

Energieperspektiven 2035/2050

Energienachfrage

# Energieverbrauch Industrie

Ergebnisse für die Szenarien III und IV

Stand 25. 05. 2006

---

Auftraggeber  
Bundesamt für Energie, Bern

Bearbeiter  
Walter Baumgartner  
Orsi Ebert  
Felix Weber



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Szenarium III: Neue Prioritäten</b>	<b>2</b>
2.1	Vorgaben	2
2.2	Voraussetzungen	3
2.3	Operationalisierung	4
2.4	Resultate	8
2.4.1	Trendvariante	8
2.4.2	Variante BIP Hoch	12
<b>3</b>	<b>Szenarium IV: Wege in die 2000-Watt-Gesellschaft</b>	<b>15</b>
3.1	Vorgaben	15
3.2	Voraussetzungen	16
3.3	Schlüsseltechnologien	18
3.3.1	Biotechnologie	18
3.3.2	Informationstechnologie	18
3.3.3	Mikrosystemtechnik	19
3.3.4	Nanotechnologie	20
3.4	Operationalisierung	21
3.5	Resultate	22
3.5.1	Trendvariante	22
3.5.2	Variante BIP Hoch	27
3.5.3	Variante Klima wärmer	30
<b>4</b>	<b>Synopsis</b>	<b>32</b>
	<b>Bibliografie (Auszug)</b>	<b>34</b>



## 1 Einleitung

Zur Zeit werden im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BFE) für die Schweiz neue Energieperspektiven ausgearbeitet. Das vorliegende Dokument befasst sich mit dem Teil Industrie, der von Basics bearbeitet wird. Es fasst für die Szenarien III und IV die wichtigsten Vorgaben und Annahmen zusammen und gibt einen knappen Überblick über die Resultate. Die Darstellung entspricht dem **Stand der Arbeiten per Anfang Mai 2006**. Eine ausführliche Darstellung ist mit dem Abschluss der Arbeiten vorgesehen.

Die Energieperspektiven für die Schweiz umfassen ein ganzes Bündel von Szenarien und Sensitivitätsvarianten. Bezogen auf die Industrie können die Hauptszenarien wie folgt charakterisiert werden.

Szenario I modelliert im Sinne eines Trend-Szenarios die bisherige Energiepolitik und setzt diese plausibel in die Zukunft fort. Eine Untervariante (Szenario Ib) betrifft die CO<sub>2</sub>-Abgabe, wie sie vom Bundesrat vorgeschlagen wurde, zur Zeit aber kaum Chancen auf (baldige) Einführung hat.

Szenario II geht von einer "verstärkten Zusammenarbeit" zwischen Staat und Wirtschaft aus. Ausgangspunkt ist dabei eine für die Wirtschaft geltende CO<sub>2</sub>-Abgabe (wie in Szenario Ib, allerdings nur auf den Brennstoffen). Dazu wird mit einem jährlichen Mitteleinsatz von 30 Mio Franken das Energiesparen vor allem bei KMU's zusätzlich unterstützt, vornehmlich über die Subventionierung von Transaktionskosten. Ergänzt wird dieses Paket durch verschiedene Boni, wie u.a. die Möglichkeiten, sich von der CO<sub>2</sub>-Abgabe befreien zu lassen oder von so genannten "Effizienztarifen" zu profitieren.

Szenario III setzt deutlich andere, d.h. ambitioniertere energiepolitische Prioritäten voraus. Es werden anspruchsvolle Ziele für die zu erreichenden CO<sub>2</sub>-Emissionsminderungen, für die Entwicklung des Energieverbrauchs pro Kopf und für den Verbrauchsanteil von Erneuerbaren Energien vorausgesetzt.

Szenario IV schliesslich soll den Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft aufzeigen. Gegenüber Szenario III sind damit die energie- und klimapolitischen Ziele nochmals deutlich verschärft worden.

In den Szenarien I und II sind die energiepolitischen Rahmenbedingungen und Instrumente vorgegeben. Die Modellierung bezweckt damit eine Art ex-ante-Evaluation: Mit welchen Energieverbräuchen und CO<sub>2</sub>-Emissionen muss in den jeweiligen Fällen gerechnet werden? In den Szenarien III und IV ist die Modellierungsaufgabe aber eine andere, indem Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen für die Schweiz als Ganzes im Wesentlichen vorgegeben sind. Gesucht ist zum einem der Beitrag, den die verschiedenen Nachfragesektoren leisten können. Zum andern geht es darum, mögliche Mass-

nahmen und ihre "Eingriffsstärke" zu eruieren, die nötig sind, um die Ziele zu erreichen, so dass ein in sich stimmiges Gesamtszenario entsteht.

Zusätzlich zu den vier Hauptszenarien werden verschiedenste Sensitivitätsvarianten durchgerechnet. Diese betreffen jeweils als Einzeleffekte durchgerechnet ein etwas höheres Wirtschaftswachstum als im Trendfall, deutlich höhere Energiepreise als im Trendfall sowie den quantitativen Einbezug der Klimaerwärmung (was sich u.a. in einem reduzierten Heizenergiebedarf äussert). Noch offen ist, ob nicht auch noch eine Variante mit einer etwa 10 Prozent grösseren Bevölkerung durchzurechnen ist.

Der besseren Übersichtlichkeit halber werden im Folgenden die Szenarien III und IV separat dargestellt, obwohl methodisch und inhaltlich ihr Stellenwert nicht der gleiche ist. Szenario III wird als Übergangsszenario zum Szenario IV verstanden, indem es die (realistische) Ausschöpfung der technischen Potenziale zum Thema hat, aber wegen der Ausklammerung der Einflüsse auf die Mengenkomponten (Produktion) noch nicht ein in sich stimmiges Bild zu zeichnen vermag, aber als Basis für Szenario IV unverzichtbar ist.

## **2 Szenarium III: Neue Prioritäten**

### **2.1 Vorgaben**

Die das Szenario definierende Vorgabe betrifft das zu erreichende energiepolitische Ziel: Gegenüber den Werten für das Jahr 2000 sollen gesamtschweizerisch die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis ins Jahr 2002 um 10 Prozent, bis zum Jahr 2035 um 20 Prozent abnehmen. In Bezug auf den Energieverbrauch soll dieser gesamthaft pro Kopf bis 2035 um 20 Prozent sinken. Dazu kommen Vorgaben in Bezug auf den Einsatz von (neuen) erneuerbaren Energien, die für die Industrie aber quantitativ nicht von Bedeutung sind. Zu den genannten Zielen soll die Industrie im Rahmen des wirtschaftlich Tragbaren ihren Beitrag leisten. Indem mehrere Rechenläufe unter Abstimmung mit den Resultaten der anderen Verbrauchssektoren durchgeführt wurden, konnte sichergestellt werden, dass die Beiträge der verschiedenen Sektoren von einer vergleichbaren relativen "Eingriffsstärke" ausgehen.

Im weiteren entspricht das Szenario III in Bezug auf die wirtschaftlichen Rahmenvorgaben (Entwicklung der Bevölkerung, der Produktion, der Zahl der Beschäftigten, der Energiebezugsflächen) voll und ganz dem Szenario I, dem eigentlichen Trendszenario (für Details vergleiche man die Berichterstattung zu den Ergebnissen von Szenario Ia und Ib, Basics 2005a). Dies bedeutet insbesondere, dass in Szenario III die Industrie das gleiche produziert wie in Szenario I. Der Unterschied liegt nur im dazu benötigten Energieeinsatz / Energieträgersplit. Vorgaben für die Energiepreise gibt es nicht. Das

für die Erreichung der energiepolitischen Ziele approximativ notwendige Preisniveau wird quasi als umgekehrtes Resultat aus der Szenario-Quantifizierung abgeleitet.

## 2.2 Voraussetzungen

In diesem Abschnitt geht es um die Voraussetzungen, die aufgrund der Modellierungsarbeiten erfüllt sein muss(t)en, damit die in Abschnitt 2.4 dargestellten Energieverbräuche überhaupt erreicht werden können. Damit stellt die Darstellung dieser Voraussetzungen wenn man so will das eigentliche Resultat der Arbeiten zu Szenario III dar. Drei Voraussetzungen sollen speziell erwähnt werden:

- (a) Der wichtigste Aufhänger ist die internationale Einbettung der schweizerischen Anstrengungen zur Reduktion des Energieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Mit andern Worten: Damit die Ziele von Szenario III erreicht werden können, müssen Klimaschutz und Energieeffizienz global akzeptierte Themen mit global wirksamen Instrumenten werden. Letzteres bedeutet insbesondere die internationale Handelbarkeit von CO<sub>2</sub>-Emissionsrechten – samt der hierfür notwendigen Kontrolle und Sanktionsmöglichkeiten. Diese Voraussetzung mag angesichts der aktuellen weltenergiepolitischen Lage etwas "verwegen" erscheinen, wenn man aber die schon bislang eingetretenen klimatischen Änderungen in Betracht zieht (vgl. die Ausführungen zu Szenario IV), dann ist es nicht unwahrscheinlich, dass sich die Weltgemeinschaft zu einem einvernehmlichen klimatischen Handeln durchringen kann und die bislang abseitsstehenden Nationen (insbesondere die USA) eine deutliche aktivere Rolle einnehmen werden.
- (b) Die wichtigste konkrete Massnahme stellt eine schweizerische Energie- und CO<sub>2</sub>-Abgabe dar, welche rund eine Verdopplung der Preise zum Resultat haben müsste. Es wird dabei eine staatsquotenneutrale Abgabe ins Auge gefasst, ähnlich wie die aktuelle CO<sub>2</sub>-Abgabe. Es wird also nicht unterstellt, dass die Energiepreise "an sich" ein gegenüber den letzten Jahren doppelt so hohes Preisniveau erreichen, sondern dass dieses Preisniveau künstlich erreicht wird. Dies deshalb, weil selbst recht langfristig gesehen keine preistreibende Energieverknappung droht. Der derzeit sehr hohe Erdölpreis widerspricht dem nicht, sind sich doch die meisten Fachleute darin einig, dass dieser aus kurzfristigen Gründen (Raffinerieengpässe, Spekulationshoffnungen, steigende Nachfrage in China u.a.) überreagiert.

Eine quantitative Fixierung der aus der Abgabe resultierenden Energiepreise wird hier aber nicht vorgenommen, da die Entwicklung im Szenario III nicht preis- sondern technikgetrieben angesetzt wird (Potenzialszenario). Es wird aber implizit unterstellt, dass der zunehmende relative Preisvorteil gemäss Trendvariante für die Elektrizität erhalten bleibt (erst in Szenario IV wird dies geändert).

- (c) Eine weitere Massnahme betrifft die Anpassung von Standards. "Standards" meinen Vorschriften. Diese müssen sich im Produktionskontext aber auf homogene Anwendungen beschränken, etwa Effizienzvorschriften für Elektromotoren oder einfache Systemkomponenten (Pumpen, Ventilatoren u.ä.). Es wäre nicht sinnvoll (und auch kaum möglich durchzusetzen), quantifizierte Anforderung für ganze Prozesse zu formulieren. Im Haustechnikbereich werden die Standards für Dienstleistungsgebäude übernommen.

## 2.3 Operationalisierung

Um in der Einschätzung des technischen Fortschritts genügend realistisch zu bleiben, wird ein Ansatz über "Best-Practice-Technologien" gewählt, deren energetische Güte im Zeitablauf aber nicht gleich bleibt, sondern sich trendmässig weiter verbessert. "Best Practice" heisst, dass die entsprechende Technologie im kommerziellen Zusammenhang sich bereits bewährt hat. Abbildung 2-1 zeigt die im Zusammenhang mit verschiedenen Gütestufen für einen Produktionsprozess verwendeten Begriffe. In aller Regel ist das physikalische Minimum für die Herstellung eines Stoffes oder einer Anlage sehr klein. Dieses kann aber mit vernünftigem Aufwand grosstechnisch nicht erreicht werden, auch wenn in Einzelfällen (etwa in der Grundstoffherstellung) innovative Technologie-Konzepte durchaus in die Nähe der physikalischen Grenze vorstossen können.

**Abb. 2-1: Gütestufen von Produktionsanlagen**

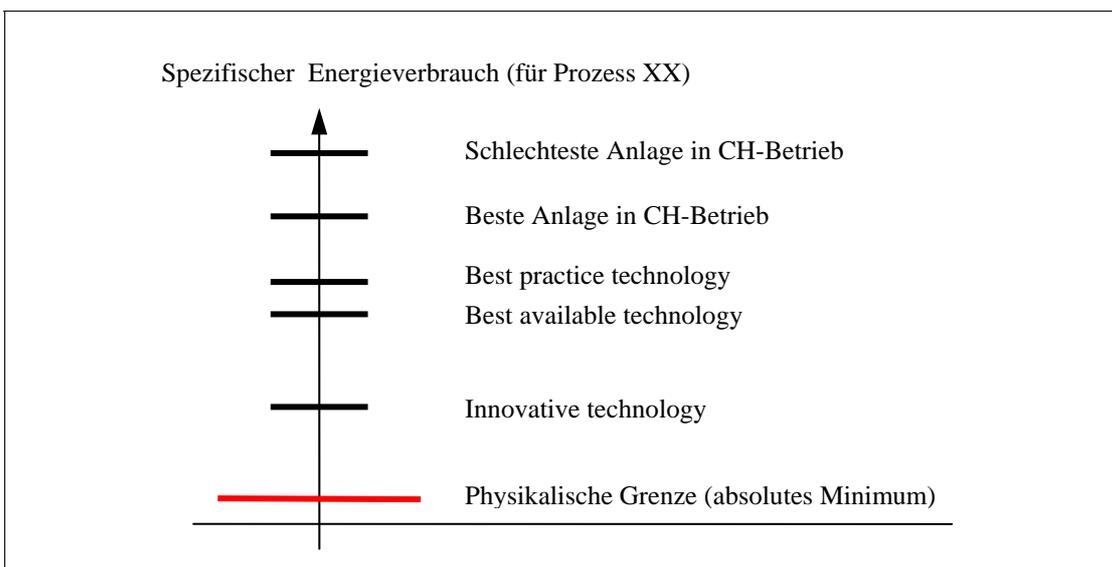


Tabelle 2-2 zeigt als Beispiel einige Daten für das so genannte "Klinkerbrennen", dem bei der Zementproduktion energetisch absolut dominierenden Prozess. Sie zeigen eine für viele Industrieprozesse typische Situation. Mit klassischen Massnahmen (hier etwa:

Abwärmenutzung, Vorwärmung) liegen die aktuellen Werte nahe der technischen Grenze im Sinne der "besten Praxis". Werden aber neue Technologien unterstellt, wie etwa die "kalte" Zementherstellung, dann sind deutlich grössere Einsparungen denkbar. Wir gehen in Szenario III aber nicht davon aus, dass sich solche innovative Technologien im Betrachtungszeitraum so sehr durchsetzen, dass sie im Mix der Produktionsanlagen energetisch sichtbar würden.

