

Forschungsprogramm
Energiewirtschaftliche Grundlagen

Perspektiven der Energienachfrage der Industrie

für die Szenarien I bis III 1990 - 2030

ausgearbeitet durch
Basics AG, Zürich

unter Mitarbeit von
BMP Dr. Pelli & Co., Zürich

im Auftrag des
Bundesamtes für Energiewirtschaft

Oktober 1996

Impressum

Auftraggeber:

Bundesamt für Energiewirtschaft

Auftragnehmer:

BASICS AG, Entscheidungsgrundlagen für Politik und Wirtschaft, Beckenhofstr. 16,
Postfach 176, 8035 Zürich

unter Mitarbeit von

BMP Dr. Pelli & Co., Zürich

Autoren:

Christoph Muggli

Walter Baumgartner

Diese Studie wurde im Rahmen des Forschungsprogramms "Energiewirtschaftliche Grundlagen" des Bundesamtes für Energiewirtschaft erarbeitet. Für den Inhalt der Studie sind allein die Studiennehmer verantwortlich.

1996

Vertrieb: Eidgenössische Drucksachen- und Materialzentrale, 3000 Bern

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|------------|
| Zusammenfassung | Z 1 |
| 1. Einleitung | 1 |
| 2. Kurzbeschreibung des Modells | 4 |
| 2.1 Der Modellansatz | 4 |
| 2.2 Das Mengengerüst | 6 |
| 2.3 Die Hochrechnungsfaktoren | 7 |
| 2.4 Die spezifischen Energieverbräuche | 8 |
| 3. Ausgangslage 1990 | 10 |
| 3.1 Die Entwicklung 1960 bis 1995 | 10 |
| 3.2 Das Basisjahr für das Industrie-Modell | 11 |
| 3.2.1 Der Energieverbrauch 1990 im Überblick | 11 |
| 3.2.2 Der Energieverbrauch 1990 nach Branchen | 16 |
| 3.3 Der Anteil des Gewerbes im industriellen Sektor | 19 |
| 4. Szenario I: Rahmendaten und Vorgaben | 20 |
| 4.1 Die Rahmendaten des SGZZ zur Entwicklung von Wertschöpfung und Erwerbstätigen | 20 |
| 4.2 Die Input-Daten von Wüest+Partner zu den EBF | 22 |
| 4.3 Die Vorgaben der ETH-Zürich zu den Energiekennzahlen für Büroflächen | 24 |
| 4.4 Die Vorgaben über die Energiepreisentwicklung | 26 |
| 4.5 Die energiepolitischen Massnahmen in der Referenzvariante | 27 |
| 5. Szenario I: Die Modellrechnungen | 29 |
| 5.1 Die Berechnung der Hochrechnungsfaktoren | 29 |
| 5.1.1 Die Entwicklung der Produktion | 29 |
| 5.1.2 Die Energiebezugsflächen | 31 |

| | |
|---|-----------|
| 5.2 Die Berechnung der spezifischen Verbrauchswerte | 37 |
| 5.2.1 Die Ausgangslage | 37 |
| 5.2.2 Berechnung der künftigen spezifischen Energieverbräuche | 41 |
| 6. Szenario I: Entwicklung der Energieverbräuche | 43 |
| 6.1 Die wichtigsten Einflussgrößen | 43 |
| 6.2 Der Energieverbrauch nach Energieträger und Ver- wendungszweck | 43 |
| 6.3 Energieverbrauch nach Branchen | 50 |
| 6.4 Die Qualität der Resultate und Verbesserungsmöglichkeiten | 56 |
| 7. Szenarien IIa und IIb | 58 |
| 7.1 Die Definition der Szenarien | 58 |
| 7.2 Die Modellrechnungen | 61 |
| 7.2.1 Die Veränderung der Hochrechnungsfaktoren | 61 |
| 7.2.2 Die Berechnung der spezifischen Verbräuche | 62 |
| 7.3 Resultate | 65 |
| 7.3.1 Zusammenfassung der Vorgaben | 65 |
| 7.3.2 Die Resultate im Überblick | 66 |
| 7.3.3 Die Resultate nach Energieträger | 69 |
| 7.3.4 Die Resultate nach Verwendungszwecken | 74 |
| 8. Szenarien IIIa - IIId | 77 |
| 8.1 Die Definition der Szenarien | 77 |
| 8.1.1 Energie- und Umwelt-Initiative | 77 |
| 8.1.2 Solar-Initiative | 79 |
| 8.1.3 Die Szenarien | 80 |
| 8.2 Modellrechnungen | 81 |
| 8.2.1 Szenario IIIa | 81 |
| 8.2.2 Szenarien IIIb, IIIc und IIId | 85 |
| 8.3 Resultate | 88 |
| 8.3.1 Resultate im Überblick | 88 |
| 8.3.2 Resultate nach Energieträgern | 89 |
| Bibliographie (Auswahl) | 94 |

Zusammenfassung

Zielsetzung und Methode

Im Rahmen der Neuorganisation der Erarbeitung von Energieperspektiven ist die Firma Basics AG (früher IBFG Interdisziplinäre Berater- und Forschungsgruppe AG) damit beauftragt worden, den Teil Industrie zu modellieren. Zielsetzung dieser Arbeiten war es, Grundlagen für die energetische Ausgangslage 1990 zu legen, Perspektivarbeiten für die Periode 1990 bis 2030 durchzuführen und auf der Basis des erarbeiteten Modells sogenannte Ex-post-Analysen für die jährlichen, statistisch feststellbaren Energieverbrauchsveränderungen zu machen. Der vorliegende Bericht enthält Aussagen zur Ausgangslage 1990 sowie zu sieben Perspektiven bis 2030: Trendszenario I sowie Szenarien IIa bzw. IIb und Szenarien IIIa bis IIIId mit unterschiedlich verstärktem energiepolitischen Engagement.

Grundlage für diese Arbeiten ist ein in 31 Branchen desaggregiertes Bottom-up-Modell. Weiter wird das Modell differenziert nach Funktionen (Büro oder Produktion), nach Produktelinien in den einzelnen Branchen, nach Produktionsprozessen sowie - Grundlage für die Prozesse - nach einzelnen Produktionsanlagen. Grundansatz des Modells ist auf der Ebene der Produktionsprozesse eine gesonderte Behandlung von Hochrechnungsfaktoren einerseits und spezifischen Verbräuchen andererseits. Hochrechnungsfaktoren sind etwa Tonnen Zement, Hektoliter Bier oder einfach ein auf 100 normierter Produktionsindex. Spezifische Verbräuche stellen den Energieverbrauch bezogen auf diese Hochrechnungsfaktoren dar (auf der Grundlage der eingesetzten Produktionsanlagen) und werden nach einzelnen Energieträgern unterteilt.

Ausgangslage 1990

Rund 22 % des gesamten Endenergieverbrauchs in der Schweiz gehen auf das Konto der Industrie. Der Industrieverbrauch hat zwischen 1960 und 1970 noch um rund 80 % zugenommen, inzwischen hat er sich auf dem Niveau von rund 170 PJ stabilisiert.

Die mit Hilfe des Industrie-Modells errechneten Energieverbräuche für das Jahr 1990 sind in der Tabelle Z-1 differenziert nach Energieträgern und Verwendungszwecken aufgelistet - und zwar als Nettoenergieverbrauch, d. h. als effektiver Energieverbrauch saldiert um die Eigenproduktion. Der so gerechnete Gesamtenergieverbrauch in der Industrie beläuft sich auf knapp 190 PJ. Bei den Energieträgern steht die Elektrizität (mit rund 57 PJ) klar im Vordergrund, gefolgt von Gas (32 PJ), Abfällen (aus methodischen Gründen allerdings anders als die andern Energieträger zu beurteilen, 32 PJ) und Heizöl leicht (25 PJ). Und in der Industrie ebenfalls von recht hoher Bedeutung: Heizöl mittel und schwer (21 PJ) und Kohle (15 PJ). Differenziert nach Verwendungszwecken ergibt sich, dass die Prozesswärme rund die Hälfte des Gesamtverbrauches, nämlich rund 90 PJ, ausmacht, gefolgt von den mechanischen Prozessen mit 34 PJ und der Heizung mit 32 PJ.

Tab. Z-1: Industrieller Netto-Energieverbrauch 1990 (in TJ)

| | Heizung | Prozess- wärme | mech. Prozesse | Licht, EDV etc. | Sonstige Anwend. | WKK | Summe |
|--------------|---------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------|--------|---------|
| Heizöl EL | 15'163 | 9'715 | 266 | 0 | 0 | 168 | 25'312 |
| Gas | 9'412 | 19'124 | 1'029 | 0 | 0 | 2'296 | 31'861 |
| Elektrizität | 1'633 | 21'139 | 32'025 | 5'613 | 89 | -3'618 | 56'881 |
| Fernwärme | 726 | 1'476 | 0 | 0 | 0 | -6'265 | -4'064 |
| Holz | 1'898 | 589 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2'487 |
| Kohle | 303 | 14'135 | 109 | 0 | 0 | 150 | 14'697 |
| Diesel | 0 | 17 | 94 | 0 | 9'877 | 9 | 9'998 |
| Heizöl MS | 2'694 | 17'142 | 73 | 0 | 0 | 1'169 | 21'077 |
| Abfall | 405 | 6'933 | 0 | 0 | 0 | 24'191 | 31'529 |
| Summe | 32'234 | 90'270 | 33'595 | 5'613 | 9'966 | 18'100 | 189'778 |

Der auf die Methoden der schweizerischen Energiestatistik umgelegte modellgestützte Endenergieverbrauch liegt gesamthaft rund 1.4 PJ unter dem Wert der Energiestatistik. Der von uns ausgewiesene Netto-Energieverbrauch wird für diesen Vergleich u.a. korrigiert um die Eigenproduktion, den industriellen Dieselverbrauch, den Energieverbrauch des industriellen Gewerbes aus dem Verbrauchssektor Dienstleistungen, Gewerbe, Landwirtschaft (DGL), dem Energieverbrauch des Bausektors sowie um den Witterungseinfluss (1990 war ein überdurchschnittlich warmes Jahr).

Differenziert man den Energieverbrauch nach Branchen, so finden sich Schwerpunkte bei der Branchengruppe Steine und Erden und hier natürlich insbesondere bei der Zementindustrie, bei der chemischen Industrie, den Nahrungsmitteln, der Metallindustrie und der Papierindustrie. Formal ebenfalls zu den "Grossverbrauchern" gehört die Energie- und Wasserversorgung, die im Rahmen des industriellen Energie-Verbrauchs allerdings einen methodischen Zwitter darstellt. Ebenfalls ausgewiesen werden kann eine Schätzung des Energieverbrauchs des industriellen Gewerbes (das in der Statistik unter DGL figuriert). Es beziffert sich auf rund 14 PJ pro Jahr sowie nochmals rund 13 PJ für das Baugewerbe.

Szenario I: Rahmendaten und Vorgaben

Wichtiger Steuerungsparameter für die Zukunftsperspektiven sind die Vorgaben des St. Galler Zentrums für Zukunftsforschung (SGZZ). Verwendet werden insbesondere nach Branchen differenzierte Angaben zu Wertschöpfungen, Erwerbstätigen sowie zur gesamten Bauentwicklung. Grundlage dieser Rechnungen ist eine Fortschreibung der Vergangenheit unter der Annahme gleicher Verhaltensweisen. Eigentliche Trendbrüche bleiben also unberücksichtigt. Ausgewiesen werden vom SGZZ eine Zunahme der industriellen Wertschöpfung (inklusive Baugewerbe) von gegen 80 % zwischen 1990 und 2030 sowie ein Rückgang der Erwerbstätigenzahl um rund 17 % in der gleichen Zeitperiode.

Als Inputgrössen werden auch die Daten von Wüest+Partner (W+P) zur Entwicklung der Energiebezugsflächen verwendet. Direkt übernommen, allerdings auf die aus dem Modell hervorgehenden Ergebnisse angepasst, wurden die Büroflächen, während die Entwicklung der Produktionsflächen in unserem Modell direkt aus der Entwicklung der physischen Produktion in der Industrie abgeleitet wird.

Was die Energiekennziffern im Bürobereich für den Elektrizitätsverbrauch und den Energieverbrauch für Heizung betrifft, haben wir die Resultate des Modells der Forschungsgruppe Energieanalysen der ETH Zürich übernommen. Bei der Elektrizität wird - wegen der weiterhin zunehmenden Büroautomatisierung - von einer Zunahme pro Energiebezugsflächeneinheit von 18 % bis ins Jahr 2030 ausgegangen, bei den Energiekennzahlen für die Heizung von einer knappen Halbierung.

Die Entwicklung der Energiepreise für die einzelnen Energieträger ist eine Vorgabe der Prognos bzw. des BEW. Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass sich die Preise real nur moderat und erst noch vor allem ab Mitte der Betrachtungsperiode erhöhen. Abgesehen von der Kohle ergeben sich damit für die klassischen fossilen Energieträger durchwegs Preise, die für die gesamte Periode bis 2030 unter denjenigen der Höchstwerte in den achtziger Jahre liegen.

Für das Szenario I wird keine spezielle Änderung der energiepolitischen Massnahmen angenommen. Enthalten sind alle bereits heute angewendeten Massnahmen sowie darüberhinaus energiepolitische Instrumente, die bereits beschlossen, aber noch nicht implementiert sind.

Szenario I: Modellrechnungen

Die Hochrechnungsfaktoren werden unterteilt in zwei Gruppen: die Produktion und die Energiebezugsflächen.

Die Entwicklung der Produktion wird für einzelne (für den spezifischen Verbrauch auf der Prozessebene relevante) Hochrechnungsfaktoren anhand der Vergangenheitsentwicklung geeicht. Regressionsanalysen sind insbesondere in Abhängigkeit von Wertschöpfungsdaten der entsprechenden Branche und/oder der Branche mit dem grössten Abnahmepotential durchgeführt worden. Diese Ergebnisse werden für die Zukunft zur Berücksichtigung von speziellen Entwicklungstrends korrigiert (oder auch direkt geschätzt). Ein Beispiel stellt die Rohaluminium-Produktion dar, die bis 1997 ganz eingestellt werden soll.

Die Energiebezugsflächen werden für die Büronutzung auf der Grundlage von W+P bzw. der Flächenentwicklung pro Erwerbstätigen im Bürobereich geschätzt. Demgegenüber werden die Produktionsflächen mit (allerdings sehr kleinen) Elastizitäten aus der Produktionsentwicklung abgeleitet. Grundannahme ist, dass die Produktionsflächen zwar noch zunehmen werden, aber in sehr viel geringerem Ausmass als in der Vergangenheit. Das ergibt einen Zuwachs der Bürofläche 1990 bis 2030 um rund 2.5 Mio m² auf 13.1 Mio m² und bei der Produktionsfläche um 4.3 Mio m² auf 56.1 Mio m².

Die spezifischen Verbräuche werden auf der Grundlage der den Produktionsprozessen zugrunde liegenden Anlagen fortgeschrieben. Konstituierend sind dabei neue Anlagen, die in

den künftigen Jahren alte Anlagen ersetzen oder für die Produktionsausweitung angeschafft werden. Die Anlagen werden mit Parametern wie Durchschnittsverbrauch, Verfügbarkeit, Auslastung, Kosten usw. definiert. Im Hinblick auf die weitere Zukunft werden aber auch die Parameter für neue künftige Anlagen bestimmt.

Ausgangspunkt dafür sind heutige und vor allem zukünftige Technologien. Nebst branchen-, prozess- oder anlagenspezifischen Technologien werden sogenannte Querschnittstechnologien berücksichtigt, die in den meisten Branchen vorkommen oder angewendet werden können. Dazu gehören: Umwandlung von Elektrizität in mechanische Energie, Transport von Fluiden, Wärmerückgewinnung, Verbrennungsvorgänge, Wärmedämmung, Massnahmen zur Verminderung von Reibung sowie Messen, Regeln und Steuern.

Ausgehend von solchen Anlagen-Informationen werden nun die spezifischen Energieverbräuche für die einzelnen Prozesse nach Massgabe der zugehörigen Hochrechnungsfaktoren ermittelt. Dies geschieht über einen Kohortenalgorithmus: Alte Anlagen werden bei Erreichen ihrer technisch-wirtschaftlichen Lebensdauer durch neue Anlagen ersetzt. Durch die Gewichtung der spezifischen Verbräuche mit den Anlagenkapazitäten (unter Berücksichtigung der Auslastung) ergeben sich die, je Prozess auf den entsprechenden Hochrechnungsfaktor bezogenen, durchschnittlichen Verbräuche.

Daraus resultieren schliesslich die spezifischen Energieverbräuche pro Hochrechnungsfaktor. In der Regel liegt der Rückgang des spezifischen Verbrauchs für die Periode 1990 bis 2030 zwischen 10 und 20 %. Es gibt aber durchaus auch Prozesse mit zunehmenden spezifischen Verbräuchen, etwa jene, die den Umweltschutz betreffen.

Szenario I: Entwicklung des Energieverbrauchs

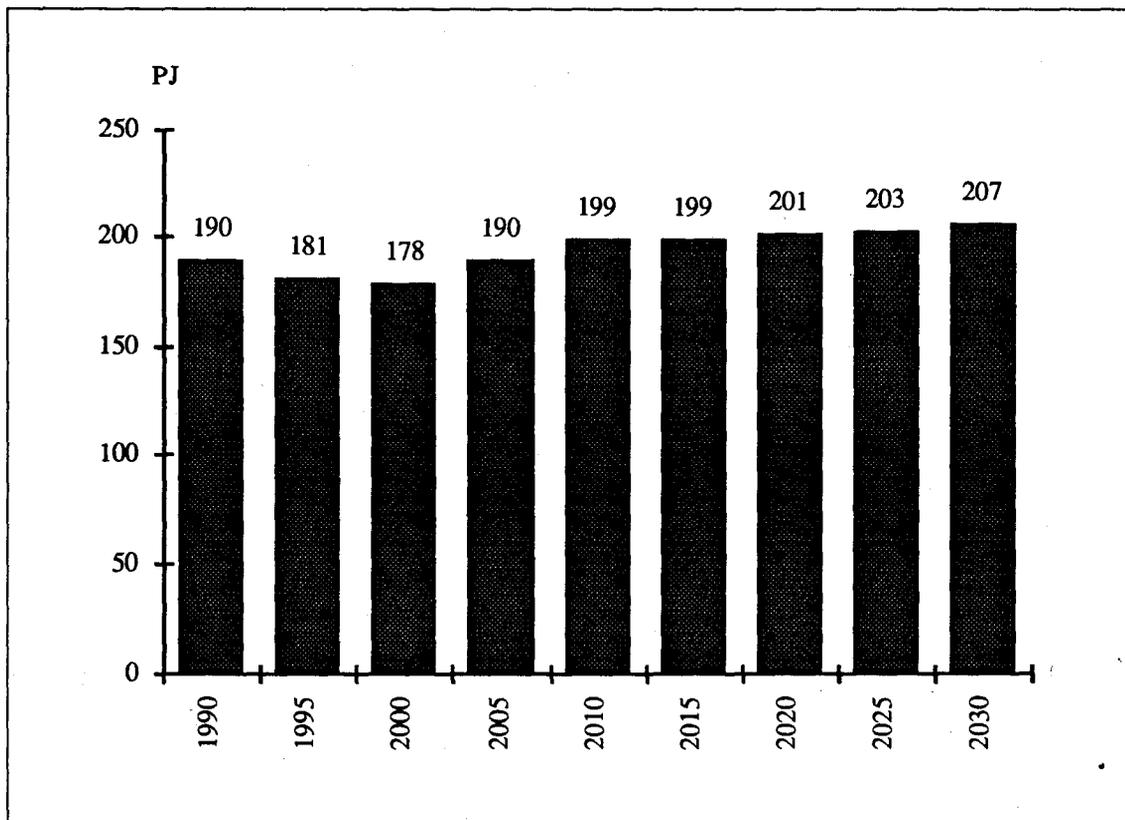
In der Abbildung Z-1 ist der industrielle Netto-Energieverbrauch der Referenzvariante für die Jahre 1990 bis 2030 dargestellt. Im Gegensatz zum Endenergieverbrauch der Gesamtenergiestatistik umfasst der hier ausgewiesene Netto-Energieverbrauch auch den (saldierte) energetischen In- und Output von Wärme-Kraft-Kopplungs-Anlagen. Aus den Modellrechnungen ergibt sich ein Rückgang des Energieverbrauchs 1995 und 2000 gegenüber dem Ausgangsjahr. Nachher steigt der Verbrauch wiederum an (bis 2010) und stabilisiert sich dann mehr oder weniger auf diesem Niveau (mit einer leichten Tendenz nach oben gegen Ende der Betrachtungsperiode). Am Ende des Betrachtungszeitraumes liegt er dann rund 9 % über dem Niveau von 1990.

Diese Entwicklung ist das Ergebnis vielfältiger Einflüsse und modellhaft abgebildeter Verhaltensweisen:

- Der konjunkturelle Einbruch Anfang / Mitte der 90er Jahre hat auf die industrielle Produktion durchgeschlagen und zwar in einem stärkeren Ausmass, als dies die gesamtwirtschaftlichen Wachstumsraten vermuten lassen.
- Zwischen 1990 und 1995 fällt energetisch insbesondere auch ins Gewicht, dass die Rohaluminiumproduktion stark reduziert worden ist, was als Einzeleffekt bereits einen Rückgang von rund 5 PJ erklärt.

- Der anfängliche Rückgang in diesem Jahrhundert ist auch durch den Zubau von energetisch effizienteren Anlagen bedingt. Obwohl sich dieser Trend im nächsten Jahrhundert verlangsamt, nimmt natürlich der spezifische Verbrauch weiterhin ab.
- Dass der Energieverbrauch im nächsten Jahrhundert in der Tendenz trotzdem wieder zunimmt, ist primär auf die weiterhin ansteigenden Produktionsindizes vieler der untersuchten Branchen zurückzuführen.

Abb. Z-1: Der industrielle Netto-Energieverbrauch 1990 bis 2030 (in PJ)



Während die Entwicklung des Gesamtenergieverbrauchs relativ wenig Struktur zeigt, sind auf der Ebene einzelner Energieträger beträchtliche Bewegungen zu beobachten. Auf der Seite der "Gewinner" sind die Energieträger Gas (plus 56 %), Elektrizität (plus 22 %), Nah- und Fernwärme-Nettoproduktion (plus 35 %), Holz (plus 24 %), Diesel (plus 14 %) und Abfall (plus 40 %). Auf der andern Seite sind es die Energieträger Heizöl extra leicht (minus 28 %), Heizöl mittel und schwer (minus 33 %) sowie die Kohle (minus 86 %), welche absolut und relativ abnehmen. Etwas vereinfacht kann man dabei folgende Substitutionsbewegungen feststellen: Das Gas substituiert alle Heizölsorten und wächst absolut am stärksten. Der Abfall substituiert vor allem Kohle (und dies schwergewichtig in der Zementindustrie). Während der Substitutionsprozess zugunsten des Gases über den ganzen Betrachtungszeitraum anhält, stabilisiert sich derjenige des Abfalls um 2010.

Im Zeitablauf ergibt sich auch eine deutliche Änderung der Verwendungszwecke. Prozesswärme steigt absolut um etwa gleich viel an wie die mechanischen Prozesse. Angesichts des unterschiedlichen Ausgangsniveaus nehmen die mechanischen Prozesse aber dreimal so stark zu - auch eine Folge der weiterhin fortschreitenden Automatisierung. Demgegenüber geht der Energieaufwand für die Heizung stark zurück.

Unterschiedliche Entwicklungverläufe ergeben sich auch bei den einzelnen Branchen. Von denjenigen, die gesamtenergetisch wichtig sind, lassen sich folgende Aussagen machen: Energie- und Wasserwirtschaft (minus 4 %), Nahrungsmittelindustrie (plus 15%), Textilindustrie wegen der Chemiefaserindustrie (plus 4%), Papierindustrie, insbesondere wegen Zellstoff (plus 10 %), chemische Industrie (plus 72 %), Steine und Erden (minus 13 %), Metallindustrie (minus 26 %), Maschinenindustrie (plus 4%) und Baugewerbe (plus 8 %).

Szenarien IIa und IIb

Die Szenarien IIa und IIb unterscheiden sich vom Referenzszenario dadurch, dass weitere und vor allem stärker wirkende energiepolitische Massnahmen unterstellt werden.

- **Finanzielle Massnahmen:** Der Bund verstärkt die finanzielle Förderung von Forschung und Entwicklung, Pilot- und Demonstrationsanlagen, von Information, Beratung und Energieaudits sowie von Aus- und Weiterbildung; dazu kommt die direkte finanzielle Förderung der erneuerbaren Energien sowie der Abwärmenutzung. Die Förderungsmittel für die Industrie addieren sich sowohl für Szenario IIa als auch Szenario IIb auf jährlich 16 bis 21 Mio Fr. Dazu kommt, dass die Elektrizitätswerke gemäss Vorgabe rund 17 Mio Fr. in Demand Side Management investieren (gilt ebenfalls für IIa und IIb gleichermaßen).
- **Vorschriften und Vereinbarungen** (gelten für IIa und IIb genau gleich): Anstelle des Energienutzungsbeschlusses des Referenz-Szenarios gilt ein Energiegesetz mit verschärften Anforderungen vor allem im Gebäudebereich. Weiter werden zusätzliche freiwillige Vereinbarungen unterstellt.
- **Preispolitische Massnahmen:** Zunächst wird unterstellt, dass die Stromtarife variabilisiert werden, der fixe Tarifbestandteil mithin abgebaut wird. In Szenario IIb wird zusätzlich eine CO₂-Abgabe auf fossilen Energieträgern eingeführt. Für energieintensive Unternehmen ist vorgesehen, dass sie sich mittels verbindlichen überprüfbareren Verpflichtungen von der CO₂-Abgabe befreien können. Die Abgabensätze werden im zweijährigen Rhythmus auf die Endbelastung von maximal 60 Franken je Tonne CO₂ im Jahr 2008 angehoben.

Die Berechnung der Veränderung der spezifischen Verbräuche gegenüber denjenigen des Szenario I fusst auf drei Ansätzen:

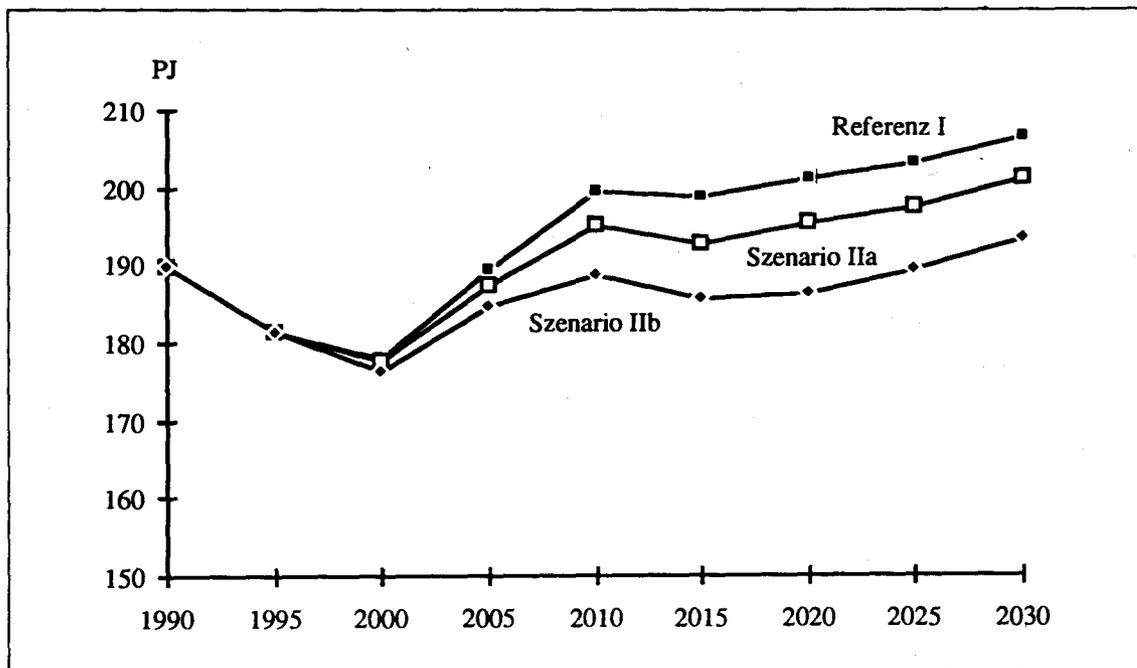
- Für alle Anlagen sind mögliche Sparpotentiale definiert worden, die durch veränderte Verhaltensweisen und (kleinere) Sanierungen realisiert werden können. Diese Sparpotentiale werden entsprechend den "neuen" Rahmenbedingungen berücksichtigt.

- Neue Anlagen werden entsprechend den veränderten Bedingungen früher zugebaut (sofern sie energiesparender sind).
- Zur Abgleichung werden schliesslich die von Prognos vorgeschlagenen Energiepreiselastizitäten verwendet, sowohl was die direkten Energieverbrauchseffekte als auch was die Substitution zwischen Energieträgern betrifft.

An sich müsste man davon ausgehen, dass in Szenario IIb einige energieintensive Branchen auf die CO₂-Abgabe auch mit Änderungen bei der Produktion (Verlagerung ins Ausland, Produktionsminderung, Produktionseinstellung) reagieren könnten. Diese Reaktionsweisen sollen allerdings mit den freiwilligen Verpflichtungen deutlich abgedeckt werden. Allfällige, auf der vorliegenden Grundlage nicht modellierbare, Veränderungen haben indes auf das hier ausgewiesene Resultat nur einen geringen Effekt

Als Ergebnis ergibt sich, dass die beabsichtigte Politik gemäss IIa den Verbrauch ab etwa 2010 gegenüber der Referenzvariante um zwei bis drei Prozent abzusenken vermag (vgl. Abbildung Z-2). Dank der zusätzlichen CO₂-Abgabe in Szenario IIb vergrössert sich die Differenz zu I erheblich und erreicht im Jahr 2020 ein Maximum von über 7 %. Gesamthaft gesehen liegt aber IIb im Jahr 2030 immer noch um rund 4 PJ höher als der Ausgangswert von 1990.

Abb. Z-2: Der Entwicklung des Netto-Energieverbrauchs der Szenarien I, IIa und IIb



Versucht man den Beitrag der einzelnen Massnahmen zu separieren, so muss zunächst festgestellt werden, dass die Summe der Wirkungen der einzelnen Massnahmen grösser ist, als wenn alle Massnahmen gleichzeitig implementiert werden. Zählt man die Wirkung aller einzelnen in Szenario IIb wirksamen Massnahmentypen zusammen, so käme man auf einen gesamten durchschnittlichen Spareffekt von rund 11 %. Durch die Kumulation der Massnahmen reduziert sich die Gesamtwirkung über die Jahre gerechnet auf etwas über 7 %.

In Szenario IIa ergeben sich gegenüber dem Referenz-Szenario keine grossen Veränderungen des Energieträgersplites. Anders in Szenario IIb. Hier bewirkt die CO₂-Abgabe deutliche Substitutionsbewegungen. Vor allem der Konsum von Heizöl (alle Sorten) wird massiv reduziert. Und die energetische Nutzung der Kohle verschwindet völlig. Als einziger fossiler Energieträger weist das Gas - als wichtigste Substitutionsenergie - bis 2030 nur eine marginale Reduktion von rund 2 % auf. Auch die Elektrizität erfährt in den Jahren 2010 bis 2025 als Folge der CO₂-Abgabe einen Mehrverbrauch.

Schliesslich ergeben sich auch Umlagerungen bei den Verwendungszwecken. In Szenario IIa werden bei allen Verwendungszwecken Einsparungen realisiert; absolut gesehen macht aber die Heizung den Hauptteil der Energiereduktionen aus. In Szenario IIb nehmen die mechanischen Anwendungen sogar zu, alle andern Anwendungen ab. Den Hauptteil der Einsparungen liefert nun die Prozesswärme.

Die Ziele von Szenario IIb (CO₂-Emissionen im Jahr 2010 um 10 % tiefer als diejenigen des Jahres 1990) sind für die Industrie erreichbar, sogar schon in der Referenzvariante.

Szenarien IIIa, IIIb, IIIc und IIId

Die Szenarien IIIa bis IIId thematisieren in unterschiedlicher Kombination und Ausprägung zwei im Frühjahr 1995 eingereichte Initiativen, nämlich die Energie- und Umwelt-Initiative und die Solarinitiative. Beide Initiativen würden gegenüber Szenario IIa eine erhebliche Verschärfung der energiepolitischen Mittel bedeuten:

Die Energie- und Umwelt-Initiative strebt binnen acht Jahren nach Annahme der Vorlage für die nicht-erneuerbaren Energieträger zunächst eine Stabilisierung und anschliessend während 25 Jahren eine Verminderung um durchschnittlich 1 % je Jahr an. Hierzu soll eine Abgabe auf nicht-erneuerbaren Energieträgern eingeführt werden, deren Einnahmen wieder an die Bevölkerung und die Wirtschaft zurückverteilt werden soll. Um die internationale Wettbewerbsfähigkeit einzelner Branchen nicht allzu stark zu gefährden, wird für energieintensive Industrie-Unternehmen eine Sonderregelung vorgesehen, indem die Nettobelastung, d.h. nach Berücksichtigung der Rückzahlung, nicht mehr als 1 % der Gesamtkosten ausmachen soll. Untersucht wurde eine Abgabe, die nach rund 30 Jahren die Preise für die fossilen Energieträger rund verdoppelt, für die Elektrizität um 70 % erhöht.

Die Solarinitiative will zum einen die Sonnenenergienutzung auf überbauten Flächen fördern, zum andern ganz allgemein die effiziente und nachhaltige Energienutzung. Hierfür soll der Bund die Kompetenz erhalten, eine Abgabe von 0.1 bis 0,5 Rappen je Kilowattstunde Endenergieverbrauch von nicht-erneuerbaren Energieträgern zu erheben. Aus dem Ertrag der Abgabe (bei voller Abgabenhöhe rund 800 bis 900 Mio Franken je Jahr) soll mindestens die Hälfte zur finanziellen Unterstützung (Subventionen) der Sonnenenergie-

nutzung verwendet werden, der Rest zur Unterstützung der effizienten und nachhaltigen Energienutzung. Die Abgabe wird nur während 25 Jahren erhoben; entsprechend sind auch die Fördermittel auf diesen Zeithorizont beschränkt. Für energieintensive Unternehmen soll der Bund eine spezielle Regelung vorsehen können.

Mit den beiden Initiativen werden nun - ausgehend vom Szenario IIa - die folgenden vier Szenarien definiert: Szenario IIIa beinhaltet die Energie- und Umwelt-Initiative, Szenario IIIb die Solarinitiative, Szenario IIIc die Kombination beider Initiativen und Szenario IIId die Solarinitiative mit halbiertem Abgabesatz und gelockerter Zweckbindung für die Ausschüttung der Subventionen.

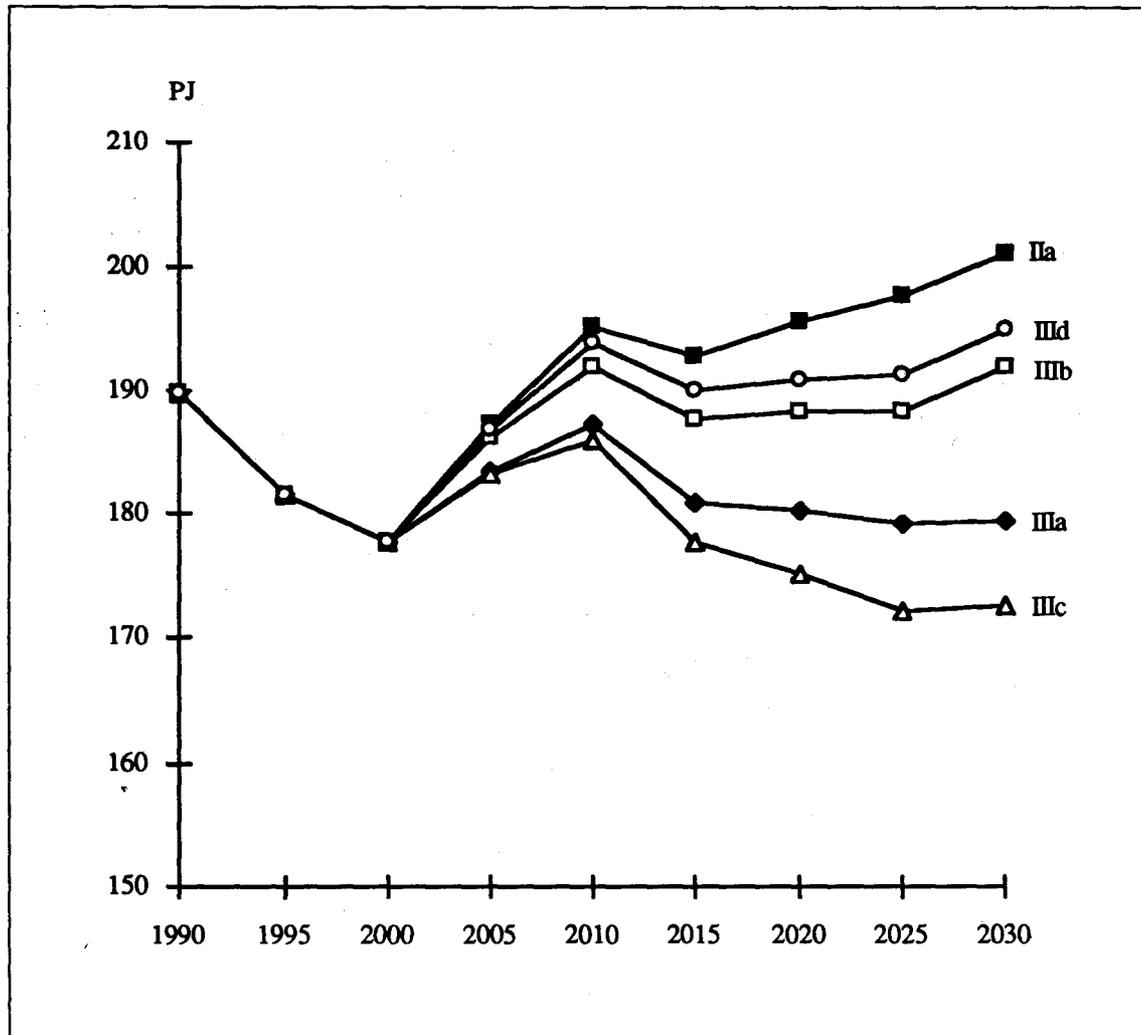
Zur Quantifizierung von Szenario IIIa wurde grosses Gewicht auf die Ermittlung möglicher Veränderungen der Produktion als Folge der Abgabe gelegt. Die grössten Rückgänge (im Bereich von einigen Prozenten) lassen sich bei den energieintensiven Unternehmen finden, die in der Schweiz ohnehin ein Standortproblem haben und sehr stark dem internationalen Wettbewerb ausgesetzt sind. Hierzu gehören die Textilindustrie, die Papierindustrie sowie Aluminium (abgesehen von der ohnehin geplanten Aufgabe der Rohaluminiumproduktion). Weitere erwähnenswerte Rückgänge sind bei den Produktelinien chemische Grundstoffe, bei Eisen/Stahl, bei Metallüberzügen und bei allen Produktelinien von Steine und Erden auszumachen. Zu den eigentlichen "Gewinnern" gehören die Maschinen und die Elektronikindustrie. Prozentual weist die Haustechnikbranche den grössten Zuwachs auf, da sie von den Energiesparinvestitionen - vor allem im Wärmebereich - ganz unmittelbar profitieren kann.

Die Ermittlung der spezifischen Verbrauchsfaktoren erfolgte grundsätzlich analog derjenigen für die Szenarien IIa und IIb, allerdings ergänzt durch systemanalytische "Untermotive" für einige energieintensive Branchen.

Die Quantifizierung der Szenarien IIIb, IIIc und IIId erfolgte losgelöst vom oben beschriebenen Ansatz für das Szenario IIIa über energiebereichsspezifische Potentialschätzungen von Ernst Basler und Partner, welche von Prognos auf die verschiedene Nachfragesektoren verteilt und von Basics schliesslich auf die Netto-Energieverbrauchsebene rückgerechnet wurden.

Abbildung Z-3 fasst die Resultate auf der Netto-Energieebene im Vergleich zum Ausgangs-Szenario IIa zusammen.

Abb. Z-3: Netto-Energieverbräuche der Szenarien IIIa bis IIId im Vergleich zum Szenario IIa.



1. Einleitung

Die Erarbeitung von Energieperspektiven ist vom Bundesamt für Energiewirtschaft Mitte 1993 neu organisiert worden. Im Rahmen der hierfür durchzuführenden Untersuchungen hat Basics (damals noch IBFG Interdisziplinäre Berater- und Forschungsgruppe AG Zürich) den Auftrag erhalten, den Perspektiven-Teil Industrie zu modellieren. Für die Ermittlung von Grunddaten im technischen Bereich (industrielle Prozesse und Anlagen) wurde die Firma BMP Dr. Pelli + Co. beigezogen. Deren Arbeiten sind direkt in die von der Basics durchgeführten Modellierungsarbeiten eingeflossen und sind deshalb nicht eigenständig dokumentiert.

Mit dem langfristig angelegten Projekt wurden inzwischen die Grundlagen für die Ausgangslage 1990 gelegt und der Energieverbrauch in der Industrie für ein erstes Set von politikrelevanten Szenarien bis 2030 modelliert. Darauf aufbauend werden die Perspektiven in jährlichem Rhythmus kontinuierlich verbessert, angepasst und ergänzt. Ausserdem werden unter Zuhilfenahme des erarbeiteten Modells Ex-post-Analysen durchgeführt, in denen die Veränderungen des Energieverbrauchs gemäss der zuletzt verfügbaren Statistik mit dem vorhergehenden Jahr verglichen wird (bislang für die Jahre 1993, 1994 und 1995).

