

## 22. Exkurs: Internationale und nationale Energieperspektiven und nationale Positionspapiere

Michel Piot, Thomas Volken, Bundesamt für Energie

Oktober 2006

### Internationale Energieperspektiven

<b>1</b>	<b>International Energy Agency (IEA): World Energy Outlook</b> .....	<b>6</b>
1.1	Modellaspekte .....	6
1.2	Rahmenentwicklung .....	7
1.3	Referenzszenario .....	7
1.4	Alternativszenario .....	9
1.5	Szenario mit Investitionsaufschub (Deferred Investment Szenario).....	10
<b>2</b>	<b>World Energy Council (WEC): Global Energy Scenarios to 2050 and Beyond</b> .....	<b>13</b>
2.1	Modellaspekte .....	13
2.2	Rahmenentwicklung .....	14
2.3	Nachfrageentwicklung.....	14
2.4	Angebotsentwicklung .....	14
2.5	CO <sub>2</sub> -Emissionen.....	15
2.6	Kommentar.....	16
<b>3</b>	<b>Energy Information Administration: International Energy Outlook</b> .....	<b>18</b>
3.1	Modellaspekte .....	18
3.2	Rahmenentwicklung .....	18
3.3	Nachfrageentwicklung.....	19
3.4	Angebotsentwicklung .....	19
3.5	CO <sub>2</sub> -Emissionen.....	19
3.6	Kommentar.....	19
<b>4</b>	<b>European Commission: World energy, technology and climate policy outlook (WETO)</b> .....	<b>21</b>
4.1	Modellaspekte .....	21
4.2	Rahmenentwicklung .....	21
4.3	Energiepreise .....	21
4.4	Nachfrageentwicklung.....	22
4.5	Angebotsentwicklung .....	23
4.6	CO <sub>2</sub> -Emissionen.....	23
4.7	Sensitivitäten.....	24
<b>5</b>	<b>Shell: Szenarien bis 2050</b> .....	<b>27</b>
5.1	Modellaspekte .....	27
5.2	Rahmenentwicklung .....	27
5.3	Nachfrageentwicklung.....	28
5.4	Angebotsentwicklung .....	28
5.5	CO <sub>2</sub> -Emissionen.....	29
5.6	Kommentar.....	29
<b>6</b>	<b>ExxonMobile</b> .....	<b>31</b>
6.1	Rahmenentwicklung .....	31
6.2	Nachfrageentwicklung.....	31
6.3	Angebotsentwicklung .....	31

## Nationale Energieperspektiven und nationale Positionspapiere

<b>7</b>	<b>Axpo: Stromperspektiven 2020</b> .....	<b>34</b>
7.1	Ziele der Stromperspektiven .....	34
7.2	Nachfrageentwicklung.....	34
7.3	Angebotsentwicklung .....	34
7.4	Strategische Folgerung aus Unternehmenssicht .....	35
<b>8</b>	<b>CVP Schweiz: Energiepapier der CVP Schweiz</b> .....	<b>36</b>
8.1	Einleitung.....	36
8.2	Der Elektrizitätsmarkt .....	36
8.3	Einheimische Energie und Energiesparen .....	36
8.4	CO <sub>2</sub> -Problematik .....	36
<b>9</b>	<b>FDP Schweiz: Positionspapier</b> .....	<b>37</b>
9.1	Einleitung.....	37
9.2	Versorgungssicherheit mit Strom .....	37
9.3	Mehr neue erneuerbare Energien .....	37
9.4	Energieeffizienz.....	37
<b>10</b>	<b>Grüne Partei der Schweiz: Grüne Energieperspektiven 2050; Energieversorgung zu 100% aus erneuerbarer Energie</b> .....	<b>38</b>
10.1	Forderungen der Grünen .....	38
10.2	Angebotsentwicklung .....	38
10.3	Umsetzung der Forderungen .....	38
<b>11</b>	<b>Kanton Bern: Energiestrategie 2006</b> .....	<b>40</b>
11.1	Ziele der Energiestrategie 2006.....	40
11.2	Umsetzung der Energiestrategie .....	41
<b>12</b>	<b>Kanton Zürich: Vision Energie 2050</b> .....	<b>42</b>
12.1	Ziele Vision Energie 2050 .....	42
12.2	Modellaspekte .....	42
12.3	Nachfrageentwicklung.....	42
12.4	Angebotsentwicklung .....	43
<b>13</b>	<b>Sozialdemokratische Partei der Schweiz (SP): Sicher und effizient umsteigen: Unterwegs zur Vollversorgung mit erneuerbaren Energien</b> .....	<b>44</b>
13.1	Ziel der Perspektivstudie.....	44
13.2	Nachfrageentwicklung.....	44
13.3	Umsetzung .....	44
<b>14</b>	<b>Schweizerische Volkspartei: Schweizer Strom aus Eigenproduktion (Positionspapier Juli 2006)</b> .....	<b>46</b>
14.1	Forderungen der Schweizerischen Volkspartei .....	46
14.2	Erläuterungen zu den einzelnen Forderungen:.....	46
<b>15</b>	<b>Umweltorganisationen (Greenpeace Schweiz, Schweizerische Energiestiftung, Verkehrs-Club der Schweiz und WWF Schweiz): Energieperspektive 2050</b> .....	<b>47</b>
15.1	Ziele der Energieperspektive 2050 .....	47
15.2	Umsetzung .....	47
15.3	Ergebnisse .....	47
<b>16</b>	<b>Verband Schweizer Elektrizitätsunternehmen (VSE): Vorschau 2006 auf die Elektrizitätsversorgung der Schweiz im Zeitraum bis 2035/2050</b> .....	<b>49</b>
16.1	Ziele der Vorschau 2006.....	49
16.2	Nachfrageentwicklung.....	49
16.3	Angebotsentwicklung .....	49
16.4	Resultate .....	50

## **Internationale und nationale Energieperspektiven und nationale Positionspapiere**

Der nachfolgende Exkurs soll einen Überblick über internationale und nationale Energieperspektiven sowie nationale Positionspapiere geben.

In diesem Überblick geht es um die Auf- und Gegenüberstellung der unterstellten Rahmenentwicklungen, Modelle und der daraus resultierenden Ergebnisse. Es ist allerdings schwierig, die einzelnen Arbeiten zu vergleichen, da die Annahmen und Zielsetzungen der Arbeiten teilweise schwer nachvollziehbar sind oder stark auseinandergehen. Einige Publikationen geben den politischen Aussagen mehr Gewicht als der Analyse.

Auf internationaler Ebene sind es allen voran drei Organisationen, die regelmässig einen aktualisierten Ausblick erstellen: die Internationale Energieagentur (IEA) mit Sitz in Paris, die US Energy Information Administration (EIA) und der World Energy Council (WEC). Auf europäischer Ebene erarbeitet die europäische Union (EU) regelmässig einen Energieausblick.

Im Weiteren beschäftigen sich aber auch Grosskonzerne mit der Entwicklung der weltweiten Energiemärkte und deren Entwicklungen. Dies sind vor allem Grosskonzerne aus dem Erdölsektor aber auch Banken und grosse Stromproduzenten.

Aus der Fülle von Energieausblicken werden für diesen Exkurs die Arbeiten der International Energy Agency (IEA), der Energy Information Administration (EIA), des World Energy Council (WEC), der Europäischen Kommission sowie der Erdölfirmen Shell und Exxon zusammengefasst.

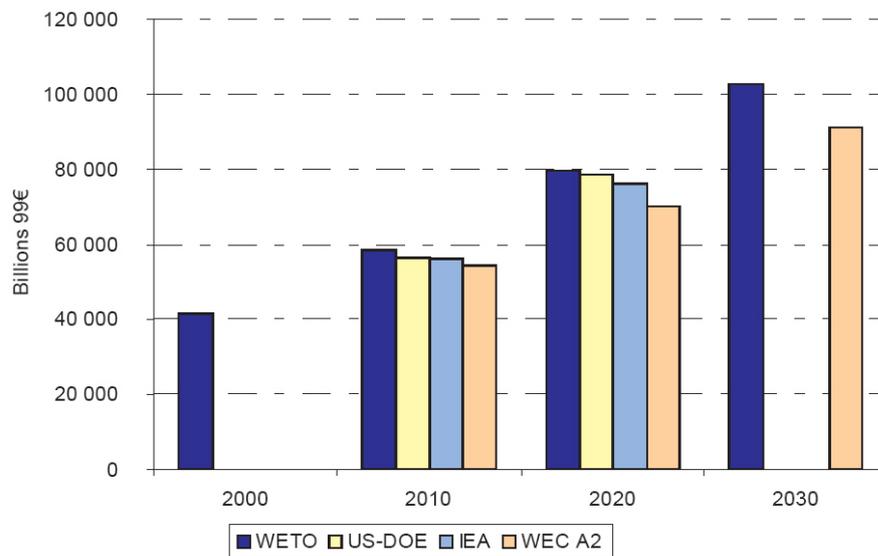
Auf nationaler Ebene haben im Verlaufe der letzten zwei Jahre zahlreiche Organisationen und Gruppierungen Energieperspektiven beziehungsweise Positionspapiere publiziert, die sich mit der Situation in der Schweiz auseinandersetzen. Auch auf diese Arbeiten wird, soweit möglich, in alphabetischer Reihenfolge eingegangen. Es wird aber bewusst auf eine Beurteilung und Gewichtung dieser Arbeiten verzichtet.

## Vergleich der internationalen Perspektiven

Da sich die internationalen Perspektiven, die in diesem Exkurs dargestellt werden, auf unterschiedliche Zeiträume und unterschiedliche Referenzwerte beziehen, war es im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich, einen zusammenfassenden Vergleich zu machen. Es wurde jedoch versucht, mittels zusammenfassender Tabellen eine Vergleichsmöglichkeit zu schaffen. Diese Tabellen befinden sich am Schluss der jeweiligen Perspektiven.

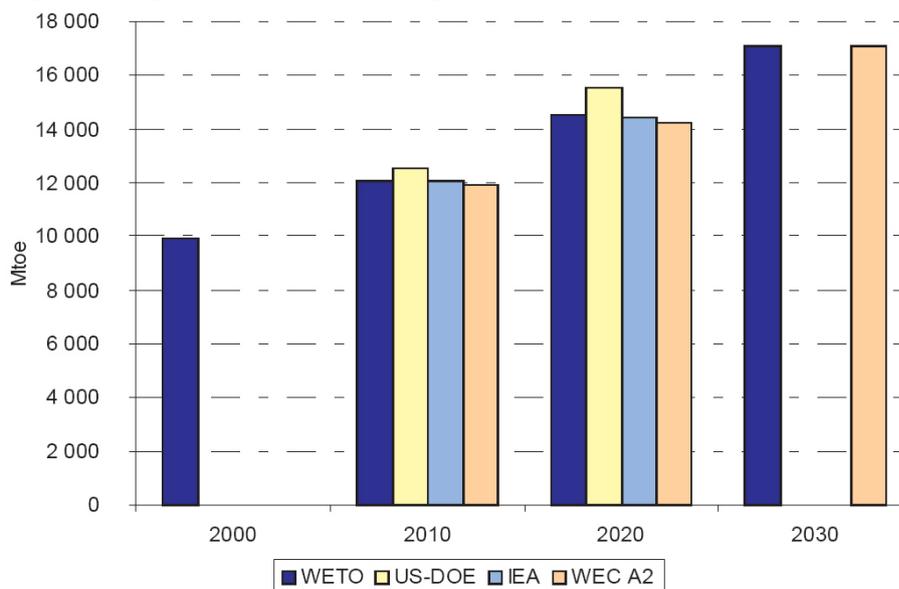
Als weiterer Vergleich dient die Zusammenstellung der Europäischen Kommission. Innerhalb ihres World energy, technology and climate policy outlook (WETO) vergleicht die Kommission ihre Annahmen und Ergebnisse mit den Perspektivarbeiten der IEA (World Energy Outlook 2000, Reference Scenario), der EIA (US-DOE 2002, Reference Case) und des WEC (WEC, A2). Nachfolgend die Figuren zum BIP, Energieverbrauch und den CO<sub>2</sub>-Emissionen:

Figur 1: Vergleich der BIP-Prognosen.



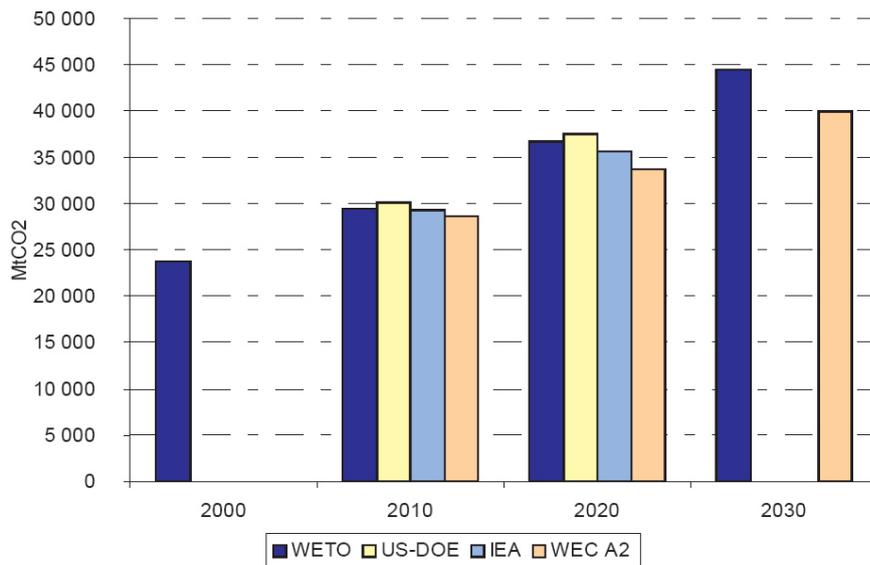
Quelle: [7].

Figur 2: Vergleich des Primärenergieverbrauchs.



Quelle: [7].

Figur 3: Vergleich der CO<sub>2</sub>-Emissionen.



Quelle: [7].

Es zeigt sich bei diesem Vergleich, dass die Ergebnisse sowohl fürs BIP, für den Primärenergieverbrauch als auch für die CO<sub>2</sub>-Emissionen in den unterschiedlichen Perspektivarbeiten nur geringfügig voneinander abweichen. Bei allen vier Arbeiten zeigen die drei Größen wachsende Tendenz.

# Internationale Energieperspektiven

## 1 International Energy Agency (IEA): World Energy Outlook

Literatur: [13], [14]

Die Internationale Energieagentur (IEA) veröffentlicht jährlich einen World Energy Outlook (WEO). Während in den geraden Jahren globale Aktualisierungen publiziert werden, beschäftigt sich der WEO in ungeraden Jahren mit einem Vertiefungsthema. In der aktuellen Ausgabe von Ende 2005 wird dem Nahen Osten und Nordafrika der Schwerpunkt gewidmet. Sie beschreibt die Entwicklung von Energieangebot und -nachfrage in Industrie-, Transformations- und Entwicklungsländern bis 2030 anhand von drei Szenarien:

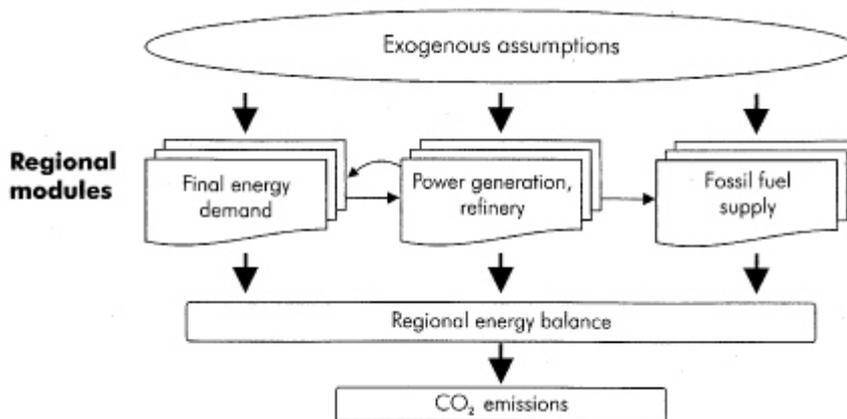
- Referenzszenario, das alle vor Mitte 2004 erlassenen und in Kraft getretenen Gesetze berücksichtigt;
- Alternativszenario, das zusätzlich Massnahmen abdeckt, die momentan in Diskussion stehen oder realistischerweise in der Zeitperiode bis 2030 implementiert werden und somit einen energiepolitischen Einfluss haben könnten;
- Szenario mit Investitionsaufschub, das von niedrigen Investitionen im Ölfördersektor im Nahen Osten und Nordafrika ausgeht und somit gemäss IEA dem momentanen Trend entspricht.

Nachfolgend werden beide WEO berücksichtigt und, soweit vorhanden, die aktuellsten Daten verwendet.

### 1.1 Modellaspekte

Das „World Energy Model“ der IEA ist vereinfacht in Figur 1 dargestellt. Als Rahmendaten – so genannte exogene Grössen – fliessen das Bruttoinlandprodukt (BIP) und die Bevölkerungsentwicklung ein, bei denen sich die IEA hauptsächlich auf die Prognosen des Internationalen Währungsfonds (IWF), der Weltbank und der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) abstützt. Im Weiteren schätzt sie die internationalen Preise für fossile Energieträger und den technologischen Fortschritt ab.

Figur 1: Schematische Übersicht über das Modell der IEA.



Quelle: [13].

Elektrizitätsverbrauch und -preise verbinden auf dynamische Weise die Module Endenergieverbrauch und Stromerzeugung. Der fossile Primärenergiebedarf dient als Input für das fossile Angebotsmodul. Gesamtenergiebilanzen und CO<sub>2</sub>-Emissionen werden auf regionalen Ebenen erstellt.

Als Grundlage des Modells dienen Daten der Periode 1971–2002. Die einzelnen Parameter des Endenergieverbrauchmoduls werden mit ökonometrischen Techniken geschätzt. Bei Trendbrüchen, ausserordentlichen Technologiesprüngen oder politischen Richtungswechseln werden diese Parameter entsprechend korrigiert oder mit anderen Modelltechniken berechnet. Ist die Datengrundlage nicht ausreichend, behilft sich die IEA mit Ländervergleichen und setzt zusätzliches Expertenwissen ein.

Die IEA liefert Perspektiven über den weltweiten Primärenergieverbrauch, den Energieverbrauch je Primärenergieträger (Öl, Gas, Kohle, Kernenergie, Wasserkraft, andere erneuerbare Energieträger), über den Stromverbrauch und die Kohlendioxid-Emissionen. Die Ergebnisse werden in Zehn-Jahres-Intervallen dargestellt. Das Modell liefert Resultate für zahlreiche OECD-Regionen und Einzelstaaten.

## **1.2 Rahmenentwicklung**

Die IEA übernimmt bei der Bevölkerungsentwicklung die Wachstumsannahmen der UNO (World Population Prospects: the 2002 Revision). Diese sieht ein jährliches Wachstum von 1% pro Jahr vor, so dass die Bevölkerung von 6.2 Mrd. im Jahre 2002 auf rund 8.1 Mrd. im Jahre 2030 steigt, wobei die Wachstumsrate von 1.2% in den Jahren 2003-2010 auf 0.8% zwischen 2020-2030 fällt. Der Anstieg fällt mit durchschnittlich 1.2% pro Jahr in den Entwicklungsländern am stärksten aus, was gegenüber den letzten drei Dekaden aber einem deutlichen Rückgang entspricht.

