en dix ans.

En 2000 -2001, le Bremer Institut (prof. Pfaffenberger) a calculé, tout comme l'OFEN, les coûts supplémentaires qu'engendreraient les initiatives «Sortir du nucléaire» et «Moratoire Plus».

Enfin, l'Association suisse de l'industrie gazière (ASIG) commandé une étude réalisé entre 2001 et 2003 visant à déterminer le potentiel de diminution des émissions de CO₂ par le biais d'un recours accru au gaz naturel.

1. Generelles

1.1 Zweck der Perspektiven

Perspektiven des BFE sind Wenn-Dann-Aussagen über langfristige Entwicklungen. Sie sind keine Prognosen.

Massnahmenorientierte Perspektiven zeigen Auswirkungen von Massnahmen auf. Sind die analysierten Massnahmen noch nicht beschlossen, stellen massnahmenorientierte Perspektiven Handlungsoptionen dar.

Zielorientierte Perspektiven ermitteln den Handlungsbedarf und schlagen zielführende Massnahmen vor.

Die massnahmen- und zielorientierten Perspektiven werden häufig miteinander kombiniert. Massnahmen bzw. Ziele sind dann Randbedingungen. Entweder werden neben einem Ziel auch bestimmte Massnahmen vorgegeben. Oder die Auswirkungen einer geprüften Massnahme dürfen ein bestimmtes Ziel nicht verletzen. Zeichnet sich eine Überschreitung ab (z. B. CO₂-Ziel), werden Kompensationsmassnahmen vorgeschlagen. Um die Aussagekraft zu erhöhen, werden den Perspektiven möglichst „sparsame“ Annahmen (keine grundlegenden Verhaltensänderungen oder technischer Durchbruch) zugrundegelegt. Mittels Sensitivitätsanalysen werden jedoch auch Trendbrüche (z. B. wesentlich tieferes Wirtschaftswachstum usw.) untersucht.

1.2 Modelle

Die Erstellung von Perspektiven erfolgt unter Einsatz von Modellen. Für die Berechnung von Energie-, Elektrizitäts- und CO₂-Perspektiven setzt das BFE Bottom-up-Modelle ein. Ihre besondere Stärke liegt bei der Simulation der Energienachfrage bis auf die Ebene einzelner Sektoren und der auf sie einwirkenden Massnahmen. Volkswirtschaftliche Auswirkungen auf die BIP-Entwicklung, Anzahl Arbeitsplätze, Teuerung, einzelne Wirtschaftsbranchen usw. werden unter Einsatz von ökonomischen, Gleichgewichts- oder Input-Output-Modellen ermittelt.

2. Perspektivstudien und ihre Auftraggeber in der Schweiz seit 1994

Seit Anfang der 90er Jahre liegen in der Schweiz mehrere Perspektivarbeiten mit verschiedenen thematischen Schwerpunkten vor. Die Auftraggeber waren neben dem BFE folgende Organisationen:

- Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)
- Coalition Anti Nucléaire (CAN)
- Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften (SATW)
- Paul Scherrer Institut (PSI)
- Unterausschuss Fernenergie der Überlandwerke; Auftragnehmer: Bremer Energie Institut
- Verband Schweizerischer Gasindustrie (VSG)

In den Entscheidungsprozessen der Behörden (Botschaften des Bundesrates usw.) sind jeweils die BFE-Perspektiven eingeflossen, welche sich auf breit angelegte über Jahre hinweg im Rahmen des Forschungsprogramms Energiewirtschaftliche Grundlagen entwickelte und eingesetzte Daten und Modelle stützen. Periodische Überprüfungen und wettbewerbliche Ausschreibungen von Teilprojekten gewährleisten, dass der jeweilig neuste Stand der Modelltechnik angewendet wird.

Von anderen Organisationen vorgelegte Perspektiven werden jeweils diskutiert, kritisch gewürdigt und soweit möglich mitberücksichtigt. Die Arbeiten werden von einer ständigen Expertengruppe des BFE begleitet.

Die Arbeiten sind in der Tabelle 3, Seite 22 chronologisch aufgelistet. Sie werden in den Kapiteln 3 und 4 jeweils kurz vorgestellt und anschliessend im Kapitel 5 miteinander verglichen.

3. **BFE-Perspektiven**

3.1 **Auswirkungen von Energiegesetz, CO2-Abgabe und Abgaben-Initiativen** (1994 – 96)

3.1.1 **Fragestellung**

1994:

Szenario I (Referenzszenario): Auswirkungen beschlossener Massnahmen auf den Energieverbrauch und CO₂-Emissionen; wichtigste Massnahme: **Energienutzungsbeschluss** (ENB; 1990); Energienutzungsverordnung (ENV; 1992).

Szenario II: Auswirkungen des beabsichtigten **Energiegesetzes** in Kombination mit einer diskutierten **CO₂-Abgabe** auf den Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen.

1996:

Szenario I (Referenzszenario): Überarbeitung und Aktualisierung des Referenzszenarios aus dem Jahr 1994

Szenario II a: Auswirkungen des beabsichtigten **Energiegesetzes** auf den Energieverbrauch und CO₂-Emissionen

Szenario II b: Auswirkungen des beabsichtigten **Energiegesetzes in Kombination mit einer CO₂-Abgabe** auf den Energieverbrauch und CO₂-Emissionen (Überarbeitung und Aktualisierung des Szenarios von 1994)

Szenario III a: Auswirkungen der **Energie-Umwelt-Initiative** (Lenkungsabgabe) auf den Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen.

Szenario III b: Auswirkungen der **Solarinitiative** (Förderung erneuerbarer Energien und rationeller Energienutzung) auf den Energieverbrauch und CO₂-Emissionen

Szenario III c: Auswirkungen einer **Kombination der beiden Initiativen** auf den Energieverbrauch und CO₂-Emissionen

3.1.2 Vorgehen/Annahmen

Die Energienachfrage und CO₂-Emissionen werden mit Hilfe von vier Bottom-up-Teilmodellen für Haushalte, Dienstleistungen, Industrie und Verkehr ermittelt. Ein weiteres Teilmodell dient der Gestaltung des Elektrizitätsangebots.

Alle Teilmodelle liefern Kostenanalysen zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit einzelner Massnahmen und Massnahmenbündel. Die Wirtschaftlichkeit variiert mit der Höhe der Energiepreise und der Ausschöpfung der Massnahmenpotentiale. Grundsätzlich werden jeweils die tendentiell kostengünstigsten Massnahmen eingeführt, und zwar unabhängig davon, ob es sich um angebots- oder nachfrageseitige Massnahmen handelt oder ob ihre technischen Potentiale ausgeschöpft wurden. Es wird keine vollständige Kostenoptimierung angestrebt; Markt- und Vollzugshindernisse werden mitberücksichtigt.

Die Energieperspektiven basieren auf wirtschaftlich-demografischen Rahmendaten des Perspektivstabes der Bundesverwaltung. Die Verwendung dieser Daten gewährleistet die Konsistenz mit anderen Perspektivarbeiten des Bundes.

Langfristige Bezugsrechte gelten im Teilmodell für Elektrizitätsangebot versorgungspolitisch als gleich sicher wie die Inlandproduktion. Eine Versorgungssicherheit von 50 Prozent wird heute als ausreichend betrachtet.

In den Szenarien 1994 wurde von konstanten Bezugsrechten ausgegangen: auslaufende Bezugsrechte werden durch andere sichere Importverträge wieder ersetzt. Die Betriebsdauer inländischer Kernkraftwerke beträgt 40 Jahre. Sie werden nach ihrer Stilllegung durch neue ersetzt.

In den Szenarien 1996 wurden für das Elektrizitätsangebot zwei Varianten gerechnet:

In der Variante 1 wurden die gleichen Annahmen getroffen wie im Jahr 1994.

In der Variante 2 wurden die Kernkraftwerke und die Bezugsrechte nicht mehr erneuert; sie wurden durch eine Ausschöpfung der WKK-Potentiale und der Rest durch GuD-Anlagen ersetzt.

Zur Ermittlung volkswirtschaftlicher Auswirkungen werden Gleichgewichtsmodelle eingesetzt.

Veränderung einiger wichtigen Rahmendaten 1990 - 2030:

- Bruttoinlandprodukt: + 84 %
- Bevölkerung: + 11 %
- Energiebezugsflächen: + 38 %
- Güterverkehrsleistungen: + 125 %

3.1.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse liegen als Energie-, Elektrizitäts- und CO₂-Bilanzen und in Form von tabellarischen und grafischen Übersichten und Vergleichen vor. Sie sind in den jeweiligen Berichten einzusehen. Die Auswirkungen der verschiedenen Szenarien auf die CO₂-Emissionen und die Erreichung des CO₂-Ziels werden in den Abbildungen 1 bis 3 zusammengefasst.

Die Solar- und die Energie-Umwelt-Initiative wurden im September 2000 in der Volksabstimmung abgelehnt. Eine CO₂-Abgabe kann der Bundesrat gemäss CO₂-Gesetz wenn nötig ab 2004 unter Zustimmung des Parlaments einführen.