Die Modellierungsarbeiten im Bereich Industrie sind in ein von der Prognos AG koordiniertes Gesamtvorhaben eingebettet. Andere Teams bearbeiten die Bereiche Haushalte (Prognos), Verkehr (Prognos/Infras) und Dienstleistungen (Forschungsgruppe Energieanalysen der ETH). Die Input-Daten für die Entwicklung von Erwerbstätigen und Wertschöpfung stammen vom St. Galler Zentrum für Zukunftsforschung (SGZZ), jene für die Entwicklung der Energiebezugsflächen von Wüest+Partner (W+P).

Begleitet werden die Arbeiten durch eine "Arbeitsgruppe Energieperspektiven", in der Vertreter des Bundesamtes für Energiewirtschaft, des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft, des Stabes für Gesamtverkehrsfragen sowie externe Experten vertreten sind. Annahmen, Methoden und Ergebnisse werden in der Arbeitsgruppe, diskutiert, kritische Anmerkungen und Anregungen werden - soweit möglich - verarbeitet. Zu Handen der Arbeitsgruppe wurden bis Mitte 1996 mehr als zehn z. T. umfangreiche Arbeitsberichte verfasst.

Der vorliegende Bericht ist eine überarbeitete und ergänzte Version des Arbeitsberichtes vom August 1994 (vgl. IBFG 1994). Er beinhaltet die aktualisierten Daten für die Referenzentwicklung (Szenario I) sowie die weiteren Szenarien IIa und IIb bzw. Szenarien IIIa bis IIIId, für welche gegenüber der Refe-

renzentwicklung stärker wirkende energiepolitische Massnahmen unterstellt werden (vgl. Tabelle 1-1). Die Darstellung der Ausgangslage 1990 und jene des Modells bleibt, von kleinen Korrekturen und Ergänzungen abgesehen, unverändert; deutlichere Änderungen ergeben sich aber bei einigen branchenbezogenen Inputdaten, bei den energiepolitischen Vorgaben und damit auch bei den Resultaten. Gesamthaft gesehen betragen die Unterschiede zwischen dem alten und dem neuen Referenz-Szenario sowie zwischen dem alten und dem neuen Szenario mit einer CO₂-Abgabe aber nur einige wenige Prozente.

Der hier vorliegende Bericht enthält Vorgaben, Annahmen und Ergebnisse der Modellierungs- und Perspektivarbeiten. Um die hier präsentierten Ergebnisse aber dennoch richtig beurteilen zu können, sind einige wenige Angaben zum verwendeten Modell aber zwingend.

Der Bericht ist somit wie folgt aufgebaut:

- Kapitel 2 enthält einen Kurzbeschrieb des verwendeten Modells. Hier wird das Industrie-Modell in seiner internen Struktur und mit seinen formalen Schnittstellen zu andern Modellierungsarbeiten dargestellt.
- Kapitel 3 stellt den Energieverbrauch für das Modell-Basisjahr 1990 dar. Aufgezeigt werden dabei die verschiedensten Differenzierungen nach Branchen, Energieträgern usw. Zusätzlich wird ein kurzer Blick in die Vergangenheit geworfen.
- Kapitel 4 enthält kurz zusammengefasst alle Rahmendaten, Input-Grössen und politischen Vorgaben für das Referenz-Szenario I, und zwar unabhängig von der weiteren Bearbeitung durch Basics.
- Kapitel 5 befasst sich mit den Berechnungen für die Hochrechnungsfaktoren und die spezifischen Energieverbräuche. Eine Darstellung der Annahmen und der zu Grunde gelegten technischen Informationen schliesst das Kapitel ab.
- Kapitel 6 weist die Entwicklung des Energieverbrauchs für das Referenz-Szenario aus, unter anderem differenziert nach Branchen und nach Energieträgern.
- Kapitel 7 enthält die beiden Szenarien IIa und IIb, bei dem mit zusätzlichen energiepolitischen Massnahmen gerechnet wird.
- Kapitel 8 behandelt die Energie- und Umweltinitiative und die Solarinitiative sowie die darauf basierenden Szenarien IIIa, IIIb, IIIc und IIId.

Tab. 1-1: Überblick über die untersuchten Szenarien

| Szenario | Bezeichnung | Wichtigste Massnahmen |
|----------|-------------------------------|---|
| I | Beschlossene Massnahmen | <ul style="list-style-type: none"> - Weiterführung ENV - LRV - SIA-Empfehlungen, kantonale Gesetzgebung |
| IIa | Beabsichtigte Massnahmen | <ul style="list-style-type: none"> - Energiegesetz - energierelevante neue Abgaben wie NEAT-Zehner, leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe |
| IIb | Beabsichtigte Massnahmen | <ul style="list-style-type: none"> - CO₂-Abgabegesetz - Ziel: CO₂-Reduktion um 10 % (1990/2010) |
| IIIa | Energie- und Umweltinitiative | <ul style="list-style-type: none"> - Szenario IIa als Referenz - Ziele: <ul style="list-style-type: none"> · Stabilisierung des Verbrauchs fossiler Energieträger bis 2008 · danach 1 % Reduktion pro Jahr - Energie-/Umweltabgaben nach Massgabe der Zielsetzung - keine Zweckbindung - Rückerstattung |
| IIIb | Solarinitiative | <ul style="list-style-type: none"> - Szenario IIa als Referenz - Abgabe auf nicht-erneuerbare Energieträger bzw. Strom aus nicht erneuerbaren Energien - Abgabe von 0.1 Rp./kWh auf 0.5 Rp./kWh steigend - Zweckbindung: direkte Förderung der Sonnenenergienutzung (50 %) und der Effizienz der Energienutzung |
| IIIc | Kombination aus IIIa und IIIb | |
| III d | Solarinitiative modifiziert | <ul style="list-style-type: none"> - halber Abgabensatz - gelockerte Zweckbindung |

2. Kurzbeschreibung des Modells

2.1 Der Modellansatz

Für die Modellierung der Energienachfrage der Industrie kommt ein sogenanntes Bottom-up-Modell zur Anwendung, d. h. der Energieverbrauch wird grundsätzlich "von unten nach oben" gerechnet. Kleinste Einheiten beim erarbeiteten Modell sind die nach Energieträger gesplitteten Verbräuche von Anlagen, die für einen bestimmten Prozess in einer bestimmten Branche verwendet werden. Vor diesem Hintergrund wird klar, dass ein solches Bottom-up-Modell nur zu leicht eine schier unüberblickbare Datenmenge erzeugen kann. Für einen einzigen Durchlauf bzw. die Berechnung eines einzigen Szenarios werden ausgehend von rund 20'000 im Modell integrierten Daten etwa 35'000 neue Datenpunkte (ohne nachgeschaltete Auswertungen) errechnet. Dabei sind die Zwischenergebnisse - die je nach angestrebter Auswertung durchaus auch interessant sein können - nicht inbegriffen. Diese würden zusätzlich etwa 300'000 Datenpunkte ausmachen¹.

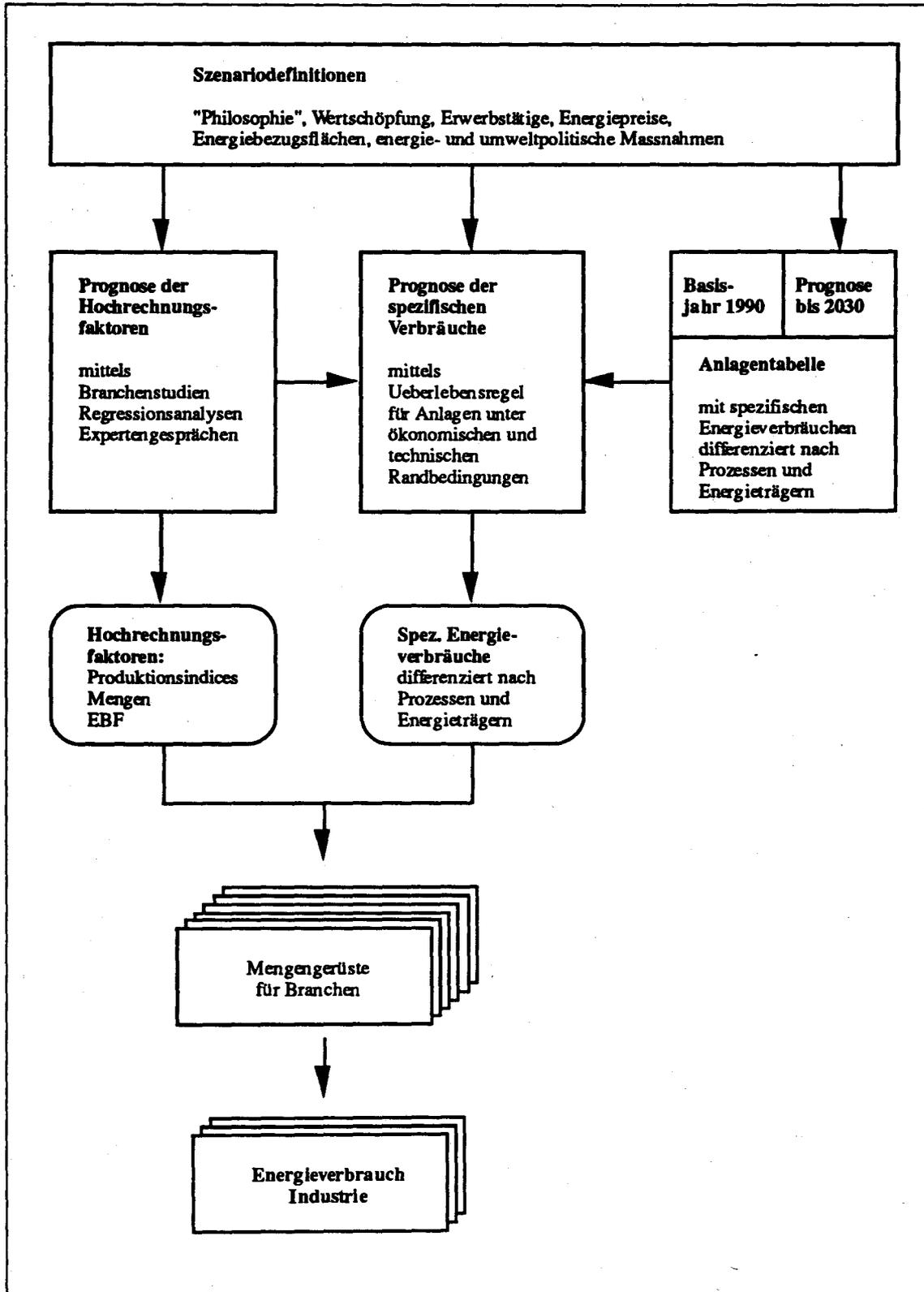
Neben der zu handhabenden Datenmenge ist auch der Rechengang selbst sehr umfangreich. Die Berechnung eines vollständigen Szenarios erfordert etwa 3'000'000 Rechenoperationen. Der vorliegende Schlussbericht muss deshalb zwangsläufig einerseits bei den darzustellenden Daten eine Auswahl treffen, diese benutzergerecht aufbereiten sowie geeignet zusammenfassen, andererseits sich bei der Beschreibung des Modells auf das Allernötigste beschränken.

Das Modell ist komparativ-statischer Natur. Ausgehend von einem Basisjahr (1990), das bottom-up-mässig gerechnet und zum Teil top down kalibriert worden ist, sind die zukünftigen Energieverbräuche entsprechend der Vorgabe in Fünfjahres-Schritten bis ins Jahr 2030 ermittelt worden.

Die Struktur des Modells ist in der Abbildung 2-1 aufgezeichnet. Gesteuert wird das Modell durch externe Inputs wie Vorgaben zur Entwicklung von (Branchen-)Erwerbstätigen, (Branchen-)Wertschöpfung, Bevölkerungsentwicklung, Entwicklung des Bedarfs an Energiebezugsflächen, energiepolitische Vorgaben und - last but not least - den "philosophischen" Hintergrund, der dem jeweiligen Szenario zu Grunde liegt. Die wichtigsten Modell-Inputs für das Szenario I sind im Kapitel 3, für die Szenarien IIa und IIb in Kapitel 7 und jene für die Szenarien IIIa bis IIId in Kapitel 8 zusammengefasst.

¹ Tatsächlich werden in einem Standard-Rechenlauf alle Zwischenergebnisse nach Gebrauch automatisch wieder gelöscht.

Abb. 2-1: Perspektivmodell für den Energieverbrauch in der Industrie



Das Modell selbst ist grundsätzlich so aufgebaut, dass der Gesamtenergieverbrauch sich aus der Multiplikation eines Hochrechnungsfaktors mit einem auf diesen bezogenen, spezifischen Energieverbrauchsfaktor sowie einer Summation über die "Spitzen" des Desaggregationsbaumes (271 einzelne Prozesse) errechnet:

$$E = \sum_{i \in DB} HF_i \cdot SV_i$$

wobei:

- E = Energieverbrauch total für das Jahr x
- HF = Hochrechnungsfaktor
- SV = Spezifischer Verbrauch
- DB = Desaggregationsbaum für das Mengengerüst (einzelnen Prozesse)
- i = Summationsindex (die Summe erstreckt sich über alle Elemente des Desaggregationsbaumes)

Damit ist die Grundlage für das Modell so gelegt, dass sowohl für die Hochrechnungsfaktoren als auch für die spezifischen Verbräuche Perspektiven erstellt werden können. Diese beiden Faktoren sind allerdings - wie unten noch zu zeigen sein wird - nicht unabhängig voneinander. Zusammengefügt werden Hochrechnungsfaktoren und spezifische Verbrauchsfaktoren auf der Ebene des sogenannten Mengengerüsts.

2.2 Das Mengengerüst

Für den Desaggregationsbaum haben wir verschiedene Differenzierungsstufen verwendet.

Differenzierung nach Branchen: Ausgangspunkt sind hier die vom SGZZ verwendete Wirtschaftsklassen in der Industrie, in der Regel gemäss zweistelligem Branchenschlüssel des Bundesamtes für Statistik (BFS 1985), wobei gewisse Wirtschaftsklassen zusammengefasst sind. Bei einigen Wirtschaftsklassen hat sich aus energetischer Sicht eine weitere Aufgliederung aufgedrängt. Damit kann gewährleistet werden, dass energieintensive Branchen speziell behandelt werden können. Gesamthaft ergibt das eine Aufgliederung nach 31 Branchen.

Differenzierung nach Funktionen: Innerhalb den einzelnen Branchen wird nach Funktionen unterschieden. Wir beschränken uns hier auf eine einfache Aufteilung zwischen Büro/Administration und eigentlicher Produktion. Diese Unterscheidung ist unter anderem notwendig für die Zuteilung der Energiebe-

zugsflächen, die ihrerseits wiederum als Hochrechnungsfaktoren für Energieverbräuche haustechnischer Anlagen, EDV usw. sind. Die Lagerflächen werden der Produktion zugeordnet.

Differenzierung nach Produktelinien: Bei einigen Branchen ist aus energetischer Sicht eine weitere Aufteilung der Produktion notwendig und sinnvoll, und zwar nach Produktelinien. So wird in der Branche Energie- und Wasserversorgung etwa zwischen Wasser, Abwasser und Kehrrecht unterschieden.

Differenzierung nach Prozessen: Für jede einzelne Branche werden bis zu 20 Produktionsprozesse definiert, so zum Beispiel mechanische Prozesse (wie Schneiden, Mahlen, Biegen), thermische Prozesse (wie Brennen, Glühen, Galvanisieren), Wärme-Kraft-Kopplungs-Prozesse, Prozesse für den Umweltschutz, Transportprozesse usw. Methodisch ebenfalls als Prozess wird die Haustechnik, behandelt, wobei nach Büro- und Produktionsflächen unterschieden wird.

Auf dieser untersten Ebene werden dann Hochrechnungsfaktoren und spezifische Verbräuche multiplikativ zusammengeführt und ergeben das Mengengerüst für den Energieverbrauch der Industrie in einem bestimmten Jahr. Hochrechnungsfaktoren sind beispielsweise Energiebezugsflächen (in Quadratmetern), Produktionsmengen in physischen Einheiten (etwa Tonnen Zement, Hektoliter Bier) oder in vielen Fällen auch ein Index (Produktionsindex). Die spezifischen Verbräuche ihrerseits beziehen sich auf diese Hochrechnungsfaktoren und werden über ein sogenanntes Kohortenmodell bestimmt (siehe unten).

2.3 Die Hochrechnungsfaktoren

Die Berechnungen für das Basisjahr

Bei der eigentlichen Produktion definiert sich das Basisjahr mit dem jeweiligen Stand 1990. So werden beispielsweise die effektiv produzierten Biermengen, Zementmengen usw. als Ausgangspunkt gewählt. Und bei den Hochrechnungsfaktoren, die als Produktionsindex verwendet werden, wird 1990 gleich 100 gesetzt.

Bei den Energiebezugsflächen gestaltet sich die Ausgangslage insofern schwieriger, als uns Daten (insbesondere nach Büro und Produktion gesplittet) nur auf der Ebene der Wirtschaftsklassen zur Verfügung stehen. Durch Modellrechnungen und unter Zuhilfenahme von weiteren Statistiken (BZ 1975 und 1985) sind deshalb die entsprechenden Daten auf die für uns relevante Ebene herabgebrochen worden.

Die Berechnungen für die Perspektiven

Die produktionsbezogenen Hochrechnungsfaktoren für die zukünftigen Jahre wurden anhand der Vergangenheitsentwicklung geeicht. Produktionsmengen oder Produktionsindizes sind mithilfe von Regressionsrechnungen in Abhängigkeit von Branchenwertschöpfungsdaten, Bruttosozialprodukt Daten usw. dargestellt worden, um auf dieser Grundlage zukünftige Entwicklungen in Abhängigkeit von den Input-Daten des SGZZ errechnen zu können. Diese Entwicklungen sind dann um spezifische Branchenüberlegungen in mehreren Schritten korrigiert worden.

Was die Hochrechnungsfaktoren "Energiebezugsflächen" betrifft, werden Büro- und Produktionsflächen unabhängig voneinander prognostiziert. Die Flächenentwicklung beim Büro stellt grundsätzlich auf die spezifischen Entwicklungen der Input-Daten von W+P und die (umgerechnete) Erwerbstätigenentwicklung vom SGZZ ab. Allerdings werden sie auf die spezifischen Situationen in einzelnen Branchen angepasst. Die Produktionsflächen werden mithilfe von Elastizitäten und branchenspezifischen Korrekturfaktoren aus der oben beschriebenen Produktionsentwicklung errechnet.

2.4 Die spezifischen Energieverbräuche

Die Berechnungen für das Basisjahr

Grundlage für die Ermittlung der spezifischen Verbräuche bilden für jeden einzelnen Prozess detaillierte Informationen zu den entsprechenden Anlagen, die diesen Prozess ausmachen. Dies ist so zu verstehen, dass jeder heute oder künftig vorkommende Produktionsprozess "aufgelöst" wird in eine Menge von unterschiedlichen Anlagen, die sich nach Alter, spezifischem Energieverbrauch und rund 15 weiteren Parametern unterscheiden. In der Regel wird dabei zwischen alten, mittleren und neuen Anlagen (typen) unterschieden. Sind die (auslastungskorrigierten) Anteile dieser Anlagen bekannt, so lässt sich daraus der resultierende spezifische Energieverbrauch für das Basisjahr 1990 für jeden einzelnen Prozess berechnen. Die Anlagedaten wurden im Unterauftrag von BMP ermittelt und hernach von der Basics abgeglichen, ergänzt und wo nötig korrigiert.

Für die Haustechnikprozesse im Produktionsbereich (d. h. für Heizung, Licht, EDV etc.) wurde dasselbe Verfahren angewendet; für die Haustechnik im Bürobereich wurden hingegen die Resultate der ETH-Zürich unter Berücksichtigung des effektiv für die Industrie gültigen Energieträgersplittes übernommen.

Die Berechnungen für die Perspektiven

Die Fortschreibung der spezifischen Energieverbräuche geschieht im Produktionsbereich über ein Kohortenmodell. Dieses Modell bildet den Vorgang ab, wie alte Anlagen, wenn sie ihre technisch-wirtschaftliche Lebensdauer erreicht haben, durch neue, zumeist energieeffizientere Anlagen ersetzt werden. Hierbei definiert der für den jeweiligen Prozess gültige Hochrechnungsfaktor die zu erreichende oder zu erhaltende Produktionskapazität. Wenn der Hochrechnungsfaktor stark zunimmt, werden viele neue Anlagen nötig, die den spezifischen Verbrauch für den gesamten Prozess (in der Regel) nach unten drücken. Umgekehrt, wenn die über den Hochrechnungsfaktor verlangte Produktionskapazität rückläufig ist, werden soweit möglich die bestehenden Anlagen verwendet, was zur Folge haben kann, dass der spezifische Energieverbrauch vorübergehend auf höherem Niveau verharrt. Die "Auswahlfunktion" für den Einbau neuer Anlagen oder die Veränderung der Auslastung alter Anlagen orientiert sich im Referenzfall primär an ökonomischen Kriterien, für die übrigen Szenarien können nach Bedarf andere Kriterien alternativ oder ergänzend berücksichtigt werden.

Die Parameter von neuen, heute noch nicht eingesetzten Anlagen werden entweder punktuell aufgrund von Einzelinformationen zu bestimmten Prozessen festgelegt (vor allem in den energieintensiven Branchen) oder aber über einen Algorithmus, der in Abhängigkeit von Prozesscharakteristiken und den Informationen über den Anlagenbestand 1990 neue Anlagen generiert.

Wenn für die Stichjahre für jeden Prozess die Kohortenstruktur bekannt ist, wird durch eine anteilmässige Gewichtung der einzelnen Anlagen der für diesen Prozess durchschnittlich gültige, spezifische Energieverbrauch bestimmt.

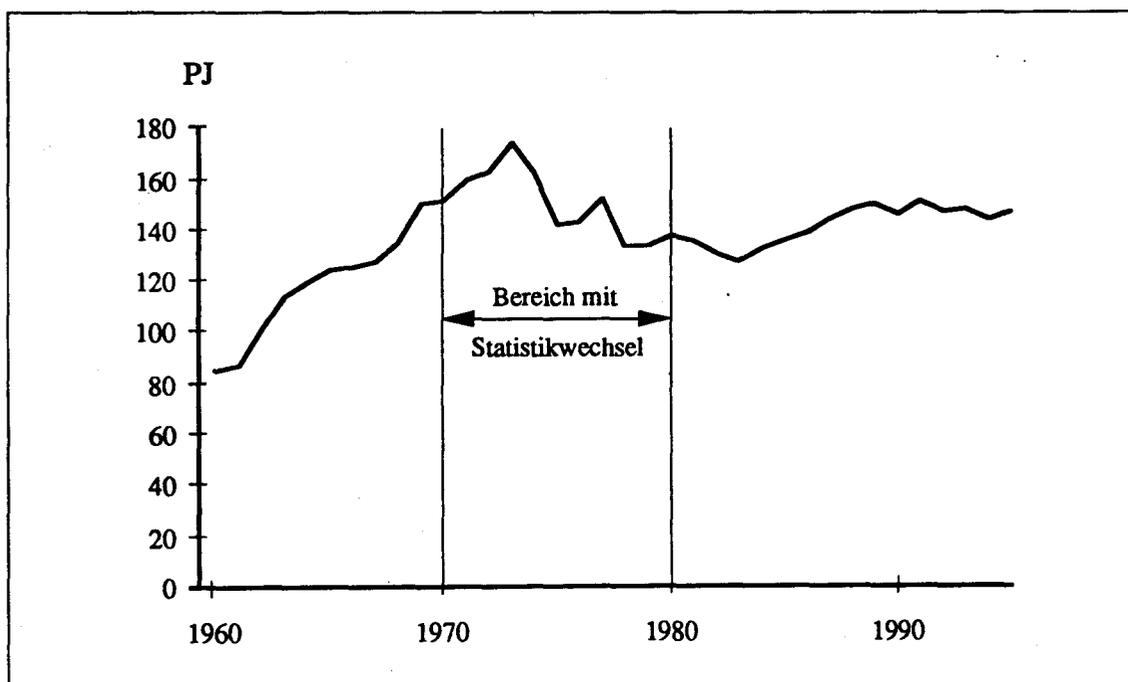
3. Ausgangslage 1990

3.1 Die Entwicklung 1960 bis 1995

Die Entwicklung des Gesamtenergieverbrauchs für die Industrie, wie sie sich unmittelbar aus der Energiestatistik ergibt, ist in Abbildung 3-1 wiedergegeben. Zur Interpretation der Entwicklung ist zu beachten, dass in den 70er Jahren die Statistikgrundlagen erheblich verändert wurden (so wurde etwa eine andere Aufteilung der Erdölprodukte auf die verschiedenen Nachfragesektoren vorgenommen oder ab 1978 stehen zusätzlich die Daten des EKV zur Verfügung). Diese Änderungen bedeuten, dass man eigentlich zwei getrennte Regimes zu betrachten hat, in denen jeweils etwa die gleichen Statistikgrundlagen gelten.

Während der 60er Jahre hat der Gesamtenergieverbrauch im Einklang mit einem starken Wirtschaftswachstum um fast 80 % zugenommen. In den 80er Jahren zeichnet sich demgegenüber bei geringeren Wachstumsraten des industriellen BIP eine deutliche Abschwächung ab: Der Gesamtenergieverbrauch nimmt zwar noch etwas zu, die Wachstumsphase ist aber vorbei. Seit 1991 ist sogar ein abnehmender Trend festzustellen, allerdings z. T. rezessionsbedingt.

Abb. 3-1: Die Entwicklung des industriellen Energieverbrauchs, 1960 bis 1995 gemäss Endenergiestatistik (in PJ; Quelle: BEW)



3.2 Das Basisjahr für das Industrie-Modell

Das Jahr 1990 definiert nicht nur den zeitlichen Startpunkt der Perspektiven, es fungiert darüberhinaus als "Archimedischer Punkt", mit dem das Modell die Berechnung der künftigen Energieverbräuche vornimmt. Deshalb wurde auf die Erarbeitung eines in sich stimmigen Mengengerüsts (sowohl bezüglich des Energieverbrauchs als auch bezüglich der Hochrechnungsfaktoren) bei der Modellierungsarbeit sehr viel Gewicht gelegt. Es versteht sich von selbst, dass die Darstellung der Herleitung dieses Mengengerüsts den Rahmen des vorliegenden Berichtes bei weitem sprengen würde. Wir beschränken uns deshalb auf die Darstellung der wesentlichen Resultate.

3.2.1 Der Energieverbrauch 1990 im Überblick

In der Tabelle 3-2 und der Abbildung 3-3 ist der modellerrechnete Energieverbrauch für die Industrie im Jahr 1990 zusammengestellt. Bei diesen Zahlen handelt es sich um Nettowerte, das heisst es ist der effektive Endverbrauch saldiert mit der Eigenproduktion. Dabei werden die für die Eigenproduktion nötigen Energieaufwendungen positiv und die produzierte Energie (Elektrizität und Fernwärme) negativ gerechnet. Weiter ist zu beachten, dass die ausgewiesenen Verbrauchswerte klimabereinigt sind, insbesondere bezüglich des Heizenergiebedarfs. Da eine Klimabereinigung für den eigentlichen Produktionsteil nicht nötig ist, entsprechen die angegebenen Zahlen hier den effektiven Verbrauchswerten.

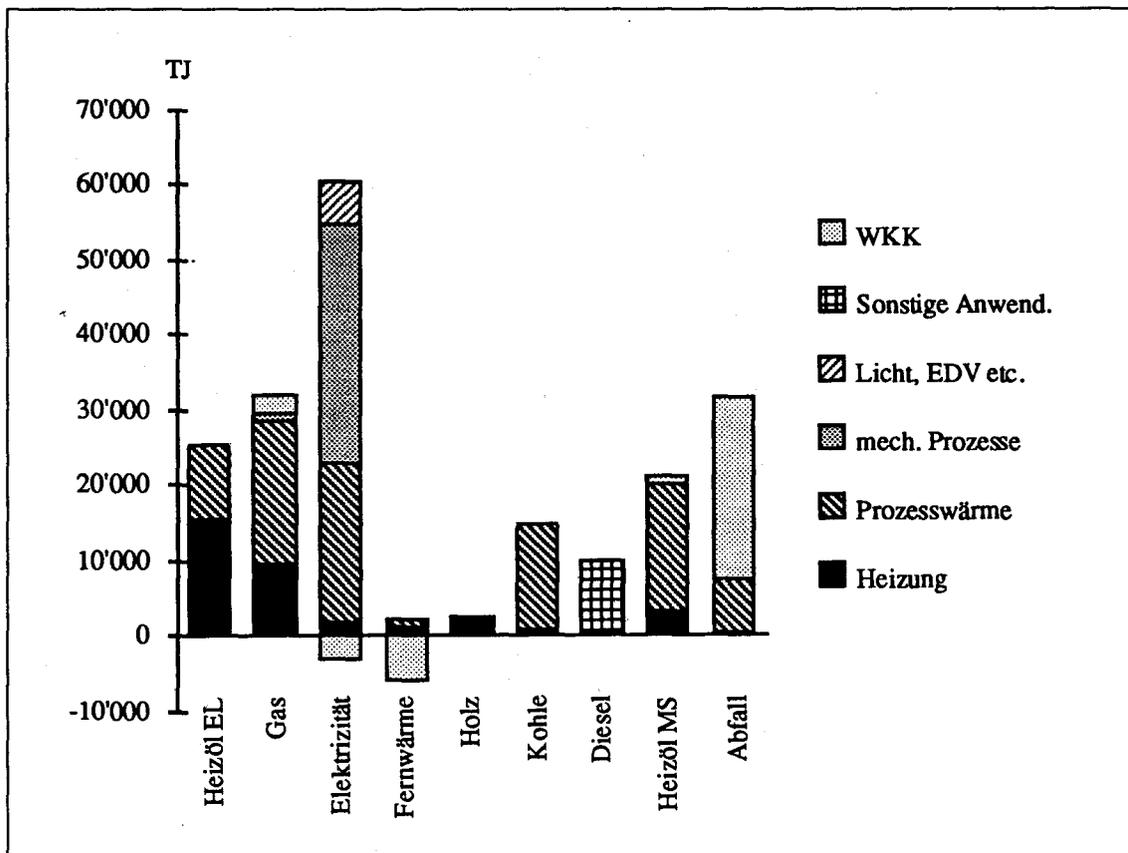
Bezüglich der Energieträger zeigt sich die bekannte Tatsache, dass an erster Stelle mit rund 57 PJ die Elektrizität, an zweiter Stelle Gas und an dritter Stelle Heizöl extra leicht stehen. Dann folgen Abfall (vor allem bei Kehrlichtverbrennungsanlagen von Bedeutung), Heizöl mittel und schwer, Kohle, und Diesel. Nur von geringer Bedeutung ist das Holz. Und gar nicht explizit ausgewiesen werden die regenerierbaren Energieträger Sonne und Umweltwärme, die im industriellen Sektor praktisch ohne Bedeutung sind. Die Fernwärme ist, wegen der darin enthaltenen Verbrennung von Siedlungsabfall, netto sogar ein Energielieferant.

Bei der Interpretation der Aufteilung nach Verwendungszwecken ist zu beachten, dass die Einteilung in Verwendungszwecke nicht in allen Fällen eindeutig ist. Insbesondere ist unter der Rubrik "Licht, EDV etc." auch die EDV-bedingte Klimatisierung enthalten. Und bei der Prozesswärme werden auch sämtliche Prozesse für den Umweltschutz mitgezählt. Nach Verwendungszwecken dominiert eindeutig die Prozesswärme, die fast die Hälfte der gesamten Energie des

Tab. 3-2: Industrieller Netto-Energieverbrauch (in TJ)

| | Heizung | Prozess- wärme | mech. Prozesse | Licht, EDV etc. | Sonstige Anwend. | WKK | Summe |
|--------------|---------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------|--------|---------|
| Heizöl EL | 15'163 | 9'715 | 266 | 0 | 0 | 168 | 25'312 |
| Gas | 9'412 | 19'124 | 1'029 | 0 | 0 | 2'296 | 31'861 |
| Elektrizität | 1'633 | 21'139 | 32'025 | 5'613 | 89 | -3'618 | 56'881 |
| Fernwärme | 726 | 1'476 | 0 | 0 | 0 | -6'265 | -4'064 |
| Holz | 1'898 | 589 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2'487 |
| Kohle | 303 | 14'135 | 109 | 0 | 0 | 150 | 14'697 |
| Diesel | 0 | 17 | 94 | 0 | 9'877 | 9 | 9'998 |
| Heizöl MS | 2'694 | 17'142 | 73 | 0 | 0 | 1'169 | 21'077 |
| Abfall | 405 | 6'933 | 0 | 0 | 0 | 24'191 | 31'529 |
| Summe | 32'234 | 90'270 | 33'595 | 5'613 | 9'966 | 18'100 | 189'778 |

Abb. 3-3: Energieverbrauch nach Energieträger und Verwendungszweck



industriellen Sektors ausmacht. Mit über 30 PJ schlagen auch die Heizung und die mechanischen Prozesse zu Buche, während die sonstigen Anwendungen wie Licht/EDV zusammen nur gerade rund 15 PJ ausmachen.

Einen Spezialfall bilden jene Prozesse, die als WKK-Anlagen bezeichnet werden. Denn hier kombiniert sich ein Energieverbrauch bei Brennstoffen mit der Produktion von Elektrizität, Wärme zu Eigengebrauch sowie Nah- und Fernwärme. Damit beinhaltet der Verwendungszweck "WKK" eigentlich auch alle übrigen Verwendungszwecke.

Die von uns ausgewiesenen Netto-Energieverbräuche können nicht ohne weiteres mit der Gesamtenergiestatistik verglichen werden. Der Grund hierfür liegt in den WKK-Anlagen, deren energetischer In- und Output in einer Nettobetrachtung saldiert werden. Demgegenüber wird in der Energiestatistik die Eigenproduktion von Elektrizität und Fernwärme (z. T.) dem Energieversorgungssektor zugerechnet. Ein Stück weit ist die Auftrennung in verbrauchende Sektoren und in Energie produzierende Sektoren aber immer arbiträr. Tabelle 3-4 zeigt, wie unsere Netto-Energieverbräuche umzurechnen wären, so dass sie im Sinne der Energiestatistik der Idee des Endenergieverbrauchs besser entsprechen würden.

Der Umrechnungsvorgang ist der folgende: In einem ersten Schritt werden alle Prozesse zusammengenommen, bei denen Elektrizität oder Fernwärme netto produziert wird (Kolonne (2)). Dann werden aus der Branche Energie- und Wasserversorgung jene Prozesse zusammengezogen, die als Input Siedlungsabfälle bzw. Klärschlamm verarbeiten: Kolonnen (3) und (4). Daraus errechnet sich eine neue Inputkolonne für die verbleibenden WKK-Anlagen: Kolonne (5). Die darin enthaltenen Anlagen produzieren nun keine Fernwärme mehr, was es erlaubt, jenen Teil an Brennstoffen zu identifizieren, der mindestens nötig ist, um die ausgewiesene Elektrizitätsmenge zu erzeugen. Dabei unterstellen wir eine hälftige Aufteilung des Inputs (Kolonne (5)) auf Elektrizität und (lokal genutzte) Wärme. Im letzten Schritt kann man die so ermittelten Verbräuche an Brennstoffen am Nettoverbrauch (Kolonne (1)) in Abzug bringen, ebenso die Kolonnen (3) und (4), was als Resultat den "Endenergieverbrauch" der Industrie ergibt (Kolonne 6).

Kolonne (7) weist schliesslich aus, was man an Energieverbrauch bzw. Energieproduktion dem Energieversorgungssektor nun hinzurechnen müsste. Als Bilanzgleichung gilt demnach: Kolonne (1) = Kolonne (6) + Kolonne (7).

Tab. 3-4: Übergang vom Netto-Energieverbrauch zum Endenergieverbrauch für die Industrie 1990 (in TJ)

| Energieträger | Nettoenergieverbrauch | Input für WKK | Abfälle | Abwasser | korrigierter Input für WKK | Endenergieverbrauch | dem Energieversorgungssektor anzulasten |
|---------------|-----------------------|---------------|---------------|------------|----------------------------|---------------------|---|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) |
| Heizöl EL | 25'312 | 305 | 0 | 137 | 168 | 25'091 | 221 |
| Gas | 31'861 | 2'752 | 0 | 0 | 2'752 | 30'485 | 1'376 |
| Elektrizität | 56'881 | -3'877 | -2'315 | -171 | -1'391 | 60'758 | -3'877 |
| Fernwärme | -4'064 | -6'265 | -6'265 | 0 | 0 | 2'201 | -6'265 |
| Holz | 2'487 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2'487 | 0 |
| Kohle | 14'697 | 404 | 0 | 0 | 404 | 14'495 | 202 |
| Diesel | 9'998 | 9 | 0 | 0 | 9 | 9'993 | 5 |
| Heizöl MS | 21'077 | 1'239 | 0 | 0 | 1'239 | 20'458 | 619 |
| Abfall | 31'529 | 25'100 | 23'835 | 889 | 376 | 6'616 | 24'912 |
| Summe | 189'778 | 29'810 | 15'254 | 855 | 4'949 | 172'585 | 17'193 |

Es sei hier ausdrücklich nochmals darauf hingewiesen, dass diese Korrektur nur als eine Annäherung verstanden werden kann, indem z.B. WKK-Anteile, die sich innerhalb eines Prozesses mit den übrigen Verbräuchen nicht zu Netto-Produktionen saldieren (bei der Elektrizität oder bei der Fernwärme), aus dieser Betrachtung ausgeschlossen sind. Dies bedeutet, dass tendenziell der effektive Elektrizitätsverbrauch immer noch etwas unterschätzt wird. Weiter ist die hälftige Aufteilung des Energieinputs zur Produktion von 1,391 PJ Elektrizität (gemäss Kolonne (5)) nicht unkritisch, hat aber quantitativ keine grosse Bedeutung.

Mit den oben ermittelten Endenergieverbräuchen kann nun der direkte Vergleich mit der Gesamtenergiestatistik gemacht werden. Diesen Vergleich machen wir auf zwei Ebenen, zunächst auf der Ebene der direkten Informationen zum Endenergieverbrauch (d. h. gemäss der Abbildung am Anfang dieses Abschnittes), dann - wo vorhanden - mit zusätzlichen Informationen aus der Gesamtenergiestatistik. Das Resultat dieses Vergleichs zeigt Tabelle 3-5: Während die Energieträger Heizöl mittel und schwer, Fernwärme, Holz, Kohle und Abfälle recht gut mit den Endverbrauchsangaben der Gesamtenergiestatistik übereinstimmen, ergeben sich beim Heizöl extra leicht (als Saldo der Erdölbrennstoffe), beim Gas und bei der Elektrizität grössere Abweichungen. Der Elektrizitätsverbrauch gemäss Modell stimmt allerdings recht genau mit dem in der Elektrizitätsstatistik

ausgewiesenen Verbrauch für den ganzen 2. Sektor ("Industrie, verarbeitendes Gewerbe") überein.

Tab. 3-5: Vergleich der Energieverbräuche im Basisjahr gemäss Modell und gemäss Statistik (in TJ)

| Energieträger | gemäss Modell (korrigiert) | gemäss Gesamtenergiestatistik (Endenergie) | unter Berücksichtigung von zusätzlichen Informationen | Bemerkungen |
|---|----------------------------|--|---|---|
| Heizöl EL | 25'091 | k.A. | | Heizöl MS und Petrolkoks Gesamtverbrauch (in t) mit Umrechnungsfaktoren gemäss Energiestatistik in der Statistik dem Verkehr zugeordnet unterer Heizwert Verbrauch 2. Sektor |
| Heizöl MS | 20'458 | k.A. | 20'348 | |
| <i>Total Erdöl-Brennstoffe</i> | <i>45'549</i> | <i>38'600</i> | | |
| Diesel | 9'993 | k.A. | | |
| Gas | 30'485 | 27'560 | 24'115 | |
| Elektrizität | 60'758 | 54'750 | 62'053 | |
| Fernwärme | 2'201 | 1'980 | | |
| Holz | 2'487 | 2'750 | | |
| Kohle | 14'495 | 13'680 | | |
| Abfall | 6'616 | 6'710 | | |
| <i>Summe Energieträger</i> | <i>172'585</i> | <i>146'030</i> | | bei Energiestatistik in DGL gehört auch bei Energiestatistik in die Industrie (oben in Baugewerbe aber abgezogen) bei Energiestatistik in DGL bei Energiestatistik in Verkehr, ohne Bau |
| - Baugewerbe | - 13'257 | | | |
| + Bauindustrie | 950 | | | |
| - industr. Gewerbe | - 14'356 | | | |
| - Diesel Verkehr | - 3'018 | | | |
| - Klimakorrektur | - 2'075 | | | |
| + Korrektur Gas | 3'761 | | | |
| <i>Energie Industrie (Vergleich mit Energiestatistik)</i> | <i>144'590</i> | <i>146'030</i> | | |

Um einen Vergleich des gesamten industriellen Energieverbrauchs durchführen zu können, müssen von der modellgerechneten Summe noch das Baugewerbe (aber ohne Bauindustrie), das industrielle Gewerbe und der nicht im Bau verbrauchte Diesel abgezogen sowie die Klimakorrektur und die Korrektur für das Gas (Heizwertannahmen) durchgeführt werden. Wie aus der Tabelle hervorgeht, liegt dann der industrielle Energieverbrauch des Modells mit 144'590 TJ ganz knapp unterhalb des aus der Energiestatistik hervorgehenden Verbrauchs von 146'030 TJ.

Angesichts dieser (kleinen) Diskrepanzen wurde denn auch nicht versucht, eine Kalibrierung des Modells anhand der Statistik vorzunehmen, auch nicht nur isoliert bei jenen Energieträgern, die recht genau "stimmen". Da die Summe der Energieverbräuche der einzelnen Verbrauchssektoren (Haushalte, Dienstleistungen und Industrie) recht genau der entsprechenden Summe in der Gesamtenergiestatistik entsprechen, wurde von Prognos (vorderhand) auch auf einen Top-Down-Abgleich auf der Ebene des Gesamtenergieverbrauchs verzichtet.