Das Bevölkerungswachstum beeinflusst die Energienachfrage stark, und zwar direkt aber auch indirekt über die wirtschaftliche Entwicklung. Trotzdem betrachtet die IEA keine Sensitivitäten bei den Rahmendaten.

Für den Zeitraum von 2002 bis 2030 geht die IEA von einem BIP-Wachstum von 3.2% pro Jahr aus, was gegenüber der Zeitperiode 1970-2000 einem leichten Rückgang entspricht. Das grösste jährliche Wachstum wird für die Entwicklungsländer prognostiziert (4.3%), Osteuropa und die ehemalige Sowjetunion wachsen mit einer Rate von 3.7%, während die Industriestaaten mit durchschnittlich 2.2% wachsen. Für Westeuropa nimmt die IEA ein Wachstum von 2.1% an.

Die Kombination des Bevölkerungs- mit dem Wirtschaftswachstum führt zu einer Erhöhung des Pro-Kopf-Einkommens von rund 2.2% pro Jahr, von 7'700 USD im Jahre 2002 auf 14'200 USD in 2030. Das höchste Wachstum werden die Reformländer und China verzeichnen, doch werden die Industrieländer auch im Jahre 2030 nach wie vor viermal höhere Pro-Kopf-Einkommen verzeichnen als die übrige Welt.

## **1.3 Referenzszenario**

### **1.3.1 Energiepreise**

Die IEA geht im Referenzszenario davon aus, dass sich der Ölpreis (real in USD-2000) bis 2006 auf 22 USD zurückbilden wird, dann ungefähr konstant bleibt bis 2010, bevor ein Anstieg auf 29 USD bis ins Jahr 2030 erfolgt.

Die Gaspreise werden gemäss IEA weiterhin an den Ölpreis gekoppelt bleiben und entsprechend nach einem Rückgang im Jahre 2006 bis ins Jahr 2030 linear ansteigen.

### **1.3.2 Nachfrageentwicklung**

Die IEA errechnet einen Anstieg des Primärenergieverbrauchs zwischen 2002 und 2030 von 60%, was einem jährlichen Zuwachs von 1.7% und damit einer Abschwächung des Wachstums gegenüber den vergangenen Dekaden entspricht. Die Wachstumsraten sind vor allem in den Entwicklungsländern hoch, allerdings mit einem tiefen Ausgangsniveau. Der Anteil der fossilen Energieträger wird global bis 2030 nochmals leicht ansteigen, wobei Öl mit rund 35% am Gesamtenergieverbrauch der wichtigste Träger bleiben wird. Dies entspricht einer täglichen Nachfrage von 121 Mio. Barrel Rohöl. Bedingt durch die Verteilung der globalen Ölreserven wird sich die Abhängigkeit der OECD-Länder vom Nahen Osten weiter akzentuieren, und die Anfälligkeit auf mögliche Preisschocks infolge Liefer-schwierigkeiten steigt.

Der Elektrizitätsverbrauch wächst in allen Regionen schneller als der Gesamtenergieverbrauch, und zwar wird weltweit bis 2030 mit einem jährlichen Wachstum von 2.5% gerechnet, gegenüber 3.6% in den letzten 30 Jahren.

### **1.3.3 Angebotsentwicklung**

Die globale Stromproduktion aus Kernkraftwerken bleibt in etwa konstant, verliert aber relativ gesehen stark an Bedeutung. Die IEA geht davon aus, dass die Kernenergie vor allem in China, Südkorea,

Japan und Indien zunehmen wird, während sie in der EU, bedingt durch den Ausstieg Deutschlands, stark fallen wird.

Der Anteil der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien ohne Wasserkraft steigt global jährlich um etwas mehr als 6% an, so dass er im Jahr 2030 etwa 6% an der Gesamtstromproduktion ausmachen wird. Gemäss IEA sollte die EU mit den im Referenzszenario berücksichtigten Gesetzen und Fördermassnahmen im Jahr 2030 auf einen Anteil von 17% kommen, was einem jährlichen Wachstum von rund 7% entspricht.

Bedingt durch den Stromproduktionsmix, in dem Gas und Kohle weiterhin mit Abstand die wichtigsten Energieträger sind, werden trotz gewisser technologischer Fortschritte auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen stark ansteigen.

Hinter diesen Wachstumswahlen im Elektrizitätssektor verbirgt sich ein Investitionsvolumen von enormen Dimensionen. Die IEA hat eine Abschätzung unter anderem zum global nötigen Bau von Kapazitäten in der Stromwirtschaft vorgenommen. Dabei fällt nicht nur der Zubaubedarf als Folge der stark steigenden Nachfrage ins Gewicht sondern auch der Erneuerungsbedarf des bestehenden Kraftwerk-parks. So rechnet sie mit einem globalen Neu- und Renovationsbedarf an Kapazitäten von 4'800 Gigawatt (GW) bis ins Jahr 2030, in der OECD werden es 2'000 GW sein. Als Vergleichsgrössen: die OECD Länder haben heute eine installierte Leistung von etwa 2'200 GW. Ein Kernkraftwerk, wie zum Beispiel Gösgen, produziert Strom mit einer elektrischen Leistung von rund 1 GW, eine moderne Windanlage momentan mit 0.0025 GW. Die globalen Investitionen von 10'000 Mrd. USD verteilen sich zu 47% auf die Produktionsanlagen, 16% auf die Übertragungsnetze und 37% auf die Verteilungsnetze.

#### 1.3.4 CO<sub>2</sub>-Emissionen

Der Ausstoss von CO<sub>2</sub> wird von 2002 bis 2030 in allen Regionen steigen, global um 60%, und zwar ungefähr gleichmässig auf die fossilen Energieträger Öl, Gas und Kohle verteilt. Dabei entfallen zwei Drittel der Erhöhung auf die Entwicklungsländer, was aber nicht über die Tatsache hinwegtäuschen darf, dass in den OECD-Ländern der prognostizierte Pro-Kopf-Ausstoss auch im Jahr 2030 mit 12 Tonnen CO<sub>2</sub> etwa viermal höher sein wird als in den Entwicklungsländern.

Tabelle 1: Referenz-Szenario 2002 – 2030.

	2002	2010	2020	2030	% p.a. 2002- 2030
<b>Bruttoinlandprodukt (Wachstumsraten pro Jahr)</b>		2002-2010	2010-2020	2020-2030	
Industrieländer		2.7	2.2	1.8	2.2
Nordamerika		3.2	2.4	1.9	2.4
Westeuropa		2.4	2.2	1.7	2.1
Industrialisiertes Asien		2.4	1.9	1.6	1.9
Reformländer		4.6	3.7	2.9	3.7
Entwicklungsländer		5.1	4.3	3.6	4.3
Welt		3.7	3.2	2.7	3.2
<b>Weltbevölkerung (Mrd.)</b>	6.1			8.1	1.0
<b>Rohölpreis (USD-2000 pro Bar- rel)</b>	27	22	26	29	
<b>Primärenergieverbrauch nach Regionen (PJ)</b>					
Industrieländer	223'826	249'952	274'235	291'108	0.9
Nordamerika	112'960	127'069	141'137	152'148	1.1
Westeuropa	75'153	82'229	88'132	91'565	0.7
Industrialisiertes Asien	30'187	34'499	38'058	40'068	1.0
Reformländer	43'124	49'655	56'857	62'760	1.3
Entwicklungsländer	160'103	204'735	265'611	329'627	2.6
Welt	433'124	510'538	603'067	690'278	1.7

<b>Primärenergieverbrauch nach Energieträgern (PJ)</b>					
Kohle	100'023	115'681	133'685	150'767	1.5
Erdöl	153'907	180'367	212'438	241'411	1.6
Erdgas	91'691	113'169	144'486	172'915	2.3
Kernenergie	28'973	32'573	32'490	31'987	0.4
Wasserkraft	9'378	11'556	13'440	15'282	1.8
Andere	49'153	57'150	66'570	77'916	
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen (Mt)</b>					
Industrieländer	12'446	13'813	15'151	15'833	0.9
Nordamerika	6'480	7'283	8'042	8'596	1.0
Westeuropa	3'945	4'302	4'683	4'785	0.7
Industrialisiertes Asien	1'647	1'814	1'971	1'984	0.7
Reformländer	2'444	2'808	3'200	3'501	1.3
Entwicklungsländer	8'226	10'726	14'392	18'365	2.9
Welt	23'579	27'817	33'226	38'214	1.7

## 1.4 Alternativszenario

Im Alternativszenario werden im Vergleich zum Referenzszenario Verschärfungen der bestehenden Gesetze sowie zusätzliche Politikinstrumente und Massnahmen mitberücksichtigt, so dass insgesamt das Energieverbrauchswachstum gesenkt und die Umweltbelastung reduziert werden kann. Dabei werden die Rahmendaten BIP und Demographie nicht angepasst, hingegen die erwarteten Energiepreise als Folge des veränderten Angebot-Nachfrage-Gleichgewichts. Mit diesem Ansatz kann der Einfluss der einzelnen Zusatzmassnahmen und deren Effizienz abgeschätzt werden.

### 1.4.1 Energiepreise

Bedingt durch das verlangsamte Verbrauchswachstum nimmt die Nachfrage nach Erdöl im Jahre 2030 gegenüber dem Referenzszenario um knapp 13 Mio. Barrels pro Tag ab, was einem Rückgang von gut 10% entspricht. Dadurch werden die Erdölpreise im Vergleich zum Referenzszenario um 15% sinken, da der Druck auf die Produktion abnimmt.

### 1.4.2 Nachfrageentwicklung

In Relation zum Referenzszenario rechnet die IEA mit einer Reduktion des Primärenergiebedarfs von 10%, was aber gegenüber 2002 immer noch einer Zunahme um 44% entspricht. Beim Ölverbrauch ist mit Einsparungen von täglich 12.8 Mio. Barrel zu rechnen, was zu zwei Drittel auf Effizienzgewinne im Transportsektor zurückzuführen ist. Diese geringere Nachfrage dürfte zu rund 15% tieferen Ölpreisen führen.

Die globale Energieintensität, das heisst der Energieverbrauch pro Einheit BIP, fällt um 1.8% pro Jahr, gegenüber 1.4% im Referenzszenario, wobei die Erfolge in den Entwicklungs- und Transformationsländern grösser sind als in den OECD-Ländern, was an den höheren Effizienzpotentialen dieser Länder liegt.

### 1.4.3 CO<sub>2</sub>-Emissionen

Durch die zusätzlich verstärkte Förderung erneuerbarer Energiequellen sinkt der Bedarf an fossilen Energieträgern überproportional, was gemäss Modellrechnungen zu einer insgesamt rund 16% tieferen CO<sub>2</sub>-Belastung im Jahre 2030 gegenüber dem Referenzszenario führt. Umgerechnet heisst dies, dass pro verbrauchte Energieeinheit im Jahre 2030 etwa 5% weniger CO<sub>2</sub> emittiert wird als im Jahre 2002 oder 6% weniger als im Referenzszenario. In den OECD-Ländern werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen ihr Maximum im Jahre 2020 erreichen, danach folgt eine langsame Absenkung, während in den Transformationsländern der Zuwachs der Emissionen bis 2020 stark fällt und sich bis 2030 stabilisiert. In den Entwicklungsländern steigen die Emissionen über die ganze Zeitperiode, obschon in dieser Ländergruppe die Einsparungen gegenüber dem Referenzszenario sowohl relativ als auch absolut gesehen am grössten sind.

Tabelle 2: **Alternativ-Szenario 2002 – 2030.**

	2002	2020	2030	% p.a. 2002-2030
<b>Primärenergieverbrauch nach Regionen (PJ)</b>				
Industrieländer	223'826	260'880	266'783	0.6
Nordamerika	112'960	134'647	139'630	0.8
Westeuropa	75'153	83'694	83'569	0.4
Industrialisiertes Asien				
Reformländer	43'124	52'419	54'931	0.9
Entwicklungsländer	160'103	245'472	291'820	2.2
Welt	427'054	558'728	613'534	1.3
<b>Primärenergieverbrauch nach Energieträgern (PJ)</b>				
Kohle	100'023	114'132	114'886	0.5
Erdöl	147'794	192'593	209'131	1.2
Erdgas	91'691	136'238	154'953	1.9
Kernenergie	28'973	34'164	36'341	0.8
Wasserkraft	9'378	13'481	15'366	1.8
Andere	52'502	68'161	82'815	
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen (Mt)</b>				
Industrieländer	12'446	13'737	13'322	0.2
Nordamerika	6'480	7'402	7'403	0.5
Westeuropa	3'945	4'137	3'850	-0.1
Industrialisiertes Asien				
Reformländer	2'444	2'891	2'940	0.7
Entwicklungsländer	8'226	12'955	15'424	2.3
Welt	23'116	29'583	31'686	1.1

## 1.5 Szenario mit Investitionsaufschub (Deferred Investment Szenario)

Im Szenario mit Investitionsaufschub wird analysiert, wie sich die Märkte entwickeln könnten, wenn die Investitionen im Upstreambereich in allen Ländern der Region im Verhältnis zum BIP auf dem durchschnittlichen Niveau der letzten zehn Jahre verharren würden. Dies würde zu einer Verringerung der kumulierten Investitionen in der Förderindustrie der Region um 110 Mrd. USD bzw. 23% im Zeitraum 2004-2030 führen und im Vergleich zum Referenzszenario bis 2030 in einer Verringerung der Ölförderung in Nahost und Nordafrika um fast ein Drittel resultieren, so dass die Gesamtförderung im Jahre 2030 statt 50 Mio. Barrel pro Tag noch 35 Mio. Barrel betragen, was einem Rückgang an der weltweiten Ölförderung von 35% im Jahre 2004 auf 33% im Jahre 2030 gleichkommen würde.

### 1.5.1 Energiepreise

Die IEA geht im Referenzszenario davon aus, dass sich der Ölpreis (real in USD-2000) bis 2006 auf 22 USD zurückbilden wird, dann ungefähr konstant bleibt bis 2010, bevor ein Anstieg auf 29 USD bis ins Jahr 2030 erfolgt.

Auch im Szenario mit Investitionsaufschub geht die IEA davon aus, dass der Ölpreis sich von den momentanen Höchstständen erholen wird. Danach wird er allerdings ab 2010 real kontinuierlich auf 52 USD pro Barrel im Jahre 2030 ansteigen, was nominal einem Niveau von 86 USD pro Barrel entspricht.

Tabelle 3: **Rohölpreis im Szenario mit Investitionsaufschub.**

	2004	2010	2020	2030
<b>Rohölpreis (USD-2004 pro Barrel)</b>	36	41	46	52
<b>Rohölpreis nominal</b>	36	47	63	86

### 1.5.2 Nachfrageentwicklung

Bedingt durch die weltweit höheren Preise und die niedrigeren Öl- und Gaseinnahmen in den Ländern des Nahen Ostens und Nordafrikas, fällt auch das jährlich durchschnittliche BIP-Wachstum um 0.23 Prozentpunkte tiefer aus als im Referenzszenario. Dadurch verringert sich der Verbrauch um 5.6%, wobei vor allem der Rückgang beim Öl mit 8.6% und beim Gas mit 7.7% überdurchschnittlich ausfallen.

### 1.5.3 Angebotsentwicklung

Als Folge der unzureichenden Investitionen in Nordafrika und im Nahen Osten wird die Ölproduktion im Jahre 2030 in dieser Region um 15 Mio. Barrels pro Tag tiefer liegen als im Referenzszenario. In den anderen Regionen dürfte die Produktion um 5 Mio. Barrels höher ausfallen. Beim Gas fallen die Rückgänge des Outputs gegenüber dem Referenzszenario noch deutlicher aus.

### 1.5.4 Kommentar

Vergleicht man die finanziellen Auswirkungen des Referenz- und Alternativszenarios auf globaler Ebene, unterscheiden sich die Szenarien kaum. Bei differenzierter Betrachtung sind allerdings wesentliche Unterschiede erkennbar: in den OECD-Ländern werden die finanziellen Aufwendungen bis 2030 für Effizienzmassnahmen bei Endverbrauchern auf zusätzliche 1'550 Mrd. USD geschätzt, die Einsparungen bei der Energieversorgung auf 900 Mrd. USD. Bei den Nicht-OECD Ländern geht es um Zusatzkosten von 600 Mrd. USD und Einsparungen von 1'200 Mrd. USD. Somit scheint es sinnvoll, sich dem alternativen Szenario anzunähern, da dadurch insgesamt Energie gespart, Ressourcen geschont, die Technologiefortschritte konsequenter umgesetzt werden und global kaum Mehrkosten entstehen. Um diesem Szenario aber eine echte Chance zu geben, müssten für die entstehende Zusatzbelastung der Endverbraucher in den Nicht-OECD Ländern wohl vermehrt ausländische Direktinvestitionen erfolgen, da gerade in armen Ländern Effizienzmassnahmen im Energiebereich vorerst keine Priorität haben dürften.

Im Szenario mit Investitionsaufschub reicht der Preisanstieg der fossilen Energieträger für die Länder des Nahen Ostens und Nordafrika nicht aus, um einen Ausgleich für die geringeren Ausfuhrvolumen schaffen zu können. Im Zeitraum 2004 – 2030 wäre der kumulierte Wert der gesamten Öl- und Gasexporteinnahmen in dieser Region um über eine Billion USD niedriger als im Referenzszenario. Die Mindereinnahmen wären damit beinahe fünfmal so hoch wie die Minderinvestitionen.

Tabelle 4: **Szenario mit Investitionsaufschub 2004 – 2030.**

	2004	2010	2020	2030	% p.a. 2002- 2030
<b>Rohölpreis (USD-2004 pro Barrel)</b>	36	41	46	52	
nominal	36	47	63	86	
<b>Primärenergieverbrauch nach Regionen (PJ)</b>					
Industrieländer	223'826		260'880	266'783	0.6
Nordamerika	112'960		134'647	139'630	0.8
Westeuropa	75'153		83'694	83'569	0.4
Reformländer	43'124		52'419	54'931	0.9
Entwicklungsländer	160'103		245'472	291'820	2.2
Welt	427'054		558'728	613'534	1.3
<b>Primärenergieverbrauch nach Energieträgern (PJ)</b>					
Kohle	100'023		114'132	114'886	0.5
Erdöl	147'794		192'593	209'131	1.2
Erdgas	91'691		136'238	154'953	1.9
Kernenergie	28'973		34'164	36'341	0.8
Wasserkraft	9'378		13'481	15'366	1.8
Andere	52'502		68'161	82'815	

<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen (Mt)</b>					
Industrieländer	12'446		13'737	13'322	0.2
Nordamerika	6'480		7'402	7'403	0.5
Westeuropa	3'945		4'137	3'850	-0.1
Reformländer	2'444		2'891	2'940	0.7
Entwicklungsländer	8'226		12'955	15'424	2.3
Welt	23'116		29'583	31'686	1.1

## 2 World Energy Council (WEC): Global Energy Scenarios to 2050 and Beyond

Literatur: [21]

Der World Energy Council (WEC) ist in 90 Ländern durch Mitgliederkomitees vertreten. Die Schweiz ist im WEC durch den Schweizerischen Energierat vertreten. Die 1923 gegründete Nicht-Regierungsorganisation der Energiewirtschaft befasst sich mit allen Primärenergieträgern. Ziel des WEC ist es, den nachhaltigen Umgang mit Energie zu fördern unter der Prämisse der Wohlfahrtsmaximierung. Um dieses Ziel zu erreichen, werden Forschungsarbeiten unterstützt, Berichte verfasst, Kongresse und Workshops organisiert, Politik- und Strategieempfehlungen abgegeben und Langfristprognosen gemacht.