Abbildung 1: Auswirkung energiepolitischer Massnahmen auf die Erreichung des CO₂-Ziels in Mio. t (ohne Auslandflüge)
Variante 1: Ersatz der bestehenden KKW und Bezugsrechte durch neue

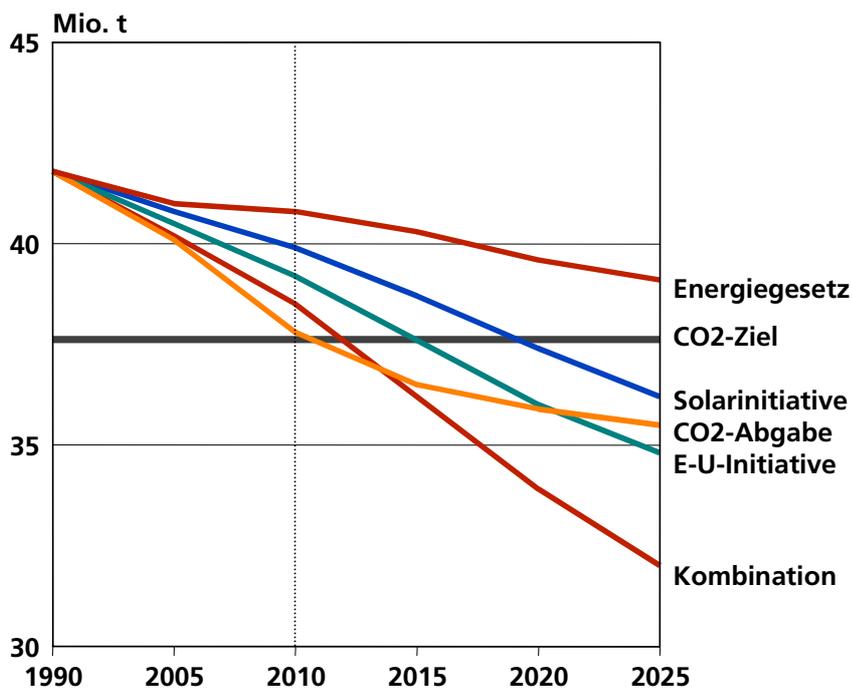


Abbildung 2: Auswirkung energiepolitischer Massnahmen auf CO₂-Emissionen in Mio. t (inkl. Auslandflüge)
Variante 1: Ersatz der bestehenden KKW und Bezugsrechte durch neue

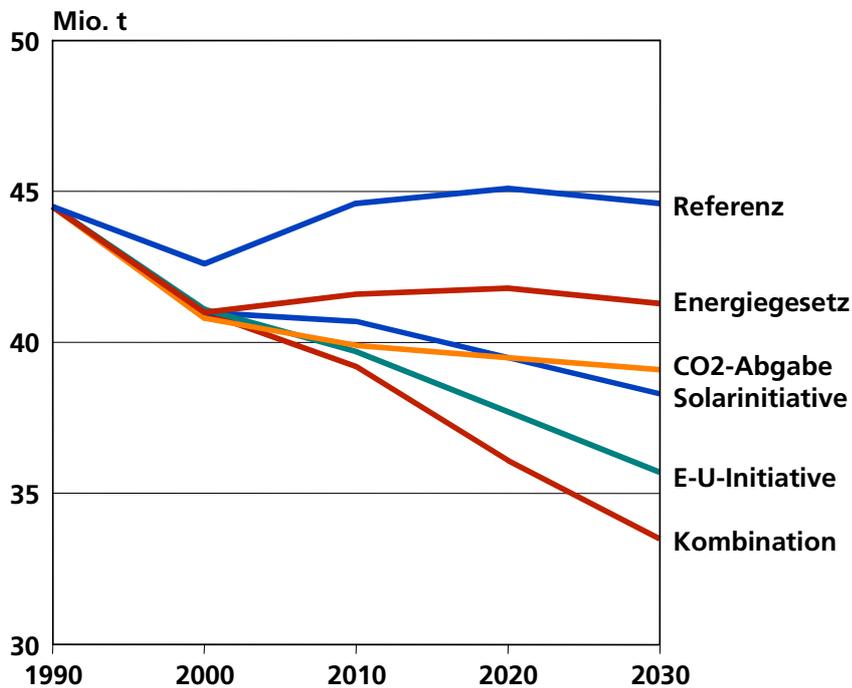
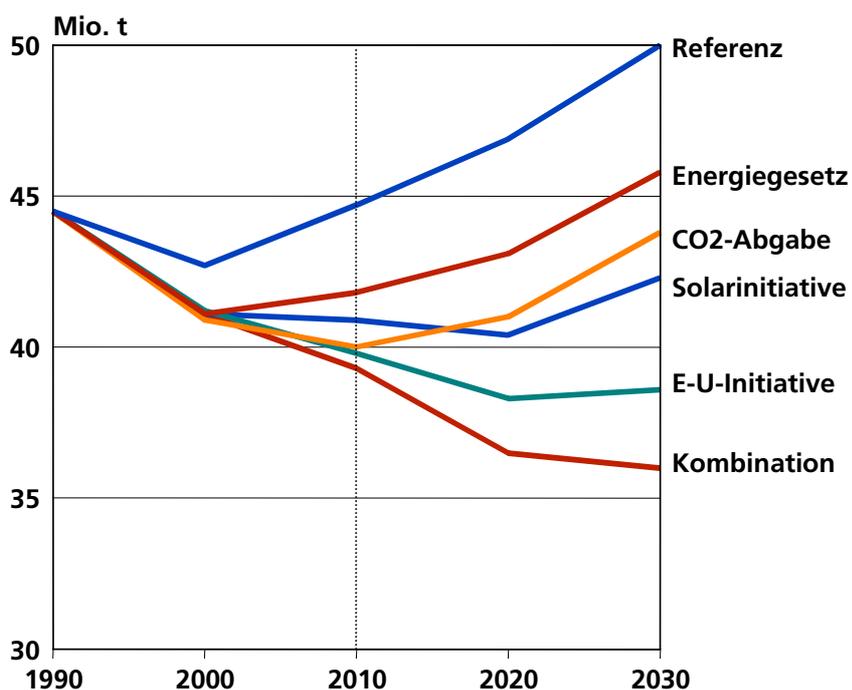


Abbildung 3: Auswirkung energiepolitischer Massnahmen auf CO₂-Emissionen in Mio. t (inkl. Auslandflüge)
Variante 2: Ersatz der bestehenden KKW und Bezugsrechte durch WKK und GuD



3.2 Starke CO2-Reduktion („Szenario IV“)

(1997)

3.2.1 Fragestellung

Realisierbarkeit einer **Reduktion der CO2-Emissionen** in der Schweiz **um 60 Prozent bis 2030** im Vergleich zu 1990.

Sektorenziele für die CO2-Reduktion:

- Haushalte: - 75 %
- Dienstleistungen: - 70 %
- Industrie: - 45 %
- Verkehr: - 55 %

Der Elektrizitätsverbrauch ist mindestens zu stabilisieren, wenn möglich zu reduzieren.

3.2.2 Vorgehen/Annahmen

Die technischen Fortschritte wie verbesserte Gebäudedämmung, bessere Wärmepumpen, Marktdurchbruch der Brennstoffzellen, Kostenreduktion neuer erneuerbarer Energien usw. werden im Szenario IV gegenüber der bisherigen Energiepolitik beschleunigt und rascher in die Praxis umgesetzt. Es werden nur technische Massnahmen geprüft. Komfortverzichte oder Reduktionen der „Energiedienstleistungen“ werden keine angenommen.

3.2.3 Ergebnisse

Die CO2-Emissionen werden bis 2030 gegenüber 1990 um 46 Prozent und der Elektrizitätsverbrauch um 5 Prozent vermindert. Das angestrebte Ziel einer CO2-Reduktion um 60 % wird nicht ganz erreicht.

Eine wichtige Voraussetzung für die erreichte CO2-Reduktion ist die Einführung einer international abgestimmten Energielenkungsabgabe, welche bis 2030 zu einer Verdreifachung der Energiepreise führt.

3.3 Auswirkungen von Energieabgaben und CO2-Abgabe

(2000)

3.3.1 Fragestellung

Das **Referenzszenario** wird unter Einbezug der Auswirkungen des 1998 in Kraft gesetzten **Energiegesetzes** (EnG) und im Hinblick auf die Erreichung der CO2-Ziele aktualisiert.

Zu ermitteln sind Auswirkungen folgender drei Abgaben:

- Abgabe gemäss **Grundnorm** (Lenkungsabgabe)
- **Förderabgabe**
- Kombination beider Abgaben
- **CO2-Abgabe**

Im Vordergrund stehen im Vergleich zum Referenzszenario und im Hinblick auf die CO2-Ziele die Auswirkungen auf den Energieverbrauch und die CO2-Emissionen.

3.3.2 Vorgehen/Annahmen

Das Vorgehen und Annahmen sind analog wie unter Punkt 3.1. Bei der Förderabgabe werden grundsätzlich (mit einigen energiepolitisch bedingten Ausnahmen) jeweils die Massnahmen mit der höchsten Fördereffizienz bzw. mit dem grössten Spar- oder Substitutionseffekt pro Subventionsfranken gefördert. Bei der Gestaltung des Elektrizitätsangebots wird nur die Variante 1 des Referenzszenarios 1996 gerechnet: Ersatz der nach 40-jähriger Betriebszeit stillgelegten Kernkraftwerke und abgelaufenen Bezugsrechte durch neue KKW und durch sichere Importe.