**Tab. 2-2: Kenngrössen für das Klinkerbrennen**

Item	Spezifischer Energiebedarf
Aktueller CH-Wert	3.46 GJ / t Klinker
Best-Practice-Wert	2.9 GJ / t Klinker
Innovative-technology-Wert	1.4 GJ / t Klinker
Physikalische Grenze	0.8 GJ / t Klinker
Durchschnittswert im Szenario III für 2035	2.7 GJ / t Klinker

Wie schon in der Berichterstattung für die Szenarien I und II erwähnt, wird der Energieverbrauch mit einem Kohortenansatz ermittelt. Dies bedeutet, dass bestimmte Technologien für eine gewisse Zeit in bestimmten Anlagen eingesetzt werden und erst, wenn die technisch-ökonomische Lebensdauer dieser Anlagen erreicht wird und Ersatzbedarf besteht, neue, in der Regel dann auch energetisch bessere, Technologien zum Zug kommen. Von Ertüchtigungs-, Nach- und Umrüstaktionen abgesehen ergibt sich ceteris paribus die energetische Verbesserung also primär durch den Ersatz alter Anlagen durch neue bessere Anlagen. Eine Beschleunigung des energietechnischen Fortschritts beruht damit ganz wesentlich auf der Verfügbarkeit besserer *neuer* Anlagen im Vergleich zum Trendszenario und ist damit durch eine grosse zeitliche Trägheit charakterisiert.

Für die Modellierung bedeutet dies, dass für sämtliche im Modell unterschiednen Produktionsprozesse unter den in Abschnitt 2.2 erwähnten Voraussetzungen die jeweils im Sinne der Best-practice verfügbaren Anlagen neu definitert wurden. Gegenüber dem bisherigen Niveau sind für Neuanlagen im Jahr 2035 eher vorsichtig spezifische Reduktionen zwischen 5 und 15 % angenommen worden, je nach Prozess und Branche allerdings ziemlich unterschiedlich und zum Teil weniger oder gar mehr. Eigentliche Technologieschübe (wie zum Teil in Szenario IV) werden aber ausdrücklich nicht angenommen. Dass international die Energieeffizienz ein wichtiges Thema ist, muss hier deshalb vorausgesetzt werden, weil sonst nicht nur die Annahmen zu den Best-Practice-Technologien zu optimistisch wären, sondern auch zu ihrer Verbreitung: Was im Produktionsbereich technisch möglich und wirtschaftlich sinnvoll ist, ist aus schweizerischer Optik eine international vorgegebene Konstante.

Im Übrigen wird davon ausgegangen, dass nach einer Übergangsphase rund 85 Prozent der Neuanlagen im Produktionsbereich tatsächlich diesen verbesserten Best-Practice-Anlagen entsprechen (im Haustechnikbereich werden lediglich 50 Prozent angenommen<sup>1</sup>). Der Übergang zu einem konsequenten Einbauen von Best-Practice-Technologien wird über einen logistischen Diffusionsansatz ab 2010, d.h. ab jenem Jahr, ab dem sich Szenario III von Szenario Ia unterscheiden soll, über einige Jahre "verschmiert".

Die Wärme-Kraft-Kopplung (WKK) weist in der Industrie grundsätzlich ein grosses Potenzial auf. Tabelle 2-3 zeigt die nach Quartalen differenzierte Wärmenachfrage bis 300 Grad Celsius bei mindestens 2500 Vollbenutzungsstunden (einmal für 2005, einmal für 2035). Zum Vergleich: Im Jahre 2005 wurde in der Industrie lediglich eine Wärmenachfrage von rund 5 PJ mit WKK-Anlagen gedeckt (ohne Raffinerien).

**Tab. 2-3a: Für WKK im Jahr 2005 grundsätzlich geeignete Wärmenachfrage in der Industrie (ohne Raffinerien, nach Quartalen I bis IV differenziert, in TJ)**

Nr.	Branche	I	II	III	IV
1	Nahrung, Getränke, Tabak	1'048	959	707	1'114
2	Bekleidung	295	243	128	299
3	Papier und Karton	831	784	701	800
4	Chemie	846	707	429	825
5	Glas	35	24	3	36
6	Keramik und Ziegel	90	103	82	110
7	Zement	0	0	0	0
8	Übrige NE-Mineralien	187	219	182	223
9	Metalle, Giessereien	65	48	14	67
10	NE-Metalle	34	25	7	35
11	Metallerzeugnisse	378	273	61	391
12	Maschinenbau, Fahrzeugbau	729	499	53	743
13	Geräte	904	622	73	922
14	Energie, Wasser	78	53	6	79
15	Baugewerbe	356	244	26	363
16	Übrige	781	585	172	813
	Total	6'657	5'390	2'645	6'819

<sup>1</sup> Der Unterschied erklärt sich dadurch, dass im Haustechnikbereich "Best-Practice" schon heute sehr viel besser ist als "durchschnittlich neu" (Stichwort: Minergie-Standard). Einen industriellen Minergie-Standard gibt es aber nicht; und zwar aus zwei Gründen: Erstens ist der Minergie-Standard nicht wirklich wirtschaftlich (selbst unter Berücksichtigung der langen Lebensdauer) und zweitens wird dieser Standard über eine traditionelle, aber wenn man so will im Übermass angewandte Technologie erreicht. Beides kommt in der Industrie nicht vor: Weder werden (stark) unwirtschaftliche Massnahmen realisiert, noch gibt es diese Technologien, die man einfach deutlich stärker anwenden müsste ...

**Tab. 2-3b: Für WKK im Jahr 2035 grundsätzlich geeignete Wärmenachfrage in der Industrie (ohne Raffinerien, nach Quartalen I bis IV differenziert, in TJ)**

		I	II	III	IV
1	Nahrung, Getränke, Tabak	585	511	333	616
2	Bekleidung	236	193	98	240
3	Papier und Karton	646	608	538	622
4	Chemie	659	548	326	643
5	Glas	27	18	2	27
6	Keramik und Ziegel	69	78	62	84
7	Zement	0	0	0	0
8	Übrige NE-Mineralien	138	159	128	164
9	Metalle, Giessereien	50	37	10	51
10	NE-Metalle	25	19	5	26
11	Metallerzeugnisse	282	202	43	291
12	Maschinenbau, Fahrzeugbau	560	384	41	571
13	Geräte	519	358	42	530
14	Energie, Wasser	53	36	4	54
15	Baugewerbe	224	154	16	229
16	Übrige	448	338	104	466
	Total	4'521	3'642	1'753	4'614

Auch wenn sich diese WKK-Potenziale von 2005 bis 2035 wegen der Einsparungen um rund 30 Prozent reduzieren, stellen diese nach Abzug der bereits installierten WKK-Anlagen immer noch ein erhebliches Potenzial dar. Dieses Potenzial dürfte vor allem dann interessant sein, wenn etwaige Deckungslücken beim Stromangebot fossilthermisch gedeckt werden soll(t)en. In den nachfolgend dargestellten Resultaten werden diese Potenziale aber nur trendmässig ausgeschöpft. Diese bedeutet, dass die erreichten Energieverbräuche und CO<sub>2</sub>-Emissionen im Sinne einer Gesamtoptimierung nicht optimal sind. So könnte man unter Ausnützung der Übererfüllung der CO<sub>2</sub>-Ziele (vgl. Seite 11) durch vermehrten WKK-Einsatz den Gesamtenergieverbrauch in der Industrie noch etwas absenken. Die oben ausgewiesenen Potenziale sind aber nicht "verloren"; sie werden in den z.T. noch durchzurechnenden dezentralen Elektrizitätsangebotsvarianten ausgeschöpft.

Auch bei den Substitutionsrelationen gibt es eine gewisse Suboptimalität, allerdings auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen bezogen. Wenn die CO<sub>2</sub>-Emissionen tatsächlich unter allen Umständen reduziert werden sollen, dann müsste beispielsweise das Heizöl extra leicht gegenüber dem Erdgas in stärkerem Masse Marktanteile abgeben. Tatsächlich haben wir in den Szenariorechnungen die in der jüngeren Vergangenheit beobachteten Substitutionsbewegungen etwas verstärkt, aber keinen eigentlichen Trendbruch angenommen.

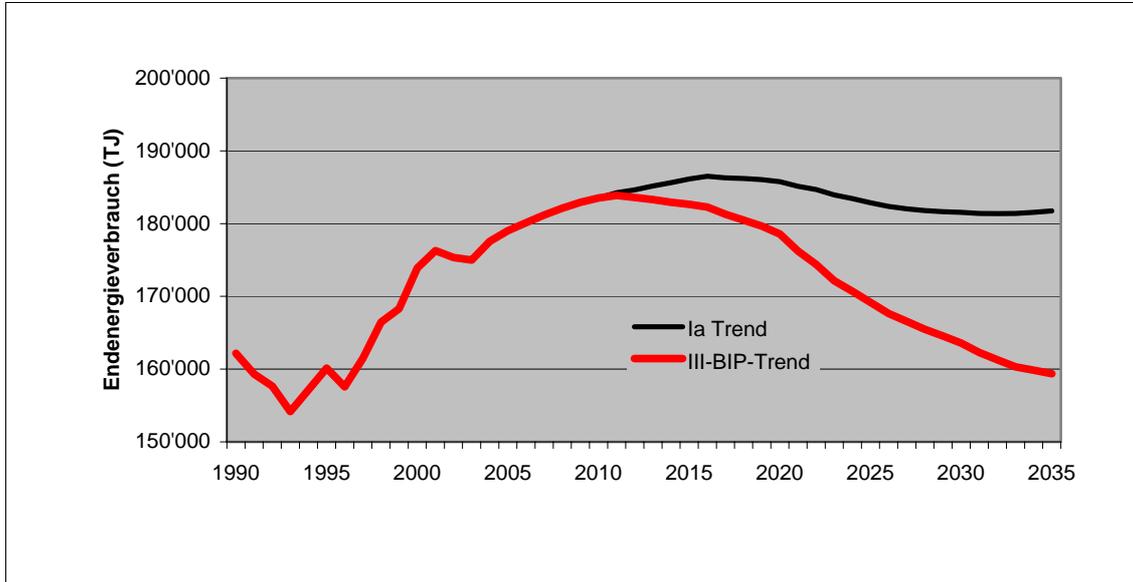
## 2.4 Resultate

Im Folgenden werden die wichtigsten Resultate in Form von Grafiken dargestellt. Die Erläuterungen beschränken sich dabei auf das Allernotwendigste. Weitergehende Informationen und ein ausführliches Tabellenwerk werden im Schlussbericht enthalten sein. Es werden jeweils die Resultate für das Trendszenario III und die Sensitivitätsvariante BIP Hoch angegeben (vgl. in diesem Zusammenhang die Berichterstattung für die Szenarien Ia und Ib).

### 2.4.1 Trendvariante

Abbildung 2-4 zeigt den resultierenden Gesamtenergieverbrauch in Szenario III im Vergleich zu Szenario Ia, die nachfolgenden Abbildungen 2-5 bis 2-7 zeigen den Verbrauch der drei wichtigsten Energieträger. Man beachte dabei, dass die Abszisse die Ordinate nicht bei ihrem Nullpunkt schneidet. Damit wird der Unterschied zwischen den Szenarien I und III vergrößert dargestellt.

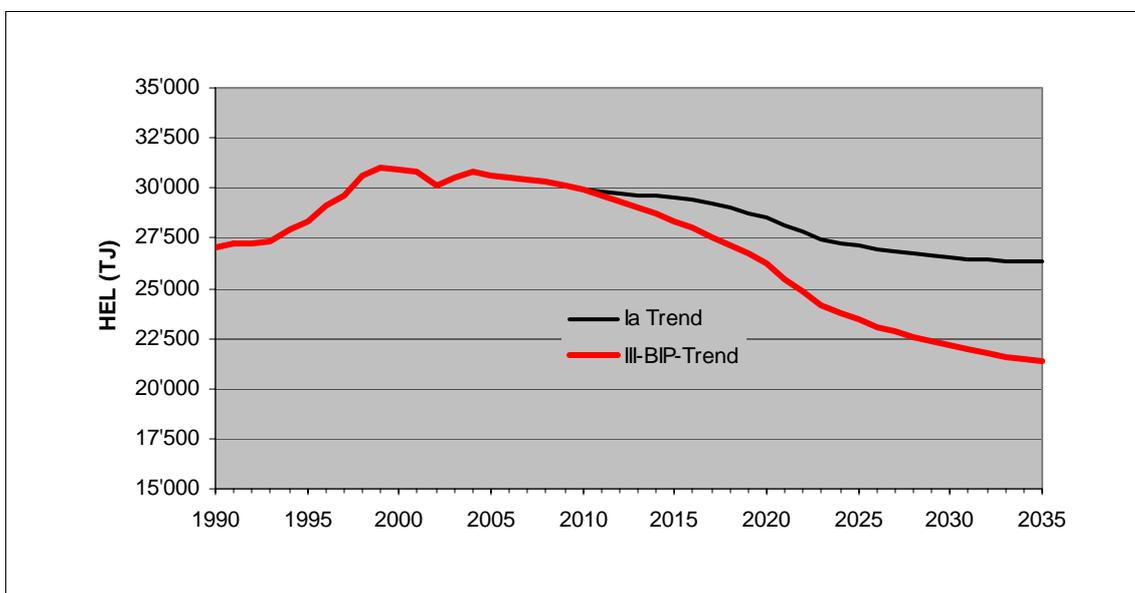
**Abb. 2-4: Energieverbrauch in den Szenarien Ia und III**



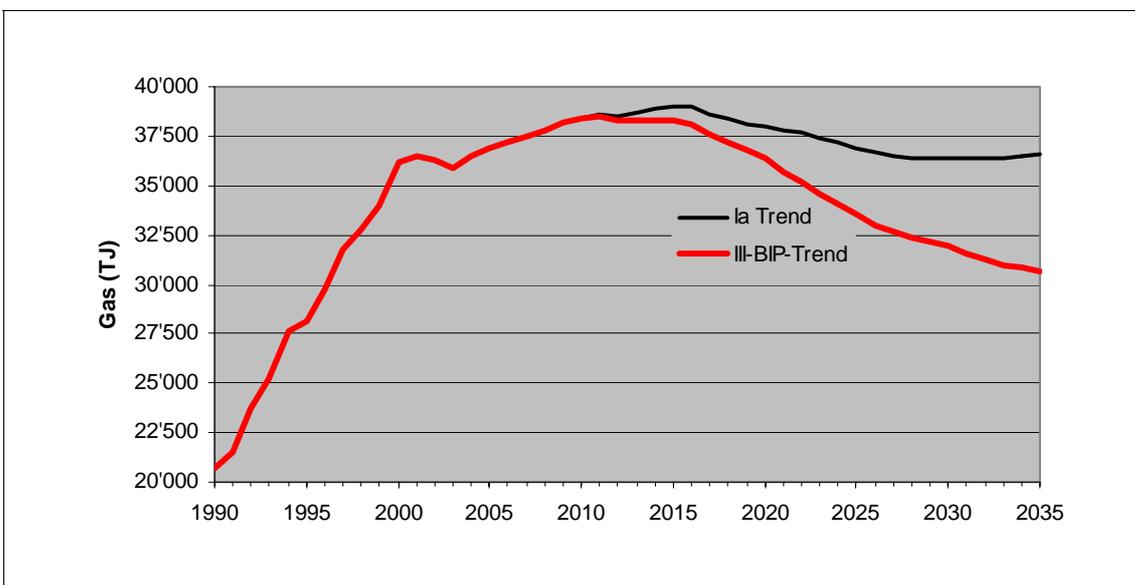
Gegenüber Szenario Ia ist der Energieverbrauch in Szenario III im Jahr 2035 um rund 22 PJ kleiner. Mehr noch: Der Gradient der Verbrauchskurve ist gegen Ende des Betrachtungszeitraumes immer noch deutlich negativ, so dass ceteris paribus in den darauf folgenden Jahren der Energieverbrauch noch etwas weiter absinken dürfte, also das Minimum noch nicht erreicht worden ist. Die sich abzeichnende Abflachung der Verbrauchskurve ist "modelltechnisch" übrigens weniger eine Folge der beschränkten