Seit 1993 arbeitet der World Energy Council für seine Szenarienarbeiten eng mit dem IIASA (International Institute of Applied Systems Analysis) zusammen. Aus dieser Zusammenarbeit heraus hat sich die Szenarienfamilie auf sechs Szenarien erweitert: Im Gegensatz zu früheren Prognosen des WEC konzentrieren sich die aktuellen Arbeiten vor allem auf den Zeitraum von 2020 bis 2050, da in dieser Periode ein grosses Potenzial für Veränderungen liegt. Zusätzlich enthalten die Perspektiven einen Ausblick auf 2100.

Es wurden in einer ersten Phase die folgenden Szenarien durchgerechnet und dargestellt:

Tabelle 5: Die Szenarien der WEC-Perspektiven.

Szenario	Beschreibung
A	<ul style="list-style-type: none"><li>• starkes Wirtschaftswachstum</li><li>• starke Zunahme der Energienachfrage</li><li>• grosse Verbesserungen bezüglich Energieeffizienz</li></ul>
A1	Schwergewicht auf Erdöl und Erdgas
A2	Schwergewicht auf Kohle
A3	Schwergewicht auf Erdgas, Kernenergie und Erneuerbare
B	Referenzszenario
C	<ul style="list-style-type: none"><li>• „ökologisch getriebenes“ Szenario</li><li>• tiefster Energiekonsum aller Szenarien bei geringsten CO<sub>2</sub>-Emissionen</li></ul>
C1	<ul style="list-style-type: none"><li>• Schwerpunkt Effizienzverbesserungen, neue Erneuerbare</li><li>• Atomausstieg bis 2100</li></ul>
C2	Kernenergie wird ausgebaut

In einer zweiten Phase der Studie wurden die Implikationen der globalen Szenarien auf elf definierte Weltregionen analysiert. Über 100 Experten, aufgeteilt auf elf Gruppen, führten regionale Assessments durch. Die Resultate aus diesem Bottom-up-Prozess bestätigen im Grossen und Ganzen die Schlussfolgerungen aus den Szenarienarbeiten.

Die Arbeiten zu den aktuellsten WEC-Perspektiven wurden 1993 an die Hand genommen und sind im September 1998 als Buch unter dem Titel „Global Energy Perspectives“ veröffentlicht worden.

### 2.1 Modellaspekte

Die IIASA verwendet ein MESSAGE-Modell (**M**odel for **E**nergy **S**upply **S**trategy **A**lternatives and their **G**eneral **E**nvironmental **I**mpact) zur Berechnung der sechs Szenarien. Dieses Bottom-up-Modell eignet sich grundsätzlich für mittel- bis langfristige Prognosen. Es erlaubt, ein Energiesystem mit all den Abhängigkeiten und Verbindungen von der Ressourcenextraktion über Importe, Exporte, Umwandlung, Transport, Verteilung bis hin zum Angebot an Endenergie für die elf Makroregionen abzubilden. Die elf Regionen sind: Nordamerika, Lateinamerika und Karibik, Afrika südlich der Sahara, Mittlerer Osten und Nordafrika, Westeuropa, Zentral- und Osteuropa, ehemalige Staaten der Sowjetunion, Zentralasien und China, Südasien, übrige Pazifikregion und die OECD-Länder im Pazifikraum. MESSAGE berechnet die Szenarien unter Berücksichtigung der Bedingungen des Energiesystems und unter der Bedingung, dass die totalen Systemkosten minimiert werden. Das Modell liefert in Zehn-Jahres-Schritten unter anderem Kapazitäten unterschiedlicher Energieproduktionstechnologien, Energieinputs und -outputs, Anforderungen an das Energiesystem, Kosten und Emissionen.

## 2.2 Rahmenentwicklung

Szenario A, welches von einem starken globalen Wirtschaftswachstum ausgeht, quantifiziert dieses auf 2.7% pro Jahr. Bei B und C wird ein Wachstum von jährlich 2.2% unterstellt. Verbesserungen bei der Energieintensität werden für den Zeitraum von 1990 bis 2050 in Szenario C als hoch angenommen (-1.4% pro Jahr), in Szenario A als mittel (-1% pro Jahr) und in B als gering (-0.7% pro Jahr).

Die Bevölkerung wächst bis in 2050 auf 10.1 Mrd.

Die anderen Rahmenentwicklungen werden wie folgt angenommen:

Tabelle 6: Rahmenentwicklung der WEC-Perspektiven.

	A	B	C
Ressourcenverfügbarkeit			
• Fossil	hoch	mittel	gering
• Nicht-fossil	hoch	mittel	hoch
Technologiekosten			
• Fossil	tief	mittel	hoch
• Nicht-fossil	tief	mittel	tief
Technologischer Fortschritt			
• Fossil	hoch	mittel	mittel
• Nicht-fossil	hoch	mittel	tief
CO <sub>2</sub> -Emissionsbeschränkungen	nein	nein	ja
Umweltsteuern	nein	nein	ja

## 2.3 Nachfrageentwicklung

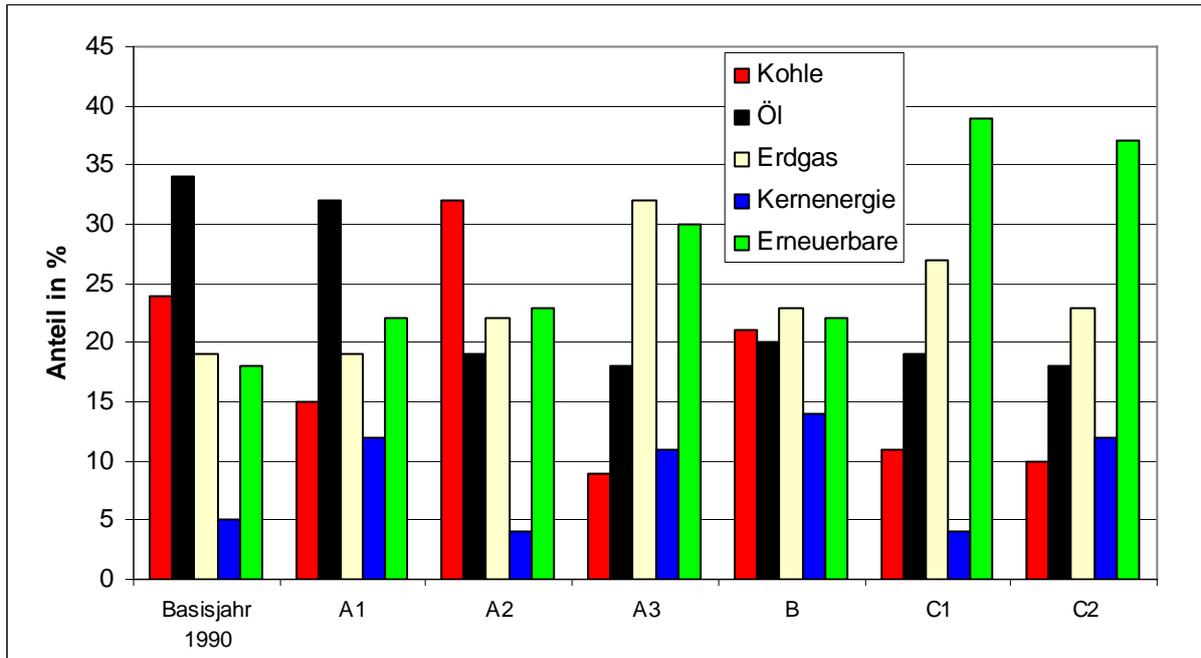
Innerhalb von 60 Jahren (1990 bis 2050) steigt die Primärenergienachfrage um das 2.8-fache in Szenario A. Faktor 2.2 beträgt der Zuwachs im Szenario B und 1.6 im „ökologisch getriebenen“ Szenario C.

## 2.4 Angebotsentwicklung

Die WEC-Studie geht davon aus, dass im nächsten Jahrhundert die Ressourcenbasis bei den nicht-erneuerbaren Energieträgern dank technologischer und ökonomischer Entwicklung mit der Nachfrage Schritt halten kann. Regionale Knappheitssituationen und Preisanstiege ergeben sich höchstens aus der ungleichen Verteilung fossiler Ressourcen. Diese Sicht der Dinge wird in den regional reviews bestätigt.

Die folgende Grafik zeigt, wie sich die Nachfrage nach Primärenergie auf die verschiedenen Träger verteilt:

Figur 2: Vergleich des Primärenergiemix 1990 mit dem Mix im Jahre 2050 in den Szenarien.



Die geringste Abweichung zum Basisjahr weist Szenario B auf, bei welchem der geringere Erdölanteil durch einen höheren Kernenergieanteil substituiert wird. Szenario B wird denn auch vom WEC als das Referenzszenario bezeichnet. Es geht davon aus, dass der internationale Warenhandel massiv zunimmt und es so dem Süden erlaubt, die Entwicklungsaspirationen zu verwirklichen. Ausser in Szenario A1 wird bei allen Szenarien der Anteil des Erdöls am Energiemix stark reduziert. A2 ist das Kohle-Szenario, A3 das Gas-Szenario. A2 geht davon aus, dass die Öl- und Gasressourcen knapp werden, d.h. dass ausser den bekannten Reserven keine weiteren Explorationsstätten dazukommen. Die Knappheit resultiert in einem wahren Kohle-Boom. Szenario A3 unterstellt einen schnellen technologischen Fortschritt sowohl bei der Kernenergie als auch bei den Erneuerbaren (z.B. Geothermie). Langfristig wird in A3 der Ausstieg aus den fossilen Energieträgern möglich, dies aus ökonomischen Gründen und nicht aus Knappheitsgründen. Gross sind die Anteile der Erneuerbaren erwartungsgemäss bei C1 und C2, C1 mit wenig, C2 mit einem relativ hohen Anteil an Kernenergie. Dieser Umstieg bedingt in C eine beispiellose internationale Zusammenarbeit, die explizit auf Umwelt- und Klimaschutz und auf internationalen Ausgleich fokussiert ist. C1 geht von einem allmählichen Ausstieg aus der Kernenergie bis 2100 aus. In C2 gelingt es, eine neue Generation von Kernreaktoren zu entwickeln, welche klein und sicher sind (100 bis 300 MWel) und die auf breite Akzeptanz in der Bevölkerung stossen.

Die Weichen für die verschiedenen Szenarien werden im Zeitraum bis 2020 gestellt. Es wird entscheidend sein, welche Gelder in welche Forschungs- und Entwicklungsprojekte investiert werden. Aber auch der Energiesektor muss für eine zukünftige Versorgung mehr Investitionen tätigen, als dies im Basisjahr 1990 der Fall war. So müssten gemäss Berechnungen des WEC die Investitionen im Szenario A etwa 1'200 Mrd. USD pro Jahr betragen (Vergleich Basisjahr 1990: 200 Mrd. USD). Mit 500 Mrd. USD pro Jahr fallen die notwendigen Investitionen im Szenario C am niedrigsten aus. In Prozent des BIP ausgedrückt, müssten die OECD-Staaten im Szenario A und B von 1990 bis 2020 rund 1% pro Jahr in das Energieangebot investieren. Bei den Entwicklungsländern sind es rund 2% und in den sich rasch entwickelnden Volkswirtschaften beachtliche 7%. Im Szenario C sind es 0.6% für die OECD-Staaten, 1.7% bei den Entwicklungsländern und 5.1% bei den Transformationsländern.

Allen Szenarien ist gemeinsam, dass die Primärenergieträger über weite Strecken transportiert und zunehmend umgewandelt werden zu Strom. Dies bedingt die Entwicklung ausgeklügelter Transportsysteme wie Pipelines und Netzwerke.

## 2.5 CO<sub>2</sub>-Emissionen

Mit 15 Gt CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahre 2050 schwingt das Kohle-Szenario A3 oben aus (Referenzjahr 1990: 6 Gt). Beim mittleren Szenario B ist mit 10 Gt zu rechnen, während beim Szenario C eine Reduktion gegenüber 1990 verzeichnet werden kann (5 Gt). Dieses Szenario beschreibt einen langfristigen Pfad hin zu einer Stabilisierung der CO<sub>2</sub>-Konzentration auf 450 ppm in der Atmosphäre im Jahre

2100. Szenario A3 ist konsistent mit einer Stabilisierung auf unter 550 ppm, dies wird aber erst nach 2100 erreicht. Bis zum Jahre 2100 wäre somit nur Fall C mit den Kyoto-Zielen vereinbar.

## 2.6 Kommentar

Die globalen Energieszenarien, ein Gemeinschaftswerk von WEC und IIASA, bestehen im Wesentlichen aus drei Szenarien. Szenario A wird unterteilt in drei fossile Unterszenarien, Szenario C wird unterteilt in ein Kernenergie-freundliches und ein Kernenergie-Ausstiegsszenario. Es handelt sich dabei nicht um Politik- oder Zielszenarien, und trotz des Ausblicks bis 2100 ist den Szenarien wenig Visionäres abzugewinnen. Grundannahme für alle Szenarien ist ein Business-as-usual: A und B entsprechen vor allem den Transformations- und Entwicklungsländern, Szenario C widerspiegelt die Entwicklungen in den Industriestaaten, wie sie bereits heute angedacht werden. Sowohl der Energieträgermix als auch der Energieverbrauch richten sich am Wirtschaftswachstum in allen Regionen aus, dies unter der Annahme, dass bis 2100 keine bedeutenden Knappheiten bei den Primärenergieträgern auftreten. Investitionen in Forschung und Entwicklung und in den Energiesektor werden sicherstellen, dass die Volkswirtschaften mit ausreichend Energie versorgt werden. Interessant ist dabei die Annahme, dass sich der Erneuerbaren-Pfad (mit oder ohne Kernenergie) als der billigste herausstellt. Dies kontrastiert mit der „Fossil-Lastigkeit“ der Szenarien A und B. Bezüglich CO<sub>2</sub>-Emissionen zeichnen die Perspektiven ein eher düsteres Bild: Nur gerade Szenario C vermag die CO<sub>2</sub>-Emissionen substantiell zu reduzieren. Szenario A3 könnte die Kyoto-Ziele erst zu einem Zeitpunkt erreichen, wo diese längst überholt sein dürften.

Tabelle 7: Rahmenentwicklung und Ergebnisse zusammengefasst

Szenarien	Jahr	Bruttoinlandsprodukt (Mrd. USD-1990)	% p.a. 1990 - 2050	% p.a. 1990 - 2100
<b>A</b>	1990	20'000	2.72	2.49
	2050	100'000		
	2100	300'000		
<b>B</b>	1990	20'000	2.23	2.12
	2050	75'000		
	2100	200'000		
<b>C</b>	1990	20'000	2.23	2.20
	2050	75'000		
	2100	220'000		
		<b>Weltbevölkerung (Mrd.)</b>		
<b>A / B / C</b>	1990	5.3	1.08	0.72
	2050	10.1		
	2100	11.7		
		<b>Primärenergieverbrauch (PJ)</b>		
<b>A</b>	1990	376'830	1.72	1.47
	2050	1'046'750		
	2100	1'884'150		
<b>B</b>	1990	376'830	1.34	1.24
	2050	837'400		
	2100	1'465'450		
<b>C</b>	1990	376'830	0.74	0.77
	2050	586'180		
	2100	879'270		
		<b>Primärenergieverbrauch nach Energieträgern 2050 (PJ)</b>		
<b>A</b>	Kohle	92'114 – 326'586	0 – 2.13	
	Erdöl	180'041 – 330'773	0.55 – 1.57	
	Erdgas	196'789 – 330'773	1.71 – 2.59	
	Kernenergie	46'057 – 121'423	1.32 – 2.97	
	Wasserkraft	41'870 – 46'057	1.54 – 1.70	
	Neue Erneuerbare	154'919 – 238'659	4.98 – 5.74	
	Biomasse traditionell	29'309 – 33'496	-0.42 - -0.20	
<b>B</b>	Kohle	171'667	1.04	
	Erdöl	167'480	0.43	
	Erdgas	188'415	1.64	

	Kernenergie	113'049	2.85	
	Wasserkraft	37'683	1.36	
	Neue Erneuerbare	117'236	4.50	
	Biomasse traditionell	33'496	-0.20	
<b>C</b>	Kohle	62'805	-0.64	
	Erdöl	108'862 – 113'049	-0.29 – -0.23	
	Erdgas	138'171 – 163'293	1.11 – 1.39	
	Kernenergie	20'935 – 75'366	0 – 2.16	
	Wasserkraft	41'870	1.54	
	Neue Erneuerbare	133'984 – 159'106	4.73 – 5.03	
	Biomasse traditionell	33'496	-0.20	
	<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen (Mt)</b>			
<b>A</b>	1990	6'000		
	2050	9'000-15'000	0.68 – 1.54	
	2100	6'000-20'000		0 – 1.10
<b>B</b>	1990	6'000		
	2050	10'000	0.86	
	2100	11'000		0.55
<b>C</b>	1990	6'000		
	2050	5'000	-0.30	
	2100	2'000		-0.99

\* Bereiche zeigen die Streuung der Unterszenarien (A1, A2, A3 und C1, C2) auf.

### 3 Energy Information Administration: International Energy Outlook

Literatur: [5]

Mit dem International Energy Outlook (IEO) veröffentlicht die Energy Information Administration (EIA), die offizielle Stelle der Energiestatistik der US-amerikanischen Regierung, jährlich einen ausführlichen Bericht über die längerfristige Entwicklung der globalen und regionalen Energiemärkte. Die neuste Ausgabe des IEO stammt vom Juni 2006. Sie beschreibt die Entwicklung von Energieangebot und Energienachfrage in Industrie-, Transformations- und Entwicklungsländern von 2002 bis 2025. Der IEO umfasst insgesamt drei Szenarien: das Referenzszenario, ein Szenario mit starkem und eines mit schwachem Wirtschaftswachstum. Dazu werden die folgenden Sensitivitäten gerechnet: Rohölpreise hoch/tief, Erstarkeung/Abschwächung der Kernenergie und Kyoto-Protokoll.

#### 3.1 Modellaspekte

Die EIA verwendet für den Outlook 2005 ein so genanntes SAGE-Modell (**S**ystem for the **A**nalysis of **G**lobal **E**nergy markets). SAGE erlaubt es, den Energieverbrauch pro Region, pro Verbraucherguppe und pro Art der Endenergie (z.B. Prozesswärmeverbrauch der Papierindustrie, Lichtenergieverbrauch der Haushalte, insgesamt 42 Gruppen) abzuschätzen, wobei eine bestimmte wirtschaftliche und demographische Entwicklung unterstellt wird. Bei der Verbrauchsberechnung wird weiter berücksichtigt, wie sich der derzeitige Energieverbrauch gliedert, über welchen Bestand an energieverbrauchenden Geräten eine Region verfügt, welche neuen Technologien zur Verfügung stehen und welche neuen Quellen an Primärenergie erschlossen werden können. SAGE führt eine Marktsimulation durch mit dem Ziel, die Energienachfrage unter der Bedingung der Kostenminimierung abzudecken. Dabei müssen simultan Entscheide über die Ausrüstung mit Geräten und das Angebot von Primärenergie getroffen werden.

Der IEO liefert Prognosen über den weltweiten Primärenergieverbrauch, den Energieverbrauch je Primärenergieträger (Öl, Gas, Kohle, Kernenergie, Wasserkraft, andere erneuerbare Energieträger), Prognosen zum Stromverbrauch und zu Kohlendioxid-Emissionen. Die Ergebnisse werden in 5-Jahres-Intervallen dargestellt. Das Modell liefert Prognosen für insgesamt 15 Regionen: Vereinigte Staaten, Kanada, Mexiko, Westeuropa, Japan, Australien/Neuseeland, Osteuropa, ehemalige Sowjetunion, China, Indien, Südkorea, Entwicklungsländer Asiens, Naher Osten, Afrika, Zentral- und Südamerika. Dargestellt werden die Ergebnisse unterteilt nach mature (=OECD-Staaten), transitional und emerging markets.