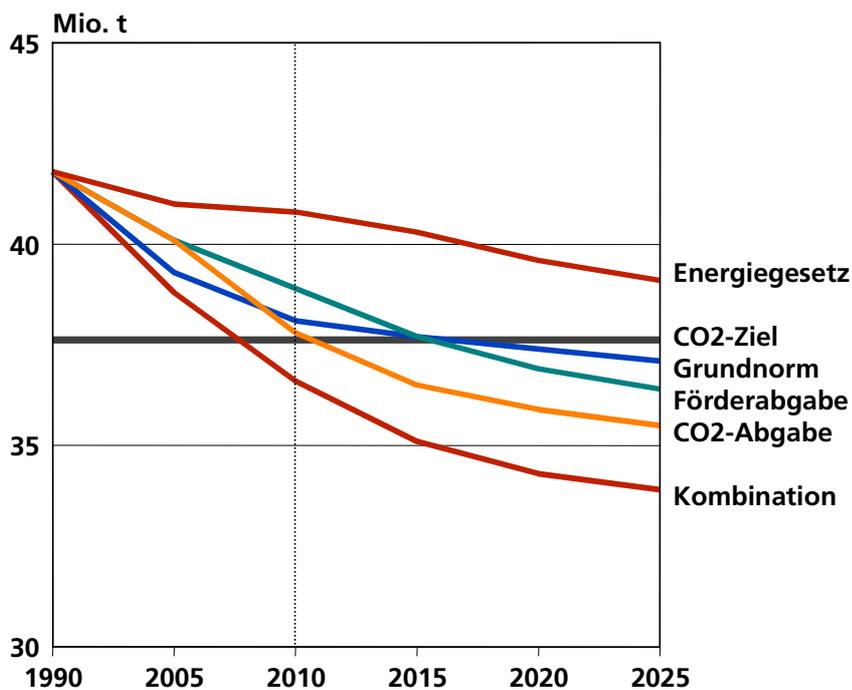
3.3.3 Ergebnisse

Die detaillierten Ergebnisse sind in den jeweiligen Berichten einzusehen. Die Auswirkungen der Abgaben auf die CO₂-Emissionen und die Erreichung des CO₂-Ziels werden in der Abbildung 4 zusammengefasst.

Die Grundnorm (Lenkungsabgabe) und die Förderabgabe, beide Gegenvorschläge des Parlaments zu der Solar- und der Energie-Umwelt-Initiative, wurden im September 2000 in der Volksabstimmung abgelehnt.

Abbildung 4: Auswirkung energiepolitischer Massnahmen auf die Erreichung des CO₂-Ziels in Mio. t (ohne Auslandflüge)

Variante 1: Ersatz der bestehenden KKW und Bezugsrechte durch neue



3.4 Auswirkungen der Initiativen

„Strom ohne Atom“ und „MoratoriumPlus“

(2001)

3.4.1 Fragestellung

Aufzuzeigen sind die Auswirkungen der Initiativen

- **„MoratoriumPlus“** (KKW-Moratorium) und
- **„Strom ohne Atom“** (beschleunigte KKW-Stillegung)

Als Vergleichsbasis dient das Referenzszenario aus dem Jahr 2000 (siehe unter 3.3.1).

Die durch die Initiativen allenfalls verursachten zusätzlichen CO₂-Emissionen sind durch geeignete Massnahmen zu neutralisieren.

Die volkswirtschaftlichen Mehrkosten sind möglichst niedrig zu halten. Zu berechnen sind auch die Auswirkungen auf die Volkswirtschaft und verschiedene Sensitivitäten (niedrigeres BIP, höhere Energiepreise, GuD statt WKK u. a.).

3.4.2 Vorgehen/Annahmen

Es sind genügend technische Mittel und Potentiale vorhanden, um eine durch beschleunigte Stilllegung der Kernkraftwerke entstandene „Versorgungslücke“ zu schliessen und die zusätzlichen CO₂-Emissionen zu kompensieren (CO₂-Neutralisierung). Die erforderlichen rechtlichen Grundlagen für politische Massnahmen bieten das Energiegesetz, das CO₂-Gesetz (CO₂-Abgabe) sowie die Initiativen, falls diese angenommen würden.

Die bestehenden Bezugsrechte werden nach ihrem Ablauf durch neue Bezugsverträge ersetzt. Diese Annahme schafft eine Differenz zu den Elektrizitätsperspektiven anderer Organisationen, welche bis auf punktuelle Ausnahmen von einer weitgehend autonomen inländischen Elektrizitätsversorgung ausgehen.

Als Kriterium für die Beurteilung der Initiativen dient die unterschiedliche Höhe der mit der Lückenschliessung und der CO₂-Neutralisierung verbundenen volkswirtschaftlichen Mehrkosten.

Die durch den Betrieb zusätzlicher WKK-Anlagen verursachten NO_x-Emissionen sind kostenmässig schwierig zu bewerten und werden deshalb in Tonnen NO_x ausgewiesen.

3.4.3 Ergebnisse

Die „Versorgungslücke“ kann zu 80 % durch WKK-Anlagen, zu 15 % durch Stromsparen und zu 5 % durch Stromerzeugung aus neuen erneuerbaren Energien geschlossen werden.

Die zusätzlichen CO₂-Emissionen werden durch eine CO₂-Abgabe gemäss CO₂-Gesetz mit Maximalsätzen von 210 Fr. pro Tonne CO₂ neutralisiert.

Die teurere WKK-Elektrizität kann auf dem Markt durch einen „Kaufzwang“ mit Hilfe einer Quotenregelung realisiert werden. Die Folge ist ein Anstieg der Elektrizitätspreise um etwa 20 %.

Die **volkswirtschaftlichen Mehrkosten** der Initiativen „Strom ohne Atom“ und „Moratorium-Plus“ betragen bis 2030 unter Einhaltung der CO₂-Neutralität und der Erreichung der CO₂-Ziele gemäss CO₂-Gesetz **27,8 bzw. 13,4 Mia.** Franken.

Das Bruttoinlandprodukt liegt im Fall der Initiative „Strom ohne Atom“ in der Zeitspanne 2015 bis 2030 gegenüber dem Referenzszenarium um 0,8 Prozent tiefer.

Der untersuchte Zeitraum erstreckte sich aus methodischen Gründen nur bis zum Jahr 2030.

Im Referenzszenario wird das letzte Kernkraftwerk jedoch erst im Jahr 2044 stillgelegt.

Die Mehrkosten von 27,8 bzw. 13,4 Mia. Franken wurden deshalb sehr vereinfachend auf die fehlenden 14 Jahre bis 2044 hochgerechnet. Die Hochrechnung ergab Mehrkosten von insgesamt 42 bzw. 25 Mia. Franken, wobei jedoch solche Langfristperspektiven im hohen Masse spekulativ sind.

4. Andere Perspektiven

4.1 VSE: Vorschau `95

(VSE: Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke; 1995)

4.1.1 Fragestellung VSE

Um die Elektrizitätsversorgung langfristig zu sichern, sollte noch vor dem Ablauf der Bezugsrechte und der Lebensdauer inländischer Kernkraftwerke rechtzeitig ein Dialog über deren Ersatz geführt werden. Als Diskussionsgrundlage sind langfristige Handlungsoptionen auszuarbeiten. Zu diesem Zweck sind Auswirkungen der zukünftig zur Verfügung stehenden alternativen Technologien und deren Kombinationen zu eruieren und ihre Vor- und Nachteile aufzulisten.

4.1.2 Vorgehen/Annahmen VSE

Für die Einschätzung der langfristigen Elektrizitätsnachfrage wird als untere Grenze das Szenario des BFE aus dem Jahr 1994 und als obere Grenze das Ergebnis eines Top-down-Modells des St. Galler Zentrums für Zukunftsforschung (SGZZ) herangezogen.

Eine Versorgungssicherheit von 50 % wird als ausreichend betrachtet.

Zur Schliessung der „Stromlücke“ werden folgende sieben Varianten geprüft und deren Auswirkungen auf die Stromgestehungskosten, Stromleitungskapazitäten, SO_x, NO_x, CO₂, Beton- und Stahlverbrauch, Radioaktivität und die Volkswirtschaft untersucht:

1. **Konventionell-thermisch im Inland:** 50 % Gas-Kombi, 25 % Oel-Kombi, 25 % Kohle
2. **Kernenergie** im Inland
3. **Mix:** im Inland Kernenergie wie heute, Rest Gas-Kombi (GuD)
4. **Import 100:** im Ausland 10 % Gas-Kombi, 30 % Kohle, 60 % KKW
5. **Import 50:** im Ausland 10 % Kohle, 40 % KKW; im Inland 25 % Gas-Kombi, 25 % KKW
6. **Konventionell-thermisch im Inland und 5 % inländischer Solaranteil**
7. **Mix + Solar:** im Inland Kernenergie wie heute, Rest Gas-Kombi und 5 % Solaranteil

4.1.3 Ergebnisse

Alle Varianten weisen Vor- und Nachteile auf. Keine besonderen Nachteile für die Mankodeckung weist der Mix aus KKW und GuD.