3.2.2 Der Energieverbrauch 1990 nach Branchen

In den beiden Tabellen 3-6 und 3-7 sind die Energieverbräuche nach den von uns unterschiedenen 31 Branchen aufgeteilt. Alle Angaben sind in TJ.

Schwerpunkte finden sich bei der Branchengruppe Steine und Erden und hier natürlich insbesondere bei der Zementindustrie, bei der chemischen Industrie, den Nahrungsmitteln, der Metallindustrie und der Papierindustrie. Formal ebenfalls zu den "Grossverbrauchern" gehört die Energie- und Wasserversorgung, die im Rahmen des industriellen Energie-Verbrauchs an sich einen methodischen Zwitter darstellt, indem dieser bei der Nah- und Fernwärme ein Nettoproduzent ist, und (mindestens z.T.) der Energieversorgung zugerechnet werden müsste (vgl. die obige Diskussion für die Ermittlung des Endenergieverbrauchs der Industrie).

**Tab. 3-6: Der Energieverbrauch nach Branchen und Energieträgern 1990
(in TJ)**

| | Heizöl EL | Gas | Elektri- zität | Fern- wärme | Holz | Kohle | Diesel | Heizöl MS | Abfall | Total |
|-----------------------------|---------------|---------------|-------------------|----------------|--------------|---------------|--------------|---------------|---------------|----------------|
| Energie und Wasser | 510 | 199 | 1'198 | -6'265 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24'724 | 20'365 |
| Nahrungsmittel | 4'316 | 4'104 | 4'190 | 73 | 0 | 254 | 672 | 1'410 | 44 | 15'063 |
| Brauereien | 80 | 496 | 234 | 0 | 0 | 0 | 72 | 59 | 0 | 941 |
| Schokolade | 106 | 129 | 321 | 73 | 0 | 0 | 14 | 30 | 4 | 678 |
| Rest | 4'130 | 3'479 | 3'635 | 0 | 0 | 254 | 586 | 1'321 | 39 | 13'444 |
| Textilindustrie | 996 | 1'842 | 6'288 | 107 | 0 | 136 | 46 | 1'375 | 24 | 10'814 |
| Chemiefaser | 70 | 513 | 1'627 | 0 | 0 | 118 | 9 | 325 | 13 | 2'674 |
| Rest | 926 | 1'329 | 4'661 | 107 | 0 | 18 | 37 | 1'050 | 11 | 8'140 |
| Bekleidung | 304 | 243 | 293 | 26 | 18 | 15 | 0 | 30 | 0 | 927 |
| Papierindustrie | 529 | 2'841 | 5'349 | 1'252 | 0 | 1'104 | 98 | 5'427 | 2'052 | 18'651 |
| Zellstoff | 4 | 0 | 459 | 444 | 0 | 0 | 11 | 192 | 1'577 | 2'685 |
| Papier und Karton | 296 | 2'465 | 4'262 | 788 | 0 | 1'084 | 72 | 5'067 | 430 | 14'465 |
| Rest | 229 | 375 | 628 | 20 | 0 | 20 | 15 | 169 | 46 | 1'501 |
| Druck | 1'162 | 960 | 1'205 | 14 | 11 | 3 | 0 | 0 | 0 | 3'355 |
| Kunststoff | 578 | 429 | 2'205 | 35 | 37 | 23 | 8 | 144 | 33 | 3'491 |
| Chem. Industrie | 3'461 | 8'706 | 7'959 | 279 | 0 | 0 | 336 | 1'772 | 2'545 | 25'058 |
| Grundstoffe | 185 | 162 | 918 | 136 | 0 | 0 | 8 | 82 | 217 | 1'707 |
| Pharma | 879 | 2'293 | 1'889 | 38 | 0 | 0 | 88 | 454 | 625 | 6'266 |
| Rest | 2'397 | 6'251 | 5'152 | 105 | 0 | 0 | 239 | 1'237 | 1'703 | 17'084 |
| Steine und Erden | 2'908 | 3'376 | 3'533 | 0 | 0 | 12'118 | 1'036 | 8'840 | 2'063 | 33'873 |
| Zement | 93 | 371 | 1'821 | 0 | 0 | 12'118 | 133 | 1'852 | 2'054 | 18'441 |
| Ziegel und Keramik | 757 | 1'932 | 421 | 0 | 0 | 0 | 89 | 1'728 | 10 | 4'937 |
| Glas | 88 | 514 | 1'205 | 0 | 0 | 0 | 5 | 5'260 | 0 | 7'072 |
| Rest | 1'970 | 558 | 85 | 0 | 0 | 0 | 809 | 0 | 0 | 3'423 |
| Metall | 2'140 | 3'787 | 11'344 | 96 | 0 | 809 | 172 | 685 | 43 | 19'078 |
| Aluminium | 384 | 1'386 | 5'567 | 0 | 0 | 504 | 39 | 2 | 43 | 7'925 |
| Giessereien/Stahl | 775 | 1'666 | 3'981 | 28 | 0 | 219 | 70 | 291 | 0 | 7'031 |
| Galvanik | 89 | 46 | 241 | 8 | 0 | 4 | 5 | 24 | 0 | 418 |
| Rest | 891 | 689 | 1'554 | 61 | 0 | 82 | 58 | 368 | 0 | 3'703 |
| Maschinen | 2'962 | 1'885 | 3'761 | 211 | 0 | 217 | 263 | 1'233 | 0 | 10'531 |
| Elektrotechnik | 1'489 | 1'759 | 2'233 | 0 | 0 | 0 | 392 | 161 | 0 | 6'035 |
| Uhren und Bijouterie | 565 | 501 | 627 | 42 | 27 | 10 | 0 | 0 | 0 | 1'772 |
| Uhrenindustrie | 477 | 436 | 549 | 37 | 23 | 9 | 0 | 0 | 0 | 1'532 |
| Bijouterie, Gravieranst. | 88 | 65 | 78 | 5 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 240 |
| Holz, sonstiges Gew. | 1'687 | 729 | 2'754 | 8 | 2'322 | 8 | 0 | 0 | 0 | 7'509 |
| Bau | 1'707 | 502 | 3'943 | 58 | 72 | 0 | 6'975 | 0 | 0 | 13'257 |
| Bauhauptgewerbe | 926 | 324 | 2'874 | 33 | 46 | 0 | 6'975 | 0 | 0 | 11'178 |
| Haustechnik | 497 | 103 | 710 | 19 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1'343 |
| Übriges Ausbaugew. | 284 | 74 | 359 | 6 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 736 |
| Gesamt | 25'312 | 31'861 | 56'881 | -4'064 | 2'487 | 14'697 | 9'998 | 21'077 | 31'529 | 189'778 |

Tab. 3-7: Der Energieverbrauch nach Branchen und Verwendungszwecken 1990 (in TJ)

| | Heizung | Prozess- wärme | mech. Prozesse | Licht, EDV etc. | Sonstige Anwend. | WKK | Total |
|-----------------------------|---------------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------|---------------|----------------|
| Energie und Wasser | 571 | 855 | 3'591 | 93 | 0 | 15'254 | 20'365 |
| Nahrungsmittel | 2'244 | 8'733 | 3'219 | 263 | 604 | 0 | 15'063 |
| Brauereien | 96 | 553 | 269 | 23 | 0 | 0 | 941 |
| Schokolade | 140 | 283 | 237 | 18 | 0 | 0 | 678 |
| Rest | 2'008 | 7'897 | 2'713 | 221 | 604 | 0 | 13'444 |
| Textilindustrie | 1'136 | 4'684 | 4'451 | 497 | 46 | 0 | 10'814 |
| Chemiefaser | 170 | 1'488 | 929 | 78 | 9 | 0 | 2'674 |
| Rest | 966 | 3'195 | 3'521 | 420 | 37 | 0 | 8'140 |
| Bekleidung | 512 | 205 | 161 | 49 | 0 | 0 | 927 |
| Papierindustrie | 872 | 10'968 | 5'182 | 192 | 98 | 1'339 | 18'651 |
| Zellstoff | 50 | 2'035 | 388 | 10 | 11 | 192 | 2'685 |
| Papier und Karton | 468 | 8'330 | 4'363 | 84 | 72 | 1'148 | 14'465 |
| Rest | 354 | 604 | 431 | 98 | 15 | 0 | 1'501 |
| Druck | 2'075 | 217 | 723 | 340 | 0 | 0 | 3'355 |
| Kunststoff | 988 | 1'559 | 795 | 141 | 8 | 0 | 3'491 |
| Chem. Industrie | 4'068 | 13'662 | 4'932 | 562 | 326 | 1'506 | 25'058 |
| Grundstoffe | 180 | 1'116 | 378 | 25 | 8 | 0 | 1'707 |
| Pharma | 1'043 | 3'348 | 1'222 | 144 | 85 | 422 | 6'266 |
| Rest | 2'845 | 9'198 | 3'332 | 393 | 233 | 1'084 | 17'084 |
| Steine und Erden | 873 | 29'547 | 2'225 | 122 | 1'107 | 0 | 33'873 |
| Zement | 60 | 16'989 | 1'159 | 30 | 204 | 0 | 18'441 |
| Ziegel und Keramik | 207 | 4'328 | 302 | 12 | 89 | 0 | 4'937 |
| Glas | 88 | 6'207 | 764 | 8 | 5 | 0 | 7'072 |
| Rest | 518 | 2'023 | 0 | 72 | 809 | 0 | 3'423 |
| Metall | 2'870 | 11'859 | 3'699 | 503 | 148 | 0 | 19'078 |
| Aluminium | 382 | 6'912 | 534 | 83 | 14 | 0 | 7'925 |
| Giessereien/Stahl | 738 | 4'061 | 2'092 | 70 | 70 | 0 | 7'031 |
| Galvanik | 177 | 191 | 16 | 29 | 5 | 0 | 418 |
| Rest | 1'572 | 695 | 1'057 | 320 | 58 | 0 | 3'703 |
| Maschinen | 5'424 | 2'161 | 1'841 | 841 | 263 | 0 | 10'531 |
| Elektrotechnik | 3'350 | 1'011 | 498 | 785 | 392 | 0 | 6'035 |
| Uhren und Bijouterie | 1'122 | 376 | 32 | 241 | 0 | 0 | 1'772 |
| Uhrenindustrie | 953 | 376 | 0 | 202 | 0 | 0 | 1'532 |
| Bijouterie, Gravieranst. | 169 | 0 | 32 | 39 | 0 | 0 | 240 |
| Holz, sonstiges Gew. | 3'687 | 1'195 | 2'246 | 381 | 0 | 0 | 7'509 |
| Bau | 2'441 | 3'239 | 0 | 602 | 6'975 | 0 | 13'257 |
| Bauhauptgewerbe | 1'339 | 2'530 | 0 | 334 | 6'975 | 0 | 11'178 |
| Haustechnik | 686 | 497 | 0 | 160 | 0 | 0 | 1'343 |
| Übriges Ausbaugew. | 417 | 212 | 0 | 107 | 0 | 0 | 736 |
| Gesamt | 32'234 | 90'270 | 33'595 | 5'613 | 9'966 | 18'100 | 189'778 |

3.3 Der Anteil des Gewerbes im industriellen Sektor

In den oben dargestellten Rechnungen ist die gesamte Industrie, wie sie durch die Betriebszählung abgegrenzt wird, enthalten. Das heisst, in den einzelnen industriellen Branchen sind - wie erwähnt - auch die gewerblichen Betriebe enthalten, die in der Energiestatistik zusammen mit den Dienstleistungen und der Landwirtschaft (als DGL) ausgewiesen werden. Ebenfalls zum Gewerbe gehört die gesamte Baubranche, die im vorliegenden Bericht auch der Industrie zugeschlagen wird.

Um Anhaltspunkte zur Grössenordnung des gewerblichen Anteils im Industriesektor zu haben, der gegenüber der alten Aufteilung neu zur Industrie gekommen ist, und um eine Plausibilitätsüberprüfung unserer Hochrechnungen durchführen zu können, ist das nach bisheriger Statistik im DGL ausgewiesene industrielle Gewerbe mit Hilfsgrössen umgerechnet worden (das Baugewerbe wird hier nicht mehr speziell ausgewiesen, vgl. hierzu oben Abschnitt 3.2.3).

Für das industrielle Gewerbe sind die spezifischen Verbräuche in der BRD errechnet worden. Aus der schweizerischen Elektrizitätsstatistik weiss man, welcher Verbrauch an elektrischer Energie durch den Einbezug des Gewerbes zur Industrie hinzu zu addieren ist. Zieht man von diesem Energieverbrauch den Gesamtverbrauch des Baugewerbes ab und teilt den Rest durch den spezifischen Energieverbrauch der Elektrizität in der BRD, so ergibt sich die Anzahl Beschäftigte im gewerblichen Sektor in der Industrie. Dies ergibt einen plausiblen Wert von rund 150'000 Erwerbstätigen im industriellen Gewerbe. Mit dieser Zahl lassen sich dann die spezifischen Verbräuche aller Energieträger aus der BRD auf die gesamte Schweiz hochrechnen. Der so errechnete gewerbliche Energieverbrauch in der Industrie ist in der Tabelle 3-8 aufgeführt. Der gesamte Energieverbrauch des aus DGL ausgelösten Gewerbes schätzen wir somit auf etwas über 14 PJ (ohne Baugewerbe).

Tab. 3-8: Energieverbrauch des industriellen Gewerbes (in TJ)

| | Heizöl EL | Gas | Elektrizität | Fernwärme | Holz/Kohle | Total |
|-----------------|-----------|-------|--------------|-----------|------------|--------|
| Prozess | 1'899 | 1'845 | 1'807 | 62 | 493 | 6'107 |
| Haustechnik | 3'803 | 1'916 | 1'316 | 170 | 476 | 7'681 |
| Beleuchtung/EDV | 0 | 4 | 564 | 0 | 0 | 568 |
| Summe | 5'702 | 3'765 | 3'687 | 232 | 970 | 14'356 |

4. Szenario I: Rahmendaten und Vorgaben

Grundsätzlich stellt das Szenario I die Referenzentwicklung des Perspektivmodells dar. Referenzentwicklung heisst: Die zukünftige Entwicklung wird an der Vergangenheit geeicht und unter Annahme gleicher Verhaltensweisen bis 2030 "fortgeschrieben". Dies bezieht sich sowohl auf die ökonomischen als auch auf die technischen Tatbestände. Nicht berücksichtigt werden also eigentliche Trendbrüche, sofern sie zum Zeitpunkt der Perspektivenrechnung nicht bereits ersichtlich sind. Sehr wohl werden aber absehbare Entwicklungstendenzen mitverarbeitet (sowohl was die Hochrechnungsfaktoren als auch was die spezifischen Verbräuche anbelangt).

Damit ist gewissermassen die "Basisphilosophie" des Szenarios I für die Modellierungsarbeiten in der Industrie definiert. Im weiteren gibt es die bereits erwähnten Input-Daten, die durch das SGZZ und Wüest+Partner erstellt worden sind. Ausserdem werden für den Bürobereich die spezifischen Energiekennziffern des Dienstleistungsbereiches (Bearbeitung durch die Forschungsgruppe Energieanalysen der ETH) übernommen. Und schliesslich wird das Szenario I durch die zu berücksichtigenden energiepolitischen Massnahmen definiert. Bei der Referenzentwicklung fliessen ausschliesslich die bereits beschlossenen Massnahmen in die Modellierung ein.

Die weiter unten noch näher zu erläuternden Szenarien IIa und IIb unterscheiden sich von der Referenzentwicklung nur dadurch, dass nebst den beschlossenen auch beabsichtigte energiepolitische Massnahmen modelliert werden (vgl. Kapitel 7).

4.1 Die Rahmendaten des SGZZ zur Entwicklung von Wertschöpfung und Erwerbstätigen

Zentrale Steuerungsgrössen des Industriemodells sind die Rahmendaten, die vom SGZZ erarbeitet worden sind. Dabei kommen den beiden Variablen Wertschöpfung und Erwerbstätige die wichtigste Bedeutung zu. Diese nach Branchen differenzierten Daten haben wir direkt als Input-Grössen vom SGZZ übernommen. Aus Platzgründen verzichten wir hier darauf, Methodik und Vorgehen des SGZZ zu beschreiben (vgl. hierzu SGZZ 1994). Philosophischer Ausgangspunkt des vom SGZZ erarbeiteten Grundszenarios ist derselbe wie im Industriemodell.

Das Branchenmodell des SGZZ arbeitet auf einer höheren Aggregationsebene als unser Industriemodell, welches 31 Branchen unterscheidet. Wie später noch zu zeigen sein wird, mussten deshalb die SGZZ-Vorgaben auf das tiefere Aggregationsniveau herabgebrochen werden.

In der Tabelle 4-1 sind - nach Branchen differenziert - die Erwerbstätigen und in Tabelle 4-2 die Wertschöpfungszahlen enthalten. Die wichtigste Erkenntnis aus diesen beiden Tabellen lässt sich wie folgt zusammenfassen: Bei leicht rückläufiger Erwerbstätigenentwicklung in der Industrie nimmt die Wertschöpfung dennoch um gegen 80 % bis ins Jahr 2030 zu. Das ergibt eine durchschnittliche Zunahme der Arbeitsproduktivität von rund 1.9 % pro Jahr. Darin enthalten ist natürlich nicht nur die Produktivitätssteigerung in der eigentlichen Produktion, sondern auch die Tertiarisierung in der Industrie, will heißen die relative Zunahme der administrativ Beschäftigten.

Tab. 4-1: Erwerbstätige nach Branchen, Input-Daten vom SGZZ (in 1000)

| | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Nahrungsmittel | 74.8 | 72.0 | 68.9 | 65.0 | 59.5 | 56.4 | 52.5 | 49.2 | 46.5 |
| Elektrizität, Gas, Wasser | 31.7 | 33.7 | 33.7 | 34.6 | 35.1 | 33.1 | 31.3 | 29.2 | 28.3 |
| Textilindustrie | 32.1 | 28.1 | 27.4 | 26.7 | 25.3 | 23.8 | 22.7 | 21.9 | 21.4 |
| Bekleidungsindustrie | 27.0 | 23.8 | 21.3 | 19.7 | 19.1 | 17.8 | 16.6 | 15.5 | 15.2 |
| Papierindustrie | 17.2 | 16.6 | 15.8 | 15.4 | 14.8 | 13.1 | 11.6 | 11.2 | 11.0 |
| Druck und graph. Gewerbe | 66.9 | 63.5 | 65.7 | 66.6 | 66.3 | 64.0 | 62.3 | 60.9 | 60.6 |
| Leder, Kunststoff, Kautschuk | 31.5 | 29.4 | 29.1 | 29.4 | 30.0 | 29.4 | 29.3 | 29.2 | 29.9 |
| Chemie | 75.3 | 76.0 | 76.1 | 74.8 | 72.3 | 68.2 | 66.1 | 64.0 | 63.6 |
| Steine und Erden | 33.5 | 30.8 | 29.6 | 28.1 | 26.1 | 23.8 | 23.4 | 22.9 | 22.6 |
| Metallindustrie | 105.4 | 96.2 | 92.5 | 90.5 | 83.7 | 74.9 | 68.3 | 63.7 | 61.3 |
| Maschinenbau, Fahrzeuge | 157.2 | 152.0 | 153.7 | 159.3 | 161.3 | 159.0 | 160.3 | 159.2 | 159.6 |
| Elektrotechnik | 131.3 | 118.0 | 116.9 | 114.4 | 111.2 | 104.9 | 99.9 | 96.9 | 96.0 |
| Uhren, Bijouterie | 37.4 | 36.0 | 35.6 | 34.2 | 32.4 | 30.4 | 29.2 | 28.3 | 27.8 |
| sonst. verarb. Gewerbe | 90.9 | 83.5 | 85.0 | 87.7 | 89.2 | 87.0 | 84.1 | 81.1 | 79.1 |
| Bau | 339.7 | 304.9 | 322.5 | 339.7 | 350.0 | 341.8 | 333.6 | 324.8 | 321.5 |
| Total | 1251.9 | 1164.5 | 1173.8 | 1186.1 | 1176.3 | 1127.6 | 1091.2 | 1058.0 | 1044.4 |

Tab. 4-2: Wertschöpfung nach Branchen, Input SGZZ (in Mrd Fr., Preisbasis 1990)

| | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|---------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Nahrungsmittel | 7.1 | 7.4 | 7.4 | 7.4 | 7.3 | 7.6 | 7.6 | 7.7 | 7.8 |
| Elektrizität, Gas, Wasser | 6.1 | 7.2 | 7.6 | 8.0 | 8.5 | 8.5 | 8.4 | 8.2 | 8.2 |
| Textilindustrie | 2.0 | 1.9 | 2.0 | 2.1 | 2.2 | 2.2 | 2.3 | 2.4 | 2.5 |
| Bekleidungsindustrie | 0.9 | 0.8 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.6 | 0.7 |
| Papierindustrie | 1.5 | 1.6 | 1.7 | 1.8 | 1.9 | 1.9 | 1.9 | 2.0 | 2.1 |
| Druck und graph. Gewerbe | 5.4 | 5.5 | 6.1 | 7.0 | 7.8 | 8.5 | 9.2 | 9.7 | 10.3 |
| Kunststoff, Kautschuk | 2.4 | 2.2 | 2.5 | 2.8 | 3.2 | 3.6 | 4.0 | 4.4 | 4.8 |
| Chemie | 9.7 | 11.3 | 13.0 | 14.8 | 16.6 | 18.3 | 20.0 | 21.3 | 22.7 |
| Steine und Erden | 3.3 | 2.7 | 2.7 | 2.6 | 2.6 | 2.4 | 2.5 | 2.6 | 2.6 |
| Metallindustrie | 8.1 | 7.9 | 8.5 | 9.4 | 9.8 | 10.1 | 10.4 | 10.6 | 10.8 |
| Maschinenbau, Fahrzeuge | 13.0 | 13.7 | 15.5 | 18.1 | 20.6 | 22.8 | 25.0 | 26.8 | 28.6 |
| Elektrotechnik | 11.8 | 12.0 | 13.5 | 15.2 | 17.0 | 18.6 | 19.9 | 21.1 | 22.4 |
| Uhren, Bijouterie | 3.4 | 3.9 | 4.4 | 4.8 | 5.3 | 5.9 | 6.4 | 7.0 | 7.5 |
| sonst. verarb. Gewerbe | 5.9 | 5.7 | 6.3 | 7.1 | 7.9 | 8.5 | 9.1 | 9.5 | 9.9 |
| Bau | 25.4 | 23.3 | 26.7 | 31.0 | 35.3 | 38.6 | 41.4 | 43.7 | 46.2 |
| Total | 106.0 | 107.1 | 118.6 | 132.8 | 146.7 | 158.2 | 168.8 | 177.6 | 187.1 |

4.2 Die Input-Daten von Wüest+Partner zu den EBF

Sowohl die Grunddaten für die Ausgangslage 1990 als auch die zukünftigen Entwicklungen basieren bei Wüest+Partner (W+P) unter anderem auf den Vorgaben des SGZZ. Ausserdem werden selbstverständlich zusätzliche flächenbezogene Daten mitausgewertet.

Die von W+P errechneten Daten werden auf der gleichen Branchenebene wie diejenigen vom SGZZ (Ausnahme: Elektrotechnik) für 1990 ausgewiesen, und zwar unterteilt nach Büro- und Produktionsflächen. Diese Daten haben wir direkt übernommen und mit Hilfe von zusätzlichen Statistiken - wie bei den Wertschöpfungs- und Erwerbstätigenzahlen - auf "unsere" 31 Branchen umgelegt. In der Tabelle 4-3 sind die Ausgangsdaten von W+P nach Branchen aufgeführt.

Tab. 4-3: Die Energiebezugsflächen für 1990 nach Branchen, Input-Daten von W+P (in m²)

| | Produktion | Büro | Total |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|
| Energie- und Wasserversorgung | 1'725'514 | 419'402 | 2'144'916 |
| Nahrungs- und Genussmittel | 5'607'630 | 602'964 | 6'210'594 |
| Textilindustrie | 3'603'659 | 222'269 | 3'825'928 |
| Bekleidungsindustrie | 473'946 | 98'892 | 572'837 |
| Papierindustrie | 1'939'692 | 135'005 | 2'074'697 |
| Druck | 1'643'862 | 761'024 | 2'404'886 |
| Kunststoff, Kautschuk | 2'380'389 | 234'096 | 2'614'485 |
| Chemische Industrie | 3'504'802 | 1'208'656 | 4'713'458 |
| Steine und Erden | 2'821'308 | 237'473 | 3'058'781 |
| Metall | 3'862'393 | 780'553 | 4'642'946 |
| Maschinen / Apparate, Elektrotechnik | 14'277'146 | 3'188'033 | 17'465'179 |
| Uhrenindustrie | 1'823'341 | 241'532 | 2'064'873 |
| Holz, sonstiges verarbeitendes Gewerbe | 5'190'843 | 516'232 | 5'707'075 |
| Bau | 2'981'943 | 1'879'588 | 4'861'531 |
| Total | 51'836'468 | 10'525'718 | 62'362'185 |

Differenzierter sind die von W+P errechneten Zukunftsdaten verwendet worden (vgl. Tab. 4-4). Diese Berechnungen haben wir im Sinne von Top-down-Anhaltspunkten übernommen, die dann mit den von uns gerechneten Bottom-up-Resultaten in den einzelnen Branchen abgeglichen oder korrigiert wurden. Dabei wurden die Input-Daten wie folgt verwendet:

- In unser Modell eingeflossen sind die von W+P errechneten durchschnittlichen Energiebezugsflächen pro Beschäftigten im Bürobereich. Diese Daten haben wir als Ausgangspunkt für die gesamte Industrie genommen, allerdings entsprechend den Informationen aus der Industrie in der Entwicklungsdynamik leicht nach unten korrigiert. In einzelnen Branchen haben wir - in Abhängigkeit der spezifischen Ausgangslage 1990 und den spezifischen Entwicklungsvoraussetzungen - weitere Korrekturen vorgenommen (vgl. hierzu die Bemerkungen in Kapitel 5).
- Nicht direkt eingeflossen sind die Berechnungen für die Produktionsflächen. Auf der Ebene der Gesamtindustrie haben wir diese als Vergleichs- und Kontrollgrösse verwendet. Und auf der Ebene der einzelnen Branchen (wiederum auf dem Niveau der oben aufgeführten Branchen) sind von

Tab. 4-4: Grunddaten der EBF-Entwicklung, Input-Daten von W+P

| | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| EBF Büro in 1000 m ² | 10'527 | 10'606 | 11'537 | 12'320 | 12'893 | 12'855 | 12'927 | 12'893 | 13'089 |
| EBF Produktion in 1000 m ² | 51'835 | 51'480 | 55'110 | 58'107 | 60'001 | 59'210 | 58'918 | 58'292 | 58'695 |
| Total EBF in 1000 m ² | 62'362 | 62'086 | 66'646 | 70'428 | 72'894 | 72'064 | 71'845 | 71'186 | 71'784 |
| EBF pro Büro-Er- werbstitigen in m ² | 28.6 | 30.1 | 31.6 | 32.8 | 33.9 | 34.8 | 35.6 | 36.3 | 36.9 |
| EBF pro Produkt.- erwerbstitigen in m ² | 59.4 | 64.1 | 69.0 | 72.6 | 76.3 | 79.1 | 81.9 | 84.0 | 86.2 |
| Anteil Erwerbstiti- ge Büro | 0.30 | 0.31 | 0.31 | 0.32 | 0.33 | 0.33 | 0.34 | 0.34 | 0.34 |
| Anteil Erwerbstiti- ge Produktion | 0.70 | 0.69 | 0.69 | 0.68 | 0.67 | 0.67 | 0.66 | 0.66 | 0.66 |

W+P Gesamtflächen (ohne Unterteilung in Büro und Produktion) geschätzt worden. Diese Daten haben wir ebenfalls - soweit überhaupt vergleichbar - zur Kontrolle herangezogen.

- In ähnlicher Weise wie die EBF pro Büro-Erwerbstitigen haben wir den Split zwischen Büro- und Produktionsbeschäftigten (als Multiplikationsfaktor für die Berechnung der Büroflächen) übernommen. Grundsätzlich orientieren wir uns an den von W+P ausgewiesenen Werten, korrigieren diese leicht nach oben und passen sie in einzelnen Branchen nach Massgabe ihrer Entwicklungserwartungen an.

4.3 Die Vorgaben der ETH-Zürich zu den Energiekennzahlen für Büroflächen

Für unser Modell werden für die Energieverbräuche im Bürobereich die Energiekennzahlen von der Forschungsgruppe Energieanalysen der ETH Zürich übernommen. Es handelt sich hierbei um die effektiven Szenarioresultate für Büros im Dienstleistungsbereich gemäss den für das Referenz-Szenario im Juni 1994 durchgeführten Rechnungen (vgl. ETH 1994).² Es wird also davon aus-

² Mit andern Worten: Die neuen Szenario-Rechnungen der ETH-Zürich vom Sommer 1995 werden hier ausdrücklich nicht übernommen. Eine Plausibilitätsprüfung hatte

gegangen, dass der im Dienstleistungsbereich unterstellte interne Strukturwandel auch die Büros im Industriesektor betrifft. Weiter bedeutet die Übernahme der Szenarioresultate, dass wir von den gleichen Sanierungsrhythmen ausgehen. Die einzige Anpassung an die Industrie betrifft den nach Branchen differenzierten Energieträgersplit, den wir aufgrund primärstatistischer Daten (EKV-Daten, weitere Brancheninformationen, Experteninterviews) für das Basisjahr 1990 eruiert haben.

Die Entwicklung der Energiekennzahlen Elektrizität (für Licht, EDV etc. aber ohne wesentlichen Anteil Heizung) ist in Tabelle 4-5 wiedergegeben. Die Zahlen entsprechen der Annahme, dass 50 % der neuen und sanierten Objekte im Jahre 2030 den heutigen Bestwert erreichen. Nach unserer Einschätzung unterschätzt dieser Ansatz den durch die weitere Informatisierung des Büros gesamt-haft zu erwartenden Mehrverbrauch. Insbesondere dürften die absehbaren Entwicklungen im Kommunikationsbereich (weitgehende Vernetzung und standardmässiger On-line-Betrieb) zu erheblichen Mehrverbräuchen führen. Trotz dieser Vorbehalte haben wir die Energiekennzahlen ohne jede Änderung übernommen.

Tab. 4-5: Entwicklung der Energiekennzahlen Elektrizität (in MJ je m² und als Index)

| | 1990 | 1950 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Energiekennzahlen (in MJ/m ²) | 215 | 218 | 226 | 235 | 244 | 246 | 251 | 253 | 254 |
| Energiekennzahlen (1990 = 100) | 100 | 101 | 105 | 109 | 113 | 114 | 117 | 118 | 118 |

In Tabelle 4-6 ist die Entwicklung der Energiekennzahlen Wärme (= Heizung und Warmwasser) ausgewiesen. Nach unserer Einschätzung zielen auch diese Werte zu tief. Sie gehen von einer knappen Halbierung des durchschnittlichen Energieverbrauchs für den gesamten Gebäudebestand bei Heizung und Warmwasser aus. Dennoch haben wir diese Werte voll übernommen, zwar nicht absolut, aber als Index-Entwicklung.

nämlich ergeben, dass mit diesen neuen Rechnungen eine für die Industrie im Referenz-Szenario nicht erreichbare Energieeinsparung impliziert würde (vgl. auch die beiden folgenden Abschnitte).

Tab. 4-6: Entwicklung der Energiekennzahlen Wärme differenziert nach den Energieträgern Öl, Gas, Elektrizität, Fernwärme und Holz (in MJ je m²)

| | 1990 | 1950 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Öl | 639 | 588 | 527 | 476 | 436 | 398 | 370 | 349 | 330 |
| Gas | 616 | 561 | 506 | 461 | 422 | 386 | 359 | 337 | 317 |
| Elektrizität | 415 | 407 | 386 | 364 | 340 | 314 | 296 | 280 | 268 |
| Nah- und Fernwärme | 499 | 488 | 465 | 440 | 415 | 387 | 366 | 347 | 333 |
| Holz | 495 | 468 | 432 | 397 | 362 | 329 | 304 | 282 | 265 |

4.4 Die Vorgaben über die Energiepreisentwicklung

Wir übernehmen im Industrie-Modell die Energiepreisvorgaben der Prognos bzw. des BEW (Prognos 1994 und Prognos 1995b). Bezüglich der Preise für die Elektrizität wird davon ausgegangen, dass diese bis 2000 real konstant bleiben und erst dann leicht ansteigen. Für die Industrie wesentlich ist die Annahme, dass es sich bei diesen Energiepreisen nicht um schweizerische Alleingänge sondern um gleichgerichtete Entwicklungen wie in andern Ländern handelt. Relative Preisveränderungen werden im Sinne von energiepolitischen Massnahmen modelliert (z.B. als CO₂-Abgabe, vgl. unten Kapitel 7).

In der Tabelle 4-7 sind die unterstellten Energiepreisentwicklungen aufgeführt. Abgesehen von der Kohle ergeben sich für die übrigen "klassischen" fossilen Energieträger während der Jahre 1990 bis 2030 durchwegs reale Preise, die den in den 80er Jahren erreichten Höchstwert über den ganzen Betrachtungszeitraum nie wieder erreichen. Dies ist insofern von grosser Bedeutung, als daraus abzuleiten ist, dass der "energiepolitische Drive" der 80er Jahre doch eher als singuläres Ereignis verstanden werden muss, das in seiner Wirkung - angesichts der tiefen Energiepreise - verflachen wird. Dies heisst auch, dass die genannten Energiepreise den jeweils maximal antizipierten Energiepreisen entsprechen und nur auf diese kommt es ja bei Investitionsentscheiden an.

Tab. 4-7: Entwicklung der Energiepreise zu Preisen von 1992
(bezogen auf eine Kilowattstunde des jeweiligen Energieträgers)

| | Heizöl EL | Heizöl MS | Erdgas | Elektrizität | Kohle |
|------|-----------|-----------|--------|--------------|-------|
| 1970 | 2.39 | 1.56 | 3.05 | 10.14 | 0.66 |
| 1975 | 3.57 | 2.21 | 3.16 | 10.30 | 0.76 |
| 1980 | 6.25 | 3.40 | 5.22 | 11.61 | 0.82 |
| 1985 | 6.30 | 3.78 | 6.37 | 12.06 | 0.85 |
| 1990 | 3.40 | 1.83 | 3.58 | 12.72 | 0.86 |
| 1995 | 2.80 | 1.57 | 3.70 | 12.72 | 0.91 |
| 2000 | 2.83 | 1.64 | 3.73 | 12.72 | 0.93 |
| 2005 | 2.91 | 1.74 | 3.81 | 12.80 | 0.96 |
| 2010 | 3.03 | 1.82 | 3.93 | 12.83 | 0.98 |
| 2015 | 3.28 | 1.97 | 4.18 | 13.60 | 1.05 |
| 2020 | 3.62 | 2.17 | 4.52 | 14.40 | 1.13 |
| 2025 | 4.01 | 2.41 | 4.91 | 15.26 | 1.22 |
| 2030 | 4.63 | 2.78 | 5.53 | 16.17 | 1.31 |

4.5 Die energiepolitischen Massnahmen in der Referenzvariante

Entsprechend der Übungsanlage werden in der Referenzvariante all jene energiepolitischen Massnahmen berücksichtigt, die bereits beschlossen sind. Dies sind im einzelnen:

- Gemäss Energienutzungsbeschluss (Bundesbeschluss vom 14. Dez. 1990) sind die Unternehmungen der öffentlichen Energieversorgung verpflichtet, die von Selbstversorgern angebotene Energie, die regelmässig produziert wird, in einer für das Netz geeigneten Form abzunehmen (Art. 7). Diese Bestimmung wird gemäss den Ausführungen zu den Anschlussbedingungen und insbesondere gemäss der in Art. 14 der Energienutzungsverordnung (Verordnung vom 22. Januar 1992) niedergelegten Präzisierungen in die Referenzvariante eingebaut.
- Enthalten in der Referenzvariante sind auch die Information / Beratung, Aus- und Weiterbildung und die Einrichtung einer zentralen Fachstelle - alles gemäss Energienutzungsverordnung (Art. 19, 20 und 21). Wir gehen dabei von einem verfügbaren Gesamtbudget von 1 Mio Franken pro Jahr aus.

-
- Bezüglich der für die Industrie in energetischer Hinsicht relevanten Umweltschutzpolitik gilt die Luftreinhalteverordnung vom 16. Dez. 1985 (gemäss Stand vom 1. Juli 1993).
 - Es besteht ein jährliches Budget von rund 15 Mio Franken pro Jahr (Schätzung nach einem internen BEW-Papier vom Herbst 1993) für Forschung und Entwicklung im Bereich der öffentlich finanzierten industrierelevanten Energieforschung.
 - Bei den zur Förderung von P+D-Anlagen für Industrieprojekte ausgeschütteten Mitteln (etwa 1 bis 2 Mio Franken pro Jahr), gehen wir davon aus, dass sich dieser Betrag im Referenzszenario in den nächsten Jahren nicht ändern wird.
 - Beim Recycling nehmen wir an, dass dieses weiterhin auf freiwilliger Basis erfolgt. Dies bedeutet, dass sich das Recycling auf die "klassischen" Stoffe beschränken wird: Beim Glas von heute 56 % auf 78 %, bei Papier und Karton von heute rund 48 % auf 74 %. Wegen der Aufgabe der Rohaluminiumproduktion (vgl. Abschnitt 5.1.1) unterstellen wir weiter, dass in der Schweiz zwar weiterhin Altaluminium eingesammelt, zur Weiterverarbeitung aber ins Ausland transferiert wird. Beim Alteisen und beim Kunststoff unterstellen wir eine leichte Zunahme, diese ist energetisch aber nicht bedeutend.

5. Szenario I: Die Modellrechnungen

5.1 Die Berechnung der Hochrechnungsfaktoren

In der Folge sollen die beiden Typen von Hochrechnungsfaktoren, die Produktion und die Energiebezugsflächen, kurz beschrieben werden. Für ausführlichere Informationen zu den einzelnen Branchen verweisen wir auf den Anhangsband. Dass die Hochrechnungsfaktoren hier gleichgewichtig wie die spezifischen Energieverbräuche beschrieben werden, hat einen einfachen Grund: Der Einfluss dieser Seite des Rechnungsmodells auf das Gesamtergebnis ist mindestens so gross wie die technologisch bestimmten spezifischen Energieverbräuche, wenn nicht sogar grösser.

5.1.1 Die Entwicklung der Produktion

Grundsätzlich haben wir die jeweils gewählten Hochrechnungsfaktoren auf die damit "hochzurechnenden" Produktionsprozesse bzw. Produktelinien abgestimmt. Das bedeutet, dass es für einzelne Branchen unterschiedliche Hochrechnungsfaktoren geben kann. Gesamthaft werden für die Produktion 39 Hochrechnungsfaktoren verwendet.

Der Normalfall

Die Hochrechnungsfaktoren wurden in verschiedenen Stufen errechnet. Ausgangspunkt sind die Wertschöpfungs- und Baudaten wie sie vom SGZZ für die Vergangenheit und die Zukunft ausgewiesen werden (vgl. hierzu Kapitel 4). Auf der Grundlage der Entwicklung von 1975 bis 1992 wurden sodann die wichtigsten Abhängigkeiten zwischen der Entwicklung der Tonnen (z.B. Zement) oder des vom BFS erhobenen Produktionsindex' bestimmt. In der Regel ergibt die Produktionsmenge in Abhängigkeit der jeweiligen Branchen-Wertschöpfungsentwicklung einen relativ hohen Erklärungswert, so zum Beispiel bei den Hochrechnungsfaktoren in den Branchen Energie- und Wasserwirtschaft, Papierindustrie, übrige Metallindustrie. Einige Hochrechnungsfaktoren zeigen deutliche Abhängigkeiten von Abnehmerbranchen, so z.B. die Zementproduktion von der Bauindustrie oder die Schokoladenproduktion von der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung.

Ein erste Plausibilitätsprüfung dieser Zahlen konnte anhand der Elastizitäten vorgenommen werden. Ausserdem sind diverse "Korrekturfaktoren" eingeführt

worden, die strukturelle Änderung gegenüber der Vergangenheit einfangen sollen. So muss etwa im Zementsektor berücksichtigt werden, dass sich der Hochbau vermehrt vom Neubau zur Sanierung wandelt, was längerfristig auf den inländischen Zementverbrauch durchschlägt. Grundlage für solche Korrekturen sind einschlägige Studien (z.B. Gabathuler/Wüest 1989, SGZZ 1990).

Schliesslich sind branchenspezifische Anpassungen dieser "Automatismen" durchgeführt worden, damit die ausgewiesenen Entwicklungen plausible, auch der Branchenvorstellung entsprechende Pfade einnehmen. Hier gehen insbesondere branchenbezogene Faktoren, etwa sich verstärkende Auslagerungstendenzen ein. So rechnet z.B. die Zementindustrie damit, dass sie im nächsten Jahrhundert entweder teilweise im Ausland produzieren wird und/oder mindestens mit einer gewissen Importsubstitution durch ausländische Anbieter gerechnet werden muss (heute wird der inländische Markt mehr oder weniger durch die inländische Produktion gedeckt).

Berücksichtigt werden auch die seit der ersten Modellierung (1993/1994) effektiv eingetretenen Entwicklungen bei den Produktionsmengen. Die damit gegenüber dem alten Referenz-Szenario einhergehenden Korrekturen stellen denn auch die quantitativ wichtigsten Veränderungen dar.

