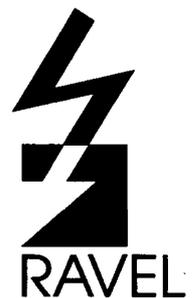


Materialien zu RAVEL

# **Volkswirtschaftliche Bedeutung von RAVEL am Beispiel einer WKK/WP-Strategie**

A. Nietlisbach



Impulsprogramm RAVEL  
Bundesamt für Konjunkturfragen

Adressen:

**Herausgeber:** Bundesamt für Konjunkturfragen  
(BfK)  
Belpstrasse 53  
3003 Bern  
Tel.: 031/322 2139  
Fax: 031/371 8289

**Geschäftsstelle:** RAVEL  
c/o Amstein + Walthert AG  
Leutschenbachstrasse 45  
8050 Zürich  
Tel.: 01/305 9111  
Fax 01/305 9214

**Autor:** A. Nietlisbach  
Metron AG  
Stahlrain 2  
5200 Brugg  
Tel.: 052/460 9111  
Fax 052/460 9100

Diese Studie gehört zu einer Reihe von Untersuchungen, welche zu Händen des Impulsprogrammes RAVEL von Dritten erarbeitet wurde. Das Bundesamt für Konjunkturfragen und die von ihm eingesetzte Programmleitung geben die vorliegende Studie zur Veröffentlichung frei. Die inhaltliche Verantwortung liegt bei den Autoren und der zuständigen Ressortleitung .

**Copyright** Bundesamt für Konjunkturfragen  
3003 Bern, Dezember 1995

Auszugsweiser Nachdruck unter Quellenangabe erlaubt. Zu beziehen bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern (Best. Nr. 724.397.10.19 D)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b>	<b>5</b>
<b>1. Ausgangslage</b>	<b>9</b>
<b>2. WKK-Investitionen aus der Sicht der schweizerischen Volkswirtschaft</b>	<b>11</b>
<b>3. WKK-Potential und Entwicklungsszenarien</b>	<b>15</b>
3.1 Wirtschaftlich-technisches Potential der WKK in der Schweiz	15
3.2 WKK-Investitionsszenarien	18
3.2.1 Referenzentwicklung	18
3.2.2 Szenarium "Referenz+"	19
3.2.3 Expansionsszenario	21
3.2.4 Beschleunigungsszenario	21
<b>4. Wirkungen auf den Energieverbrauch und die Umweltbelastung</b>	<b>23</b>
4.1 Wirkungen der WKK-Investitionen alleine (Grenzfall D)	23
4.2 Einbezug von Investitionen in Elektrowärmepumpen (Grenzfall C)	25
<b>5. Wirkungen der Szenarien auf den Arbeitsmarkt</b>	<b>29</b>
5.1 Modellannahmen und Grenzen der Aussagekraft	29
5.2 Primäre Beschäftigungseffekte	31
5.2.1 Primäreffekte der Basisvariante	31
5.2.2 Nettoeffekte von Stromexportvarianten	33
5.2.3 Primäreffekt bei erhöhtem Importanteil der Modulnachfrage	34
5.2.4 Bedeutung des Primäreffektes	35
5.3 Einfluss des Primäreffektes auf die Wirtschaftsstruktur	35
5.3.1 Branchenstruktureffekte	35
5.3.2 Nachgefragte berufliche Qualifikationen	37
5.4 Sekundäre Effekte	38
5.4.1 Arbeitsmarkt	38
5.4.2 Staatshaushalt	39
5.5 Einfluss auf die Wettbewerbsfähigkeit der Schweiz	39
<b>6. Schlussfolgerungen</b>	<b>41</b>

---

<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>43</b>
<b>Anhang 1</b>	
Berechnungsgrundlagen für die WKK-Investitionsszenarien	45
<b>Anhang 2</b>	
Berechnungsgrundlagen für die Investitionen in Wärmepumpen	47
<b>Anhang 3</b>	
Annahmen zur Berechnung der Beschäftigungswirkungen	49

## Zusammenfassung

RAVEL und E-2000 fordern den Einsatz und die Verbreitung energieeffizienter Technologies und Bauten. Wärmekraftkoppelungsanlagen (WKK) und Elektrowärmepumpen (WP) gehören zu solchen Systemen.

### ***Fragestellung . . . . .***

Die vorliegende Studie untersucht die **volkswirtschaftliche Bedeutung** von Investitionen in WKK und WP-Anlagen. Sie vermittelt damit Informationen über einen wichtigen aber bisher wenig und nicht systematisch untersuchten Aspekt der beiden energiepolitischen Programme. Die in der Schweiz seit ein paar Jahren andauernden Ungleichgewichte auf den Arbeitsmärkten weisen auch eine beachtliche strukturelle Komponente auf. Es muss darum damit gerechnet werden, dass Unterbeschäftigung auch mittel- und langfristig andauern wird. Vor diesem Hintergrund gewinnt die volkswirtschaftliche Dimension einer WKK/WP-Investitionsstrategie stark an Bedeutung. Die **Kernfrage**, um die es geht, lautet: Wird durch eine energie- und umweltpolitisch sinnvolle Strategie' gleichzeitig ein Beitrag zur Entlastung des Arbeitsmarktes und zur Wohlfahrtssteigerung geleistet, handelt es sich also um eine "Double-Win-Strategie"?

### ***Zwei Potentialkurven unterscheiden sich durch einen Technologiesprung . . . .***

Ausgehend von **wirtschaftlich-technischen Potentialstudien** für die Schweiz und neuesten Entwicklungen in der Brennstoffzellentechnologie wurden zwei Potentialkurven für den Einsatz von WKK-Anlagen in der Schweiz abgeleitet. Die beiden Potentialkurven P1 und P2 unterscheiden sich ausschliesslich durch die unterschiedlichen Technologien, die zum Einsatz kommen. Die restlichen Annahmen (Entwicklung der Energiepreise, Zinssätze etc.) sind für beide Kurven identisch. Bei P1 stehen in den nächsten 30 Jahren nur Gasmotoren und Gasturbinen, die technisch bereits heute ausgereift und markterprobt sind, zur Verfügung. P2 hingegen geht von der Annahme aus, dass sich die bereits heute z.T. im Markt (Klein-WKK-Anlagen) und z.T. in der angewandten Forschung (Brennstoffzellen-WKK) ankündigenden Entwicklungen durchsetzen und zu kostengünstigeren Anlagen mit breiterem Anwendungsgebiet führen werden.

### ***Vier Szenarien nutzen die Potential unterschiedlich aus . . . . .***

Aufbauend auf diesen zwei technologisch unterschiedlichen Potentialkurven wurden vier **Investitions-Szenarien** skizziert (vgl. Tabelle Z1). "**Referenz**" beschreibt eine (hypothetische) Entwicklung der WKK-WP-Investitionen, die ohne RAVEL und E2000 unter sonst gleichen Rahmenbedingungen wie heute erfolgt wäre. "**Referenz+**" geht davon aus, dass RAVEL und E2000 zu einer besseren Markttransparenz und zu erhöhter Entscheidungskompetenz der Akteure im WKK- und WP-Markt führen. In regionalen Teilmärkten werden bereits heute vorhandene Chancen sowohl von den Investoren als auch von der Anbieterseite besser genutzt. Die Weiterbildungskurse für Planer, Installateure, Investoren und Anlagebetreiber führen zu sorgfältigeren und effizienteren Planungen, zu einem fachgerecht kontrollierten Betrieb und zu einer optimalen Wartung der Anlagen. Durch das zusätzlich gewonnene Vertrauen der Investoren und die gesteigerte Rentabilität kann bei sonst gleichen Marktbedingungen (insbes. Bezugs- und Rücklieferarife für Strom) eine bedeutende Ausdehnung des Marktvolumens erreicht werden.

---

<sup>4</sup> Diversifizierung u. Dezentralisierung der Energieversorgung, Erhöhung des Gesamtwirkungsgrades, Verminderung von Risiken technischer Grossanlagen, Verminderung der radioaktiven Abfälle und von externen Kosten.

Tabelle Z1: Übersicht über die vier WKK/WP-Investitionszenarien

Name	Kurzcharakterisierung	Potentialausschöpfung und jährl. Stromprodukt 2025	JÄHRLICHE BRUITOINVESTITIONEN (MIO. FR.)					
			WKK-Anlagen		WP-Anlagen		Total	
			1995-2010	2010-2025	1995-2010	2010-2025	1995-2010	2010-2025
Referenz	Autonome Entwicklung	10% von P1 930 GWh/a	20	40	9	18	28	58
Referenz+	Marktausdehnung Dank RAVEL und E2000	30% von P1 2800 GWh/a	60	120	26	52	66	172
Expansion	Flächendeckend, grenzkostenorient. Rücklieferstarife	75% von P1 7000 GWh/a	150	300	65	130	215	430
Beschleunigung	Technologiesprung Brennstoffzellen (ab 2005)	75% von P2 11'000 GWh/a	150/240 <sup>1</sup>	450/510 <sup>2</sup>	65/125 <sup>1</sup>	184/271 <sup>2</sup>	215/365 <sup>1</sup>	604/780 <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Erste Zahl: Wert für 1995-2005. zweite Zahl: Wert für 2005-2010 (Brennstoffzellendurchbruch 2005)

<sup>2</sup> Erste Zahl: Wert für 2010-2020, zweite Zahl: Wert für 2020-2025

Im Szenarium "**Expansion**" setzen die Kantone ab dem Jahr 2000 auf Initiative des Bundes grenzkostenorientierte Rücklieferstarife flächendeckend durch. Als weitere flankierende Massnahmen werden Informationskampagnen für HausbesitzerInnen und Untemehmer, Bereitstellung von Risikokapital zur Überbrückung von Liquiditätsengpässen, Bürgschaftskredite für investierende Contracting-Firmen und ein gezielter Ausbau des Gasnetzes vorgesehen. Durch all diese Massnahmen kann das wirtschaftlich-technische Potential P1 zu 75 % ausgeschöpft werden. In "**Beschleunigung**" wird zusätzlich ein beschleunigter technologischer Wandel angenommen. Ab dem Jahr 2005 setzt sich die Brennstoffzellentechnologie durch und Klein-WKK finden beschleunigte Verbreitung. Der Expansionspfad der Investitionen verlagert sich darum ab 2005 von der Potentialkurve P1 zur Kurve P2. Auf diesem Pfad kann unter sonst gleichen Marktbedingungen wie in "Expansion" 75% des wirtschaftlich-technischen Potentials P2 ausgeschöpft werden. Im Jahre 2025 werden Brennstoffzellen-WKK einen Marktanteil von ca. 50 % haben. Gegenüber "Expansion" werden insbesondere zusätzliche WKK-Anlagen im Wohn- und Dienstleistungssektor realisiert (Mehrfamilienhäuser, mittlere Bürogebäude).

### **Berechnungen der Folgen mit einem volkswirtschaftlichen Modell . . . . .**

Anschliessend wurde mit Hilfe eines **Input-Output-Simulationsmodelles** berechnet, wie sich die zusätzlichen Investitionen und die verminderten Ausgaben für Endenergieträger auf den Arbeitsmarkt auswirken. Trotz gewisser Grenzen der Aussagekraft konnten die ausgelösten Anpassungen der Produktion und die zusätzliche Nachfrage nach Arbeitskräften einigermaßen zuverlässig geschätzt werden. Tabelle Z2 fasst die wichtigsten Ergebnisse zusammen.

Tabelle Z2: Beschäftigungseffekte (dauerhafte Arbeitsplätze während 15 Jahren) der Investitionszenarien (Differenz zur Referenzentwicklung)

Primärer Beschäftigungseffekt <sup>6</sup>		Bruttoeffekt <sup>4</sup>			Nettoeffekt <sup>5</sup>		
		Ref.+	Exp.	Bes.	Ref.+	Exp.	Bes.
Basisvariante <sup>1</sup>	01995-2010	650	2100	2100-3600	370-590	1200-1900	1900-2700
	02010-2025	1380	4200	6400-6050	660-900	2200-29m	3900-4800
Stromexport 60% <sup>2</sup>	01995-2010 02010-2025	gleich wie Basisvariante			140% der Basisvariante		
Modulimport 100% <sup>3</sup>	01995-2010 02010-2025	75% der Basisvariante			50-70% der Basisvariante		

- 1 Export-/Importanteile gemäss Branchendurchschnitten 1985. Die Elektrowirtschaft kann die verlorenen Marktanteile nicht durch zusätzliche Exporte kompensieren.
- 2 Im Unterschied zur Basisvariante gelingt es der Elektrowirtschaft, 60% der im Inland verlorenen Marktanteile zu exportieren.
- 3 Die schweizerische Maschinenindustrie ist nicht wettbewerbsfähig bei der Modulherstellung: 100% der eingesetzten Module werden importiert.
- 4 Beschäftigungsimpulse, die durch die zusätzliche Endnachfrage der Investitionen ausgelöst werden (inkl. Vorleistungen)
- 5 Bruttoeffekt vermindert um den Beschäftigungsrückgang der Energiewirtschaft (inkl. Vorleistungen).
- 6 Ohne Einkommensmultiplikator

***Beschäftigungswirkungen im Vergleich zur Referenzentwicklung . . . . .***

Die in Tabelle Z2 aufgelisteten Beschäftigungseffekte gelten nur, falls in den betroffenen Wirtschaftszweigen ein **Überangebot an Arbeitskräften** herrscht. Im Falle von Vollbeschäftigung würde sich die zusätzliche Nachfrage nach Investitionsgütern in Form von Preissteigerungen und/oder vermehrten Importen auswirken. Wir gehen im folgenden davon aus, dass auch mittelfristig die Überangebotssituation auf dem Arbeitsmarkt bestehen (strukturelle Komponente) und das Preis- und Lohnniveau gegenüber der Referenzvariante konstant bleibt. Als **Bruttoeffekt** bezeichnen wir Beschäftigungseffekte, die nur durch zusätzliche Endnachfrage der WKK/WP-Investitionen ausgelöst werden. Demgegenüber berücksichtigt der **Nettoeffekt**, dass die konventionelle Energiewirtschaft Umsatzeinbußen erleidet und einen Beschäftigungsrückgang hinnehmen muss. Der Nettoeffekt ist darum kleiner als der Bruttoeffekt.

***Drei Berechnungsvarianten zeigen die Spannweite der Ergebnisse . . . . .***

Die **Basisvariante** weist einen Bruttoeffekt von ca. 11 Arbeitsplätzen pro zusätzlich investierte Million Franken aus. Bis zum Einsetzen der Ersatzinvestitionen (um 2010) werden je nach Szenarium zusätzlich 650 bis 3800 Arbeitsplätze geschaffen. Durch das Einsetzen der Ersatzinvestitionen verdoppelt sich ab 2010 die Zahl der benötigten Arbeitskräfte. Der Nettoeffekt macht noch ca. 60-70 % des Bruttoeffektes aus. Falls es der Elektrowirtschaft also nicht gelingt, einen Teil des an die WKK-Betreiber verlorenen Umsatzes im Export wieder gutzumachen, muss die konventionelle Energiewirtschaft bis 2010 je nach Szenarium zwischen 230 und 1300 Arbeitsplätze abbauen. Bis 2025 verdoppelt sich dieser Abbau. Netto lohnen sich die Investitionen in WKK-WP-Anlagen trotzdem. Dies ist in erster Linie auf die im Vergleich zur Energiewirtschaft höheren Arbeitsintensitäten der Maschinen- und Baubranche zurückzuführen.

Die Abbaueffekte in der konventionellen Elektrowirtschaft verringern sich, falls es ihr gelingt, einen Teil der im Inland verlorenen Marktanteile im Exportgeschäft zu kompensieren. Die **Stromexportvariante 60 %** geht davon aus, dass es der Elektrowirtschaft gelingt, 60 % des im Inland eingebüßten Umsatzes im Exportgeschäft wettzumachen. Gegenüber der Basisvariante bleibt der Bruttoeffekt gleich hoch (gleiche Investitionen im Inland). Dafür erhöht sich der Nettoeffekt gegenüber der Basisvariante um ca. 40 % und steigt auf mehr als ca. 90 % des Bruttoeffektes an. Die Abbaueffekte der konventionellen Energiewirtschaft könnten also fast vollständig kompensiert werden.

In einer weiteren Variante wurde untersucht, wie sich die Beschäftigungseffekte verändern, falls die schweizerische Maschinenindustrie im zukünftigen schweizerischen Modulmarkt nicht konkurrenzfähig wäre. In der Variante **Modulimport 100 %** sind wir davon ausgegangen, dass in Zukunft alle WKK-Module importiert werden müssen. Unter dieser Voraussetzung reduziert sich der Bruttoeffekt auf ca. 75 % der Basisvariante, der Nettoeffekt gar auf 50-70 % (je nach Vergleichsjahr).

### **Geförderte Branchen und berufliche Qualifikationen . . . .**

Für die Basisvariante wurden die **Beschäftigungswirkungen nach Branchen** differenziert. Hauptgewinner sind erwartungsgemäss die Branchen Maschinen/Fahrzeuge, Bauhaupt- und Ausbaugewerbe sowie die Branche Planung/Beratung. Diese vier vereinigen ca. 65% der Wirkungen auf sich. Verlierer sind die Elektrizitäts- und die Mineralölwirtschaft.