4.2 CAN: "In die Zukunft ohne Atomenergie"

(CAN: Coalition Anti Nucléaire; 1995)

4.2.1 Fragestellung

Es sind Möglichkeiten aufzuzeigen, wie die Schweiz innert 10 Jahre und unter Einhaltung der CO₂-Neutralität aus der Nutzung der Kernenergie aussteigen könnte.

4.2.2 Vorgehen/Annahmen

Als Referenzszenario dient das Szenario I des BFE aus dem Jahr 1994.

Es wird stufenweise eine dynamische Lenkungsabgabe auf nichterneuerbaren Energieträgern eingeführt.

Die Nutzung erneuerbarer Energien wird subventioniert.

Eine Versorgungssicherheit von 50 % wird als ausreichend betrachtet.

Die Schliessung der "Stromlücke" wird aufgrund von drei Szenarien untersucht:

- **S75/P25**: 75 % der Lücke werden eingespart und 25 % erzeugt
- **S50/P50**: 50 % der Lücke werden eingespart und 50 % erzeugt
- **S25/P75**: 25 % der Lücke werden eingespart und 75 % erzeugt

Die volkswirtschaftlichen Auswirkungen des favorisierten Szenarios werden mit Hilfe eines statischen Input-Output-Modells ermittelt. Volkswirtschaftliche Mehrkosten werden nicht gerechnet.

4.2.3 Ergebnisse

Der Ausstieg aus der Kernenergie innert 10 Jahre ist technisch und wirtschaftlich machbar. Das Szenario S50/P50 erweist sich während der Untersuchung als kostenoptimal und wird deshalb als das einzige weiter bearbeitet. Der Rückgang der Elektrizitätsnachfrage wird insbesondere durch eine Lenkungsabgabe auf Elektrizität erreicht. Sie erhöht den Elektrizitätspreis innert 10 Jahre um 120 %. Angebotsseitig leisten die WKK mit 86 % den Hauptbeitrag, die Sonnen-, Wind- und Holzenergie steuern 14 % bei. Neue Bezugsrechte werden keine benötigt. Die zusätzlichen CO₂-Emissionen werden durch den Einsatz von Wärmepumpen und durch eine Absenkung des spezifischen Treibstoffverbrauchs bei Personenwagen kompensiert. Die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen des Ausstiegs sind gering und weisen tendenziell leicht positive Effekte auf. Die mit dem Ausstieg verbundenen Mehrinvestitionen betragen insgesamt 60 Mia. Fr.

4.3 SATW: CH50% - Eine Schweiz mit halbiertem Verbrauch an fossilen Energien

(SATW: Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften; 1999)

4.3.1 Fragestellung

Aufzuzeigen sind Möglichkeiten, Konsequenzen und der Zeitrahmen eines gegenüber 1990 in der Schweiz um 50 % reduzierten Verbrauchs an fossilen Energieträgern.

4.3.2 Vorgehen/Annahmen

Einzelne Sektoren (Privathaushalte, Industrie, Gewerbe/Dienstleistungen/Landwirtschaft, Verkehr, erneuerbare Energien) und verschiedene energiepolitische Massnahmen werden systematisch nach Reduktionspotentialen durchleuchtet. Dazu werden bereits vorliegende Untersuchungen (Szenario IV des BFE) ausgewertet und Energieexperten befragt.

Vorgaben:

Die zur Verbrauchshalbierung führenden Massnahmen müssen zeitlich verkraftbar und finanziell zumutbar sein.

Der Umfang der nuklearen Stromerzeugung bleibt innerhalb der betrachteten Zeithorizonte unverändert.

Annahmen zur Rahmenentwicklung:

- Privathaushalte: Zunahme der beheizten Wohnfläche 1990-2020 um 20 %;
- Industrie: Zunahme der Wertschöpfung bis 2020 um 60 %;
- Gewerbe/Landwirtschaft/Dienstleistungen: weiteres Wirtschaftswachstum;
- Verkehr: keine weitere Verkehrszunahme (!).

4.3.3 Ergebnisse

Eine Halbierung des Verbrauchs fossiler Energieträger ist im Zeitraum zwischen 2025 und 2050 technisch machbar und wirtschaftlich zumutbar. Voraussetzung dafür ist die Nutzung heute bekannter Technologien.

Eine Reduktion des Verbrauchs fossiler Energien um 40 % ist primär durch Effizienzverbesserungen und durch Nutzung erneuerbarer Energien bis zum Jahr 2020 möglich. Erforderlich ist entsprechender politischer Wille und die Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen.

Grosse und am raschesten realisierbare Reduktionspotentiale gibt es im Verkehrsbereich. Voraussetzung ist der politische Wille.

Ebenfalls beträchtliche Reduktionspotentiale gibt es im Gebäudebereich. Sie sind an den relativ trägen Erneuerungsrhythmus des Gebäudebestandes gebunden und deshalb langsamer als im Verkehrsbereich realisierbar.

Eine wichtige Voraussetzung für die Erreichung der Verbrauchsreduktion ohne negative Auswirkungen auf die Wirtschaft stellt eine Verteuerung der Energie. Die Verteuerung müsste in langfristig voraussehbaren Schritten erfolgen.

4.4 **PSI: Projekt GaBE**

Ganzheitliche Betrachtung von Energiesystemen

Perspektiven der zukünftigen Strom- und Wärmeversorgung für die Schweiz Ökologische und ökonomische Betrachtungen

(Laufendes Projekt: Stand der Arbeiten August 2001)

4.4.1 Fragestellung

Durch Einsatz welcher Energiesysteme (oder deren Kombinationen) kann die Schweiz in der Zukunft möglichst nachhaltig mit Elektrizität und Wärme versorgt werden?

Vorgaben:

- Beschränkung auf Elektrizität und Wärme, (vorläufige) Ausklammerung des Verkehrsbereichs
- inländische Elektrizitätsversorgung (keine Bezugsrechte mehr im Jahr 2030)
- besonderes Augenmerk auf WKK, Gas-Kombikraftwerke (GuD) und Wärmepumpen
- Zeithorizont: 1990 - 2030

4.4.2 Vorgehen/Annahmen

Die Vor- und Nachteile der Energieversorgungssysteme und deren Kombinationen werden ganzheitlich optimiert, indem folgende Aspekte einbezogen werden:

- ökologische und ökonomische Auswirkungen,
- Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung als ein Gesamtsystem,
- vor- und nachgelagerte Prozesse im In- und Ausland,
- Massnahmen zur rationellen Energienutzung,
- Multikriterienanalyse weiterer Faktoren (in Bearbeitung) wie Unfallrisiken, Versorgungssicherheit oder volkswirtschaftliche Auswirkungen.

Die Referenznachfrage nach Elektrizität und Wärme wird dem Szenario I des BFE aus dem Jahr 1996 nachgebildet.

Der Referenznachfrage steht ein kleineres Basisangebot an Elektrizität und Wärme gegenüber. Es setzt sich zusammen aus einer 40jährigen Betriebszeit der KKW, der bisherigen Nutzung der Wasserkraft und einer „optimistisch-realistischen“ Einschätzung der zu erwartenden wachsenden Marktanteile von Wärmepumpen, WKK, Biomasse, energetischer Kehrriechtnutzung und neuer erneuerbarer Energien.

Das verbleibende "Strom- und Wärmemanko" beträgt **27** TWh Elektrizität und **72** TWh Wärme.

Zur Deckung des „Mankos“ kommen alle konventionellen und neuen Energien und Techniken von Massnahmen zum rationellen Energieeinsatz bis zum Heizkessel in Frage.

Zuerst wird das „Manko“ alternativ zur Referenznachfrage und zum Basisangebot durch eine massive Verstärkung von Massnahmen zum rationellen Energieeinsatz und durch massiv verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien auf **15,5 TWh** Elektrizität und **46 TWh** Wärme deutlich reduziert.

Zur Deckung der **zwei** unterschiedlich grossen „Mankos“ werden **neun** Kombinationen aus fossil-thermischen und nuklearen Energieversorgungssystemen mit zwischen 0 % und 100 % variierenden Anteilen der einen und der anderen Technologie gebildet. Die neun Versorgungsvarianten werden bei der Gesamtwürdigung zu zwei Hauptvarianten zusammengefasst: in einer Hauptvariante dominieren die nuklearen und in der anderen die fossil-thermischen Anlagen (siehe auch Tabelle 2).