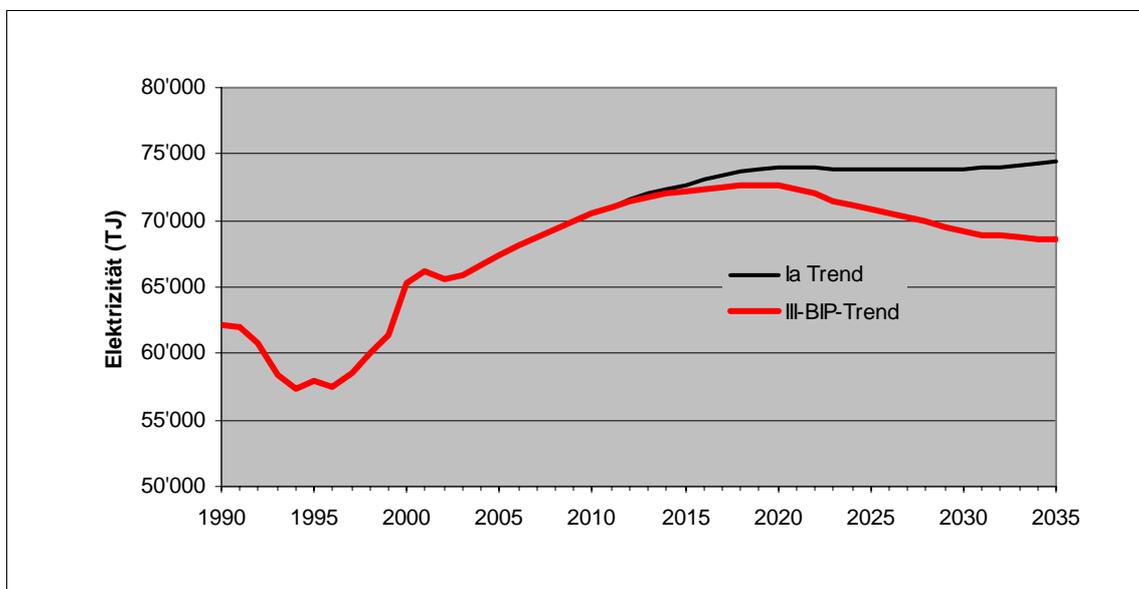
technischen Möglichkeiten, als vielmehr eine Folge der anhaltenden Ausdehnung der Mengenkomponten in der Produktion. Ein analoges Muster findet man auch bei den Energieträgern HEL und Gas (vgl. Abbildungen 2-5 und 2-6), nicht aber für die Elektrizität (vgl. Abbildung 2-7). Für die Elektrizität zeichnet sich bereits gegen Ende des Betrachtungszeitraumes eine Stabilisierung an – knapp über dem heutigen Verbrauchsniveau. Dass die relative Reduktion bei der Elektrizität deutlich geringer ist als bei HEL und Gas hat u.a. damit zu tun, dass die Elektrizität ihren relativen Preisvorteil trotz der angenommenen Abgabe immer noch vergrößert.

**Abb. 2-5: Verbrauch von HEL in den Szenarien Ia und III**



**Abb. 2-6: Verbrauch von Gas in den Szenarien Ia und III**



**Abb. 2-7: Verbrauch von Elektrizität in den Szenarien Ia und III**

Deutlich grösser als bei der Energie ist die relative Reduktion bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen. Diese reduzieren sich im Jahr 2035 gegenüber Szenario Ia um rund 860 000 Tonnen oder rund 17 Prozent. Gegenüber dem Ausgangsjahr 1990 liegen die CO<sub>2</sub>-Emissionen fast 2 Millionen Tonnen tiefer. Deutlich negativer als bei der Energie ist im Übrigen auch der Gradient der Entwicklung im Jahre 2035. In den darauf folgenden Jahren dürften damit die CO<sub>2</sub>-Emissionen weiterhin stark abnehmen.

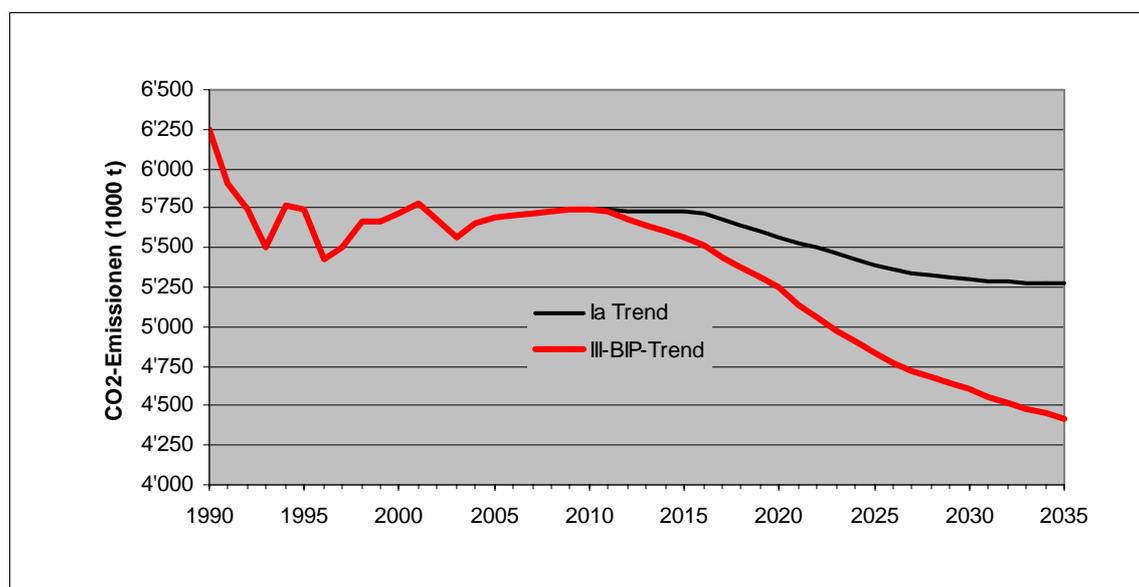
**Abb. 2-8: CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Szenarien Ia und III**

Abbildung 2-9 vergleicht die Energieträgersplits von Szenario Ia und III im Jahr 2035. Grundsätzlich ändert sich am Mix der Energieträger nur wenig, allerdings nimmt das relative Gewicht der CO<sub>2</sub>-freien Energieträger (Neue Energien, Holz, Fernwärme) und der Elektrizität leicht zu.

**Abb. 2-9: Energieträgersplit für 2035 in den Szenarien Ia und III**

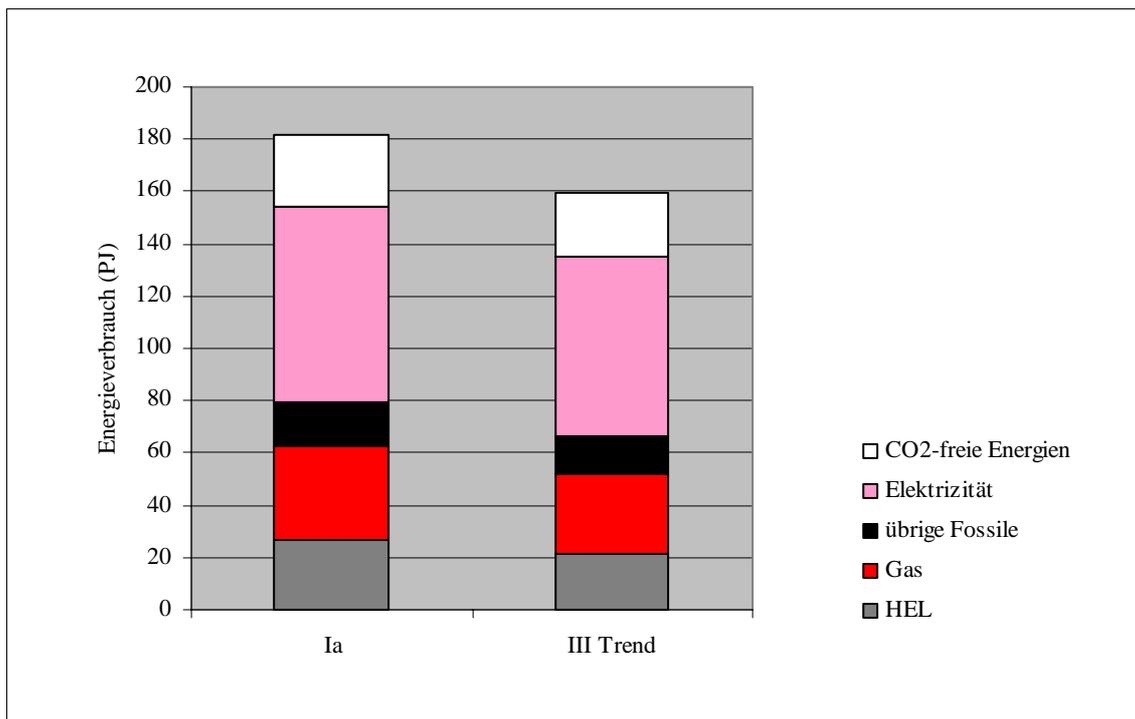


Tabelle 2-10 zeigt eine Gegenüberstellung zwischen den am Anfang gesetzten gesamtschweizerischen Zielen und dem Beitrag der Industrie. Während bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen das Ziel für das Jahr 2035 gut erreicht wird, ist die pro Kopf gemessene Energieverbrauchsreduktion deutlich zu klein.

**Tab. 2-10: Zielerreichung im Szenario III (BIP Trend)**

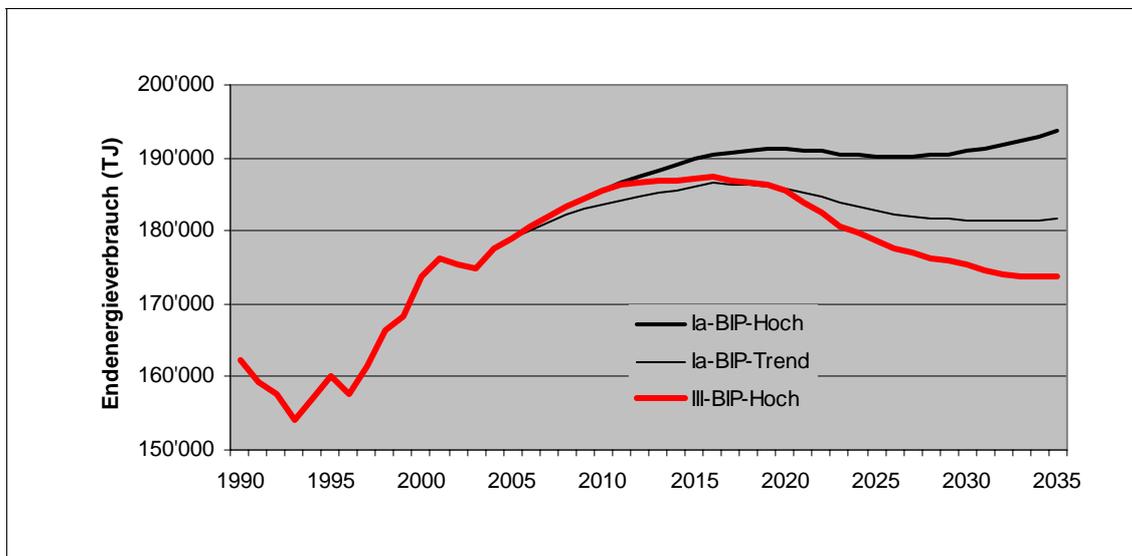
	Industrieergebnis 2035	Gesamtschweizerische Vorgabe 2035
Energieverbrauch	-12 % p.c.	-20 % p.c.
CO <sub>2</sub> -Emissionen	-23 %	-20 %

Bei der Würdigung des Szenarios ist zu beachten, dass die unterstellte Produktion (die Mengenkompone) eigentlich nur sehr eingeschränkt zum Rahmen des Szenarios passt. Wenn die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen international gesehen tatsächlich weit oben auf der politischen Agenda steht, dann wird dies Rückwirkungen darauf haben, was wir konsumieren und was dann die Industrie effektiv produzieren muss. Insofern ist das Szenario III eine Art Übergangsszenario zu Szenario IV: Es steckt einen ersten Rahmen dazu ab, was technisch möglich ist.

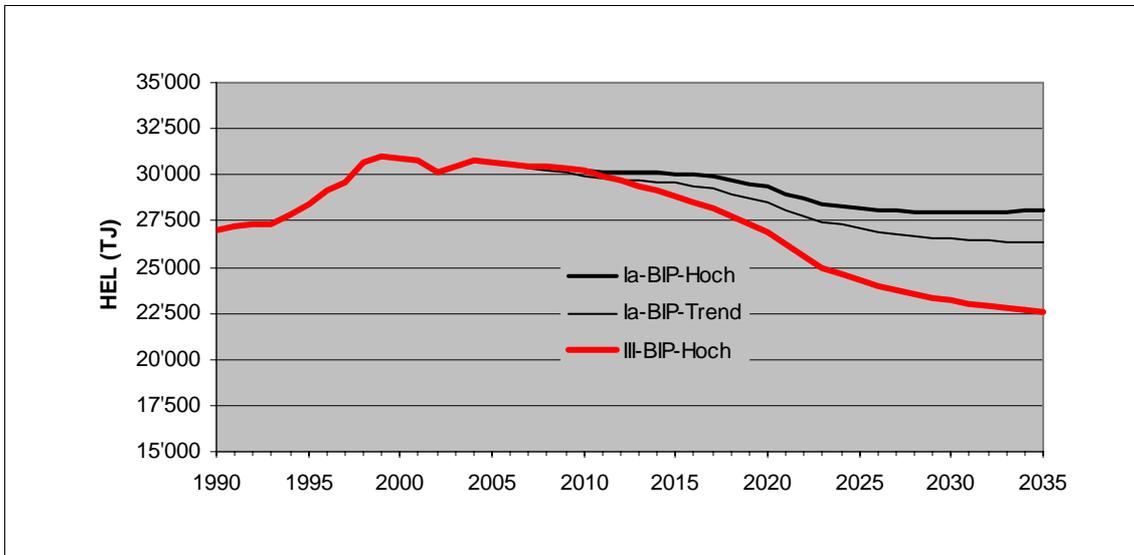
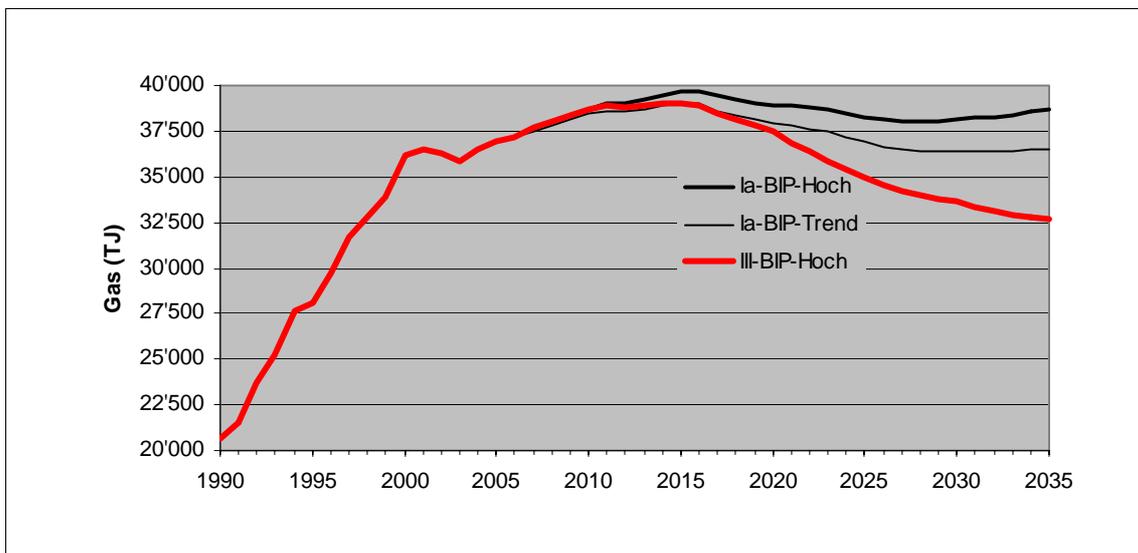
## 2.4.2 Variante BIP Hoch

Im Folgenden werden die Resultate für die BIP-Variante Hoch dargestellt. Zur Erinnerung (mehr Details in Basics 2005a): In der BIP-Variante Hoch erreicht die Wertschöpfung im Jahre 2035 einen rund 25 % höheren Wert als in der Trendvariante. Abbildung 2-11 zeigt den resultierenden Energieverbrauch, die nachfolgenden Abbildungen 2-12 bis 2-14 den Verbrauch der drei wichtigsten Energieträger.