Im Vergleich zur durchschnittlichen **Qualifikationsstruktur** der Erwerbstätigen der Schweiz 1985 werden überdurchschnittlich viel Arbeitsplätze geschaffen, die den Abschluss einer anerkannten Berufslehre erfordern. Die fachgerechte Planung, Realisierung und Betreuung der Anlagen fordern beträchtliches Know-how, das ein entsprechendes Gewicht in den Lehrplänen der Berufslehren und den Weiterbildungskursen für Facharbeiter finden muss. Die Impulsprogramme RAVEL, PACER und BAU bieten entsprechende Weiterbildungsprogramme an.

### **Einkommen, Subventionen, Staatshaushalt, Wettbewerbsfähigkeit . . . . .**

Bezüglich **sekundären Effekten** auf den Arbeitsmarkt gehen wir davon aus, dass sich die verstärkende Wirkung des Einkommensmultiplikators und die vermindemde Wirkung der Erhöhung der Arbeitsproduktivität in etwa die Waage halten werden. Der Mittelbedarf für die Elektrowärmepumpen (Subventionen) beeinträchtigt private Investitionen praktisch nicht (kein Crowding-out). Die Brutto- und Nettobeschäftigungswirkungen bleiben deshalb bei Einbezug von sekundären Effekten etwa auf der Höhe des primären Impulses.

Der **Staatshaushalt** erhält insgesamt eher positive Impulse. Zusätzlichen Ausgaben für die Subventionen von Elektrowärmepumpen stehen zusätzliche Steuereinnahmen und geringere Ausgaben für die Defizitdeckung der Arbeitslosenversicherung gegenüber.

Die **Wettbewerbsfähigkeit der Schweiz** wird kurz- und mittelfristig nur sehr geringfügig tangiert, da sie von vielen anderen Faktoren mitbestimmt wird. Langfristig ebnen die Investitionen in WKK-Anlagen und Elektrowärmepumpen der Schweiz den Weg in eine nachhaltige Zukunft. Gerade die langfristige Konkurrenzfähigkeit - auch auf wirtschaftlichem Gebiet - wird je länger desto mehr vom Gelingen des Kurswechsels auf einen solchen Pfad abhängen.

### **Schlussfolgerungen . . . .**

Zentrale **Schlussfolgerung** ist, dass für die Schweiz die Forcierung einer WKK/WP-Investitionsstrategie in der heutigen Situation der strukturellen Arbeitslosigkeit und der energietechnologischen Übergangsphase Double-Win-Charakter hat.

Auf der einen Seite leistet sie einen Beitrag zur Entlastung des Ungleichgewichts auf dem schweizerischen Arbeitsmarkt. Der Nettobeschäftigungseffekt ist deutlich positiv, fällt regional fein verteilt an und fördert praxisorientierte berufliche Qualifikationen.

Auf der anderen Seite können externe Kosten gesenkt, Risiken zusätzlicher, technischer Grossanlagen vermindert, der Gesamtwirkungsgrad und die Diversifikation der Energieversorgung erhöht werden.

## 1. Ausgangslage

**RAVEL** fördert WKK-Anlagen in der Schweiz durch die Bereitstellung von Grundlagen (Lit. 1) und die Durchführung von Weiterbildungskursen für Planer, Installateure, Investoren und Anlagebetreiber. Durch effiziente und sorgfältige Planung, einen fachgerecht kontrollierten Betrieb und sachgerechte Wartung kann die Rentabilität und das Vertrauen der Investoren (Kunden) in die WKK-Technologie erhöht werden.

RAVEL unterstützt damit die im WKK-Markt aktiven Akteure in ihren Marketinganstrengungen und gibt ihnen gewisse Impulse, deren Wirkungen auf den Markt insgesamt nur schwer quantifizierbar sind. Im Sinne von Sensitivitätsüberlegungen haben wir als Grundlage für die WKK-Marktbeurteilung vier Szenarien skizziert, die grob aufzeigen, welche Einflussfaktoren den zukünftigen Markt beeinflussen. Es handelt sich dabei um Grössenordnungen und Tendaussagen.

Wir gehen davon aus, dass **ohne** RAVEL und E-2000 sich die Investitionen in WKK-Anlagen bei sonst gleichen Marktbedingungen wie heute gemäss dem Referenzszenario (vgl. Abschnitt 3, Szenarium REFERENZ) entwickelt hätten.

**Durch RAVEL und E-2000** werden mehr Investitionen in WKK-Anlagen vorgenommen, weil dadurch die Investoren besser über ihre Handlungsalternativen informiert sind und dank optimaleren Angeboten der Planungs- und Installationsfirmen brachliegende Chancen unter sonst gleichbleibenden Rahmenbedingungen ausgenützt werden (vgl. Abschnitt 3, Szenarium REFERENZ +).

Ändern sich flächendeckend wichtige Marktparameter in den durch die verschiedenen Elektrizitätswerke betriebenen Stromversorgungsgebieten zugunsten von WKK-Anlagen, rechnen wir mit einer zusätzlichen Marktausdehnung (vgl. Abschnitt 3, Szenarium EXPANSION).

Unter der Annahme, dass Durchbrüche in der Entwicklung der WKK-Technologie gelingen, werden im nächsten Jahrzehnt Ersatzinvestitionen schneller getätigt und das wirtschaftlich-technische Potential weitet sich aus (vgl. Abschnitt 3, Szenarium BESCHLEUNIGUNG).

Ob ein WKK-Ausbaupfad sinnvoll ist, muss neben energie- und umweltpolitischen auch anhand volkswirtschaftlicher Kriterien beurteilt werden.

An anderer Stelle haben wir dargelegt, wie WKK-Investitionen sinnvollerweise in ein umfassendes energie- und umweltpolitisches Programm eingebettet werden können (Lit. 2). Wenn möglichst viele **WKK-Anlagen mit Wärmepumpen kombiniert und mit erneuerbaren Energieträgern betrieben** werden, sind solche Investitionen energie- und umweltpolitisch sinnvoll:

- CO<sub>2</sub>-Verminderung durch gesteigerte Energieeffizienz und zusätzlichen Einsatz erneuerbarer Energie.
- Verminderung des Umfangs radioaktiver Abfälle und von Risiken technischer Grossanlagen.
- Verminderung der Störungsanfälligkeit des Energieversorgungssystems durch Dezentralisierung der Produktion.
- Dezentrale Stromversorgung ist für ausgeprägt föderalistische Systeme wie die Schweiz besonders geeignet, und stösst auf regionaler und kommunaler Entscheidungsstufe auf zunehmendes Interesse.

In dieser Kurzstudie gehen wir in erster Linie auf die **volkswirtschaftlichen Aspekte** von Investitionen in WKK-Anlagen und Elektrowärmepumpen ein.

Wir skizzieren die volkswirtschaftlichen Konsequenzen, mit denen gerechnet werden kann, wenn Investitionen in die WKK-Technologie entsprechend der skizzierten Szenarien getätigt werden. Wir werden uns dabei auf den Arbeitsmarkt konzentrieren.

In **Abschnitt 2** werden die volkswirtschaftlichen Zusammenhänge, die für den Investitionspfad in die WKK-Technologie relevant sind, übersichtsmässig erläutert. Damit soll gerade Ingenieuren und Technikern der Zugang zu den ökonomischen Wirkungszusammenhängen erleichtert werden.

In **Abschnitt 3** werden nach der Darstellung des wirtschaftlich-technischen Potentials für WKK-Anlagen vier unterschiedliche Entwicklungsszenarien skizziert. Die Szenarien sind allerdings nicht bis ins Detail ausgestaltet. Sie sollen lediglich andeuten in welche Richtung die Entwicklung erfolgen müsste, um die entsprechenden Investitionspfade zu ermöglichen.

In **Abschnitt 4** werden die Auswirkungen der Szenarien auf die Energienachfrage und die -produktion dargestellt. Ergänzend werden die Veränderungen der externen Kosten und der CO<sub>2</sub>-Emissionen ermittelt.

In **Abschnitt 5** werden die Beschäftigungseffekte beschrieben, die von den Investitionspfaden ausgelöst werden.

Im **sechsten Abschnitt** werden Schlussfolgerungen gezogen, wobei auch qualitative Aspekte einbezogen werden.

## 2. WKK-Investitionen aus der Sicht der schweizerischen Volkswirtschaft

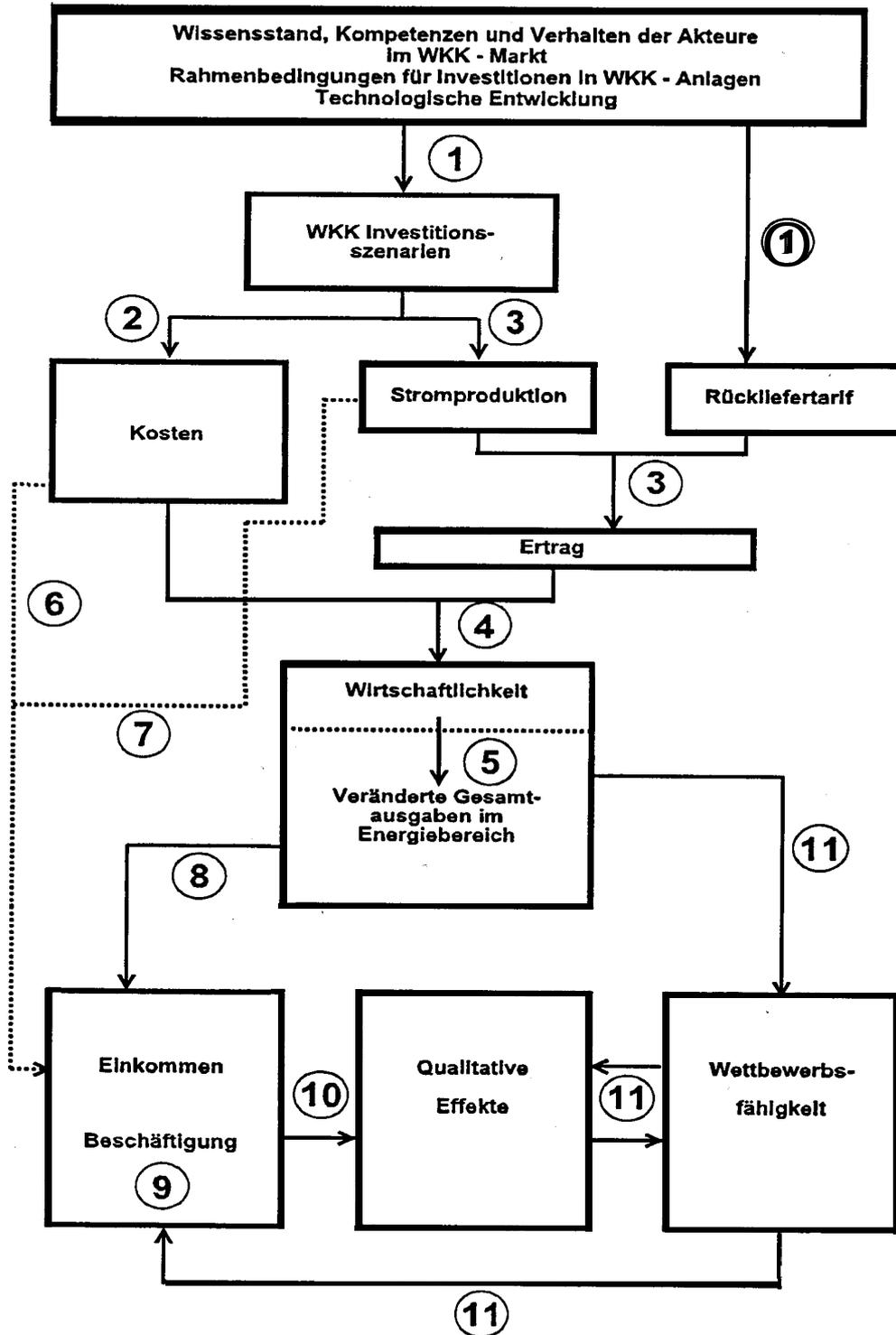
Im folgenden Abschnitt werden die volkswirtschaftlichen Zusammenhänge von Investitionen in WKK-Anlagen dargestellt. In Anlehnung an (Lit. 4) erläutern wir anhand der schematischen Abbildung in Figur 1 die wichtigsten Zusammenhänge in Form von Kernsätzen.

1. In Abhängigkeit von wichtigen Marktparametern (insbesondere Bezugs- und Rücklieferpreise für Elektrizität) werden im Dienstleistungssektor, in der Industrie und im Wohnbereich Investitionen in WKK-Anlagen getätigt. Je nach Szenarienannahmen betragen die Investitionen in WKK-Anlagen (inkl. Ersatzinvestitionen) bis 2025 zwischen 0,9 (Referenz) und 9.5 Mrd. Fr. (Beschleunigung).
2. Im Einzelfall hängt die Investitionsentscheidung von der Gegenüberstellung erwarteter Kosten (Investition, Unterhalt und Betrieb) und Erträge (Strom- und allenfalls Wärmeverkaufserlös) ab. In der Mehrzahl der Fälle werden Investitionen nur getätigt, wenn sie rentabel sind, d.h. eine auf dem Kapitalmarkt konkurrenzfähige Verzinsung des eingesetzten Kapitals ermöglichen. Neben Rentabilitätsüberlegungen spielen im Einzelfall die Verfügbarkeit angemessener Informationen über Entscheidungsalternativen, die Verfügbarkeit liquider Mittel, sowie weitere Aspekte wie z.B. der Wunsch potentieller WKK-Betreiber nach autonomer Energieversorgung oder nach Flexibilität eine gewisse Rolle.
3. Die erstellten WKK produzieren Wärme und Strom. Die Wärme wird zu einem Wärmepreis bewertet und die Stromproduktion wird mit einem Rücklieferpreis entschädigt. Ein tieferer Rücklieferpreis bedeutet geringere Erträge und damit geringere Rentabilität für die WKK-Betreiber.
4. Wirtschaftlichkeitsrechnungen zeigen, wie viele der potentiellen WKK-Anlagen rentabel betrieben werden können. Im Falle rentabler WKK-Anlagen können die WKK-Betreiber ihre Gesamtausgaben im Energiebereich senken und das eingesparte Geld anderweitig verwenden (vgl. Punkt 11). Die Investitionsszenarien in Abschnitt 3 gehen ausschliesslich von der Realisierung rentabler WKK-Anlagen aus.
5. Volkswirtschaftlich bedeutet dies, dass die Wärme- und Stromverbraucher für die gleiche Nutzenergie weniger bezahlen müssen. Die volkswirtschaftlichen Gesamtausgaben sinken in dem Ausmass, d.h. der Anteil der Energieausgaben am BIP sinkt und die Volkswirtschaft wird energieeffizienter<sup>2</sup>. Dies gilt, wenn die Rücklieferpreise den Grenzkosten anderer Stromerzeugungsanlagen entsprechen. Die Wettbewerbsfähigkeit der schweizerischen Volkswirtschaft wird dadurch leicht erhöht (vgl. Punkt 11).
6. Die Investitionen in WKK-Anlagen und deren Betrieb bewirken zusätzliche Umsätze bei den Hersteller- und Installationsfirmen, in der Gaswirtschaft und bei den Betreibern dieser Anlagen.

---

<sup>2</sup>vgl. (Lit. 9), S. 86 wo aufgezeigt wird, wie sich die Energieeffizienz der schweizerischen Volkswirtschaft (gemessen als  $BIP_{\text{real}} / \text{Bruttoenergieverbrauch [Mio Fr/TJ]}$ ) seit 1950 aufgrund des Zerfalls der relativen Energiepreise kontinuierlich verschlechtert hat. Die relativ tiefen Energiepreise haben zur Herausbildung energieintensiver Produktionsformen, Siedlungsmuster und Konsumpraktiken geführt. Die Investitionen in WKK-Anlagen sind, wie die Realisierung anderer RAVEL-Anliegen, Signale für eine Trendumkehr.