Daraus resultieren insgesamt 18 Varianten; zusammengefasst zu vier Hauptvarianten:

- **Fossile** Stromerzeugung kombiniert mit „Strommanko“ **27 TWh** und „Wärmemanko“ **72 TWh**
- **Nukleare** Stromerzeugung kombiniert mit „Strommanko“ **27 TWh** und „Wärmemanko“ **72 TWh**
- **Fossile** Stromerzeugung kombiniert mit „Strommanko“ **15 TWh** und „Wärmemanko“ **46 TWh**
- **Nukleare** Stromerzeugung kombiniert mit „Strommanko“ **15 TWh** und „Wärmemanko“ **46 TWh**

4.4.3 Ergebnisse

Tabelle 1: Hauptvarianten im Vergleich

Hauptvarianten (Stand 2030)	Kosten	Treibhausgase (gegenüber 1990)
Fossil + Referenz/Basis-Manko 27/72 TWh	Tiefste Kosten	Hoher Anstieg
Nuklear + Referenz/Basis-Manko 27/72 TWh	Etwas höher	Leichter Anstieg
Fossil + Sparen/Erneuerbare-Manko 15/46 TWh	Wesentlich höher	Leichte Reduktion
Nuklear+Sparen/Erneuerbare-Manko 15/46 TWh	Noch etwas höher	Hohe Reduktion

Bei der Untersuchung und Bewertung der Varianten stehen die Kosten und die Treibhausgas-Emissionen im Vordergrund. Weiter interessiert der Vergleich zwischen den fossil und nuklear dominierten Varianten sowie zwischen einer vollständigen Mankodeckung durch klassische Strom- und Wärmeerzeugungsanlagen (inkl. WKK) und einer Mankoreduktion durch Massnahmen zur rationellen Energieverwendung und zur Nutzung neuer erneuerbarer Energien.

Unter den fossilen Varianten werden die GuD- und WKK-Anlagen miteinander verglichen und zwar mit und ohne eine Kombination mit Wärmepumpen. Weiter interessieren die Vergleiche zwischen einer zentralen und einer dezentralen Stromerzeugung und zwischen Sparmassnahmen und vermehrter Nutzung neuer erneuerbarer Energien.

Aufgrund der Vergleiche ergeben sich folgende **Empfehlungen**:

- Ohne zentrale Stromerzeugungsanlagen wird man auch in der Zukunft nicht auskommen.
- Bei der Versorgung der Schweiz mit Elektrizität und Wärme ist ein optimierter Technologie- und Energiemix anzustreben.
- Der heutige Energiemix aus Wasserkraft und Kernenergie ist beizubehalten.
- Der Wärmebedarf und die noch nicht gedeckte Elektrizitätsnachfrage sind durch einen Mix aus Heizkesseln, Wärmepumpen, GuD- und grossen WKK-Anlagen sowie erneuerbaren Energien zu decken.
- Die Potentiale dieser Versorgungssysteme sind jeweils bis zum Kostenoptimum auszuschöpfen.
- Unter guten Bedingungen sind in grossen Gebäuden grosse WKK mit einem hohen Elektrizitätswirkungsgrad konkurrenzfähig; die Kosten kleiner WKK liegen um ein Drittel höher.
- Um CO₂-Emissionen zu reduzieren sind bei guten Voraussetzungen in kleinen Gebäuden auf jeden Fall Wärmepumpen konventionellen Heizkesseln vorzuziehen.
- Bei der Versorgung von Wärmepumpen mit Strom sind GuD-Anlagen grossen WKK-Anlagen überlegen: puncto CO₂ und Kosten in den meisten Fällen und bezüglich CO und NO_x in jedem Fall. Kleinen WKK sind GuD-Anlagen in jeder Beziehung überlegen.
- Als WKK eingesetzt, könnten die Brennstoffzellen das Einsatzpotential und das Einsatzspektrum der dezentralen WKK-Anlagen erweitern, die Kostenstruktur verändern und damit die gegenwärtige Konstellation zwischen GuD, WKK und WP in der Zukunft zugunsten der WKK-Anlagen verbessern oder gar verändern.
- Eine Strategie mit einer Verstärkung von Massnahmen zum rationellen Energieeinsatz und zur Nutzung erneuerbarer Energien würde zu tieferen Emissionen führen. Sie hätte aber höhere Kosten zur Folge. Insbesondere eine weitergehende Nutzung neuer erneuerbarer Energien weist relativ hohe Kosten auf. Grundsätzlich sind Energiesparmassnahmen und neue erneuerbare Energien dennoch zu fördern, neue erneuerbare Energien vor allem im Bereich der Wärmeerzeugung.

4.5 Bremer Institut: Volkswirtschaftliche Auswirkungen des Ausstiegs der Schweiz aus der Kernenergie

(2000 - 2001)

4.5.1 Fragestellung

Wie hoch sind im Vergleich zum Referenzszenario 2000 des BFE und unter Einhaltung der CO₂-Neutralität die volkswirtschaftlichen Mehrkosten der Initiativen

- „**MoratoriumPlus**“ (KKW-Moratorium) und
- „**Strom ohne Atom**“ (beschleunigte KKW-Ausserbetriebnahme) ?

4.5.2 Vorgehen/Annahmen

Die Elektrizitätsnachfrage bleibt während der ganzen Betrachtungsperiode bis 2030 konstant. Das impliziert einen deutlich effizienteren Stromeinsatz. Dessen Mehrkosten werden nicht ausgewiesen.

Die Stromimporte bleiben konstant. Sie dienen nicht der Deckung der „Versorgungslücke“ sondern als Reserve zur Sicherung einer hohen Versorgungssicherheit und werden bei Nichtbedarf wieder exportiert.

Der Umfang der zu schliessenden „Stromlücke“ ist konstant und annähernd gleich gross wie der Produktionsausfall der beschleunigt stillgelegten Kernkraftwerke.

Die Kosten der CO₂-Neutralisierung werden mit Fr. 50/t CO₂ (nach Auffassung des BFE zu niedrig) veranschlagt.

Die Möglichkeit eines massiven Anstiegs der Erdgaspreise (Gaspreisrisiko) wird sehr hoch eingeschätzt.

Die „Stromlücke“ wird in drei Szenarien folgendermassen geschlossen:

- 100 % GuD-Anlagen
- 15 % Photovoltaik und Wind / 85 % WKK
- 15 % Sparen / 85 % WKK

4.5.3 Ergebnisse

Tabelle 2: Volkswirtschaftliche Mehrkosten in Mia. Franken bis 2044

	„ Strom ohne Atom “	„ MoratoriumPlus “
GuD	26 (41)*	16
Photovoltaik / Wind / WKK	56 (62)*	42
Sparen / WKK	41 (48)*	29

* in Klammern bei starker Gaspreiserhöhung

4.6 VSG/CEPE/PSI: Potentiale zur Reduktion der CO₂-Emissionen

Energie-Effizienz, erneuerbare Energie und Erdölsubstitution durch Erdgas

(2001 - 2003)

4.6.1 Fragestellung

Beiträge der verschiedenen CO₂-Reduktionspotentiale an die Erreichung aktueller CO₂-Reduktionsziele unter besonderer Berücksichtigung verstärkter Erdölsubstitution durch Erdgas.

CO₂-Reduktionspotentiale:

- verstärkte Erdgasnutzung und deren Beschleunigung
- Verstärkung von Massnahmen zur rationellen Energienutzung
- verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien

CO₂-Reduktionsziele:

- Szenario I: CO₂-Ziele gemäss Kyoto-Protokoll (- 7 % nicht witterungskorrigiert))
- Szenario II: CO₂-Ziele gemäss CO₂-Gesetz (-10 % witterungskorrigiert)

Die Reduktionspotentiale werden durch eine CO₂-Abgabe gemäss CO₂-Gesetz und durch weitere Massnahmen aktiviert.

Ein weiteres Ziel ist die Verminderung von Energiepreissrisiken durch eine weitere Reduktion der nicht-erneuerbaren Energien und durch Diversifikation der Energieträger (insbesondere durch eine weitere Reduktion der Erdölabhängigkeit).

Die Erreichung der Ziele erfolgt unter Berücksichtigung ökonomischer und weiterer ökologischer Gesichtspunkte.

4.6.2 Vorgehen/Annahmen

Ein Referenzszenario wird in enger Anlehnung an die BFE-Arbeiten und Bottom-up-Modelle erstellt. Ausgehend vom Referenzszenario werden in den beiden Reduktionsszenarien unter Einbezug weitergehender Energieeffizienzmassnahmen, des verstärkten Einsatzes von erneuerbaren Energien und Erdgas in einem ausgewogenen Verhältnis modifiziert.

Neben den Hauptaspekten inländischer Energieverbrauch und inländische CO₂-Emissionen werden zusätzlich folgende Aspekte berücksichtigt:

- Auswirkungen auf die Volkswirtschaft (BIP, Beschäftigung, Branchenstruktur),
- europäischer Handel mit Emissionszertifikaten,
- der im Ausland vorgelagerte Teil der Energiekette,
- graue Energie-Emissionen,
- externe Kosten (insbesondere Auswirkungen auf die Gesundheitskosten),

- alle wichtigen Luftschadstoffe,
- Methan-Emissionen,
- Kosten- und Mehrkostenanalyse,
- CO₂-Bilanz des Elektrizitätsaussenhandels.

Der Zeitpunkt der Einführung und die Höhe der CO₂-Abgabe werden im Hinblick auf die zu erreichenden CO₂-Ziele unterschiedlich gewählt:

CO ₂ -Abgabe:	Jahr der Einführung	Abgabehöhe in Fr./t CO ₂	
		Brennstoffe	Treibstoffe
Szenario I (Kyoto)	2006	25	50
Szenario II (CO ₂ -Gesetz)	2005	50	100

Flankierend zur CO₂-Abgabe werden beträchtliche Anstrengungen aller beteiligten öffentlichen und privaten Akteure vorausgesetzt.

Als eine szenariotechnische Innovation werden die Effekte einer Dematerialisierung und einer Kreislaufoptimierung untersucht.