Spezielle Fälle

Bei verschiedenen Produktions-Hochrechnungsfaktoren hat eine sinnvolle Verankerung an der Vergangenheitsentwicklung nicht stattfinden können. So schwankt die Bierproduktion beispielsweise unabhängig von der wirtschaftlichen Entwicklung oder sonstigen Einflussgrössen (die irgend etwas mit der zukünftigen Entwicklung zu tun haben könnten). Hier haben wir dann die Annahme getroffen, dass die Bierproduktion ab 1995 konstant bleibt.

Oder Spezialfälle wie die Rohaluminiumherstellung: Bis im Herbst 1994 sollte ursprünglich die letzte Aluminiumhütte der Schweiz geschlossen werden, da die Aluminiumherstellung in Europa kaum mehr kostendeckend betrieben werden kann (Trend: Produktion in Venezuela, Golfstaaten und GUS-Ländern). Ebenfalls aus Kostengründen wird in der Schweiz seit 1992 auch kein Aluminium mehr eingeschmolzen (Recycling), vielmehr wird Alu-Schrott ins Ausland geliefert und von dort als Sekundär-Alu wieder bezogen. Vor diesem Hintergrund sind die Hochrechnungsfaktoren für Rohaluminium und Sekundäraluminium ab 1995 Null gesetzt worden, auch wenn nach den neusten Verlautbarungen der Aluminiumindustrie die Rohaluminiumproduktion erst im Jahre 1997 definitiv aufgegeben werden dürfte.

Ergebnis

In der Tabelle 5-1 sind die verschiedenen Produktions-Hochrechnungsfaktoren zusammengestellt. Daraus geht hervor, dass wir keinen eigentlichen Trendbruch unterstellen. Die Schweiz bleibt auch in den nächsten Jahrzehnten ein Standort für physische Produktion und ist nicht nur Heimat der Holdings, die ausländische Produktionsstandorte führen und verwalten. Durch den weiteren, in den Rahmenvorgaben zum Teil bereits enthaltenen Strukturwandel lässt sich aber die Gesamtentwicklung der Vergangenheit doch nicht in vollem Ausmasse weiter schreiben. Das schlägt sich insbesondere in einer Stagnation, einer reduzierten Entwicklung oder einem Rückgang der Grundstoffindustrien nieder.

Die Tabelle zeigt aber auch die Relevanz der Hochrechnungsfaktoren für das Endergebnis. Hochrechnungsfaktoren können sich in einem Betrachtungszeitraum von 40 Jahren problemlos verdoppeln, andere dagegen können sogar ganz wegfallen. Eine Veränderung in einer Grössenordnung, die beim spezifischen Verbrauch gar nicht möglich ist.

5.1.2 Die Energiebezugsflächen

Die Energiebezugsflächen (EBF) werden als Hochrechnungsfaktoren für den Energieverbrauch für Heizung sowie für Licht und EDV benötigt. Wie bereits erwähnt, unterscheiden wir zwischen den Energiebezugsflächen für Büronutzung und solchen für die Produktion.

Energiebezugsflächen Büro

Obwohl bei der Büronutzung über die Gesamtindustrie in etwa eine vergleichbare Entwicklung vorherrscht, und die gesamte Energiebezugsfläche dafür heute nur etwas über 10 Mio m² ausmacht (im Vergleich die eigentliche Produktionsfläche: rund 52 Mio m²), haben wir aus systematischen Gründen die Bürofläche auf die einzelnen Branchen verteilt und zum Teil speziell behandelt.

Ausgangspunkt für die Büroflächen sind die Input-Daten von W+P (vgl. Kapitel 4). Der Rechnungsansatz beruht auf den Nutzflächen pro Beschäftigten. Die Gesamt-Energiebezugsfläche wird somit sowohl durch den spezifischen Flächenverbrauch als auch durch die Erwerbstätigen im Bürobereich und mithin durch den in der Industrie vorherrschenden Tertiarisierungsgrad (Anteil white-collar- zu blue-collar-Beschäftigten) bestimmt. Gegenüber W+P haben wir eine

Tab. 5-1: Die Hochrechnungsfaktoren für die Produktion 1990 bis 2030

| Branche / Hochrechnungsfaktor | Dimens. | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|-------------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Energie u. Wasser | | | | | | | | | | |
| Wasser | Mio m3 | 1215.0 | 1283.4 | 1335.3 | 1393.5 | 1452.8 | 1446.9 | 1438.1 | 1411.7 | 1418.1 |
| Kehricht | Mio t | 2.930 | 2.769 | 2.881 | 3.007 | 3.135 | 3.122 | 3.103 | 3.046 | 3.060 |
| Abwasser | Mio m3 | 1900.0 | 1799.9 | 1872.7 | 1954.3 | 2037.6 | 2029.3 | 2016.9 | 1979.9 | 1988.8 |
| Nahrungsmittel | | | | | | | | | | |
| Bier | Mio hl | 4.170 | 3.878 | 3.878 | 3.878 | 3.878 | 3.878 | 3.878 | 3.878 | 3.878 |
| Schokolade | Mio t | 0.109 | 0.122 | 0.142 | 0.160 | 0.177 | 0.190 | 0.198 | 0.202 | 0.202 |
| Zucker | Mio t | 0.141 | 0.119 | 0.134 | 0.133 | 0.143 | 0.151 | 0.156 | 0.157 | 0.156 |
| Nahrungsmittel Rest | PI | 100.0 | 105.2 | 111.3 | 119.5 | 127.9 | 136.0 | 143.5 | 150.1 | 155.6 |
| Textilindustrie | | | | | | | | | | |
| Chemiefaser | Mio t | 0.121 | 0.141 | 0.155 | 0.167 | 0.180 | 0.194 | 0.208 | 0.223 | 0.239 |
| Rest Textil | PI | 100.0 | 97.0 | 97.0 | 97.0 | 97.0 | 97.0 | 97.0 | 97.0 | 97.0 |
| Bekleidung | PI | 100.0 | 78.1 | 77.2 | 76.6 | 76.8 | 76.5 | 76.2 | 75.9 | 76.1 |
| Papierindustrie | | | | | | | | | | |
| Zellstoff | Mio t | 0.122 | 0.147 | 0.157 | 0.176 | 0.195 | 0.193 | 0.187 | 0.199 | 0.213 |
| Papier und Karton | Mio t | 1.514 | 1.575 | 1.687 | 1.847 | 1.988 | 1.920 | 1.804 | 1.868 | 1.942 |
| andere Papierwaren | PI | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| Druck | PI | 100.0 | 102.2 | 111.4 | 122.0 | 131.3 | 126.8 | 119.2 | 123.3 | 128.2 |
| Kautschuk/Kunststoff | PI | 100.0 | 83.0 | 97.6 | 117.0 | 141.9 | 165.1 | 189.1 | 212.0 | 239.0 |
| Chemische Industrie | | | | | | | | | | |
| Chem. Grundstoffe | PI | 100.0 | 129.0 | 141.2 | 153.0 | 162.2 | 168.4 | 173.2 | 172.1 | 170.5 |
| Pharma | PI | 100.0 | 129.0 | 144.9 | 161.5 | 176.5 | 189.5 | 202.1 | 209.0 | 216.4 |
| Rest Chemie | PI | 100.0 | 129.0 | 144.9 | 161.5 | 176.5 | 189.5 | 202.1 | 209.0 | 216.4 |
| Steine und Erden | | | | | | | | | | |
| Zement | Mio t | 5.180 | 4.459 | 4.399 | 4.842 | 5.222 | 5.066 | 5.089 | 4.808 | 4.415 |
| Ziegel | Mio t | 1.304 | 1.408 | 1.408 | 1.408 | 1.408 | 1.408 | 1.408 | 1.408 | 1.408 |
| Keramik | PI | 100.0 | 104.0 | 104.0 | 104.0 | 104.0 | 104.0 | 104.0 | 104.0 | 104.0 |
| Glas | PI | 100.0 | 83.9 | 93.5 | 105.7 | 117.9 | 127.1 | 135.1 | 141.7 | 148.6 |
| Rest Steine u. Erden | PI | 100.0 | 89.0 | 86.9 | 84.3 | 80.6 | 75.7 | 78.5 | 80.6 | 83.4 |
| Metallindustrie | | | | | | | | | | |
| Aluminium | Mio t | 0.072 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Sekundäraluminium | Mio t | 0.034 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Aluwaren, Walzw. | Mio t | 0.177 | 0.168 | 0.191 | 0.222 | 0.254 | 0.285 | 0.313 | 0.338 | 0.359 |
| Formguss | Mio t | 0.019 | 0.017 | 0.019 | 0.022 | 0.025 | 0.028 | 0.031 | 0.033 | 0.036 |
| Alufolie | Mio t | 0.015 | 0.016 | 0.018 | 0.021 | 0.025 | 0.028 | 0.030 | 0.033 | 0.035 |
| Endprodukt Alu | Mio t | 0.009 | 0.009 | 0.011 | 0.013 | 0.014 | 0.016 | 0.018 | 0.019 | 0.020 |
| Eisen, Stahl | PI | 100.0 | 111.0 | 111.0 | 111.0 | 111.0 | 111.0 | 111.0 | 111.0 | 111.0 |
| Metallüberzüge | PI | 100.0 | 86.0 | 86.0 | 86.0 | 86.0 | 86.0 | 86.0 | 86.0 | 86.0 |
| Rest Metall | PI | 100.0 | 97.4 | 104.2 | 115.0 | 120.4 | 123.8 | 126.8 | 129.1 | 131.7 |
| Maschinen | PI | 100.0 | 102.9 | 109.7 | 119.7 | 129.5 | 138.4 | 146.8 | 153.7 | 161.0 |
| Elektronik | PI | 100.0 | 101.5 | 115.6 | 130.4 | 146.8 | 161.1 | 172.5 | 183.1 | 194.9 |
| Uhren und Bijouterie | | | | | | | | | | |
| Uhrenindustrie | PI | 100.0 | 105.5 | 117.6 | 124.7 | 130.4 | 136.9 | 142.4 | 145.2 | 146.6 |
| Bijouterie, Gravieranst. | PI | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| Holz, sonstiges Gew. | PI | 100.0 | 96.7 | 106.5 | 119.7 | 132.5 | 143.0 | 151.9 | 158.7 | 165.8 |
| Bau | | | | | | | | | | |
| Bauhauptgewerbe | Index | 100.0 | 89.9 | 88.1 | 101.2 | 112.0 | 120.3 | 128.2 | 132.7 | 133.7 |
| Haustechnik | Index | 100.0 | 88.1 | 90.7 | 106.5 | 120.8 | 136.5 | 150.4 | 163.4 | 174.2 |
| Übr. Ausbaugewerbe | Index | 100.0 | 88.1 | 90.7 | 106.5 | 120.8 | 136.5 | 150.4 | 163.4 | 174.2 |

Korrektur insofern vorgenommen, als wir den Ausgangswert (den "Default-Value" für alle Branchen, bei denen wir keine speziellen Annahmen treffen) zur Abbildung der weiteren Tertiärisierung leicht verstärkt haben. Der Anteil der Büro-Beschäftigten nimmt damit von rund 30 % im Jahr 1990 auf 36 % im Jahr 2030 zu (Vorgabe W+P: 34 %). Eine umgekehrte Korrektur erfolgt bei den EBF pro Büro-Erwerbstätigen. Als Default-Vorgabe verwenden wir 28.2 m² im Jahr 1990 und 36.0 m² im Jahr 2030 (Vorgabe W+P: 37.0 m²). Hauptunterschied ist aber, dass der Anstieg in den ersten Jahrfünften weniger steil ist als bei W+P.

Diese gesamtindustriellen Veränderungen bei den beiden Parametern werden sodann auf die einzelnen Branchen umgelegt, indem als Ausgangswert für 1990 jeweils die einzelnen Branchenwerte herangezogen werden. Im Sinne einer Plausibilisierung sind dann die Branchen bestimmt worden, die sich gegenüber der Default-Vorgabe über- oder unterdurchschnittlich entwickeln. So wird zum Beispiel bei der chemischen Industrie aufgrund von Betriebsinterviews angenommen, dass sich die Energiebezugsfläche pro Erwerbstätiger im Büro über dem Vorgabe-Wert entwickeln werden. Und im Baugewerbe wird nicht nur von einer unterdurchschnittlichen Flächenentwicklung pro Erwerbstätiger sondern auch von einer unterdurchschnittlichen Tertiärisierungstendenz ausgegangen (Begründung: Das Baugewerbe lebt vom Bauen und kann die eigentliche Produktion bei gegebener Bautechnologie nicht ins Ausland auslagern).

Energiebezugsflächen Produktion

Für die Produktionsflächen stehen uns zwar auch einige Inputs von W+P zur Verfügung. Trotzdem haben wir mit branchenspezifischen Daten eigene Perspektiven gerechnet. Die Inputs von W+P sind für den gesamtindustriellen Abgleich bzw. zur Plausibilisierung verwendet worden (im Endergebnis liegen unsere Flächenrechnungen aber unter den Werten von W+P).

Grundansatz der produktionsbezogenen Flächenberechnungen sind nicht die Energiebezugsfläche pro Erwerbstätiger sondern die Entwicklungen in der (physischen) Produktion, mithin die oben beschriebenen Produktions-Hochrechnungsfaktoren. Wir unterstellen also, dass die eigentliche Produktion den Flächenverbrauch determiniert.

Da verlässliche Vergangenheitsdaten für eine aussagekräftige Verankerung fehlen, ist man hier auf grobe Schätzungen für den postulierten Zusammenhang angewiesen. Überschlagsrechnungen aus der Vergangenheit ergeben für die gesamte Industrie (und für einzelne Branchen) sehr hohe Elastizitäten in den achtziger Jahren. Dies ist auf die rasante Flächenentwicklung in dieser Zeit, wohl aber auch auf Datenunzulänglichkeiten zurückzuführen. Hilfsrechnungen aus

den siebziger Jahren für die gesamte Industrie ergeben denn auch deutlich tiefere Elastizitäten.

Der philosophische Hintergrund für die von uns getroffenen Annahmen, leitet sich aus der Gesamtphilosophie ab: Trendfortschreibung, unter Berücksichtigung struktureller Veränderungen. Übertragen auf die Flächenentwicklung heisst das: Branchen mit Produktions-Zukunftschancen werden immer noch Produktionsflächen zubauen (unter anderem bedingt durch die weitere Automatisierung, z.B. CIM³), wenngleich - dank lean production - in keinem allzu grossen Ausmass.

Für unsere Rechnungen unterstellen wir in der Regel Elastizitäten von 0.1 bis 0.2 (je nachdem, ob die Branche noch Wachstumspotentiale aufweist oder nicht). Bei Branchen mit einer säkular-rückgängigen Produktionsentwicklung gehen wir davon aus, dass entsprechend Produktionsstätten geschlossen (oder ins Ausland verlegt) werden. Hier wird deshalb mit einer Elastizität von gegen 1 gerechnet. Kurzfristige Rückgänge, wie sie für die Periode 1990 bis 1995 gegeben sein können, werden indes mit einer Elastizität von 0 versehen. Begründung: Bei konjunkturell bedingten Produktionsabnahmen werden keine Flächen aufgegeben, sondern während dem konjunkturellen Tief "gehörtet".

Ergebnis

In der Tabelle 5-2 sind die Ergebnisse der Flächenberechnungen nach Branchen zusammengestellt.

Für die gesamte Industrie rechnen wir also mit einer leichten Flächenzunahme bis ins Jahr 2030, wobei der prozentuale Anstieg mit rund 24 % bei den Büroflächen deutlich höher ausfällt als bei den Produktionsflächen mit 8 %.

³ Das derzeitige Überangebot bei den Gewerbeflächen und die Tatsache, dass alteingesessene grosse Maschinen-Industriebetriebe Flächen umnutzen, sollte nicht dazu verleiten, langfristig keinen zusätzlichen Flächenbedarf für die Industrie auszuweisen. Denn erstens werden heute in ausgedienten Produktionshallen neue Flächen durch Einzug von Zwischenböden erzeugt. Und zweitens entstehen auch heute noch in Gebieten, die nicht den grossen Agglomerationen angehören, neue Betriebe. Es findet mithin eine räumliche Umschichtung statt.

Tab. 5-2: Die Entwicklung der Energiebezugsflächen (in Mio m²)

| | | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|--------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Energie u. Wasser | Total | 2.145 | 2.240 | 2.305 | 2.381 | 2.455 | 2.459 | 2.461 | 2.448 | 2.457 |
| | Büro | 0.419 | 0.476 | 0.526 | 0.587 | 0.646 | 0.650 | 0.652 | 0.638 | 0.648 |
| | Produktion | 1.726 | 1.764 | 1.778 | 1.794 | 1.809 | 1.809 | 1.809 | 1.809 | 1.809 |
| Nahrungsmittel | Total | 6.211 | 6.262 | 6.362 | 6.454 | 6.521 | 6.591 | 6.635 | 6.670 | 6.701 |
| Brauereien | Büro | 0.032 | 0.032 | 0.033 | 0.034 | 0.034 | 0.035 | 0.035 | 0.034 | 0.034 |
| | Produktion | 0.584 | 0.584 | 0.584 | 0.584 | 0.584 | 0.584 | 0.584 | 0.584 | 0.584 |
| Schokolade | Büro | 0.053 | 0.056 | 0.060 | 0.063 | 0.063 | 0.065 | 0.065 | 0.065 | 0.065 |
| | Produktion | 0.508 | 0.513 | 0.525 | 0.536 | 0.544 | 0.550 | 0.554 | 0.555 | 0.555 |
| Rest | Büro | 0.518 | 0.546 | 0.589 | 0.618 | 0.626 | 0.644 | 0.646 | 0.647 | 0.651 |
| | Produktion | 4.516 | 4.531 | 4.570 | 4.620 | 4.669 | 4.714 | 4.753 | 4.785 | 4.812 |
| Textilindustrie | Total | 3.826 | 3.818 | 3.839 | 3.856 | 3.867 | 3.871 | 3.879 | 3.886 | 3.897 |
| Chemiefaser | Büro | 0.053 | 0.049 | 0.051 | 0.054 | 0.054 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.054 |
| | Produktion | 0.536 | 0.547 | 0.558 | 0.567 | 0.575 | 0.584 | 0.593 | 0.601 | 0.610 |
| Rest | Büro | 0.169 | 0.154 | 0.162 | 0.168 | 0.169 | 0.166 | 0.165 | 0.164 | 0.165 |
| | Produktion | 3.068 | 3.068 | 3.068 | 3.068 | 3.068 | 3.068 | 3.068 | 3.068 | 3.068 |
| Bekleidung | Total | 0.573 | 0.553 | 0.544 | 0.539 | 0.543 | 0.538 | 0.534 | 0.529 | 0.531 |
| | Büro | 0.099 | 0.090 | 0.087 | 0.085 | 0.088 | 0.085 | 0.083 | 0.079 | 0.080 |
| | Produktion | 0.474 | 0.462 | 0.457 | 0.454 | 0.455 | 0.453 | 0.452 | 0.450 | 0.451 |
| Papierindustrie | Total | 2.075 | 2.094 | 2.108 | 2.128 | 2.143 | 2.110 | 2.061 | 2.085 | 2.093 |
| Zellstoff | Büro | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 |
| | Produktion | 0.086 | 0.088 | 0.089 | 0.090 | 0.092 | 0.091 | 0.089 | 0.091 | 0.092 |
| Papier und Karton | Büro | 0.037 | 0.037 | 0.039 | 0.041 | 0.042 | 0.039 | 0.036 | 0.036 | 0.037 |
| | Produktion | 0.799 | 0.814 | 0.823 | 0.835 | 0.844 | 0.823 | 0.785 | 0.806 | 0.811 |
| Rest | Büro | 0.095 | 0.097 | 0.100 | 0.104 | 0.107 | 0.099 | 0.092 | 0.092 | 0.094 |
| | Produktion | 1.055 | 1.055 | 1.055 | 1.055 | 1.055 | 1.055 | 1.055 | 1.055 | 1.055 |
| Druck | Total | 2.405 | 2.433 | 2.541 | 2.636 | 2.712 | 2.724 | 2.741 | 2.752 | 2.792 |
| | Büro | 0.761 | 0.757 | 0.847 | 0.918 | 0.974 | 0.986 | 1.003 | 1.014 | 1.044 |
| | Produktion | 1.644 | 1.676 | 1.694 | 1.718 | 1.738 | 1.738 | 1.738 | 1.738 | 1.748 |
| Kunststoff | Total | 2.614 | 2.610 | 2.679 | 2.845 | 3.034 | 3.178 | 3.317 | 3.437 | 3.576 |
| | Büro | 0.234 | 0.229 | 0.247 | 0.268 | 0.293 | 0.302 | 0.316 | 0.327 | 0.346 |
| | Produktion | 2.380 | 2.380 | 2.432 | 2.577 | 2.742 | 2.876 | 3.002 | 3.111 | 3.230 |
| Chem. Industrie | Total | 4.713 | 4.915 | 5.117 | 5.278 | 5.396 | 5.441 | 5.515 | 5.549 | 5.622 |
| Grundstoffe | Büro | 0.032 | 0.035 | 0.040 | 0.044 | 0.047 | 0.048 | 0.051 | 0.053 | 0.056 |
| | Produktion | 0.206 | 0.217 | 0.223 | 0.228 | 0.232 | 0.235 | 0.237 | 0.237 | 0.237 |
| Pharma | Büro | 0.431 | 0.457 | 0.494 | 0.519 | 0.535 | 0.529 | 0.536 | 0.537 | 0.552 |
| | Produktion | 1.132 | 1.191 | 1.235 | 1.277 | 1.313 | 1.341 | 1.368 | 1.382 | 1.397 |
| Rest | Büro | 0.746 | 0.793 | 0.860 | 0.906 | 0.934 | 0.926 | 0.939 | 0.943 | 0.970 |
| | Produktion | 2.167 | 2.223 | 2.264 | 2.303 | 2.335 | 2.361 | 2.384 | 2.397 | 2.410 |
| Steine und Erden | Total | 3.059 | 2.620 | 2.594 | 2.563 | 2.508 | 2.411 | 2.471 | 2.471 | 2.471 |
| Zement | Büro | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.016 | 0.016 |
| | Produktion | 0.292 | 0.270 | 0.268 | 0.274 | 0.277 | 0.271 | 0.272 | 0.260 | 0.243 |
| Ziegel u. Keramik | Büro | 0.027 | 0.026 | 0.028 | 0.028 | 0.028 | 0.027 | 0.028 | 0.028 | 0.029 |
| | Produktion | 0.171 | 0.171 | 0.171 | 0.171 | 0.171 | 0.171 | 0.171 | 0.171 | 0.171 |
| Glas | Büro | 0.030 | 0.029 | 0.030 | 0.031 | 0.031 | 0.030 | 0.031 | 0.031 | 0.032 |
| | Produktion | 0.095 | 0.095 | 0.096 | 0.100 | 0.103 | 0.106 | 0.108 | 0.109 | 0.111 |

Tab. 5-2: Fortsetzung

| | | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|---------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Rest | Büro | 0.165 | 0.160 | 0.167 | 0.170 | 0.170 | 0.163 | 0.168 | 0.170 | 0.175 |
| | Produktion | 2.263 | 1.854 | 1.819 | 1.774 | 1.713 | 1.629 | 1.679 | 1.686 | 1.695 |
| Metall | Total | 4.643 | 4.409 | 4.558 | 4.657 | 4.684 | 4.660 | 4.648 | 4.640 | 4.655 |
| Aluminium | Büro | 0.082 | 0.086 | 0.096 | 0.108 | 0.114 | 0.113 | 0.113 | 0.115 | 0.120 |
| | Produktion | 0.458 | 0.345 | 0.408 | 0.418 | 0.427 | 0.435 | 0.442 | 0.447 | 0.451 |
| Giessereien, Stahl | Büro | 0.069 | 0.066 | 0.069 | 0.072 | 0.072 | 0.067 | 0.064 | 0.062 | 0.062 |
| | Produktion | 0.358 | 0.268 | 0.300 | 0.302 | 0.304 | 0.306 | 0.308 | 0.310 | 0.311 |
| Galvanik | Büro | 0.054 | 0.052 | 0.054 | 0.057 | 0.056 | 0.053 | 0.051 | 0.049 | 0.049 |
| | Produktion | 0.135 | 0.135 | 0.135 | 0.135 | 0.135 | 0.135 | 0.135 | 0.135 | 0.135 |
| Rest | Büro | 0.576 | 0.547 | 0.566 | 0.589 | 0.580 | 0.541 | 0.515 | 0.494 | 0.489 |
| | Produktion | 2.911 | 2.911 | 2.929 | 2.975 | 2.996 | 3.009 | 3.020 | 3.028 | 3.037 |
| Maschinen | Total | 9.517 | 9.529 | 9.622 | 9.891 | 10.119 | 10.277 | 10.469 | 10.592 | 10.739 |
| | Büro | 1.737 | 1.717 | 1.731 | 1.892 | 2.022 | 2.097 | 2.214 | 2.279 | 2.367 |
| | Produktion | 7.779 | 7.813 | 7.890 | 7.999 | 8.097 | 8.180 | 8.254 | 8.313 | 8.372 |
| Elektronik | Total | 7.949 | 7.908 | 8.289 | 8.632 | 8.966 | 9.174 | 9.338 | 9.497 | 9.699 |
| | Büro | 1.451 | 1.380 | 1.491 | 1.571 | 1.640 | 1.635 | 1.637 | 1.655 | 1.705 |
| | Produktion | 6.498 | 6.528 | 6.799 | 7.061 | 7.326 | 7.540 | 7.701 | 7.842 | 7.994 |
| Uhren, Bijouterie | Total | 2.065 | 2.107 | 2.152 | 2.174 | 2.189 | 2.199 | 2.210 | 2.217 | 2.224 |
| Uhrenindustrie | Büro | 0.202 | 0.205 | 0.220 | 0.227 | 0.230 | 0.228 | 0.230 | 0.231 | 0.236 |
| | Produktion | 1.501 | 1.540 | 1.566 | 1.580 | 1.591 | 1.603 | 1.613 | 1.618 | 1.620 |
| Bijouterie, Grav. | Büro | 0.040 | 0.040 | 0.043 | 0.045 | 0.045 | 0.045 | 0.045 | 0.046 | 0.046 |
| | Produktion | 0.322 | 0.322 | 0.322 | 0.322 | 0.322 | 0.322 | 0.322 | 0.322 | 0.322 |
| Holz, sonst. Gew. | Total | 5.707 | 5.691 | 5.796 | 5.955 | 6.097 | 6.182 | 6.245 | 6.284 | 6.332 |
| | Büro | 0.516 | 0.500 | 0.554 | 0.616 | 0.673 | 0.693 | 0.705 | 0.707 | 0.717 |
| | Produktion | 5.191 | 5.191 | 5.242 | 5.339 | 5.424 | 5.489 | 5.540 | 5.577 | 5.615 |
| Bau | Total | 4.862 | 4.675 | 4.842 | 5.139 | 5.359 | 5.414 | 5.456 | 5.456 | 5.481 |
| Bauhauptgewerbe | Büro | 0.997 | 0.881 | 0.947 | 1.064 | 1.135 | 1.127 | 1.116 | 1.090 | 1.081 |
| | Produktion | 1.902 | 1.902 | 1.902 | 1.938 | 1.969 | 1.991 | 2.011 | 2.021 | 2.024 |
| Haustechnik | Büro | 0.527 | 0.498 | 0.572 | 0.648 | 0.716 | 0.737 | 0.756 | 0.765 | 0.786 |
| | Produktion | 0.558 | 0.558 | 0.558 | 0.573 | 0.584 | 0.596 | 0.605 | 0.613 | 0.619 |
| Ausbaugewerbe | Büro | 0.356 | 0.314 | 0.340 | 0.382 | 0.408 | 0.406 | 0.404 | 0.395 | 0.393 |
| | Produktion | 0.521 | 0.521 | 0.521 | 0.535 | 0.546 | 0.556 | 0.565 | 0.572 | 0.578 |
| Summe Industrie | Total | 62.362 | 61.865 | 63.346 | 65.129 | 66.593 | 67.229 | 67.981 | 68.514 | 69.270 |
| | Büro | 10.526 | 10.327 | 11.063 | 11.926 | 12.550 | 12.608 | 12.765 | 12.819 | 13.103 |
| | Produktion | 51.836 | 51.538 | 52.283 | 53.203 | 54.042 | 54.621 | 55.215 | 55.694 | 56.167 |

5.2 Die Berechnung der spezifischen Verbrauchswerte

Die Berechnung der künftigen spezifischen Energieverbräuche stellt den Link zur technologischen Entwicklung der nächsten Jahrzehnte dar. Dabei unterstellen wir weder eine Technikrevolution noch eine Technikstagnation. Wir gehen aber davon aus, dass sich die "Integration" verschiedenster Technologien zu Gesamttechnologien als der herausragende Zug der künftigen Entwicklung darstellen wird (vgl. IBFG 1993 oder BMFT 1993). Bis in die jüngste Vergangenheit klar getrennte Fachgebiete werden zusammenwachsen und neue Fachgebiete und damit neue Anwendungen in der Produktion ermöglichen: z. B. in der Optoelektronik, der Mechatronik und schliesslich (in fernerer Zukunft) bei Mikrosystemen. Darüberhinaus werden die Fortschritte im Bereich Informatik und Elektronik (zusammen mit der Sensorik) die "Intelligenz" im Produktionsbereich nochmals dramatisch verbilligen (mit allen Konsequenzen bis hin zur vielleicht einmal menschenleeren Fabrik).

Auf der Anlagenebene sehen wir vor allem im Bereich Messen/Regeln/Steuern ausgeprägte Verbesserungen voraus. Weiter sind durch die vermehrte Anwendung von Simulationstechniken als Hilfsmittel zur Anlagendimensionierung erhebliche Einsparungen zu erwarten, etwa beim Transport von Fluiden. Tribologische Massnahmen werden bei allen mechanischen Prozessen wichtige Verlustquellen für Material und Energie eliminieren. Und bei thermischen und/oder chemischen Prozessen werden deutlich verbesserte Reaktionsführungen es erlauben, immer näher an die technisch-physikalische Grenze heranzukommen.

Vor dem Hintergrund solcher Entwicklungen wurden die (mutmasslichen) spezifischen Verbräuche für die Zukunft abgeschätzt. Der hierfür nötige Rechengang ist der Berechnung der Hochrechnungsfaktoren nachgelagert: Zuerst wird für jeden identifizierten Prozess - wie oben kurz dargestellt - die zu erreichende Produktion ermittelt, um dann dazu passend einen Anlagenpark mit der nötigen Kapazität zusammenzustellen. Im folgenden wird der prinzipielle Rechengang anhand eines Beispiels aufgezeigt. Für die detaillierten Resultate sei auf den Anhangsband verwiesen.

5.2.1 Die Ausgangslage

Die Ausgangslage für die Berechnung der künftigen spezifischen Energieverbräuche stellt die Anlagentabelle dar. Diese Tabelle beinhaltet für alle von uns unterschiedenen Prozesse die 1990 vorhandenen Anlagen sowie mögliche künftige neue Anlagen. Für die heute vorhandenen Anlagen sind zudem die produktionsgewichteten Anteile, die technisch-wirtschaftliche Lebensdauer sowie das durchschnittliche Alter der entsprechenden Anlagen bekannt. Als Bei-

spiel wählen wir einen Prozess aus der Papierindustrie (vgl. Tabelle 5-3). Der Einfachheit halber wird mit dem Prozess "Aufbereiten, Mahlen, Mischen" ein Prozess ausgewählt, der nur Elektrizität als Inputenergie verlangt.

Tab. 5-3: Anlageninformationen zu einem Prozess aus der Papierindustrie (Auszug)

| Anlagennummer | Anteil | durchschnittl. Alter (Jahre) | techn.-wirtschaftliche Lebensdauer (Jahre) | neu bis | neu ab | spezifischer Elektrizitätsverbrauch (TJ je Million t Papier) |
|---------------|--------|------------------------------|--|---------|--------|--|
| 1 | 0.25 | 15 | 20 | 1990 | - | 2'993 |
| 2 | 0.60 | 10 | 20 | 1990 | - | 2'870 |
| 3 | 0.15 | 5 | 20 | 2000 | - | 2'780 |
| 4 | | | 20 | 2010 | 1995 | 2'731 |
| 5 | | | 20 | 2020 | 2005 | 2'680 |
| 6 | | | 20 | 2035 | 2010 | 2'630 |

Die ersten drei Zeilen beziehen sich auf heute existierende Anlagen. Die Angaben zu den Anteilen der entsprechenden Anlagen am gesamten Anlagenpark sind - in der Regel - Schätzungen, die so festgelegt bzw. plausibilisiert wurden, dass der durchschnittliche spezifische Verbrauch "richtig" herauskommt (in diesem Fall 2'882 TJ je Million Tonnen Papier). Die künftigen Anlagen (in der Tabelle kursiv hervorgehoben) werden nun unter Berücksichtigung von Technologieinformationen aus den verschiedensten Quellen über mögliche Fortschritte beim spezifischen Energieverbrauch festgelegt, wobei die eingangs angedeuteten Überlegungen miteingeflossen sind. In der Regel wird hierfür der spezifische Verbrauch für die neuste Anlage als Ausgangspunkt genommen (hier 2'630 TJ je Million Tonnen Papier) und auf die schon früher verfügbaren Anlagen durch eine Interpolation übertragen. Je nach Prozess wird hierbei linear oder exponentiell interpoliert.

In einem weiteren Schritt werden dann noch die Verfügbarkeiten festgelegt, d.h. ab welchem Zeitpunkt und bis zu welchem Zeitpunkt eine Anlage - sei sie neu oder alt - überhaupt auf dem Markt zur Verfügung steht. Aus der Kombination der Verfügbarkeiten und den spezifischen Verbräuchen ergibt sich dann der theoretische Absenkungspfad für den spezifischen Energieverbrauch.

Schliesslich gilt es alle weiteren Parameter, die die Anlagen des Prozesses charakterisieren, festzulegen. Als "Default-Value" gilt, dass diese Parameter einfach

übernommen werden (etwa bei der technisch-wirtschaftlichen Lebensdauer), linear oder (je nach Zusammenhang) exponentiell fortgeschrieben werden (etwa bei einem bereits hohen Automatisierungsgrad, der 100 % aber nicht übersteigen kann). Wenn völlig neue Anlagentypen in Zukunft zu erwarten sind (etwa bei den Brennprozessen in der Zementindustrie) werden natürlich die Anlageparameter nicht einfach übernommen oder auf die eine oder andere Weise extrapoliert, sondern den "richtigen" Werten gemäss quantifiziert.

Querschnittstechnologien

Bei der Definition der Parameter von neuen Anlagen werden neben branchenspezifischen Informationen auch Informationen verwendet, die allgemein anwendbare Querschnittstechnologien betreffen und damit in begrenztem Umfang algorithmisch übernommen werden können. Die von uns unterschiedenen Querschnittstechnologien fasst Tabelle 5-4 zusammen. Die Einführung dieser Querschnittstechnologien dient auch zur Sicherstellung der "technologischen Konsistenz", d. h. vergleichbare Prozesse sollen in allen Branchen energetisch gleich behandelt werden (vgl. auch Schaefer H. / Schäfer V. 1996). In Tabelle 5-5 wird dies beispielhaft für die erste Querschnittstechnologie (Umwandlung von Elektrizität in mechanische Energie) aufgezeigt.

Tab. 5-4: Querschnittstechnologien

| Anwendungsbereich | Technologie | Typische Reduktionen des Gesamtenergieverbrauchs der besten Technologie gegenüber heutigem Durchschnitt in den Jahren 2015 bis 2030 (in %) |
|--|---|--|
| Umwandlung von Elektrizität in mechanische Energie | Elektromotoren | 5 - 8 |
| | Drehzahlregulierung, Lastmanagement, Vermeidung von Teillastzuständen | 5 - 50 |
| Transport von Fluiden | Pumpen | 8 - 20 |
| | Verrohrungsgeometrie | 5 - 25 |
| Wärmerückgewinnung | Wärmetauscher | 4 - 15 |
| | Kaskadennutzung | 8 - 30 |
| Erwärmung | Laser, Lichtbogen, Mikrowellen, Infrarotstrahlung, induktives Heizen | 5 - 25 |
| Verbrennungsvorgänge | Brennerauslegung | 4 - 10 |
| | Kondensationskessel | 6 - 8 |
| Elektrizitäts- und Wärmeproduktion | Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen | 5 - 12 (Primärenergie) |

Tab. 5-4: Fortsetzung

| Anwendungsbereich | Technologie | Typische Reduktionen des Gesamtenergieverbrauchs der besten Technologie gegenüber heutigem Durchschnitt in den Jahren 2015 bis 2030 (in %) |
|--------------------------|---|--|
| Wärmedämmung | Kessel | 4 - 8 |
| | Rohre (heisse und kalte Fluide) | 5 - 20 |
| Rohstoffe/Ausgangsstoffe | Recycling (Papier, Karton, Glas, Aluminium, Stahl u.a.) | 15 - 80 |
| | Biotechnologie | 0 - 95 |
| Tribologische Massnahmen | Schmierstoffe, Kuppelungen, Transmission, Getriebe | 3 - 20 |
| Produktionsablauf | CAx | (-2)* - 15 |
| | Roboterisierung | (-10)* - 10 |
| | Automatisierung | (-5)* - 18 |
| | Biotechnologie | 0 - 95 |
| Messen, Regeln, Steuern | für alle Produktionsprozesse | 6 - 15 |

* Minuszeichen: Zunahme

Tab. 5-5: Beispiel zur Anwendung von Querschnittstechnologien

Für die üblichen Dreiphasen-Wechselstrom-Motoren lässt sich bezüglich der Wirkungsgrade etwa folgendes sagen: Für Motoren im Leistungsbereich bis 10 kW (die heutigen Wirkungsgrade liegen im Schnitt bei etwa 88 %) ist bis 2015 eine Steigerung auf 96 % zu erwarten, sofern Hochtemperatursupraleiter verfügbar werden, ist bis 2030 nochmals eine Steigerung um zwei weitere Prozentpunkte anzunehmen (Douglas 1992). Für Motoren über 10 kW lauten die entsprechenden Zahlen 93 %, 98 % und nochmals 98 % (die Hochtemperatursupraleitung bringt hier nichts mehr). Nach einer holländischen Untersuchung (Webci 1992) kann man bezüglich der Investitionskosten bei kleineren Motoren (unterhalb etwa 20 kW) von erheblichen Einsparungen ausgehen, bei grösseren Motoren hingegen dürften die Investitionskosten in etwa gleich bleiben. Dabei wird allerdings auf die grossen Unsicherheiten hingewiesen (Nielson 1989).

Wir gehen davon, dass der Hochtemperatursupraleiter im Betrachtungszeitraum bis 2030 keine Rolle spielen wird und übernehmen für unser Modell als realisierbare Verbesserungsmöglichkeiten 8 % (für Motoren mit einer Leistung unter 10 kW bzw. 5 % für Motoren mit einer Leistung über 10 kW). Eine weitere wichtige Einsparungsmöglichkeit betrifft die Vermeidung von Teillastzuständen. Bei einer Teillast von beispielsweise 25 % betragen die Wirkungsgradeinbussen bei Motoren mit einigen kW Leistung immerhin gegen 10 %. Die Schätzungen über erzielbare Einsparungen durch ein besseres Lastmanagement bei variablen Lasten sowie der kontinuierlichen Drehzahlregelung unterscheiden sich sehr stark, man findet Angaben zwischen 5 und 50 %.

Für das oben erwähnte Beispiel aus der Papierindustrie (es sind hier vor allem Motoren mit einer Leistung von mehr als 10 kW betroffen) veranschlagen wir die erreichbaren Verbesserungen der Wirkungsgrade der Elektromotoren auf die vollen 5 %, als Summe aller weiteren Verbesserungen scheint uns unter Berücksichtigung der besonderen Prozessbedingungen eine zusätzliche Reduktion von 4 % plausibel (vgl. auch Tab. 5-3).

5.2.2 Berechnung der künftigen spezifischen Energieverbräuche

Ausgehend von den in der Anlagentabelle zusammengetragenen Informationen (zu jedem Prozess haben wir in der Regel 6 Anlagen definiert, mindestens 4, maximal 7) gilt es nun, die spezifischen Energieverbräuche für den entsprechenden Gesamtprozess nach Massgabe des zugehörigen Hochrechnungsfaktors zu berechnen. Dies geschieht über den schon erwähnten Kohortenalgorithmus: Alte Anlagen werden bei Erreichen ihrer technisch-wirtschaftlichen Lebensdauer durch neue Anlagen ersetzt, soweit sie in dem jeweiligen Jahr effektiv zur Verfügung stehen. Stehen gleichzeitig verschiedene Anlagen zur Verfügung, so werden diese nach Produktionskosten gewichtet zugebaut. Tabelle 5-6 zeigt des Resultat dieser Rechnung für ausgewählte Jahre.

Eine Eins in der Rubrik "alte Anlagen" zeigt an, ob eine entsprechende Anlage im Anlagenpark vertreten ist, wobei der Einfachheit halber der mengenmässige Anteil hier nicht wiedergegeben wird. Eine Eins in der Rubrik "neue Anlagen" bedeutet, dass im entsprechenden Jahr Anlagen von diesem Typ zugebaut werden müssen, wiederum der Einfachheit halber ohne Mengenangabe. Mit dieser Interpretationsregel kann man verfolgen, wie sich der Anlagenpark im Laufe der Zeit verjüngt. Ausgehend von den 1990 bestehenden Anlagen 1, 2 und 3 sind schliesslich im Jahr 2030 nur noch Anlagen der zwei neusten Typen (5 und 6) vorhanden.

In der geschilderten Weise werden für alle Prozesse die nach Energieträgern differenzierten spezifischen Verbräuche für alle Stichjahre ermittelt. Der Anhangsband beinhaltet eine Zusammenfassung der Resultate (d. h. der spezifischen Gesamtenergieverbräuche für alle Prozesse und alle Stichjahre).