Figur 1: Volkswirtschaftliche Wirkungszusammenhänge von Investitionen in WKK-Anlagen



Legende:

- ..... Wirkung im Input-Output-Simulationsmodell vollständig erfasst
- Wirkung im Input-Output-Simulationsmodell unvollständig erfasst

Quelle: in Anlehnung an Lit. 4

7. Die dezentrale Strom- und Wärmeproduktion der WKK-Anlagen bedeutet eine Umlagerung im Energiesektor. Der WKK-Strom ersetzt Strom aus konventionellen Produktionsanlagen und bedeutet einen zukünftigen Marktanteils-, bzw. einen Umsatzverlust gegenüber einer zukünftigen Situation ohne die zusätzlichen WKK-Anlagen.
8. Wenn wirtschaftliche WKK-Anlagen erstellt werden, setzt dies finanzielle Mittel frei, die ihrerseits teilweise für zusätzliche Ausgaben und Investitionen eingesetzt werden.
9. Die Veränderungen und Verlagerungen der Umsätze bestimmter Wirtschaftsbranchen, die durch die Investitionen in WKK-Anlagen ausgelöst werden, erzeugen in diesen Branchen, in denen direkt Investitionsgüter und Leistungen nachgefragt werden, zusätzliche Wertschöpfung und damit zusätzliche Arbeitsplätze. Indirekt werden bei deren vorgelagerten Wirtschaftszweigen auch Umsatzsteigerungen und damit zusätzliche Arbeitsplätze bewirkt. In der konventionellen Elektrizitätswirtschaft bewirken die entgangenen zukünftigen Umsätze, dass weniger Arbeitsplätze gebraucht werden. Die per Saldo zusätzlich geschaffenen Arbeitsplätze erzeugen bei den betroffenen Arbeitnehmern Einkommen, das wieder für Konsumausgaben und Kapitalanlagen verwendet wird (Haushaltmultiplikator).
10. Die Verschiebungen in der Wirtschaftsstruktur finden v.a. von der Elektrizitätswirtschaft in die Maschinenindustrie sowie in das Bau- und Installationsgewerbe statt. Je nach Rahmenbedingungen (Forschungspolitik, erwartetes Marktvolumen) werden durch die Forschungs- und Entwicklungstätigkeit neue Produkte und Verfahren entstehen (im grösseren Ausmass im Szenarium "Beschleunigung"). Eine erhöhte Nachfrage ermöglicht auch Standardisierungen (Serienproduktion) und dichtere Servicenetze. Mit zunehmenden Marktvolumina findet auch eine Verbreitung des Know-hows bei Planung und Installation von WKK-Anlagen statt (Innovationsdiffusion) und Investitionen in die Entwicklung neuer Produkte und Verfahren werden erfolgsversprechender (Innovationsanreiz).
11. Die Wettbewerbsfähigkeit der schweizerischen Volkswirtschaft wird tendenziell positiv beeinflusst, da annahmegemäss keine unrentable Anlagen erzwungen werden und grenzkostenorientierte Rücklieferntarife<sup>3</sup> zu einer volkswirtschaftlich günstigen Stromproduktion führen. Darüber hinaus können die durch geeignete Rahmenbedingungen ausgelösten Innovationen zu Exportprodukten der Schweiz werden. Auch werden den Branchen Planung und Installation frühzeitige Impulse gegeben, sich an neue Anlagentypen anzupassen und damit die Umsetzung des technologischen Fortschrittes zugunsten kostengünstiger Energieproduktion auch längerfristig zu gewährleisten.

Im folgenden werden ausgehend von zwei WKK-Potentialkurven (P1, P2) und vier Investitionsszenarien (Referenz, Referenz+, Expansion und Beschleunigung, vgl. Abschnitt 3) vor allem die Effekte der Punkte 6 und 7 auf den Punkt 9 näher untersucht (vgl. Abschnitt 4). Die restlichen Aspekte werden in den Schlussfolgerungen kurz beurteilt.

---

<sup>3</sup>Hier sind die Grenzkosten zusätzlicher alternativer Produktionsanlagen in der Schweiz gemeint. Billigere Stromimporte aus dem Ausland berücksichtigen bei weitem nicht alle volkswirtschaftlichen Kosten.



## 3. WKK-Potential und Entwicklungsszenarien

### 3.1 Wirtschaftlich-technisches Potential der WKK in der Schweiz

Über die Höhe des wirtschaftlich-technischen Potentials der Wärmekraftkoppelung in der Schweiz gibt es neben den EGES-Szenarien (Lit. 10) für einzelne Teilräume weitere Untersuchungen, die sich für Hochrechnungen auf die ganze Schweiz anbieten (Lit. 5, 6, 11, 12, 13).

Im folgenden geht es weniger darum, die für die Schweiz "exakte" Potentialkurve für WKK-Anlagen der nächsten 30 Jahren zu finden, als vielmehr die grundlegenden Entwicklungsmöglichkeiten zu verdeutlichen. Potentialabschätzungen gehen von Annahmen über den technologischen Fortschritt, die Entwicklung der Energiepreise (Brennstoffkosten, Rücklieferatarife für Strom), der Zinssätze für Kapital und von weiteren Grössen aus. Die in Figur 2 dargestellten Potentialkurven P1 und P2 unterscheiden sich nur durch die unterschiedlichen Technologien, die eingesetzt werden. Die restlichen Annahmen sind gleich. Wieweit diese Potentiale ausgeschöpft werden, hängt von den in den Szenarien skizzierten Randbedingungen ab.

P1 geht davon aus, dass in den nächsten 30 Jahren praktisch ausschliesslich Gasmotoren und Gasturbinen, die technisch bereits heute ausgereift und in der Praxis erprobt sind, für WKK-Betreiber zur Verfügung stehen werden. Alle zur Zeit in Entwicklung begriffenen Technologien können sich auf dem Markt nicht durchsetzen. Ausgehend von dieser Grundannahme wurde der Kurvenverlauf von P1 basierend auf der breit angelegten Untersuchung für das Gebiet des Kantons Bern aus dem Jahre 1990 (Lit. 5 u. 6) abgeleitet. Aufgrund des damaligen Standes der Technik wurde das Gesamtpotential für den Kanton Bern ermittelt. Wir haben mittels Hochrechnung (Faktor 7) auf die ganze Schweiz P1 abgeleitet. Dieses Potential setzt sich zu 2/3 aus WKK-Anlagen in der Industrie und zu 1/3 aus WKK-Anlagen im Dienstleistungssektor und im Wohnbereich zusammen. Die Potentialkurve P1 ist die technologische Grundlage für die Szenarien "Referenz", "Referenz+" und "Expansion". Rund 70% der Stromproduktion fällt bei Ausschöpfung des Potentials im Winterhalbjahr an<sup>4</sup>.

P2, eine zweite Potentialkurve, ergibt sich aus der Annahme, dass sich die bereits heute z.T. im Markt und z.T. in der Forschung ankündigenden Entwicklungen durchsetzen und zu kostengünstigeren Anlagen mit breiterem Anwendungsgebiet (kleiner Leistungsbereich) führen. Die Brennstoffzellentechnologie hat sich durchgesetzt und den Kostensprung (ca. -1%) ermöglicht (vgl. Lit. 14,15). Nicht zuletzt die Äusserungen schweizerischer Modulhersteller (Lit. 15) lassen eine solche Entwicklung als plausibel erscheinen. Diesbezügliche Entwicklungsprogramme werden in den USA, Japan und der EU im grossen Stil vorangetrieben. Allein die EU subventioniert mit zweistelligen Millionenbeträgen entsprechende Forschungsprojekte (Lit. 14, S.6). Die Brennstoffzellentechnologie wird auch von WKK-Planern als zukunftssträftig eingeschätzt (Lit. 16). Es ist denkbar, dass sich - ähnlich zur Entwicklung der Rechenprozessoren in der Computerindustrie - ein Entwicklungspfad öffnet (PAFC - MCFC - SOFC)<sup>5</sup> mit laufender Verbesserung der Stromkennzahl, des Gesamtwirkungsgrades bei gleichzeitiger Verringerung der notwendigen baulichen Folgeinvestitionen. Eine weitere Entwicklung, die unter der Potentialkurve 2 subsumiert wird, ist das Aufkommen kostengünstiger Kleinanlagen (Mini-Blockheizkraftwerke 5,5 KW, vgl. (Lit. 16)).

---

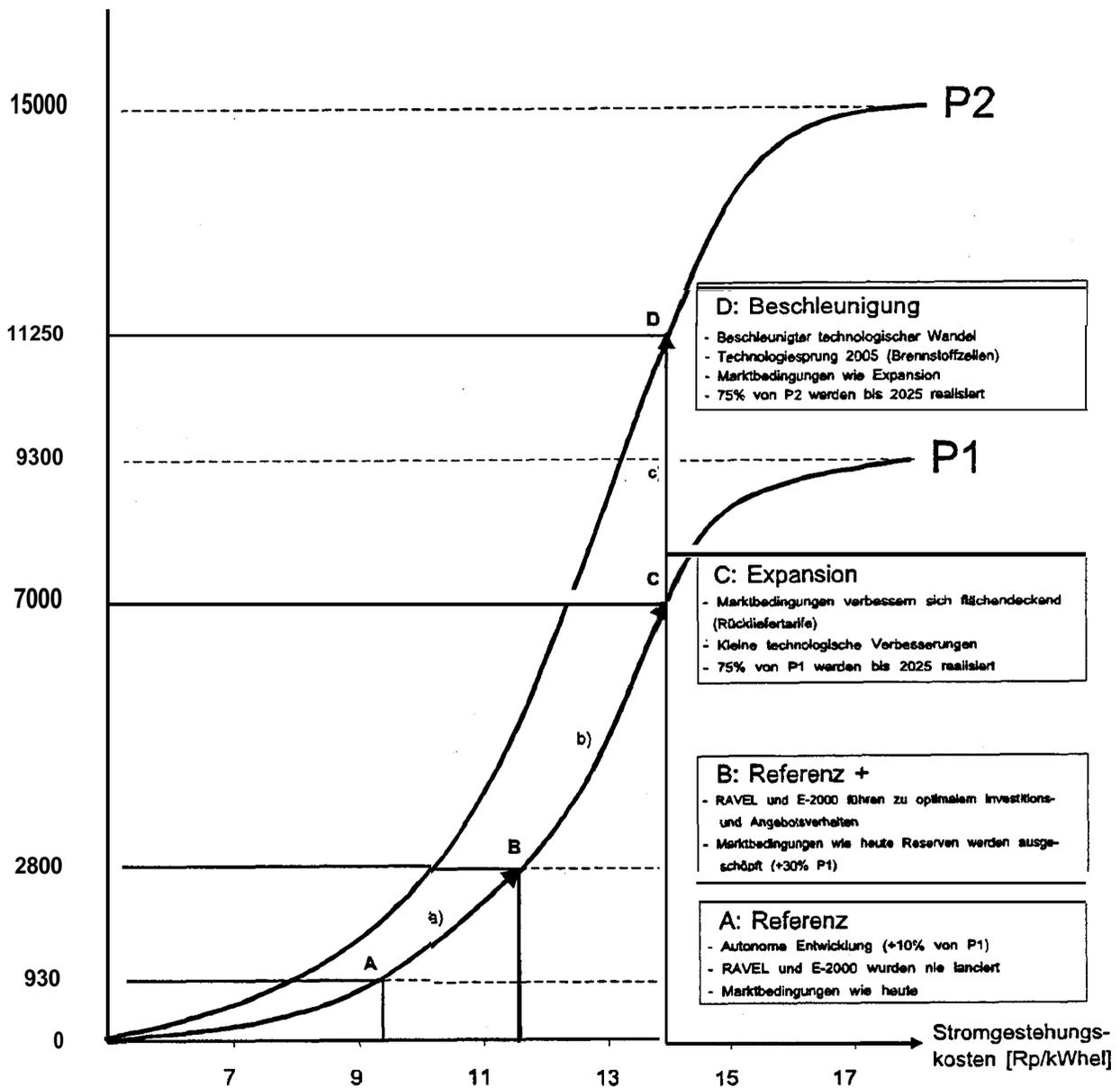
<sup>4</sup>Die Winterperiode (1.10.-31.3.) umfasst 4368 h Betriebsstunden WKK im Wohn- und Dienstleistungsbereich haben einen Winteranteil von ca. 85%, WKK in der Industrie einen solchen von ca. 60% (vgl. Lit. 5 u. 6.)

<sup>5</sup>Für Anwendungen in der Wärme-Kraft-Koppelung stehen heute diese drei Brennstoffzellentypen im Vordergrund: PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell, Phosphorsäure-Brennstoffzelle), MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell, Karbonatschmelze-Brennstoffzelle) und SOFC (Solid Oxyde Fuel Cell, Festelektrolyt-Brennstoffzelle). Die PAFC-Systeme besitzen momentan die grösste Marktreife, während die anderen beiden von der Industrie noch weiterentwickelt werden müssen, bevor sie konkurrenzfähig angeboten werden können.

Es existieren bereits entsprechende Modelle auf dem schweizerischen Markt und die jüngste Entwicklung der Klein-WKK-Statistik (Lit. 17) zeigt für die letzten drei Jahre überdurchschnittliche Zuwachsraten. Diese Entwicklungen sind in den eingangs erwähnten Potentialstudien nicht berücksichtigt, sind aber unseres Erachtens gerade bei Potentialabschätzungen über grössere Zeiträume äusserst relevant. Im Rahmen des Szenarios "Beschleunigung" wird die Potentialkurve P2 eine zentrale Rolle spielen.

Figur 2: Stromerzeugungspotentiale P1 und P2 in Abhängigkeit der Stromgestehungskosten; Endzustand der drei Szenarien bezüglich Stromproduktion aus WKK - Anlagen.

Jährliche Stromproduktion aus WKK-Anlagen [GWhel/a]



Legende:

- a) Wahrnehmung von Marktchancen dank RAVEL und E-2000 ( $\vec{AB}$ )
- b) Expansion dank verbesserten Marktbedingungen ( $\vec{BC}$ )
- c) Technologiesprung, Kostensprung ( $\vec{CD}$ )

### 3.2 WKK-Investitionsszenarien

Wir unterscheiden 4 Szenarien. Das Referenzszenarium geht von einer Basisentwicklung ("autonome E.") der WKK-Investitionen aus, die ohne RAVEL und E-2000 unter sonst gleichen Rahmenbedingungen wie heute erfolgt wäre. "Referenz+" nimmt an, dass RAVEL und E-2000 zu zusätzlichen Investitionen in WKK-Anlagen führen. Durch bessere Markttransparenz und erhöhte Kompetenz der Akteure werden im Markt vorhandene Chancen sowohl von den Investoren als auch auf der Anbieterseite besser genutzt. Das Szenarium "Expansion" geht davon aus, dass nur marginale technologische Verbesserungen der WKK-Technologie stattfinden, dass sich aber aus verschiedenen Gründen die Rahmenbedingungen für den Einsatz der WKK-Anlagen verbessern. Schliesslich beinhaltet das Szenarium "Beschleunigung" einen Durchbruch der Brennstoffzellentechnologie, die ab 2005 marktwirksam wird. In Tabelle 1 sind die jährlich notwendigen Investitionsvolumen in WKK-Anlagen der 4 Szenarien übersichtlich dargestellt. Anschliessend werden die einzelnen Szenarien stichwortartig charakterisiert.

Tabelle 1: Jährliches WKK-Investitionsvolumen in den vier Szenarien (Mio Fr./a)

Szenarien	Referenz	Referenz+	Expansion	Beschleunigung
Jahr				
1995-2000	20	60	150	150
2000-2005	20	60	150	150
2005-2010	20	60	150	240
2010-2015	40	120	300	420
2015-2020	40	120	300	420
2020-2025	40	120	300	510

#### 3.2.1 Referenzentwicklung

Das Referenzszenarium (im folgenden "Referenz" genannt) geht davon aus, dass

- RAVEL und E-2000 nie lanciert wurden;
- die Rahmenbedingungen für Investitionen in WKK-Anlagen ähnlich bleiben wie heute (Zinssätze, Energiepreise, allg. wirtschaftliche Entwicklung) und die Unterschiede zwischen den einzelnen Versorgungsgebieten ähnlich wie heute bestehen bleiben (Bezugs- und Rücklieferatarife, Anschlussbedingungen);
- in den nächsten 30 Jahren keine Durchbrüche in der Entwicklung der WKK-Technologie gelingen;
- im Rahmen von Ersatzinvestitionen konventioneller Heizungsanlagen und Realisierungen in Neubauten bis ins Jahr 2025 10% des Potentials P1 umgesetzt wird (jährliche Stromproduktion von 930 GWh);