Im Bereich volkswirtschaftliche Auswirkungen beschränkt man sich auf Literaturrecherchen.

4.6.3 Ergebnisse

Gemäss Referenzszenario gehen die CO₂-Emissionen in der Periode 1990 – 2010 witterungskorrigiert um 1,3 Prozent zurück.

Die resultierende CO₂-Reduktion 1990 - 2010:

- Szenario I: - **1,2 %** (Kyoto-Ziel deutlich verfehlt)
- Szenario II: - **10,9 %** (CO₂-Ziel erreicht).

Beiträge der untersuchten Reduktionspotenziale an die CO₂-Reduktion im Szenario II (im Vergleich zum Stand der Technik 1990 (aber unter Berücksichtigung des Strukturwandels):

- Verstärkung von Massnahmen zur rationellen Energienutzung **74%**
- beschleunigte und verstärkte Erdgasnutzung **14 %**
- Verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien **12 %**

Zusätzliche jährliche Kosten der beteiligten Investoren von 150 bis 400 Mio. Franken (2.5% bzw. 5% bis 8% Realzinssatz) stehen einem etwa gleich grossen Rückgang allgemeiner externer Kosten gegenüber, davon ca. 200 Millionen aus dem Gesundheitsbereich.

Die negative Auswirkung der CO₂-Abgabe auf die BIP-Entwicklung wird als kaum wahrnehmbar, die Beschäftigungswirkung als positiv eingeschätzt.

CO₂-Emissionen, welche im Zusammenhang mit der Energieversorgung der Schweiz bei der Produktion, Speicherung und Transport von Energie im Ausland anfallen, betragen 1999 weitere rund 14 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente, welche im Reduktionsszenario II rund 16% abnehmen.

4.6.4 Schlussfolgerungen

Die CO₂-Ziele sind grundsätzlich erreichbar, bedingen aber frühzeitiges und wirksames Handeln und weitreichende Massnahmen. Um eine gesamtwirtschaftliche und effiziente Umsetzung zu erreichen, sollten die Massnahmen in möglichst allen Bereichen ergriffen werden, also in Wirtschaft, Wohn- und Verkehrssektor, Energieanwendung und Energieerzeugung.

Die mit der Zielerreichung verbundenen Massnahmen und Kosten stehen Nutzen auf verschiedenen Ebenen gegenüber, welche die Szenarien wirtschaftlich und ökologisch rechtfertigen. Zu den Nutzen gehören eine markante Reduktion der externen Kosten (insbesondere im Gesundheitsbereich), eine Stimulierung der Innovation in der Schweiz sowie private Nutzen wie erhöhter Wohnkomfort oder verbesserte Werterhaltung/Wertsteigerung im Gebäudebereich.

Literatur:

- Jochem E, Jakob M (2003) "Energieperspektiven bis 2010 – CO₂-Reduktionspotentiale des Energiesystems in der Schweiz" gwa 9/2003, pp 665 – 677, Zürich
- E. Jochem, M. Jakob (Hrsg) „Energieperspektiven und CO₂-Reduktionspotentiale in der Schweiz bis 2010“, vdf Hochschulverlag an der ETH, Zürich, ISBN 3-7281-2916-X, Frühjahr 2003
- S. Hirschberg (Hrsg) „CO₂-Reduktion in der Schweiz: jetzt konsequent handeln!“ in: Energiespiegel Nr. 10 / November 2003, PSI, Villigen

Tabelle 3: Neuere Perspektivarbeiten im Überblick:

Jahr	Wer	Titel	Massnahme(n)	Ziel (Randbedingung)	Ergebnisse
1994	BFE	Szenario I	Energiebeschluss	(mit KKW)	Auswirkungen auf PJ, TWh, CO ₂
		Szenario II	Energiegesetz und CO ₂ -Abgabe	(mit KKW)	Auswirkungen auf PJ, TWh, CO ₂
1995	VSE	Vorschau '95		Stromversorgung	Technologien-Mix
1995	CAN	Zukunft ohne Atom		Keine KKW innert 10 Jh.	Machbar
1996	BFE	Szenario I	Energiebeschluss	(mit und ohne KKW)	Auswirkungen auf PJ, TWh, CO ₂
		Szenario II a	Energiegesetz	(mit und ohne KKW)	Auswirkungen auf PJ, TWh, CO ₂
		Szenario II b	EnG und CO ₂ -Abg.	(mit und ohne KKW)	Auswirkungen auf PJ, TWh, CO ₂
		Szenario III a	Energie-Umwelt-Init.	(mit und ohne KKW)	Auswirkungen auf PJ, TWh, CO ₂
		Szenario III b	Solarinitiative	(mit und ohne KKW)	Auswirkungen auf PJ, TWh, CO ₂
		Szenario III c	Kombination beider Initiativen	(mit und ohne KKW)	Auswirkungen auf PJ, TWh, CO ₂
1997		Szenario IV		- 60 % CO ₂ bis 2030	- 46 % möglich
1999	SATW	CH50%		- 50 % CO ₂	Möglich ab 2030
2000	BFE	Referenzszenario	EnG	(mit KKW)	Auswirkungen auf PJ und CO ₂
		Auswirkungen von Energieabgaben	Abgabe gemäss Grundnorm		Auswirkungen auf PJ und CO ₂
			Förderabgabe		Auswirkungen auf PJ und CO ₂
			Kombination beider Abgaben		Auswirkungen auf PJ und CO ₂
		CO ₂ -Abgabe	-10% CO ₂ bis 2010	Auswirkungen auf PJ und CO ₂	
2001	Bremer Institut	Auswirkungen eines KKW-Ausstiegs	"MoratoriumPlus"		
			"Schweiz ohne Atom"	(keine CO ₂ -Zunahme)	Kosten in Fr.
2001	BFE	Auswirkungen eines KKW-Ausstiegs	"MoratoriumPlus"		
			"Schweiz ohne Atom"	(keine CO ₂ -Zunahme)	Kosten in Fr.
2001	PSI	GaBE		Versorgung 2030	Technologien-Mix
2002	VSG	CO ₂ -Reduktion durch	mehr Erdgaseinsatz	-10% CO ₂ bis 2010	CO ₂ , Kosten in Fr.

5. Vergleich der Perspektiven

Untereinander vergleichbar sind Arbeiten mit der gleichen oder mit einer ähnlichen Fragestellung. Von den vorgestellten Arbeiten bieten sich folgende zwei Themenbereiche zu einem Vergleich an:

- starke langfristige CO₂-Reduktion und
- nichtnuklearer KKW-Ersatz.

5.1 Starke langfristige CO₂-Reduktion: SATW und BFE-Szenario IV

Die SATW und das BFE haben die Machbarkeit einer starken, langfristig angelegten CO₂-Reduktion untersucht.

Tabelle 4: Annahmen zur Rahmenentwicklung

1990 – 2020	BFE	SATW
Haushalte: Energiebezugsflächen	+ 40 %	+ 20 %
Dienstleistungen: Energiebezugsflächen	+ 25 %	Wachstum
Industrie: Wertschöpfung	+ 59 %	+ 60 %
Personenwagen: Fahrleistung	+ 50 %	Konstant
Güterverkehr Strasse: Fahrleistung	+ 110 %	Konstant

Tabelle 5: Ergebnisse: mögliche CO₂-Reduktion

	2020	2030	2025 - 2050
BFE-Szenario IV		- 46 %	
SATW	- 20 %		- 50 %

In zwei Sektoren hat die SATW die Reduktionspotentiale anders als das BFE eingeschätzt:

- Industrie: SATW: - 20 % bis 2020, Szenario IV: - 46 % bis 2030 (bei gleicher Wertschöpfung)
- Verkehr: SATW : - 50 % bis 2020, Szenario IV: - 45 % bis 2030 (bei unterschiedlicher Verkehrsleistung).

Die Arbeiten der SATW sind mit dem Szenario IV des BFE gut vergleichbar. Die Ergebnisse beider Studien stimmen weitgehend überein: beide halten eine Halbierung der CO₂-Emissionen vor allem mit Hilfe einer Energielenkungsabgabe im Zeitraum zwischen 2025 und 2050 für technisch machbar.

Diese Übereinstimmung wird allerdings durch die zum Teil deutlich unterschiedlichen Annahmen zur Rahmenentwicklung relativiert. Während die BFE-Arbeiten die heutigen Verhaltensmuster nicht in Frage stellen, ziehen die SATW-Experten Leistungs- und Komfortreduktionen (Verzichte) im Verkehrs- und Wohnbereich in Erwägung.

Es ist möglich, dass sich die Nachfrage nach Komfort – zum Beispiel nach mehr Mobilität oder größeren Wohnungen – vor allem bei stark steigenden Energiepreisen zurückbilden würde. Allerdings verlassen solche Aussagen über veränderte Konsumentenpräferenzen den relativ sicheren Bereich der Technik und werden spekulativer.

5.2 Nichtnuklearer KKW-Ersatz: CAN, VSE, PSI, Bremer Institut und BFE

Untersuchungen über einen nichtnuklearen KKW-Ersatz wurden neben dem BFE von folgenden Organisationen durchgeführt: CAN, VSE, PSI und das Bremer Institut. Das Bremer Institut und das BFE haben speziell auch die volkswirtschaftlichen Mehrkosten der Initiativen „Strom ohne Atom“ und „MoratoriumPlus“ im Vergleich zum Referenzszenario (KKW-Betriebsdauer 50-60 Jahre) eruiert.