Tab. 5-6: Entwicklung des Anlagenparks und des resultierenden spezifischen Verbrauchs für einen Prozess aus der Papierindustrie

| Jahr | Anlagen- nummer | Kohortenstruktur | | resultierender spez. Verbrauch für Anlagenmix (in TJ je Mio t Papier) |
|------|--------------------|------------------|--------------|---|
| | | alte Anlagen | neue Anlagen | |
| 1990 | 1 | 1 | | 2'882 |
| | 2 | 1 | | |
| | 3 | 1 | | |
| | 4 | | | |
| | 5 | | | |
| | 6 | | | |
| 1995 | 1 | | | 2'823 |
| | 2 | 1 | | |
| | 3 | 1 | 1 | |
| | 4 | | 1 | |
| | 5 | | | |
| | 6 | | | |
| 2000 | 1 | | | 2'759 |
| | 2 | | | |
| | 3 | 1 | 1 | |
| | 4 | 1 | 1 | |
| | 5 | | | |
| | 6 | | | |
| 2015 | 1 | | | 2'688 |
| | 2 | | | |
| | 3 | | | |
| | 4 | | | |
| | 5 | 1 | 1 | |
| | 6 | 1 | 1 | |
| 2030 | 1 | | | 2'653 |
| | 2 | | | |
| | 3 | | | |
| | 4 | | | |
| | 5 | 1 | | |
| | 6 | 1 | 1 | |

6. Szenario I: Entwicklung der Energieverbräuche

6.1 Die wichtigsten Einflussgrössen

Es versteht sich von selbst, dass einem so komplexen Modell, wie dem hier verwendeten, eine sehr grosse Zahl von Inputs und Entscheidungen zu Grunde liegen. Ein Bottom-up-Modell ist geradezu so definiert, dass das Gesamtergebnis die Summe einer Vielzahl von Einzeltatbeständen ist. Gleichwohl gibt es materielle und philosophische Festlegungen, die - wie oben bereits ausgeführt - das Endergebnis in stärkerem Ausmass (d. h. eher top down) bestimmen. Bevor wir die Ergebnisse darstellen und interpretieren, sollen deshalb nochmals in aller Kürze die wichtigsten Einflussgrössen "repetiert" werden (vgl. Tab. 6-1).

6.2 Der Energieverbrauch nach Energieträger und Verwendungszweck

In den Abbildungen bzw. Tabellen 6-2 bis 6-4 ist der Gesamtenergieverbrauch der Referenzvariante für die Jahre 1990 bis 2030 dargestellt. Aus den Modellrechnungen ergibt sich ein Rückgang des Energieverbrauchs 1995 und 2000 gegenüber dem Ausgangsjahr. Nachher steigt der Verbrauch wiederum (bis 2010) an und stabilisiert sich dann mehr oder weniger auf diesem Niveau (mit einer leichten Tendenz nach oben gegen Ende der Betrachtungsperiode). Am Ende des Betrachtungszeitraumes liegt er dann knapp 9 % über dem Niveau von 1990.

Diese Entwicklung ist das Ergebnis vielfältiger Einflüsse und modellhaft abgebildeter Verhaltensweisen. Es ist deshalb kaum möglich, den Entwicklungspfad in vollem Umfang zu erklären. Fundamental sind aber sicher die folgenden Faktoren:

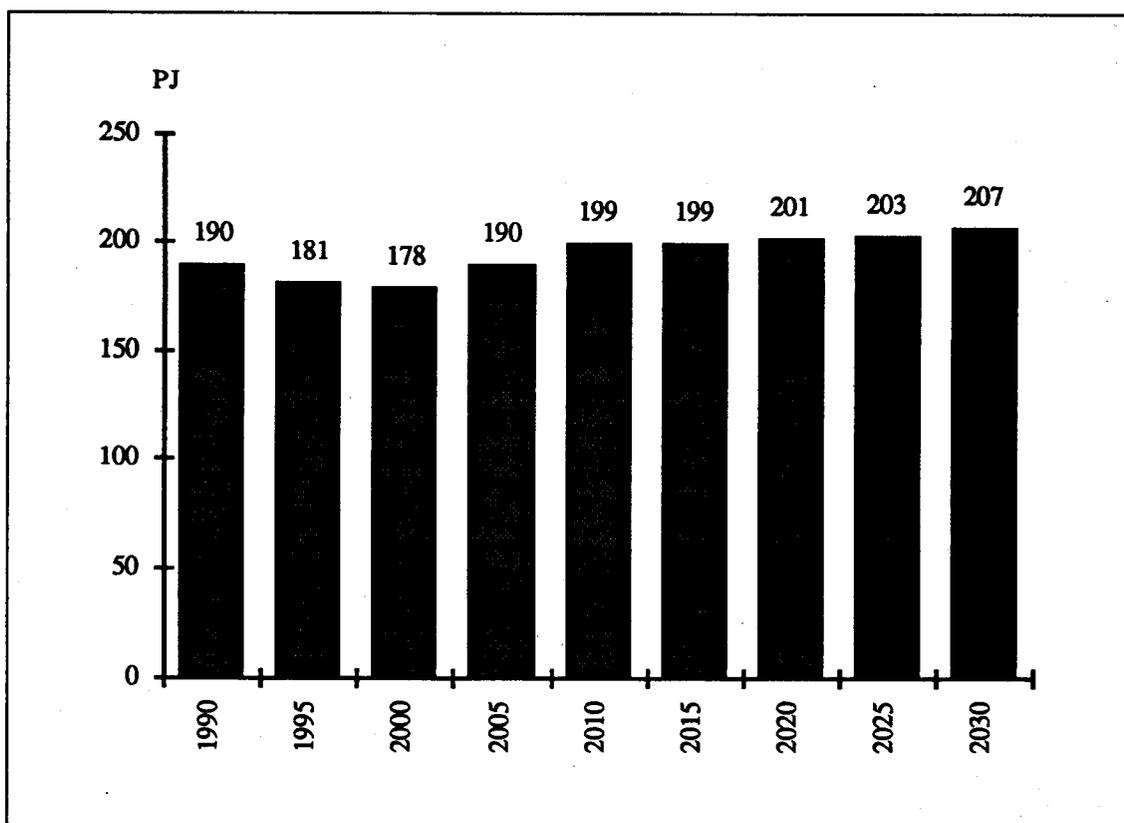
- Der konjunkturelle Einbruch Anfang / Mitte der 90er Jahre hat auf die industrielle Produktion durchgeschlagen, und zwar in einem stärkeren Ausmass als dies die gesamtwirtschaftlichen Wachstumsraten vermuten lassen.
- Zwischen 1990 und 1995 fällt energetisch insbesondere auch ins Gewicht, dass die Rohaluminiumproduktion stark reduziert worden ist (im Modell bereits 1995 vollständig, in Wirklichkeit vermutlich aber erst 1997). Allein dieser Faktor erklärt für diese Periode einen Rückgang von rund 5 PJ.

Tab. 6-1: Wichtigste Einflussgrößen für das Ergebnis

| | |
|---|---|
| Grundphilosophie | In Anlehnung an SGZZ-Perspektiven Fortschreibung unter der Annahme gleicher Verhaltensweisen |
| Wirtschaftsentwicklung | Zunahme der realen Wertschöpfung 1990 bis 2030 um 76.5 %, Abnahme der Erwerbstätigen um 17 % |
| Energiepreise | Entwicklung gleichgerichtet wie Ausland, keine Energiepreisexplosion bis 2030, sondern moderates Ansteigen im nächsten Jahrhundert |
| Industrielle Entwicklung | Schweiz bleibt auch weiterhin ein Produktionsstandort, Strukturveränderungen finden weiterhin bei Grundstoffindustrien statt; ab 1995 keine Roh-Aluminiumproduktion mehr |
| Tertiarisierung in der Industrie | Zunahme der tertiär Beschäftigten in der Industrie von 30 % auf 36 % |
| EBF pro Büroarbeitsplatz | Zunahme des spezifischen Flächenverbrauchs 1990 bis 2030 von 28 m ² auf 36 m ² pro Erwerbstätiger im Büro |
| EBF in der Produktion | Zunahme je nach Branche / Produktlinie abhängig von der Produktionsentwicklung, mit aber sehr stark unterproportionalen Wachstumsraten (Elastizitäten zwischen 0.1 und 0.3) und proportionaler Abnahme bei säkular rückläufiger Produktion |
| Technologietrends | Keine neuen Basis-Technologieschübe, sondern Fortschreibung |
| Angewendete Produktionstechnologie | Heutige Anlagen sind im Durchschnitt gegenüber alten Anlagen energetisch effizienter, der energetische Grenzertrag nimmt aber in Zukunft tendenziell ab, je nach Prozess Effizienzgewinne zwischen 10 % und 20 % bis 2030 |
| Umschlag des Anlagenparks | In der Regel 15 bis 20 Jahre, einzelne Anlagen bis 30 Jahre, EDV-gestützte High-tech-Anlagen 10 Jahre |
| Energieträgersplit | Erneuerbare Energien haben in der Industrie weiterhin marginale Bedeutung, Substitution von Heizöl leicht zu Gas gegenüber anlagenbedingtem Trend verstärkt, in Zementindustrie wird - gemäss Vorgabe - Kohle bis 2005 durch Abfälle ersetzt ⁴ |
| Energiepolitische Massnahmen | Szenario I enthält bereits beschlossene energiepolitische Massnahmen (ohne Dynamisierung) |

⁴ Diese Vorgabe ist inzwischen überholt. Realistischerweise geht man heute von einer Substitution aus, die gut 6 PJ Kohle belässt (Verbrauch 1990: rund 12 PJ).

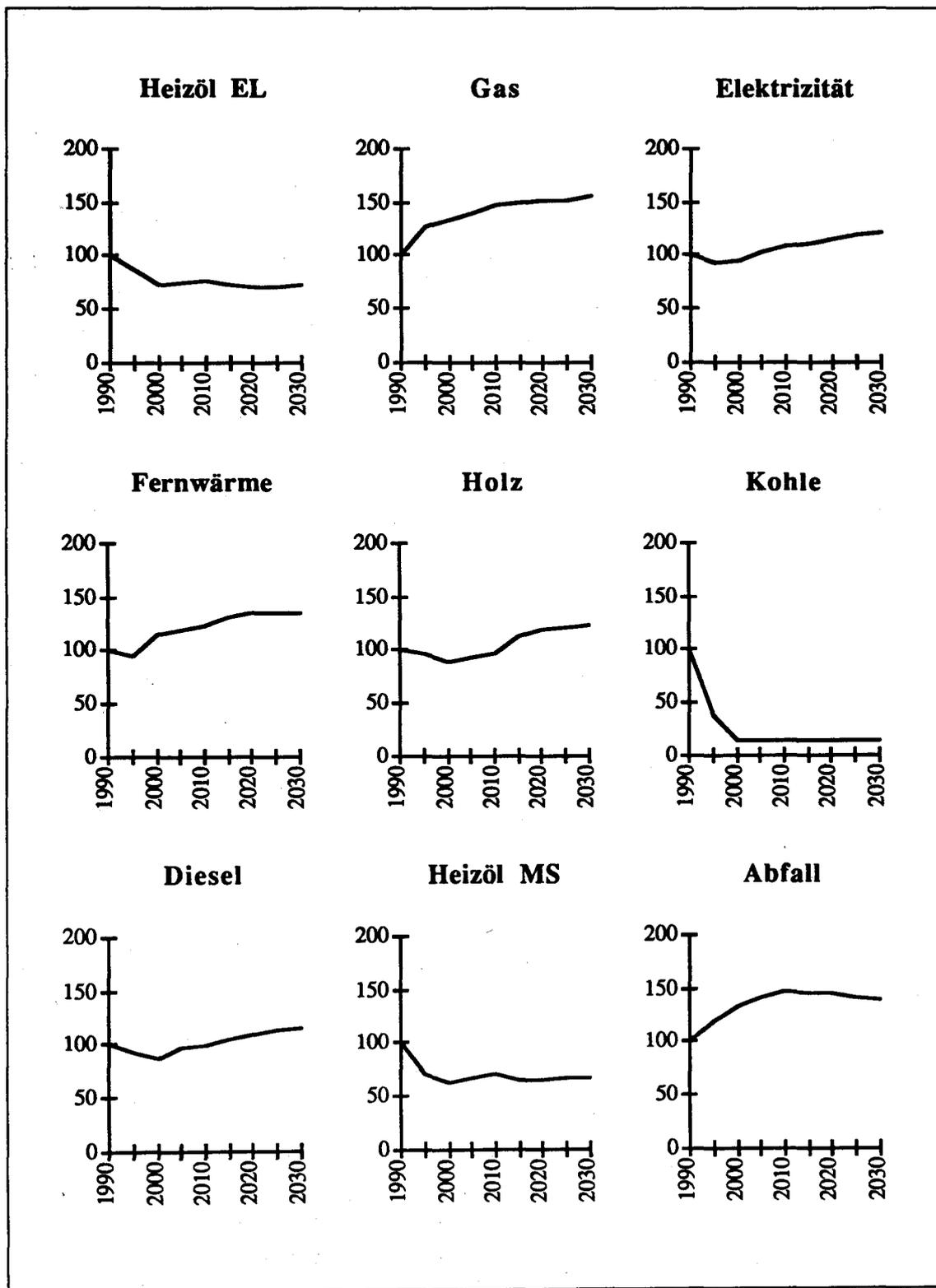
Abb. 6-2: Der industrielle Energieverbrauch 1990 bis 2030 (in PJ)



Tab. 6-3: Der industrielle Energieverbrauch nach Energieträger 1990 bis 2030 (in TJ)

| | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Heizöl EL | 25'312 | 22'101 | 18'544 | 19'073 | 19'493 | 18'145 | 18'057 | 18'024 | 18'237 |
| Gas | 31'861 | 40'596 | 42'210 | 44'753 | 47'136 | 47'678 | 48'075 | 48'567 | 49'706 |
| Elektrizität | 56'881 | 53'116 | 54'059 | 58'326 | 62'335 | 63'689 | 65'465 | 67'367 | 69'473 |
| Fernwärme | -4'064 | -3'861 | -4'662 | -4'829 | -5'046 | -5'318 | -5'543 | -5'493 | -5'490 |
| Holz | 2'487 | 2'410 | 2'213 | 2'319 | 2'418 | 2'793 | 2'972 | 3'032 | 3'082 |
| Kohle | 14'697 | 5'472 | 1'989 | 1'990 | 2'113 | 2'002 | 1'942 | 1'951 | 2'002 |
| Diesel | 9'998 | 9'209 | 8'751 | 9'672 | 9'970 | 10'469 | 10'917 | 11'280 | 11'445 |
| Heizöl MS | 21'077 | 14'683 | 12'995 | 13'921 | 14'739 | 13'697 | 13'663 | 13'801 | 14'084 |
| Abfall | 31'529 | 37'755 | 42'007 | 44'314 | 46'312 | 45'880 | 45'736 | 44'713 | 44'184 |
| Summe | 189'778 | 181'480 | 178'106 | 189'538 | 199'471 | 199'034 | 201'285 | 203'241 | 206'723 |

Abb. 6-4: Der industrielle Energieverbrauch nach Energieträger 1990 bis 2030 (Index 1990 = 100)



- Der anfängliche Rückgang in diesem Jahrhundert ist auch durch den Zubau von energetisch effizienteren Anlagen bedingt. Dieser Trend vermindert sich tendenziell im nächsten Jahrhundert. Trotzdem nimmt natürlich der spezifische Verbrauch weiterhin ab.
- Dass der Energieverbrauch im nächsten Jahrhundert in der Tendenz trotzdem wieder zunimmt, ist auf die weiterhin ansteigenden Produktionsindizes vieler der untersuchten Branchen zurückzuführen.

Zur weiteren Interpretation unserer Resultate sind verschiedene Sensitivitätsanalysen durchgeführt worden. Die zwei wichtigsten seien hier kurz besprochen. Die erste betrifft das Fixieren aller spezifischen Verbräuche auf dem Niveau von 1990. Unter dieser Voraussetzung steigt der Netto-Energieverbrauch von rund 190 PJ im Jahr 1990 auf rund 245 PJ im Jahr 2030, d. h. um knapp 29 %. Vergleicht man dies mit dem "vollen" Run, so ergibt sich eine durchschnittliche Verbesserung des spezifischen Energieverbrauchs von rund 20 %. Dabei ist allerdings zu beachten, dass den Prozessen, die massgeblich zu dieser durchschnittlichen Verbesserung beitragen, andere Prozesse entgegenstehen (etwa im Bereich Umweltschutz oder im Bereich Büro), die einen spezifischen Mehrverbrauch nachsichziehen.

Die andere Sensitivitätsanalyse betrifft die Fixierung der Hochrechnungsfaktoren auf dem Niveau des Jahres 1990. In diesem Fall vermindert sich der Energieverbrauch von 190 PJ im Jahr 1990 auf rund 155 PJ im Jahr 2030. Dies entspricht einer Abnahme von rund 18 %. Was bedeutet dieser Wert im Vergleich zu den gerade erwähnten 20 %? Der Unterschied von rund 2 % ist die durchschnittliche Verbesserung für den gesamten spezifischen Energieverbrauch als Folge der Produktionsausweitung im Falle des vollen Runs im Vergleich zum Run mit gleichbleibenden Hochrechnungsfaktoren. Durch die Produktionsausweitung werden nämlich neue, bessere Anlagen beschleunigt zugebaut, was den durchschnittlichen spezifischen Energieverbrauch etwas reduziert (allerdings nicht sehr stark, wie die Rechnung zeigt).

Während die Entwicklung des Gesamtenergieverbrauchs relativ wenig Struktur zeigt, sind auf der Ebene einzelner Energieträger beträchtliche Bewegungen zu beobachten. Auf der Seite der "Gewinner" sind die Energieträger Gas, Elektrizität, Nah- und Fernwärme, Holz, Diesel und Abfall. Auf der andern Seite sind es die Energieträger Heizöl extra leicht, Heizöl mittel und schwer sowie die Kohle, die absolut und relativ abnehmen.

Etwas vereinfacht kann man folgende Substitutionsbewegungen feststellen: Das Gas profitiert vom Rückgang aller Heizölsorten und wächst absolut am stärksten. Der Abfall profitiert von der Kohle (vor allem in der Zementindu-

strie).⁵ Während der Substitutionsprozess zugunsten des Gases über den ganzen Betrachtungszeitraum anhält, stabilisiert sich derjenige des Abfalls um 2010.

Im Zeitablauf ist die Entwicklung der einzelnen Energieträger ebenfalls sehr unterschiedlich. Während das Gas mehr oder weniger kontinuierlich zulegt (allerdings mit einem ausgeprägten Schub in den ersten Jahrfünfteln des Betrachtungszeitraumes), weisen für 1995 die andern wichtigen Energieträger (d. h. abgesehen vom Abfall und der Nah- und Fernwärme) alle eine mehr oder weniger ausgeprägte Verbrauchssenkung auf, wobei bei der Elektrizität am schnellsten wieder ein Wachstumspfad eingeschlagen wird. Demgegenüber setzt sich die Verbrauchsminderung bei den beiden Heizölsorten fort, wobei schliesslich Heizöl extra leicht relativ gesehen mehr verliert als Heizöl mittel und schwer. Dies ist nicht zuletzt eine Folge des nachwievor günstigen Preises dieses, vor allem für die Industrie, interessanten Brennstoffes. Damit eine solche Entwicklung aber überhaupt möglich wird, setzen wir natürlich voraus, dass das Verbrennen von Heizöl mittel und schwer nicht über Vorschriften stark eingeschränkt oder gar verboten wird (was allerdings nicht auszuschliessen ist). Deutlich nimmt auch die Fernwärme (Netto-Produktion) zu, vor allem auch als Folge des weiterhin zunehmenden Siedlungsabfalls.

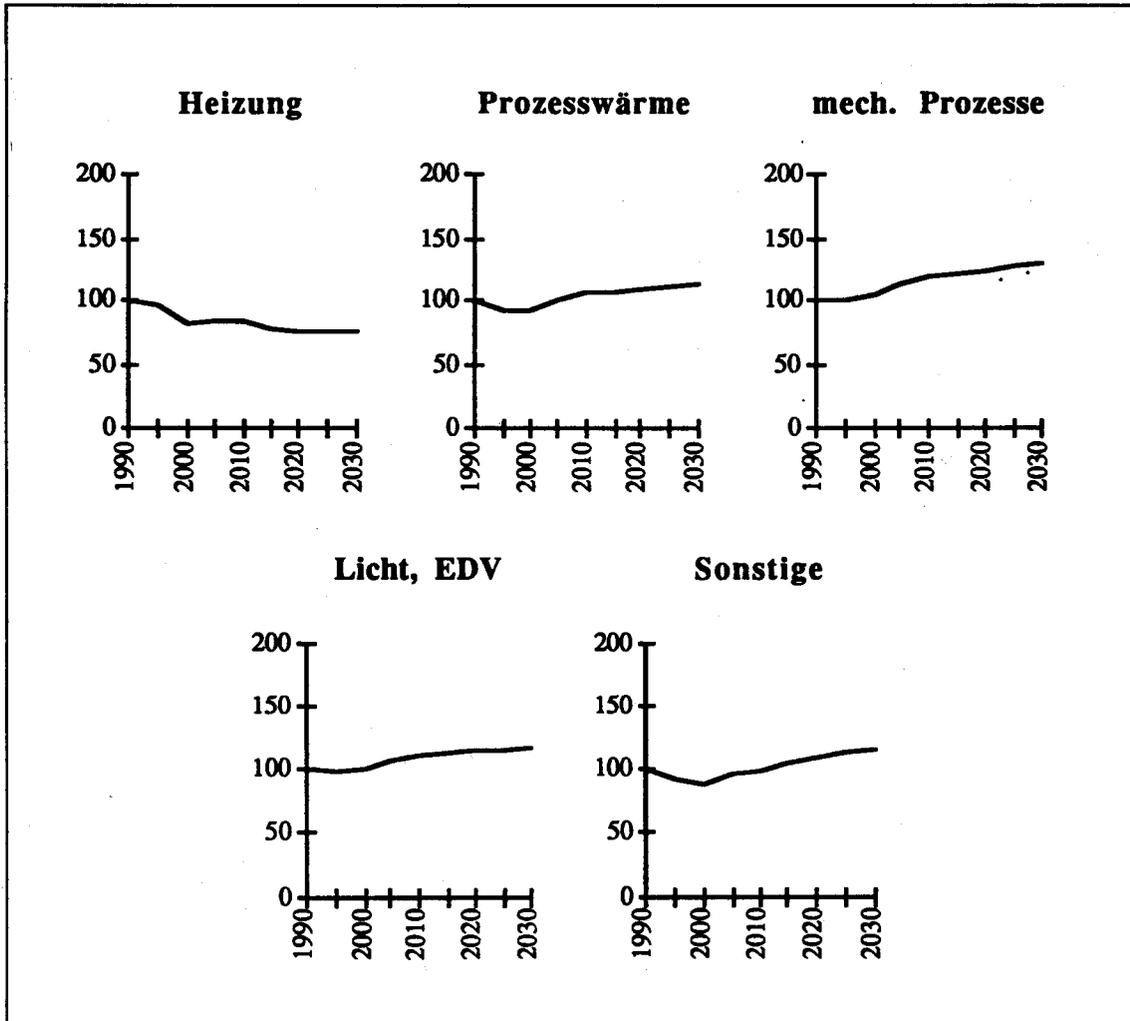
Im weiteren ergibt sich im Zeitablauf auch eine deutliche Änderung der Verwendungszwecke (vgl. Abbildung 6-5 und Tabelle 6-6). Prozesswärme als Verwendungszweck nimmt absolut um etwa gleich viel zu, wie die mechanischen Prozesse. Angesichts des unterschiedlichen Ausgangsniveaus nehmen die mechanischen Prozesse aber dreimal so stark zu - auch eine Folge der weiterhin fortschreitenden Automatisierung. Demgegenüber geht der Energieaufwand für die Heizung stark zurück. Bezüglich der Prozesswärme ist im übrigen zu beachten, dass darunter beispielsweise auch alle Umweltschutzmassnahmen figurieren (wie Filterungs- und Klärprozesse), sowie Prozesse, bei denen der "thermische" Anteil dominiert, die aber z. B. auch eine beachtliche mechanische Komponente aufweisen können. Schliesslich ist die Zunahme unter "Sonstige" vor allem eine Folge des zunehmenden Dieserverbrauchs für Baumaschinen.

Schliesslich zeigt Tabelle 6-7 den Endenergieverbrauch für die Industrie (vgl. Kapitel 3). Die Änderungen haben vor allem bei zwei Energieträgern einen sichtbaren Einfluss: Bei der Fernwärme wird nun ein Verbrauch ausgewiesen (vorher war es eine Nettoproduktion), und bei den Abfällen sind die energetisch genutzten Haushaltabfälle nicht mehr enthalten. Bei den übrigen Energieträgern sind die Korrekturen unerheblich. Aus der Differenz zwischen den oben wiedergegebenen Netto-Energieverbrauchszahlen und den hier ausgewiesenen

⁵ Nach neuester Lesart ist infolge neuer Annahmen beim Zement der Rückgang der Kohle vermutlich deutlich weniger ausgeprägt (auf rund 50 % des Wertes von 1990).

Endverbrauchszahlen ergibt sich dann jener Energieverbrauch (bzw. jene Energieproduktion), der (bzw. die) dem Energieversorgungssektor zugewiesen werden müsste.

Abb. 6-5: Die Entwicklung des Energieverbrauchs 1990 bis 2030 nach Verwendungszwecken (Index 1990 = 100)



Tab. 6-6: Die Entwicklung des industriellen Energieverbrauchs 1990 bis 2030 nach Verwendungszwecken (in TJ)

| | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Heizung | 32'234 | 31'466 | 26'823 | 27'058 | 27'173 | 25'271 | 24'686 | 24'579 | 24'459 |
| Prozesswärme | 90'270 | 83'759 | 84'236 | 90'599 | 96'382 | 97'089 | 98'746 | 99'487 | 101'329 |
| mech. Prozesse | 33'595 | 34'157 | 35'111 | 37'702 | 40'229 | 40'605 | 41'364 | 42'437 | 43'704 |
| Licht, EDV | 5'613 | 5'578 | 5'637 | 5'993 | 6'272 | 6'334 | 6'458 | 6'516 | 6'621 |
| Sonstige | 9'966 | 9'172 | 8'711 | 9'631 | 9'928 | 10'422 | 10'866 | 11'222 | 11'380 |
| WKK | 18'100 | 17'350 | 17'589 | 18'555 | 19'487 | 19'312 | 19'165 | 18'999 | 19'230 |
| Gesamt | 189'778 | 181'480 | 178'106 | 189'538 | 199'471 | 199'034 | 201'285 | 203'241 | 206'723 |

Tab. 6-7: Endenergieverbrauch im Sinne der Endenergiestatistik (in TJ)

| | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Heizöl EL | 25'091 | 21'920 | 18'427 | 18'947 | 19'359 | 18'027 | 17'934 | 17'898 | 18'106 |
| Gas | 30'485 | 38'866 | 40'296 | 42'646 | 44'805 | 45'245 | 45'569 | 46'006 | 47'083 |
| Elektrizität | 60'758 | 57'196 | 58'569 | 63'150 | 67'483 | 68'930 | 70'753 | 72'687 | 74'893 |
| Fernwärme | 2'201 | 2'293 | 2'132 | 2'274 | 2'380 | 2'261 | 2'075 | 1'988 | 2'028 |
| Holz | 2'487 | 2'410 | 2'213 | 2'319 | 2'418 | 2'793 | 2'972 | 3'032 | 3'082 |
| Kohle | 14'495 | 5'289 | 1'868 | 1'860 | 1'965 | 1'855 | 1'800 | 1'807 | 1'860 |
| Diesel | 9'993 | 9'204 | 8'745 | 9'665 | 9'962 | 10'460 | 10'908 | 11'271 | 11'435 |
| Heizöl MS | 20'458 | 14'174 | 12'472 | 13'349 | 14'112 | 13'080 | 13'068 | 13'191 | 13'456 |
| Abfall | 6'616 | 14'142 | 17'391 | 18'606 | 19'488 | 19'140 | 19'149 | 18'593 | 17'934 |
| Summe | 172'585 | 165'494 | 162'113 | 172'816 | 181'970 | 181'792 | 184'227 | 186'473 | 189'877 |

6.3 Energieverbrauch nach Branchen

In den Tabellen 6-8a und 6-8b sind die Entwicklungen der Energieverbräuche nach Branchen aufgeführt. Wir konzentrieren uns bei der Interpretation auf die energetisch wichtigsten Branchen.

In der Energie- und Wasserwirtschaft resultiert bis 2030 gesamthaft eine Verbrauchsreduktion um 4 %, obwohl mit weiter wachsenden Mengen bei Wasser (+17 %) und Abwasser (+5 %) zu rechnen ist. Gleichzeitig nimmt zum Teil sogar

der spezifische Verbrauch zu, so etwa für mechanische Prozesse bei der Kehrichtverbrennung (+14 %). Einen deutlichen Zuwachs zeigen im übrigen die Büroflächen (+55 %), was sich vor allem beim Elektrizitätsverbrauch niederschlägt, zumal der spezifische Verbrauch gemäss ETH um 18 % zunimmt (was im übrigen für alle Branchen gilt).

Demgegenüber steigt in der Nahrungsmittelindustrie der Energieverbrauch um 15 %. Haupteinflussfaktoren sind die weiterhin stark ansteigenden Produktionsindizes (+56 % für das Gros der Branchen, für Schokolade sogar +85 %). Auf der spezifischen Seite ergeben sich je nach Produktionsprozess Einsparungen im Bereich von -9 bis -22 %. Einen klaren Anstieg beim spezifischen Verbrauch zeigen die Umweltschutztechnologien (+30 %). Während die Produktionsflächen nur noch marginal wachsen (je nach Subbranche zwischen 0 und 9 %), nehmen die Büroflächen deutlich zu, wenn auch nicht so ausgeprägt wie bei der Energie- und Wasserwirtschaft (+26 % für den Hauptteil der Branche).

Bei der Textilindustrie (Gesamtzunahme des Energieverbrauchs um 4 %) zeigt sich ein Zweiteilung: Während der Energieverbrauch bei den Chemiefasern wegen den stark ansteigenden Produktionsmengen (+98 %) zunimmt, ist bei der restlichen Textilindustrie eine Abnahme zu beobachten (primär als Folge des Strukturwandels). Bezüglich der spezifischen Energieverbräuche zeichnen sich je nach Prozess Reduktionen um 9 bis 16 % ab, wobei auch hier die energetischen Aufwendungen für den Umweltschutz wachsen, allerdings nur um 10 %. Die übrige Textilindustrie zeigt energetisch etwas grössere Fortschritte (zwischen -13 und -18 %). Passend zur Ausweitung der Produktionsmengen nimmt der Flächenbedarf in der Chemiefaserindustrie zu, allerdings sehr unterproportional, nämlich lediglich um etwa 14 %. Die Flächen der restlichen Textilindustrie nehmen sogar leicht ab.

In der Papierindustrie nimmt der Energieverbrauch gesamthaft um 10 % zu. Hierbei fällt vor allem die Unterbranche Zellstoff ins Gewicht. Der Anstieg des Energieverbrauchs ist primär die Folge einer langfristig weiter zunehmenden Papierproduktion, welche sich bis 2030 um 28 % erhöht. Bei den thermischen Prozessen wird zwar noch erheblich Energie eingespart (-19 %), die Verbesserungen bei den übrigen Prozessen liegt im Schnitt aber nur etwa bei der Hälfte. Der Flächenbedarf bleibt im wesentlichen konstant.

Tab. 6-8a: Energieverbrauch nach Branchen 1990 bis 2030 (in TJ)

| | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Energie und Wasser | 20'365 | 19'081 | 19'126 | 19'927 | 20'734 | 20'247 | 19'950 | 19'573 | 19'645 |
| Nahrungsmittel | 15'063 | 14'747 | 14'131 | 14'934 | 15'862 | 16'112 | 16'708 | 16'986 | 17'366 |
| Brauereien | 941 | 859 | 805 | 804 | 802 | 775 | 767 | 766 | 763 |
| Schokolade | 678 | 714 | 754 | 835 | 904 | 950 | 970 | 976 | 972 |
| Rest | 13'444 | 13'174 | 12'571 | 13'296 | 14'156 | 14'386 | 14'971 | 15'244 | 15'632 |
| Textilindustrie | 10'814 | 10'679 | 10'388 | 10'596 | 10'803 | 10'565 | 10'748 | 10'984 | 11'210 |
| Chemiefaser | 2'674 | 2'984 | 3'158 | 3'379 | 3'611 | 3'788 | 4'046 | 4'292 | 4'584 |
| Rest | 8'140 | 7'695 | 7'230 | 7'216 | 7'192 | 6'777 | 6'702 | 6'692 | 6'626 |
| Bekleidungsindustrie | 927 | 720 | 611 | 603 | 596 | 568 | 550 | 545 | 544 |
| Papierindustrie | 18'651 | 19'150 | 19'252 | 20'903 | 22'325 | 20'977 | 19'669 | 19'770 | 20'563 |
| Zellstoff | 2'685 | 3'146 | 3'112 | 3'474 | 3'794 | 3'746 | 3'428 | 3'466 | 3'699 |
| Papier und Karton | 14'465 | 14'566 | 14'847 | 16'138 | 17'244 | 16'011 | 15'040 | 15'105 | 15'674 |
| Rest | 1'501 | 1'438 | 1'293 | 1'291 | 1'287 | 1'220 | 1'202 | 1'200 | 1'190 |
| Druck | 3'355 | 3'291 | 3'043 | 3'168 | 3'268 | 3'089 | 2'966 | 2'986 | 3'032 |
| Kunststoff, Kautschuk | 3'491 | 3'031 | 3'076 | 3'527 | 4'090 | 4'441 | 4'877 | 5'357 | 5'927 |
| Chemische Industrie | 25'058 | 30'428 | 32'325 | 35'422 | 38'133 | 39'905 | 41'401 | 42'070 | 43'218 |
| Grundstoffe | 1'707 | 2'128 | 2'257 | 2'429 | 2'561 | 2'622 | 2'641 | 2'625 | 2'596 |
| Pharma | 6'266 | 7'611 | 8'109 | 8'901 | 9'598 | 10'059 | 10'459 | 10'643 | 10'961 |
| Rest | 17'084 | 20'690 | 21'959 | 24'092 | 25'974 | 27'223 | 28'301 | 28'802 | 29'661 |
| Steine und Erden | 33'873 | 29'824 | 28'793 | 30'167 | 31'335 | 30'446 | 30'709 | 30'147 | 29'361 |
| Zement | 18'441 | 15'900 | 15'308 | 16'030 | 16'604 | 15'939 | 15'953 | 15'072 | 13'835 |
| Ziegel und Keramik | 4'937 | 5'045 | 4'739 | 4'728 | 4'714 | 4'459 | 4'355 | 4'350 | 4'342 |
| Glas | 7'072 | 5'818 | 6'089 | 6'831 | 7'550 | 7'760 | 8'070 | 8'431 | 8'824 |
| Rest | 3'423 | 3'060 | 2'658 | 2'577 | 2'467 | 2'289 | 2'332 | 2'294 | 2'360 |
| Metall | 19'078 | 13'467 | 12'901 | 13'360 | 13'722 | 13'523 | 13'621 | 13'831 | 14'038 |
| Aluminium | 7'925 | 2'164 | 2'354 | 2'681 | 3'000 | 3'240 | 3'468 | 3'698 | 3'906 |
| Giessereien/Stahl | 7'031 | 7'414 | 6'946 | 6'931 | 6'913 | 6'597 | 6'488 | 6'481 | 6'456 |
| Galvanik | 418 | 377 | 334 | 334 | 331 | 312 | 309 | 306 | 302 |
| Rest | 3'703 | 3'511 | 3'268 | 3'415 | 3'477 | 3'374 | 3'355 | 3'346 | 3'373 |
| Maschinen/Apparate | 10'531 | 10'343 | 9'483 | 9'897 | 10'322 | 10'295 | 10'513 | 10'727 | 11'003 |
| Elektrotechnik | 6'035 | 5'848 | 5'612 | 5'923 | 6'271 | 6'337 | 6'429 | 6'596 | 6'829 |
| Uhren und Bijouterie | 1'772 | 1'765 | 1'600 | 1'627 | 1'643 | 1'588 | 1'580 | 1'587 | 1'587 |
| Uhrenindustrie | 1'532 | 1'529 | 1'394 | 1'421 | 1'439 | 1'398 | 1'391 | 1'399 | 1'402 |
| Bijouterie, Gravieranstalt | 240 | 237 | 206 | 206 | 205 | 190 | 189 | 188 | 185 |
| Holz, sonstiges Gewerbe | 7'509 | 7'228 | 6'734 | 7'201 | 7'633 | 7'613 | 7'758 | 7'914 | 8'128 |
| Bau | 13'257 | 11'876 | 11'032 | 12'283 | 12'733 | 13'328 | 13'804 | 14'168 | 14'272 |
| Bauhauptgewerbe | 11'178 | 10'007 | 9'282 | 10'380 | 10'702 | 11'268 | 11'693 | 11'997 | 12'042 |
| Haustechnik | 1'343 | 1'215 | 1'145 | 1'250 | 1'341 | 1'370 | 1'413 | 1'461 | 1'507 |
| Ausbaugewerbe | 736 | 654 | 605 | 654 | 689 | 689 | 698 | 710 | 723 |
| Gesamt | 189'778 | 181'480 | 178'106 | 189'538 | 199'471 | 199'034 | 201'285 | 203'241 | 206'723 |

Tab. 6-8b: Energieverbrauch nach Branchen (Index 1990 = 100)

| | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Energie und Wasser | 100 | 94 | 94 | 98 | 102 | 99 | 98 | 96 | 96 |
| Nahrungsmittel | 100 | 98 | 94 | 99 | 105 | 107 | 111 | 113 | 115 |
| Brauereien | 100 | 91 | 86 | 85 | 85 | 82 | 82 | 81 | 81 |
| Schokolade | 100 | 105 | 111 | 123 | 133 | 140 | 143 | 144 | 143 |
| Rest | 100 | 98 | 94 | 99 | 105 | 107 | 111 | 113 | 116 |
| Textilindustrie | 100 | 99 | 96 | 98 | 100 | 98 | 99 | 102 | 104 |
| Chemiefaser | 100 | 112 | 118 | 126 | 135 | 142 | 151 | 161 | 171 |
| Rest | 100 | 95 | 89 | 89 | 88 | 83 | 82 | 82 | 81 |
| Bekleidungsindustrie | 100 | 78 | 66 | 65 | 64 | 61 | 59 | 59 | 59 |
| Papierindustrie | 100 | 103 | 103 | 112 | 120 | 112 | 105 | 106 | 110 |
| Zellstoff | 100 | 117 | 116 | 129 | 141 | 140 | 128 | 129 | 138 |
| Papier und Karton | 100 | 101 | 103 | 112 | 119 | 111 | 104 | 104 | 108 |
| Rest | 100 | 96 | 86 | 86 | 86 | 81 | 80 | 80 | 79 |
| Druck | 100 | 98 | 91 | 94 | 97 | 92 | 88 | 89 | 90 |
| Kunststoff, Kautschuk | 100 | 87 | 88 | 101 | 117 | 127 | 140 | 153 | 170 |
| Chemische Industrie | 100 | 121 | 129 | 141 | 152 | 159 | 165 | 168 | 172 |
| Grundstoffe | 100 | 125 | 132 | 142 | 150 | 154 | 155 | 154 | 152 |
| Pharma | 100 | 121 | 129 | 142 | 153 | 161 | 167 | 170 | 175 |
| Rest | 100 | 121 | 129 | 141 | 152 | 159 | 166 | 169 | 174 |
| Steine und Erden | 100 | 88 | 85 | 89 | 93 | 90 | 91 | 89 | 87 |
| Zement | 100 | 86 | 83 | 87 | 90 | 86 | 87 | 82 | 75 |
| Ziegel und Keramik | 100 | 102 | 96 | 96 | 95 | 90 | 88 | 88 | 88 |
| Glas | 100 | 82 | 86 | 97 | 107 | 110 | 114 | 119 | 125 |
| Rest | 100 | 89 | 78 | 75 | 72 | 67 | 68 | 67 | 69 |
| Metall | 100 | 71 | 68 | 70 | 72 | 71 | 71 | 72 | 74 |
| Aluminium | 100 | 27 | 30 | 34 | 38 | 41 | 44 | 47 | 49 |
| Giessereien/Stahl | 100 | 105 | 99 | 99 | 98 | 94 | 92 | 92 | 92 |
| Galvanik | 100 | 90 | 80 | 80 | 79 | 75 | 74 | 73 | 72 |
| Rest | 100 | 95 | 88 | 92 | 94 | 91 | 91 | 90 | 91 |
| Maschinen/Apparate | 100 | 98 | 90 | 94 | 98 | 98 | 100 | 102 | 104 |
| Elektrotechnik | 100 | 97 | 93 | 98 | 104 | 105 | 107 | 109 | 113 |
| Uhren und Bijouterie | 100 | 100 | 90 | 92 | 93 | 90 | 89 | 90 | 90 |
| Uhrenindustrie | 100 | 100 | 91 | 93 | 94 | 91 | 91 | 91 | 92 |
| Bijouterie, Gravieranstalt | 100 | 99 | 86 | 86 | 85 | 79 | 79 | 78 | 77 |
| Holz, sonstiges Gewerbe | 100 | 96 | 90 | 96 | 102 | 101 | 103 | 105 | 108 |
| Bau | 100 | 90 | 83 | 93 | 96 | 101 | 104 | 107 | 108 |
| Bauhauptgewerbe | 100 | 90 | 83 | 93 | 96 | 101 | 105 | 107 | 108 |
| Haustechnik | 100 | 90 | 85 | 93 | 100 | 102 | 105 | 109 | 112 |
| Ausbaugewerbe | 100 | 89 | 82 | 89 | 94 | 94 | 95 | 96 | 98 |
| Gesamt | 100 | 96 | 94 | 100 | 105 | 105 | 106 | 107 | 109 |

Die relativ starke Zunahme des Energieverbrauchs bei der chemischen Industrie um 72 % ist Folge der hohen Wachstumsraten dieses Sektors. Während die Produktion im Bereich Grundstoffe um 71 % zunimmt, legt die Pharma und die übrige Chemie gar um 116 % zu. Analog verhält sich der Flächenbedarf, der - immer stärker in den Büros - für den Durchschnitt der Branche um 23 % zunimmt. Auf der energetischen Seite sind zwar Fortschritte zu verzeichnen, aber durch die verstärkte Tendenz zur "Spezialitäten-Chemie" sind hier gewisse Grenzen gesetzt. Die spezifischen Verbrauchsreduktionen bewegen sich dennoch (mit relativ geringen Unterschieden im Prozessvergleich) um -10 %. Auch in der Chemie gilt, dass die Aufwendungen für Umweltschutzmassnahmen zunehmen, aber im Vergleich zu andern Branchen deutlich unterproportional (um etwa +7 %). Der Grund hierfür liegt darin, dass der Energiebedarf für Umweltschutzmassnahmen schon heute einen Anteil am Gesamtverbrauch von knapp 6 % erreicht.