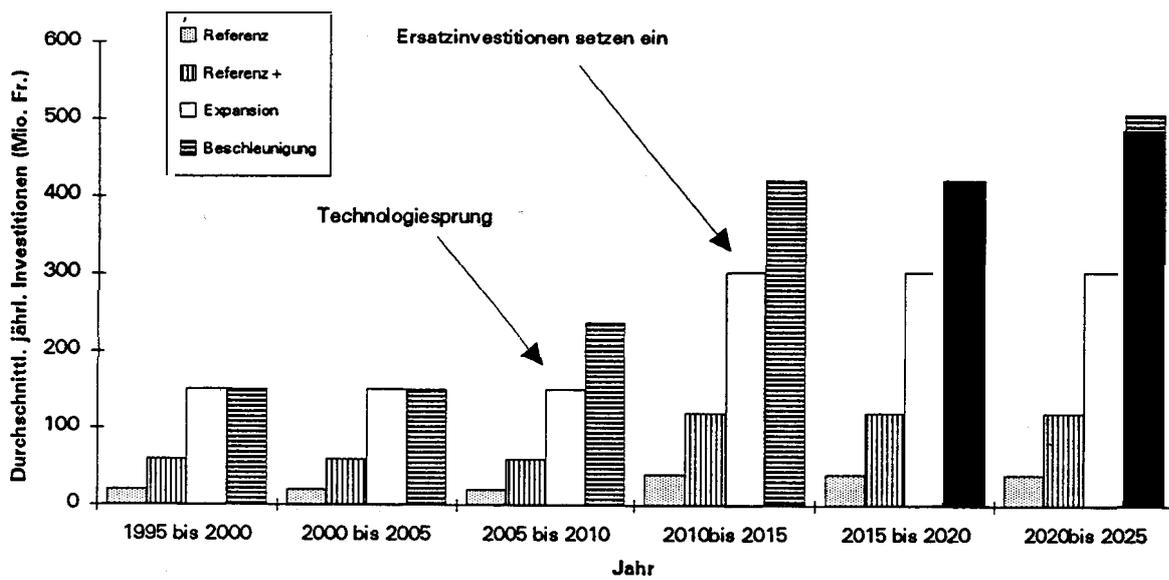
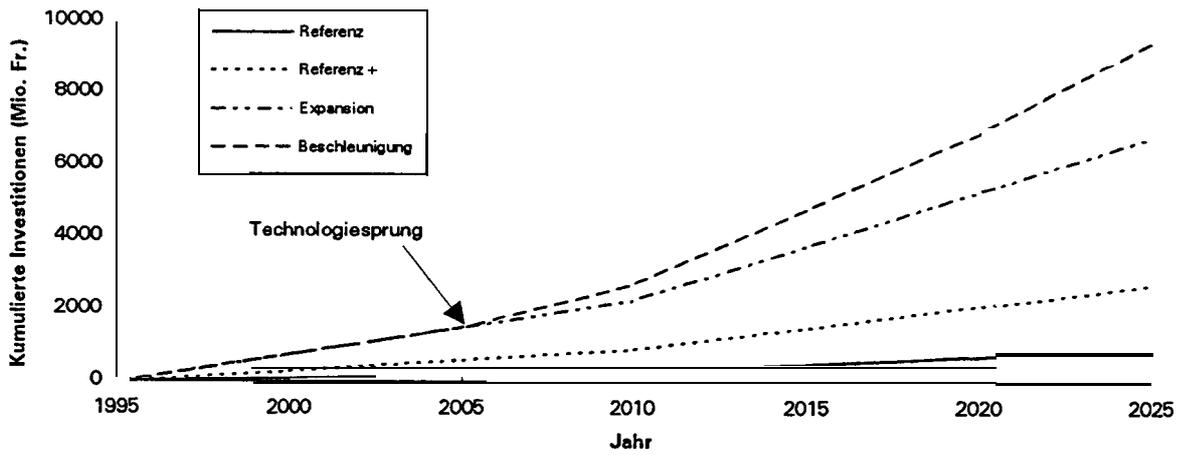
- damit über den Zeitraum der nächsten 30 Jahre ein Investitionsvolumen (nur Neuinvestitionen) von 0,6 Mrd. Fr. oder durchschnittlich ca. 20 Mill. Fr. Neuinvestitionen/Jahr realisiert wird;
- der Erneuerungszyklus für WKK-Anlagen 15 Jahre beträgt und damit ab 2010 Ersatzinvestitionen getätigt werden müssen, deren jährlicher Umfang kontinuierlich zunimmt, bis im Jahre 2025 der jährliche Investitionsbedarf zur Erneuerung der WKK-Anlagen auf jährlich 40 Mio Fr. anwächst (vgl. Figur 3). Ab dem Jahre 2025 werden, abgesehen von Kostenvergünstigungen durch technischen Fortschritt, jährlich diese ca. 40 Mio. Fr. notwendig sein, um den Bestand der WKK-Versorgung zu halten (oder allenfalls Nachfolgetechnologien zu finanzieren).

### 3.2.2 Szenarium "Referenz+"

Im Szenarium "Referenz+" gehen wir davon aus, dass

- die Rahmenbedingungen für Investitionen in WKK-Anlagen ähnlich bleiben wie heute (Zinssätze, Energiepreise, allg. wirtschaftliche Entwicklung) und die Unterschiede zwischen den einzelnen Versorgungsgebieten ähnlich wie heute bestehen bleiben (Bezugs- und Rücklieferarife, Anschlussbedingungen), dass aber insbesondere in den Versorgungsgebieten mit für WKK-Anlagen günstigen Rahmenbedingungen dank der besseren Marktübersicht der Investoren und dem optimaleren Angebotsverhalten der Planer und Installateure mehr in WKK-Anlagen investiert wird als im Referenzfall. Auch steigen in diesen Gebieten vermehrt lokale und regionale Elektrizitätsversorgungsunternehmen Mithilfe von Investitionen in WKK-Anlagen mit Nahwärmeverbund in den Wärmemarkt ein (Modell EW Birsfelden);
- durch den Impuls des RAVEL-Programms (Weiterbildungskurse und Dokumentationen zu den Themen "Elektrizität im Wärmesektor", "Wärmeerkraftkoppelungsanlagen effizienter planen, bauen und betreiben" und "Planung, Bau und Betrieb von Wärmepumpenanlagen") und dank den Anstrengungen von E-2000 (Ressort Regenierbare Energien, Tarifempfehlungen) wird das Know-how im Planungs- und Installationsgewerbes erhöht, und die Bereitschaft potentieller Betreiber in WKK-Anlagen zu investieren, vergrössert. Dadurch können bis im Jahr 2025 30 % des wirtschaftlich-technischen Potentials von P1 ausgeschöpft werden (jährliche Stromproduktion 2025: 2800 GWh, vgl. Figur 2);
- damit wird über den Zeitraum der nächsten 30 Jahre ein Investitionsvolumen (nur Neuinvestitionen) von 1,8 Mrd. Fr. oder durchschnittlich 60 Mill. Fr. Neuinvestitionen/Jahr realisiert;
- der Erneuerungszyklus für WKK-Anlagen 15 Jahre beträgt und damit ab 2010 Ersatzinvestitionen getätigt werden müssen, deren jährlicher Umfang kontinuierlich zunimmt, bis im Jahre 2025 der jährliche Investitionsbedarf zur Erneuerung der WKK-Anlagen auf jährlich 120 Mio Fr. anwächst (vgl. Figur 3). Ab dem Jahre 2025 werden, abgesehen von Kostenvergünstigungen durch technischen Fortschritt, jährlich diese 120 Mio. Fr. notwendig sein, um den Bestand der WKK-Versorgung zu halten (oder allenfalls Nachfolgetechnologien zu finanzieren).

Figur 3: Investitionen in WKK-Anlagen der vier Szenarien (inkl. Ersatzinvestitionen nach 15 Jahren)



### 3.2.3 Expansionsszenario

Das Szenario Expansion geht davon aus, dass

- sich die Rahmenbedingungen für WKK-Anlagen gegenüber heute flächendeckend verbessern (grenzkostenorientierte Rücklieferarife, Preisverhältnisse fossile Brennstoffe zu Rücklieferarifen verbessern sich zugunsten von WKK-Anlagen, Zinssätze und allg. Wirtschaftsentwicklung wie in Referenz);
- in den nächsten Jahren zwar keine Durchbrüche in der Entwicklung der WKK-Technologie erfolgen, es aber gelingt, die Planung, Installation, Wartung und den Betrieb von WKK-Anlagen marktdeckend optimal zu gestalten und laufende kleine Verbesserungen zu realisieren;
- ab 2000 auf Initiative des Bundes und unter Beteiligung der Kantone für die Schweiz flächendeckend sichergestellt wird, dass neben der Durchsetzung grenzkostenorientierter Rücklieferarife weitere flankierende Massnahmen wie Informationskampagnen für Hausbesitzerinnen und Untemehmer, Bereitstellung von Risikokapital zur Überbrückung von Liquiditätsengpässen, gezielter Ausbau des Gasnetzes, Bürgschaftskredite für investierende Contracting-Firmen etc. zur Anwendung kommen. Dadurch können bis ins Jahr 2025 75% des wirtschaftlich-technischen Potentials von P1 realisiert werden (jährliche Stromproduktion dann ca. 7000 GWh, vgl. Figur 2);
- damit wird über den Zeitraum der nächsten 30 Jahre ein Investitionsvolumen von 4,7 Mrd. Fr. oder durchschnittlich 150 Mio Fr. pro Jahr ausgelöst;
- der Erneuerungszyklus gleich wie im Referenzfall ist und damit die notwendigen jährlichen Ersatzinvestitionen, ab 2010 kontinuierlich zunehmend , im Jahre 2025 jährlich ca. 300 Mio. Fr. erreichen.

### 3.2.4 Beschleunigungsszenario

Das Beschleunigungsszenario geht aus von

- einem beschleunigten technologischen Wandel innerhalb der WKK-Technologie. Ab dem Jahre 2005 setzt sich die Brennstoffzellentechnologie durch und Klein-WKK finden beschleunigte Verbreitung und dies nicht zuletzt wegen eines zukunftsweisenden Impulsprogrammes des Bundes, das durch die vergrösserten Markterwartungen der Modulhersteller zu höheren Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen geführt hat. Der Expansionspfad der WKK-Investitionen verlagert sich darum ab 2005 von P1 nach P2 (vgl. Figur 2) und die jährlich getätigten Investitionen nehmen (vereinfachende Linearisierung) sprunghaft zu;
- auf diesem Pfad wird unter gleichen Rahmenbedingungen wie im Szenario "Expansion" 75% des wirtschaftlich-technischen Potentials von P2 bis ins Jahre 2025 ausgeschöpft (jährliche Stromproduktion dann ca. 11000 GWh, vgl. Figur 2), der Wirkungsgrad der Stromproduktion bei gleichbleibendem Gesamtwirkungsgrad und steigender Stromkennzahl wird allerdings deutlich erhöht;
- ausgehend von 2005 bis 2025 die Brennstoffzellentechnologie einen Marktanteil von ca. 50% erreicht hat. P2 hat einen höheren Anteil von WKK-Anlagen im Wohnbereich und im Dienstleistungssektor als P1. Durch die neue Technologie werden WKK-Anlagen in Mehrfamilienhäusern und mittelgrossen Bürogebäuden interessant;
- über den Zeitraum der nächsten 30 Jahre ein Investitionsvolumen von ca. 7,5 Mrd. Fr. oder durchschnittlich 150 (1995-2005), bzw. 240 Mio. Fr. pro Jahr (ab 2005) ausgelöst wird;

- der Erneuerungszyklus von auch 15 Jahren analoge Auswirkungen wie in den anderen Szenarien zeitigt. Ab dem Jahre 2025 werden darum jährliche Ersatzinvestitionen im Umfange von ca. 500 Mill. Fr. notwendig sein.

## 4. Wirkungen auf den Energieverbrauch und die Umweltbelastung

### 4.1 Wirkungen der WKK-Investitionen alleine (Grenzfall D)<sup>6</sup>

Investitionen in Wärmekraftkoppelungsanlagen bewirken eine Umlagerung des Energieverbrauchs von Heizöl und konventioneller Elektrizitätsherstellung in zusätzlichen Gasverbrauch (Erdgas, Biogas, Deponiegas, Klargas). Tabelle 2 zeigt die Veränderungen des Energieverbrauchs, der Energieausgaben, der externen Kosten und der CO<sub>2</sub>-Emissionen, die durch die Investitionen in WKK-Anlagen ausgelöst werden.

Die Berechnungsgrundlagen sind im Anhang 1 dargestellt. Die WKK-Stromproduktion ersetzt bei konstantem Stromhandel mit dem Ausland (Exporte und Importe) und konstantem Produktionsniveau in der Schweiz Elektrizität aus konventionellen Produktionsanlagen (inkl. Importanteile im Winter). Die Weite für Elektrizität haben darum negative Vorzeichen. Es handelt sich um den **maximalen** Marktanteilsverlust der konventionellen Elektrizitäts-Produktionswirtschaft. Falls die regionalen Elektrizitätsversorgungsunternehmen (EVS) in den Betrieb von WKK-Anlagen einsteigen, reduziert sich der Verlust. Ein Ausweichen auf vermehrten Stromexport (insbesondere aus Speicherwerken) würde den Verlust weiter begrenzen. Das durch die zusätzlichen Exporte erhöhte **Produktionsniveau** würde an der Reduktion der Inlandnachfrage nach konventionellem Strom nichts ändern. Die Umsatzreduktionen und die damit zusammenhängenden Entzugseffekte der Beschäftigungswirkung könnten aber dadurch "ins Ausland exportiert" werden. Diesen Aspekt werden wir im Kapitel 5.2 wieder aufgreifen, wenn es darum geht, die Beschäftigungswirkungen zu schätzen.

Die Zahlen in Tabelle 2 kommen durch das Zusammenspiel verschiedener Einflussgrößen zustande. Ausgehend von der Stromproduktion der Szenarien wurden die Veränderungen der Endnachfrage nach Gas und Heizöl abgeleitet (vgl. Berechnungsformeln in Anhang 1).

Für die Szenarien Referenz+ und Expansion sind alle Annahmen genau gleich und die Entwicklungen laufen proportional zur Stromproduktion. Im Szenarium "Beschleunigung" kommt mit der Brennstoffzellentechnologie eine kontinuierliche Erhöhung der Stromkennzahl ins Spiel. Dies führt dazu, dass mit zunehmendem Anteil Brennstoffzellen-WKK, anteilmässig mehr Strom produziert wird. Die durchschnittliche Stromkennzahl steigt ab 2005 kontinuierlich von 0.5 auf 1.0 (2025). Der Heizölverbrauch sinkt darum ab 2005 schwächer als in den anderen Szenarien, erreicht 2010 den Maximalstand, um dann rückläufig zu werden. Beim Erdgas erhöht die zunehmende Stromkennzahl den Verbrauchszuwachs, da weniger konventionelle Erdgaskessel ersetzt werden.

Die in WKK-Anlagen produzierte Strommenge erreicht 2025 im Szenarium "Referenz+" zusätzlich 4.0% des Elektrizitätsverbrauchs von 1992, in "Expansion" wird 2025 ein Anteil von ca. 12.5% produziert und in "Beschleunigung" auf ca. 21.5%.

Beim Erdgas sind die Anteile bedeutend höher "Referenz+": 12.5%; "Expansion": 40% und "Beschleunigung": 44%. Die Reduktion des Heizölverbrauchs sind gering: "Referenz+" -1.1%, "Expansion" -3.8% und "Beschleunigung" -1.2%.

---

<sup>6</sup>Die Grenzfälle B bis D sind in Anhang 1, S. 45 f. kurz beschrieben. Vgl. auch (Lit. 18).

Tabelle 2: Wirkungen von WKK-Investitionen alleine (Grenzfall D) auf Energieverbrauch, Energieausgaben, externe Kosten und CO<sub>2</sub>-Emissionen (Differenz zur Referenzentwicklung)

	Jahr	Veränderung Energieverbrauch [GWh]			Total	Dir. Energie- ausgaben Mio Fr/a	Externe Kosten Mio Fr/a	CO <sub>2</sub> - Emissionen 1000 t/a
		Heizöl	Erdgas	Elektrizität				
Referenz+	1965	0	0	0	0	0	0	0
	2000	-138	482	-310	34	-20	-6	60
	2005	-276	964	-620	69	-40	-12	120
	2010	-413	1447	-930	104	-59	-18	180
	2015	-551	1929	-1240	138	-79	-24	240
	2020	-689	2411	-1560	172	-99	-30	300
	2025	-827	2893	-1860	206	-119	-36	360
Expansion	1995	0	0	0	0	0	0	0
	2000	448	1567	-1008	112	-64	-20	200
	2005	-696	3134	-2015	224	-129	-39	390
	2010	-1343	4702	-3023	336	-193	-59	590
	2015	-1791	6269	-4030	448	-257	-78	790
	2020	-2239	7836	-5036	560	-322	-98	980
	2025	-2687	6403	-6045	671	-386	-118	1180
Beschleunigung	1995	0	0	0	0	0	0	0
	2000	448	1567	-1008	112	-64	-20	200
	2005	-755	2994	-2015	224	-130	-36	400
	2010	-1293	<b>5777</b>	-4035	449	-263	-68	820
	2015	-1439	8250	-6130	681	404	-93	1280
	2020	-1185	10324	-6225	914	-556	-111	1760
	2025	-637	12303	-10320	1146	-687	-126	2240

Die Energieausgaben reduzieren sich im Vergleich zur Referenzentwicklung in allen drei Szenarien, da der Strompreis pro kWh ca. 2.5 mal so hoch ist wie die Preise der beiden anderen Energieträger.

Im Jahre 2025 sind in "Referenz+" die jährlichen Energieausgaben um ca. 120 Mio. Fr. geringer als in der Referenzentwicklung. In "Expansion" und "Beschleunigung" sinken die Ausgaben um 670 Mio. Fr. bzw. 1150 Mio. Fr. Diese Reduktion entspricht ca. 0.6 bis 3.7% der totalen Endverbraucherausgaben für Energie 1992.

Dank den Einsparungen reduzieren sich auch externe Kosten. Diese Reduktion entsteht, weil die Energiepreiszuschläge für Elektrizität und Heizöl höher sind als für Erdgas (vgl. (Lit. 24), mittlere Werte).

Trotz der Abnahme der externen Kosten nehmen die CO<sub>2</sub>-Emissionen und damit der Treibhauseffekt zu.