Tabelle 6: Ermittlung der „Stromlücke“

2030	TWh	BFE	Bremer Institut	PSI	VSE	CAN
El.Nachfrage		60.1	53.9	66	66.2	60.4
Importe		17.2	15.7	Keine	1.7	Keine
Erzeugung		37.4	36.9	39	37.2	36.9
Reserve/Export		2.2*	22.1	-	-	-
Stromlücke (maximal)		8.6	22.9	27	27.2	23.5

* Lieferverpflichtungen gegenüber Ausland

In der Tabelle 7 fällt auf, dass das BFE von einer im Vergleich zu den übrigen Studien deutlich kleineren „Stromlücke“ von 8.6 TWh ausgeht. Die grosse Differenz ist auf die unterschiedliche Rolle der Stromimporte bei der Sicherung der Stromversorgung zurückzuführen:

- Das PSI geht vom Grundsatz einer inländischen Stromversorgung aus.
- Die CAN geht davon aus, dass die Stromimporte dank einer entsprechenden Nachfrage- und Angebotsstrategie nicht benötigt werden.
- Der VSE prüft in zwei von acht seiner Szenarien die Stromimporte (Anteil 50 % und 100 %) als eine mögliche Alternative.
- Das Bremer Institut geht im Unterschied zu allen anderen Arbeiten von einer hohen Versorgungssicherheit aus; die Stromimporte dienen deren Absicherung und werden bei Nichtbedarf exportiert bzw. im Ausland belassen.
- Das BFE nimmt an, dass die Bezugsrechte in der Zukunft konstant bleiben. Die ablaufenden Bezugsrechte werden durch neue (allenfalls nichtnukleare) Importe ersetzt. Damit wird auch dem unausweichlichen Trend der Marktöffnung Rechnung getragen. Ohne diese Stromimporte würde die „Stromlücke“ beim BFE 25 TWh betragen. Bei der Annahme konstanter Importe wird sie zu 64 Prozent durch Stromimporte gedeckt.

Der grosse Unterschied der „Stromversorgungslücke“ des BFE zu den Versorgungslücken der übrigen Organisationen relativiert den Vergleich der Arbeiten. Um zum Beispiel den Beitrag von 5 bis 7 Prozent der neuen erneuerbaren Energien an die Lückendeckung bei BFE, PSI, VSE und CAN richtig zu beurteilen (Tabelle 8), müssen die absoluten Beiträge in TWh (Tabelle 7) beachtet werden. Auch beim Vergleich der volkswirtschaftlichen Mehrkosten in der Tabelle 9 muss man den Umfang der ihnen jeweils zugrundeliegenden „Stromlücke“ im Auge behalten (siehe auch das nächste Kapitel 5.3).

Tabelle 7: Deckung der „Stromlücke“ - Beiträge in TWh

Auftraggeber	BFE	Bremer Institut			PSI		VSE		CAN
		GuD	Solar/Wind	Sparen	Fossil	Fossil+Sparen	Fossil	Fossil+solar	
Szenarien									
Stromlücke	8.6	22.9	22.9	22.9	27	27	27.2	27.2	23.5
GuD		22.9			21.9	10.5	27.2	25.8	
WKK	5.8		19.5	19.5	5.1	14.9			10.1
Erneuerbare	0.6		3.4			1.6		1.4	1.6
Sparen	2.1			3.4*		10			11.8

* 6.5 TWh Stromsparen sind zudem in der niedrigeren Stromnachfrage enthalten als Differenz zur BFE-Stromnachfrage (siehe Tabelle 7). Insgesamt beträgt das Stromsparen 9.9 TWh.

Tabelle 8: Deckung der „Stromlücke“ - Beiträge in %

Auftraggeber	BFE	Bremer Institut			PSI		VSE		CAN
		GuD	Solar/Wind	Sparen	Fossil	Fossil+Sparen	Fossil	Fossil+solar	
Szenarien									
Stromlücke	100	100	100	100	100	100	100	100	100
GuD		100			81	39	100	95	
WKK	68		85	85	18	18			43
Erneuerbare	7		15			6		5	7
Sparen	25			15		37			50

Tabelle 9: Gestehungskosten und volkswirtschaftliche Mehrkosten in Mia. Fr.

Auftraggeber	BFE	Bremer Institut			PSI		VSE		CAN
		GuD	Solar/Wind	Sparen	Fossil	Fossil+Sparen	Fossil	Fossil+solar	
Szenarien									
Gest.Kosten					+	+++	+	++++	
Mehrkosten*	42/25	26/16	56/42	41/29					60**

* bis **2044**

** Volksw. Mehrinvestitionen 1995 – **2030** zu Preisen von 1985 (BFE und Bremer Institut 2005 – 2044)

5.3 Vergleich BFE - Bremer Institut (SoA und M+40)

Tabelle 10: Vergleichende Übersicht der Annahmen und Resultate

	BFE: <u>ein</u> Mix (tendenziell Kos- tenoptimum)	Bremer Studie: <u>drei</u> Szenarien			
		GuD-Szenario	Szenario Photo- voltaik + WKK	Szenario Forcier- tes Sparen+WKK	
Annahmen:					
Versorgungssicherheit	50 %	Hoch, gegen 100 %	Hoch, gegen 100 %	Hoch, gegen 100 %	
Stromimporte	2000: 18,9 TWh 2030: 17,2 TWh	Konstant 15,7 TWh	Konstant 15,7 TWh	Konstant 15,7 TWh	
Gaspreis	+ 25 % bis 2030	Konstant	Konstant	Konstant	
Energiepolitische In- strumente	EnG, CO2-Gesetz/- Abgabe, Initiativen	Kein Thema	Kein Thema	Kein Thema	
„Stromlücke“ (maximal)	8,6 TWh	Konstant 22,9 TWh	Konstant 22,9 TWh	Konstant 22,9 TWh	
Referenz- Stromnachfrage	2000: 53,9 TWh 2030: 60,4 TWh	Konstant 53,9 TWh	Konstant 53,9 TWh	Konstant 53,9 TWh	
Kosten CO2- Neutralisierung	Fr.133 –160 /t CO2 (Durchschnitt)	Fr. 50 /t CO2	Fr. 50 /t CO2	Fr. 50 /t CO2	
Mehrkosten Strom- sparen bis 2030	SoA 3,5 Mia. M+40 1,9 Mia.	Kein Thema	Kein Thema	Kein Thema	
Resultate:					
Mehrkosten bis 2044	SoA: M+40:	42 Mia. 25 Mia.	26 Mia. 16 Mia.	56 Mia. 42 Mia.	41 Mia. 29 Mia.
<u>Sensitivitäten SoA:</u>					
Gaspreis konstant		39 Mia.	26 Mia.	56 Mia.	41 Mia.
Gaspreiserhöhung		45 Mia.	41 Mia.	62 Mia.	48 Mia.
GuD-Sensitivität SoA		39 Mia.	26 Mia.		
GuD-Sensitivität + Gaspreis konstant		35 Mia.	26 Mia.		
Forciertes Sparen (Mehrkosten)		41 Mia. (- 0,7 Mia. bis 2030)			41 Mia.

5.3.1 Unterschiede bei Vorgehen und Annahmen

- In der **BFE**-Studie ist die wesentlich kleinere „Stromlücke“ von 8.6 TWh das Resultat einer Bilanz aus der bisherigen inländischen Stromerzeugung ohne Kernkraftwerke, den Stromimporten und einer mit Hilfe eines Bottom-up-Modells ermittelten Nachfrageentwicklung.
In der **Bremer** Studie wird stark vereinfachend die „Stromlücke“ mit dem stilllegungsbedingten Produktionsausfall der KKW von 22.9 TWh gleichgesetzt.
- In der **BFE**-Studie sind die Stromimporte ein Teil des Stromangebots und reduzieren deutlich die „Stromlücke“. Eine Versorgungssicherheit von 50 % wird als ausreichend betrachtet.
In der **Bremer**-Studie werden die Stromimporte als (übermässig grosse) Reserve zur Erreichung einer (zu) hohen Versorgungssicherheit benötigt und gehören deshalb nicht zum Stromangebot. Die „Stromlücke“ ist deshalb deutlich grösser als beim BFE.
- Um die „Stromlücke“ zu schliessen und die zusätzlichen WKK-bedingten CO₂-Emissionen zu kompensieren, sucht das **BFE** von Anfang an einen tendenziell kostenoptimalen Mix aus WKK-Anlagen, rationeller Stromverwendung und Nutzung erneuerbarer Energien.
Die **Bremer** Studie schliesst die „Stromlücke“ in drei verschiedenen Szenarien einmal durch GuD, einmal durch Elektrizitätssparmassnahmen plus WKK und einmal durch erneuerbare Energien plus WKK. Diese in zwei Fällen kostenmässig extremen Szenarien stecken einen Rahmen ab. Ein kostenoptimaler Massnahmen- und Technologien-Mix liegt nicht vor.
- In der **BFE**-Studie sind die Mixanteile der WKK-Anlagen, rationeller Stromverwendung und Nutzung erneuerbarer Energien ein Gegenstand der Untersuchung.
In der **Bremer**-Studie wurden die Anteile von GuD, WKK, Sparmassnahmen und neuer erneuerbarer Energien modellexogen im voraus vorgegeben.
- Das **BFE** hat aus methodischen Gründen nur den Zeitraum bis zum Jahr 2030 erfasst. Im Referenzszenario wird das letzte Kernkraftwerk erst im Jahr 2044 stillgelegt. Um die gesamten Mehrkosten zumindest grob zu erfassen und die Vergleichbarkeit zu anderen Arbeiten wenigstens annähernd herzustellen, wurden die bis zum Jahr 2030 ermittelten Mehrkosten auf die restlichen 14 Jahre bis 2044 sehr vereinfachend hochgerechnet.
Die **Bremer**-Studie erfasst von vornherein den gesamten Zeitraum bis 2044.