**Abb. 2-11: Energieverbrauch in den Szenarien Ia und III für BIP Hoch**



Das deutlich höhere Wirtschaftswachstum hat zur Folge, dass der gesamte Energieverbrauch nach einer vorübergehenden deutlichen Zunahme zwar nachher wieder abnimmt, sich gegen Ende des Betrachtungszeitraumes aber etwa auf dem heutigen Niveau stabilisiert. Eine weitere Abnahme in den nachfolgenden Jahren ist ceteris paribus dann nicht mehr zu erwarten.

**Abb. 2-12: Verbrauch von HEL in den Szenarien Ia und III für BIP Hoch****Abb. 2-13: Verbrauch von Gas in den Szenarien Ia und III für BIP Hoch**

Während bei den Energieträgern HEL und Gas gegenüber heute eine doch deutliche Reduktion des Verbrauchs resultiert, zeigt der Elektrizitätsverbrauch nach einer deutlichen Steigerungsphase eine Abflachung, welche gegen Ende des Betrachtungszeitraumes aber wieder einem Wachstum Platz macht. Mit andern Worten: Die erheblichen Sparanstrengungen in Szenario III vermögen in der Variante BIP Hoch die Verbrauchszunahme über das Wirtschaftswachstum nicht wirklich zu kompensieren. On the long run nimmt der Elektrizitätsverbrauch auf deutlich höherem Niveau wieder zu.

**Abb. 2-14: Verbrauch von Elektrizität in den Szenarien Ia und III für BIP Hoch**

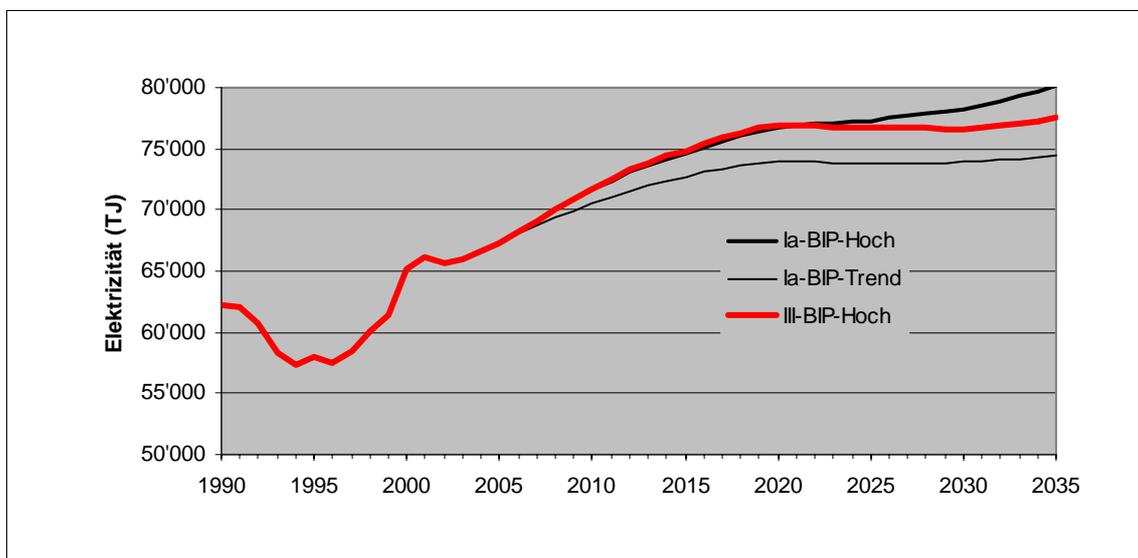


Abbildung 2-15 zeigt die resultierenden CO<sub>2</sub>-Emissionen. Trotz der deutlich grösseren industriellen Wertschöpfung der Industrie nehmen diese immer noch stark ab.

**Abb. 2-15: CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Szenarien Ia und III für BIP Hoch**

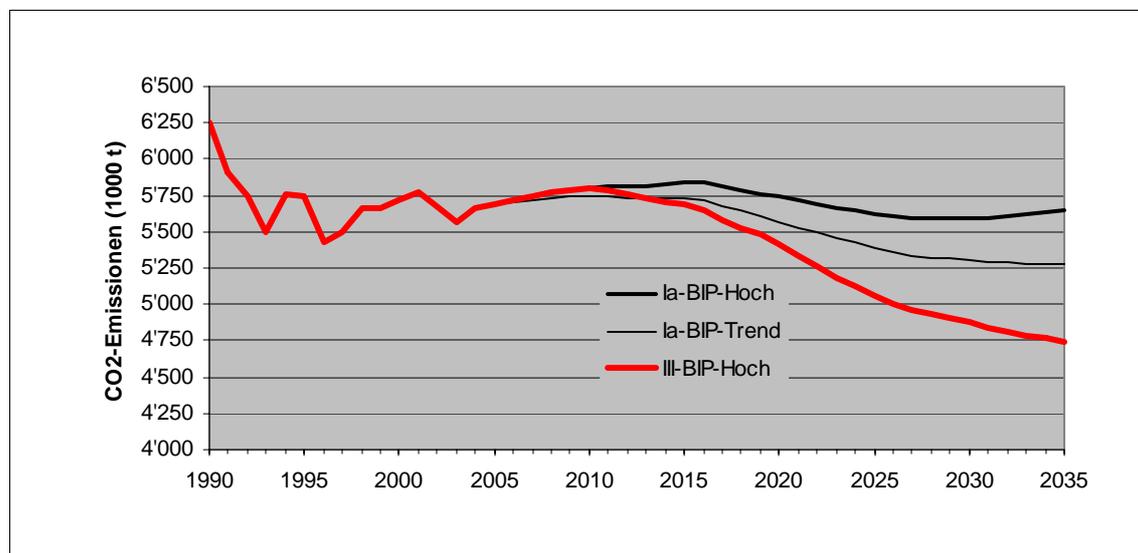


Tabelle 2-16 zeigt schliesslich eine Gegenüberstellung zwischen den am Anfang gesetzten gesamtschweizerischen Zielen und dem Beitrag der Industrie. Im Gegensatz zur Trendvariante des BIP wird jetzt das Ziel für die CO<sub>2</sub>-Emissionen für das Jahr 2035 knapp verfehlt, erst recht verfehlt wird das Verbrauchsziel pro Kopf.

**Tab. 2-16: Zielerreichung im Szenario III (BIP Hoch)**

	Industrieergebnis 2035	Gesamtschweizerische Vorgabe 2035
Energieverbrauch	-4 % p.c.	-20 % p.c.
CO <sub>2</sub> -Emissionen	-17 %	-20 %

### 3 Szenarium IV: Wege in die 2000-Watt-Gesellschaft

#### 3.1 Vorgaben

Das Szenario IV soll aufzeigen, wie allenfalls ein Weg in eine 2000-Watt-Gesellschaft aussehen könnte. 2000 W meint damit jenes durchschnittliche Verbrauchsniveau pro Kopf, das unter Berücksichtigung der energetischen Vorleistungen maximal erreicht werden darf. Heute liegt die entsprechende Zahl für den Durchschnittsschweizer rund dreimal höher (für Details zur 2000-Watt-Gesellschaft: Jochem 2004b).

Damit eine 2000-Watt-Gesellschaft einigermaßen realistisch wird, müssen die energiepolitischen Ziele gegenüber Szenario III deutlich verstärkt werden. Gesamtschweizerisch soll im Vergleich zu 2000 der CO<sub>2</sub>-Ausstoss bis 2035 um 35 Prozent reduziert werden, genau so wie der Pro-Kopf-Energieverbrauch. Dieses Ziel wird für die Industrie (wie in Szenario III) aber nicht streng übernommen, sondern bloss im Sinne einer allgemeinen technologisch und produktionsmässig dazu passenden Entwicklung.

Anders als in Szenario III gelten die wirtschaftlichen Rahmenvorgaben (Entwicklung der Bevölkerung, der Produktion, der Zahl der Beschäftigten) nur in Bezug auf die Totale, nicht in Bezug auf die Branchenaufteilung. Dies bedeutet, dass im Rahmen des Modellierungsprozesses z.B. die branchenbezogenen Wertschöpfungen nicht konstant gehalten werden müssen, sondern nur deren Gesamttotal. Damit entsteht "modelltechnisch" die Möglichkeit, die Struktur der Produktion zu ändern – passend zu den energiepolitischen Vorgaben, zu den Voraussetzungen und insbesondere zur angenommenen Technologieentwicklung (s.u.). Dabei wird allerdings darauf geachtet, dass die gesamte Wertschöpfung im Wesentlichen konstant bleibt. Analoges gilt für die Zahl der Beschäftigten, nicht hingegen für die Energiebezugsflächen. Diese werden sowohl nach dem Total wie auch nach der Branchenaufteilung variiert. Gesamthaft ergibt sich so die Möglichkeit, ein in sich stimmiges Szenario zu schaffen, in sich stimmiger als es Szenario III ist.

## 3.2 Voraussetzungen

In diesem Abschnitt geht es wie für Szenario III um die "Voraussetzungen", die aufgrund der Modellierungsarbeiten erfüllt sein muss(t)en, damit die in Abschnitt 3.5 dargestellten Energieverbräuche überhaupt erreicht werden können. Damit stellt die Darstellung dieser Voraussetzungen wiederum das eigentliche Resultat der Arbeiten zu Szenario IV dar. Fünf Voraussetzungen sollen speziell erwähnt werden:

- (1) Noch stärker als in Szenario III wird die Klimaerwärmung von allen Staaten als *das* globale Problem akzeptiert. Der ursächliche Zusammenhang mit den Treibhausgasen (vor allem CO<sub>2</sub> und Methan) ist unbestritten. Entsprechend geniessen der Klimaschutz, die Verbesserung der Energieeffizienz (für alle Energieträger) und der sparsamer Umgang mit Rohstoffen weltweit oberste Priorität.<sup>2</sup>
- (2) Für alle Staaten werden verbindliche CO<sub>2</sub>-Ziele festgelegt sowie bei Nichterreichen Sanktionen verhängt. Der Zertifikate-Handel für Treibhausgase wird international institutionalisiert und überwacht. Weltweit werden auf allen Energieträgern hohe Abgaben erhoben. Für die Schweiz wird ab 2010 eine (staatsquotenneutrale) Energieabgabe angenommen, die eine Verdopplung der Energiepreise gegenüber den Basisannahmen mit sich bringt. Die Ausgabe ist im Gegensatz zu Szenario III so ausgestaltet, dass der relative Preisvorteil der Elektrizität im Zeitverlauf deutlich reduziert wird.
- (3) Da Energie ein zentrales Thema ist, wird international die Energieforschung im Prozessbereich stark forciert; was heute als labormässige Möglichkeit gilt, wird effektiv verwirklicht und im Produktionsprozess auch eingesetzt. In vielen Bereichen ist der energietechnische Fortschritt grösser als in Szenario III (s. u.). Die Umsetzung wird durch die Abgaben (und die produktionsmässigen Anpassungen, s.u.) beschleunigt.
- (4) Deutlich stärker als in Szenario II (vgl. Basics 200b) wird in Szenario IV eine Politik der Zusammenarbeit zwischen Behörden und Wirtschaft angenommen. Jedes Unternehmen wird periodisch von Experten besucht, um die jeweils versprochenen Spar-Anstrengungen zu überprüfen, allfällige Boni freizugeben (etwa Befreiung von der Abgabe, Gewährung von speziellen Tarifen, Entlastung von Detailvorschriften) bzw. allenfalls Sanktionen auszusprechen.

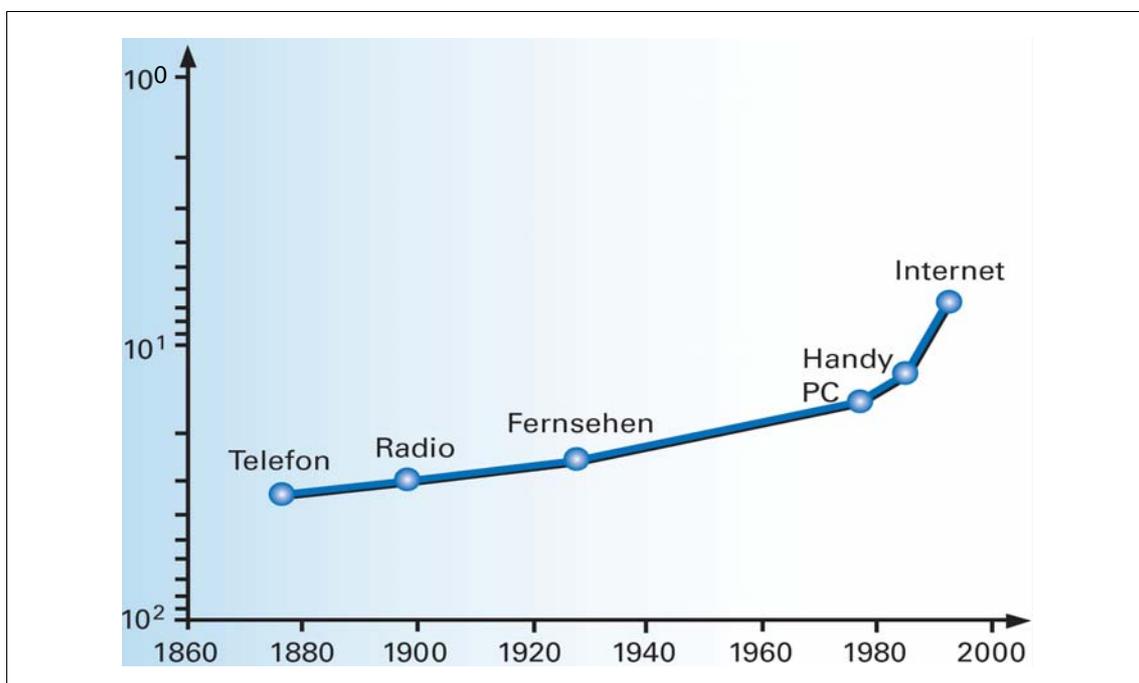
---

<sup>2</sup> Pro memoria: 2005 war seit (mindestens) 1880 weltweit das wärmste Jahr. Seit 1970 steigt die durchschnittliche Oberflächentemperatur mit knapp 0.02 Grad je Jahr an. Fast überall ist es auf der Erde in den letzten 30 Jahre wärmer geworden. Die ausgeprägtesten Temperaturerhöhungen werden aber ausgerechnet im hohen Norden beobachtet, mit möglicherweise dramatischen Folgen für den Golfstrom  
(Quelle: <http://data.giss.nasa.gov/gistem/2005/>).