*Wir werden darum im folgenden zusätzlich flankierende Investitionen in Wärmepumpen (WP) berücksichtigen. Im Vergleich zur Referenzentwicklung soll mit Hilfe der Wärmepumpen kein zusätzliches CO<sub>2</sub> emittiert werden.*

## 4.2 Einbezug von Investitionen in Elektrowärmepumpen (Grenzfall C)

Im RAVEL-Handbuch (Lit. 18, S. 280f) sind verschiedene WKK-WP-Strategien anhand von drei typischen Grenzfällen (B,C,D) im Vergleich zu einer konventionellen Anlage (A) schematisch dargestellt (vgl. Anhang 1 und (Lit. 18)).

Wir werden den Grenzfall C (maximale umweltneutrale Stromproduktion) weiterverfolgen. Die dazu notwendigen Investitionen wurden mit Hilfe der Berechnungsgrundlagen im Anhang 2 bestimmt.

Figur 4 zeigt den kumulierten Investitionsbedarf für Elektrowärmepumpen in den vier Szenarien. Bis ins Jahr 2025 müssen insgesamt zwischen 0.7 Mrd. Fr. (Referenz) und 4.3 Mrd. Fr. (Beschleunigung) in Elektrowärmepumpen investiert werden, um die CO<sub>2</sub>-Neutralität zu gewährleisten. Der durchschnittlich jährliche Investitionsbedarf (5-Jahresmittel) liegt bis 2005 zwischen 8 und 64 Mio. Fr./a. Aufgrund des Marktdurchbruchs der Brennstoffzellen-Module ist im Szenarium "Beschleunigung" 2005 auch ein Investitionssprung für Elektrowärmepumpen notwendig. Ab 2010 werden Ersatzinvestitionen für die zwischen 1995 und 2010 realisierten Wärmepumpen getätigt. Der jährliche Investitionsbedarf verdoppelt sich dann.

Ob in der Schweiz das entsprechende technisch nutzbare Potential vorhanden ist, wird hier nicht weiter untersucht<sup>7</sup>.

In Tabelle 3 sind die Auswirkungen auf den Energieverbrauch, die Energieausgaben, die externen Kosten und die CO<sub>2</sub>-Emissionen der umweltneutralen Strategie dargestellt.

Durch den Stromverbrauch der Elektrowärmepumpen vermindert sich der Marktanteilsverlust der konventionellen Elektrizitätswirtschaft um ca. 44%. Der Erdgasverbrauch bleibt praktisch auf dem vorherigen Niveau, da nur 15% der substituierten Heizkessel mit Gas betrieben wurden. Dagegen ist die Reduktion des Heizölverbrauchs deutlich höher als vorher. Im Gegensatz zur Situation ohne Einsatz von Wärmepumpen kann der Energieverbrauch insgesamt gegenüber der Referenzentwicklung gesenkt werden.

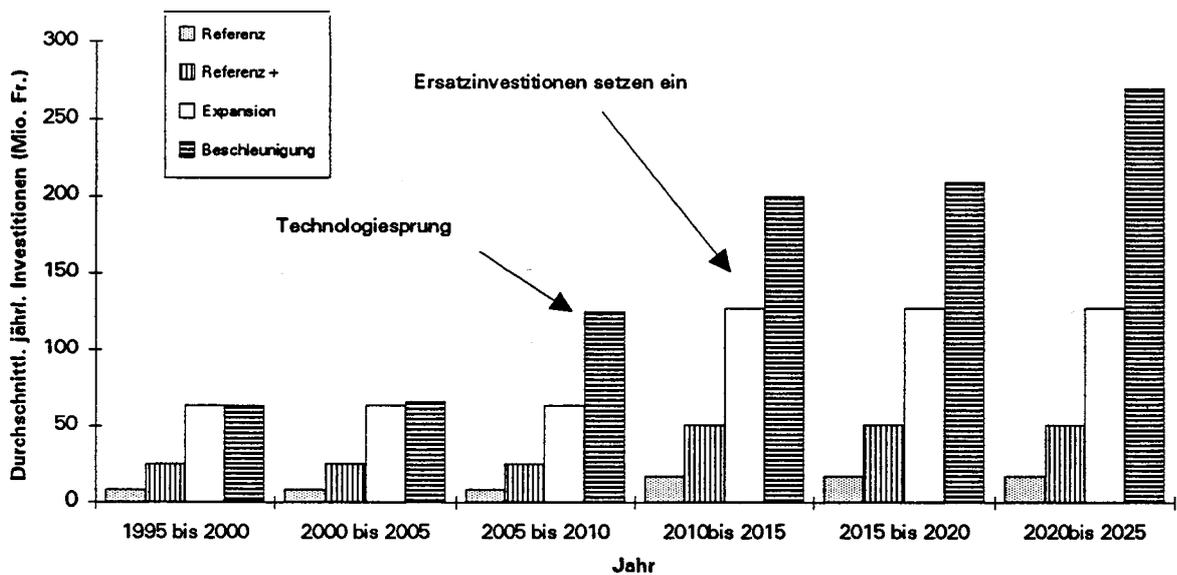
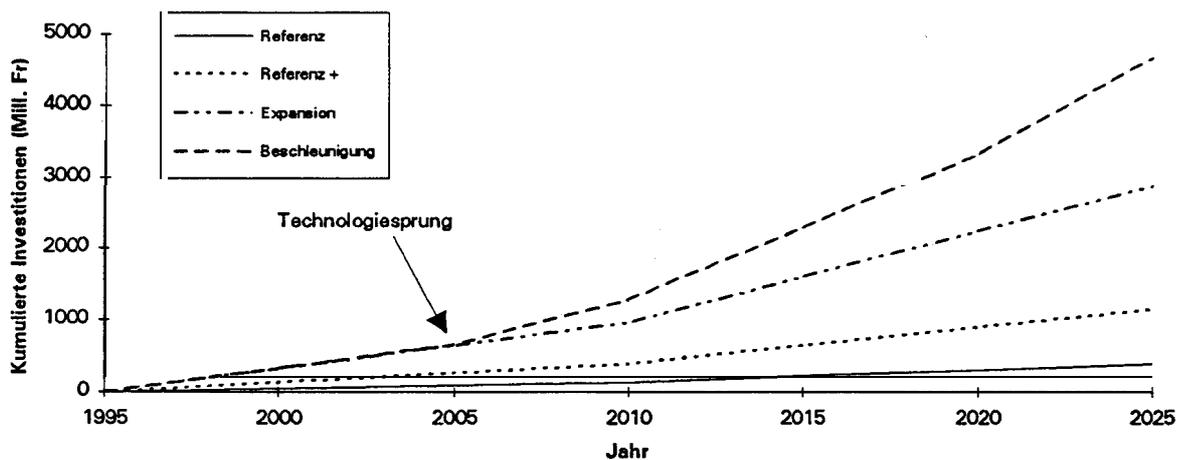
Dank den zusätzlichen Investitionen in Elektrowärmepumpen können die externen Kosten zusätzlich gesenkt werden (Referenz+ ca. -80 Mio. Fr., Expansion -250 Mio. Fr. und Beschleunigung -390 Mio. Fr.).

Die Investitionen in Elektrowärmepumpen lohnen sich für die Umwelt. Sie sind aber für die Investoren in den meisten Fällen unrentabel. Eine Studie für den Kanton Bern (Lit. 4) geht von einem Subventionsbedarf von ca. 50% der Investitionskosten aus. In 5.4 wird der Einfluss dieses Finanzierungsbedarfs auf die Beschäftigungswirkung geschätzt. Im folgenden Kapitel werden die Wirkungen der WKK-WP-Strategie auf den Arbeitsmarkt untersucht.

---

<sup>7</sup>Theoretisch könnte der gesamte Wärmebedarf für Raumwärme und Warmwasser in der Schweiz durch die Umwelt- und Abwärme (Grundwasser, Oberflächenwasser, ARA, Industrie, Luft, Erdwärme) gedeckt werden. Da die grossen Wärmequellen mehrheitlich weit von den grösseren Siedlungsräumen entfernt liegen, beträgt das realisierbare Potential nur einen Bruchteil davon. Rechnet man das in (Lit. 8) ermittelte Potential auf die Schweiz hoch, kommt man auf einen Stromverbrauch von ca. 1600 GWh/a (kleine und mittlere Anlagen, inkl. Zusammenschlusslösungen) und falls grosse Anlagen auch mit Strom betrieben würden, auf ca. 4000 GWh/a (inkl. Verdichten).

**Figur 4: Investitionsverläufe für Wärmepumpen zur CO2-Neutralität (inkl. Ersatzinvestitionen)**



**Tabelle 3: Wirkungen von Grenzfall C auf den Energieverbrauch, die Energieausgaben die externen Kosten und CO2-Emissionen (Differenz zur Referenzentwicklung)**

	Jahr	Veränderung Energieverbrauch [GWh]				Dir. Energieausgaben Mio Fr/a	Externe Kosten Mio Fr/a	CO2- Emissionen 1000t/a
		Heizöl	Erdgas	Elektrizität	Total			
Referenz+	1995	0	0	0	0	0	0	0
	2000	-336	437	-189	-86	-16	-13	0
	2005	-672	874	-378	-176	-33	-26	0
	2010	-1008	1310	-586	-284	-47	-36	0
	2015	-1344	1747	-755	-352	-64	-52	0
	2020	-1860	2184	-644	440	-80	-65	0
	2025	-2016	2621	-1133	-528	-97	-78	0
Expansion	1995	0	0	0	0	0	0	0
	2000	-1092	1419	-813	-266	-53	-42	0
	2005	-2184	2839	-1227	-572	-105	-85	0
	2010	-3276	4258	-1640	-656	-166	-127	0
	2015	-4388	5678	-2454	-1144	-206	-170	0
	2020	-5456	7067	-3067	-1429	-261	-212	0
	2025	-6551	6617	-3681	-1715	-314	-255	0
Beschleunigung	1995	0	0	0	0	0	0	0
	2000	-1092	1419	-813	-288	-53	-42	0
	2005	-2071	2692	-1210	-566	-106	-82	0
	2010	-3971	5162	-2397	-1206	-213	-184	0
	2015	-5810	7293	-3578	-1665	-325	-242	0
	2020	-6928	9006	-4712	-2634	-442	-315	0
	2025	-8170	10621	-5634	-3383	-556	-366	0



## 5. Wirkungen der Szenarien auf den Arbeitsmarkt

Im folgenden wird ein Teil der Wirkungszusammenhänge, die in Abschnitt 2 skizziert wurden auf der Grundlage der vier Investitionsszenarien von Abschnitt 3 konkretisiert. Es geht dabei schwergewichtig um die Punkte 9, 10 und 11 in Figur 1. Der Punkt 8 wird nicht weiter vertieft.

Zur Quantifizierung der Zusammenhänge diente ein volkswirtschaftliches Simulationsmodell, das in anderem Zusammenhang entwickelt wurde<sup>8</sup>. Bei den nachfolgenden Aussagen handelt es sich um Grössenordnungen und Trendaussagen, deren Genauigkeitswert mittel- und langfristig abnimmt.

Die im folgenden ausgewiesenen Beschäftigungseffekte gelten nur in einer Situation der Unterbeschäftigung in den betroffenen Branchen<sup>9</sup>.

### 5.1 Modellannahmen und Grenzen der Aussagekraft

Als Grundlage für die Schätzung der primären Beschäftigungswirkungen diente das Input-Output-Simulationsmodell, das durch Zusammenarbeit des Laboratoire d'economie appliquée der Universität Genf, der Konjunkturforschungsstelle ETH in Zürich und der Forschungsstelle für Arbeitsmarkt und Industrieökonomik der Universität Basel entwickelt wurde. In (Lit. 19) wird dieses Modell im Detail beschrieben, so dass wir uns hier auf die wichtigsten Aspekte beschränken können. Ergänzend sei auch auf (Lit. 20) und (Lit. 21) verwiesen, wo Anwendungen einer früheren Version desselben Modells dargestellt sind.

Das Modell eignet sich besonders gut, um die primären Beschäftigungswirkungen volkswirtschaftlich bedeutsamer Investitionsvorhaben zu ermitteln. Die mit Investitionen verbundenen Verschiebungen der Endnachfrage bewirken Anpassungen der Produktion und zwar primär in den Branchen, bei denen direkt Investitionsgüter/Leistungen nachgefragt werden sowie indirekt bei deren vorgelagerten Wirtschaftszweigen. Das veränderte Produktionsvolumen bewirkt seinerseits eine primäre Nachfrage nach Arbeitskräften. Diese primären Produktions- und Beschäftigungseffekte werden durch das Modell vergleichsweise gut erfasst, da die Verflechtung der einzelnen Wirtschaftszweige detailliert abgebildet wird. Die schweizerische Volkswirtschaft wird dabei in 42 Branchen aufgeteilt.

Die wichtigsten Daten der Input-/Output-Tabelle sind in (Lit. 19) angeführt. Basisjahr ist 1985, d.h. die dem Modell zugrundegelegten Leistungsströme bilden die Verhältnisse der schweizerischen Volkswirtschaft von 1985 ab. Alle Leistungen werden wertmässig ausgewiesen und beruhen damit auf einem fixen Mengen- und Preisgerüst.

Szenarien mit dauerhaften Änderungen der relativen Preise lösen Anpassungen der Produktionsstruktur aus, die im Modell nicht abgebildet werden. Das Modell unterstellt insbesondere, dass im Betrachtungszeitraum keine Änderungen der Branchenverflechtung und kein technologischer Fortschritt, der die relativen Preise ändert, stattfindet. Dies bedeutet, dass die Ergebnisse für die langfristige Perspektive (> 10 Jahre) mit Vorsicht zu interpretieren sind ( $\pm 20\%$ ).

---

<sup>8</sup> vgl. 5.1 und Lit. 14

<sup>9</sup> Falls im betrachteten Zeitraum in einigen der betroffenen Branchen "Vollbeschäftigung" herrscht, äussert sich die zusätzliche Investitionsnachfrage in erhöhten Preisen, Löhnen und Importen.

Ergebnisse, denen Szenarien mit kostenwirksamen Technologiesprüngen zugrunde liegen, sind mit Unsicherheiten behaftet. Dies trifft bei unseren Berechnungen für das Szenarium "Beschleunigung" zu.

Die weiteren, vereinfachenden Modellannahmen, wie die Limitationalität und Linearität der Produktionsfunktionen haben zur Folge, dass sich Endnachfrageänderungen linear auf das Produktionsvolumen und die Beschäftigung auswirken<sup>109</sup>.

Trotz der oben beschriebenen Einschränkungen ist es unseres Erachtens sinnvoll, mit dem hier skizzierten Modell quantitative Schätzungen vorzunehmen. Dies begründen wir dreifach:

1. Es fehlen wesentlich bessere Modell-Alternativen
2. Der hier verwendete Ansatz ist für Aussenstehende transparent
3. Es ist vorgesehen, das hier verwendete I-O-Simulationsmodell weiterzuentwickeln (Flexibilisierung der Produktionskoeffizienten), was später laufende Aktualisierungen der Resultate ermöglicht.

#### Zu 1.:

Voraussagen von wirtschaftlichen Auswirkungen über lange Zeiträume (>10 Jahre) sind in allen heute verfügbaren Modellen mit grossen Unsicherheiten behaftet. So können zwar beispielsweise die durch Änderungen der relativen Preise ausgelösten Anpassungsreaktionen der Produktion in berechenbaren Gleichgewichtsmodellen theoretisch berücksichtigt werden. In der Praxis fehlen aber oft konsistente und gesicherte Daten zu Preis-, Einkommens- und Substitutionselastizitäten. Durch die Vielzahl der notwendigen Annahmen ist zudem die Transparenz der Gleichgewichtsmodelle für Aussenstehende sehr gering. Auch andere ökonometrische Schätzmodelle sind für Voraussagen mit einem Zeithorizont >10 Jahre eher unzuverlässig, da bei solchen Modellen wichtige Parameter aufgrund der Vergangenheitsentwicklung geschätzt werden müssen. Strukturbrüche (ein Marktdurchbruch der Brennstoffzellen wäre z.B. ein solcher Strukturbruch) lassen sich mit diesen Modellen auch nicht abbilden. Es wäre zu prüfen, inwiefern mit Hilfe von Kontrollrechnungen anderer Modellansätze die Ergebnisse besser abgesichert werden könnten. Bei der Kritik von quantitativen Modellen ist zu berücksichtigen, dass die grundsätzlichen Alternativen isolierte Einzelaussagen sind und/oder den Beizug von "mental Modellen" beinhalten, bei denen implizit noch mehr Einschränkungen in Kauf genommen werden müssen als bei den komplexen quantitativen Modellen.

#### Zu 2.:

Es handelt sich hier um ein Input-Output-Simulationsmodell, das auf der offiziellen Input-Output-Tabelle basiert, die von der Universität Genf im Auftrag des Bundesamtes für Statistik erarbeitet wurde (Basis 1985). Auch die Anpassungen, die von der KOF ETH vorgenommen wurden, sind grundsätzlich öffentlich zugänglich. Die Input-Output-Simulation ist relativ einfach, da die Produktionsfunktionen während des untersuchten Zeitraums konstant bleiben. In diesem Sinne handelt es sich bei den hier errechneten Beschäftigungseffekten um bedingte Ergebnisse, die durch komplementäre Untersuchungen zur Entwicklung der (nach 42 Branchen desaggregierten) Produktionsfunktion im vorgesehenen Zeitraum auch im nachhinein ergänzt und korrigiert werden könnten. Die beiden Wirkungen (Nachfrageverschiebungen durch Investitionen in WKK-Anlagen/Elektrowärmepumpen und technologischer Fortschritt im Produktionsapparat) lassen sich damit trennen, was die Nachvollziehbarkeit erhöht.