#### 3.2 Rahmenentwicklung

Die Entwicklung des realen Ölpreises über den Perspektivzeitraum stammt aus dem International Energy Modul der EIA. Der Ölpreis wird dabei mittelfristig von Preisen für Öl-Futures abgeleitet und längerfristig extrapoliert. Im Referenzszenario sinkt der Ölpreis (ausgedrückt in USD-2003/Barrel) zunächst auf 31 USD in 2010 und steigt dann mit einer Rate von 0.8% pro Jahr auf 35 USD (nominal rund 60 USD) in 2025. Im Tiefpreisszenario sinkt der Ölpreis auf 21 USD in 2009 und bleibt auf diesem Niveau bis zum Ende des Perspektivzeitraums. Im Hochpreisszenario sinkt der Preis zunächst auf 37 USD in 2013 und steigt dann kontinuierlich auf 48 USD in 2025.

Für den Zeitraum von 2002 bis 2025 geht die EIA von einem BIP-Wachstum von 3.9% aus, gemessen in USD-2000 und kaufkraftbereinigt. Das grösste Wachstum wird für die Entwicklungsländer prognostiziert (5.1%), Osteuropa und die ehemalige Sowjetunion wachsen mit einer Rate von 4.4%, während die Industriestaaten mit durchschnittlich 2.5% wachsen. Für Westeuropa nimmt die EIA ein Wachstum von 2% an. Die EIA betont, dass Vorhersagen zum Wirtschaftswachstum den grössten Unsicherheitsfaktor darstellen. Es werden deshalb zwei Sensitivitäten zum Wirtschaftswachstum betrachtet: ein starkes und ein schwaches Wirtschaftswachstum. Starkes Wachstum bedeutet für die Industriestaaten einen halben Prozentpunkt mehr Wachstum, für die osteuropäischen Staaten ein Plus von 1.5 Prozentpunkten und für die Entwicklungsländer einen zusätzlichen Prozentpunkt. Bei der Sensitivität schwaches Wirtschaftswachstum werden die entsprechenden Prozentpunkte vom Wachstum im Referenzszenario abgezogen. Der Unterschied zwischen starkem und schwachem Wachstum resultiert in einer Differenz von rund einem Fünftel des Energieverbrauchs im Referenzszenario.

### 3.3 Nachfrageentwicklung

Im Referenzfall geht der IEO davon aus, dass die Nachfrage nach Energie über den Perspektivzeitraum um 2% pro Jahr ansteigt. In Zahlen ausgedrückt wächst die Nachfrage von 434'133 in 2002 auf 680'053 PJ in 2025. In den Entwicklungsländern beträgt die Rate 3.2%, während sie in den Industrieländern mit 1.1% deutlich tiefer liegt. Aufgeteilt nach Verbrauchergruppen zeigen der Verkehr und die Industrie das stärkste Nachfragewachstum mit je 2.1%. Die Energienachfrage der Haushalte wächst mit 1.5% pro Jahr, der Dienstleistungssektor um 1.9%.

Die Nachfrage nach Erdöl steigt von 78 Mio. Barrels pro Tag auf 119 Mio. Barrels an, was einem jährlichen Wachstum von 1.9% entspricht. Unter den Primärenergieträgern wird jedoch Erdgas den grössten Nachfrageschub erleben, die Wachstumsrate beträgt 2.3% pro Jahr. Als Hauptgrund wird die Verstromung des Erdgases gesehen. Die Nachfrage nach Kohle wird bis 2015 ein rasantes Wachstum erleben, verliert aber bis 2025 etwas an Attraktivität, so dass der jährliche Zuwachs der Nachfrage bis 2025 auf 2% zu stehen kommt. Der Stromverbrauch wird sich über den Prognosezeitraum praktisch verdoppeln. 59% des Nachfragewachstums wird in den Entwicklungsländern generiert. Die Rate beträgt dort 4% pro Jahr und weltweit 2.6%.

### 3.4 Angebotsentwicklung

Bei den nicht erneuerbaren Energieträgern Öl, Gas und Kohle wird davon ausgegangen, dass keiner davon bis zum Zeitpunkt 2025 knapp wird. Dementsprechend kann das Angebot die Nachfrage abdecken und es werden mit Ausnahme der oben erwähnten Nuklearsensitivitäten keine Angebotsvarianten durchgespielt. Beim Stromangebot ergibt sich für das Jahr 2025 der folgende Mix: 46.6% der installierten Kapazität aus Öl und Gas, 25.5% aus Kohle, 20.2% aus Erneuerbaren und 7.7% aus Kernenergie.

Perspektiven zur Kernenergie stammen aus dem International Nuclear Model (INM) der EIA. Der IEO untersucht zwei unabhängige Sensitivitäten. Unter der Annahme, dass die Preise der fossilen Energieträger konstant hoch (vgl. Annahmen Sensitivität Ölpreis hoch) bleiben und Versorgungssicherheit, Luftverschmutzung und Klimaerwärmung weiterhin prioritäre politische Themen sind, könnte der Kernenergie eine wichtigere Stellung eingeräumt werden. Die Sensitivität „Kernenergie-Revival“ geht von einem zusätzlichen Zubau von 148 GW Kernenergie gegenüber dem Referenzfall bis ins Jahr 2025 aus. Dies entspricht einer jährlichen Zuwachsrate von 2% (Referenzfall: Zubau von 81 GW bis 2025, was einer Zuwachsrate von jährlich 1.1% entspricht). Würde der Ruf der Kernenergie durch einen weiteren Unfall bzw. einen terroristischen Akt angeschlagen, so würde die Kapazität um 125 GW gegenüber dem Referenzszenario bis 2025 reduziert werden. Dieses Szenario wird in der Sensitivität „Schwache Kernenergie“ durchgespielt. Die Leistung würde dabei um 0.8% pro Jahr abnehmen, wobei die Lücke vor allem durch fossil-thermische Kraftwerke geschlossen würde.

### 3.5 CO<sub>2</sub>-Emissionen

Das Referenzszenario geht davon aus, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen von 24.4 Mia. t in 2002 auf 38.8 Mia. t in 2025 steigen. An dieser Zunahme von 59% werden die Entwicklungsländer mit 68% beteiligt sein. Um aufzuzeigen, welche Implikationen das Kyoto-Protokoll auf die Energienutzung und die CO<sub>2</sub>-Emissionen hat, entwickelte die EIA eigens dafür einen „Kyoto-Protokoll Fall“, der als weitere Sensitivität zum Referenzszenario zu verstehen ist. Angenommen wurde dabei, dass die sich nicht verpflichtenden Staaten keine Massnahmen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen ergreifen. Weiter wurde angenommen, dass die westeuropäischen Staaten 50% der Reduktion im eigenen Land erreichen und Japan und Kanada 25%. Die Berechnungen ergeben, dass die energiebezogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahre 2025 gegenüber dem Referenzfall um 593 Mio. t reduziert werden können. Ebenfalls berechnet wurden die Preise pro reduzierte Tonne CO<sub>2</sub>. Diese betragen in Westeuropa 64 USD/t und in Kanada 36 USD/t. Es zeigt sich somit, dass auch unter der Annahme, dass die Annex I Staaten ihre Hausaufgaben machen, die Gesamtemissionen nur minimal gesenkt werden können. Grund dafür ist die vornehmlich auf Öl und Kohle basierende Entwicklung der heutigen Entwicklungs- und Transformationsländer.

### 3.6 Kommentar

Der IEO der EIA beinhaltet im Wesentlichen ein Referenzszenario, welches die bisherigen Trends bis 2025 fortschreibt. Es handelt sich nicht um Politikenszenarien und auch nicht um Visionen. Ein Grund

dafür ist sicher der relativ kurze Prognosezeitraum von 23 Jahren. Wo Unsicherheiten bestehen, werden Sensitivitäten durchgerechnet. Dies betrifft vor allem die unterschiedlichen Annahmen zum Wirtschaftswachstum und zur Entwicklung des Ölpreises. Die Abweichungen vom Referenzfall scheinen aber sehr zurückhaltend gewählt zu sein. So beträgt die Differenz zwischen der Ölhochpreis-Sensitivität und der Tiefpreis-Sensitivität nur 27 USD-2003 pro Barrel in 2025. Die Ergebnisse der Szenarien und die Differenzen zwischen den Sensitivitäten überraschen deshalb nicht. Die Tatsache, dass eine Sensitivität „Kyoto-Protokoll“ aufgenommen wird, zeugt davon, dass die Ratifizierung des Protokolls durch Russland, die nach Beginn des Beobachtungszeitraums 2002 vorgenommen wurde nicht mehr in das Modell aufgenommen werden konnte. Es fehlen deshalb auch Annahmen zur globalen CO<sub>2</sub>-Politik für den Zeitraum nach 2012.

Tabelle 8: Referenz-Szenario 2002 – 2025.

	2002	2010	2015	2020	2025	% p.a. 2002- 2025
<b>Bruttoinlandsprodukt (Mrd. USD-2000)</b>						
Industrieländer	25'317	31'302	35'519	40'148	45'157	2.5
Nordamerika	11'997	15'567	18'142	21'055	24'285	3.1
Westeuropa	9'416	11'044	12'255	13'563	14'958	2.0
Industrialisiertes Asien	3'904	4'691	5'123	5'530	5'914	1.8
Reformländer	3'460	5'354	6'535	7'880	9'409	4.4
Entwicklungsländer	18'449	28'793	36'892	46'555	58'185	5.1
Welt	47'227	65'449	78'947	94'582	112'752	3.9
<b>Weltbevölkerung (Mio.)</b>	6'266	6'825	7'191	7'533	7'844	1.0
<b>Rohölpreis (USD-2003 pro Barrel)</b>	24.03	31.00	32.33	33.67	35.00	1.6
<b>Primärenergieverbrauch nach Regionen (PJ)</b>						
Industrieländer	225'243	247'609	260'902	272'929	286'749	1.1
Nordamerika	124'174	141'581	151'498	161'310	171'016	1.4
Westeuropa	71'107	74'061	76'171	77'437	80'286	0.5
Industrialisiertes Asien	29'962	32'072	33'233	34'288	35'448	0.7
Reformländer	56'548	66'465	72'162	76'804	81'974	1.6
Entwicklungsländer	152'237	217'119	250'879	281'263	311'331	3.2
Welt	434'133	531'193	583'943	630'996	680'053	2.0
<b>Primärenergieverbrauch nach Energieträgern (PJ)</b>						
Kohle	103'496	132'086	143'902	154'874	164'686	2.0
Erdöl	168'167	203'721	222'183	239'063	256'787	1.9
Erdgas	100'436	121'536	139'682	154'663	171'016	2.3
Kernenergie	28'380	31'861	33'444	34'710	35'976	1.0
Andere	33'866	41'989	44'732	47'686	51'590	1.9
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen (Mt)</b>						
Industrieländer	11'877	13'080	13'745	14'392	15'183	1.1
Nordamerika	6'701	7'674	8'204	8'759	9'379	1.5
Westeuropa	3'549	3'674	3'761	3'812	3'952	0.5
Industrialisiertes Asien	1'627	1'731	1'780	1'822	1'852	0.6
Reformländer	3'124	3'643	3'937	4'151	4'386	1.5
Entwicklungsländer	9'408	13'478	15'602	17'480	19'222	3.2
Welt	24'409	30'201	33'284	36'023	38'790	2.0

## **4 European Commission: World energy, technology and climate policy outlook (WETO)**

Literatur: [7]

Der WETO der Europäischen Kommission wurde im Jahr 2003 publiziert und umfasst die Zeitperiode bis 2030.

### **4.1 Modellaspekte**

Der WETO basiert auf den Resultaten des POLES Modell, das die Europäische Kommission für verschiedene Programme seit 1994 verwendet. Die Modellstruktur entspricht einem hierarchischen System, bestehend aus ineinander greifenden Modulen, so dass für drei verschiedenen aggregierte Ebenen Analysen durchgeführt werden können:

- Internationale Energiemärkte
- Regionale Energiebilanzen
- Nationale Modelle für die Energienachfrage, neue Technologien, erneuerbare Energien, Stromerzeugung, Primärenergieangebot und CO<sub>2</sub>-Emissionen. Es werden 38 Regionen und Länder unterschieden.

Im Modell sind 15 verschiedene Endenergiesektoren (die wesentlichen Industriezweige, Transportarten, Haushalte und Dienstleistungssektor) abgebildet sowie zwölf zentrale Stromproduktionsarten und zwölf (neue) erneuerbare Technologien.

Für die Öl- und Gasproduktion wird für die grössten Förderländer ein Fördermodell verwendet, das die Produktion in Abhängigkeit der Bohraktivitäten und der Entdeckung neuer Reserven bestimmt. Bei der Kohle ist die Produktion nachfragegetrieben. Dieses Teilmodul ist insbesondere für die Bestimmung der internationalen Entwicklung der Öl- und Gaspreise von Bedeutung.

Der Ölmarkt wird als ein einziger globaler Markt modelliert, während für Gas und Kohle drei Regionen (Amerika, Europa und Afrika, Asien) betrachtet werden, die den unterschiedlichen Kosten- und Marktstrukturen gerecht werden. Darin werden auch, ausgehend von Änderungen der Weltmarktpreise, die regionalen Auswirkungen bestimmt.

### **4.2 Rahmenentwicklung**

Die BIP Perspektiven des POLES-Modell werden vom Centre d'Etudes Prospectives et d'Information Internationales (CEPII) geliefert. Als Grundlage dient ein neo-klassisches Wachstumsmodell mit exogenem technischem Fortschritt. Die Hauptannahme des Modells besteht in der Konvergenz der Arbeitsproduktivität zu einem Langfristgleichgewicht in einer geschlossenen Volkswirtschaft.

Das Weltbevölkerungswachstum wird weiter rückläufig sein von jährlich 1.5% in den letzten zehn Jahren auf 1% zwischen 2000 und 2030. Das Wirtschaftswachstum wird in den nächsten 30 Jahren rund 3.1% pro Jahr betragen. Dies ist zu einem grossen Teil auf die erwartete wirtschaftliche Entwicklung in den Reformländern zurückzuführen. Während im Jahre 1990 die industrialisierten Länder und die Reformländer 70% des weltweiten BIP ausmachten, wird dieser Anteil bis 2030 auf 45% fallen.

Der technologische Fortschritt wird im Rahmen der vergangenen Jahre fortgeschrieben, ohne dass grössere Durchbrüche erwartet werden.

### **4.3 Energiepreise**

Der WETO geht von einem Ölpreis von 24 EUR pro Barrel im Jahre 2010 aus. Danach folgt ein leichter aber stetiger Aufwärtstrend bis ins Jahre 2030. Real werden die Ölpreise im Jahr 2020 ein Niveau von 29 EUR pro Barrel und im Jahre 2030 eines von 35 EUR pro Barrel erreichen (Basis EUR-1999). Diese Ölpreisentwicklung geht von der Annahme aus, dass die Länder des Nahen Ostens ihre Förderausgaben steigern werden.

Bei den Gaspreisen werden in den Regionen Amerika, Europa und Asien die Preise weiterhin verschieden sein, insbesondere als Folge der unterschiedlichen Verfügbarkeit von Pipelines beziehungsweise von Liquefied Natural Gas (LNG). Vor allem Asien wird stark von LNG abhängig sein, so

dass das Preisniveau in dieser Region am höchsten sein wird. Insgesamt wird sich aber die Differenz zwischen den Regionen verringern.

Beim Kohlepreis wird angenommen, dass er weiterhin relativ stabil bei 10 EUR pro Barrel Öläquivalent bleibt.

#### **4.4 Nachfrageentwicklung**

Der WETO geht davon aus, dass im Zeitraum 2000 – 2030 die Energienachfrage um über 70% steigt, was einem Anstieg von 1.8% pro Jahr entspricht. Das Wachstum nimmt allerdings von 2% pro Jahr in der ersten Dekade auf 1.5% in den Jahren 2010 – 2030 ab.

In der EU bleibt die Bevölkerungszahl in etwa konstant. Somit ist der Energieverbrauchsanstieg von 0.4% pro Jahr vor allem auf die Erhöhung des Pro-Kopf-Einkommens zurückzuführen, das 1.9% pro Jahr beträgt. Betrachtet man die EU-25, dann ändert sich insgesamt an der Situation wenig, da ein verstärktes Wirtschaftswachstum in den neuen EU-Ländern durch eine deutliche Verbesserung der Energieintensität kompensiert wird.

##### **4.4.1 Strom**

Der Stromverbrauch wird weltweit um 1.4% pro Jahr bis 2010 und 2.2% pro Jahr zwischen 2010 und 2030 steigen. Der Stromverbrauch pro Kopf steigt in Asien (4.2% pro Jahr) und in den Transformationsländern (2.7%) überdurchschnittlich. Der Stromverbrauch, gemessen am Gesamtenergieverbrauch, wird von 15% im Jahre 2000 auf 22% im Jahre 2030 steigen.

##### **4.4.2 Wärme**

Im Bereich der Wärme wird wieder eine Zunahme des Pro-Kopf-Verbrauchs erwartet, dies als Folge des steigenden Pro-Kopf-Einkommens.

In der EU nimmt der Pro-Kopf-Verbrauch bis 2010 leicht zu, danach entwickelt er sich unabhängig vom Pro-Kopf-BIP. Dieser Trend ist auch im industrialisierten Asien zu beobachten. In den Reformländern wird mit einer starken Zunahme gerechnet, da nach dem Zusammenbruch der Sowjetunion die Nachfrage bis zum Jahrtausendwechsel infolge einer wirtschaftlichen Rezession stark gefallen war und jetzt die Erholung in vollem Gange ist.

##### **4.4.3 Sektorentwicklung**

In POLES wird die Nachfrage in die vier Sektoren Industrie, Verkehr, Haushalte und Dienstleistungen (inklusive Landwirtschaft) unterteilt; die Industrie wiederum in die vier Bereiche Stahl, Chemie, Nicht-Metall und Andere, Verkehr in Personenwagen-, Lastwagen-, Personenzugs-, Güterzugsverkehr sowie Flugverkehr und andere.

In der Industrie wird die Energieintensität um jährlich 1.2% abnehmen, wobei diese Abnahme in der EU mit 0.9% pro Jahr am geringsten ausfällt, was aber vor allem daran liegt, dass die EU bereits heute eine tiefe Energieintensität aufweist.

Im Verkehrsbereich fällt das Pro-Kopf-Wachstum mit 0.7% über die betrachtete Zeitperiode relativ moderat aus. Nordamerika ist aber die einzige Region mit einer leichten Abnahme im Pro-Kopf-Verbrauch, als Folge des grossen Potenzials von Effizienzgewinnen im Autosektor. Es ist allerdings auch zu bemerken, dass Nordamerika von einem rund doppelt so hohen Niveau startet wie die EU. In Indien und China beträgt die erwartete Wachstumsrate rund 3% pro Jahr. Es wird in allen Regionen mit einer Zunahme der Personenwagen pro Einwohner gerechnet, durchschnittlich 1.3% pro Jahr, wobei das Wachstum in Asien mit 6% pro Jahr am höchsten ausfällt; in der EU und Nordamerika sind es 0.3%. Die Anzahl der Personenkilometer nimmt in den meisten Regionen leicht ab. Gleichzeitig führt eine signifikante Verbesserung des spezifischen Verbrauchs zu einer Senkung des Energieverbrauchs, in den USA um 18%, in der EU um 9%, womit aber die EU immer noch besser abschneiden wird als die USA.