- (5) Die schon heute zu beobachtende Tendenz zur Virtualisierung der Gesellschaft wird unter dem Gesichtspunkt der Ressourcenschonung speziell gefördert und damit noch stärker durchschlagen. So wird – als plakatives Beispiel verstanden – die elektronische Online-Zeitung die traditionelle Papierzeitung praktisch vollständig ersetzen. Dass dies mit erheblichen Folgen nicht nur für die Papier- und Druckindustrie verbunden ist, liegt auf der Hand.

Die Denkfigur ist klar: Je virtueller eine Gesellschaft funktioniert, desto weniger Energie benötigt sie<sup>3</sup>. Dass die Virtualisierung der Gesellschaft tatsächlich ein langfristiger und sich immer mehr beschleunigender Prozess darstellt, macht Abbildung 3-1 deutlich. So zeigt sich, dass die Massenanzahl von Erfindungen im Telekommunikationsbereich ab dem Zeitpunkt der Erfindung immer weniger Zeit benötigt. Mit andern Worten: Das elektronische Papier könnte (als ein Beispiel unter anderen) sehr viel schneller eine breite Massenanzahl erfahren, als wir dies uns heute vorstellen können.

**Abb. 3-1: Massenanzahl von Erfindungen (Zahl der Jahre bis zur Anwendung bei 25 Prozent der US-Bevölkerung; Quelle: R. Kurzweil, Spektrum der Wissenschaft, Januar 2006)**



<sup>3</sup> Natürlich gibt es gegenläufige Effekte. Der energetisch zunächst günstige virtuelle Arbeitsplatz könnte ausgerechnet auch zur Folge haben, dass man als Arbeitnehmer physisch noch mobiler werden muss als schon bisher. Man kann ja "überall" arbeiten.

### 3.3 Schlüsseltechnologien

Dieser Abschnitt versteht sich als unvollständiger Exkurs zu jenen Technologien, die im Szenario IV einen besonderen Stellenwert genießen. Unsere Darstellung und vor allem die wichtigsten Annahmen für die Modellierung basieren wesentlich auf dem Kompakt-Delphi, das von Prognos im vergangenen Winter durchgeführt wurde und auf einem in diesem Zusammenhang erfolgten Expertentreffen (Prognos 2006). Darüber hinaus gehen viele weitere Quellen ein, nicht zuletzt auch eine von Basics im Zusammenhang mit der Nanotechnologie durchgeführte Technologiefolgenabschätzung (Baumgartner 2003). Eine vollständige Referenzliste wird im Schlussbericht enthalten sein.

Wir greifen die folgenden vier Technologiebereiche heraus:

- (1) Biotechnologie (neue Produktionsverfahren)
- (2) Informationstechnologien (Steuerung, Automatisierung, Simulation, KI usw.)
- (3) Mikrosystemtechnik (Integration, Interfaces usw.)
- (4) Nanotechnologie (Oberflächen, Membranen usw.)

Um Missverständnissen vorzubeugen: Diese Technologien sind natürlich keine Exklusivität von Szenario IV. Wir gehen aber davon aus, dass durch die vorausgesetzte Technologieoffensive sich gerade in diesen Bereichen besonders viel tut.

#### 3.3.1 Biotechnologie

Mit biotechnologischen Verfahren können viele chemische Prozesse, die bei hohen Temperaturen und grossem Druck ablaufen, unter Einsatz von geeigneten Organismen (z.B. Pilzen, Bakterien oder Algen, z.T. gentechnisch verändert) bei energetisch weniger aufwändigen Umgebungsbedingungen ablaufen (Biokatalyse), etwa in so genannten Bioreaktoren oder Fermentern. Bei einigen Prozessen sind Einsparpotenziale von 75 bis 95 Prozent möglich. Besonders wichtige (neue) Anwendungen liegen in der Pharmazie. Vor allem in Verbindung mit der Nano(bio)technologie (s.u.) sind – bei entsprechenden Forschungsanstrengungen – erhebliche Fortschritte zu erwarten.

Gegenüber den Annahmen für Szenario III wurden die spezifischen Einsparungen bis 2035 in der Pharmazie um rund 15 Prozent erhöht.

#### 3.3.2 Informationstechnologie

Die Informatik erlaubt es schon heute, in vielen Produktionsprozessen über ausgefeilte Steuerungsmechanismen z.T. beträchtliche Effizienzsteigerungen zu realisieren. Zunehmend "intelligenter" werdende Steuerungen werden es erlauben, bis an die techno-

logischen Grenzen zu gehen. Die Fortschritte der Informationstechnologie werden auch die Simulationsmöglichkeiten so sehr erhöhen, dass der Entwicklungs- und Optimierungsaufwand bei Neuentwicklungen massiv gesenkt werden kann. Neue Produktionsprozesse werden von Beginn weg energetisch im Rahmen der jeweils angenommenen technischen Möglichkeiten (nahezu) optimal ausgelegt sein.

Auch die Automatisierung/Roboterisierung wird im Produktionsprozess weiter zunehmen (Stichwort: menschenleere Fabrik), aber auch in den Konsumbereich vorstossen (Stichwort: Putzroboter).

Gegenüber den Annahmen zu Szenario III gehen wir von einem deutlich erhöhten Informatik-Einsatz in der Produktion aus. Gesamthaft wird mit einer Reduktion des spezifischen Energieverbrauchs zwischen 5 und 10 Prozent gegenüber Szenario III bei neuen Anlagen bis 2035 gerechnet.

### **3.3.3 Mikrosystemtechnik**

In der Mikrosystemtechnik weisen die funktionsbestimmenden technischen Strukturen Abmessungen im Mikrometerbereich auf. Die Mikrosystemtechnik kombiniert u.a. Methoden und Strukturen aus den Bereichen der Mikroelektronik, der Mikromechanik, der Mikrofluidik und der Mikrooptik. Damit werden völlig neue Systeme möglich, mit Sensoren, Aktoren und (zumeist) lokaler Intelligenz. Aktuelle Beispiele stellen die Druckköpfe der Bubble-Jet-Printer dar, die Beschleunigungs-Sensoren zur Auslösung von Airbags, die Instrumente der minimal-invasiven Chirurgie oder chemische Sensoren für Überwachungsaufgaben in der Lebensmittelindustrie. Viele moderne bzw. sich in Entwicklung befindliche Displaytechniken basieren auf mikrosystemischen Ansätzen (bis hin zum flexiblen Bildschirm).

Direkte quantitativ bedeutsame energetische Wirkungen dürften in den üblichen Produktionsprozessen aber kaum zu erwarten sein, wohl aber indirekte, indem z.B. billige und qualitativ hoch stehende Displays das Papier als Informationsträger substituieren können.

Gegenüber den Annahmen für Szenario III wird u.a. den Anwendungen in der Display-Technik in einer sich virtualisierenden Gesellschaft grosses Gewicht gegeben – mit den eben angesprochenen Substitutionswirkungen (z.B. Minderproduktion beim Papier um 50 Prozent).

### 3.3.4 Nanotechnologie

Nach Ansicht vieler ExpertInnen ist die Nanotechnologie die Technologie des 21. Jahrhunderts. Unter Nanotechnologie wird gemeinhin eine Vielzahl von (möglichen) Technologien und (möglichen) Produkten verstanden, deren gemeinsames Charakteristikum in der ausserordentlichen Kleinheit der massgeblichen Grössenverhältnisse besteht. Die Nanotechnologie zielt auf die konstruktive Beherrschung von Grössenordnungen, die den kleinsten (funktionellen) biologischen Strukturen entsprechen, d.h. nur noch Dimensionen von einigen Nanometern aufweisen. Damit will die Nanotechnologie bis an die Grenzen des (deterministisch) Konstruierbaren vorstossen. Dass damit technisch ungeahnte Möglichkeiten erschlossen werden, ist offensichtlich und dass die möglichen Auswirkungen auf fast alle Bereiche unseres Lebens enorm sind, genau so.

Die Nanotechnologie steht heute aber erst am Anfang. Zwar gibt es bereits eine ganze Reihe von realen Produkten und Produktionsverfahren, die mit diesem Begriff in Zusammenhang gebracht werden, aber noch ist deutlich mehr Spekulation als gesicherte Erkenntnis im Spiel, selbst wenn es "nur" um die nächsten 10 oder 20 Jahre der nanotechnologischen Möglichkeiten geht.

Dennoch ist absehbar, dass die Nanotechnologie eine grosse Zukunft haben wird, etwa in der Medizin, aber auch bei Anwendungen im Zusammenhang mit hocheffizienten Membranen, der massgeschneiderten Oberflächenveredelung (Stichwort: Lotuseffekt), der Sensorik und Analytik, aber auch in der Informatik. Hier dürfte sie es erlauben, das Moore'sche "Gesetz", welches eine Verdopplung der Integrationsdichte bei der Chip-Herstellung alle 18 Monate konstatiert, über viele weitere Jahre aufrechtzuerhalten, obwohl die klassische Siliziumtechnologie allmählich an ihre (quantenmechanischen) Grenzen stösst.

Mit den Fortschritten der Nanotechnologie entstehen aber gleichzeitig neue, toxikologisch noch kaum absehbare Risiken, die bereits heute eine leidenschaftliche Debatte ausgelöst haben. Ob die "nanotechnologischen Risiken" wirklich beherrscht werden können, ist zur Zeit ziemlich unklar.

Gegenüber den Annahmen für Szenario III wird davon ausgegangen, dass dieses Risikoproblem so gelöst werden kann, dass eine gedeihliche Entwicklung möglich ist. Im Zeitfenster bis 2035 dürfte die Nanotechnologie in der Industrie energetisch u.a. beim Auftrennen von Fluiden in seine Komponenten (Membrane) eine grössere Rolle spielen, aber auch bei thermischen Isolationsprozessen und Oberflächenbeschichtungen (etwa schmutzabweisende Oberflächen in Wärmetauschern). Bei "passenden" Prozessen rechnen wir bis 2035 mit bis zu 20 Prozent Verbesserungen für neue Anlagen.

### 3.4 Operationalisierung

Im Kohortenmodell bilden die Best-Practice-Technologien gemäss Szenario III die Ausgangslage für die 143 abgebildeten Produktionsprozesse. Die im Modell unterschiedenen Produktionstechnologien werden durch erwähnten Schlüsseltechnologien und die konsequente Ausrichtung auf Energieeffizienz weiter verbessert (bis 2035 in der Regel um 5 bis 20 Prozent gegenüber den Bestwerten von Szenario III). Bei den hierfür getroffenen Detail-Annahmen werden die Ergebnisse des Kompakt-Delphis (Prognos (2006) berücksichtigt. In keinem Fall werden aber Effizienzannahmen getroffen, die über das hinausgehen, was grundsätzlich heute schon im Labor machbar oder absehbar wäre. Absolut neue, heute noch gar nicht einschätzbare Entwicklungen werden ausgeklammert. Für die Haustechnikprozesse (Licht, Raumwärme und Warmwasser, Bürogeräte) werden die Resultate des CEPE übernommen – unter Berücksichtigung des von Branche zu Branche recht unterschiedlichen Energieträger-Mixes.

Ein entscheidender Unterschied zu Szenario III besteht, wie schon erwähnt, darin, dass für Szenario IV die MengenkompONENTEN angepasst wurden. In allen früheren Szenarien wurden diese, von Ausnahmen abgesehen, mit einem fixen, an der Vergangenheit geeichten Algorithmus aus den branchenbezogenen Wertschöpfungsvorgaben von Eco-plan abgeleitet. Jetzt wurden diese MengenkompONENTEN so angepasst, dass sie besser mit dem Gesamtbild des Szenarios verträglich sind (vgl. Tabelle 3-2). Dabei geht es z.B. darum, dass eine ökonomisch bestimmte Zunahme der Papierproduktion von 1990 bis 2035 um rund 45 Prozent angesichts einer annahmegemäss auf Ressourcenschonung fokussierten Entwicklung keinen Sinn macht (bei tendenziell schrumpfender Bevölkerung!). Es wurden deshalb exogen Korrekturfaktoren geschätzt, die basierend auf den Resultaten des Kompakt-Delphis und zusätzlichen Experteneinschätzungen eine in sich plausiblere Entwicklung der MengenkompONENTEN darstellen müssten. Mittels der erwähnten ökonomischen Zusammenhänge wurde dabei sichergestellt, dass die gesamte Wertschöpfung in etwa konstant bleibt.

**Tab. 3-2: Veränderung der MengenkompONENTE in Szenario IV für das Jahr 2035 verglichen mit Szenario Ia (Auswahl)**

Produkt / Branche	Einheit	Veränderung (%)
Papierproduktion	Mio t	– 50
Textil	Index	+ 5
Chemie	Mengenindex	+ 10
Maschinen	Index	± 0
Geräte	Index	+ 5
Stahl	t	– 8
Druck	Index	– 40

Die Tabelle zeigt für einige MengenkompONENTEN die angenommenen Veränderungen gegenüber den entsprechenden Werten in Szenario III (BIP Trend). Die Prozentsätze beziehen sich auf die Situation des Jahres 2035. Für den Zeitraum 2010 bis 2035 wird eine bei 0 Prozent startende lineare Interpolation "logistisch" überlagert. Die angegebenen Werte verstehen sich als Saldo: So würde nach unserer Ansicht das Druckgewerbe durch die virtuelle und damit papierärmere Gesellschaft (inkl. Printing on Demand) stärker zurückgehen müssen, aber das Druckgewerbe kann einen Teil durch Hightech-Printing (bis hin zum Chip-Printing) wieder gut machen.

Zur Interpretation: In erster Näherung (d.h. u.a. ohne Berücksichtigung des technischen Fortschritts und der Kohortenentwicklung des jeweiligen Produktionsparks) würde der Energieverbrauch proportional zur Veränderung der MengenkompONENTEN reagieren (Elastizität gleich 1). Mit der Berücksichtigung der Kohortenentwicklung fällt die Reaktion aber in der Regel schwächer aus, sowohl beim Rückgang wie auch bei der Ausweitung der Produktion (Elastizität kleiner 1).

Nebst den MengenkompONENTEN werden auch die Energiebezugsflächen branchenspezifisch gegenüber Szenario III angepasst. Während die Produktionsflächen gesamthaft schrumpfen (um ca. 3 Mio m<sup>2</sup>), nehmen die Büroflächen um etwa 1 Mio m<sup>2</sup> zu. Da die benötigten Büroflächen modellmässig mit den Beschäftigten verkoppelt sind (die Produktionsflächen sind mit der Produktion verkoppelt), sind aber die Auswirkungen der Produktionsänderungen auf die Beschäftigtenverteilung noch nicht verlässlich abschätzen konnten, sind diese Veränderungen noch etwas provisorisch.