---

<sup>109</sup>Weitere Annahmen zur Schätzung der Beschäftigungswirkung befinden sich in Anhang 3.

Zu3.:

Im Rahmen des SPP-Umwelt wurde ein Forschungsgesuch eingereicht, mit dem Ziel, das Input-Output-Modell mit flexiblen Koeffizienten im Energiebereich zu ergänzen. Das Input-Output-Simulationsmodell wird alle 5 bis 10 Jahre den neuesten Ergebnissen der Betriebs- und Volkszählungen angepasst. Kontrollrechnungen, zu einem späteren Zeitpunkt und mit dem flexibleren Modell, sind grundsätzlich möglich.

## 5.2 Primäre Beschäftigungseffekte

Wir unterscheiden zwischen einem Brutto- und einem Nettobeschäftigungseffekt (im folgenden kurz Brutto- und Nettoeffekt genannt).

Unter Bruttoeffekt verstehen wir die Beschäftigungsimpulse, die durch die zusätzliche Endnachfrage der Investitionen ausgelöst werden. Die Effekte, die durch Umsatzeinbussen in der konventionellen Energiewirtschaft entstehen, werden nicht berücksichtigt.

Beim Nettoeffekt sind diese Veränderungen berücksichtigt. Die Umsatzeinbussen der konventionellen Energiewirtschaft führen dort zu einem Beschäftigungsrückgang. Ein Teil des Bruttoeffektes ist mit anderen Worten ein Umschichtungsprozess und schafft netto keine Arbeitsplätze. Der Nettoeffekt weist die per Saldo neu geschaffenen Arbeitsplätze aus. Für die Gesamtbeurteilung ist der Nettoeffekt die relevante Bezugsgrösse. Entzugseffekte, die sich bei der Finanzierung von unrentable Anlagen ergeben können, sind im Nettoeffekt nicht berücksichtigt. Auch die verstärkenden Wirkungen zusätzlicher Konsumausgaben werden im Nettoeffekt nicht berücksichtigt. Diese Fragen müssen separat beantwortet werden (vgl. Kapitel 5.4).

Ausgehend von der Beschäftigungswirkung einer Basisvariante (5.2.1) wird der Einfluss von Stromexporten/-importen dargestellt (5.2.2). Wir gehen in diesem Abschnitt auch kaum auf die Auswirkungen einer erhöhten Importquote der Branche Maschinen/Fahrzeuge ein (5.2.3). Am Ende des Abschnittes wird die Bedeutung des Primäreffektes gewürdigt.

### 5.2.1 Primäreffekte der Basisvariante

Tabelle 4 gibt Auskunft über den Brutto- und den Nettoeffekt der Basisvariante, in der die Modellparameter (Endnachfrage-Importquote der Elektrizitätswirtschaft und der Branche Maschinen/Fahrzeuge) den durchschnittlichen Verhältnisse der Branchen 1985 entsprechen (vgl. Anhang 3).

Der Bruttoeffekt kommt durch die direkte Nachfrage der Investitionen zustande. Die Entwicklung der zusätzlichen Arbeitsplätze verläuft darum parallel zu den jährlichen Investitionen in WKK-Anlagen und Eiektrowärmepumpen (vgl. Kapitel 3 und 4).

---

**Pro zusätzlich investierte Million Franken entstehen brutto dauerhaft (Ersatzinvestitionen) 11,2 Arbeitsplätze.**

---

Diese Grösse, Arbeitsintensität genannt, ist reziprok zur Arbeitsproduktivität der in die Produktion, die Installation und den Unterhalt der Anlagen involvierten Wirtschaftsbranchen. Branchen mit hoher Arbeitsproduktivität weisen eine geringe Arbeitsintensität auf und umgekehrt <sup>11</sup>.

---

<sup>11</sup>In Anhang 3 sind die Arbeitsintensitäten der für uns relevanten Branchen dargestellt.

Die Mehrinvestitionen von 'Referenz+' schaffen bis 2005 ca. 650 zusätzliche Arbeitsplätze. Ab 2010 werden wegen den dann anfallenden Ersatzinvestitionen doppelt so viele, nämlich ca. 1300 Arbeitskräfte benötigt. In den beiden anderen Szenarien sind die Werte entsprechend den Investitionsverläufen höher. Die leicht unterschiedliche Investitionsstruktur im Szenarium Beschleunigung wirkt sich nicht auf die Höhe des Gesamtbruttoeffektes aus<sup>12</sup>. Maximal entstehen bis ins Jahr 2025 ca. 8000 neue Arbeitsplätze.

Der Nettoeffekt kommt durch die Überlagerung der Investitionsverläufe und der Entwicklung der Energieausgaben zustande. Die Interpretation dieser Grösse ist darum schwieriger.

Die Beschäftigungswirkung ist in den ersten 5 Jahren der Szenarien nur geringfügig tiefer als im Bruttoeffekt. Die Reduktion der Energieausgaben ist kontinuierlich. Mit zunehmendem Aufbau der WKK-Produktionskapazitäten und der Wärmepumpenanlagen sinken die Energieausgaben insgesamt (vgl. Tabelle 3). wobei Unterschiede zwischen den Energieträgern bezüglich Arbeitsintensität bestehen. Bei einem Umsatzrückgang von 1 Mio Fr baut die Mineralölwirtschaft im Modell 2,7 Arbeitsplätze ab, die Gaswirtschaft 3,35 und Elektrizitätswirtschaft 5,9 (Endnachfrage-Importquote berücksichtigt). Die Überlagerung dieser Entwicklung mit dem Bruttoeffekt ergibt die Werte im untersten Teil der Tabelle 4. Die Arbeitsintensität des investierten Kapitals nimmt im Nettoeffekt aus den oben genannten Gründen kontinuierlich ab, sie ist darum auch nicht konstant. Beim Einsetzen der Ersatzinvestitionen nimmt die Arbeitsintensität des eingesetzten Kapitals nochmals zu, um dann bis ins Jahr 2025 auf den Tiefstwert zu sinken.

Das Verhältnis zwischen Netto- und Bruttoeffekt kann direkt durch Division der entsprechenden Arbeitsintensitäten ermittelt werden.

Der Nettoeffekt schafft in der Basisvariante je nach Vergleichsperiode noch ca. 60 bis 70% des Bruttoeffektes. Pro zusätzlich investierte Million Franken entstehen netto zwischen 6,7 und 7,8 Arbeitsplätze. Netto werden bis 2025 im Minimum 680 bis ca. 4800 Arbeitsplätze geschaffen

Tabelle 4 *Zusätzliches Investitionsvolumen (Mio Fr. pro Jahr), Brutto- und Nettoeffekte (Anzahl dauerhaft geschaffener Arbeitsplätze) bei Basisannahmen des Input-/Output-Simulationsmodells*

Szenarien	Referenz+		Expansion		Beschleunigung	
	Total	davon WKK	Total	davon WKK	Total	davon WKK.
Zusätzliche Investitionen						
1995-2000	57	40	166	130	186	130
2000-2005	57	40	166	130	186	130
2005-2010	57	40	186	130	337	220
2010-2015	114	80	372	260	564	360
2015-2020	114	80	372	260	573 <sup>13</sup>	380
2020-2025	114	80	372	260	724	470

<sup>12</sup>vgl. such Tabelle A1 in Anhang 3.

<sup>13</sup>Aufgrund der steigenden Marktdurchdringung der Brennstoffzellen-WKK (von 5% 2005 auf 50% 2025) ergibt sich eine Erhöhung der durchschnittlichen Stromkennzahl (von 0.552005 auf 1.0 2025) und damit gegenüber einer Situation ohne Brennstoffzellen-WKK eine zusätzlich notwendige Investitionsmenge in Elektrowärmepumpen, damit die CO<sub>2</sub>-Neutralität gewährleistet werden kann.

Jahr	Szenarien	Referenz+		Expansion		Beschleunigung	
		Total	pro Mio.	Total	pro Mio.	Total	pro Mio.
<b>Bruttoeffekt</b>							
1995-2000		840	11.2	2077	11.2	2077	11.2
2000-2005		840	11.2	2077	11.2	2077	11.2
2005-2010		840	11.2	2077	11.2	3743	11.2
2010-2015		1280	11.2	4154	11.2	8399	11.2
2015-2020		1280	11.2	4154	11.2	8399	11.2
2020-2025		1280	11.2	4154	11.2	8041	11.2

Jahr	Szenarien	Referenz+		Expansion		Beschleunigung	
		Total	pro Mio.	Total	pro Mio.	Total	pro Mio.
<b>Nettoeffekt</b>							
1995-2000		565	10.2	1900	10.2	1900	10.2
2000-2005		476	8.3	1547	8.3	1547	8.3
2005-2010		388	6.5	1194	6.5	2676	8.0
2010-2015		898	8.0	2918	8.0	4502	8.0
2015-2020		789	7.0	2585	7.0	3863	6.7
2020-2025		881	6.0	2 2 1 2	6.0	4769	6.0

### 5.2.2 Nettoeffekte von Stromexportvarianten

Tabelle 5 zeigt die Wirkung auf den Nettoeffekt, wenn von der Annahme eines linearen Zusammenhangs zwischen rückgangiger Inlandnachfrage nach Strom und dem Beschäftigungsniveau in der Elektrizitätswirtschaft sukzessive abgerückt wird. Die WKK-Anlagen produzieren einen grossen Teil ihres Stroms im Winterhalbjahr, sodass sich für die Elektrizitätswirtschaft (bei insgesamt stagnierender Inlandnachfrage) lukrative Exportmöglichkeiten eröffnen.

**Falls es der Elektrizitätswirtschaft gelingt, ca. 60% der an die WKK-Betreiber verlorenen Marktanteile im Inland zu exportieren, steigt der Nettoeffekt auf mehr als 90% des Bruttoeffektes an (vgl. obere Hälfte von Tabelle 5). Pro zusätzlich investierte Million Fr entstehen netto zwischen 10,2 und 11,0 Arbeitsplätze. Bei 30% sind es pro Million Fr noch zwischen 8,4 und 10,7 Arbeitsplätze.**

Tabelle 5: Nettoeffekt bei ausgleichendem Stromexport

Jahr	Referenz+		Expansion		Beschleunigung	
	Total	pro Mio.	Total	pro Mio.	Total	pro Mio.
Nettoeffekt bei 60% Export						
1996-2000	631	11.0	2051	11.0	2051	11.0
2600-2005	615	10.8	2000	10.8	2000	10.8
2005-2010	600	10.5	1949	10.5	3564	10.6
2010-2015	1223	10.6	3837	10.6	5972	10.5
2015-2020	1207	10.5	3801	10.5	5903	10.3
2020-2025	1192	10.4	3764	10.4	7363	10.2

Jahr	Szenarien	Referenz+		Expansion		Beschleunigung	
		Total	pro Mio.	Total	pro Mio.	Total	pro Mio.
Nettoeffekt bei 30% Export							
1995-2000		608	10.7	1976	10.7	1976	10.7
2000-2005		548	9.6	1774	9.6	1774	9.6
2005-2010		484	8.5	1572	8.5	3120	9.3
2010-2015		1060	9.2	3330	9.2	5237	9.3
2015-2020		998	8.7	3149	8.7	4883	8.5
2020-2025		866	8.4	3041	8.4	8066	8.4

5.2.3 Primäreffekt bei erhöhtem Importanteil der Modulnachfrage

Das Modell rechnet mit einem Modulimportanteil von 17% (Branchendurchschnitt). Um den Einfluss der Modulimporte zu schätzen, haben wir den Brutto- und Nettoeffekt mit der Annahme von 100%-Modulimporten berechnet.

**Der Bruttoeffekt würde sich dadurch auf ca. 75% der Basisvariante reduzieren. Der Nettoeffekt auf ca. 52 bis ca. 70% der Basisvariante. Die Zahlen werden hier nicht im Detail dargestellt. Nicht berücksichtigt sind in diesen Überlegungen entgangene Exportmöglichkeiten der Maschinenindustrie. Die Annahme, dass alle in der Schweiz verwendeten WKK-Module importiert werden müssen, bedeutet, dass die schweizerische Maschinenindustrie in diesem Bereich nicht konkurrenzfähig ist. Auf diesen Aspekt wird in Abschnitt 5.5 kurz eingegangen**

#### 5.2.4 Bedeutung des Primäreffektes

Die Zahl der geschaffenen Arbeitsplätze scheint im Vergleich mit den Millionenbeträgen der kumulierten Investitionen bescheiden zu sein. Sie entspricht beim Bruttoeffekt maximal in etwa 80% des Rückgangs an Arbeitsplätzen im Bauhauptgewerbe zwischen 1992 und 1994<sup>14</sup>. Beim Nettoeffekt sind es minimal 65 % davon. Führt man sich allerdings im Referenzfall die sozialen Kosten von 650 bis 8000 zusätzlichen Arbeitslosen vor Augen, rücken die Zahlen in ein neues Licht. Die vom Bund getragene Defizitdeckung der Arbeitslosenkasse wurde damit im Jahr 2025 grob geschätzt um ca. 17 bis 210 Mio Fr jährlich entlastet.<sup>15</sup> Geht man von durchschnittlich der Hälfte pro Jahr über die ganze Zeitdauer der Szenarien aus, so resultiert ein kumulierter Betrag von ca. 550 bis 6300 Mio Fr. Mit dieser Summe liessen sich die gesamten Investitionen in Elektrowärmepumpen und noch ein Teil der WKK-Anlagen finanzieren. Abschnitt 5.4 geht auf diesen Aspekt und weitere sekundäre Effekte näher ein.

### 5.3 Einfluss des Primäreffektes auf die Wirtschaftsstruktur

Wir gehen kurz auf zwei Bereiche ein. Zuerst stellen wir die Verteilung des Beschäftigungseffektes auf die hauptbetroffenen Wirtschaftsbranchen dar. Dann folgen Aussagen über die nachgefragten beruflichen Qualifikationen. Auf regionale Verteilungsaspekte treten wir im Rahmen dieser Kurzstudie nicht ein.

#### 5.3.1 Branchenstruktureffekte

Die zusätzlichen Investitionen in den drei Szenarien wirken sich nicht in allen Wirtschaftsbranchen im gleichen Ausmass aus. Vielmehr haben die Investitionen Branchenstruktureffekte zur Folge.

Beim Bruttoeffekt sind die Branchenanteile über alle Jahre für die Szenarien "Referenz+" und "Expansion" gleich. Im Szenario "Beschleunigung" ändert sich die Branchenstrukturwirkung ab 2005; da dann die Brennstoffzellen-WKK auf den Markt kommen und deren Marktanteil bis 2025 kontinuierlich zunehmen wird. Brennstoffzellen-WKK haben eine andere Investitionsstruktur als konventionelle WKK<sup>16</sup>.

Beim Nettoeffekt verändern sich die Struktureffekte im Zeitablauf, da der Einfluss der Umsatzveränderungen in den Branchen der Energiewirtschaft bis 2025 kontinuierlich zunimmt.

---

<sup>14</sup>Vgl. Lit. 2, s. 7

<sup>15</sup>Die ausbezahlte Arbeitslosenentschädigung pro registrierten Arbeitslosen betrug 1993 durchschnittlich 26500 Fr/a (Verhältnisse der Arbeitslosenversicherung 1993: Ausbezahlte Arbeitslosenentschädigung insgesamt 4,33 Mrd Fr. Registrierte Arbeitslose (Jahresdurchschnitt): 163165. Quelle: Die Volkswirtschaft 6/95, "Aktuelle Wirtschaftsdaten" S. 10 u. 30.

<sup>16</sup>vgl. Anhang 3, Tabelle A1

Tabelle 6: Branchenstrukturwirkung der Brutto- und Nettoeffekte (Basisvariante)

Branche	Referenz+ und Expansion		Beschleunigung	
	Brutto	Netto	Brutto	Netto
Maschinen/Fahrzeuge	17.5%	18.6 - 27.9%	17.5% - 21.3%	18.6 - 30.2%
Bauhauptgewerbe	10.8%	11.6 - 18.0%	9.8 - 11.0%	11.6 - 15.3%
Ausbaugewerbe	20.0%	21.6 - 34.6%	20.0 - 20.2%	21.6 - 31.8%
Planung/Beratung	16.9%	17.2 - 19.7%	15.5 - 16.9%	17.2 - 18.3%
Kunststoff/Kautschuk	3.5%	3.8 - 6.35%	1.9 - 3.5%	3.8 - 4.4%
Steine/Erden/Bergbau	2.1%	2.2 - 3.4%	2.1 - 2.2%	2.2 - 3.2%
Eisenmetalle	3.6%	1.7 - 3.4%	3.6 - 4.1%	2.7 - 3.4%
Elektrizitätswirtschaft	0.2%	(-5.5) - (-53.3%)	0.2%	(-5.5) - (-39%)
Gaswirtschaft	0.0%	5- 47.8%	0%	5 - 28.5%
Mineralwirtschaft	0.0%	(-0.5) - (-4.7%)	0%	(-0.5) - (-2.7%)
Rest	30.0%	<=27.9%	<=32.6%	<=27.8%
Total	100.0%	100%	100%	100%

In Tabelle 6 sind die prozentuale Anteile, die die wichtigsten Wirtschaftsbranchen am gesamten Primärbeschäftigungseffekt (Basisvariante) haben, dargestellt.