Im Haushaltsbereich nimmt der Wärmeverbrauch in den Industriestaaten und China als Folge von erhöhter Effizienz ab, während in den Entwicklungsländern mit einer leichten Zunahme zu rechnen ist,

da die Effizienzgewinne das Bevölkerungswachstum nicht vollständig zu kompensieren vermögen. In der EU und in Japan wird sich zudem der Energieverbrauch ohne Strom in Haushalten vom Einkommen abkoppeln. Obschon der Stromverbrauch in den Entwicklungsländern relativ am stärksten steigen wird, ist die Zunahme absolut gesehen in den Industriestaaten grösser.

Der Dienstleistungssektor wird in allen Regionen der Welt starke Verbrauchszuwächse verzeichnen, allen voran in Indien mit einem Wachstum von 3.3% pro Jahr und China mit 2.7%.

#### **4.5 Angebotsentwicklung**

In 2030 werden die fossilen Energien 88% der Nachfrage ausmachen was gegenüber 2000 einer Zunahme um sieben Prozentpunkte entspricht. Öl wird mit 34% weiterhin der wichtigste Energieträger bleiben, obschon Gas und vor allem Kohle stark zunehmen werden; letzteres aufgrund von Wirtschaftlichkeitsüberlegungen. Die Zuwachsrate der Kernenergie sinkt von jährlich 2.7% zwischen 1990-2000 auf 0.9% pro Jahr und wird im Jahre 2030 noch 5% vom Primärenergieverbrauch ausmachen. Dies sind 2 Prozentpunkte weniger als im Jahre 2000. Die erneuerbaren Energien werden im Jahre 2030 ungefähr einen Anteil von 8% haben und liegen damit 5 Prozentpunkte unter dem Niveau von 2000. Dies vor allem als Folge der rückläufigen traditionellen Biomassenutzung in Asien und Afrika.

In der EU wird der Gasverbrauch stark zunehmen, und zwar auf Kosten von Braun-, Steinkohle und Öl. Im Jahre 2030 wird Gas einen Anteil am Gesamtenergieverbrauch von 27% haben, hinter Öl mit 39% und vor Kohle mit 16%.

Der WETO geht davon aus, dass genügend konventionelle Ölreserven existieren, um die Nachfrage in den nächsten drei Dekaden zu decken. Es wird unterstellt, dass die Nicht-OPEC-Staaten entsprechend ihren Reserven und Produktionskapazitäten produzieren, während die OPEC-Staaten den Ausgleich zwischen Nachfrage und Angebot sicherstellen. Im Weiteren wird angenommen, dass die Nicht-OPEC-Staaten ihre Produktion bis 2030 um täglich 3 Mio. Barrels erhöhen werden, die OPEC-Staaten um 33 Mio. Barrels. Somit dürfte die OPEC im Jahre 2030 einen Marktanteil von 60% aufweisen, wovon der Nahe Osten 46% ausmachen wird. Es wird erwartet, dass die Ölförderung um 65% auf täglich 120 Mio. Barrels steigen wird. Drei Viertel der zusätzlichen Förderung werden somit von den OPEC-Staaten kommen.

Die Produktion von nichtkonventionellem Öl wird für das Jahr 2030 auf zirka 10 Mio. Barrels pro Tag geschätzt, und diese Reserven steigen stetig, so dass sie im Jahre 2030 einen Drittel der gesamten Ölreserven ausmachen werden.

Die Gasreserven steigen im betrachteten Zeitraum um 9%. Im weiteren sind die Reserven global besser verteilt als Öl. Trotzdem sind mehr als die Hälfte der Gasreserven auf wenige Länder verteilt, so auf die Reformländer und die Golfstaaten. Es wird angenommen, dass in diesem Jahrzehnt das Wachstum der Gasreserven anhalten wird, bevor dann eine leicht sinkende Tendenz einsetzen wird.

Die Kohlevorkommen sind wesentlich gleichmässiger über den Globus verteilt als die Öl- und Gasvorkommen. Obschon auch in Russland grosse Kohlevorkommen vorhanden sind, wird dort wenig abgebaut, da die Transportkosten erheblich sind. Der WETO geht davon aus, dass der Kohleabbau in der betrachteten Periode rein nachfragegetrieben ist. Es wird mit einer Zunahme der Nachfrage um 2.3% pro Jahr gerechnet, mehrheitlich in Afrika und Asien. Im Jahre 2030 wird 35% der Kohle in China abgebaut, während die USA mit 20% auf dem zweiten Platz sein werden.

#### **4.6 CO<sub>2</sub>-Emissionen**

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen sind vor allem von drei Faktoren abhängig: dem BIP, der CO<sub>2</sub>-Intensität des inländischen Energieverbrauchs und der Energieintensität pro BIP. Obschon BIP-Wachstum und verbesserte Energieintensität umgekehrte Auswirkungen haben, hat sich das BIP-Wachstum stets stärker ausgewirkt als die verbesserte Intensität.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen werden sich weltweit zwischen 1990 und 2030 mehr als verdoppeln von 21 Gt auf 45 Gt im Jahre 2030. Die regionale Aufteilung wird sich stark ändern: waren es 1990 noch 70% aus industrialisierten Ländern, wird dieser Anteil auf 42% fallen. Bis dann wird China der grösste CO<sub>2</sub>-Emittent sein. Relativ gesehen wird Indien am meisten zulegen, und zwar mit 5% pro Jahr, was einer Versiebenfachung der Emissionen entspricht.

Ausser in Nordamerika wird die CO<sub>2</sub>-Intensität des Endenergieverbrauchs in allen Industrieländern abnehmen. In Nordamerika wird sie zunehmen, da die Reduktion des Ölverbrauchs durch einen verstärkten Kohleverbrauch mehr als kompensiert wird, was bei einer Zunahme des Energieverbrauchs um 40% zu einer Zunahme des CO<sub>2</sub>-Ausstosses um 50% führt.

#### **4.7 Sensitivitäten**

In einem separaten Kapitel werden im WETO zwei Sensitivitäten betrachtet: zum einen die Unsicherheit bei den Schätzungen der konventionellen Öl- und Gasreserven und zum anderen die Entwicklung im Technologiebereich.

##### **4.7.1 Unsicherheiten bei den Reserven**

Sollten die Öl- und Gasreserven geringer sein als erwartet, dann führt dies zu einem deutlich höheren Ölpreis von 40 EUR pro Barrel im Jahre 2030. Dies führt dann zu einem Minderenergieverbrauch von 3%, davon beim Gas -13% und beim Öl -6%, während Kohle und nicht-fossile Energieträger ihren Anteil erhöhen können. Insgesamt resultiert eine Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 2%.

Umgekehrt führen über Erwarten hohe Gasvorräte zu einer deutlichen Reduktion des Gaspreises, während der Ölpreis infolge der schlechteren Substituierbarkeit nur wenig fallen wird. In diesem Fall würde der Energieverbrauch bis 2030 um rund 1.5% gegenüber dem Referenzfall zunehmen. Der Energiemix würde sich mit +21% zugunsten des Gases stark ändern.

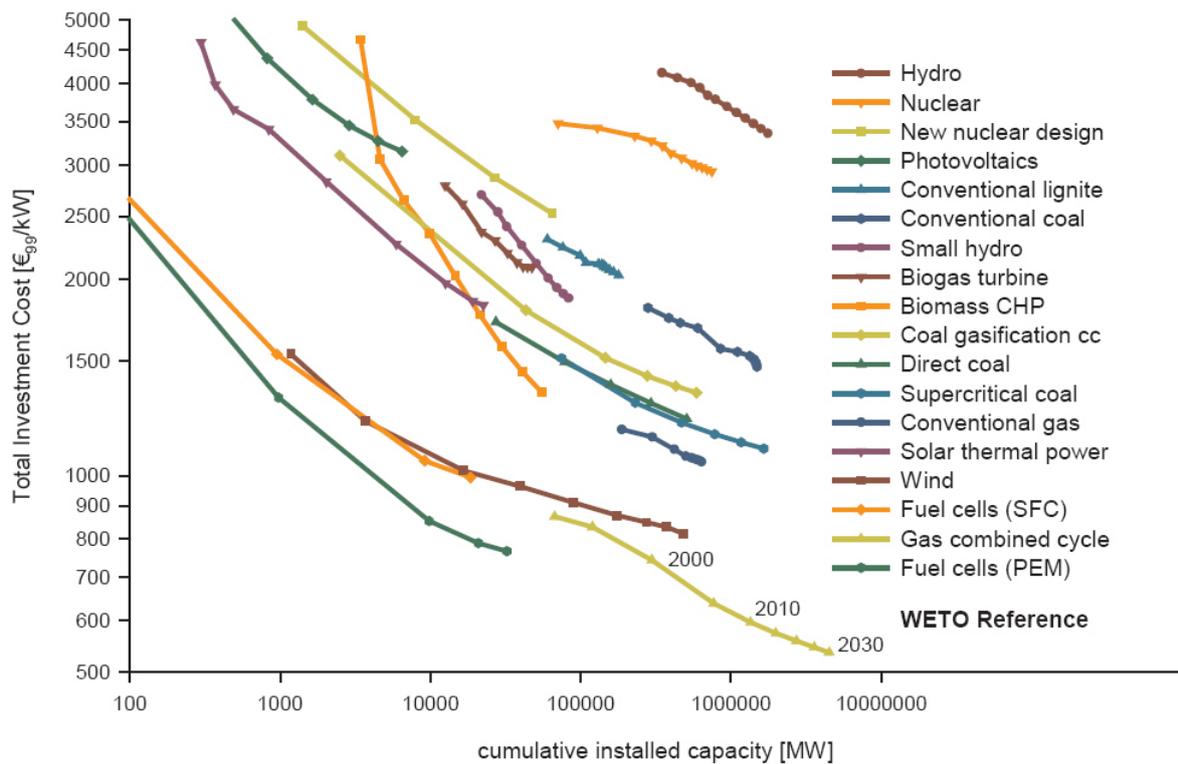
##### **4.7.2 Technologieentwicklung**

Annahmen über künftige Technologieentwicklungen sind schwierig. Trotzdem wurden in letzter Zeit zahlreiche Anstrengungen vollzogen, vor allem basierend auf Expertenumfragen und ökonomischer Entwicklung. Das vom WETO verwendete Modell ist in der Lage, die zusätzlichen Forschungs- und Entwicklungsgelder abzuschätzen, die nötig sind, um einen beschleunigten technologischen Fortschritt zu erzielen:

- Gas: Es wird eine erhöhte Verfügbarkeit von Gas angenommen und eine Verbesserung des Wirkungsgrades für GuD-Kraftwerke und Brennstoffzellen;
- Kohle: Kraftwerke mit optimierter Anlagentechnik, Kraftwerke mit integrierter Kohlevergasung (IGCC);
- Nuklear: technologischer Durchbruch in Bezug auf Kosten und Sicherheit sowie verbesserte Brennstoffausnutzung;
- Erneuerbare Energien: Anstrengungen vor allem im Windbereich, Biomasse-Gasifizierung, solarthermische Kraftwerke, Kleinwasserkraftwerke und Photovoltaik.

Wie Figur 3 zeigt, wurden zahlreiche technologische Fortschritte unterstellt. Trotzdem kann damit das CO<sub>2</sub>-Emissionsproblem nicht gelöst werden. Dies liegt unter anderem daran, dass nur technologische Fortschritte im Stromsektor, der nur einen Drittel des Energieverbrauchs ausmacht, betrachtet wurden. Deshalb sollte diese Arbeit auf andere Bereiche ausgeweitet werden, insbesondere auf den Strassenverkehr. Im Weiteren gilt es zu bedenken, dass Fortschritte in CO<sub>2</sub>-Emissionsfragen die fossilen Brennstoffe noch attraktiver werden lassen, so dass sich die Effekte ausgleichen.

Figur 3: Lernkurven für Stromerzeugungstechnologien.



Quelle: [7].

Obschon der EU-Gasmarkt expandiert, geht der WETO davon aus, dass der EU-Anteil am weltweiten Gasverbrauch stetig sinkt. Es wird davon ausgegangen, dass die EU mehr als die Hälfte ihres Gasbedarfs aus den Reformländern importieren wird, was zu grösseren Lieferisiken für die EU führen könnte. Deshalb ist es wichtig, dass zusätzliche Gastransportrouten eingerichtet werden und weiterhin ein Dialog mit den gasfördernden Staaten geführt wird. Daneben dürften die Langfristverträge für Flüssiggas zunehmen, was die geographische Diversifizierung jedoch nur marginal verbessert.

Im Referenzszenario werden die Kyoto-Ziele nicht berücksichtigt, dafür hat der WETO in einem Zusatzkapitel ein CO<sub>2</sub>-Reduktionsszenario definiert, das bis ins Jahr 2030 geht und für die verschiedenen Regionen verbindliche Ziele für mittelfristige Reduktionen nach 2010 festlegt. Dieses Szenario könnte den Ausstoss von CO<sub>2</sub> bis 2030 gegenüber dem Referenzszenario weltweit um 21% senken. Trotzdem führt es gegenüber 1990 zu einer massiven Erhöhung von fast 75%. Mehr als die Hälfte dieser Reduktion wird im Industriesektor erzielt. Die Abnahme der CO<sub>2</sub>-Intensität resultiert vor allem aus der Substitution von Stein- und Braunkohle sowie in eingeschränkter Masse von Erdöl durch Erdgas und Biomasse. Der Verbrauch von Biomasse steigt erheblich und auch der Anteil der Kernenergie nimmt zu, während die Anteile der grossen Wasserkraft- und Geothermieanlagen stabil bleiben.

Tabelle 9: Referenz-Szenario 2002 – 2030.

	2000	2010	2020	2030
<b>Bruttoinlandsprodukt (Mrd. EUR-1999)</b>				
Industrieländer				
Nordamerika	9'943	12'632	15'330	18'096
Westeuropa	9'225	11'517	14'226	16'706
Industrialisiertes Asien	3'699	4'356	5'287	6'302
Reformländer	2'457	3'495	4'910	6'400
Entwicklungsländer				
Welt	41'407	58'350	79'400	102'788
<b>Weltbevölkerung (Mio.)</b>	6'102	6'855	7'558	8'164

<b>Rohölpreis (EUR-1999 pro Barrel)</b>		24	29	35
<b>Gaspreise (EUR-1999 pro Barrel Öläquivalent) Europa</b>				28
<b>Primärenergieverbrauch nach Regionen (PJ)</b>				
Nordamerika	90'602	100'902	109'820	119'282
Westeuropa	43'752	38'770	33'871	31'485
Industrialisiertes Asien	14'486	18'296	21'855	25'749
Reformländer	57'569	61'965	79'089	100'693
Welt	416'712	507'021	611'733	720'674
<b>Primärenergieverbrauch nach Energieträgern (PJ)</b>				
Kohle	100'023		155'875	199'166
Erdöl	147'250		213'485	246'100
Erdgas	89'137		154'619	181'707
Kernenergie	27'758		33'159	36'509
Wasserkraft, Geothermie	9'965		14'319	16'412
Andere	42'580		40'277	40'738
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen (Mt)</b>				
Nordamerika	6'387	6'863	7'441	7'955
Westeuropa	3'599	3'751	4'129	4'374
Industrialisiertes Asien	1'496	1'512	1'640	1'806
Reformländer	2'857	3'058	3'877	4'476
Welt	23'781	29'376	36'738	44'498

## 5 Shell: Szenarien bis 2050

Literatur: [17]

Die Royal Dutch/Shell Group, eines der führenden, weltweit tätigen Energie- und Petrochemieunternehmen, publizierte 2005 seinen zweiten Szenarienbericht für die erste Hälfte des 21. Jahrhunderts. Shell macht dies wie bereits 1995 anhand von nur zwei Szenarien, die zum strategischen Denken provozieren sollen. Das eine Szenario wird mit „Dynamics as Usual“ bezeichnet, das andere mit „The Spirit of the Coming Age“. Sie zeigen zwei Wege auf, wie sich das Energiesystem entwickeln könnte. Welcher Weg eingeschlagen wird, ist vor allem abhängig von der Entwicklung, vom Einfluss und vom Timing der drei Faktoren: Ressourcen, Technologie und soziale Prioritäten. Im Hintergrund steht das zentrale Ziel, die CO<sub>2</sub>-Konzentration der Atmosphäre langfristig unter einem Niveau von 550 ppm zu stabilisieren, ohne dabei die ökonomische Entwicklung zu beeinträchtigen.

### 5.1 Modellaspekte

Die Royal Dutch/Shell Group stützt sich bei ihren Szenarienarbeiten auf das eigene Global Scenarios Team und auf ein globales Netzwerk von Centres of Excellence. Dazu gehören u.a. der Internationale Währungsfonds (IMF), die Weltbank, das Institute for International Economics (IIE), das International Institute for Strategic Studies (IISS), das Institute for Policy Studies (IPS) und verschiedene Universitäten (Texas, Georgetown, Yale, Oxford etc.). Welche Art von Modellen hinter den Ergebnissen steckt, geht aus den publizierten Unterlagen nicht hervor.

### 5.2 Rahmenentwicklung

Änderungen im Energiesystem sind ein Zeichen für Veränderungen der ökonomischen und sozialen Situation von Ländern und Gesellschaften. Der erste und wichtigste Schritt ist der Übergang von traditionellen zu kommerziellen Energieträgern. Danach zeigt sich eine starke Abhängigkeit zwischen Einkommen und Energienachfrage. So explodiert die Nachfrage ab einem Einkommen von 3'000 USD pro Jahr (kaufkraftbereinigt), weil dann die Industrialisierung und die persönliche Mobilität sehr stark zunehmen. Bei höheren Einkommen nimmt die Zunahme der Energienachfrage ab, weil ökonomisches Wachstum immer effizienter erreichbar ist. Eine gewisse Sättigung der Energienachfrage zeichnet sich ab. In industrialisierten Ländern kann beispielsweise beobachtet werden, dass sich das Verhältnis von Einwohnern pro Auto bei zwei zu eins einpendelt, sobald das Jahreseinkommen 30'000 USD überschreitet.

Eine andere Annahme betrifft den Technologiewandel. Es wird in den Szenarien davon ausgegangen, dass die „best available technology“ in der Regel mehr als zweimal so effizient ist wie der Durchschnitt der installierten Technologie. Da die Energiekosten aber in den OECD-Staaten nur rund 5% der Haushaltsausgaben und etwa 2% der Produktionskosten betragen, fallen die Investitionszyklen relativ lange aus.

Die Shell-Szenarien unterscheiden zwischen Rahmenentwicklungen, die zwar den sozio-ökonomischen Kontext stark beeinflussen werden nicht aber das Energiesystem, und Rahmenentwicklungen, die für Veränderungen des Energiesystems fundamental sein werden. Zur ersten Gruppe gehören die Demographie, das Einkommen, Marktliberalisierung und Nachfrage:

- Die Bevölkerungszahl wird von 2000 bis 2025 um 1% jährlich wachsen, von 2025 bis 2050 verlangsamt sich das Wachstum auf 0.6% pro Jahr. Dabei wird die Bevölkerung immer älter, auch Länder mit einer vergleichsweise jungen Bevölkerung heute werden 2050 ähnliche Altersverteilungen aufweisen wie die OECD-Staaten heute. 80% der Weltbevölkerung werden 2050 in urbanen Siedlungsgebieten leben.
- Das BIP steigt von 2000 bis 2025 mit einer Rate von 3.2% und in der zweiten Hälfte des Szenariozeitraums um 2.4% pro Jahr. Das globale Pro-Kopf-Einkommen wird dabei den Wert von 20'000 USD in 2050 übersteigen.
- Bei den Konsumentenpräferenzen werden sich zwei Trends herauskristallisieren: die zunehmende Wichtigkeit von Sauberkeit aus Umwelt- und Gesundheitsgründen und die höhere Bewertung von Flexibilität, Zeitersparnis und Kontinuität.
- Die Liberalisierung wird die Barrieren zwischen Märkten abbrechen, so beispielsweise zwischen dem Strom- und Gasmarkt. Aus dieser Entwicklung resultieren eine allgemein höhere Qualität der Energieträger und die dominante Rolle der Elektrizität.