Steine und Erden zeigen eine Abnahme des Energieverbrauchs um 13 %. Hier steht die Zementindustrie im Vordergrund. Diese weist eine schwankende Inlandproduktion auf, die langfristig - aufgrund unserer Annahmen zur Auslandsverlagerung bzw. zur Importsubstitution - um rund 15 % abnimmt. Entsprechend nehmen auch die gesamthaft benötigten Flächen ab, wobei im Bürobereich noch eine kleine Zunahme von +5 % verbleibt. Energetisch besonders relevant sind die Verbesserungen beim Klinkerbrennen (-11 %) und beim Klinkermahlen (-34 %). Auch für die Zementindustrie gilt, dass der Umweltschutz spezifisch deutlich mehr Energie verlangt (+27 %), absolut gesehen bleibt der Umweltschutz energetisch aber ohne Bedeutung.

Gesamthaft gesehen nimmt der Energieverbrauch in der Metallindustrie um 26 % ab. Massgeblich an dieser Entwicklung sind die Aluminiumhütten und die Giessereien beteiligt:

- Rohaluminium wird in der Schweiz gemäss Modellannahme ab 1995 keines mehr produziert⁶, woraus sich allein schon ein Rückgang des Energieverbrauchs um rund 5 PJ erklärt. Die übrigen Produkte der Aluminiumindustrie zeigen aber bezogen auf 1995 ein ausserordentlich starkes Wachstum (100 % und mehr), was zur Folge hat, dass der Energieverbrauch gesamthaft gesehen (bezogen auf 1995) sich bis 2030 wieder fast verdoppelt (aber immer noch deutlich unter dem Niveau 1990 bleibt). Die Verbesserungen bei den spezifischen Verbrauchswerten betragen je nach Prozess um -9 bis -15 %. Beim Flächenbedarf zeigt sich der Strukturwandel der Aluminiumindustrie

⁶ Wie bereits erwähnt, ist die definitive Aufgabe der Rohaluminiumproduktion neu erst per 1997 vorgesehen.

sehr deutlich: Während die Produktionsflächen leicht abnehmen (-2 %), nehmen die Büroflächen um 46 % zu.

- Rückläufig ist auch der Energieverbrauch der Giessereien. Ab 1995 bleibt die Produktion konstant, so dass der Rückgang des Energieverbrauchs vor allem auf Effizienzfortschritte zurückzuführen ist. Diese sind denn auch recht erheblich; je nach Prozess machen sie zwischen 9 und 22 % aus. Der energetisch gesehen wichtigste Prozess (das eigentliche "Giessen") verbessert sich um 14 %. Der Flächenbedarf geht leicht um 12 % zurück, wobei nur ein unbedeutender Unterschied zwischen Büro- und Produktionsflächen besteht.

Der Energieverbrauch der Maschinenindustrie nimmt nur noch unwesentlich zu (+ 4 %), trotz der Erhöhung des Produktionsindex' um 61 %. Der klassische "Werkplatz Schweiz" bleibt also erhalten, wenn auch mit strukturellen Veränderungen (mehr High Tech gegenüber der bisherigen eher konventionellen Produktpalette). Dies schlägt sich denn auch in der Entwicklung des Flächenbedarfs nieder, indem der Bürobereich, der schon heute 18 % der Gesamtfläche belegt, mehr als vier mal stärker wächst als der Produktionsbereich und 2030 einen Anteil von 25 % erreicht. Energetisch gesehen ergeben sich für die meisten Prozesse spezifische Verbesserungen, die zwischen 13 und 20 % liegen. Angesichts des grossen Flächenbedarfs der Maschinenindustrie (rund 11 Mio m² im Jahr 2030) wird der Gesamtenergieverbrauch der Maschinenindustrie durch die haustechnischen Anwendungen wesentlich mitbestimmt. Für die Heizung geht der spezifische Verbrauch in den Produktionsräumen um 28 %, in den Büros um 48 % zurück, so dass trotz der Flächenzunahme eine erhebliche Verbrauchsminderung resultiert, die die Zunahme aus der eigentlichen Produktion vermindert.

Auch die Bauleistungen nehmen weiterhin zu, aber mit strukturellen Veränderungen: So bleibt das Bauhauptgewerbe mit einer Zunahme von +34 % deutlich hinter den übrigen Branchen im Baubereich, die um mehr als das Doppelte (um 74 %) zunehmen. Entsprechend verhält sich auch die Entwicklung des Flächenbedarfs: Jener des Bauhauptgewerbes nimmt mit 6 % (Produktion und Büro praktisch gleich) nur wenig zu, hingegen legt die Haustechnikbranche und das übrige Ausbaugewerbe mit 11 % im Produktionsbereich und 49 % im Bürobereich massiv zu. Der energetisch wichtigste Prozess in der Baubranche betrifft den Einsatz von Baumaschinen (Bagger, Kompressoren, etc.). Der hierfür nötige spezifische Energieverbrauch reduziert sich bis 2030 um 15 %. Der Gesamtenergieverbrauch nimmt um rund 8 % zu. Wie bei der Maschinenindustrie gilt, dass dieser Mehrverbrauch ohne die erheblichen Effizienzverbesserungen im Haustechnikbereich noch höher ausgefallen wäre.

6.4 Die Qualität der Resultate und Verbesserungsmöglichkeiten

Über die gesamte Industrie gerechnet, scheinen uns die Ergebnisse recht plausibel. Im Detail gibt es natürlich eine ganze Reihe von Punkten, die grundsätzlich einer Vertiefung bedürften, um eine höhere "Sicherheit" zu garantieren. Insbesondere auf der Ebene der einzelnen Branchen ist es deshalb durchaus möglich, dass die Einschätzungen noch nicht in jedem Fall völlig "wasserdicht" sind. Dies bezieht sich einerseits auf den technischen Input (Anlagen und Prozesse), andererseits auf die Entwicklung der Produktion und der Flächen. Ausserdem gibt es nicht abwendbare Unwägbarkeiten, beispielsweise bei Branchen, bei denen wenige Akteure über Standort, Produktion, Investition und Energieinput entscheiden. Hier machen Einzelentscheide, die als Unikate kaum vernünftig prognostizierbar sind, den grössten Teil der Entwicklungsdynamik aus.

Vor dem Hintergrund dieser Einschätzung und den aus den Modellierungsarbeiten hervorgehenden Erfahrungen würden wir für künftige Arbeiten folgende Verbesserungsmöglichkeiten sehen:

1. Die Energieperspektiven bis 2030 machten einen langfristig orientierten Modellansatz notwendig, der in seiner Input-Struktur frei von konjunkturellen Schwankungen ist. Das Modell des SGZZ beispielsweise prognostiziert sinnvollerweise keine konjunkturellen Einbrüche für das Jahr 2010 oder 2015. Gleichzeitig befinden wir uns aber in der Periode zwischen 1990 und 1995 in einer Phase mit einem starken wirtschaftlichen Einbruch und starken strukturellen Veränderungen. Das hat zur Folge, dass das Verhalten zwischen 2010 und 2015 nicht das gleiche sein kann wie das zwischen 1990 und 1995. Oder am Beispiel des Anlagenzubaus (welcher weitgehend unsere spezifischen Verbrauchsfaktoren steuert): Ein Wachstum der Produktion zwischen 1990 und 1995 nützt primär die noch vorhandenen, nicht ausgelasteten Kapazitäten aus, derweil ein Wachstum zwischen 2010 und 2015 einen säkularen Trend widerspiegelt, der zu einem Ausbau des Anlagenparks führt.

Diese Unterschiede haben wir im Modell, soweit es sich mit der langfristig orientierten Modellstruktur bewerkstelligen liess, berücksichtigt. Im Rahmen einer künftigen Modellrevision kann und soll dieser Effekt aber noch systematischer modelliert bzw. korrigiert werden.

2. Bei den Büroarbeitsflächen werden die Gebäudestrukturen (Grösse und Alter sowie Sanierungstätigkeit) in Analogie zu den Dienstleistungsgebäuden behandelt. Das heisst: Durch die Übernahme der von der ETH ermittelten spezifischen Verbräuche erfolgt implizit eine Gleichsetzung. Mittelfristig ist

es denkbar, dass wir für 1990 dieser Struktur eine spezifische Industrie-Büroflächen-Struktur überlagern, wofür aber Zwischenergebnisse aus dem Modell der ETH als Input notwendig sind. Was die Perspektiven betrifft, wäre das ebenfalls für die von W+P gegebenen Grössen- und Altersstrukturen möglich (nicht aber für die durch W+P nicht bearbeiteten EBF nach Energieträger).

Eine teilweise Abstimmung ist zwischen den Angaben von W+P bezüglich der Struktur der Produktionsflächen in der Industrie und den Bottom-up-Resultaten unseres Modells erfolgt. Hier stellen wir für 1990 und für die weitere Entwicklung stärker auf unsere Primärdaten ab. Ein späterer Einbau und eine gegenseitige Abstimmung der Alters- und Grössenstruktur von W+P wäre aber denkbar - dies dürfte das Resultat allerdings nicht allzu stark verändern.

3. Es gibt die mannigfaltigsten Vertiefungsmöglichkeiten bezüglich des Daten-Inputs. Insbesondere sollen Firmen und Verbände für die Einschätzung der zukünftigen Produktionsentwicklung sowie der notwendigen Betriebsflächen in Abhängigkeit der eingesetzten Technologien und Anlagen noch stärker einbezogen werden⁷.
4. Die bisherigen Vorgaben gehen von einer Art Fortschreibung aus. Insbesondere werden keine neuen (möglichen) Basistechnologien, keine wirtschaftlichen Brüche (in der einen oder andern Richtung), keine gesellschaftlichen Umbrüche und keine tiefgreifenden Änderungen beim Energieangebot unterstellt. Unser Modell ist aber in der Lage (natürlich mit einigem Zusatzaufwand), solche Trendbrüche im Sinne von Sensitivitätsanalysen durchzurechnen.
5. Ein Ergebnis unserer Modellrechnung ist die Erkenntnis, dass der spezifische Verbrauch am Anfang der Betrachtungsperiode stärker zurückgeht als gegen deren Ende. Im Sinne einer Sensitivitätsüberlegung wäre zu überprüfen, ob die technische Modell-Kohortenstruktur eventuell eine langsamere Reaktionsgeschwindigkeit beim Zubau von neuen Anlagen erhalten soll. Im weiteren ist der sich abflachende Rückgang des spezifischen Verbrauchs bezogen auf einen gegebenen Produktionsprozess zwar plausibel. Längerfristig, das heisst gegen Ende des Betrachtungszeitraums, müssten heute noch nicht bekannte Prozesse, Produktlinien usw. aufgenommen werden. Bisher haben wir das nur auf der Ebene der Anlagen gemacht (das heisst innerhalb eines Prozesses).

⁷ Das zur Zeit von Basics im Auftrag des BEW bearbeitete Projekt zu Standort-Fragen weist unter anderem in diese Richtung.

7. Szenarien IIa und IIb

7.1 Die Definition der Szenarien

Die Szenarien IIa und IIb unterscheiden sich gegenüber dem oben dargestellten Szenario I dadurch, dass weitere und vor allem stärker wirkende energiepolitische Instrumente oder Vorgaben angenommen werden. Es handelt sich dabei um "beabsichtigte Massnahmen". Die beiden Szenarien enthalten einen unterschiedlichen Massnahmen-Mix:

- Szenario IIa umfasst finanzielle Massnahmen (also Subventionen), haustechnische Vorschriften sowie freiwillige Vereinbarungen.
- Szenario IIb beinhaltet zusätzlich auch Instrumente zur Reduktion der CO₂-Emissionen.

Finanzielle Massnahmen

Sowohl im Szenario IIa wie auch im Szenario IIb wird eine finanzielle Unterstützung von Forschung und Entwicklung, von Pilot- und Demonstrationsanlagen sowie von Sanierungs- und Investitionsprogrammen unterstellt. In Tabelle 7-1 sind die gegenüber heute zusätzlich verfügbaren Finanzmittel, die direkt auf den Energieverbrauch der Industrie wirken⁸, aufgeführt. Neben der staatlichen Förderung wird zudem eine freiwillige Förderung der Elektrizitätswerke unterstellt (Stichwort: Demand Side Management).

Vorschriften und Vereinbarungen

Für die Szenarien IIa und IIb sind, in Abweichung zum Szenario I, weitere Massnahmen festgelegt worden: Zum einen werden die Vorschriften im Heizungsbereich erheblich verschärft (für Details vgl. ETH 1995), zum andern werden mit der Industrie zusätzliche freiwillige Vereinbarungen zur weiteren Reduktion der spezifischen Verbrauchswerte getroffen.

⁸ Wir weisen gewissermassen eine produktionstechnische Energieinzidenz aus. Es fliessen natürlich weitere Mittel an die Industrie (z.B. im Bereich Forschung und Entwicklung), die ihre energetische Wirkung aber andernorts (z.B. bei den Haushalten) entfalten.

Tab. 7-1: Zusätzliche Förderungsbeiträge in den Szenarien IIa und IIb, die für den Energieverbrauch in der Industrie relevant sind (in Mio Franken)

| | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Indirekte Förderung | | | | | | | |
| F&E | 5 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| P+D | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| Information/Beratung/Audit | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Aus-/Weiterbildung | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Direkte Förderung | | | | | | | |
| Erneuerbare Energien | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Abwärme | 1 | 2 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Förderung durch EW's | | | | | | | |
| DSM durch EW* | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 |
| Gesamt | 38 | 38 | 38 | 36 | 35 | 34 | 33 |

* Demand Side Management wird durch EW's und nicht durch den Bund finanziert ("freiwillige finanzielle Massnahme").

Massnahmen zur CO₂-Reduktion

Leitlinie für die Massnahmen bei der Industrie ist der Reduktionszielwert und nicht die Massnahme selbst. Für die eigentliche Ausgestaltung des Instrumentes gibt es zwei Spielvarianten:

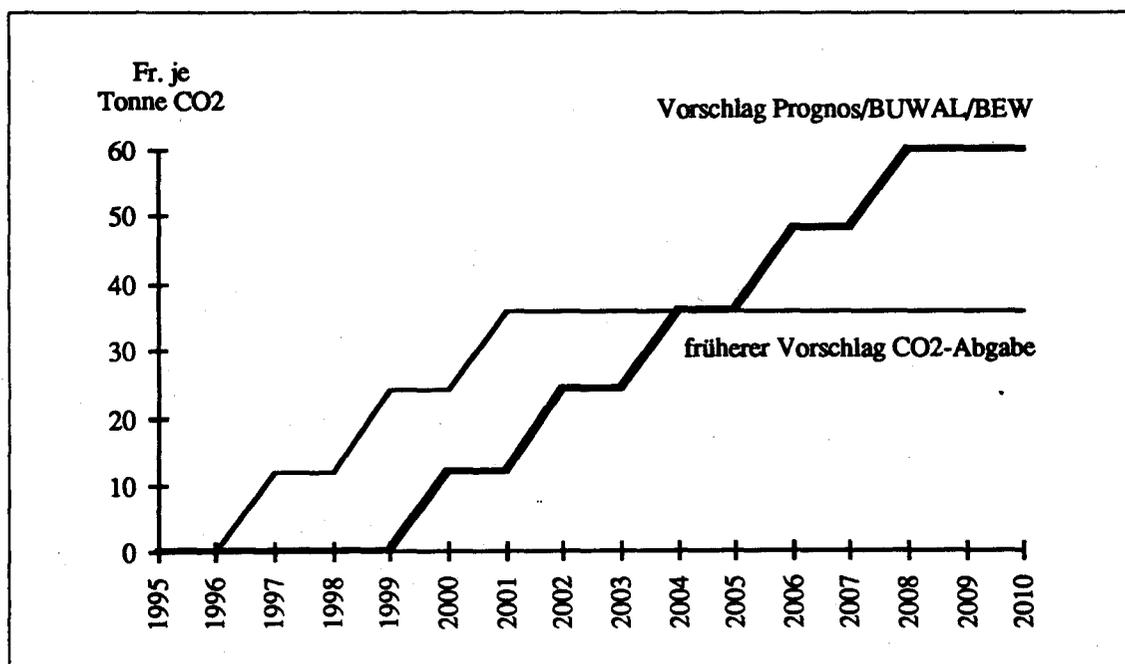
- Als "härteste" mögliche Massnahmenvariante wird dabei die CO₂-Abgabe (Szenario IIb) implementiert. Die Abgabe soll so bemessen sein, dass ein gesamtschweizerisches CO₂-Reduktionsziel von - 10 % bis 2010 gegenüber 1990 möglich wird⁹. Die hierfür von Prognos/BUWAL/BEW vorgeschlagene Abgabe geht von der gleichen Grundkonstruktion aus wie jene des früheren Vorschlages (EDI 1994): Ausgehend von einem Basissatz von 12 Franken je Tonne emittiertem CO₂ wird der Satz alle zwei Jahre um 12 Franken je Tonne angehoben. Während der frühere Vorschlag einen Maximal-Satz von 36 Franken je Tonne CO₂ vorsah, wird nun ein maximaler Satz

⁹ Für die Industrie allein ist das genannte CO₂-Reduktionsziel bereits im Referenz-Szenario erreichbar, wenn die Verwendung von Abfällen als CO₂-neutral gerechnet wird: 1990 betragen die gesamten (direkten) CO₂-Emissionen der Industrie rund 7.4 Mio Tonnen; 2010 betragen sie noch rund 6.1 Mio Tonnen, d.h. rund 18 % weniger. Selbst wenn in der Zementindustrie erheblich weniger Kohle (oder Heizöl) durch Abfälle ersetzt würden (vgl. Fussnote Seite 44), wäre das Ziel noch erreichbar.

von 60 Franken je Tonne CO₂ erreicht. Abb 7-2 zeigt den Zeitverlauf der CO₂-Zuschläge gemäss früherem Vorschlag und der hier untersuchten Abgabe (Prognos 1995a). Und Tabelle 7-3 zeigt die für die Industrie resultierenden Energiepreiserhöhungen. Zu den preispolitischen Massnahmen gehört auch die Variabilisierung der Stromtarife. Dies bedeutet, dass der fixe Tarifbestandteil abgebaut wird, was dazu führt, dass der Elektrizitätstarif unabhängig von der verbrauchten Menge ist und durch die höheren variablen Kosten einen stärkeren Sparanreiz darstellt. Die Variabilisierung gilt für beide Szenarien gleichermassen.

Damit die internationale Wettbewerbsfähigkeit so wenig als möglich beeinträchtigt wird, werden gerade für die energieintensiven Unternehmen alternativ freiwillige Massnahmen bzw. Verpflichtungen vorgesehen. Um von der CO₂-Abgabe befreit zu werden, müssen sich die Unternehmen verpflichten, eine CO₂-Begrenzung einzuhalten, für deren Bemessung die individuellen Gegebenheiten berücksichtigt werden. Notwendig dafür ist eine klar definierte Begrenzung, ein Massnahmenplan, die Überprüfung der Wirkung sowie ein fest installiertes Monitoring.

Abb. 7-2: CO₂-Abgabesätze gemäss Vorgabe Prognos



Tab. 7-3: Relative Energiepreiserhöhungen durch die CO₂-Abgabe für die Industrie (in %)

| | Heizöl EL | Heizöl MS | Erdgas | Kohle | Diesel |
|------|-----------|-----------|--------|-------|--------|
| 1990 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1995 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2000 | 11 | 21 | 6 | 43 | 3 |
| 2005 | 33 | 58 | 16 | 126 | 9 |
| 2010 | 52 | 93 | 27 | 206 | 15 |
| 2015 | 48 | 86 | 25 | 192 | 14 |
| 2020 | 44 | 78 | 23 | 179 | 14 |
| 2025 | 40 | 70 | 21 | 166 | 14 |
| 2030 | 34 | 61 | 19 | 154 | 13 |

7.2 Die Modellrechnungen

7.2.1 Die Veränderung der Hochrechnungsfaktoren

Bei energiepreiswirksamen Massnahmen ist davon auszugehen, dass sie die Industrie auch bezüglich ihrem Produktionsverhalten und nicht nur - wie vielfach unterstellt - in ihrem Energieverhalten beeinflussen. Dies gilt also namentlich für die in Szenario IIb angenommene CO₂-Abgabe, während die andern direkten und indirekten finanziellen Förderungsmassnahmen, Vorschriften und Abmachungen im wesentlichen nur auf das energetische Verhalten einen Einfluss haben.

Es ist also zu prüfen, auf welche Arten von Hochrechnungsfaktoren eine solche CO₂-Abgabe wirken kann. Theoretisch werden eigentlich alle Hochrechnungsfaktoren betroffen, sowohl für die Produktion als auch für die Energiebezugsflächen.

Bei den Energiebezugsflächen ist der quantitative Effekt nicht allzu gross. Die CO₂-Zuschläge werden ja nur auf den Heizungs-Anteil des Gebäudes bzw. der genutzten Fläche erhoben, und diese stellen wiederum nur einen kleinen Teil der gesamten Flächenkosten dar.

Bei der Produktion sind die Verhältnisse schwieriger. Zunächst ist zu fragen, ob durch eine zusätzliche Abgabe überhaupt ein quantitativer Effekt beobachtet

werden kann. Durch die hier angenommene CO₂-Abgabe sind die Nettobelastungen (d. h. nach allfälligen Rückerstattungen über eine Reduktion des Abgabensatzes aber ohne Berücksichtigung allfälliger technischer Reaktionen¹⁰) bei den meisten Branchen eher gering: Gemessen am Umsatz liegen diese zu meist deutlich unter 0.5 %, einige wenige energieintensive Branchen erreichen allerdings Werte, die bis etwa 2 % gehen. Es sind dies vor allem die Branchen Zement, Papier und Karton sowie Glas. Hier könnten dann die vorgesehenen freiwilligen Massnahmen bzw. Verpflichtungen zum Tragen kommen.

Während für die Zementindustrie ohnehin davon ausgegangen wird, dass im Rahmen von Energie 2000 die fossilen Energieträger zu einem grossen Teil durch Abfall substituiert werden und damit die Mehrbelastungen an sich gering sind, ist bei den andern Branchen eine gewisse Reaktion in der Produktion denkbar (Verlagerung ins Ausland, Produktionsminderung, Produktionseinstellung). Angesichts der Möglichkeit zur Selbstverpflichtung, welche gerade auf diese Problematik Rücksicht nimmt, und angesichts der vorgesehenen Abgabehöhe ist tendenziell sowieso nur mit einem kleinen Effekt zu rechnen. Aus diesen und aus methodischen Gründen (die unbeabsichtigten Effekte freiwilliger Massnahmen lassen sich kaum sinnvoll abschätzen) verzichten wir hier auf eine Quantifizierung.

7.2.2 Die Berechnung der spezifischen Verbräuche

Für die Ermittlung des Energieverbrauchs im Bürobereich übernehmen wir - wie schon für die Referenzvariante - die Resultate der ETH-Zürich in Form von Energiekennzahlen. Während für die Referenzvariante auf die alten Resultate der ETH aus dem Jahre 1994 abgestellt wird (vgl. Kapitel 4), werden für die Modellierung der Szenarien IIa und IIb die neuen Daten verwendet (ETH 1995). Diese Daten werden allerdings nur proportionalisiert übernommen, d. h. es wird nur der relative Unterschied der neuen Werte für Szenario I zu denen für Szenario IIa¹¹ berücksichtigt. Selbstverständlich werden hierbei die je nach Branchen sehr unterschiedlichen Verbrauchsniveaus und Energieträgersplits berücksichtigt.

Die Modellierung der energiepolitischen Massnahmen fusst für den Energieverbrauch in der eigentlichen Produktion auf den folgenden drei Eckpfeilern, die modellmässig aufeinander abgestimmt werden:

¹⁰ Technische Reaktionen sind Substitutions- und Energiesparmassnahmen.

¹¹ Für die Berechnung von Szenario IIb werden Elastizitätsannahmen von Prognos herangezogen (Prognos 1995).

- Im Vordergrund stehen die Informationen zu einzelnen Anlagen, d. h. die quantitativ fixierten Sparmöglichkeiten durch Verhaltensänderungen und durch kleinere technische Sanierungen bei den in den jeweiligen Jahren vorhandenen Anlagen.
- Dann besteht die Möglichkeit, beim Ersatz von alten Anlagen in das Auswahlverfahren für neue Anlagen einzugreifen, nämlich über die Formulierung von bestimmten "Zubau- oder Abbau-Bedingungen".
- Schliesslich bilden die Schätzungen der Prognos zu direkten und indirekten Energiepreiselastizitäten einen wichtigen Input, die mit unserem Bottom-up-Ansatz geeignet kombiniert werden.

Sparmöglichkeiten

Für jeden der 209 Prozesse des Produktionsbereichs wurden - basierend auf Literaturauswertungen und Expertengesprächen - für alle Anlagen individuell Sparmöglichkeiten als zeitabhängiger Prozentsatz definiert, die dem durch Szenario II gegebenen energiepolitischen Umfeld entsprechen. Hierbei wurde unterschieden zwischen Effekten, die allein auf das Verhalten zurückgeführt werden können und solchen Effekten, die kleinere Sanierungen erfordern, aber die Anlage im wesentlichen unverändert lassen. (Stärker oder gar völlig sanierte Anlagen entsprechen in unserem Schema einer neuen Anlage, die nach Bedarf ohnehin zugebaut werden kann). Diese Sparmöglichkeiten liegen in der Grössenordnung von einigen Prozenten.

Als Effekt einer Variabilisierung der Elektrizitätstarife unterstellen wir eine zusätzliche Einsparung von durchschnittlich 0.2 %. Der Variabilisierung überlagert wird das Least Cost Planing (LCP) für Elektrizität¹². Aufgrund internationaler Erfahrungen (Ex-post-Analysen) ist im schweizerischen Kontext nur mit einer Verbrauchsreduktion in der Grössenordnung von 0.3 bis 0.5 % zu rech-

¹² Wir gehen hierbei davon aus, das für das Gas mit dem LCP keine Verbrauchsreduktion resultiert (die grossen Gasverbraucher werden nach neueren Untersuchungen in der Schweiz ohnehin entlang den effektiven Grenzkosten tarifiert [vgl. z.B. Infras 1990] und haben darüberhinaus zum Kappen von Netzspitzen Abschaltregelungen mit den Gasversorgern getroffen; für die kleineren Verbraucher ist LCP umgekehrt aus Mengen- gründen kein Thema).

nen (was etwa einem Drittel dessen entspricht, was man für die USA rechnet, vgl. Spring 1992)¹³.

Auswahlverfahren

Energiepolitische Massnahmen, die auf technische Vorschriften und/oder den technischen Fortschritt zielen, werden durch entsprechende Anpassungen beim Auswahlverfahren von neuen Anlagen abgebildet. Beispielsweise kann die Verfügbarkeit neuer Elektromotoren um fünf Jahre vorverlegt werden (was wir für das Szenario II effektiv als Reaktionsmuster angenommen haben). Die umgekehrte Möglichkeit, bestehende Anlagen vor Ablauf ihrer wirtschaftlichen Lebensdauer zu ersetzen, haben wir nicht gewählt. Dies aus zwei Gründen: Für jene Branchen, wo dies überhaupt nur Sinn machen würde, ist durch den konjunkturellen Einbruch der frühen 90er Jahre schon in der Referenzvariante der bis ins Jahr 2000 fortgeschriebene alte Teil des Anlagenparks stark dezimiert worden; ein zusätzliches vorzeitiges Ersetzen käme dann eindeutig einem Übersteuern gleich.

Dann besteht die Möglichkeit, bestimmte Bedingungen zu formulieren, etwa bezüglich dem Automatisierungsgrad oder dem Recyclinggrad (sofern sinnvoll). Von dieser Möglichkeit haben wir keinen Gebrauch gemacht, denn der damit zu erreichende Effekt ist durch die übrigen Massnahmen längstens ausgeschöpft (modellmässig: Solche Bedingungen ergeben mit realistischen quantitativen Schranken im Konzert der übrigen Massnahmen keine zusätzlichen Verbrauchsreduktion - sie greifen ins Leere).

Energiepreiselastizitäten

Ausgehend von den Elastizitätsannahmen der Prognos für den Industriesektor (kurzfristig -0.1, mittel- und langfristig -0.2, jeweils für alle Energieträger gleich) ergeben sich für die vorgeschlagene CO₂-Abgabe die in Tabelle 7-4 zusammengefassten Verbrauchsreduktionen in Prozenten (ohne Branchen bzw. Betriebe mit Selbstverpflichtungen).

¹³ Dieser bescheidene Effekt steht nur scheinbar im Widerspruch zu aktuellen schweizerischen Studien, etwa zur Untersuchung über das Elektrizitätswerk Schaffhausen (EWS), für welches erheblich grössere Verbrauchsreduktionen ermittelt wurden, wenn sich das EWS als Dienstleistungsunternehmen etwa im Sinne des LCP verstehen würde (CUB 1994). Denn die möglichen Einsparungen werden in einem statischen Kontext ermittelt, wogegen unsere Perspektivrechnungen dynamisch ablaufen, und damit "automatisch" den technischen Fortschritt realisieren, der mit dem Least Cost Planning nur schneller ausgeschöpft wird.

Tab. 7-4: Direkte Energieverbrauchseffekte der CO2-Abgabe (in %)

| | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|-----------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Heizöl EL | 0.0 | -2.0 | -3.3 | -8.4 | -10.4 | -13.7 | -12.9 | -11.4 |
| Heizöl MS | 0.0 | -3.4 | -5.7 | -14.4 | -17.2 | -23.1 | -21.3 | -19.0 |
| Gas | 0.0 | -1.1 | -1.8 | -4.9 | -6.0 | -8.1 | -7.2 | -6.6 |
| Kohle | 0.0 | -7.7 | -12.9 | -32.2 | -39.2 | -51.8 | -47.7 | -41.8 |
| Diesel | 0.0 | -0.7 | -1.2 | -3.2 | -4.0 | -5.6 | -5.0 | -5.0 |

Neben der direkten Verbrauchsreduktion durch die CO2-Abgabe ergeben sich aber auch Substitutionseffekte. Die Tabelle 7-5 fasst die Substitutionsrelationen zusammen, die wir - ausgehend von den Daten der Prognos - verwendet haben. Sowohl Gas als auch Elektrizität zeigen Verbrauchszunahmen als Folge von Substitutionsprozessen.

Tab. 7-5: Substitutionseffekte als Folge der CO2-Abgabe (in %)

| | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|-------------------------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Heizöl MS -> Gas: Gas | 0.0 | 1.3 | 2.1 | 5.6 | 8.0 | 10.9 | 11.1 | 9.8 |
| Kohle -> Heizöl MS/Gas: Kohle | 0.0 | -5.9 | -9.9 | -30.5 | -44.4 | -60.9 | -63.6 | -54.8 |
| HEL-> Gas: Gas | 0.0 | -0.4 | -0.6 | -2.1 | -3.2 | -4.2 | -4.5 | -4.2 |
| Elektrizität | 0.0 | 0.1 | 0.3 | 1.0 | 1.6 | 2.8 | 2.5 | 2.3 |

7.3 Resultate

7.3.1 Zusammenfassung der Vorgaben

Tabelle 7-6 fasst die für die Szenarien IIa und IIb gegenüber Szenario I zusätzlich geltenden energiepolitischen Vorgaben nochmals knapp zusammen.

Tab. 7-6: Energiepolitische Vorgaben für die Szenarien IIa und IIb im Vergleich zum Szenario I

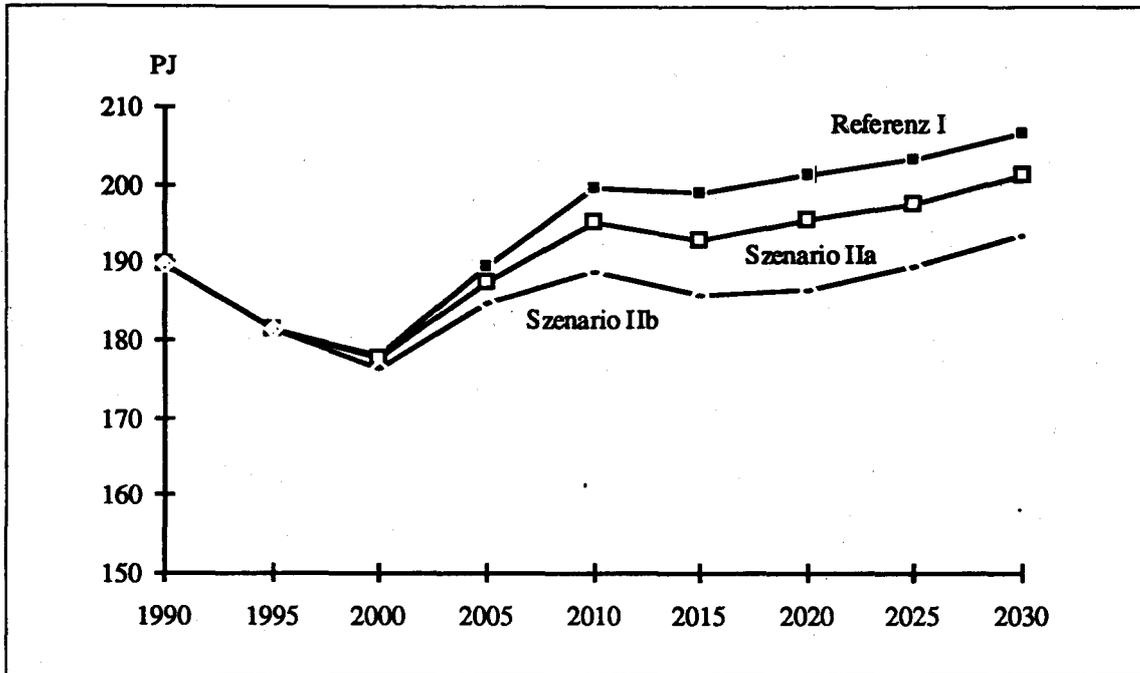
| | zusätzlich in Szenario IIa (im Vergleich zu I) | zusätzlich in Szenario IIb (im Vergleich zu IIa) |
|-----------------------------------|--|---|
| Preispolitische Massnahmen | Variabilisierung der fixen Tarifbestandteile für die Elektrizität | CO ₂ -Abgabe mit Rückerstattung |
| Finanzielle Massnahmen | <ul style="list-style-type: none"> - zusätzliche Förderungsbeiträge für F&E, P+D, Information, Beratung, Audits, Aus- und Weiterbildung, für erneuerbare Energien, Abwärmenutzung - DSM-Förderung durch EW's | |
| Vorschriften | <ul style="list-style-type: none"> - Energiegesetz (anstelle Energienutzungsbeschluss) mit verschärften Anforderungen im Gebäudebereich - Freiwillige Vereinbarungen | |

7.3.2 Die Resultate im Überblick

Ausgehend von den oben ausgeführten Überlegungen ergeben sich für den Netto-Energieverbrauch der Industrie die in Abbildung 7-7 dargestellten Verläufe. Zum Vergleich ist auch die Entwicklung gemäss Referenzvariante eingetragen (vgl. auch Tabelle 7-8). Daraus ergibt sich, dass die beabsichtigte Politik gemäss Szenario IIa den Verbrauch bis ins Jahr 2010 gegenüber der Referenzvariante bereits sichtbar abzusenken vermag und - langfristig gesehen von grösserer Bedeutung - den Wiederanstieg nach 2000 so sehr dämpft, dass ein etwa konstanter Unterschied bis zum Ende des Betrachtungszeitraumes verbleibt. Nach unseren Modellrechnungen ist der Unterschied zwischen den beiden Varianten im Jahr 2015 am grössten, dann nimmt er kontinuierlich ab.

Grundsätzlich die gleiche Entwicklung zeigt sich bezüglich Szenario IIb, wobei durch die CO₂-Abgabe eine mehr als doppelt so grosse Energieverbrauchsreduktion erreicht wird. Der grösste Unterschied zwischen Referenz-Szenario und Szenario IIb wird allerdings erst 2015 erreicht - Folge der "Trägheit" im Anlagenpark.

Abb. 7-7: Entwicklung des Netto-Energieverbrauchs der Szenarien I, IIa und IIb



Tab. 7-8: Entwicklung des Netto-Energieverbrauchs der Szenarien I, IIa und IIb

| | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Referenz I (TJ) | 189'778 | 181'480 | 178'106 | 189'538 | 199'471 | 199'034 | 201'285 | 203'241 | 206'723 |
| Szenario IIa (TJ) | 189'778 | 181'480 | 177'779 | 187'294 | 195'199 | 192'890 | 195'577 | 197'652 | 201'209 |
| Differenz zu I (TJ) | 0 | 0 | -327 | -2'244 | -4'271 | -6'143 | -5'708 | -5'589 | -5'514 |
| Differenz zu I (%) | 0.00 | 0.00 | -0.18 | -1.18 | -2.14 | -3.09 | -2.84 | -2.75 | -2.67 |
| Szenario IIb (TJ) | 189'778 | 181'480 | 176'366 | 184'879 | 188'817 | 185'767 | 186'568 | 189'330 | 193'539 |
| Differenz zu I (TJ) | 0 | 0 | -1'741 | -4'659 | -10'654 | -13'267 | -14'717 | -13'911 | -13'185 |
| Differenz zu I (%) | 0.00 | 0.00 | -0.98 | -2.46 | -5.34 | -6.67 | -7.31 | -6.84 | -6.38 |

Die hier ausgewiesenen Ergebnisse beziehen sich auf die Gesamtwirkung aller berücksichtigten Massnahmen. Im Rahmen einer Massnahmenanalyse soll versucht werden, den Beitrag der einzelnen Massnahmen zu separieren.

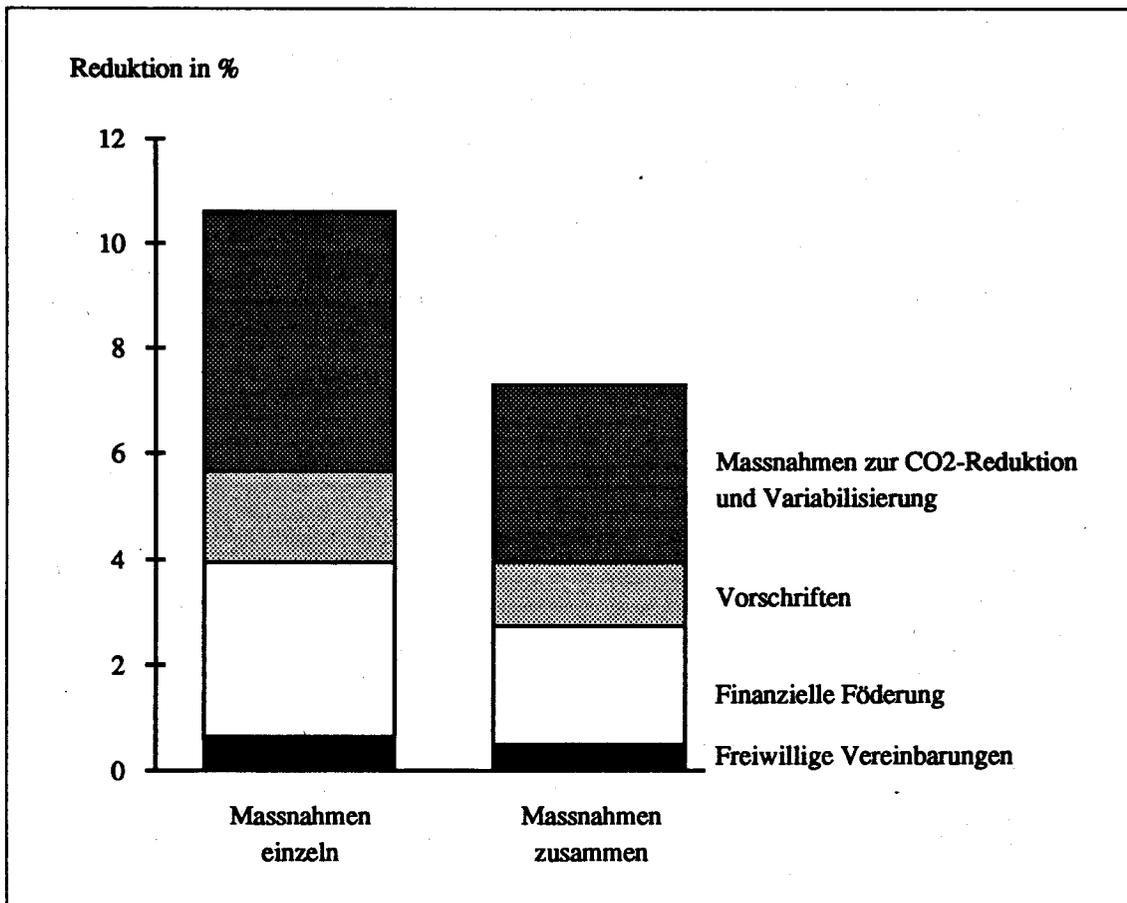
Grundsätzlich ist zunächst folgendes festzustellen: Der Gesamteffekt aller Massnahmen zusammengenommen ist kleiner als die Summe der Wirkungen der einzelnen Massnahmen. Ein bestimmtes Energiesparpotential, z. B. die energetische Sanierung einer Anlage, kann nur einmal realisiert werden.