**Vom primären Beschäftigungseffekt profitieren in allen Szenarien die Branchen des Baugewerbes, der Maschinenindustrie und die Branche "Planung und Beratung" am meisten. Die Branchenstruktur des Beschäftigungseffektes ist aus der Sicht der branchenspezifischen Arbeitslosenraten von 1993 als sehr positiv zu bewerten. Es werden Wirtschaftsbranchen gefördert, die überdurchschnittliche Arbeitslosenraten besitzen<sup>17</sup>.**

<sup>17</sup> (Lit. 20, S. 13) 1993 wies die Branche "Planung und Beratung" eine Arbeitslosenquote von 7,3% auf und war damit nach dem Gastgewerbe an zweithöchster Stelle aller Branchen. Die Baubranche lag mit 5,6% an 10. Stelle, dicht gefolgt von der Maschinenindustrie mit 5,5% (Platz 11). Es ist allerdings offen, ob im Zeitraum bis 2025 in einigen der betroffenen Branchen vielleicht ein ausgetrockneter Arbeitsmarkt herrscht und an Stelle von Beschäftigungseffekten erhöhte Löhne, Preise und Importe resultieren.

### 5.3.2 Nachgefragte berufliche Qualifikationen

Tabelle 7 gibt Auskunft über die Berufsqualifikationen, die durch den primären Beschäftigungseffekt (Basisvariante) auf dem Arbeitsmarkt nachgefragt werden.

**Tabelle 7: Qualifikationsstruktur der Brutto- und Nettoeffekte (Basisvariante)**

Berufliche Qualifikation	Referenz+ und Expansion		Beschleunigung	
	Brutto	Netto	Brutto	Netto
Hochqualifiziert	12.5%	11.8-10.6%	12.3- 12.4%	11.8-10.8%
Qualifiziert	44.8%	45.4- 46.4%	44.6- 45.3%	45.3- 45.3%
Angelehrt	42.7%	42.8- 43.0%	42.7- 42.3%	42.9- 43.9%
Total	100%	100%	100%	100%

Hochqualifizierte Arbeitsplätze (Hochschulabsolventen, HTL, HWV und übrige Tertiärstufe) werden im Vergleich zur durchschnittlichen Qualifikationsstruktur der Erwerbstätigen 1985<sup>18</sup> weniger gefördert. Dafür werden überdurchschnittlich viel Arbeitsplätze geschaffen, die den Abschluss einer anerkannten Berufslehre erfordern.

**Die Investitionen in WKK-Anlagen und Elektrowärmepumpen verlangen und fördern in erster Linie praxisorientierte berufliche Qualifikationen. Neben Heizungs- und Sanitärinstallateuren werden auch Fachleute in der Maschinenindustrie, im Bauhauptgewerbe und in der Planungsbranche gefördert. Die fachgerechte Planung, Realisierung und Betreuung der Anlagen fordern beträchtliches Know-how, das ein entsprechendes Gewicht in den Lehrplänen der Berufslehren und den Weiterbildungskursen für Facharbeiter finden muss. Für an- und ungelernete Arbeitskräfte bestehen Möglichkeiten, sich in ein anspruchsvolles Gebiet einzuarbeiten und damit ihre beruflichen Qualifikationen und letztlich ihre Chancen und Möglichkeiten auf dem Arbeitsmarkt zu verbessern. Nicht zuletzt wurden Weiterbildungsmöglichkeiten für Arbeitslose in diese Richtung mithelfen, dass die notwendigen beruflichen Qualifikationen in genügendem Umfang vorhanden sind. Die Impulsprogramme RAVEL, PACER und BAU bieten entsprechende Weiterbildungsangebote an.**

<sup>18</sup> Hochqualifiziert 17%, qualifiziert 38%, an- und ungelern:45%

## 5.4 Sekundäre Effekte

### 5.4.1 Arbeitsmarkt

Der primäre Beschäftigungseffekt berücksichtigt nicht alle Auswirkungen der Investitionen auf den Arbeitsmarkt.

Folgende Einflüsse müssen abgeschätzt werden, um die gesamte Wirkung zu erfassen:

- Beeinträchtigung privater Investitionen, die sich aus dem Mittelbedarf für die Elektrowärmepumpen ergeben (Crowding out)
- Verstärkerwirkung durch zusätzliche Konsumausgaben (Haushaltsmultiplikator)
- Produktivitätsfortschritte, die langfristig die Arbeitsintensität des eingesetzten Kapitals vermindern.

Die Entzugseffekte, die durch staatliche Subventionen der Wärmepumpen entstehen, schätzen wir als sehr gering ein. In (Lit. 2) wurde gezeigt, dass die Finanzierung über zusätzliche Staatsverschuldung kaum zu einer Mittelverknappung auf dem Kapitalmarkt führt (mit der Gefahr eines ansteigendem Zinsniveaus und damit weniger Investitionen von Privaten), insbesondere dann nicht, wenn die Kreditaufnahme im Ausland erfolgt. Mit dieser Art der Finanzierung sind keine Entzugseffekte verbunden.

Durch die neu geschaffenen Arbeitsplätze des Nettoeffektes werden zusätzliche Einkommen geschaffen (Löhne, Gewinne, Zinsen), die zu einem Teil (Konsumquote) zusätzliche Konsumausgaben auslösen (der Rest wird gespart, resp. für Steuern verwendet). Mit Hilfe des Einkommens-Multiplikators kann dieser Effekt geschätzt werden. Für die Schweiz kann mit einem Multiplikatorwert von ca. 1,6<sup>19</sup> gerechnet werden (Lit. 23 und 26), d.h. die primären Nettoeffekte müssten mit diesem Faktor multipliziert werden. In der Basisvariante führt dies dazu, dass der Nettoeffekt auf mehr als 100% des Bruttoeffektes ansteigt. In den Stromexportvarianten steigt der Nettoeffekt auf 120 bis 145% des Bruttoeffektes an. In der Modulimportvariante steigt der Brutto- und Nettoeffekt auf 100-120% der Basisvariante an.

Die Produktivitätsfortschritte bis 2025 vermindern die Beschäftigungswirkung der Investitionen. Bei einer Erhöhung der Arbeitsproduktivität im Durchschnitt aller Branchen um 40 % bis ins Jahr 2025, vermindern sich die Arbeitsintensitäten - und damit die Beschäftigungseffekte - auf ca. 71% der hier ausgewiesenen Werte.

**Wir gehen davon aus, dass sich die verstärkende Wirkung des Konsumausgaben-Multiplikators und die vermindernde Wirkung der Erhöhung der Arbeitsproduktivität in etwa die Waage halten. Der Mittelbedarf für die Elektrowärmepumpen beeinträchtigt private Investitionen nicht. Die Brutto- und Nettobeschäftigungseffekte bleiben deshalb bei Einbezug von sekundären Effekten etwa auf der Höhe des primären Impulses. In den Strukturwirkungen können sich hingegen Verschiebungen ergeben, auf die hier aber nicht weiter eingetreten werden kann.**

<sup>19</sup>In der Literatur wird eine Spannweite von 1.2 - 2.0 angegeben (Lit. 23 und 16).

### 5.4.2 Staatshaushalt

Durch die angestrebte WKK/WP-Strategie wird der Staatshaushalt in dreifacher Hinsicht tangiert:

- Die Subventionen für die Wärmepumpen (8 -130 Mio./a) müssen über zusätzliche Staatsdefizite oder über Abgaben bzw. zusätzliche Steuern finanziert werden. Im ersten Fall treten keine Entzugseffekte auf, d.h. die Höhe des Einkommensmultiplikators bleibt voll erhalten. Dafür vergrößert sich das Ungleichgewicht des Staatshaushaltes. Im zweiten Fall tritt ein Entzugseffekt auf, der den Einkommensmultiplikator um ca. 15% reduziert. Dafür wird der Staatshaushalt nicht zusätzlich belastet.<sup>20</sup>
- Ž Die Arbeitslosenkasse wird jährlich um 17 bis 210 Mio Fr. entlastet. Um diesen Betrag kann entweder der Bundeshaushalt entlastet (geringere Deckung des Budgetdefizit) oder es können die Abgabesätze der Arbeitgeber und -nehmer reduziert werden.
- Ž Die zusätzlich geschaffenen Arbeitsplätze bedeuten zusätzliches Einkommen und entsprechend Steuerrückflüsse. Geht man von einem durchschnittlichen Jahreslohn von 70'000.- pro Arbeitnehmer und einem durchschnittlichen Lohnsteuersatz von ca. 10% aus<sup>21</sup> so ergeben sich 4 bis 56 Mio Fr. an zusätzlichen Steuereinnahmen pro Jahr.

**Insgesamt wird der Staatshaushalt einen positiven Impuls erhalten. Zusätzlichen Ausgaben für die Subventionen der Wärmepumpen (8-130 Mio/a), stehen verminderte Ausgaben aufgrund der geringeren Defizitdeckung der Arbeitslosenkasse (17-210 Mio/a) und zusätzliche Einnahmen wegen zusätzlichen Steuereinnahmen (4-56 Mio/a) gegenüber. Rein rechnerisch resultiert ein Überschuss von 5-136 Mio Fr./a.**

## 5.5 Einfluss auf die Wettbewerbsfähigkeit der Schweiz

Bis jetzt wurden nur die komparativ-statischen Effekte der Investitionen berücksichtigt. Es wurden für den gesamten Zeitraum des Investitionsprogramms konstante Preisverhältnisse von Produktionsfaktoren , und Produkten, eine gleichbleibende Importquote der schweizerischen Volkswirtschaft, konstante Produktionskoeffizienten, d.h. kein allgemeiner, technischer Fortschritt im schweizerischen Produktionsapparat und konstantbleibende Vorleistungsanteile der verschiedene Branchen unterstellt. Die einschränkenden Annahmen waren notwendig, um im Rahmen eines einigermaßen zuverlässigen Modells zu quantitativen Aussagen zu gelangen. In der Realität verändern sich all diese Grössen, wenn auch im allgemeinen recht langsam. Über längere Zeiträume werden diese Veränderungen aber relevant.

Für die Beurteilung der langfristigen Wirkungen der Investitionen ist es entscheidend, ob durch sie die Wettbewerbskraft der schweizerischen Volkswirtschaft in Zukunft erhöht wird. Wichtige Teilfragen sind in diesem Zusammenhang, welche Innovationseffekte in den betroffenen Branchen ausgelöst werden und ob damit die Chancen für zukunftssträchtige Exportmärkte der Schweiz erhöht werden oder zumindest die

<sup>20</sup> Ca. 15%-20% der gesamten Investitionen (WKK und WP) müssen mit Subventionen finanziert werden (=50% der Investitionen in WP). Dieser Teil der Nachfrage hat "nur" einen Staatsausgabenmultiplikator von 1 (Haavelmo-Theorem).

<sup>21</sup> vgl. Lit. 26, S. 17f

zukünftige Nachfrage der Schweiz nach neuer Technologie im Inland - und damit beschäftigungswirksam - gedeckt werden kann.

Die Wettbewerbsfähigkeit der Schweiz wird von vielen Faktoren beeinflusst. Die im Rahmen der Szenarien vorgenommenen Investitionen haben den Charakter von Anlagen in eine zentrale Basisinfrastruktur der Schweiz. Ein effizientes Energieversorgungssystem ist eine Grundvoraussetzung damit ein Land wettbewerbsfähig ist. Im Rahmen dieser Kurzstudie kann es nicht darum gehen, verschiedene Energiesysteme auf ihre volkswirtschaftliche Optimalität hin zu untersuchen. Wie wir in Abschnitt 5.2 erläutert haben, würden Investitionen in WKK-Anlagen mithelfen, anteilmässig mehr wertvollen Winterstrom zu produzieren. Der zusätzliche Spielraum im Winter könnte für vermehrten Export von Spitzenenergie ausgenutzt werden. Die Schweiz könnte einen ihrer altbekannten komparativen Standortvorteile (Stauseen) noch stärker ausnützen.

Neben diesem eher energiewirtschaftlichen Aspekt ist auf den wachsenden WKK-Markt der Bundesrepublik Deutschland und die Forschungs- und Entwicklungsbemühungen schweizerischer Modulhersteller einerseits, dann aber auch auf die grossen Forschungsanstrengungen im EU-Raum, in Japan und in der USA hinzuweisen. Der Markt wird von vielen als Wachstumsmarkt eingeschätzt. Falls in der Schweiz mehr in WKK-Anlagen und Elektrowärmepumpen investiert wird, besteht eine grössere Chance, dass einzelne Fertigungsschritte in Zukunft hier produziert werden.

**Die Investitionen in WKK-Anlagen und Elektrowärmepumpen ebnen der Schweiz den Weg in eine nachhaltige Zukunft. Gerade die langfristige Konkurrenzfähigkeit - auch auf wirtschaftlichem Gebiet - wird je länger desto mehr vom Gelingen des Umschwenkens auf einen solchen Pfad abhängen.**

## 6. Schlussfolgerungen

Die **Auswirkungen** der WKK- und WP-Investitionen auf den Arbeitsmarkt fallen **insgesamt** sehr positiv aus. Pro investierte Million Franken werden **brutto ca. 11 Arbeitsplätze** geschaffen. Dieses relativ hohe Resultat kommt in erster Linie durch die **starke Betroffenheit der arbeitsintensiven Branchen Bauhaupt- und Ausbaugewerbe sowie der Branche "Planung und Beratung"** zustande (Bruttoeffekt).

Werden die Auswirkungen der Investitionen auf die konventionelle Energiewirtschaft mitberücksichtigt, reduziert sich der Beschäftigungseffekt im ungünstigsten Fall (Basisvariante) auf ca. 7-8 Arbeitsplätze pro Million Fr. Diese Einbusse kommt in erster Linie durch die **Umsatzeinbussen der Elektrizitätswirtschaft** zustande. Die Tatsache, dass die Stromproduktion der WKK-Anlagen vor allem im Winter anfällt, lässt den Schluss zu, dass in erster Linie Importe ersetzt werden oder aber **überschüssiger Strom aus konventionellen Anlagen relativ leicht und lukrativ exportiert werden kann**. Es ist darum sehr wahrscheinlich, dass der Nettoeffekt um einiges höher liegt als die Basisvariante suggeriert. Energiewirtschaftlich ist ein höherer Produktionsanteil im Winter wünschenswert. Nicht zuletzt kann damit ein alter **komparativer Standortvorteil des schweizerischen Produktionsapparates** besser ausgenützt werden, nämlich Strom aus den Speicherkraftwerken zu exportieren.

Die Investitionen sind von ihrer branchenspezifischen Beschäftigungswirkung her **ein ideales Programm zur Bekämpfung der Arbeitslosigkeit**. Beschäftigung wird vor allem in Branchen erzeugt, die von den Ungleichgewichten der Arbeitsmärkte am meisten betroffen werden.

Die für die Realisierung der Investitionen notwendigen Qualifikationen liegen über dem durchschnittlichen Qualifikationsniveau des schweizerischen Arbeitsmarktes. **Die geförderten praxisorientierten beruflichen Qualifikationen entsprechen einer traditionellen Stärke des schweizerischen Wirtschaftsstandortes**, der im internationalen Vergleich über gut ausgebildete FacharbeiterInnen verfügt. Diese Qualität wird durch den Beschäftigungseffekt gestärkt. Damit wird die technologische Kompetenz und die Wettbewerbsfähigkeit der schweizerischen Volkswirtschaft erhöht.

Die Investitionen in dezentrale Produktionsanlagen führen zu einer **regional fein verteilten Beschäftigungswirkung**. Es werden damit keine einseitig strukturierten regionalen Wirtschaftsräume aufgebaut. Dies ist ein regionalpolitisch erwünschter Effekt.

Abschliessend sei nochmals darauf hingewiesen, dass durch die Investitionen in Wärmepumpen und WKK-Anlagen im Vergleich zur Referenzentwicklung die Umweltbelastung reduziert werden kann. **Die externen Kosten können beträchtlich gesenkt werden**. Die Investitionen liefern darum einen Beitrag zu einer nachhaltigen, wirtschaftlichen Entwicklung der Schweiz.