## 3.5 Resultate

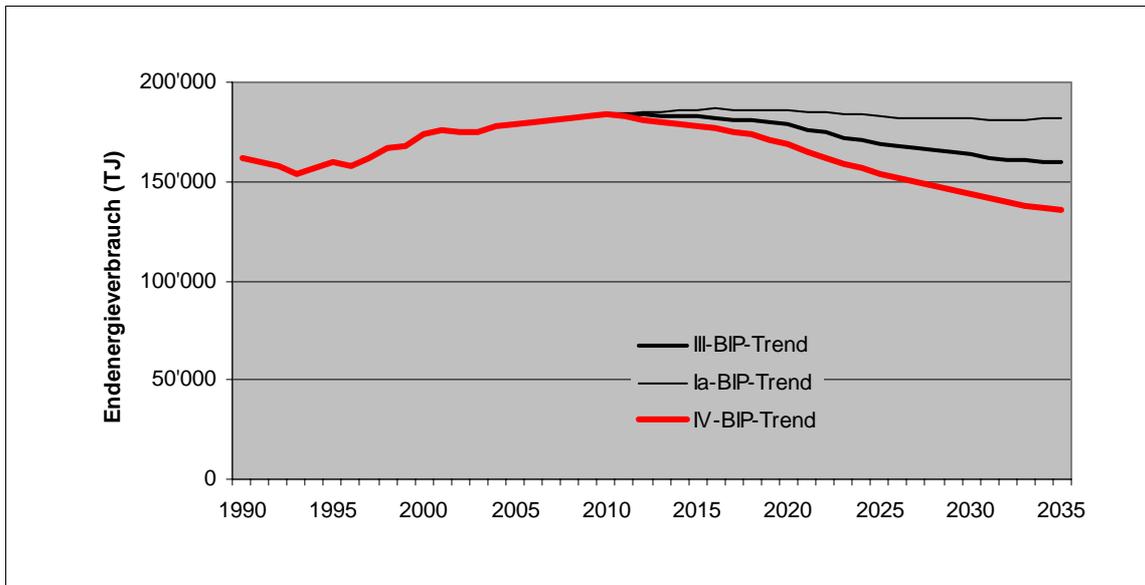
Im Folgenden werden wieder die wichtigsten Resultate in Form von Grafiken dargestellt. Die Erläuterungen beschränken sich wie bei Szenario III auf das Allernotwendigste. Weitergehende Informationen und ein ausführliches Tabellenwerk werden im Schlussbericht enthalten sein. Es werden die Resultate für das Trendszenario IV und die Sensitivitätsvarianten BIP Hoch und Klima wärmer angegeben. Eine Sensitivitätsvariante Preise Hoch macht keinen Sinn, da das Szenario IV nicht preis- sondern technologiegetrieben modelliert wurde. Da die Veränderungen von Szenario IV gegenüber den anderen Szenarien recht gross werden, wird bei allen Zeitreihen der Nullpunkt der Ordinate gezeigt.

### 3.5.1 Trendvariante

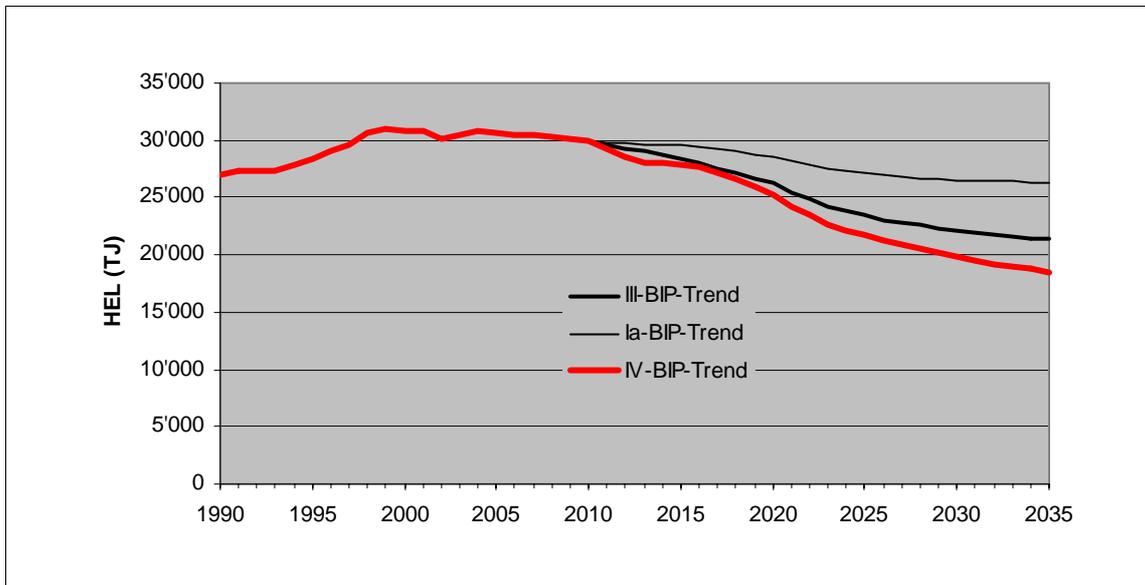
Abbildung 3-3 zeigt den resultierenden Energieverbrauch. Im Vergleich zu Szenario IV ergibt sich im Jahr 2035 eine Reduktion von 46.5 PJ. Die Abbildungen 3-4 bis 3-6 zei-

gen die Verbräuche von HEL, Gas und Elektrizität. Erstmals folgt bei der Elektrizität eine klar abnehmende Tendenz (ab etwa dem Jahr 2015)

**Abb. 3-3: Endenergieverbrauch in den Szenarien Ia, III und IV**



**Abb. 3-4: Verbrauch von HEL in den Szenarien Ia, III und IV**



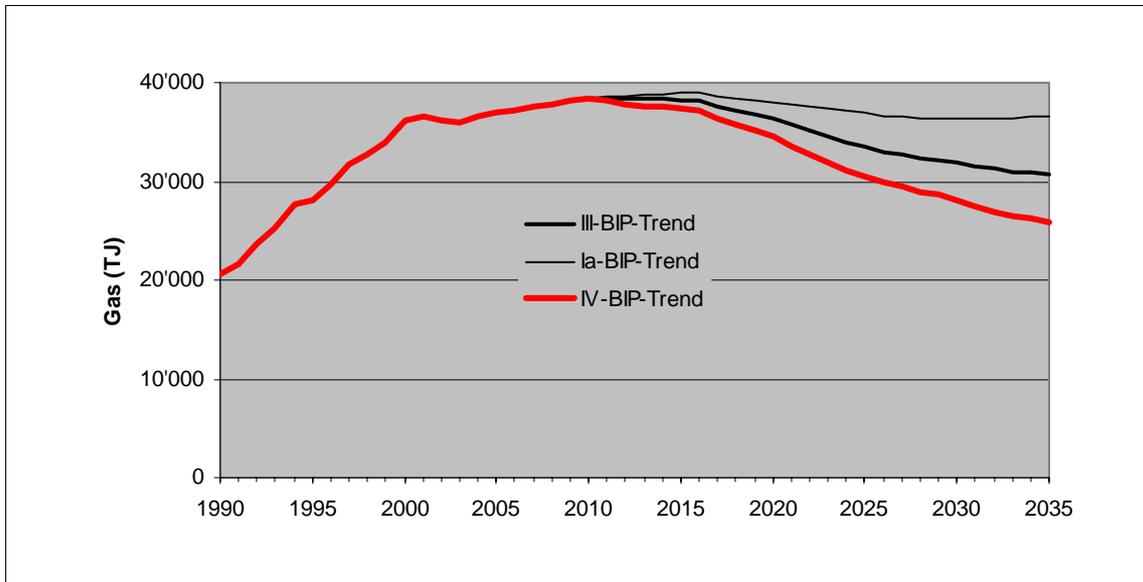
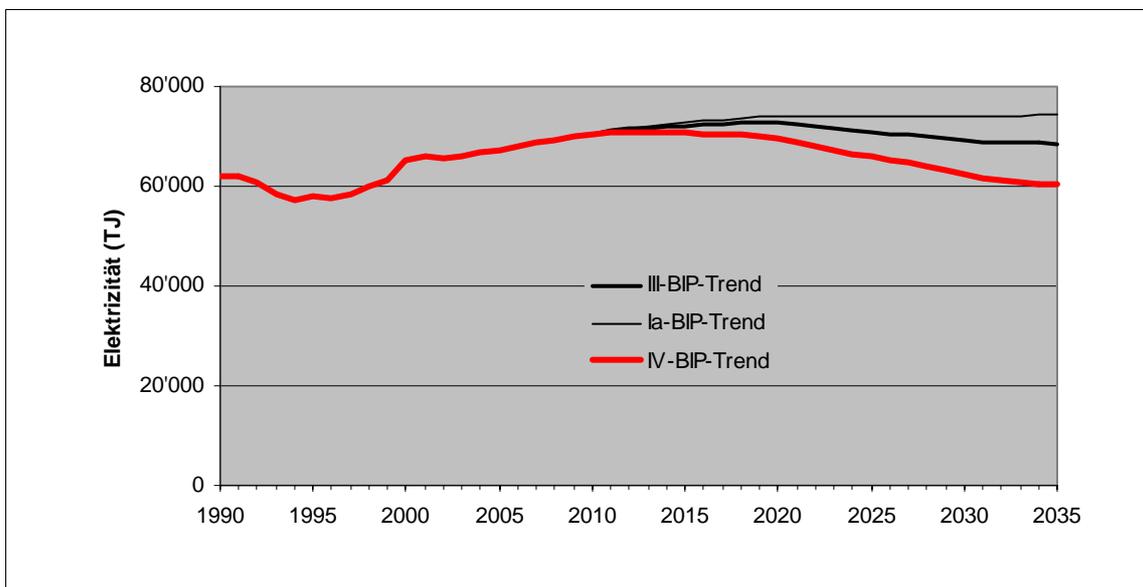
**Abb. 3-5: Verbrauch von Gas in den Szenarien Ia, III und IV****Abb. 3-6: Verbrauch von Elektrizität in den Szenarien Ia, III und IV**

Abbildung 3-7 zeigt den Verlauf der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Gegen Ende des Betrachtungszeitraumes wird die 4-Millionen-Tonnen-Grenze deutlich unterschritten, mit weiterhin klar abnehmender Tendenz.

**Abb. 3-7: CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Szenarien Ia, III und IV**

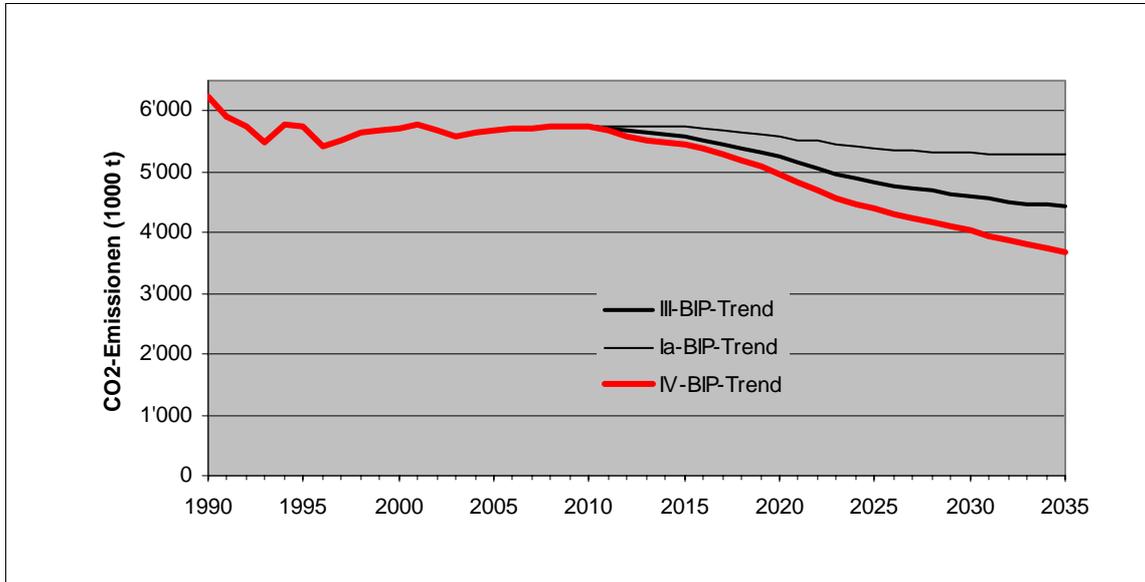
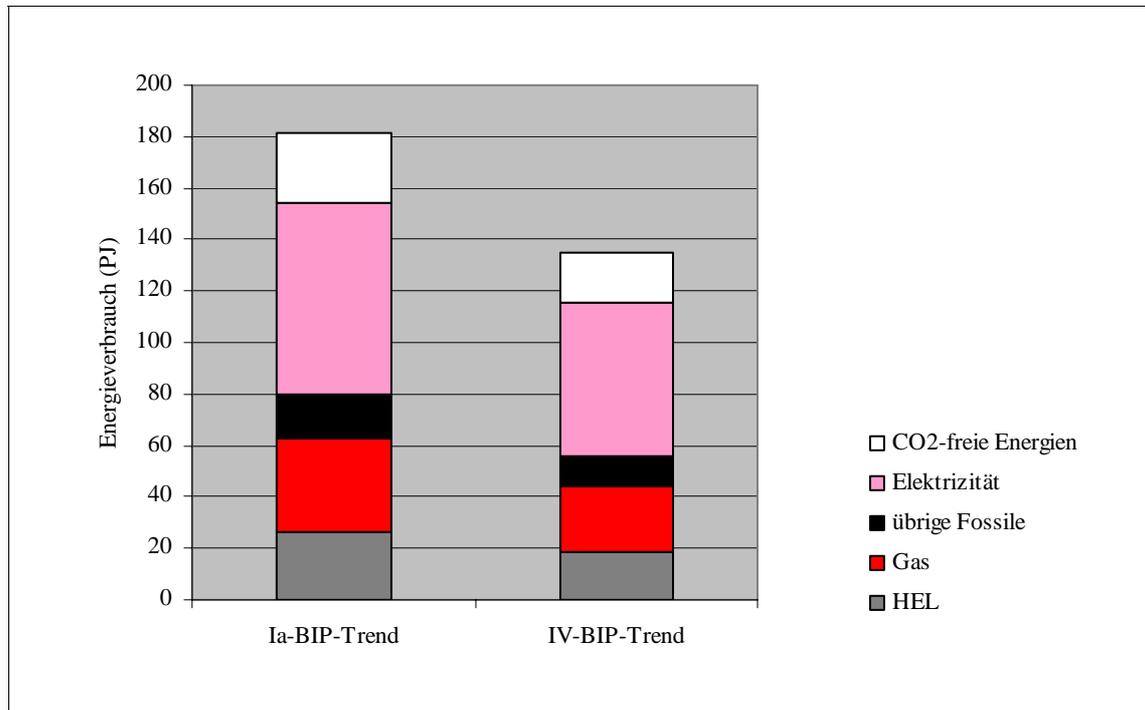


Abbildung 3-8 zeigt für das Jahr 2035 den resultierenden Energieträgersplit im Vergleich zu jenem von Szenario Ia (BIP Trend).