Unsere Massnahmenanalyse stützt sich auf vier Pfeiler

- Zum einen haben wir mit dem Modell anhand von geschätzten Einzel-Elastizitäten auf Anlagen- bzw. Prozessebene die Wirkungen der CO₂-Abgabe (inklusive der Variabilisierung der fixen Tarifbestandteile bei der Elektrizität) ohne weitere Massnahmen bestimmt.
- Zum andern haben wir mittels Hilfsrechnungen die alleinigen Wirkungen der finanziellen Massnahmentypen abgeschätzt. Hierbei sind, ausgehend von Überlegungen zu Mitnehmereffekten (wir gehen gemäss Vorgabe BEW von etwa 25 % aus) im Sinne von Kosten-Nutzen-Analysen mögliche Einspareffekte solcher Investitionsanreize abgeschätzt worden.
- Dann haben wir den alleinigen Effekt der verschärften haustechnischen Vorschriften quantifiziert.
- Und schliesslich haben wir die Wirkung der freiwilligen nicht-monetären Vereinbarungen abgeschätzt. Ansatz hierzu waren die auf Anlagenebene ermittelten Sparpotentiale, welche im Rahmen der freiwilligen Vereinbarungen zu etwa 20 % in einzelnen Branchen ausgeschöpft werden.

In der Abbildung 7-9 sind die Ergebnisse dieser Analyse für das Jahr 2020 dargestellt. Daraus werden die oben angeführten Zusammenhänge ersichtlich: Zählt man die Wirkung der einzelnen Massnahmen zusammen, so käme man auf einen gesamten durchschnittlichen Spareffekt von rund 11 %. Durch die Kumulation der Massnahmen reduziert sich die Gesamtwirkung auf die oben ausgewiesenen rund 7 %.

Abb. 7-9: Reduktion des Netto-Energieverbrauchs in Szenario IIb gegenüber dem Referenz-Szenario (Angaben für 2020)



7.3.3 Die Resultate nach Energieträger

Die Tabellen 7-10a bis 7-10c stellen die Entwicklung der einzelnen Energieträger für Szenario IIa, die Tabellen 7-11a bis 7-11c für Szenario IIb dar. Die Tabellen 7-12a und 7-12b zeigen den Unterschied zwischen den Szenarien IIa und IIb.

Szenario IIa unterscheidet sich von der Referenzvariante quantitativ, aber nicht strukturell. Der Verbrauch aller Energieträger ist etwas geringer (einige Prozentpunkte). Dies korreliert damit, dass die für dieses Szenario vorgesehenen energiepolitischen Massnahmen zwischen den Energieträgern nicht stark differenzieren.

Interessanter ist der Unterschied zwischen den Szenarien IIa und IIb; denn hier kommt die nach Energieträger deutlich stärker differenzierende CO₂-Abgabe zum Tragen. Wenig überraschend ist zunächst, dass die Elektrizität von der Belastung der fossilen Energieträger profitiert. Die Elektrizität profitiert allerdings nicht direkt (dies würde für die Industrie weder technisch noch wirtschaftlich Sinn machen), sondern über Energiesparmassnahmen, die einen Mehrverbrauch von Elektrizität nachsichziehen. Klassisches Beispiel: Ein thermischer Separationsprozess wird durch einen Diffusionsprozess ersetzt.

Aber auch das Gas profitiert von einer CO₂-Abgabe, auch wenn der quantitative Saldo-Effekt zwischen direkter Verbrauchsreduktion und Substitutionsgewinnen eher gering ist.

Weiter fällt auf, dass in Szenario IIb die Kohle als Energieträger allmählich ganz verschwindet.¹⁴ Dabei gehen wir davon aus, dass die nicht-energetischen Funktionen der energetischen Kohlenutzung (etwa in der Stahlindustrie) durch andere kohlenstoffhaltige Materialien übernommen werden können. Selbst wenn diese Annahme nicht zutreffen sollte, wird die Kohle bei den für die Szenarien geltenden Randbedingungen ein total unbedeutender Energieträger.

Tab. 7-10a: Netto-Energieverbrauch für Szenario IIa (in TJ)

| | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Heizöl EL | 25'312 | 22'101 | 18'469 | 18'340 | 18'057 | 16'379 | 16'485 | 16'536 | 16'857 |
| Gas | 31'861 | 40'596 | 42'112 | 43'898 | 45'441 | 45'393 | 46'056 | 46'720 | 48'111 |
| Elektrizität | 56'881 | 53'116 | 54'005 | 58'045 | 61'846 | 62'619 | 64'262 | 65'924 | 67'649 |
| Fernwärme | -4'064 | -3'861 | -4'657 | -4'816 | -5'017 | -5'251 | -5'489 | -5'449 | -5'444 |
| Holz | 2'487 | 2'410 | 2'210 | 2'298 | 2'383 | 2'589 | 2'784 | 2'877 | 2'951 |
| Kohle | 14'697 | 5'472 | 1'981 | 1'960 | 2'060 | 1'929 | 1'882 | 1'896 | 1'953 |
| Diesel | 9'998 | 9'209 | 8'743 | 9'620 | 9'874 | 10'292 | 10'765 | 11'142 | 11'315 |
| Heizöl MS | 21'077 | 14'683 | 12'931 | 13'736 | 14'435 | 13'330 | 13'336 | 13'505 | 13'817 |
| Abfall | 31'529 | 37'755 | 41'985 | 44'213 | 46'119 | 45'609 | 45'495 | 44'501 | 44'000 |
| Summe | 189'778 | 181'480 | 177'779 | 187'294 | 195'199 | 192'890 | 195'577 | 197'652 | 201'209 |

¹⁴ Allerdings gilt hier das weiter vorne bereits Erwähnte: Nach neuesten Erkenntnissen soll die Kohle beim Zement deutlich weniger stark abnehmen.

Tab. 7-10b: Netto-Energieverbrauch für Szenario IIa im Vergleich mit Szenario I (in TJ)

| | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|--------------|------|------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Heizöl EL | 0 | 0 | -75 | -733 | -1'436 | -1'766 | -1'572 | -1'488 | -1'379 |
| Gas | 0 | 0 | -98 | -855 | -1'695 | -2'284 | -2'020 | -1'847 | -1'595 |
| Elektrizität | 0 | 0 | -54 | -281 | -489 | -1'070 | -1'203 | -1'443 | -1'824 |
| Fernwärme | 0 | 0 | 4 | 13 | 29 | 67 | 54 | 44 | 46 |
| Holz | 0 | 0 | -3 | -21 | -35 | -204 | -188 | -155 | -131 |
| Kohle | 0 | 0 | -8 | -30 | -53 | -73 | -61 | -54 | -49 |
| Diesel | 0 | 0 | -8 | -53 | -96 | -176 | -152 | -139 | -130 |
| Heizöl MS | 0 | 0 | -64 | -185 | -304 | -366 | -327 | -296 | -267 |
| Abfall | 0 | 0 | -22 | -101 | -193 | -270 | -241 | -211 | -184 |
| Summe | 0 | 0 | -327 | -2'244 | -4'271 | -6'143 | -5'708 | -5'589 | -5'514 |

Tab. 7-10c: Netto-Energieverbrauch für Szenario IIa im Vergleich mit Szenario I (in %)

| | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|--------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Heizöl EL | 0.00 | 0.00 | -0.40 | -3.84 | -7.37 | -9.74 | -8.70 | -8.26 | -7.56 |
| Gas | 0.00 | 0.00 | -0.23 | -1.91 | -3.60 | -4.79 | -4.20 | -3.80 | -3.21 |
| Elektrizität | 0.00 | 0.00 | -0.10 | -0.48 | -0.78 | -1.68 | -1.84 | -2.14 | -2.63 |
| Fernwärme | 0.00 | 0.00 | -0.09 | -0.28 | -0.58 | -1.27 | -0.98 | -0.80 | -0.84 |
| Holz | 0.00 | 0.00 | -0.13 | -0.89 | -1.44 | -7.30 | -6.31 | -5.10 | -4.25 |
| Kohle | 0.00 | 0.00 | -0.38 | -1.50 | -2.52 | -3.62 | -3.12 | -2.79 | -2.46 |
| Diesel | 0.00 | 0.00 | -0.09 | -0.54 | -0.96 | -1.68 | -1.39 | -1.23 | -1.13 |
| Heizöl MS | 0.00 | 0.00 | -0.50 | -1.33 | -2.06 | -2.67 | -2.39 | -2.15 | -1.89 |
| Abfall | 0.00 | 0.00 | -0.05 | -0.23 | -0.42 | -0.59 | -0.53 | -0.47 | -0.42 |
| Summe | 0.00 | 0.00 | -0.18 | -1.18 | -2.14 | -3.09 | -2.84 | -2.75 | -2.67 |

Tab. 7-11a: Netto-Energieverbrauch für Szenario IIb (in TJ)

| | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Heizöl EL | 25'312 | 22'101 | 17'951 | 17'447 | 15'466 | 13'039 | 12'086 | 12'114 | 12'758 |
| Gas | 31'861 | 40'596 | 42'049 | 43'774 | 45'312 | 45'623 | 46'151 | 47'463 | 48'949 |
| Elektrizität | 56'881 | 53'116 | 54'076 | 58'231 | 62'521 | 63'802 | 66'361 | 67'862 | 69'423 |
| Fernwärme | -4'064 | -3'861 | -4'657 | -4'816 | -5'017 | -5'251 | -5'489 | -5'449 | -5'444 |
| Holz | 2'487 | 2'410 | 2'210 | 2'298 | 2'383 | 2'589 | 2'784 | 2'877 | 2'951 |
| Kohle | 14'697 | 5'472 | 1'710 | 1'509 | 752 | 288 | 0 | 0 | 0 |
| Diesel | 9'998 | 9'209 | 8'680 | 9'504 | 9'560 | 9'874 | 10'154 | 10'573 | 10'743 |
| Heizöl MS | 21'077 | 14'683 | 12'363 | 12'719 | 11'721 | 10'194 | 9'025 | 9'388 | 10'159 |
| Abfall | 31'529 | 37'755 | 41'985 | 44'213 | 46'119 | 45'609 | 45'495 | 44'501 | 44'000 |
| Summe | 189'778 | 181'480 | 176'366 | 184'879 | 188'817 | 185'767 | 186'568 | 189'330 | 193'539 |

Tab. 7-11b: Netto-Energieverbrauch für Szenario IIb im Vergleich mit Szenario I (in TJ)

| | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|--------------|----------|----------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Heizöl EL | 0 | 0 | -594 | -1'626 | -4'028 | -5'106 | -5'971 | -5'910 | -5'479 |
| Gas | 0 | 0 | -161 | -979 | -1'823 | -2'055 | -1'925 | -1'104 | -757 |
| Elektrizität | 0 | 0 | 17 | -94 | 185 | 113 | 896 | 496 | -50 |
| Fernwärme | 0 | 0 | 4 | 13 | 29 | 67 | 54 | 44 | 46 |
| Holz | 0 | 0 | -3 | -21 | -35 | -204 | -188 | -155 | -131 |
| Kohle | 0 | 0 | -279 | -481 | -1'361 | -1'714 | -1'942 | -1'951 | -2'003 |
| Diesel | 0 | 0 | -71 | -169 | -410 | -595 | -763 | -707 | -702 |
| Heizöl MS | 0 | 0 | -633 | -1'202 | -3'018 | -3'503 | -4'638 | -4'413 | -3'925 |
| Abfall | 0 | 0 | -22 | -101 | -193 | -270 | -241 | -211 | -184 |
| Summe | 0 | 0 | -1'741 | -4'659 | -10'654 | -13'267 | -14'717 | -13'911 | -13'185 |

Tab. 7-11c: Netto-Energieverbrauch für Szenario IIb im Vergleich mit Szenario I (in %)

| | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|--------------|------|------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| Heizöl EL | 0.00 | 0.00 | -3.20 | -8.52 | -20.66 | -28.14 | -33.07 | -32.79 | -30.04 |
| Gas | 0.00 | 0.00 | -0.38 | -2.19 | -3.87 | -4.31 | -4.00 | -2.27 | -1.52 |
| Elektrizität | 0.00 | 0.00 | 0.03 | -0.16 | 0.30 | 0.18 | 1.37 | 0.74 | -0.07 |
| Fernwärme | 0.00 | 0.00 | -0.09 | -0.28 | -0.58 | -1.27 | -0.98 | -0.80 | -0.84 |
| Holz | 0.00 | 0.00 | -0.13 | -0.89 | -1.44 | -7.30 | -6.31 | -5.10 | -4.25 |
| Kohle | 0.00 | 0.00 | -14.04 | -24.15 | -64.41 | -85.61 | -100.00 | -100.00 | -100.00 |
| Diesel | 0.00 | 0.00 | -0.81 | -1.74 | -4.11 | -5.68 | -6.99 | -6.27 | -6.13 |
| Heizöl MS | 0.00 | 0.00 | -4.87 | -8.63 | -20.48 | -25.57 | -33.95 | -31.97 | -27.87 |
| Abfall | 0.00 | 0.00 | -0.05 | -0.23 | -0.42 | -0.59 | -0.53 | -0.47 | -0.42 |
| Summe | 0.00 | 0.00 | -0.98 | -2.46 | -5.34 | -6.67 | -7.31 | -6.84 | -6.38 |

Tab. 7-12a: Netto-Energieverbrauch für Szenario IIb im Vergleich mit Szenario IIa (in TJ)

| | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|--------------|------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Heizöl EL | 0 | 0 | -519 | -893 | -2'592 | -3'340 | -4'399 | -4'422 | -4'100 |
| Gas | 0 | 0 | -63 | -124 | -129 | 229 | 95 | 743 | 838 |
| Elektrizität | 0 | 0 | 71 | 186 | 674 | 1'183 | 2'099 | 1'938 | 1'775 |
| Fernwärme | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Holz | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Kohle | 0 | 0 | -272 | -451 | -1'308 | -1'641 | -1'882 | -1'897 | -1'953 |
| Diesel | 0 | 0 | -63 | -116 | -314 | -419 | -611 | -569 | -572 |
| Heizöl MS | 0 | 0 | -568 | -1'017 | -2'714 | -3'137 | -4'311 | -4'117 | -3'658 |
| Abfall | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Summe | 0 | 0 | -1'413 | -2'415 | -6'382 | -7'124 | -9'009 | -8'322 | -7'670 |

Tab. 7-12b: Netto-Energieverbrauch für Szenario IIb im Vergleich mit Szenario IIa (in %)

| | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|--------------|------|------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| Heizöl EL | 0.00 | 0.00 | -2.81 | -4.87 | -14.35 | -20.39 | -26.69 | -26.74 | -24.32 |
| Gas | 0.00 | 0.00 | -0.15 | -0.28 | -0.28 | 0.51 | 0.21 | 1.59 | 1.74 |
| Elektrizität | 0.00 | 0.00 | 0.13 | 0.32 | 1.09 | 1.89 | 3.27 | 2.94 | 2.62 |
| Fernwärme | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Holz | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Kohle | 0.00 | 0.00 | -13.71 | -23.00 | -63.48 | -85.07 | -100.00 | -100.00 | -100.00 |
| Diesel | 0.00 | 0.00 | -0.72 | -1.21 | -3.18 | -4.07 | -5.68 | -5.10 | -5.06 |
| Heizöl MS | 0.00 | 0.00 | -4.39 | -7.41 | -18.80 | -23.53 | -32.33 | -30.48 | -26.47 |
| Abfall | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Summe | 0.00 | 0.00 | -0.80 | -1.29 | -3.27 | -3.69 | -4.61 | -4.21 | -3.81 |

7.3.4 Die Resultate nach Verwendungszwecken

Während sich die Verbrauchsreduktionen von Szenario IIa gegenüber der Referenzvariante bezüglich der Energieträger nicht stark voneinander unterscheiden, zeigen sich deutlichere Unterschiede bei den Verwendungszwecken (vgl. Tabellen 7-13a bis 7-13c). Die Verbrauchsreduktionen rühren zu über 50 % aus dem Heizungsbereich, obwohl dieser nur etwa 10 % am gesamten Energieverbrauch ausmacht.

Diese ändert sich deutlich, wenn die CO₂-Abgabe hinzugenommen wird (vgl. Tabellen 7-14 a bis 7-14c): Bei der Prozesswärme wird nun, in absoluten Größen deutlich mehr gespart, so dass fast 60 % der Einsparung gegenüber der Referenzvariante auf ihr Konto gehen. Umgekehrt wird für mechanische Prozesse mehr Energie aufgewendet als in der Referenzvariante: Ausdruck dafür, dass thermische Prozesse durch mechanische Prozesse ersetzt werden (vgl. das schon erwähnte Beispiel des Ersatzes einer thermischen Separation durch einen [mechanisch] getriebenen Diffusionsprozess).

Tab. 7-13a: Verbrauch nach Verwendungszwecken im Szenario IIa (in TJ)

| | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Heizung | 32'234 | 31'466 | 26'596 | 25'419 | 24'051 | 21'341 | 21'124 | 21'256 | 21'538 |
| Prozesswärme | 90'270 | 83'759 | 84'193 | 90'321 | 95'811 | 95'855 | 97'403 | 97'979 | 99'584 |
| mech. Prozesse | 33'595 | 34'157 | 35'105 | 37'666 | 40'150 | 40'446 | 41'208 | 42'273 | 43'515 |
| Licht, EDV | 5'613 | 5'578 | 5'598 | 5'790 | 5'940 | 5'808 | 6'056 | 6'142 | 6'164 |
| Sonstige | 9'966 | 9'172 | 8'704 | 9'578 | 9'833 | 10'248 | 10'716 | 11'085 | 11'251 |
| WKK | 18'100 | 17'350 | 17'583 | 18'520 | 19'414 | 19'192 | 19'070 | 18'917 | 19'157 |
| Gesamt | 189'778 | 181'480 | 177'779 | 187'294 | 195'199 | 192'890 | 195'577 | 197'652 | 201'209 |

Tab. 7-13b: Verbrauch nach Verwendungszwecken im Szenario IIa im Vergleich mit Szenario I (in TJ)

| | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|----------------|----------|----------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Heizung | 0 | 0 | -227 | -1'638 | -3'122 | -3'930 | -3'562 | -3'324 | -2'921 |
| Prozesswärme | 0 | 0 | -43 | -278 | -570 | -1'234 | -1'343 | -1'509 | -1'745 |
| mech. Prozesse | 0 | 0 | -6 | -36 | -79 | -159 | -156 | -163 | -189 |
| Licht, EDV | 0 | 0 | -38 | -204 | -332 | -526 | -402 | -374 | -458 |
| Sonstige | 0 | 0 | -8 | -52 | -95 | -175 | -150 | -137 | -129 |
| WKK | 0 | 0 | -5 | -35 | -73 | -120 | -95 | -82 | -73 |
| Gesamt | 0 | 0 | -327 | -2'244 | -4'271 | -6'143 | -5'708 | -5'589 | -5'514 |

Tab. 7-13c: Verbrauch nach Verwendungszwecken im Szenario IIa im Vergleich mit Szenario I (in %)

| | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|----------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Heizung | 0.00 | 0.00 | -0.84 | -6.06 | -11.49 | -15.55 | -14.43 | -13.52 | -11.94 |
| Prozesswärme | 0.00 | 0.00 | -0.05 | -0.31 | -0.59 | -1.27 | -1.36 | -1.52 | -1.72 |
| mech. Prozesse | 0.00 | 0.00 | -0.02 | -0.10 | -0.20 | -0.39 | -0.38 | -0.38 | -0.43 |
| Licht, EDV | 0.00 | 0.00 | -0.68 | -3.40 | -5.30 | -8.30 | -6.22 | -5.74 | -6.91 |
| Sonstige | 0.00 | 0.00 | -0.09 | -0.54 | -0.95 | -1.67 | -1.38 | -1.22 | -1.13 |
| WKK | 0.00 | 0.00 | -0.03 | -0.19 | -0.37 | -0.62 | -0.50 | -0.43 | -0.38 |
| Gesamt | 0.00 | 0.00 | -0.18 | -1.18 | -2.14 | -3.09 | -2.84 | -2.75 | -2.67 |

Tab. 7-14a: Verbrauch nach Verwendungszwecken im Szenario IIb (in TJ)

| | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Heizung | 32'234 | 31'466 | 26'139 | 24'696 | 22'260 | 19'307 | 18'526 | 18'778 | 19'281 |
| Prozesswärme | 90'270 | 83'759 | 83'177 | 88'609 | 91'358 | 90'667 | 90'637 | 91'745 | 93'839 |
| mech. Prozesse | 33'595 | 34'157 | 35'179 | 37'796 | 40'514 | 41'121 | 42'406 | 43'392 | 44'546 |
| Licht, EDV | 5'613 | 5'578 | 5'606 | 5'808 | 6'005 | 5'918 | 6'254 | 6'323 | 6'325 |
| Sonstige | 9'966 | 9'172 | 8'641 | 9'464 | 9'524 | 9'835 | 10'115 | 10'525 | 10'687 |
| WKK | 18'100 | 17'350 | 17'624 | 18'505 | 19'156 | 18'919 | 18'630 | 18'567 | 18'860 |
| Gesamt | 189'778 | 181'480 | 176'366 | 184'879 | 188'817 | 185'767 | 186'568 | 189'330 | 193'539 |

Tab. 7-14b: Verbrauch nach Verwendungszwecken im Szenario IIb im Vergleich mit Szenario I (in TJ)

| | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|----------------|------|------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Heizung | 0 | 0 | -684 | -2'362 | -4'913 | -5'964 | -6'160 | -5'801 | -5'178 |
| Prozesswärme | 0 | 0 | -1'059 | -1'990 | -5'024 | -6'422 | -8'109 | -7'742 | -7'490 |
| mech. Prozesse | 0 | 0 | 68 | 94 | 285 | 516 | 1'042 | 955 | 842 |
| Licht, EDV | 0 | 0 | -31 | -185 | -267 | -416 | -204 | -193 | -296 |
| Sonstige | 0 | 0 | -70 | -167 | -404 | -587 | -751 | -697 | -693 |
| WKK | 0 | 0 | 35 | -50 | -331 | -393 | -535 | -432 | -370 |
| Gesamt | 0 | 0 | -1'740 | -4'659 | -10'654 | -13'267 | -14'717 | -13'911 | -13'184 |

Tab. 7-14c: Verbrauch nach Verwendungszwecken im Szenario IIb im Vergleich mit Szenario I (in %)

| | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|----------------|------|------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Heizung | 0.00 | 0.00 | -2.55 | -8.73 | -18.08 | -23.60 | -24.95 | -23.60 | -21.17 |
| Prozesswärme | 0.00 | 0.00 | -1.26 | -2.20 | -5.21 | -6.61 | -8.21 | -7.78 | -7.39 |
| mech. Prozesse | 0.00 | 0.00 | 0.19 | 0.25 | 0.71 | 1.27 | 2.52 | 2.25 | 1.93 |
| Licht, EDV | 0.00 | 0.00 | -0.55 | -3.08 | -4.26 | -6.57 | -3.16 | -2.96 | -4.47 |
| Sonstige | 0.00 | 0.00 | -0.80 | -1.73 | -4.07 | -5.63 | -6.92 | -6.21 | -6.09 |
| WKK | 0.00 | 0.00 | 0.20 | -0.27 | -1.70 | -2.04 | -2.79 | -2.27 | -1.92 |
| Gesamt | 0.00 | 0.00 | -0.98 | -2.46 | -5.34 | -6.67 | -7.31 | -6.84 | -6.38 |

8. Szenarien IIIa - III d

8.1 Die Definition der Szenarien

Die Szenarien IIIa bis III d thematisieren in unterschiedlicher Kombination und Ausprägung zwei im Frühjahr 1995 eingereichte Initiativen, nämlich die Energie- und Umwelt-Initiative und die Solarinitiative. Beide Initiativen würden gegenüber Szenario IIa eine erhebliche Verschärfung der energiepolitischen Mittel bedeuten.

8.1.1 Energie- und Umwelt-Initiative¹⁵

Die Energie- und Umwelt-Initiative strebt binnen acht Jahren nach Annahme der Vorlage für die nicht-erneuerbaren Energieträger zunächst eine Stabilisierung und anschliessend während 25 Jahren eine Verminderung um durchschnittlich 1 % je Jahr an. Hierzu soll eine Abgabe auf nicht-erneuerbaren Energieträgern eingeführt werden, deren Einnahmen wieder an die Bevölkerung und die Wirtschaft zurückverteilt werden soll. Um die internationale Wettbewerbsfähigkeit einzelner Branchen nicht allzu stark zu gefährden, wird für energieintensive Unternehmen eine Sonderregelungen vorgesehen (s.u.).

Abgabeobjekte sind das Rohöl und Erdölprodukte (ohne den nicht-energetischen Verbrauch), Erdgas, Kohle und Kernbrennstoffe sowie Wasserkraft (ab 1 Megawatt Leistung). Die Wasserkraft soll nach den Vorstellungen der Initianten durch die Lenkungsabgabe nur belastet werden, wenn das Preisgefälle zur Kernenergie zu gross wird. Die Abgabe wird bei den Energieproduzenten und -importeuren erhoben. Bei den fossilen Energien erübrigt sich damit ein neues Steuersystem (Mineralölsteuer).

Tabelle 8-1 zeigt die Energieabgaben absolut und in Prozenten, wie sie etwa erforderlich sind, um die Zielwerte der Energie-Umwelt-Initiative zu erreichen. Die Abgaben steigen kontinuierlich an. Insofern sind die drei ausgewiesenen Punkte im 1., um das 15. und um das 30. Jahr Ausschnitte aus einer kontinuierlich ansteigenden Kurve.

¹⁵ Basics hat im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft die ökonomischen Auswirkungen der Energie- und Umwelt-Initiative auf die Wirtschaft im Detail untersucht (vgl. Basics 1996). Die vorstehenden Ausführungen verstehen sich deshalb als knappe Zusammenfassung im Rahmen einer Gesamtdarstellung aller untersuchten Szenarien. Der interessierte Leser findet weitergehende Informationen im erwähnten Bericht.

Tab. 8-1: Energieabgabe absolut und in Prozenten des jeweiligen Preises im Zeitverlauf (Quelle: Prognos)

| | 1. Jahr | um 15. Jahr | um 30. Jahr |
|---|---------|-------------|-------------|
| Energieabgabe absolut bezogen auf die jeweiligen Originaleinheiten | | | |
| Industrie | | | |
| - Heizöl extra leicht (Fr./t) | 11 | 223 | 538 |
| - Heizöl mittel und schwer (Fr./t) | 7 | 139 | 335 |
| - Erdgas (oberer Heizwert, Rp./kWh) | 0.1 | 2.5 | 6.1 |
| Private Haushalte, Dienstleistungen | | | |
| - Heizöl extra leicht (Fr./t) | 14 | 268 | 641 |
| - Erdgas (Rp./kWh, Ho) | 0.2 | 3.5 | 8.4 |
| Verkehr | | | |
| - Benzin (Rp./l) | 3 | 49 | 118 |
| - Diesel (Rp./l) | 3 | 52 | 125 |
| Elektrizität | | | |
| - Durchschnitt (Rp./kWh) | 0.3 | 4.8 | 11.1 |
| - aus Kernkraftwerken (Rp./kWh) | 0.6 | 10.2 | 24.4 |
| - aus Wasserkraftwerken (Rp./kWh) | 0.1 | 1.2 | 2.3 |
| Energieabgabe in Prozenten des jeweiligen Preises | | | |
| Industrie | | | |
| - Heizöl extra leicht | 4 | 56 | 100 |
| - Heizöl mittel und schwer | 4 | 55 | 98 |
| - Erdgas (oberer Heizwert) | 4 | 59 | 110 |
| - Elektrizität | 2 | 35 | 70 |
| - Kohle | 4 | 59 | 117 |
| Private Haushalte, Dienstleistungen | | | |
| - Heizöl extra leicht | 4 | 57 | 104 |
| - Erdgas (oberer Heizwert) | 4 | 60 | 119 |
| - Elektrizität (Hochtarif) | 1 | 24 | 49 |
| Treibstoffe | | | |
| - Benzin | 2 | 42 | 100 |
| - Diesel | 2 | 42 | 100 |

Wie aus den prozentualen Angaben hervorgeht, liegen die abgabenbedingten Energiepreise für die Industrie bis ins 30. Jahr rund doppelt so hoch wie ohne Abgabe - mit allerdings deutlichen Unterschieden zwischen Elektrizität (mit der kleinsten prozentualen Abgabe) und Kohle (mit der höchsten relativen Abgabe).

Die Einnahmen werden abzüglich der Verwaltungskosten wieder an die Unternehmen zurückverteilt. An Industrie- und Dienstleistungsunternehmen erfolgt die Rückerstattung voraussichtlich nach Massgabe der AHV-Lohnsumme.

Für Industrie- und Dienstleistungsunternehmen werden getrennte Einnahmen- und damit auch Rückerstattungstöpfe gebildet. Mit andern Worten: Der gesamte Industriesektor erhält das wieder zurück, was er einbezahlt hat, und ebenso fliessen die Abgaben, welche die Dienstleistungsunternehmen geleistet haben, an die Dienstleistungsunternehmen zurück. Dadurch sollen Umverteilungseffekte zwischen Industrie und Dienstleistungen vermieden werden.

In Abstimmung mit dem Bundesamt für Energiewirtschaft wird angenommen, dass alle Industrie-Unternehmen nur bis zu einem bestimmten Prozentsatz ihrer Gesamtkosten zusätzlich belastet werden dürfen. In Diskussion ist zur Zeit eine "Abschneidegrenze" von 1 % der Gesamtkosten. Dies bedeutet: Die Nettobelastung, berechnet aus Energieabgabe abzüglich Rückverteilung, darf nicht mehr als dieses 1 % der Gesamtkosten betragen. Was darüber liegt, wirdspeziell zurückvergütet.

8.1.2 Solar-Initiative¹⁶

Die Solarinitiative will zum einen die Sonnenenergienutzung auf überbauten Flächen fördern, zum andern ganz allgemein die effiziente und nachhaltige Energienutzung. Hierfür soll der Bund die Kompetenz erhalten, eine Abgabe von 0.1 bis 0.5 Rappen je Kilowattstunde Endenergieverbrauch von nicht-erneuerbaren Energieträgern zu erheben. Aus dem Ertrag der Abgabe (bei voller Abgabenhöhe rund 800 bis 900 Mio Franken je Jahr) soll mindestens die Hälfte zur finanziellen Unterstützung (Subventionen) der Sonnenenergienutzung verwendet werden, der Rest zur Unterstützung der effizienten und nachhaltigen Energienutzung. Die Abgabe wird nur während 25 Jahren erhoben; entsprechend sind auch die Fördermittel auf diesen Zeithorizont beschränkt. Für energieintensive Unternehmen soll der Bund eine spezielle Regelung vorsehen können.

¹⁶ EBP und ECOPLAN haben im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft die Auswirkungen der Solar-Initiative untersucht (EBP/ECOPLAN 1996). Die vorstehenden Ausführungen beschränken sich deshalb wiederum auf das Nötigste.

Tabelle 8-2 zeigt die resultierenden Preiserhöhungen für die belasteten Energieträger. Man erkennt, dass entsprechend dem ganz unterschiedlichen preislichen Ausgangsniveau sehr unterschiedliche relative Preiserhöhungen resultieren. Beim Diesel (als Treibstoff) macht die Erhöhung rund 4 % aus; bei der Kohle liegt sie beim mehr als dem Zehnfachen dieses Wertes. Die Initiative ist auf 25 Jahre befristet; entsprechend werden 2030 keine Abgaben mehr erhoben.

Tab. 8-2: Prozentuale Verteuerung der nicht-erneuerbaren Energieträger durch die Solarinitiative (Quelle: BEW/Prognos 1996)

| | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Heizöl EL | 0 | 0 | 0 | 10 | 15 | 14 | 14 | 13 | 0 |
| Gas | 0 | 0 | 0 | 8 | 13 | 12 | 11 | 10 | 0 |
| Elektrizität | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 | 4 | 3 | 3 | 0 |
| Fernwärme | 0 | 0 | 0 | 9 | 15 | 14 | 14 | 13 | 0 |
| Kohle | 0 | 0 | 0 | 30 | 51 | 48 | 44 | 41 | 0 |
| Diesel | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 0 |
| Heizöl MS | 0 | 0 | 0 | 17 | 27 | 25 | 22 | 20 | 0 |

8.1.3 Die Szenarien

Mit den oben kurz dargestellten Initiativen werden - basierend auf dem Szenario IIa - vier Szenarien definiert (vgl. Tabelle 8-3), indem alle Kombinationen gebildet werden (Szenarien IIIa: Energie- und Umwelt-Initiative; Szenario IIIb: Solar-Initiative; Szenario IIIc: Energie- und Umwelt-Initiative und Solar-Initiative) sowie für die Solarinitiative eine Sensitivitäts-Variante gerechnet wird (Szenario IIId).

Wenn hier das Szenario IIa als Referenz-Szenario genommen wird, bedeutet dies insbesondere auch, dass alle volkswirtschaftlichen Rahmenbedingungen die gleichen sind - abgesehen von den Rückkopplungen der Perspektivvorgaben auf die Produktion (vgl. Abschnitt 8.2.1).

Tab. 8-3: Übersicht über die Szenario-Definitionen (Szenario IIa als Referenz)

| Szenario | Bezeichnung | Stichworte |
|----------|--------------------------------|--|
| IIIa | Energie- und Umwelt-Initiative | Energieabgabe so bemessen, dass Zielsetzung erreicht Rückerstattung der Einnahmen Sonderregelung für Energie-intensive Unternehmen ("Abschneidegrenze" bei 1 %) |
| IIIb | Solar-Initiative | Abgabe auf nicht-erneuerbaren Energien ansteigend bis 0.5 Rp./kWh Zweckbindung der Einnahmen: direkte Förderung der Sonnenenergienutzung (50%) und der effizienten Energienutzung |
| IIIc | beide Initiativen | |
| IIId | Solarinitiative modifiziert | halber Abgabesatz gelockerte Zweckbindung: die 50%-Klausel für die Förderung der Sonnenenergie wird fallen gelassen |

8.2 Modellrechnungen

Die oben definierten Szenarien werden methodisch ganz unterschiedlich behandelt. Während Szenario IIIa ausgehend vom Kohorten-Modell von Basics quantifiziert wurde, sind die übrigen Szenarien im wesentlichen über die erwähnte Untersuchung von EBP und ECOPLAN und eine "Verteilung" durch Prognos auf die verschiedenen Nachfragesektoren entstanden. Die vier Szenarien sind deshalb resultatmässig nur sehr eingeschränkt miteinander vergleichbar.

Im folgenden werden die durchgeführten Modellrechnungen kurz dargestellt.

8.2.1 Szenario IIIa

Wie in Abschnitt 7.2 erläutert, kann die Industrie bei energiepolitischen Massnahmen in bestimmten Branchen bzw. Produktelinien sowohl mit Sparmassnahmen als auch mit Produktionsanpassungen reagieren. Letzteres war denn auch die entscheidende Fragestellung für die Untersuchung der ökonomischen Wirkungen der Energie- und Umweltinitiative (vgl. Basics 1996): Mit welchen (positiven oder negativen) Produktionsanpassungen ist zu rechnen? Im er

Tab. 8-4: Veränderung der Hochrechnungsfaktoren gegenüber Szenario I (in Prozenten)

| Hochrechnungsfaktoren | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Energie u. Wasser | | | | | | | | | |
| Wasser | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Kehricht | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Abwasser | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Nahrungsmittel | | | | | | | | | |
| Bier | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.4 | -0.8 | -1.2 | -1.3 | -1.3 | -1.4 |
| Schokolade | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.1 | -0.1 | -0.1 | -0.2 | -0.2 |
| Zucker | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.3 | -0.7 | -1.0 | -1.4 | -1.4 | -1.5 |
| Nahrungsmittel Rest | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.1 | -0.2 | -0.4 | -0.5 | -0.6 | -0.7 |
| Textilindustrie | | | | | | | | | |
| Chemiefaser | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -1.8 | -3.5 | -3.7 | -4.0 | -4.2 | -4.4 |
| Rest Textil | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -1.1 | -2.3 | -3.4 | -4.5 | -4.8 | -5.0 |
| Bekleidung | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Papierindustrie | | | | | | | | | |
| Zellstoff | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -3.7 | -3.9 | -4.2 | -4.4 | -4.7 | -4.9 |
| Papier und Karton | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -1.9 | -3.8 | -4.1 | -4.3 | -4.6 | -4.8 |
| andere Papierwaren | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.5 | -1.0 | -1.4 | -1.5 | -1.6 | -1.7 |
| Druck | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.5 |
| Kunststoff/Leder | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Chemische Industrie | | | | | | | | | |
| Chem. Grundstoffe | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -1.1 | -2.2 | -2.3 | -2.4 | -2.6 | -2.7 |
| Pharma | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Rest Chemie | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.4 | -0.8 | -1.3 | -1.7 | -2.1 | -2.5 |
| Steine und Erden | | | | | | | | | |
| Zement | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -1.0 | -1.9 | -2.9 | -3.1 | -3.2 | -3.4 |
| Ziegel | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.9 | -1.8 | -2.6 | -2.8 | -2.9 | -3.1 |
| Keramik | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.9 | -1.7 | -2.6 | -2.7 | -2.9 | -3.0 |
| Glas | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -1.3 | -2.6 | -2.7 | -2.9 | -3.0 | -3.2 |
| Rest Steine u. Erden | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.6 | -1.1 | -1.7 | -1.8 | -1.9 | -2.0 |
| Metallindustrie | | | | | | | | | |
| Aluminium | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Sekundäraluminium | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Aluwalzwerke, Waren aus Alu | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -1.4 | -2.8 | -4.3 | -4.5 | -4.8 | -5.0 |
| Alufolie | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -1.4 | -2.8 | -4.3 | -4.5 | -4.8 | -5.0 |
| Eisen, Stahl | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.7 | -1.8 | -2.5 | -2.8 | -3.1 | -3.6 |
| Metallüberzüge | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -1.4 | -2.8 | -3.0 | -3.2 | -3.3 | -3.5 |
| Rest Metall | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.2 | -0.3 | -0.5 | -0.7 | -0.8 | -1.0 |

Tab. 8-4: Fortsetzung

| Hochrechnungsfaktoren | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Maschinen | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.5 | 0.8 | 1.2 | 1.5 | 1.8 |
| Elektronik | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.5 | 0.7 | 1.1 | 1.4 | 1.7 |
| Uhren, Bijouterie | | | | | | | | | |
| Uhrenindustrie | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.5 |
| Bijouterie, Gravieranstalt | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Holz, sonstiges Gew. | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 0.8 | 1.2 | 1.5 | 1.9 | 2.3 |
| Bau | | | | | | | | | |
| Bauhauptgewerbe | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.1 | -0.4 | -0.7 | -1.0 | -1.2 | -1.5 |
| Haustechnik | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.2 | 4.4 | 6.7 | 8.9 | 11.1 | 13.3 |
| Übriges Ausbaugewerbe | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

wähnten Bericht wird dargestellt, wie ausgehend von den für das Referenz-Szenario (I) festgelegten Hochrechnungsfaktoren die für das Szenario IIIa zu erwartenden Hochrechnungsfaktoren bestimmt wurden. Das Ergebnis fasst Tabelle 8-4 zusammen.

Daraus ergibt sich, dass sich die grössten Rückgänge (im Bereich von einigen Prozenten) bei den energieintensiven Unternehmen finden, die in der Schweiz ohnehin ein Standortproblem haben und sehr stark dem internationalen Wettbewerb ausgesetzt sind. Hierzu gehören die Textilindustrie, die Papierindustrie sowie Aluminium (abgesehen von der ohnehin geplanten Aufgabe der Rohaluminiumproduktion). Weitere erwähnenswerte Rückgänge sind bei den Produktelinien chemische Grundstoffe, bei Eisen/Stahl, bei Metallüberzügen und bei allen Produktelinien von Steine und Erden auszumachen. Die Rückgänge bei den Metallüberzügen fallen nicht grösser aus, weil sie bis zu einem gewissen Grad bei den exportorientierten Gewinnerbranchen als Zulieferer fungieren.

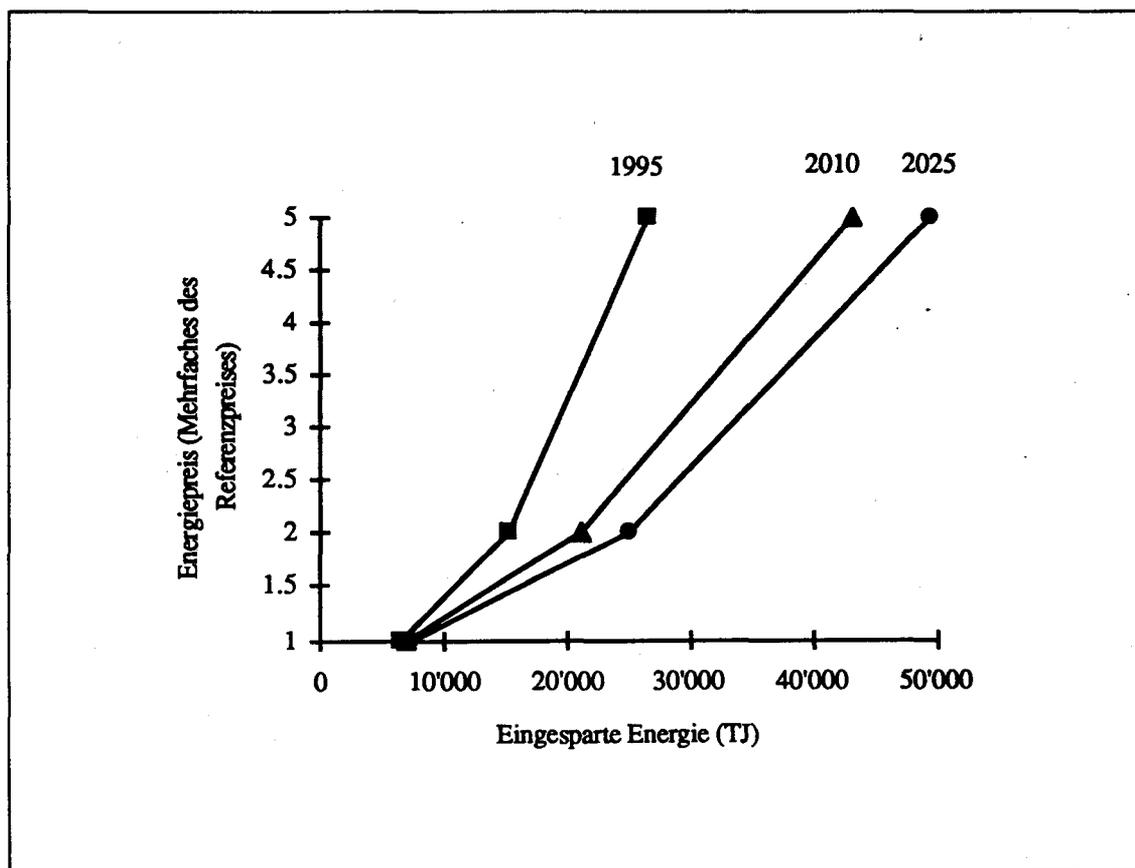
Zu den eigentlichen "Gewinnern" gehören die Maschinen und die Elektronikindustrie. Prozentual weist die Haustechnikbranche den grössten Zuwachs auf, da sie von den Energiesparinvestitionen - vor allem im Wärmebereich - ganz unmittelbar profitieren kann.