5.3.2 Partiiell vergleichbare Ergebnisse

Photovoltaik-Szenario

Das Bremer Szenario mit starkem Ausbau der Photovoltaik hat mit der BFE-Studie wenig gemeinsam. Die Resultate sind deshalb nicht vergleichbar.

Szenario „Forciertes Elektrizitätssparen“

Das Bremer Szenario „Forciertes Elektrizitätssparen“ scheint auf den ersten Blick mit der fast gleichlautenden Sensitivitätsrechnung des BFE „Verstärktes Stromsparen“ vergleichbar zu sein. Auch die resultierenden Mehrkosten liegen nicht weit auseinander. Die unterschiedlichen Annahmen und das wenig transparente Vorgehen der Bremer Studie bei der Simulation der Sparmassnahmen und bei der Berechnung der Mehrkosten machen jedoch einen Vergleich unmöglich. Die weitgehende Übereinstimmung der Resultate dürfte zufällig sein.

GuD-Szenario

Das Bremer GuD-Szenario ist infolge unterschiedlicher Annahmen mit dem BFE-Szenario nur indirekt vergleichbar. Eine Bereinigung der Unterschiede mit Hilfe bereits vorliegender Sensitivitätsrechnungen und aufgrund einer groben Angleichung der Annahmen lässt auf eine plausible Beziehung zwischen den getroffenen Annahmen und den Resultaten schliessen. Nach einer weitgehenden Angleichung der Annahmen liegen auch die Resultate nah beieinander. Die verbleibenden Differenzen sind plausibel erklärbar.

Siehe auch ein separater Studienvergleich der Bremer Studie mit den BFE-Arbeiten.

5.3.3 Fazit des Vergleichs

Die **Bremer** Studie führt keine vertieften Analysen durch, basiert auf Extremszenarien und zeigt keine technisch und wirtschaftlich praktikablen Strategien auf. Im Bereich der Kostenannahmen sind mehrere deutliche Über- und Unterschätzungen festzustellen, welche sich aber gegenseitig weitgehend kompensieren. Die resultierenden Mehrkosten bewegen sich deshalb eher zufällig in einem mit den Mehrkosten der BFE-Studie vergleichbaren Rahmen.

Die **BFE**-Studie untersucht vertieft die Nachfrage- und Angebotsstruktur, setzt realisierbare energiepolitische Instrumente ein und präsentiert für die Stilllegungsvarianten tendenziell kostenoptimierte Szenarien. Ob die politischen Instrumente nach einer allfälligen Annahme der Initiativen tatsächlich realisierbar wären, ist offen und war nicht Gegenstand der Untersuchung. Auch wenn alle Modellrechnungen unsicher sind, weisen die durchgeführten Sensitivitätsrechnungen auf eine gute Verlässlichkeit der BFE-Resultate hin.

5.4 Vergleich BFE - PSI

5.4.1 Unterschiede bei Vorgehen und Annahmen

Die Perspektivarbeiten des **BFE** sind auf die Beantwortung energiepolitischer Fragen ausgerichtet und legen deshalb je nach aktuellem Anlass unterschiedliche Schwerpunkte. In der Regel werden jeweils konkret formulierte energiepolitische Alternativen untereinander oder mit einem Referenzszenario verglichen. Um eine gute Vergleichbarkeit zu gewährleisten, sollte die Anzahl der untersuchten Aspekte und der Beurteilungskriterien nicht übermässig gross sein. Nur so sind die Ergebnisse auf einen oder wenige gemeinsame Nenner zu bringen.

Dieses Vorgehen führt zu mehr Flexibilität und ermöglicht die Ausarbeitung kostenoptimierter Alternativen. Unter Einsatz der BFE-Modelle lassen sich

- zur Erreichung eines bestimmten CO₂-Reduktionsziels die kostenoptimalen Massnahmen benennen,
- unter Einsatz kostenoptimaler Massnahmen durch bestimmte Fördersummen die grösstmöglichen CO₂-Reduktionen erzielen oder
- verschiedene Massnahmenbündel bewerten und miteinander vergleichen.

Bei der Beurteilung der Stilllegungsinitiativen durch das BFE bilden die Mehrkosten (mit Ausnahme der WKK-bedingten zusätzlichen NO_x-Emissionen) den gemeinsamen Nenner. Der Vergleich mündet in einem Kostenvergleich und der Ausarbeitung einer kostenoptimierten energiepolitischen Massnahmenstrategie.

Der **PSI**-Ansatz ist ganzheitlich konzipiert und mehr auf die Beantwortung grundsätzlicher Fragen ausgerichtet. Er zieht von Anfang an eine Multikriterienanalyse vor und berücksichtigt auch Auswirkungen, die ausserhalb der Schweiz liegen. Die Stilllegungsinitiativen können nur indirekt beurteilt werden, indem sie mit den 18 vorliegenden PSI-Varianten verglichen werden.

Bei der Gesamtwürdigung der (Zwischen)Ergebnisse reduziert auch das PSI die Anzahl der Beurteilungskriterien. Es stehen schliesslich zwei Hauptaspekte im Vordergrund: die CO₂-Äquivalente und die Jahreskosten. Die zusätzlichen CO₂-Emissionen werden im Unterschied zum BFE nicht neutralisiert und nicht in Kosten umgerechnet. Das führt dazu, dass Mehrkosten, welche bei einer Kompensation zusätzlicher CO₂-Emissionen anfallen und den fossil-thermischen Anlagen anzulasten sind, bei den Kostenvergleichen unberücksichtigt bleiben. So benachteiligt zum Beispiel ein Kostenvergleich zwischen einer nuklearen und einer fossil-thermischen Option die Kernenergie und ein Kostenvergleich zwischen WKK und Kombikraftwerken die WKK-Anlagen. Um diese Ungleichbehandlung zumindest verbal richtig zu stellen, muss auf die unterschiedlichen CO₂-Emissionen hingewiesen werden.

5.4.2 Weitere Unterschiede zwischen den BFE- und PSI-Arbeiten

- Das **BFE** berücksichtigt die während der Energieumwandlung und beim Energieverbrauch auf dem Territorium der Schweiz anfallenden CO₂-Emissionen und fallweise die Zunahme der NO_x-Emissionen.

Das **PSI** berücksichtigt alle Treibhausgase, die wichtigsten Luftschadstoffe, komplette Energieketten (Gewinnung, Aufarbeitung, Transport, Nutzung, Entsorgung) und die ganzen Lebenszyklen und zwar im In- und Ausland.

- Das **BFE** geht in den neusten Arbeiten (2000/01) von unveränderten Elektrizitätsimporten aus und nimmt an, dass die bestehenden Bezugsrechte im Sinne der Marktöffnung nach ihrem Ablauf durch andere Stromimporte ersetzt werden. Dadurch wird in Optionen mit fossil-thermischer Stromerzeugung die CO₂-Problematik deutlich entschärft (bzw. ins Ausland verlagert). 1996 hat das BFE zwei Varianten gerechnet: eine mit und eine ohne Ersatz der Bezugsrechte durch neue Importe.

Das **PSI** geht von einer inländischen Stromversorgung aus. Die bestehenden Bezugsrechte werden nicht erneuert.

- Das **BFE** hat den Beitrag der inländischen KKW an die Stromversorgung unterschiedlich angenommen:

- 1994: konstanter Beitrag (40-jährige Betriebsdauer und Ersatz durch neue KKW);
- 1996 und 2000: 40-jährige Betriebsdauer, kein Ersatz durch neue KKW;
- 2001: KKM, KKB I+II 50- und KKG, KKL 60-jährige Betriebsdauer, keine neuen KKW.

Das **PSI** geht von einer 40-jährigen technischen Lebensdauer bestehender Kernkraftwerke aus. In fossilen Optionen werden die KKW nach ihrer Stilllegung durch fossil-thermische Anlagen und in den nuklearen Optionen durch neue KKW ersetzt.

5.4.3 Ergebnisse

Das **BFE** beschränkt sich auf die Auswirkungen der beiden Initiativen. Eine umfassende Bewertung der sich sonst bietenden Alternativen ist nicht Gegenstand der Untersuchung. Bei **PSI** steht es gerade umgekehrt. Die Ergebnisse sind deshalb nur bedingt miteinander vergleichbar (siehe dazu Tabellen 7–9). In den Grundaussagen besteht kein Widerspruch.