Zu den fundamentalen Treibern des Energiesystems gehören, wie oben bereits erwähnt, die Ressourcenknappheit, technologischer Fortschritt und die individuelle und gesellschaftliche Prioritätensetzung. Diese Faktoren werden in den Szenarien wie folgt berücksichtigt:

- Die Knappheit bei den fossilen Energieträgern: Kohle wird im betrachteten Zeitraum nicht knapp. Öl wird vor 2025 nicht knapp, wobei dieser Zeitpunkt bis 2040 hinausgeschoben werden könnte, falls sich die Energieeffizienz von Fahrzeugen massgeblich verbessert. Die Entwicklung bei den Fördertechnologien wird dazu führen, dass auch bei den schwieriger zu erschliessenden Reserven ein Barrelpreis von unter 20 USD realistisch scheint. Gross ist die Unsicherheit bezüglich der Gasressourcen. Diese könnten bereits 2025 oder erst 2050 knapp werden. Bei Gas wird entscheidend sein, ob die Transportinfrastruktur genügend schnell bereitgestellt werden kann.
- Die Nuklearenergie wird in den nächsten zwei Jahrzehnten im Zuge der Liberalisierung der Strom- und Gasmärkte nicht wettbewerbsfähig sein. Nach 2025 dürfte die Nukleartechnologie soweit sein, dass die Kernenergie mit anderen Energieträgern wieder mithalten kann.
- Den neuen Erneuerbaren räumt Shell ein grosses Potenzial ein, obwohl sie häufig in Konkurrenz zu anderen Landnutzungsformen wie Nahrungsproduktion oder Freizeit stehen. Jedoch müssen neue Formen der Energiespeicherung gefunden werden. Die Kosten der Energiebereitstellung aus Wind und Sonne sind bereits massiv gefallen und werden dies in Zukunft weiterhin tun. In den nächsten zwei Jahrzehnten werden die Preise von Biotreibstoffen gemäss Shell-Experten unter 20 USD pro Barrel Öläquivalent fallen. Biotreibstoffe werden damit im Vergleich zum Erdöl konkurrenzfähig.
- Präferenzen auf der Ebene des Individuums oder der Gesellschaft entscheiden letzten Endes, welche Technologie und welche Energieträger sich durchsetzen werden. So wird beispielsweise die Einstellung zu Versorgungssicherheit entscheiden, inwieweit sich Erdgas in Europa und Asien etablieren kann. Es könnte ebenso die treibende Kraft sein, auf Erneuerbare zu setzen. Das Individuum beeinflusst das Energiesystem über seine Entscheidungen, die abhängig sind von seinen Werten, von der Umwelt und dem Lebensstil. In den OECD-Ländern ist meist nicht der Preis der limitierende Faktor. Ändert sich die Nachfrage, so ist es entscheidend, welche Technologien und Ressourcen im Moment verfügbar sind. Das Timing macht den Unterschied zwischen Evolution und Revolution.

### 5.3 Nachfrageentwicklung

Gemäss Überlegungen und Berechnungen von Shell wird die Energienachfrage eine Sättigung erfahren, wenn der jährliche Pro-Kopf-Verbrauch bei etwa 200 GJ, also rund 15% höher liegt als der heutige EU-Durchschnitt. Unter dieser Annahme würde sich die Gesamtnachfrage bis 2050 gegenüber dem heutigen Niveau rund verdreifachen. Würden sämtliche effizienzsteigernden Potenziale ausgeschöpft, könnte der Sättigungspunkt bereits bei 100 GJ erreicht werden, was bis 2050 eine Verdoppelung der aktuellen Nachfrage bedeuten würde.

Im Szenario „Dynamics as Usual“ wird sich die Nachfrage nach Primärenergie bis 2050 mehr als verdoppeln. Die Nachfrage steigt anfänglich mit einer Rate von 1.8% und ab 2015 mit 1.2% pro Jahr. Sich rasant entwickelnde Volkswirtschaften wie beispielsweise China sind die treibende Kraft hinter der steigenden Energienachfrage. Dank Liberalisierung und Informationstechnologien gelingt es diesen Staaten, bezüglich Technologie, Material- und Energieeffizienz enorme Schritte zu machen.

Das zweite Szenario „Spirit of the Coming Age“ geht von einer Verdreifachung der Primärenergienachfrage bis 2050 aus. Die Wachstumsraten sind entsprechend höher als im ersten Szenario und betragen bis 2025 jährlich 2.5% und ab 2025 noch 1.6%.

### 5.4 Angebotsentwicklung

Szenario „Dynamics as Usual“

Die Prioritäten der Gesellschaft in dieser Szenariowelt lassen sich zusammenfassen mit sauber, sicher und nachhaltig. Diese Prioritätensetzung bestimmt den Angebotsmix. Die Industrie versucht diesen Bedürfnissen durch das Angebot „sauberer“ Energie gerecht zu werden. Energie aus Biomasse steigt bis 2025 auf 5'000 PJ an und verzehnfacht sich bis 2050. Andere Erneuerbare wie Wind und Sonne überholen bis 2050 sowohl die Kohle als auch Erdgas. Kernenergie und Energie aus Wasserkraft können ihr Niveau von 2000 ungefähr halten. Erdgas erlebt seine „Blütezeit“ in den zwei ersten Jahrzehnten. Neue Anlagen zur Stromerzeugung werden in dieser Periode praktisch ausschliesslich mit Gas befeuert. Kohle- und Kernkraftwerke verlieren an Bedeutung. Nuklearenergie bekundet auf deregulierten, preissensitiven Energiemärkten Mühe, mit den anderen Energieträgern wirtschaftlich mithalten. Die neuen Erneuerbaren belegen zunächst vor allem Nischenmärkte. Sie stossen noch auf lokale Widerstände bezüglich der Standorte, zudem sind die Konsumenten noch nicht bereit, einen zusätzlichen Preis dafür zu bezahlen. Auch unzuverlässige Stromnetze verhindern eine grossflächige Ausbreitung. Erst nach 2040, das Erdöl wird dann knapp, erleben die erneuerbaren

Energien den grossen Aufschwung. Voraussetzung dafür ist die Entwicklung neuer Speichermöglichkeiten und eine neue Generation von Anlagen zur Energiegewinnung. Bei den Fahrzeugen setzen sich, nach dem Zwischenschritt Hybridantrieb, Biotreibstoffe durch. 2050 decken die Erneuerbaren rund einen Drittel der Primärenergie ab.

#### Szenario "The Spirit of the Coming Age"

Dieses Szenario beschreibt bezüglich Energieangebot eine Welt des „trial and error“. Es zeichnet den Weg einer technischen Revolution auf und erinnert daran, dass Diskontinuitäten häufig durch sehr banale Elemente des Energiesystems ausgelöst werden können. Im Szenario ist es die Brennstoffzelle, welche das Energiesystem revolutionieren wird. Die Brennstoffzelle wird sehr stark vereinheitlicht, so dass letztlich eine Zelle für alle Anwendungen eingesetzt werden kann. Brennstoffzellen sollen jederzeit und überall für die Konsumenten erhältlich sein. Der Brennstoff selbst wird aus Erdöl, Erdgas oder Biomasse hergestellt. Das dabei entstehende Kohlendioxid wird extrahiert und sequestriert. Mit der zunehmenden Ausbreitung und der Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten sinkt der kW-Preis sehr rasch, von 500 USD in 2006 auf 50 USD bereits in 2010. Auf diesem Niveau wird die Brennstoffzelle konkurrenzfähig zu normalen Verbrennungsmotoren. 2025 wird bereits ein Viertel der OECD-Fahrzeugflotte mit Brennstoffzellen betrieben. Dank neuen Technologien, die es erlauben, Methan und Wasserstoff aus Öl und Kohle zu gewinnen, findet der Übergang zur Wasserstoff-Brennstoffzelle statt. Führend bei diesen Technologien werden China und Indien sein, welche sich bis 2025 mit einer für sie inakzeptablen Abhängigkeit von ausländischen Ölimporten konfrontiert sehen werden. Dieser Übergang findet statt, bevor Erdöl knapp wird. Die erneuerbaren Energien verzeichnen einen eher unspektakulären Zuwachs bis 2025. Dies ändert sich ab 2025, weil die Erneuerbaren zunehmend gefragt sind zur Gewinnung von Wasserstoff durch Elektrolyse. Aus dem gleichen Grund erfährt auch die Nuklearenergie einen massiven Aufschwung. Als Transportinfrastruktur für den Wasserstoff dient zunächst das bestehende Erdgasnetz. Es beginnt jedoch ein langfristiger Prozess zum Aufbau einer weltweiten Wasserstoff-Infrastruktur. Mit dem Übergang zur „Wasserstoff-Gesellschaft“ einher geht eine zunehmende Dezentralisierung des Energiesystems.

### 5.5 CO<sub>2</sub>-Emissionen

In beiden Szenarien steigen die CO<sub>2</sub>-Emissionen zunächst weiterhin stark an, im „Spirit of the Coming Age“-Szenario stärker als im „Dynamics as Usual“-Szenario, welches den Fokus schon früh auf die Erneuerbaren setzt. Die Maxima liegen rund eine Mrd. Tonnen CO<sub>2</sub> auseinander und befinden sich bei beiden Szenarien etwa beim Jahre 2040. Mit der zunehmenden Sequestrierung von CO<sub>2</sub> im Szenario „Spirit of the Coming Age“ gelingt es, den Pfad des Szenarios „Dynamics as Usual“ sogar zu unterschreiten. Betrachtet man die Konzentration des CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre, so gelingt es beiden Szenarien, diese bis zum Ende des 21. Jahrhunderts unter 550 ppm zu halten und ab 2100 unter diesem Niveau zu stabilisieren.

### 5.6 Kommentar

Als privates Unternehmen nimmt sich Shell die Freiheit heraus, die Szenarien nicht auf statistische Analysen und grosse Datenmengen aus der Vergangenheit zu stützen, sondern mittels auch etwas gewagter Szenarien den Dialog über die zukünftige Energieversorgung anzuregen. Shell stützt sich dabei auf ein sehr prominentes Netzwerk, bestehend aus weltweit bekannten Institutionen. Den Rahmenbedingungen wird sehr viel Platz eingeräumt. Aus Sicht von Shell sind dabei die gesellschaftlichen Veränderungen, die Technologien und die Einschränkungen bei den Ressourcen matchentscheidend für den Weg, der schliesslich eingeschlagen wird. Zwei mögliche Wege werden mit den zwei Szenarien beschrieben. Beide Szenarien unterstreichen die Wichtigkeit von Erdgas als sofortige Lösung und Antwort auf den drohenden Klimawandel und schlechte Luftqualität. Beiden gemeinsam ist auch, dass Erdöl mit dem Einsatz neuer Technologien und neuer Treibstoffe bei den Fahrzeugen massiv an Bedeutung verlieren wird. Die erneuerbaren Energieträger könnten gemäss beiden Szenarien langfristig eine führende Rolle einnehmen, vorausgesetzt, das Energiespeicherproblem kann gelöst werden. Unterschiede zwischen den Szenarien bestehen in unterschiedlichen Präferenzen der Bevölkerung, dem unterschiedlichen Timing der treibenden Faktoren und im technologischen Fortschritt bzw. dem Durchbruch von Technologien. Die erste Halbzeit im Szenario „Dynamics as Usual“ gehört dem Erdgas. Die zweite Halbzeit gehört den Erneuerbaren. Im Szenario „Spirit of the Coming Age“ kommt die Technologie der Brennstoffzelle zum Durchbruch. Mit dem Übergang zum Wasserstoff kann zwar der Energiehunger der Weltbevölkerung befriedigt werden. Der Energiebedarf zur Gewinnung von Wasserstoff lässt jedoch den Primärenergieverbrauch gegenüber dem heutigen Niveau um das Zweifache ansteigen.

Beide Szenarien zeichnen ein relativ optimistisches Bild der Zukunft: ein nachhaltiges und wirtschaftliches Energiesystem mit minimalen Emissionen ist realisierbar. Dank technologischem Fortschritt ist es möglich, die Energiebedürfnisse abzudecken und dabei die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre unter 550 ppm zu stabilisieren. Wie dies angesichts der auch 2050 noch bedeutenden Anteile fossiler Energieträger möglich sein soll, ist etwas schleierhaft. Die Möglichkeit der Sequestrierung von CO<sub>2</sub> wird zwar angetönt, aber nicht weiter diskutiert. Der Glaube an die Technologie zieht sich damit wie ein rotes Band durch die Szenarien von Shell.

Tabelle 10: Rahmenentwicklung und Zusammenfassung der Shell-Szenarien

	2000	2025	2050	% p.a. 2000- 2025	% p.a. 2025- 2050	% p.a. 2000- 2050
<b>Bruttoinlandsprodukt (Mrd. USD-2000)</b>	49'000	108'000	196'000	3.2	2.4	2.8
<b>Weltbevölkerung (Mrd.)</b>	6	8	9	1.0	0.6	0.8
<b>„Dynamics as Usual“</b>						
Primärenergieverbrauch (PJ)	407'000	640'000	852'000	1.8	1.2	1.5
Erdöl	159'000	210'000	229'000	1.1	0.3	0.7
Kohle	93'000	128'000	118'000	1.3	-0.3	0.5
Kohle CH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub>	0	4'000	16'000	-	5.8	-
Erdgas	93'000	167'000	177'000	2.4	0.2	1.3
Kernenergie	29'000	35'000	32'000	0.8	-0.4	0.2
Wasserkraft	30'000	41'000	39'000	1.3	-0.3	0.5
Energie aus Biomasse	0	5'000	52'000	-	10.1	-
Andere Erneuerbare	4'000	50'000	191'000	11.2	5.5	8.0
<b>„Spirit of the Coming Age“</b>	2000	2025	2050	% p.a. 2000- 2025	% p.a. 2025- 2050	% p.a. 2000- 2050
Primärenergieverbrauch (PJ)	407'000	750'000	1'121'000	2.5	1.6	2.0
Erdöl	159'000	233'000	185'000	1.6	-0.9	0.3
Kohle	93'000	150'000	119'000	1.9	-0.9	0.5
Kohle CH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub>	0	6'000	97'000	-	11.6	-
Erdgas	93'000	220'000	300'000	3.5	1.3	2.4
Kernenergie	29'000	46'000	84'000	1.9	2.4	2.1
Wasserkraft	30'000	49'000	64'000	2.0	1.1	1.5
Energie aus Biomasse	0	7'000	108'000	-	11.8	-
Andere Erneuerbare	4'000	38'000	164'000	9.9	6.0	7.7

## **6 ExxonMobile**

Literatur: [8], [9], [10]

ExxonMobile erstellt zwei Berichte, die jährlich aktualisiert werden: einerseits den „Outlook for Energy“ ([www.exxonmobile.com](http://www.exxonmobile.com)) bzw. Energy Trends ([www.exxonmobile.de](http://www.exxonmobile.de)) und andererseits das Oeldorado, das vor allem die regionalen Reserven und Ressourcen von Erdöl und Ergas aufzeigt.

### **6.1 Rahmenentwicklung**

Exxon rechnet für die nächsten 30 Jahre weltweit mit einem beträchtlichen Wirtschaftswachstum, was verbunden mit dem Bevölkerungswachstum von sechs auf acht Milliarden Personen zu einer starken zusätzlichen Energienachfrage führen wird. 90% des Bevölkerungswachstums wird auf die Entwicklungsländer ausfallen.

Dank der weiteren Verbesserung der Energieintensität (durchschnittliche Reduktion von 1.5% pro Jahr in Industrieländern bzw. 1.8% in Entwicklungsländern zwischen 2000 und 2030) kann das Verbrauchswachstum etwas abgebremst werden und sollte weltweit rund 1.6% pro Jahr betragen.

### **6.2 Nachfrageentwicklung**

Im Verkehrssektor ist mit einer starken Zunahme der Personenwagen zu rechnen, insbesondere im Nicht-OECD-Asien. Auf der anderen Seite wird als Folge des technischen Fortschritts und des Wandels der Konsumgewohnheiten mit einer globalen Verbesserung der Wirtschaftlichkeit im Kraftstoffbereich von mehr als 25% gerechnet. Der Anteil von Biokraftstoffen, einschliesslich Ethanol und Biodiesel, wird sich auf 150 Mio. t im Jahr 2030 verdreifachen.

### **6.3 Angebotsentwicklung**

Öl und Gas werden weiterhin die wichtigsten Energieträger bleiben und im Jahre 2030 einen Anteil von rund 60% ausmachen. Da der Stromverbrauch mit 2.0% pro Jahr um rund 0.4 Prozentpunkte stärker steigen wird als der Energieverbrauch, führt dies zu einem überdurchschnittlichen Anstieg des Gas- und Kohleverbrauchs. Letzterer wird vor allem im nichtindustrialisierten Asien stark zunehmen. Bei den nichtfossilen Energieträgern sind die jährlichen Zuwachsraten sehr unterschiedlich: Bei Wind- und Solarenergie wird ein jährliches Wachstum von 11% erwartet, bei Wasserkraft 2% und bei Biomasse 1.3%.

Die Schätzungen zum weltweiten Investitionsbedarf im Energiebereich werden von der IEA (2005) übernommen.

Im Bericht werden in den Abschnitten 2 und 3 Schwerpunkte auf Treibhausgasemissionen und langfristige Technologie-Alternativen behandelt, auf die hier nicht eingegangen wird.

Tabelle 11: Exxon Szenario 2000 und 2030.

	2000	2030	% p.a. 2000-2030
<b>Bruttoinlandsprodukt (Mrd. USD-2000)</b>			
Nordamerika	11'100	24'200	2.6
Westeuropa	8'900	16'200	2.0
Industrialisiertes Asien	5'700	9'200	1.6
Reformländer	400	1'200	4.0
Entwicklungsländer	5'400	19'800	
Welt	31'500	70'600	2.7
<b>Weltbevölkerung (Mio.)</b>			0.9
<b>Primärenergieverbrauch nach Regionen (PJ)</b>			
Nordamerika	117'230	138'164	0.6
Westeuropa	75'362	96'296	0.8
Industrialisiertes Asien	33'494	46'055	0.9
Reformländer	37'681	54'428	1.3
Entwicklungsländer	150'725	347'504	
Welt	418'680	682'448	1.6
<b>Primärenergieverbrauch nach Energieträgern (PJ) [ungefähre Angaben]</b>			
Kohle	87'923	159'098	1.8
Erdöl	159'098	238'648	1.4
Erdgas	83'736	133'978	1.8
Kernenergie			1.4
Andere	75'362	133'978	1.7
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen (Gt)</b>			
Industrieländer	ca. 12.5	15.0	0.5
Entwicklungsländer	ca. 10.5	ca. 24.0	2.7
Welt			1.7

**Nationale Energieperspektiven**

## 7 Axpo: Stromperspektiven 2020

Literatur: [1], [2]

### 7.1 Ziele der Stromperspektiven

- Definieren der Anforderungen für die Gewährleistung der Versorgungssicherheit;
- Abschätzen des künftigen Strombedarfs;
- Prüfen von möglichen Optionen unter besonderer Berücksichtigung der neuen erneuerbaren Energie (nEE);
- Strategische Folgerungen aus Unternehmenssicht.