Wichtigstes Reaktionsmuster der Industrie auf Abgaben bleibt aber das Energiesparen: Zunächst kann ohne Kostenfolgen durch Verhaltensänderungen Energie eingespart, dann können bestehende Anlagen verbessert und schliesslich alte Anlagen vorzeitig durch neue ersetzt werden (vgl. auch Abschnitt 7.2).

Schliesslich ist damit zu rechnen, dass energetisch gute Anlagen schneller auf dem Markt verfügbar werden, als ohne Abgabe¹⁷.

Abbildung 8-5 zeigt im Sinne einer ersten Orientierung den Zusammenhang zwischen Energiepreisniveau und Energieverbrauchsverminderung. Basierend auf dem Kohorten-Ansatz werden für die wichtigsten Energieträger sogenannte Kosten-Einsparkurven gerechnet. Diese Kurven beziehen sich auf den Fall konstanter Produktion, und gehen davon aus, dass alle Energieträger im gleichen Umfang verteuert werden (für die methodischen Details vgl. IBFG 1995a und b).

Abb. 8-5: Einspar-Kostenkurven für die Industrie



¹⁷ Allerdings ist dieser Effekt nicht überzubewerten. Wie die Gespräche mit Industrievertretern gezeigt haben, wird ein Grossteil der Produktionsanlagen im Ausland eingekauft und reflektiert damit ein international ausgemitteltes Energiepreisniveau, also nicht jenes, welches für Szenario IIIa unterstellt wird.

Für die weitere Analyse ist nun vor allem die in Abschnitt 8.1 erwähnte Abschneideregul von Bedeutung: die Nettobelastung gemessen an den Gesamtkosten soll 1 % nicht überschreiten. Dies bedeutet, dass nicht alle Unternehmen die gleichen Energieabgabesätze "sehen". Genauer: Durch die zunehmende Energieabgabe wachsen energieintensive Unternehmen in die Abschneideregul hinein und verlieren so einen ökonomischen Sparanreiz. Die Abgabe wirkt dann wie eine fixe Zusatzsteuer, die unabhängig vom energetischen Verhalten der Unternehmen 1 % der Gesamtkosten ausmacht. Zur Abbildung dieser Situation wurden zur Ergänzung des Bottom-up-Modells für die wichtigsten betroffenen Branchen systemanalytische "Untermodele" geschaffen, um die Energiesparreaktionen noch genauer einfangen zu können (für weitere Details vgl. Basics 1996).

Aus der Multiplikation von spezifischen Energieverbräuchen und den zugehörigen Hochrechnungsfaktoren ergeben sich dann für die einzelnen Prozesse die gesuchten Energieverbräuche.

8.2.2 Szenarien IIIb, IIIc und IIId

Die Quantifizierung dieser Szenarien unterscheidet sich völlig von derjenigen von Szenario IIIa. Ausgangspunkt war die schon erwähnte Untersuchung von EBP und ECOPLAN (EBP/ECOPLAN 1996). Der gemeinsame Kern der Szenarien IIIb, IIIc und IIId liegt darin, dass zur Förderung der Solarenergie und der effizienten Energienutzung Förderungsbeiträge (Subventionen) ausgeschüttet werden. Tabelle 8-6 zeigt die unterstützten Energienutzungsbereiche. Und Tabelle 8-7 fasst die für das Jahr 2025 gültigen Förderungssätze zusammen. Wichtig daran ist, dass diese Beiträge auf die gesparte bzw. substituierte Kilowattstunde bezogen und zum Zeitpunkt der Investition ausbezahlt werden.

Für die Abschätzung der Förderungswirkung dieser Förderungssätze wurden von EBP, ausgehend von Szenario IIa, die sogenannten "genutzten Potentiale" bestimmt. Diese Potentiale verstehen sich als die realisierten Einsparungen ohne Berücksichtigung von Mitnahmeeffekten (vgl. EBP/ECOPLAN 1996). Tabelle 8-8 fasst die Resultate für das Jahr 2025 zusammen.

Tab. 8-6: Geförderte Energienutzungsbereiche (Quelle: EBP/ECOPLAN 1996)

| Energienutzungsbereich | Wärme | Strom |
|----------------------------------|--------------|--------------|
| Solarenergie-Nutzung | | |
| - Direkte Sonnenenergie | X | X |
| - Indirekte Sonnenenergie | X | X |
| - Passive Solarenergie | X | |
| Rationelle Energienutzung | | |
| - Energienutzung am Gebäude | X | |
| - Haustechnik | X | |
| - Stromeinsatz | | X |
| - Prozesswärme Industrie | X | |
| - Verkehr | X | |
| - Wärmepumpen | X | |
| - Wärme-Kraft-Kopplung | | X |
| - Geothermie | X | |

Tab. 8-7: Fördersätze in Rappen je kWh für das Jahr 2025 in den Szenarien IIIb, IIIc und IIId (Quelle: EBP/ECOPLAN 1996)

| Bereich | IIIb | IIIc | III d |
|----------------------------------|-------------|-------------|--------------|
| Solarenergie-Nutzung | | | |
| - Strom | 13.20 | 12.70 | 5.00 |
| - Wärme | 6.60 | 6.35 | 2.50 |
| Rationelle Energienutzung | | | |
| - Strom | 6.40 | 5.90 | 5.00 |
| - Wärme | 3.20 | 2.95 | 2.50 |

Tab. 8-8: "Genutzte Potentiale" im Jahr 2025 in den Szenarien IIIb, IIIc und IIId (in PJ, Quelle: EBP/ECOPLAN 1996)

| Energienutzungsbereiche | IIIb | IIIc | III d |
|-------------------------------------|-------------|-------------|--------------|
| Solarenergie-Nutzung | | | |
| - Direkte Sonnenenergie (Wärme) | 10.7 | 12.1 | 4.4 |
| - Direkte Sonnenenergie (Strom) | 1.6 | 2.2 | 0.4 |
| - Indirekte Sonnenenergie (Wärme) | 4.9 | 4.8 | 2.8 |
| - Indirekte Sonnenenergie (Strom) | 3.7 | 1.8 | 2.9 |
| - Passive Solarenergie (Wärme) | 2.7 | 2.8 | 2.4 |
| Rationelle Energienutzung | | | |
| - Energienutzung am Gebäude (Wärme) | 3.3 | 1.0 | 2.0 |
| - Haustechnik (Wärme) | 3.7 | 3.0 | 3.3 |
| - Stromeinsatz (Strom) | 6.0 | 5.9 | 4.9 |
| - Prozesswärme (Wärme) | 5.2 | 5.2 | 3.5 |
| - Verkehr | 3.9 | 3.8 | 2.6 |
| - Wärmepumpen (Wärme) | 4.2 | 3.7 | 2.3 |
| - Wärme-Kraft-Kopplung (Strom) | 5.4 | 5.4 | 4.9 |
| - Geothermie | 5.2 | 5.2 | 3.5 |
| Total | 60.4 | 56.8 | 40.1 |

Diese Zahlen wurden dann von Prognos auf die einzelnen Energieträger und die einzelnen Nachfragesektoren verteilt. Diese "Verteilung" erfolgte im engen Kontakt mit den Bearbeitern der einzelnen Sektoren, insbesondere mit Basics. Dabei wurde versucht, Mitnahmeeffekte und Doppelzählungen zu eliminieren. Da die als Ausgangsdaten verwendeten "genutzten Potentiale" aber nach Einschätzung von Basics deutlich zu hoch liegen, ergeben sich für die Industrie eher unplausible Resultate (siehe auch Abschnitt 8.3). Schliesslich wurde von Basics der zu diesen Szenarien "passende" Netto-Energieverbrauch im Sinne einer Rückwärtsrechnung bestimmt.

8.3 Resultate

8.3.1 Resultate im Überblick

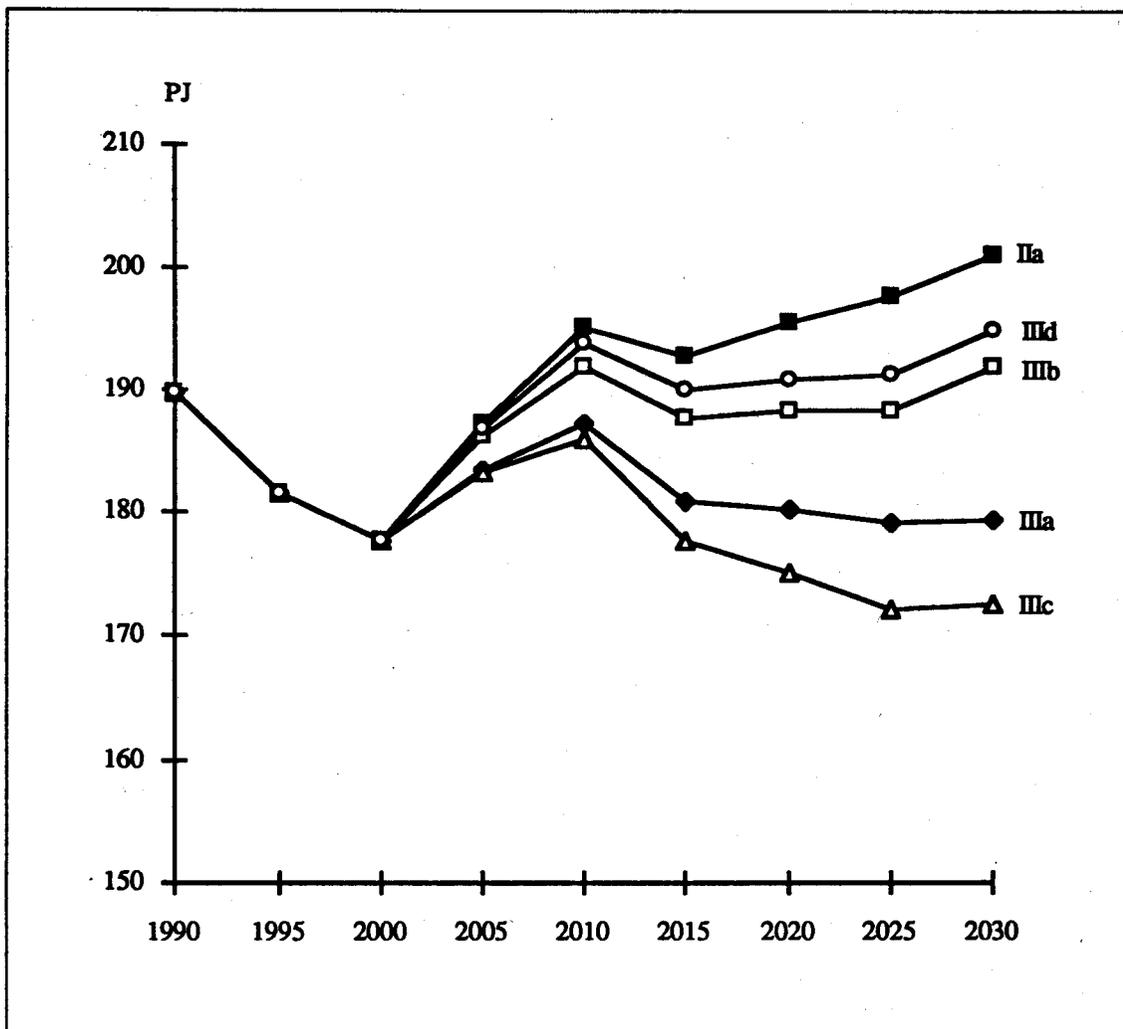
Tabelle 8-9 zeigt die Resultate auf der Netto-Energieebene im Überblick (vgl. auch Abbildung 8-10). Wie schon erwähnt, dürfen die Szenarien IIIb, IIIc und IIId nicht direkt mit Szenario IIIa verglichen werden. Die Problematik des Vergleichs ergibt sich auch direkt aus dem Resultat: Szenario IIIc liegt energetisch praktisch bei der Summenwirkung von Szenario IIIa und IIIb (je im Vergleich zu Szenario IIa)¹⁸. Wir sind nämlich der Meinung, dass die marginalen Kosten für zusätzliche Energieeinsparungen höher sein müssten (vgl. die Kosten-Einsparkurve in Abschnitt 8.2)), also eigentlich Szenario IIIc deutlich weniger stark unter Szenario IIIa liegen dürfte.

Tab: 8-9: Entwicklung der Netto-Energieverbräuche der Szenarien IIa, IIIa, IIIb, IIIc und IIId

| | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Szenario IIa | 189'778 | 181'480 | 177'779 | 187'294 | 195'199 | 192'890 | 195'577 | 197'652 | 201'209 |
| Szenario IIIa | 189'778 | 181'480 | 177'779 | 183'390 | 187'339 | 180'945 | 180'303 | 179'175 | 179'345 |
| Differenz zu IIa (TJ) | 0 | 0 | 0 | -3'904 | -7'861 | -11'945 | -15'274 | -18'477 | -21'864 |
| Differenz zu IIa (%) | 0.0% | 0.0% | 0.0% | -2.1% | -4.0% | -6.2% | -7.8% | -9.3% | -10.9% |
| Szenario IIIb | 189'778 | 181'480 | 177'779 | 186'301 | 191'879 | 187'688 | 188'324 | 188'272 | 191'911 |
| Differenz zu IIa (TJ) | 0 | 0 | 0 | -993 | -3'321 | -5'202 | -7'253 | -9'380 | -9'298 |
| Differenz zu IIa (%) | 0.0% | 0.0% | 0.0% | -0.5% | -1.7% | -2.7% | -3.7% | -4.7% | -4.6% |
| Szenario IIIc | 189'778 | 181'480 | 177'779 | 183'277 | 185'929 | 177'729 | 175'170 | 172'133 | 172'643 |
| Differenz zu IIa (TJ) | 0 | 0 | 0 | -4'017 | -9'270 | -15'161 | -20'407 | -25'519 | -28'566 |
| Differenz zu IIa (%) | 0.0% | 0.0% | 0.0% | -2.1% | -4.7% | -7.9% | -10.4% | -12.9% | -14.2% |
| Szenario IIId | 189'778 | 181'480 | 177'779 | 186'877 | 193'936 | 190'072 | 190'988 | 191'392 | 194'884 |
| Differenz zu IIa (TJ) | 0 | 0 | 0 | -416 | -1'264 | -2'819 | -4'589 | -6'260 | -6'325 |
| Differenz zu IIa (%) | 0.0% | 0.0% | 0.0% | -0.2% | -0.6% | -1.5% | -2.3% | -3.2% | -3.1% |

¹⁸ Die rechnerische Summenwirkung im Jahre 2030 wäre für das Szenario IIIc 15.5 % (10.9 % plus 4.6 %); tatsächlich ergeben sich für das Szenario IIIc 14.2 %, also nur unwesentlich weniger.

Abb. 8-10: Netto-Energieverbräuche der Szenarien IIIa bis IIId im Vergleich zum Szenario IIa. (Direkt vergleichbar mit den in den Kapiteln 6 und 7 dargestellten Resultaten sind nur die dunkel hervorgehobenen Szenarien.)



8.3.2 Resultate nach Energieträgern

Die Tabellen 8-11 bis 8-14 zeigen die Energieverbräuche auf der Netto-Energieebene differenziert nach den verschiedenen Energieträgern. Da die wiedergegeben Zahlenwerte nur beschränkt miteinander vergleichbar sind, beschränkt sich die Differenzanalyse auf die Szenarien IIa und IIIa (vgl. Tabelle 8-15).

Daraus geht hervor, dass die verschiedenen Energieträger sehr unterschiedlich reagieren.¹⁹ Abgesehen vom Heizöl MS reagieren alle fossilen Energieträger bis ins Jahr 2030 im Umfang von 17 bis 20 %. Das Heizöl MS kann nicht so stark reagieren, weil es vor allem auch in den energieintensiven Branchen zur Anwendung gelangt und über die Abschneidegrenze - bezogen auf den industriellen Gesamtverbrauch - am wenigsten belastet wird. Wenig überraschend ist der eher bescheidene Rückgang bei der Elektrizität. Hier kommt zum einen zum Tragen, dass einerseits deren relative Verteuerung unter derjenigen der fossilen Energieträger liegt und andererseits Energiesparmassnahmen im fossilen Bereich oft einen Mehrverbrauch von Elektrizität nachsichziehen.

Tab. 8-11: Netto-Energieverbrauch für Szenario IIIa (in TJ)

| | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Heizöl EL | 25'312 | 22'101 | 18'469 | 17'874 | 17'144 | 14'969 | 14'524 | 14'111 | 13'933 |
| Gas | 31'861 | 40'596 | 42'112 | 42'599 | 42'545 | 40'825 | 39'948 | 39'261 | 39'142 |
| Elektrizität | 56'881 | 53'116 | 54'005 | 56'880 | 59'513 | 59'133 | 59'815 | 60'442 | 61'040 |
| Fernwärme | -4'064 | -3'861 | -4'657 | -4'817 | -4'902 | -5'040 | -5'169 | -5'028 | -4'929 |
| Holz | 2'487 | 2'410 | 2'210 | 2'355 | 2'525 | 2'896 | 3'272 | 3'520 | 3'748 |
| Kohle | 14'697 | 5'472 | 1'981 | 1'878 | 1'895 | 1'692 | 1'584 | 1'559 | 1'573 |
| Diesel | 9'998 | 9'209 | 8'743 | 9'287 | 9'212 | 9'004 | 9'191 | 9'169 | 9'072 |
| Heizöl MS | 21'077 | 14'683 | 12'931 | 13'250 | 13'432 | 12'001 | 11'701 | 11'622 | 11'653 |
| Abfall | 31'529 | 37'755 | 41'985 | 44'083 | 45'974 | 45'465 | 45'437 | 44'520 | 44'113 |
| Summe | 189'778 | 181'480 | 177'779 | 183'390 | 187'339 | 180'945 | 180'303 | 179'175 | 179'345 |

¹⁹ Zur Erinnerung: Die Kohle nimmt voraussichtlich deutlich weniger stark ab, als in den ursprünglichen (und hier zugrundegelegten) Vorgaben.

Tab. 8-12: Netto-Energieverbrauch für Szenario IIIb (in TJ)

| | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Heizöl EL | 25'312 | 22'101 | 18'469 | 18'104 | 17'307 | 15'214 | 14'808 | 14'331 | 14'579 |
| Gas | 31'861 | 40'596 | 42'112 | 43'459 | 43'914 | 42'846 | 42'436 | 41'954 | 43'180 |
| Elektrizität | 56'881 | 53'116 | 54'005 | 57'864 | 60'772 | 60'908 | 61'868 | 62'808 | 64'530 |
| Fernwärme | -4'064 | -3'861 | -4'657 | -4'748 | -4'578 | -4'555 | -4'502 | -4'163 | -4'027 |
| Holz | 2'487 | 2'410 | 2'210 | 2'335 | 2'478 | 2'708 | 2'932 | 3'053 | 3'137 |
| Kohle | 14'697 | 5'472 | 1'981 | 1'902 | 1'905 | 1'703 | 1'566 | 1'509 | 1'552 |
| Diesel | 9'998 | 9'209 | 8'743 | 9'610 | 9'796 | 10'252 | 10'723 | 11'098 | 11'271 |
| Heizöl MS | 21'077 | 14'683 | 12'931 | 13'505 | 13'901 | 12'686 | 12'587 | 12'630 | 12'969 |
| Abfall | 31'529 | 37'755 | 41'985 | 44'269 | 46'384 | 45'927 | 45'906 | 45'052 | 44'721 |
| Summe | 189'778 | 181'480 | 177'779 | 186'301 | 191'879 | 187'688 | 188'324 | 188'272 | 191'911 |

Tab. 8-13: Netto-Energieverbrauch für Szenario IIIc (in TJ)

| | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Heizöl EL | 25'312 | 22'101 | 18'469 | 17'831 | 16'715 | 14'173 | 13'319 | 12'493 | 12'287 |
| Gas | 31'861 | 40'596 | 42'112 | 42'539 | 41'887 | 39'363 | 37'728 | 36'208 | 36'397 |
| Elektrizität | 56'881 | 53'116 | 54'005 | 56'765 | 58'768 | 57'692 | 57'563 | 57'431 | 57'951 |
| Fernwärme | -4'064 | -3'861 | -4'657 | -4'782 | -4'602 | -4'587 | -4'541 | -4'217 | -4'089 |
| Holz | 2'487 | 2'410 | 2'210 | 2'360 | 2'576 | 2'965 | 3'361 | 3'628 | 3'860 |
| Kohle | 14'697 | 5'472 | 1'981 | 1'877 | 1'848 | 1'596 | 1'437 | 1'349 | 1'357 |
| Diesel | 9'998 | 9'209 | 8'743 | 9'283 | 9'214 | 9'007 | 9'195 | 9'172 | 9'077 |
| Heizöl MS | 21'077 | 14'683 | 12'931 | 13'308 | 13'418 | 11'897 | 11'478 | 11'275 | 11'332 |
| Abfall | 31'529 | 37'755 | 41'985 | 44'096 | 46'106 | 45'624 | 45'630 | 44'793 | 44'471 |
| Summe | 189'778 | 181'480 | 177'779 | 183'277 | 185'929 | 177'729 | 175'170 | 172'133 | 172'643 |

Tab. 8-14: Netto-Energieverbrauch für Szenario IIIId (in TJ)

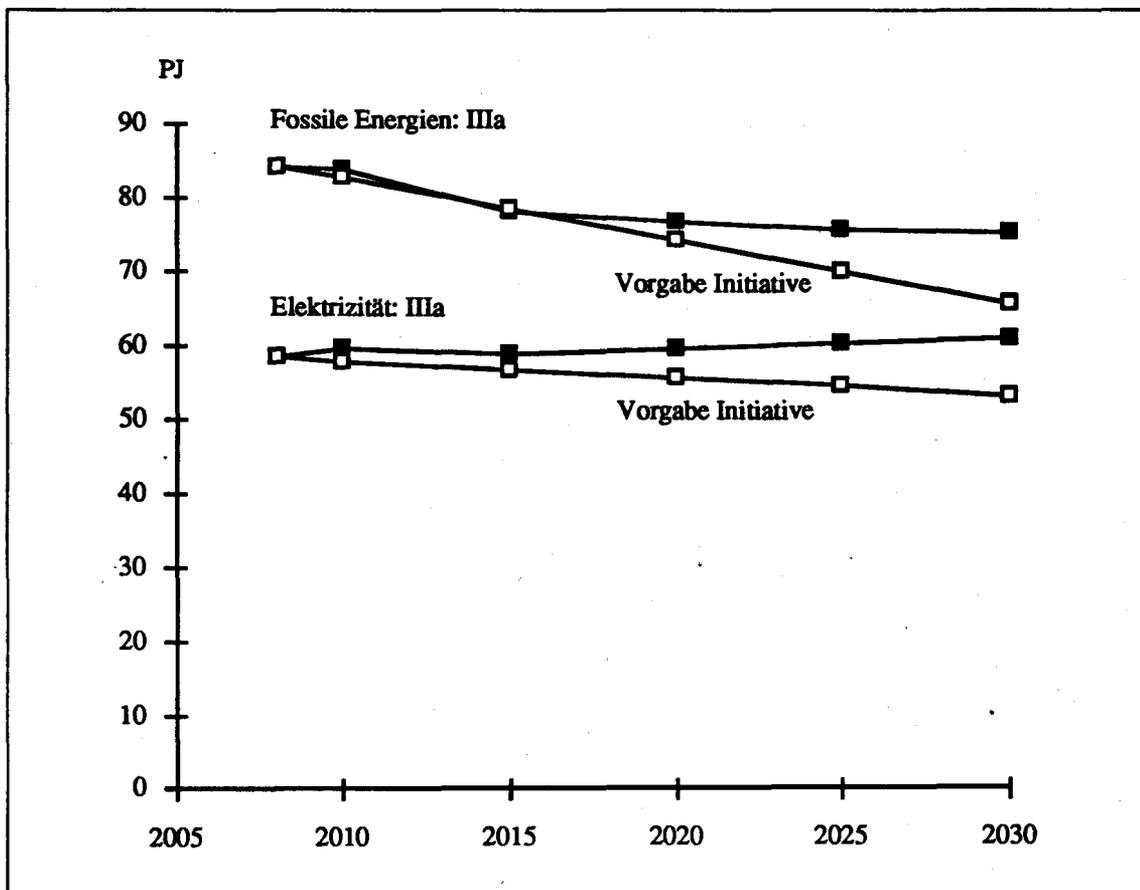
| | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Heizöl EL | 25'312 | 18'532 | 18'469 | 18'231 | 17'664 | 15'700 | 15'460 | 15'149 | 15'394 |
| Gas | 31'861 | 41'930 | 42'112 | 43'704 | 44'756 | 43'972 | 43'823 | 43'697 | 44'923 |
| Elektrizität | 56'881 | 54'434 | 54'005 | 57'933 | 61'261 | 61'484 | 62'472 | 63'514 | 65'188 |
| Fernwärme | -4'064 | -4'028 | -4'657 | -4'748 | -4'606 | -4'627 | -4'628 | -4'345 | -4'210 |
| Holz | 2'487 | 2'210 | 2'210 | 2'317 | 2'433 | 2'654 | 2'865 | 2'972 | 3'055 |
| Kohle | 14'697 | 2'044 | 1'981 | 1'931 | 1'984 | 1'802 | 1'694 | 1'656 | 1'702 |
| Diesel | 9'998 | 8'743 | 8'743 | 9'620 | 9'835 | 10'272 | 10'744 | 11'120 | 11'293 |
| Heizöl MS | 21'077 | 12'916 | 12'931 | 13'622 | 14'227 | 13'008 | 12'906 | 12'975 | 13'293 |
| Abfall | 31'529 | 40'993 | 41'985 | 44'268 | 46'381 | 45'807 | 45'651 | 44'654 | 44'245 |
| Summe | 189'778 | 177'775 | 177'779 | 186'877 | 193'936 | 190'072 | 190'988 | 191'392 | 194'884 |

Tab. 8-15: Vergleich von Szenario IIIa mit Szenario IIa (in Prozenten)

| | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|--------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| Heizöl EL | 0.0% | 0.0% | 0.0% | -2.5% | -5.1% | -8.6% | -11.9% | -14.7% | -17.3% |
| Gas | 0.0% | 0.0% | 0.0% | -3.0% | -6.4% | -10.1% | -13.3% | -16.0% | -18.6% |
| Elektrizität | 0.0% | 0.0% | 0.0% | -2.0% | -3.8% | -5.6% | -6.9% | -8.3% | -9.8% |
| Fernwärme | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | -2.3% | -4.0% | -5.8% | -7.7% | -9.5% |
| Holz | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 2.5% | 6.0% | 11.8% | 17.5% | 22.3% | 27.0% |
| Kohle | 0.0% | 0.0% | 0.0% | -4.2% | -8.0% | -12.3% | -15.8% | -17.8% | -19.5% |
| Diesel | 0.0% | 0.0% | 0.0% | -3.5% | -6.7% | -12.5% | -14.6% | -17.7% | -19.8% |
| Heizöl MS | 0.0% | 0.0% | 0.0% | -3.5% | -6.9% | -10.0% | -12.3% | -13.9% | -15.7% |
| Abfall | 0.0% | 0.0% | 0.0% | -0.3% | -0.3% | -0.3% | -0.1% | 0.0% | 0.3% |
| Summe | 0.0% | 0.0% | 0.0% | -2.1% | -4.0% | -6.2% | -7.8% | -9.3% | -10.9% |

Schliesslich zeigt Abbildung 8-16 den Vergleich der in Szenario IIIa erreichten Energieverbräuche im Vergleich zu den in der Energie- und Umwelt-Initiative formulierten Ziele (wenn diese auch für den Industriesektor allein als gültig betrachtet werden, vgl. Abschnitt 8.1). Nimmt man als Ausgangspunkt für die "Messlatte" den im Jahr 2008 erreichten Energieverbrauch, so zeigt sich, dass für die Industrie allein weder bei den fossilen Energieträgern noch bei der Elektrizität die jeweilige Vorgabe langfristig erreicht werden kann. Bei den fossilen Energieträgern ist die Vorgabe immerhin während der ersten zehn Jahre erfüllt.

Abb. 8-16: Vergleich der in Szenario IIIa erreichten Energieverbräuche mit den auf die Industrie bezogenen Vorgaben der Initiative



Bibliographie (Auswahl)

- Aebischer B. und Perrin G.R. (1990): Les industries suisses intensives en énergie, CUEPE, série de publications no. 43, Genf
- Aebischer B. et al. (1989): Analyse technico-économique de la Consommation d'énergie en Suisse, 1960 - 1985 (1st draft), CUEPE, Genève
- Aluminum Association (1990): Aluminum industry energy conservation workshop XI papers, Workshop XI, Jacksonville Florida
- Arena (1987): Energienachfrage in der Metall- und Maschinenindustrie, EGES-Arbeitsdokument Nr. 7, Bern
- Basics (1996): Ökonomische Auswirkungen der Energie-Umwelt-Initiative auf die Wirtschaft, Entwurf des Schlussberichts, Zürich
- BEW/Prognos (1996): Versuch einer Konkretisierung der Solarinitiative (Szenarien IIIb und IIIc); Bern und Basel
- Beyert J. (1985): Ermittlung des Energieaufwands bei Bauprozessen, Dissertation TH Aachen
- BFS (1985): Allgemeine Systematik der Wirtschaftszweige 1985, Bundesamt für Statistik, Bern
- BMFT (1993): Deutscher Delphi-Bericht zur Entwicklung von Wissenschaft und Technik, Bundesministerium für Forschung und Technologie, Bonn
- Bongard, M. und Jufer, M. (1992): Analyse du rendement énergétique de processus industriels de production, RAVEL, Bern
- Brandes, C. et al (1994): Energiedienstleistungs-Unternehmen für die Stadt Schaffhausen, BEW, Bern
- CEC (1992): Improved technologies for the rational use of in the glass industry, European Seminar, THERMIE project
- CIATF (1993): Foundry and environment. 59th world foundry congress Sao Paulo Brazil 1992, Giesserei-Verlag, Düsseldorf
- Dennis T.J. (1983): Reduction in energy requirements for converting liquid aluminium to semi-fabricated rolled products. Commission of the European Communities, Luxembourg
- Douglas, J. (1992): Advanced Motors promise Top Performance, EPRI Journal, June,
- EBP/ECOPLAN 1996: Solarinitiative: Analyse der Auswirkungen, Schlussbericht, Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern
- EDI (1994): Eidgenössisches Departement des Innern, CO₂-Abgabe auf fossilen Energieträgern, erläuternder Bericht, Bern
- Eidg. Statistisches Amt (1977): Eidg. Betriebszählung 1975. Industrie, Gewerbe, Dienstleistungen, Band 5 / Heft 609
- EKV (1978 - 1992): Energieverbrauch in der schweizerischen Industrie, EKV, Basel
- El Haik L. et al. (1984): Economies d'énergie en fabrication des pièces forgées en acier. Commissions des communautés européennes, rapport EUR 9547 FR, Bruxelles
- ENB (1990): Bundesbeschluss für eine sparsame und rationelle Energienutzung, Bern
- ENV (1992): Verordnung über eine sparsame und rationelle Energienutzung, 22. Januar sowie Aenderung vom 30. Juni 1993, Bern

- ETH (1994): Perspektiven des Energieverbrauchs im primären und tertiären Sektor, Forschungsgruppe für Energieanalysen, ETH, Zürich
- ETH (1995): Aufdatierung der Szenarien I und II, Forschungsgruppe für Energieanalysen, ETH, Zürich
- FIAL (1993): Die Schweizerische Nahrungsmittelindustrie, Statistische Angaben 1992, Fédération des Industries Alimentaires Suisses
- Fischer J. (1988): Neue Einsatzmöglichkeiten für Blockheizkraftwerke in der Brauerei. Dissertation TU München
- Fischli U. et al (1992): Elektrizitätsbedarf der Zementindustrie, RAVEL, Bern
- Gabathuler Ch. / Wüest H. (1989): Bauwerk Schweiz, Grundlagen und Perspektiven zum Baumarkt der 90er Jahre, Zürich
- Gellings C. (1991): DSM - The Winds of Change in the USA, EPRI, DSM-Session 2 der DSM-Konferenz 1991 in Kopenhagen
- Giovannini B. et al (1990): Scientific and Technical Arguments for the Optimal Use of Energy, Update 2.2, CUEPE, Genève
- Heyse K.U. (1989): Handbuch der Brauerei-Praxis. 2. Auflage, Verlag Hans Carl, Nürnberg.
- Hofmann U. et al. (1982): Möglichkeiten zur Energieeinsparung in der keramischen Industrie, BMFT Forschungsbericht T 82-027
- IBFG (1993): Rationelle Stromnutzung - Der Einfluss neuer Technologien auf künftige Aus- und Weiterbildungsstrategien, RAVEL, Bern
- IBFG (1994): Perspektiven des Energieverbrauchs in der Industrie, Arbeitsbericht vom August 1994, Zürich
- IBFG (1995a): Perspektiven des Energieverbrauchs, Projektstandsbericht zuhanden der Arbeitsgruppe "Energieperspektiven" vom 9. März 1995, Zürich
- IBFG (1995b): Perspektiven des Energieverbrauchs, Projektstandsbericht zuhanden der Arbeitsgruppe "Energieperspektiven" vom 5. Mai 1995, Zürich
- IE / Batelle-Institut (1992): IE Industrie Engineering Holding und Batelle-Institut Frankfurt am Main, Symposium "Fabrik 2001", Neue Erkenntnisse zur Schweizer Fabrik von morgen, vom 28. Januar, Zürich
- Ikarus (1991): Teilprojekt 6 "Industrie", Zusammenfassung des 1. Zwischenberichtes, FhG-ISI, Karlsruhe
- Ilschner, B. (1993): Strukturwerkstoffe der Mikrotechnik, SATW, Zürich
- Infras (1990): Gastarife Kanton Bern, BEW-SöEF, Bern
- Infras (1993): Hochrechnung der Schadstoffemissionen und des Treibstoffverbrauchs der Baumaschinen in der Schweiz, Bern
- ISI (1993): Technologie am Beginn des 21. Jahrhunderts - Diskussionspapier, FhG ISI, Karlsruhe
- ISI (1996): Energieeffizienz, Strukturwandel und Produktionsentwicklung der deutschen Industrie, Abschlussbericht Teilprojekt 6 "Industrie", IKARUS, FhG ISI, Karlsruhe
- Janssens J.M. (1984): Récupération et révalorisation de l'énergie par pompe à chaleur à haute température sur les effluents de la fabrication de pâte à papier, Rapport EUR 9078 EN, FR, commission des Communautés européennes, Bruxelles
- Jobsky Th. et al. (1987): Der industrielle Strombedarf im Jahre 2000, KFA Jülich, Bericht No. 398
- Knöpfel I. (1990a): The Analysis of Energy Efficiency Options to Reduce CO2 Emissions in Switzerland, PSI, Villigen
- Knöpfel I. (1990c): Energie- und CO2-Reduktionspotentiale ausgewählter Industriebranchen in der Schweiz, PSI, Villigen

- Kuhlmann K. (1985): Verbesserung der Energieausnutzung beim Mahlen von Zement. TH Aachen, Düsseldorf
- Leemann, R. (1992b): Methoden der Wirtschaftlichkeitsanalyse von Energiesystemen, RAVEL, Bern
- Maier W. et al (1986): Rationelle Energieverwendung durch neue Technologien (2 Bände), TÜV Rheinland, Köln
- Mamane G. et al. (1993): Analyse processus industriels sélectionnés: utilisation de force dans une entreprise chimique, RAVEL, Berne
- Mettler D. / Graf H.-G. / Marti J.: Industrieranalysen des EG-Binnenmarktprogramms auf die Schweizer Industrie, Chur/Zürich 1991
- Meyer H. und Schnetzler C. (1993): Elektrische Produktionsverfahren, RAVEL, Bern
- Muggli Ch. et al. (1987): Der Energieverbrauch in den Industriezweigen Chemie, Metall und Maschinen, EGES-Schriftenreihe Nr. 2, Bern
- Münst F. (1992): Wirkungsgradoptimierung der Druckluftherzeugung und -verteilung, RAVEL, Bern
- Nielson L. and Larson E. D. (1989): Technology menu for efficient end-use of energy, Vol 1: Movement of Material, Component: Electric Motors, Environmental and Energy System Studies, University of Lund, Lund
- Prognos (1990b): Energieprognose bis 2010 - Die energiewirtschaftliche Entwicklung in der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahr 2010, mi-Poller, Stuttgart
- Prognos (1992): Substitutionsmöglichkeiten zur Reduktion der CO₂-Emissionen und Gesamtoptimierung einer CO₂-Strategie, SöEF, BEW, Bern
- Prognos (1994): Die langfristige Entwicklung der Grosshandels- und Konsumentenpreise für Brennstoffe 1970 - 2030, Basel
- Prognos (1995a): Festsetzung der CO₂-Abgabe, Aktenvermerk vom 29. September 1995, Basel
- Prognos (1995b): Analyse und Bewertung des Elektrizitätsangebotes, November 1995, Basel
- Projektleitung BEO (1992): Rationelle Energieverwendung in der Industrie. Statusbericht im Auftrag des BMFT, Krammer Verlag, Düsseldorf
- Reichert K. et al. (1993): Elektrische Antriebe energie-optimal auslegen und betreiben, RAVEL, Bern
- Rogowin Z. A. (1982): Chemiefasern Chemie - Technologie. Georg Thieme Verlag Stuttgart
- SBG (1994): Branchenspiegel der Schweizer Wirtschaft, Zürich
- Schaefer H. / Schäfer V. (1996): Querschnittstechniken - Sektor- und branchenübergreifende Techniken zur Energieumwandlung, IKARUS, Monograafien des Forschungszentrum Jülich
- Scheuer A. et al. (1992): Möglichkeiten der Energieeinsparung bei der Zementherstellung. Sonderdruck, Forschungsinstitut der Zementindustrie, Düsseldorf
- SGCI (1989): The Swiss Chemical Industry. Schweizerische Gesellschaft für Chemische Industrie, Zürich.
- SGCI (1991): Jahresbericht 1992. Schweizerische Gesellschaft für Chemische Industrie, Zürich
- SGCI: Schweizerische Chemische Industrie - Zahlen und Fakten 1990 - 1993, Schweizerische Gesellschaft für Chemische Industrie, Zürich
- SGZZ (1994): Rahmendaten für Energieperspektiven: Das Grundscenario, St. Gallen
- Spring F. (1992): Energiesparstrategie - Für Versorgungsunternehmen mit besonderer Berücksichtigung der Finanzierung, RAVEL, Bern
- Statistisches Bundesamt (1992): Produzierendes Gewerbe. Beschäftigung, Umsatz und Energieversorgung der Unternehmen und Betriebe im Bergbau und im Verarbeitenden Gewerbe. Fachserie 4, Reihe 4.1.1. Metzler Poeschel, Stuttgart

-
- SVGW (1992):** Statistische Erhebungen der Wasserversorgungen in der Schweiz. Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches, Zürich
- TVS (1992/93):** Textil- und Bekleidungsindustrie 1991 / 1992, Textilverband Schweiz, Zürich
- VDI (1988):** Rationelle Energietechnik in der Lebensmittelindustrie. Tagung, VDI, München
- VDI (1992):** Energie- und Umwelttechnik in der Lebensmittelindustrie, VDI-Bericht Nr. 979, Düsseldorf
- Verein Schweiz. Zement-, Kalk und Gipsfabrikanten (1990):** Jahresbericht 1990, Zürich
- Verein Schweizerischer Aluminium-Industrieller (1990-1992):** Jahresberichte 1990 und 1991
- VSG: Statistik 1990, 1992.** Verband der Schweizerischen Gasindustrie, Zürich
- Webci (1992):** Prijzenboekje, 16e editie, november 1992, Dutch Association of Cost Engineers, Leidschendam
- Wiedmann U. et al. (1980):** Wärmerückgewinnung aus Abwässern durch energiesparende Wärmepumpensysteme gekoppelt mit Abwassersanierungsanlagen. BMFT Forschungsbericht T 80-022, Bonn
- Wolfart F. et al. (1992):** Kennwerte betrieblicher Prozessketten, RAVEL, Bern
- Wüest & Partner (1994):** Basisdaten zur Entwicklung des Gebäudeparks 1990 - 2030, Zürich
- ZPK (1991):** Jahresbericht 1990. Verband der Schweizerischen Zellstoff-, Papier- und Kartonindustrie