## Literaturverzeichnis

- [1] Wärmekraftkoppelung. Gasmotor-Blockheizkraftwerke effizient planen, bauen und betreiben. RAVEL im Wärmesektor, Heft 4
- [2] Ein ökologisch sinnvolles Beschäftigungsprogramm für die Schweiz. Studie Metron AG im Auftrag GBI. Mai 1995.
- [3] Zweiter Bericht des Regierungsrates über die Energiepolitik des Kantons Bern. Mai 1990. Synthesebericht.
- [4] Volkswirtschaftliche Auswirkungen energiepolitischer Massnahmen des Kantons Bern, Bern 1989, Ecoplan.
- [5] Potential der Wärmekraftkoppelung im Wohn- und Dienstleistungsbereich, Bern 1989, Infraconsult.
- [6] Industrielles und gewerbliches WKK-Potential, Liestal 1989, Dr. Eithier und Pauli AG.
- [7] Wärmekraftkoppelung-Förderungsmassnahmen, Bern 1989, Institut Bau und Energie.
- [8] Wärmepumpen-Förderstrategie, Bern 1989, IPL (Bernhard Eggen)
- [9] Das 1950er-Syndrom. Der Weg in die Konsumgesellschaft. Bern, Stuttgart 1995. Christian Pfister (Hrsg.) et al.
- [10] Potential der Wärmekraftkoppelung. EGES-Szenarien, Schriftenreihe Nr. 6. Basel 1987.
- [11] Wärmekraftkoppelungs-Potential in Burgdorf. Burgdorf 1994. M. Sommer.
- [12] Wärmekraftkoppelungs-Potential der Stadt Bern. Bern 1993. Städtische Betriebe der Stadt Bern.
- [13] Wärmekraftkoppelung im Kanton Thurgau. Frauenfeld 1991. Amt für Wirtschaft, Energie und Verkehr.
- [14] Energieversorgung mit Brennstoffzellenanlagen. Stand und Perspektiven. VDI-Berichte 1174, Tagungsunterlage, Darmstadt 15. bis 16.2.1995.
- [15] Brennstoffzellen, Weg in die Zukunft am Beispiel der Gebäudetechnik. Vortrag von Dr. U. Bolleter, Sulzer Inotec AG, gehalten am Jubiläumssymposium des Verbandes der Schweizerischen Industrie am 24.2.1995 in Zürich.
- [16] Wärmekraftkoppelung, die unterschätzte Option. Kombinierte Strom- und Wärmeproduktion zahlt sich aus. Schweizerische Handelszeitung 23.2.1995, S.5f. H. Pauli.
- [17] Klein WKK-Statistik 1993. Erhebung der 1993 installierten Anlagen und von Betriebsdaten 1991-93. Bern 1994.
- [18] Strom rationell nutzen. Umfassendes Grundlagenwissen und praktischer Leitfaden zur rationellen Verwendung von Elektrizität. Ravel Handbuch. Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern 1992.
- [19] Ein Input-Output-Simulationssystem der schweizerischen Volkswirtschaft. Eine Analyse alternativer Szenarien für die wirtschaftliche Landesversorgung. Zürich 1993. M. Schnewlin.

- 
- [20] Die Bedeutung des Energiesektors in der schweizerischen Volkswirtschaft. Eine Analyse aufgrund der KOF/ETH input-Outputtabelle 1980. Arbeitspapier Nr. 22, Konjunkturforschungsstelle ETH-Zürich. Zürich 1987. Schneulin et al.
- [21] Wirkungen der Auftragsvergebungen der SBB und der Privatbahnen auf Produktion und Beschäftigung. Arbeitspapier Nr. 21, Konjunkturforschungsstelle der ETH. Zurich 1987. Schneulin et al.
- [22] EWR-Vertrag, EG-Beitritt, Alleingang. Wirtschaftliche Konsequenzen für die Schweiz. Kurzfassung des Gutachtens zu Händen des Bundesrates, Bern 1991. Heinz Hauser.
- [23] Die regionale Inzidenz von drei Infrastrukturobjekten. Regionalökonomische Auswirkungen der N2-Osttangente, des Bio-Zentrums Basel und des Kantonsspitals Basel. Diss. Universität Basel 1985. Urs Häusel.
- [24] Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und den Wärmebereich. Arbeitsgemeinschaft Infrac/Prognos, Studie im Auftrag von BfK, BEW und AfB. Bern 1994
- [25] Welche Schlüsse können wir aus der Entwicklung der Beschäftigung und Erwerbstätigkeit nach Sektoren und Branchen ziehen? Mitteilungsblatt für Konjunkturfragen 2/94. B. Parnisari.
- [26] Volkswirtschaftliche Auswirkungen der Vergabe des Projektes IC 2000 an das Schweizer Consortium IC 2000. St. Gallen 1993, Forschungsinstitut für empirische Wirtschaftsforschung, F. Jäger et.al.

## Anhang 1

### Berechnungsgrundlagen für die WKK-Investitionsszenarien

- Die Gesamtwirkungsgrade konventioneller Heizkessel und aller WKK-Anlagentypen betragen für den gesamten Zeitraum 1995-2025 und alle Szenarien 0.9.
  - Die Stromkennzahlen für konventionelle WKK-Anlagen (Gasmotoren und -turbinen) von 0.5 und 1.5 (Brennstoffzellen) sind für den gesamten Zeitraum konstant.
  - Im Szenarium Beschleunigung werden ab 2005 anstelle konventioneller WKK-Anlagen solche mit Brennstoffzellentechnologie eingesetzt. Beginnend mit einem Marktanteil von 10% im Jahre 2005 steigt der Anteil Brennstoffzellen im WKK-Markt kontinuierlich an (2010 20% 2015 30%, 2020 40%) und erreicht 2025 einen Wert von 50%. Die durchschnittliche Stromkennzahl entwickelt sich im gleichem Zeitraum von 0.5 auf 1.0.
  - Die WKK-Anlagen ersetzen zu 50% mit Heizöl betriebene Brenner und zu 50% mit Gas betriebene Heizungsanlagen.
  - Der Energieverbrauch der WKK-Anlagen wird zu 80% mit Gas und zu 20% mit Heizöl (Leistungsspitzen mit Kessel) gedeckt.
  - Der reale Heizölpreis wird mit 5 Rp./kWh, der Gaspreis mit 6 Rp./kWh und der Strombezugspreis mit 13.5 Rp./kWh (Preisbasis 1995) festgelegt. Diese realen Preise wurden bis 2025 als konstant angenommen (analog Minimalvariante RAVEL, vgl. (I), S. 32).
  - Die externen Kosten wurden mit den mittleren Energiepreiszuschlägen von (19) gerechnet. Heizöl +6 Rp/kwh, Gas +4 Rp./kWh und Strom 5.5 Rp./kWh. Diese Werte wurden für den ganzen Zeitraum als konstant angenommen.
  - Die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen wurden mit 200g/kWh Erdgas, 260g/kWh Heizöl und 0 g/kWh Strom angenommen. Die Endnachfrageveränderungen von Erdgas und Heizöl werden mit Hilfe obiger Annahmen und untenstehender Formel berechnet.
- Ž Für die Produktion von 1 GWh Strom sind in den Szenarien Referenz, Referenz+ und Expansion Investitionen von 0.65 Mio. Fr. notwendig. Die Technologien sind ausgereift und markterprobt. Im Zeitablauf wird sich zwar eine Kostensenkung der Modulherstellung realisieren lassen (durch Marktausweitung werden Standardisierungen möglich). Mit zunehmender Potentialerschließung werden aber die baulichen Folgekosten höher. Wir gehen davon aus, dass sich diese beiden Effekte in etwa die Waage halten werden.
- Im Szenarium "Beschleunigung" kann ab 2005 gegenüber den anderen Szenarien eine Kostenreduktion von ca. 10% erzielt werden. Der Einsatz der Brennstoffzellentechnologie ist mit tieferen baulichen Folgekosten verbunden. Da durch den Einsatz der Brennstoffzellentechnologie die im Durchschnitt installierte Leistung pro Anlage sinkt, fällt der Kostensprung nicht höher aus. Mit zunehmender Potentialerschließung werden auch hier die ungünstigeren Standorte erschlossen. Darum bleiben die durchschnittlichen (realen) Kosten konstant.
- Ž Im Grenzfall B wird die gesamte Stromproduktion der WKK-Anlagen in Elektrowärmepumpen eingespiesen. Dadurch wird eine maximale Umweltschonung erreicht (ea. 60% Endenergiebedarf im Vergleich zu konventioneller Anlage).

- Im **Grenzfall C** ist eine maximale, umweltneutrale Stromproduktion möglich. Vom Strom aus den WKK-Anlagen wird genau soviel in Elektrowärmepumpen eingespiesen, um den Gas-/Heizölverbrauch gleich hoch wie in konventionellen Heizanlagen zu halten. Dazu wird nur der kleinere Teil des WKK-Stroms benötigt. Die restliche Elektrizitätsproduktion fällt quasi zum ökologischen Nulltarif an. Die in Tabelle 3 dargestellte Situation entspricht dem Grenzfall C.
- Im **Grenzfall D** soll möglichst viel Elektrizität produziert werden, was mit einem im Vergleich zur konventionellen Anlage um 50% erhöhten Energieeinsatz erkaufte wird. Die Umweltbelastung durch Schadstoffe und Kohlendioxid ist entsprechend höher. Der Grenzfall D sieht von Investitionen in Elektrowärmepumpen ab. Die in Tabelle 2 dargestellte Situation entspricht dem Grenzfall D.

$$\text{Erdgasverbrauch} = \left( SP + \frac{SP}{S} \right) \times \frac{1}{\eta_{WKK}} - (1-B)_{WKK} - \left( -\frac{SP}{S} \right) \frac{1}{\eta_{konv}} - (B)_{konv}$$

$$\text{Erdölverbrauch} = \left( SP + \frac{SP}{S} \right) \times \frac{1}{\eta_{WKK}} - (B)_{WKK} - \left( -\frac{SP}{S} \right) \frac{1}{\eta_{konv}} - (B)_{konv}$$

**SP** = Stromproduktion WKK

**S** = **Stromkennzahl** =  $\frac{\text{Nutzenergie Strom}}{\text{Nutzenergie Wärme}}$

$\eta_{WKK}$  = Gesamtwirkungsgrad WKK-Anlagen

$\eta_{konv.}$  = Gesamtwirkungsgrad der substituierten konventionellen Heizkessel

$B_{WKK}$  = Anteil WKK-Anlagen, die mit Heizöl betrieben werden ,

$B_{konv}$  = Anteil substituierte Heizkessel, die mit Heizöl betrieben werden.

## Anhang 2

### Berechnungsgrundlagen für die Investitionen in Wärmepumpen

- Die Jahresarbeitszahl wurde mit 2.5 angenommen. Da sich der technologische Fortschritt in der Produktion von Elektrowärmepumpen mit zunehmender Potentialausschöpfung schwerer realisieren lässt, bleibt die durchschnittliche Leistungsziffer bis 2025 auf diesem Niveau.
- Die Wärmepumpen substituieren konventionelle Heizkessel. Davon würden annahmegemäss 85% mit Heizöl und 15% mit Gas betrieben.
- Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Energieträger, die Energiepreiszuschläge und die Energiepreise sind in Anhang 1 angegeben.
- Der Investitionsbedarf wird gestützt auf (Lit. 3) mit 0.7 Mio/GWh Stromverbrauch angenommen.
- Wir gehen davon aus, dass die Investitionen zumindest in der Anfangsphase unrentabel bleiben und nur mithilfe von Finanzierungshilfen getätigt werden. Der Subventionierungsbedarf beträgt 50% der Investitionskosten.



## Anhang 3

### Annahmen zur Berechnung der Beschäftigungswirkungen

#### Branchenstruktur der Investitionen

Die Verteilung der Investitionsbeträge auf die verschiedenen Branchen hat einen grossen Einfluss auf die Branchenverteilung der Beschäftigungswirkungen. In Tabelle A1 wird die Verteilung der Investitionsbeträge auf die verschiedenen Wirtschaftsbranchen ausgewiesen. Es wird dabei zwischen WKK-Anlagen mit und solchen ohne die Erstellung eines Nahwärmeverbundes unterschieden, da der Bau eines Nahwärmeverbundes ein Mehrnachfrage in den Branchen Bauhauptgewerbe und Kunststoff/Kautschuk auslöst.

Bei den WKK-Anlagen mit Brennstoffzellen-Modulen schätzen wir die baulichen Folgekosten als geringer ein als bei konventionellen BHKW. Der Anteil der Branche Maschinen/Fahrzeuge am Investitionsvolumen steigt und derjenige der anderen Branchen sinkt entsprechend (ausser Grosshandel).

**Tabelle A1: Branchenstruktur der ausgelösten Umsätze (Investition und Unterhalt)**

Anlagentyp	WKK-Anlagen ohne Nahwärmeverbund	WKK-Anlagen mit Nahwärmeverbund	WKK-Anlagen Brennstoffzellen	Elektrische Wärmepumpen
Maschinen/Fahrzeuge	45%	30%	55%	30%
Ausbaugewerbe	27%	24%	25%	30%
Planung	14%	14%	10%	12%
Bauhauptgewerbe	8%	10%	4%	18%
Grosshandel	6%	7%	6%	
Kunststoff/Kautschuk	-	15%	-	2%
Steine, Erde, Bergbau	-			4%
Eisenmetalle	-		-	4%
Total	100%	100%	100%	100%

Quelle (Lit. 4), eigene Annahme für "WKK-Anlagen Brennstoffzellen"

#### Importanteile der Endnachfrage

Bei den in Tabelle A1 aufgelisteten Wirtschaftsbranchen stellt sich die Frage, wieviel der genannten Beträge ausserhalb der Schweiz nachgefragt werden (Importquote). Dies betrifft vor allem die Branche Maschinen/Fahrzeuge, die anderen Branchen werden auch weiterhin einen gewissen Distanzschutz besitzen und höchstens im grenznahen Bereich durch ausländische Firmen konkurrenziert (vgl. (Lit. 22), S. 48-51). Die Endnachfrage-Importquoten werden im Modell mit folgenden Werten berücksichtigt:

Maschinen/Fahrzeuge	17%
Ausbaugewerbe	0%

Planung	0%
Bauhauptgewerbe	0%
Grosshandel	0%
Kunststoff/Kautschuk	23%
Steine, Erde Bergbau	9%
Eisenmetalle	5%
Elektrizitätswirtschaft	2.4%
Gaswirtschaft	9.4%
Mineralölwirtschaft	0%

Diese Importquoten sind Branchendurchschnittswerte für 1985. Im Rahmen der WKK-WP-Szenarien soll der Einfluss der Importquote der Branche Maschinen/Fahrzeuge auf die Beschäftigungswirkung ermittelt werden. Dazu wurden Simulationsläufe mit abgeänderten Importquoten (100%) durchgeführt. Auch wurden zwei Varianten mit abgeänderten Importquoten (+30%, +60%) der Elektrizitätswirtschaft berechnet. Die im Modell erhöhten Importquoten der Elektrizitätswirtschaft wirken sich wie vermehrte Exporte von Elektrizität auf die Beschäftigungswirkung aus. Die Ergebnisse sind in Kapitel 5.2 angeführt.

### Importanteile Vorleistungen

Diese Vorleistungsimporte entsprechen im Modell den für die Branche Fahrzeuge/Maschinen durchschnittlichen Importanteil an den Vorleistungen von 22 %. Auch die Vorleistungsimporte der anderen Branchen werden im Modell in diesem Sinne berücksichtigt (Planung: 0%, Bauhaupt- und Ausbaugewerbe: 0%, Grosshandel: 6%, Elektrizitätswirtschaft: 17%, Gaswirtschaft: 47%, Kunststoffe/Kautschuk 60%, Mineralölindustrie: 82%).

### Einkommensmultiplikator

Das Input-/Output-Simulationsmodell berechnet nur die primären Beschäftigungseffekte. Die per Saldo geschaffenen Arbeitsplätze führen ihrerseits zu Lohneinkommen, mit denen Konsumausgaben und Sparanlagen getätigt werden. Diese Ausgaben führen wiederum zu Umsätzen in der Konsumgüterindustrie, was zu zusätzlichen Arbeitsplätzen und damit zu zusätzlichen Konsumausgaben führt etc. Diese sekundären Prozesse sind in der Ökonomie unter dem Begriff "Einkommensmultiplikator" bekannt und werden z.B. in ((Lit. 23), Anhang 1, S. 206ff) näher beschrieben. Für die Schweiz gehen wir in Anlehnung an (Lit. 23 und 26) von einem Multiplikator von 1,6 aus. Das heisst, die primären Netto-Beschäftigungseffekte müssen mit diesem Faktor multipliziert werden, um die gesamte Wirkung auf den Arbeitsmarkt zu erfassen.

### Arbeitsintensitäten ausgewählter Wirtschaftsbranchen

Die nachfolgend angeführten Werte gelten pro Million Fr in der Schweiz nachgefragter Güter und Dienstleistungen. Die Importanteile der Vorleistungen sind gemäss Branchendurchschnittswerten berücksichtigt (vgl. oben). Für die Schätzung der Beschäftigungswirkungen in Kapitel 5 wurden diese Werte um die Endnachfrage-Importe bereinigt.

Maschinen/Fahrzeuge	10.7 AP/Mio Fr
Ausbaugewerbe	13.5 AP/Mio Fr
Planung	13.5 AP/Mio Fr
Bauhauptgewerbe	14.8 AP/Mio Fr
Grosshandel	8.8 AP/Mio Fr
Steine/Erden/Bergbau	7.9 AP/Mio Fr
Kunststoff/Kautschuk	7.8 AP/Mio Fr
Eisenmetalle	9.9 AP/Mio Fr
Elektrizitätswirtschaft	6.1 AP/Mio Fr
Gaswirtschaft	3.7 AP/Mio Fr
Mineralölwirtschaft	2.7 AP/Mio Fr