### 7.2 Nachfrageentwicklung

Es werden zwei Szenarien definiert:

- Szenario tief: Verbrauchsanstieg um 1% pro Jahr bis 2010, dann um 0.5% bis 2050;
- Szenario hoch: Verbrauchsanstieg um 2% pro Jahr bis 2010, 1.5% bis 2030, dann weiter um 1% bis 2050.

Tabelle 12: **Daten zur Stromlücke.**

	Szenario hoch	Szenario tief
Stromlücke Schweiz (Axpo) ab	2018 (2020)	2028 (2029)
Stromlücke im Jahr 2030 absolut (relativ)	30 TWh (33%)	10 TWh (15%)
Stromlücke Winterhalbjahr ab	2012	2019
Leistungslücke (mit 7% Reserve gemäss UCTE)	2013	2018

### 7.3 Angebotsentwicklung

#### 7.3.1 Potenzial neue erneuerbare Energien (nEE)

Tabelle 13: **Potential- und Kostenabschätzungen für nEE.**

Technologie	Potential TWh	Kostenuntergrenze Rp./kWh	Kostenobergrenze Rp./kWh
Kleinwasserkraft	6	10	90
Geothermie	18	10	26
Biogas	4	13	37
Feste Biomasse	2	13	68
Wind	4	6	32
Photovoltaik	5	55	> 100

Folgerungen:

- nEE können die Stromversorgungslücke bei weitem nicht schliessen;
- Kosten der nEE liegen bis zu 10-mal höher als heutige Produktionskosten;
- Mehrkosten für 5.4 TWh EE gemäss StromVG dürften unter Annahme des günstigsten Szenarios (Ausschreibemodell) mindestens 400-500 Mio. CHF betragen. Dazu kommen Kosten für Back-up-Produktionskapazitäten, Anpassung der Netzkapazitäten und zusätzliche Regelleistung.
- Schweiz braucht Bandenergie, welche bei nEE nur durch Geothermie geliefert werden kann.

#### 7.3.2 Potential Wasserkraft

Als realistisches Ausbaupotential werden höchstens 0.5 TWh oder 3% der heutigen Produktionserwartung angesehen. Durch die neuen Gesetze bezüglich Restwassermengen gehen ungefähr 0.8 TWh verloren. Die Grosswasserkraft hat ein erhebliches zusätzliches Leistungspotential im Bereich von 2000 – 2500 MW.

### 7.3.3 Konventionelle Technologien

Es werden verschiedene Szenarien für die Brennstoffkosten und CO<sub>2</sub>-Preise betrachtet:

- Brennstoffkosten:  
Gaspreise: 3 Szenarien mit bis 2020 unterschiedlichen aber konstanten Preisen, danach realer Anstieg um 1%, 1.5% bzw. 2% pro Jahr;  
Kohle- und Uranpreise: längerfristig keine grösseren Preisanstiege.
- CO<sub>2</sub>-Zertifikate-Preise, 3 Szenarien:  
tief: tiefe CO<sub>2</sub>-Kosten  
mittel: 20 EUR pro Tonne CO<sub>2</sub>  
hoch: 60 EUR pro Tonne CO<sub>2</sub> (basiert auf CO<sub>2</sub>-Sequestrierungskosten)

Tabelle 14: **Gestehungskosten in Rp./kWh konventioneller Technologien heute (ohne CO<sub>2</sub>-Kosten), 2020, 2035 und 2050 (bei hohen CO<sub>2</sub>- und Brennstoffkosten).**

Technologie	Heute				2020	2035	2050
	Kapital	Unterhalt, Betrieb	Brennstoff	Entsorgung	Total	Total	Total
KKW (1600 MW)	2.2	1.2	0.6	0.2	4.4	4.5	4.6
Gaskombi-KW (500 MW)	0.6	0.6	3.8	--	9.6	11.0	13.1
Steinkohle-KW (600 MW)	1.8	1.3	1.6	--	11.8	12.0	12.2
Braunkohle-KW (600 MW)	1.9	1.2	1.2	--	na	na	na

### 7.4 Strategische Folgerung aus Unternehmenssicht

Die Axpo setzt auf eine breite Diversifikation des in- und ausländischen Produktionsportfolios zur Minimierung der Risiken und will bis spätestens 2008 erste unternehmerische Planungsentscheide zur Gewährleistung der Bandenergieproduktion ab 2020 fällen. Dabei unterstützt sie die Förderung der nEE auf Basis des Ausschreibemodells sowie Bemühungen um verbesserte Energieeffizienz. Insgesamt will sie bis 2030 rund 5 Mrd. CHF investieren.

Tabelle 15: **Investitionspläne der Axpo.**

Bereich	Projekte	Betrag
Spitzenenergie	Aus- und Zubau Wasserkraft	2 Mrd. CHF bis 2015, davon 1 Mrd. CHF für den Ausbau des Pumpspeicherkraftwerks Linth-Limmern (Ausbau 800 MW)
Bandenergie	Flusskraftwerke: Erneuerung und Optimierung	
	Stromimporte aus eigenen oder fremden Gas-, Kohle- oder Kernkraftwerken	
	Mittelfristig: Inländische Gaskombikraftwerke	Bau- und Bewilligungsverfahren: 7-9 Jahre
	Langfristig: Inländisches Kernkraftwerk	Bau- und Bewilligungsverfahren: 20 Jahre
nEE	Kleinwasserkraft, Biogas, Biomasse, Geothermie und Windkraft in Europa	Bis 2010 mindestens 100 Mio. CHF.
Netze	Ausbau der Netze und Optimierung der Netzdienstleistungen	1 Mrd. CHF bis 2020

## **8 CVP Schweiz: Energiepapier der CVP Schweiz**

Literatur: [5]

### **8.1 Einleitung**

Das Energiepapier der CVP wurde von der Arbeitsgruppe Energie unter der Leitung von Ständerat Simon Epiney 2004 erstellt. Gemäss telefonischer Auskunft vom 23.10.2006 von Herrn Siegrist, Generalsekretariat der CVP, gibt es vorläufig kein Update zu diesem Papier. Das Energiepapier ist keine Perspektive im eigentlichen Sinne, sondern ein Positions- und Forderungspapier der CVP Schweiz zur Energieversorgung der Zukunft. Ein besonderes Gewicht wird dabei auf mögliche Massnahmen gesetzt.

### **8.2 Der Elektrizitätsmarkt**

Die zunehmende Verflechtung mit dem Ausland erfordert eine bessere Koordination. Unterstützt wird eine privatrechtliche Netzgesellschaft in der Schweiz. Im Inland wird eine zweistufige Strommarktöffnung angestrebt: zunächst sollen die Firmen frei über ihren Stromlieferanten entscheiden können, anschliessend die privaten Haushalte.

### **8.3 Einheimische Energie und Energiesparen**

Potenzial zum Energiesparen sieht die CVP vor allem im Gebäudebereich. Sie rechnet vor, dass bei vollständiger Anwendung des Minergie-Standards bei Sanierungen rund zwei Mia. Franken an Heizkosten gespart werden könnten. Aktionsprogramme wie EnergieSchweiz werden für die Umsetzung von Effizienzmassnahmen als wertvoll erachtet.

Beim Stromangebot ist weiterhin auf die einheimische und umweltfreundliche Wasserkraft zu setzen. Aus- und Umbaupotenziale sind auszuschöpfen, Neubaupotenziale werden eher im Bereich der Kleinwasserkraft gesehen. Alternative, erneuerbare Energieträger sind entsprechend ihrer Wirtschaftlichkeit mittels kostendeckender Einspeisevergütung zu fördern.

Der Zeitpunkt für eine Lancierung der Frage, ob die Schweiz weiterhin auf Kernenergie setzen will, scheint aus Sicht der CVP noch verfrüht. Die CVP erkennt zwar, dass sich ab 2015 eine Angebotslücke öffnet, wie sie gefüllt werden soll, wird jedoch offen gelassen. Der Bundesrat soll zunächst die Grundlagen dazu erarbeiten.

### **8.4 CO<sub>2</sub>-Problematik**

Die CO<sub>2</sub>-Ziele der Schweiz sind, wenn immer möglich, auf der Basis der Freiwilligkeit zu erreichen. Längerfristig ist jedoch eine Abgabe auf allen Energieträgern zu prüfen. Da der Markt früher oder später endliche Ressourcen verteuern wird, lohnt es sich für die Schweiz, sich rechtzeitig vorzubereiten.

## **9 FDP Schweiz: Positionspapier**

Literatur: [11]

### **9.1 Einleitung**

Das Positionspapier der FDP stellt keine eigentlichen Energieperspektiven dar, sondern ist eine Stellungnahme der Partei zu den Herausforderungen der Energiepolitik. Kern des Papiers bildet die Anwendung der liberalen Grundsätze auf die Energiepolitik. Dazu gehören das Verursacherprinzip, das Kooperations- und Subsidiaritätsprinzip sowie das Bekenntnis zu einer wettbewerbsorientierten Energiepolitik. Das Positionspapier ist am 14. Oktober 2006 durch die Delegiertenversammlung der FDP Schweiz angenommen worden.

### **9.2 Versorgungssicherheit mit Strom**

Der Aufbau inländischer Kapazitäten ist zentral, da die Versorgungssicherheit ein Grundelement des Wohlstands in der Schweiz ist. Bei den Optionen möchte sich die FDP grösstmöglichen Spielraum offen halten. Schwergewichtig sind aber die Kernenergie, die Wasserkraft und die neuen Erneuerbaren weiter auszubauen. Angesichts der langen Planungs-, Bewilligungs- und Bauphase wird die Elektrizitätswirtschaft aufgefordert, die Projektierung eines neuen Kernkraftwerkes unverzüglich einzuleiten. Fossil-thermischen Anlagen wird aus Klimaschutzgründen eine klare Absage erteilt. Ebenfalls von Bedeutung sind die Erneuerung und der Ausbau der Transport- und Verteilnetze. Dazu sind die raumplanerischen Voraussetzungen zu schaffen.

### **9.3 Mehr neue erneuerbare Energien**

Die FDP strebt aus Diversifikations- und Nachhaltigkeitsgründen, aber auch aus Sicht des Wirtschafts- und Forschungsplatzes Schweiz einen Ausbau der neuen Erneuerbaren an. Ihr Anteil an der Gesamtstromproduktion soll auf 7% bis 2020 und auf 10% bis 2030 erhöht werden. Die finanzielle Unterstützung soll nach Kriterien der Kosten-/Nutzeffizienz sowie der Wettbewerbsfähigkeit erfolgen. So werden beispielsweise degressive Beiträge vorgeschlagen.

Die Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der neuen Erneuerbaren sollen zu Kernkompetenzen der Schweiz heranwachsen. Sie sind ohne ideologische Scheuklappen zu betreiben. Verlorene Kompetenzen sollen in die Schweiz zurückgeholt werden.

### **9.4 Energieeffizienz**

Die Ziele der CO<sub>2</sub>-Reduktion sollen nicht nur aufgrund des Verzichts auf fossil-thermische Stromproduktion erreicht werden, sondern auch durch eine Erhöhung der Energieeffizienz, schwergewichtig in den Bereichen Mobilität, Prozess- und Raumwärme. Die FDP schlägt bei der entsprechenden Umsetzung zwei Wege vor: Erstens soll durch Ausbildung und Information die entsprechende Sensibilisierung stattfinden. Zweitens ist der Verkauf ineffizienter Geräte und Fahrzeuge zu erschweren ohne dabei die WTO-Regeln zu verletzen. Explizit erwähnt werden die Deklaration der Verbrauchskennzahlen von Fahrzeugen und Geräten und steueraufkommensneutrale Lenkungsabgaben.

## **10 Grüne Partei der Schweiz: Grüne Energieperspektiven 2050; Energieversorgung zu 100% aus erneuerbarer Energie**

Literatur: [12]

### **10.1 Forderungen der Grünen**

- Hauptforderung: Atomausstieg innerhalb von 10 Jahren;
- Energieversorgung ohne CO<sub>2</sub>;
- Erneuerbare Energie und Energieeffizienz;
- Langfristige Vollversorgung der Schweiz mit EE bis spätestens 2050. Im Vordergrund stehen die neuen EE;
- Bis 2050 muss der Energieverbrauch in der Schweiz um 2/3 reduziert werden.

### **10.2 Angebotsentwicklung**

Die Grüne Partei sieht bei den erneuerbaren Energien sehr grosse technische Potenziale:

- Biomasse hat das Potenzial, zehn Prozent des heutigen Primärenergiebedarfs der Schweiz zu decken;
- Die grosse Zukunft der Windenergie liegt in Offshore-Anlagen in der Nordsee. Ein Teilimport könnte ein Element einer diversifizierten Energieversorgung sein;
- Dank Sonnenenergie könnte mit Dachflächen der gesamte Wärmebedarf der Schweiz gedeckt werden;
- Bestehende Grosswasserkraftwerke sind zu sanieren; die Pumpspeicherung ist nicht weiter auszubauen;
- Das Potenzial der Kleinwasserkraft wird zuwenig genutzt (Bsp.: Trinkwasserkraftwerke und Abwasser);
- Die Geothermie hat ein enormes Potenzial und ist aus ökonomischer Sicht konkurrenzfähig;
- Solarer Wasserstoff bietet bis in 15 Jahren eine Alternative zum fossilen Zeitalter;
- Mit solarem Wasserstoff und Brennstoffzellen-Technologie kann die dezentrale Energieversorgung langfristig realisiert werden.

### **10.3 Umsetzung der Forderungen**

Um die Forderungen umsetzen zu können, müssen folgende Schritte vollzogen werden:

#### **10.3.1. Langfristige Energiestrategie**

Kernelement einer Schweizer Energiestrategie mit einem Zeithorizont von mindestens 50 Jahren muss ein Klima-Rahmenschutzgesetz mit einem CO<sub>2</sub>-Reduktionsziel bis 2050 sein. Bis 2030 ist an einer Reduktion des CO<sub>2</sub> gegenüber 1990 um 75% festzuhalten. Bis 2050 sollten die fossilen Energieträger vollständig durch erneuerbare Energien ersetzt werden. Im Strombereich muss der Ersatz der fünf Kernkraftwerke skizziert werden.

#### **10.3.2. Energiepreise erhöhen – ökologische Steuerreform**

Es ist eine staatsquotenneutrale Abgabe auf nichterneuerbaren Rohstoffen einzuführen. Die Steuerreform umfasst folgende Schritte:

- CO<sub>2</sub>-Abgabe und Einführung Lenkungsabgabe auf Strom;
- Forschungsgelder von der Nuklearforschung zur Solar- und Wasserstoffforschung verschieben;
- Anpassung des Versicherungswertes im Falle eines Reaktorunfalls;
- Erhöhung Mineralölsteuer;
- Anpassung des Mineralölsteuergesetzes (keine Befreiung der internationalen Luftfahrt, Land- und Forstwirtschaft; steuerliche Bevorzugung von einheimischen Biotreibstoffen);
- Differenzierung der Autoimportsteuer auf Grund der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen.

### **10.3.3. Förderprogramme verstärken**

Das Jahresbudget von EnergieSchweiz muss auf mindestens 100 Mio. CHF pro Jahr erhöht werden und es müssen zusätzliche Förderprogramme für erneuerbare Energien initiiert werden.

### **10.3.4. Energieeffizienz vorantreiben**

Ein zentrales Element auf dem Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft ist die effizientere Nutzung von Strom und fossilen Energien. Das beinhaltet insbesondere folgende Punkte:

- Effizienzmassnahmen bei elektrischen Geräten und Kraftfahrzeugen;
- Konsequente Verlagerung des Güterfernverkehrs von der Strasse auf die Schiene;
- Energiestandards im Gebäudebereich (Minergie-P-Standard);
- Warmwasseraufbereitung durch Sonnenkollektoren als obligatorischer Bestandteil der Bauvorschriften.

### **10.3.5. Strommarkt nachhaltig ausgestalten**

Ein Gesetz zur Stromversorgung der Schweiz muss folgende Elemente enthalten:

- Sofortige Einführung einer kostendeckenden Einspeisevergütung für erneuerbare Energien;
- Substanzielle und verbindliche Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz;
- Vollständige Marktöffnung für alle Teilnehmenden;
- Unbundling, staatliche Netzgesellschaft und staatlicher Regulator;
- Keine Entschädigung für nichtamortisierbare Investitionen.

### **10.3.6. Klarheit für Konsumierende schaffen**

Umweltbewusste Entscheide sind durch strenge Labels und transparente Deklarationen für Energieverbrauch und –produktion zu fördern.

Der Emissionshandel stellt keine Lösung dar und darf nicht mehr als zehn Prozent der gesamten Reduktionsmassnahmen überschreiten.

## 11 Kanton Bern: Energiestrategie 2006

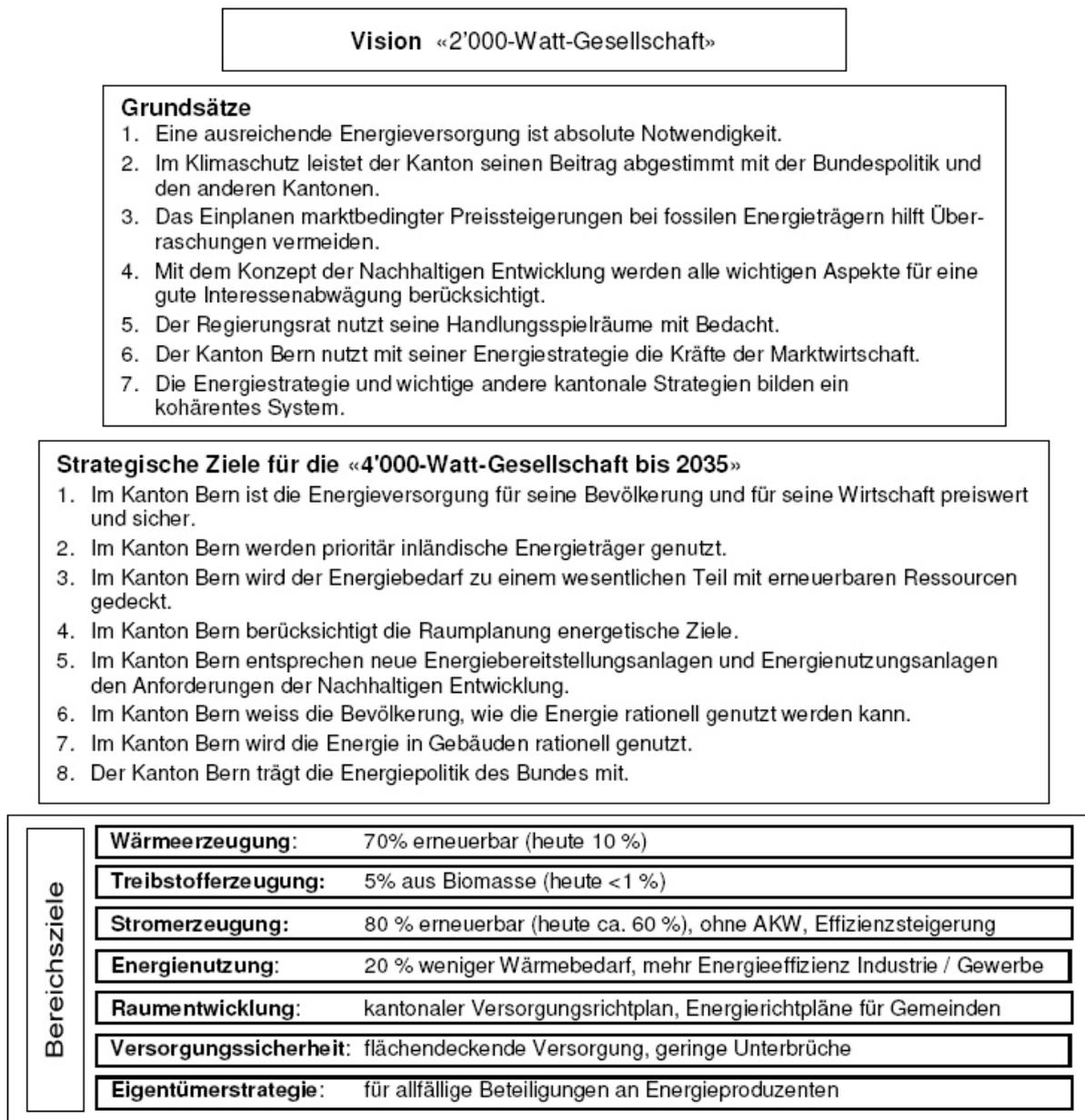
Literatur: [15]

### 11.1 Ziele der Energiestrategie 2006

Die Energiestrategie zeigt die langfristige Ausrichtung der Energiepolitik im Kanton Bern. Auf dem Weg zur Verwirklichung der 2000-Watt-Gesellschaft strebt der seit April 2006 neu gebildete Regierungsrat des Kantons Bern bis ins Jahr 2035 eine 4000-Watt-Gesellschaft an, wobei er sich von sieben Grundsätzen leiten lassen will.