**Abb. 3-8: Energieträgersplit für 2035 in den Szenarien Ia und IV**



Die Zielerreichung ist schliesslich in Tabelle 3-9 dargestellt. Bezüglich der CO<sub>2</sub>-Emissionen wird das gesamtschweizerische Ziel (zufällig) exakt erreicht, beim Energieverbrauchsziel verbleibt aber eine grössere Lücke.

**Tab. 3-9: Zielerreichung im Szenario IV (BIP Trend)**

	Industrieergebnis 2035	Gesamtschweizerische Vorgabe 2035
Energieverbrauch	-25 % p.c.	-35 % p.c.
CO <sub>2</sub> -Emissionen	-36 %	-35 %

Im Sinne einer Gesamtwürdigung des Szenarios möchten wir hier folgende Punkte herausgreifen (eine ausführlichere Diskussion wird im Schlussbericht enthalten sein)

- (1) Grundsätzlich sind in die Szenario-Modellierung keine Suffizienzüberlegungen im Sinne eines bewussten Konsum- bzw. Produktionsverzichtes eingeflossen. Wenn beispielsweise auf die "papierne" Zeitung verzichtet wird, dann deshalb, weil die elektronische "online-Ausgabe" aktueller, verlinkter, animierter, klarer auf die eigenen Bedürfnisse ausgerichtet ist usw. Auf der energetischen Seite wurden alle jene Sparmassnahmen bzw. Technologieentwicklungen berücksichtigt, die im Szenario-Rahmen "Platz" haben bzw. mit der angenommenen Abgabe auf Energie wirtschaftlich werden.
- (2) Gegenüber Szenario III ist vor allem zu betonen, dass durch den Wegfall des relativen Preisvorteiles bei der Elektrizität diese substitutiv deutlich weniger stark profitiert. Gesamthaft ergibt sich ein Rückgang des Elektrizitätsverbrauchs im Vergleich zu 2005 um rund 10 Prozent. Anteilsmässig nimmt die Bedeutung der Elektrizität aber nach wie vor stark zu (2005: 38 Prozent; 2035: 45 Prozent). Dies sollte bei den Anforderungen an die Versorgungssicherheit bei der Elektrizität berücksichtigt werden.
- (3) Ähnlich wie für Szenario III gilt auch für Szenario IV, dass keine ausgesprochene WKK-Strategie gefahren wird, sondern lediglich eine Trendfortsetzung nach Massgabe der unterstellten Produktionsmengen unterstellt wird. Die verbleibenden Potenziale stehen für bestimmte Deckungsvarianten des Elektrizitätsangebotes zur Verfügung.
- (4) Auch Fernwärme, Holz und Abfälle, alles Energieträger, die als CO<sub>2</sub>-frei gelten, nehmen bis 2035 im Vergleich zu 2005 zwischen 40 bis 50 Prozent ab. Dies ist u.a. Folge einer allgemeinen energetischen Ertüchtigung der Nachfrager, dann auch ei-

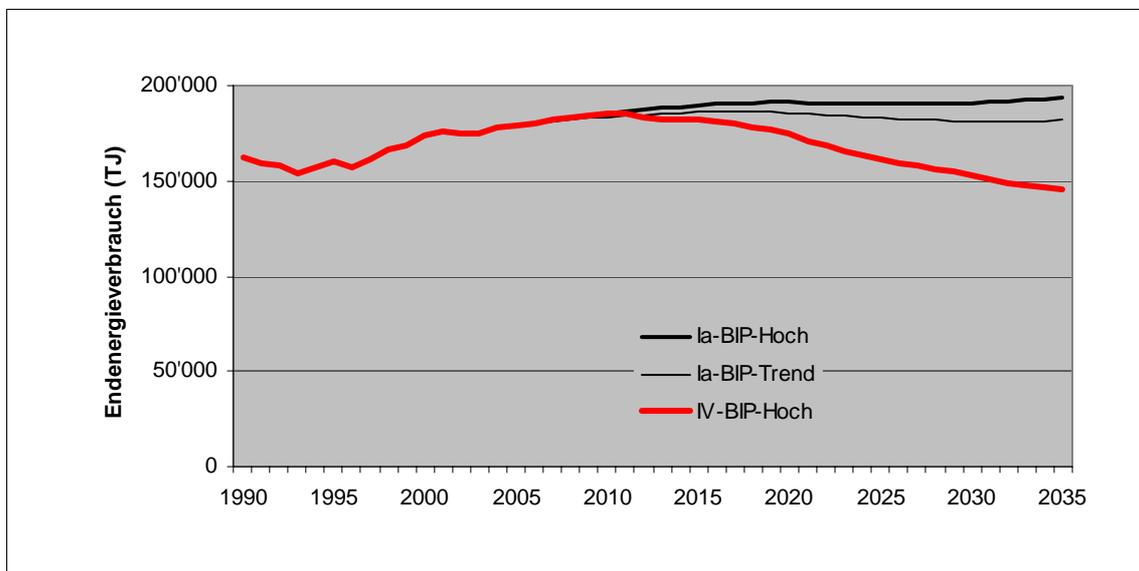
ne Folge des Rückganges der Zement- und Papierproduktion und schliesslich Ausdruck eines weiter verbesserten Recyclings.

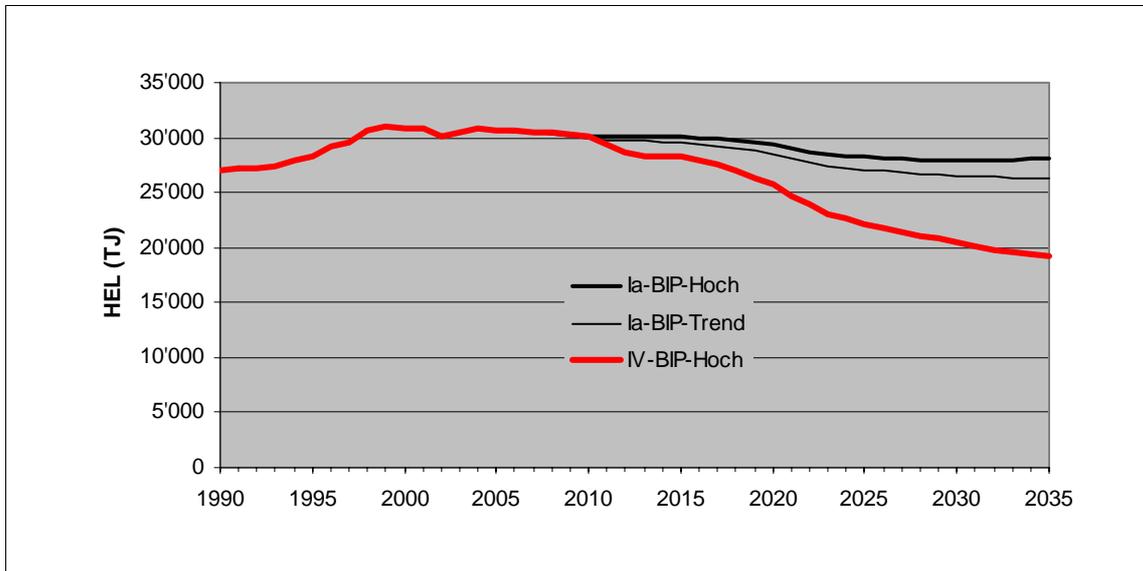
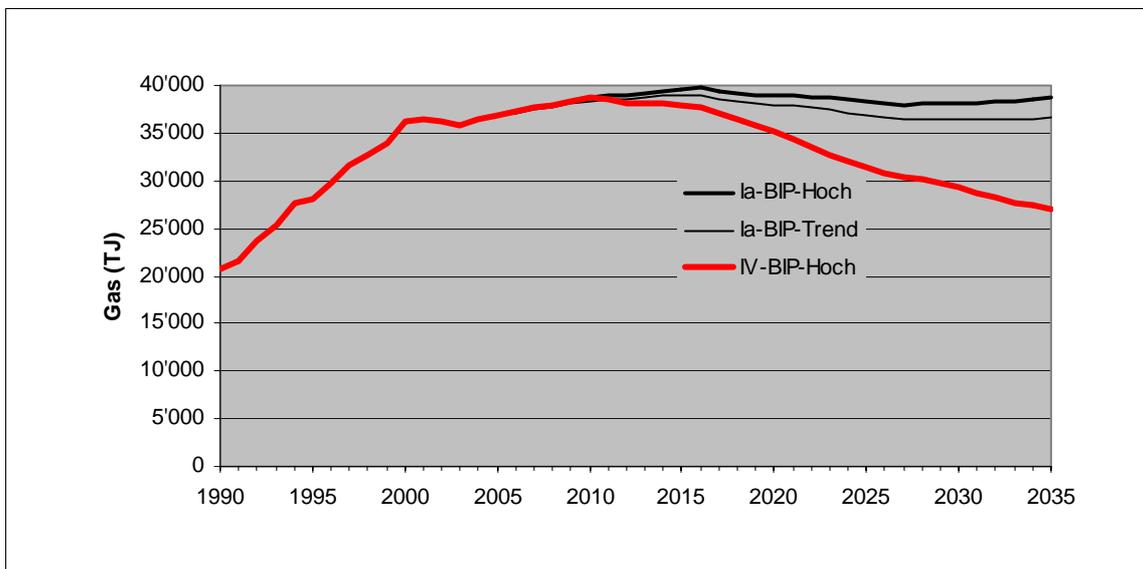
- (5) Inwiefern Szenario IV tatsächlich auf dem Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft ist, soll u. a. mit den noch ausstehenden Arbeiten zur Vision 2050 aufgezeigt werden.
- (6) Noch offen ist die Rückwirkungen auf die Beschäftigtenzahlen. Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass diese in einem "Hightech-Szenario" eher etwas höher liegen könnten als in den übrigen Szenarien. Im Moment wird aber davon ausgegangen, dass diese im Total sich nicht ändern.

### 3.5.2 Variante BIP Hoch

Die Energieverbrauchsresultate für die Sensitivitätsvariante BIP Hoch (für Details vgl. Basics 2005a) sind in den Abbildungen 3-10 bis 3-13 dargestellt. Die deutlich höhere Wertschöpfung hat zur Folge, dass der gesamte Energieverbrauch ab 2010 nurmehr langsam zurückgeht, allerdings mit mehr oder weniger konstantem Trend und damit über die Betrachtungsperiode bis 2035 hinaus.

**Abb. 3-10: Endenergieverbrauch in den Szenarien Ia und IV**



**Abb. 3-11: Verbrauch von HEL in den Szenarien Ia und IV****Abb. 3-12: Verbrauch von Gas in den Szenarien Ia und IV**

**Abb. 3-13: Verbrauch von Elektrizität in den Szenarien Ia und IV**

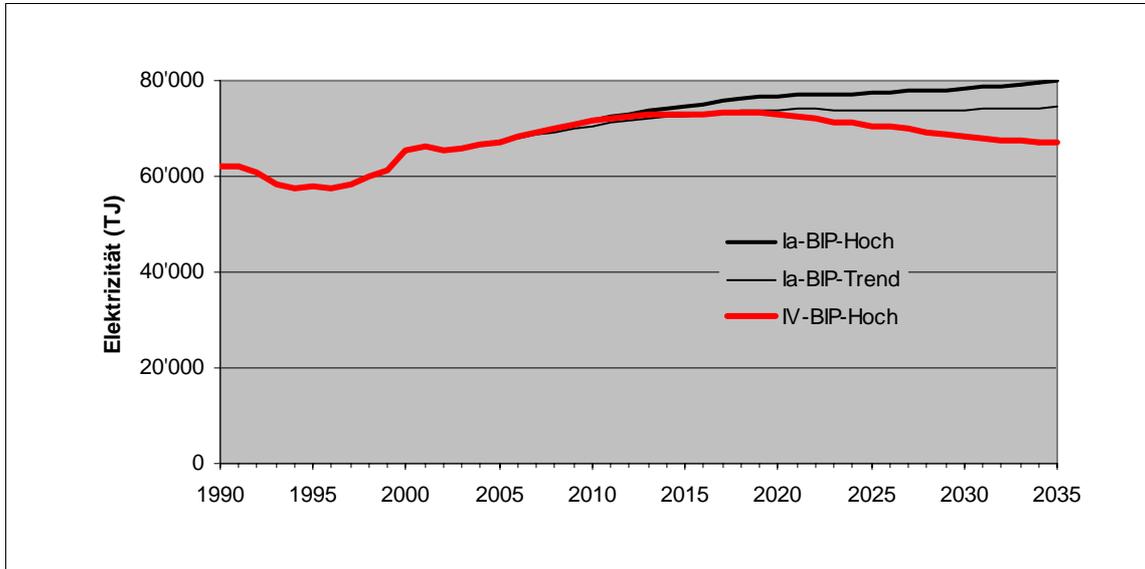


Abbildung 3-14 zeigt den Verlauf der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Gegen Ende des Betrachtungszeitraumes wird auch in der Sensitivitätsvariante BIP Hoch die 4-Millionen-Tonnen-Grenze unterschritten, allerdings nur knapp, aber mit weiterhin klar abnehmender Tendenz.

**Abb. 3-14: CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Szenarien Ia und IV**

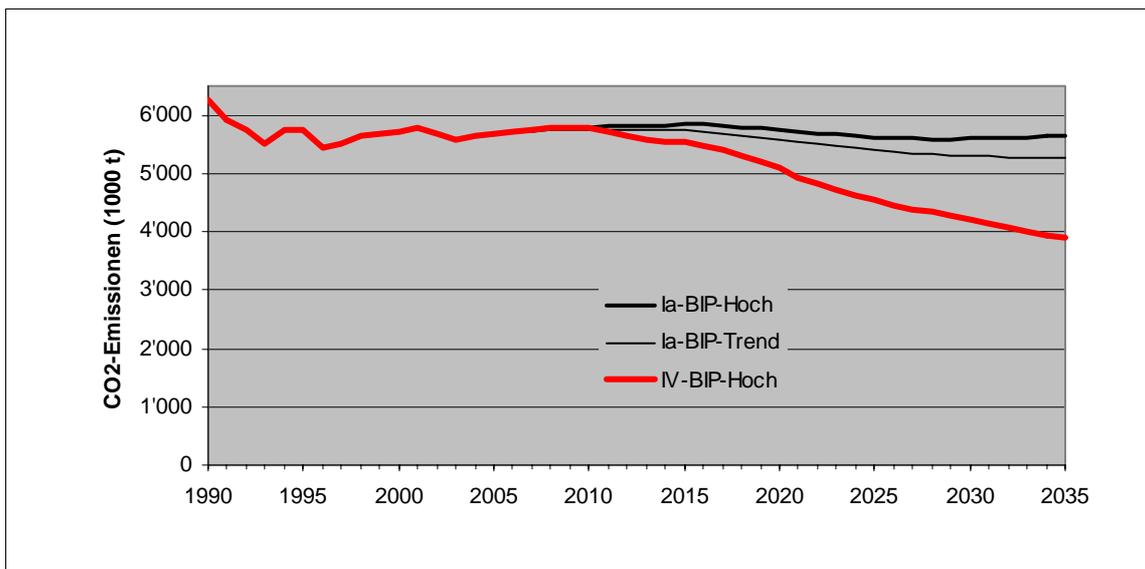


Tabelle 3-15 zeigt schliesslich die Zielerreichung. Gegenüber der Trendentwicklung ist die Zielerreichung beim Energieverbrauch um 5. bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen um 3 Prozent schlechter.

**Tab. 3-15: Zielerreichung im Szenario IV (BIP Hoch)**

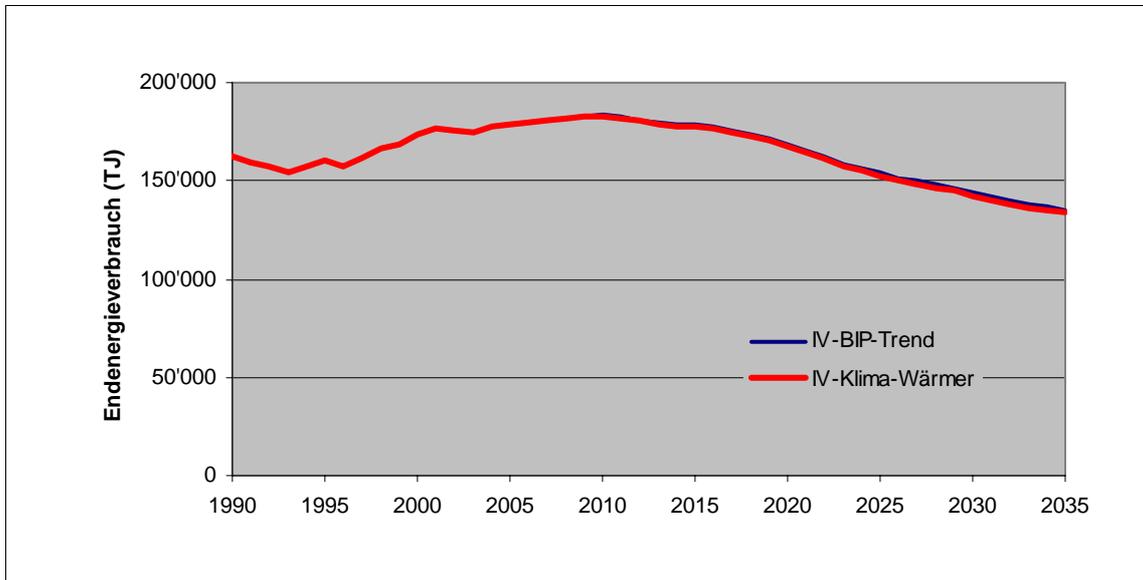
	Industrieergebnis 2035	Gesamtschweizerische Vorgabe 2035
Energieverbrauch	-20 % p.c.	-35 % p.c.
CO <sub>2</sub> -Emissionen	-32 %	-35 %

Bei der Würdigung der Sensitivitätsvariante BIP Hoch ist zu beachten, dass die Berechnungen rein algorithmisch durchgeführt wurden. Dies bedeutet, dass bislang keine inhaltlichen Anpassungen gegenüber den Berechnungen für die Trend-Variante eingegangen sind. Für den definitiven Run soll dies aber in der Richtung geschehen, dass sich die grössere Wertschöpfung in einer überproportionalen "Technologisierung" der Industrie mit tendenziell dämpfendem Einfluss auf den Energieverbrauch niederschlagen sollte. Die energetischen Auswirkungen dürften per saldo gegenüber den hier dargestellten Resultaten aber klein sein.

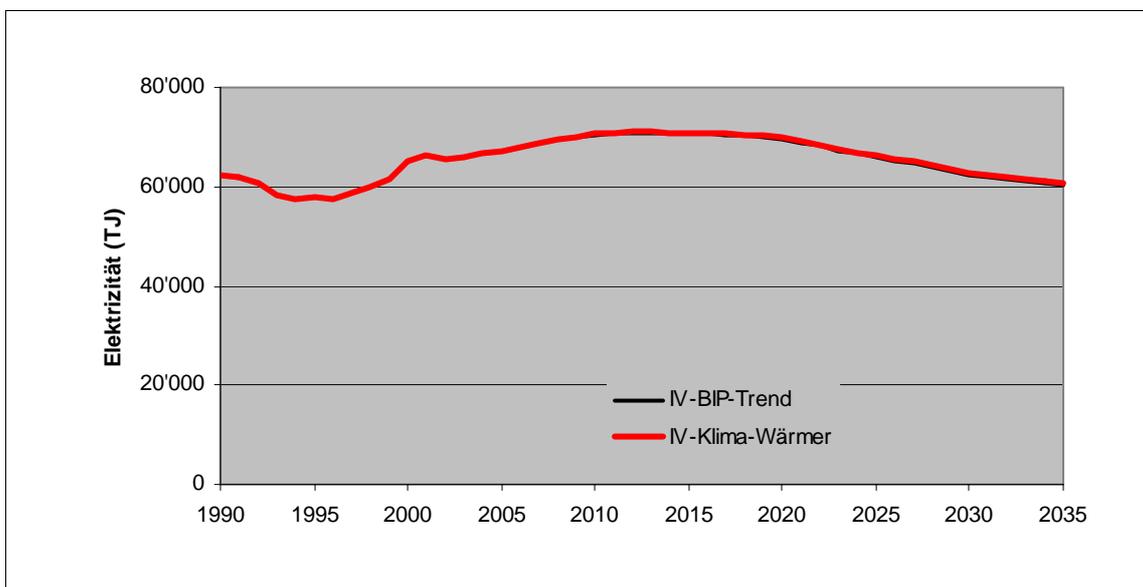
### 3.5.3 Variante Klima wärmer

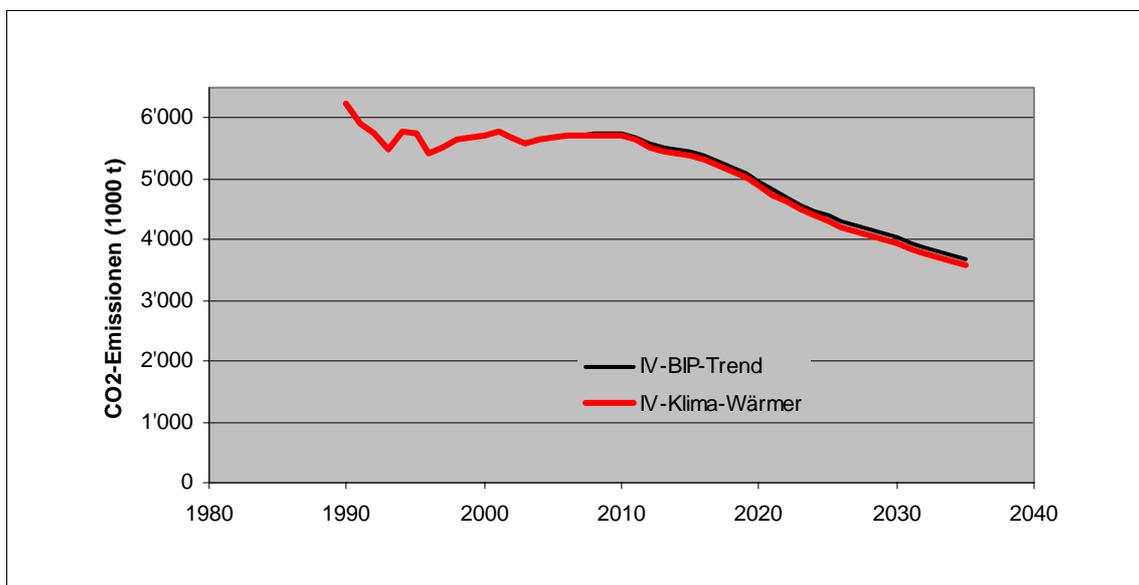
Die letzte Sensitivitätsvariante betrifft ein wärmeres Klima (vgl. Basics 2005a). Da gegenüber der Trendvariante sich nur sehr kleine Unterschiede zeigen, beschränken wir uns auf die Darstellung des gesamten Endenergieverbrauchs (kleiner Minderverbrauch, Abbildung 3-16), des Elektrizitätsverbrauchs (kleiner Mehrverbrauch, Abbildung 3-17) und die resultierenden CO<sub>2</sub>-Emissionen (kleine Reduktion, Abbildung 3-18).

**Abb. 3-16: Endenergieverbrauch in den Szenarien Ia und IV**



**Abb. 3-17: Verbrauch von Elektrizität in den Szenarien Ia und IV**



**Abb. 3-18: CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Szenarien Ia und IV**

Auch für die Sensitivitätsvariante "Klima wärmer" gilt, dass die Differenzen zum Trendfall rein algorithmisch bestimmt wurden (Minderaufwand für die Heizung, Mehraufwand für die Kühlung) – ohne Änderungen bei der Mengenkompenten. Man könnte sich aber durchaus vorstellen, dass die Produktionsmengen auf Klimaeinflüsse reagieren könnten (nicht nur die Bier- oder Eisproduktion).

## 4 Synopsis

Die Tabellen 4-1 und 4-2 geben für den Energieverbrauch bzw. die resultierenden CO<sub>2</sub>-Emissionen einen Überblick über die in den verschiedenen Szenarien erreichten Resultate – immer bezogen auf das Jahr 2035. Der zusätzlich angegebene Indexwert bezieht sich auf das Szenario Ia Trend. Auch wenn die Unterschiede zwischen bestimmten Szenarien klein sind, ergibt sich doch gesamthaft ein recht aufgefächertes Büschel mit einer "Spannweite" von 34 Prozentpunkten bei der Energie und 39 Prozentpunkten bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen.

**Tab. 4-1: Übersicht über die in den verschiedenen Szenarien für das Jahr 2035 erreichten Energieverbräuche**

Szenario	Energieverbrauch (TJ)	Index (Szenario Ia Trend = 100)
Ia Trend	181'747	100
Ia BIP Hoch	193'717	107
Ia Preis Hoch	179'723	99
Ia Klima wärmer	179'011	98
Ib Trend	181'411	100
Ib BIP Hoch	193'335	106
Ib Preis Hoch	179'579	99
Ib Klima wärmer	178'713	98
II Trend	177'004	97
II BIP hoch	189'009	104
II Preise Hoch	175'011	96
II Klima wärmer	174'320	96
III-BIP Trend	159'361	88
III-BIP Hoch	173'687	96
IV Trend	135'236	74
IV BIP-Hoch	145'614	80
IV Klima Wärmer	133'803	74

**Tab. 4-2: Übersicht über die in den verschiedenen Szenarien für das Jahr 2035 erreichten CO<sub>2</sub>-Emissionen**

Szenario	CO <sub>2</sub> -Emissionen (1000 t)	Index (Szenario Ia Trend = 100)
Ia Trend	5'280	100
Ia BIP Hoch	5'643	107
Ia Preis Hoch	5'109	97
Ia Klima wärmer	4'990	95
Ib Trend	5'158	98
Ib BIP Hoch	5'512	104
Ib Preis Hoch	5'031	95
Ib Klima wärmer	4'937	94
II Trend	5'017	95
II BIP hoch	5'373	102
II Preise Hoch	4'787	91
II Klima wärmer	4'855	92
III-BIP-Trend	4'421	84
III-BIP-Hoch	4'743	90
IV Trend	3'685	70
IV BIP-Hoch	3'891	74
IV Klima Wärmer	3'582	68

## Bibliografie (Auszug)

- Basics (1996): Perspektiven der Energienachfrage der Industrie für Szenarien I bis III 1990 – 2030, Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern
- Basics (2000): Perspektiven des Energieverbrauchs in der Industrie, Modelldokumentation zu Handen des BFE, Bundesamt für Energie, Bern
- Basics (2002): Evaluation der energetischen Wirkungen der Luftreinhalteverordnung, Bundesamt für Energie, Bern
- Basics (2005a): Energieverbrauch Industrie, Ergebnisse für die Szenarien Ia und Ib, Bundesamt für Energie, Bern
- Basics (2005b): Energieverbrauch Industrie, Ergebnisse für das Szenario II, Bundesamt für Energie, Bern
- Baumgartner W. et al. (2003): Nanotechnologie in der Medizin, Studie des Zentrums für Technologiefolgen-Abschätzung, Bern
- Beltrani G. et al. (2003): Förderung von Energieeffizienz in Unternehmen, Förderinstrumente mit und ohne Bezug auf Umweltmanagementsysteme, Forschungsprogramm Energiewirtschaftliche Grundlagen, Bundesamt für Energie, Bern
- BHP (1999): Effiziente Energienutzung: Investitionspraxis in der Industrie, Forschungsprogramm Energiewirtschaftliche Grundlagen, Bundesamt für Energie, Bern
- Blok K. et al. (2004): The Effectiveness of Policy Instruments for Energy-Efficiency Improvement in Firms, The Dutch Experience, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht et al.
- Brown H. L. et al. (1996): Energy Analysis of 108 Industrial Processes, The Fairmont Press, Lilburn, USA
- COM (2003): Commission of the European Communities Proposal for a Directive of the European Parliament of the Council on Energy End-use Efficiency and Energy Services, (COM (2003) 739)
- de Beer J. (2000): Potential for Industrial Energy-Efficiency Improvement in the Long Term (Eco-Efficiency in Industry and Science), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht et al.

- Diekmann, J. et al. (1999): Energie-Effizienz-Indikatoren: Statistische Grundlagen, theoretische Fundierung und Orientierungsbasis für die politische Praxis, Reihe: Umwelt und Ökonomie, Band 32, Springer-Verlag, Heidelberg et al.
- DUBBEL(2002): Das elektronische Taschenbuch für den Maschinenbau, Version 2.0, 2002, CD-ROM, Springer, electronic media, Heidelberg
- Ecoplan (1998): Method for integrated evaluation of benefits, costs and effect of programmes for promoting energy conservation, Forschungsprogramm Energiewirtschaftliche Grundlagen, Bundesamt für Energie, Bern
- FfE (2003): Senkung des Energieverbrauchs branchenübergreifender Techniken, Kurzbericht: <http://www.ffe.de/index2.htm>
- Geiger B. et al (1999): Energieverbrauch und Einsparung in Gewerbe, Handel und Dienstleistung, Physica-Verlag, Heidelberg
- Gloor R. (2000): Energieeinsparungen bei Druckluftanlagen in der Schweiz, Bundesamt für Energie, Bern
- IKARUS (1997): IKARUS-Datenbank, Ein Informationssystem zur technischen, wirtschaftlichen und umweltrelevanten Bewertung von Energietechniken, Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich
- Jochem E. et al. (Hrsg. 2004a): Energieperspektiven und CO<sub>2</sub>-Reduktionspotenziale in der Schweiz bis 2010, vdf, Zürich
- Jochem E. (Hrsg. 2004b): Steps towards a sustainable development, A White Book for R & D of energy-efficient technologies, ETH, Zürich
- Motor Challenge Programme (2005):  
<http://energyefficiency.jrc.cec.eu.int/motorchallenge/>
- Prognos (2006): Auswertung I des Kompakt-Delphi-Prozesses, Thesen zur langfristigen Technologienentwicklung für das Szenario IV "Wege zur 2000-Watt-Gesellschaft", Arbeitsbericht, Basel
- Reicher J. et al. (1999): Massnahmen zur Förderung der rationellen Energienutzung bei elektrischen Antrieben, Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Endbericht zum Forschungsauftrag 19/98 an das Bundesministerium für Wirtschaft, Karlsruhe

Schmid C (2004): Energieeffizienz in Unternehmen, eine wissenschaftliche Analyse von Einflussfaktoren und Instrumenten, vdf, Zürich

Syrene (1994): Long term Industrial Energy Efficiency Improvement: Technology Descriptions, NOVEM, Netherlands

Worrell E., de Beer J. (1993): Industrial Process Data Descriptions, for the EMS study, Utrecht University, Dept. of Science, Technology and Society, The Netherlands.