Ausgehend von der Vision und den Grundsätzen werden acht strategische Ziele definiert. Sie zeigen, was bis im Jahr 2035 erreicht werden soll. Damit die Ziele erreicht werden können, werden unter Berücksichtigung der heutigen Situation sieben Bereichsstrategien definiert.

Figur 7: Aufbau der Energiestrategie des Kantons Bern.



Quelle: [15].

## 11.2 Umsetzung der Energiestrategie

Die Strategie umfasst einen Zeitraum von rund 30 Jahren. Die 4000-Watt-Gesellschaft soll im Jahr 2035 verwirklicht sein. Der Regierungsrat sieht eine stufenweise Planung und Umsetzung der notwendigen Massnahmen vor. Die einzelnen Etappen richten sich nach den Zyklen der Legislaturplanungen. Der durch den Regierungsrat genehmigte 4-Jahres-Massnahmeplan bildet die Grundlage für die Legislaturplanung der einzelnen Direktionen zu Massnahmen im Bereich Energie. Die konkrete Umsetzung wird jährlich mit den Leistungsvereinbarungen sichergestellt.

Es werden Beispiele für Massnahmen im Bereich Wärmeerzeugung, Treibstoffe, Stromerzeugung, Energienutzung, Raumentwicklung, Versorgungssicherheit und Eigentümerstrategie angegeben.

Im Bereich der Stromerzeugung:

- Verstärkte Nutzung von Wasserkraftwerken;
- Standortevaluationen für 2-3 Biomasse-Heizkraftwerke (Holz) im Bereich von 100-200 MW elektrischer Leistung.

Im Bereich der Versorgungssicherheit:

- Unterstützen einer effizienten Waldbewirtschaftung zur Nutzung von Energieholz;
- Vereinbarungen über Netzvermaschung bei leitungsgebundenen Energieträgern.

## 12 Kanton Zürich: Vision Energie 2050

Literatur: [3], [4]

### 12.1 Ziele Vision Energie 2050

Die Vision 2050 des Kantons Zürich hat folgende Ziele:

- Verhinderung einer Klimaveränderung. Im Jahre 2050 soll nur noch eine Tonne CO<sub>2</sub> pro Person und Jahr durch das Verbrennen fossiler Energien erzeugt werden. Nicht fossile Energien wie erneuerbare Energien oder Kernenergie erzeugen beim Verbrauch keinen CO<sub>2</sub>-Ausstoss und können im Sinne der Vision 2050 frei verwendet werden.
- Die 2000-Watt-Gesellschaft sieht eine kontinuierliche Absenkung des Energiebedarfs auf 17.5 MWh pro Person und Jahr vor. Die Summe aller verwendeten Energien darf diese Mengenbeschränkung nicht überschreiten.

### 12.2 Modellaspekte

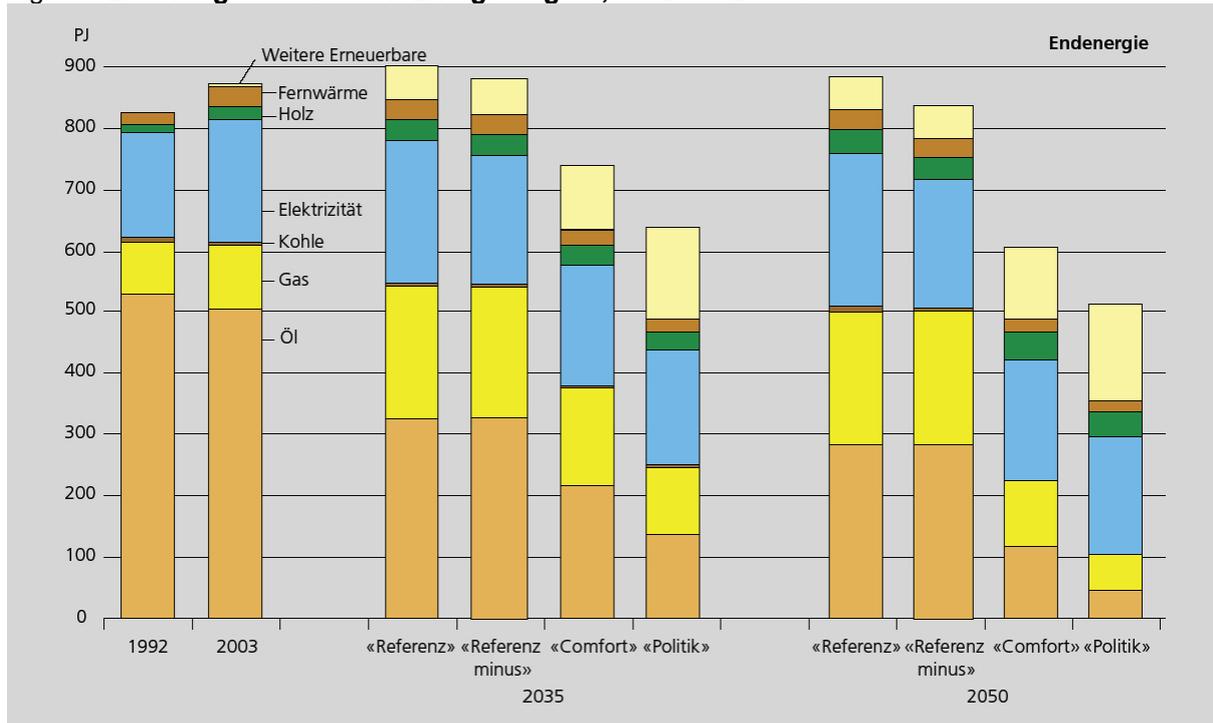
Es werden vier Szenarien betrachtet:

- Szenario „Referenz“: Berücksichtigung heute geltender beziehungsweise zu erwartender energiepolitischer Massnahmen. Eine moderate Energiepreissteigerung ist ebenso unterstellt wie eine Abgabe auf fossilen Energien.
- Szenario „Referenz minus“: Im Vergleich zum Szenario Referenz geht dieses Szenario nur von einer Verdoppelung (und nicht Verfünffachung) der Gerätezahl im Büro und in der Kommunikation aus.
- Szenario „Comfort“: Es werden die konsequente Ausschöpfung der Effizienzpotenziale mit den besten, heute verfügbaren Technologien vorausgesetzt. Im weiteren wird eine weitere technische und ökonomische Verbesserung der Technologien berücksichtigt.
- Szenario „Politik“: strikte Beschränkung des CO<sub>2</sub>-Ausstosses auf eine Tonne pro Kopf der Bevölkerung. Nebst Effizienzsteigerungen ist zusätzlich ein neues Verständnis für Energiedienstleistungen und damit eine Beschränkung der relevanten Mengen notwendig. Dies gilt insbesondere für den Verkehr.

### 12.3 Nachfrageentwicklung

Im Szenario „Referenz“ wächst der Verbrauch bis 2035 weiter, wenn auch nur geringfügig, danach sinkt der Wert bis 2050 auf 96% des Verbrauchs von 2003. Um 33% verringert sich der Verbrauch im Szenario „Comfort“, um 43% im Szenario „Politik“.

Figur 8: Endenergiebedarf nach Energieträgern, 1992 bis 2050 in PJ.



Quelle: [4].

## 12.4 Angebotsentwicklung

Für die Wasserkraftwerke wird eine moderate Produktionssteigerung bis ins Jahr 2035 von 7% erwartet, danach keine Veränderungen. Die thermische Nutzung von fossilen Energien zur Stromerzeugung bleibt auf dem Stand von 2003; ein längerfristig verstärkter Einsatz ist ohnehin mit dem Ziel der Vision 2050 nicht vereinbar.

Tabelle 16: Heutige und künftige Elektrizitätsproduktion im Inland, ohne neue Kernkraftwerke und ohne neue fossile Grosskraftwerke in PJ.

PJ	2003	2035	2050
Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und aus Abwärme			
Wasserkraft	131,2	140,9	140,9
Verbrauch Speicherpumpen	-10,4	-10,4	-10,4
nicht biogene Abfälle in Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA) und andere	2,85	4,12	4,12
biogene Abfälle (KVA und andere)	2,85	4,12	4,12
Biomasse (Holz, Biogas in der Landwirtschaft)	0,12	0,57	1,13
Energie aus Abwasserreinigungsanlagen (ARA)	0,40	0,9	1,0
Geothermie (Deep Heat Mining)	0,0	4,19	8,39
Photovoltaik	0,06	0,39	1,36
Wind	0,02	0,18	0,63
Heute bestehende Kernkraftwerke und fossil betriebene Anlagen			
bestehende thermische Kraftwerke (inkl. Öl- und Gas-Wärmeerkraftkopplungsanlagen) ohne KVA	4,2	4,2	4,2
bestehende Kernkraftwerke	93,4	61,6	0,0
<b>Total Elektrizitätsproduktion</b>	<b>225</b>	<b>211</b>	<b>155</b>

Quelle: [4].

## **13 Sozialdemokratische Partei der Schweiz (SP): Sicher und effizient umsteigen: Unterwegs zur Vollversorgung mit erneuerbaren Energien**

Literatur: [16]

### **13.1 Ziel der Perspektivstudie**

Die Perspektivstudie zeigt die konkrete Umstellung der Stromversorgung auf erneuerbare Energien (EE) und den effizienten Umgang mit Energie auf.

Die „schweizerische Stromproduktion“ wird definiert als Menge aller Kraftwerke, die sich in der Schweiz oder im Ausland befinden und in der Verfügbarkeit von schweizerischen Entscheidungsträgern stehen, die einen Versorgungsauftrag wahrnehmen.

### **13.2 Nachfrageentwicklung**

Bei verstärkter Durchsetzung von höherer Energieeffizienz ist mit einer Abnahme des Stromverbrauchs um 0.7% pro Jahr zu rechnen. Umgekehrt steigt der Stromverbrauch durch die Verbreitung von Wärmepumpen.

Anhaltend steigende Stromverbräuche (+2% pro Jahr) können technisch gesehen mit erneuerbaren Energien gedeckt werden, wenn die Rahmenbedingungen stimmen (kostendeckende Vergütung für EE, Verbesserung des kontinentalen Netzes, Durchsetzung von Marktanteil-Zielen für EE).

### **13.3 Umsetzung**

Strategisch betrachtet steht an erster Stelle die Energieeffizienz, denn jede Verbrauchsreduktion senkt den zukünftigen Produktionsbedarf. EE sind zweite Wahl.

#### **13.2.1 Energieeffizienz**

Um eine Effizienzstrategie durchzusetzen, braucht es eine Deblockierung der Politik, die Einführung von wirtschaftlichen Anreizen, branchenspezifische Programme und faire Abnahmeregulungen für effizient erzeugten Strom (Beispiel: Wärme-Kraft-Kopplung). Folgende Elemente tragen zur Einsparung von Energie bei:

- Bestgeräte-Strategie: Bis 2020 wären durch die Bestgeräte-Strategie rund 6.1 TWh an Strom einzusparen.
- Bei den Elektroheizungen wird angenommen, dass die im Bestgeräte-Szenario verbleibenden Elektroheizungen und Boiler bis 2020 vollständig durch Wärmepumpen ersetzt werden.
- Energieeffizienter Gebäudepark: Der Marktanteil von Passivhäusern an Neubauten könnte sich mit spezifischen Förderprogrammen des Bundes bis 2020 auf mindestens 50% erhöhen. Verbrauchsreduktionen von 90% und mehr sind möglich.
- Stromerzeugung aus CO<sub>2</sub>-neutraler WKK: Durch eine WKK-Strategie werden bis 2020 zusätzlich 8 TWh Strom aus WKK produziert. Die Stromerzeugung kann CO<sub>2</sub>-neutral ausfallen, wenn dafür der Zukauf aus europäischen Kohlekraftwerken vermindert wird oder wenn mindestens ein Drittel der Stromerzeugung für Wärmepumpen eingesetzt wird, die wiederum Ölheizungen ersetzen.

#### **13.2.2 Erneuerbare Energien**

Bis zum Jahr 2020 können Stromerzeugung aus Kehrlicht, Biogas, WKK, Wasserkraft, Windenergie, insbesondere aus Windimporten aus dem Ausland, Effizienzgewinne aus einer Bestgeräte-Strategie und der Ersatz von Elektro-Widerstandsheizungen grosse Beiträge liefern. Zwischen 2020 und 2040 werden Geothermie und Photovoltaik noch stärker zulegen als bisher. Somit findet eine wesentliche Diversifikation der Stromerzeugung statt.

- Wasserkraft bleibt das Rückgrat der schweizerischen Stromversorgung und kann durch Modernisierungen und Inbetriebnahme neuer Wasserkraftwerke gesteigert werden (Erzeugung im Jahre 2020: 37 TWh.). Die Restwassermengen sind aber zu erhöhen. Schweizer Speicher-

kraftwerke können die Netzintegration der Windenergie erleichtern. Pumpspeicherung ist aber nicht per se ökologisch verträglich.

- Beim Windstrom wird in der Schweiz mit einem massvollen Ausbau vor allem nach 2020 gerechnet (Zahl der Anlagen 2020: 138, 2030: 362). Die Versorgung der Schweiz mit Windenergie aus dem europäischen Ausland soll bis 2020 rund 20% an der Gesamtstromproduktion ausmachen.
- Die Solartechnik wird vorerst im Wärmebereich substantielle Beiträge liefern. Im Jahre 2020 wird die Photovoltaik 0.5% des Stromverbrauchs liefern, in den folgenden 10 Jahren könnte sich ihr Beitrag verzehnfachen.
- Bei Geothermie werden eine kostendeckende Vergütung und Risikogarantien für Bohrungen unterstellt.

Tabelle 17: **Erwartetes Ausbaupotenzial von Elektrizität aus erneuerbaren Energien bis 2020.**

<b>Technologie</b>	<b>MW</b>	<b>TWh</b>
Wasserkraft		1.0
Kehricht		2.0
Biomasse		5.5
Wind Inland	355	0.6
Wind Ausland	4336	13.1
Photovoltaik		0.3
Geothermie (2030)	154 (2100)	1.1 (15.1)

### 13.2.3 Rolle der Kernenergie

Die Forderung nach einem Verzicht auf neue Kernkraftwerke ergibt sich aus technischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Gründen.

## **14 Schweizerische Volkspartei: Schweizer Strom aus Eigenproduktion (Positionspapier Juli 2006)**

Literatur: [18]

### **14.1 Forderungen der Schweizerischen Volkspartei**

- 1) Keine künstliche Verteuerung des Stromes: jegliche Lenkungsabgaben werden abgelehnt;
- 2) Unabhängigkeit vom Ausland im Strombereich: Die Schweiz ist auf eine gut funktionierende Stromversorgung angewiesen. Stromimporte aus dem Ausland können diese Funktion künftig nicht erfüllen;
- 3) Umweltfreundliche Stromproduktion: es wird eine möglichst CO<sub>2</sub>-freie Stromproduktion begrüsst, deshalb wird der Ausbau der Wasser- und Kernkraft propagiert.

### **14.2 Erläuterungen zu den einzelnen Forderungen:**

- 1) Es kann nicht Ziel einer Gesellschaft sein, Energien zu fördern, welche auf dem Markt nicht bestehen können und bei denen es ungeklärt ist, ob sie die fossilen Energieträger und die Kernkraft überhaupt ersetzen können. Das Ziel des CO<sub>2</sub>-Gesetzes ist nicht die Vereinbarungen des Kyoto-Protokolls zu erreichen, sondern die Energiepolitik der Schweiz durch Abgaben zu steuern, so dass andere Energieformen attraktiver werden. Zur Erreichung der Reduktionsziele ist auf Massnahmen auf freiwilliger Basis zu setzen.
- 2) Der Energieverbrauch nimmt nicht nur in der Schweiz, sondern weltweit rasant zu. Neben der drohenden Versorgungslücke in der Schweiz ergeben sich auch noch andere wichtige Probleme: die unsichere politische Weltlage (Konflikte im arabischen Raum, Energielieferant Russland, der seine Öl- und Gasreserven als Druckmittel benutzt) und der Energiehunger der aufstrebenden Industrienationen China, Indien und weiterer Länder Asiens.
- 3) Zu den einzelnen Stromproduktionsarten:
  - Wasserkraft: es ist dafür zu sorgen, dass der bestehende Anteil der Wasserkraft am Strommix gehalten oder besser noch ausgebaut wird. Die Erhöhung von Staumauern und effizientere Turbinen können einen wichtigen Beitrag leisten.
  - Kernkraft: es wird ein rascher Grundsatzentscheid zugunsten der Kernenergie gefordert, ein sofortiger Beginn der Planung des Ersatzes der Kernkraftwerke und eine rasche Lösung der Entsorgungsfrage.
  - Gaskraftwerke sind für die Stromerzeugung keine ideale Lösung, denn obschon sie die Anforderungen an eine günstige Versorgung mehrheitlich erfüllen, ist die Produktion nicht CO<sub>2</sub>-neutral. Vielmehr sollte die Verwendung von Erdgas im Brenn- und Treibstoffbereich liegen.
  - Erneuerbare Energie allgemein: sie haben sich ohne staatliche Fördermittel am Markt zu behaupten. Dazu sind die nötigen Rahmenbedingungen zu schaffen, um der Wirtschaft und dem Gewerbe Investitionen in Energieträger wie Holz und Biomasse zu erleichtern.
  - Biomasse hat das Potenzial, einen Beitrag zur einheimischen Stromerzeugung zu leisten. Holz ist dabei die mit Abstand wichtigste Biomasse-Ressource der Schweiz. Deshalb sind die Bewilligungsverfahren für Biomasse-Anlagen so einfach wie möglich zu gestalten.
  - Geothermie: Die Nutzung ist als ergänzender Beitrag zu einer unabhängigen Versorgung zu begrüssen, insbesondere wegen des Vorteils der ständigen Verfügbarkeit.
  - Wind- und Sonnenenergie im Sinne einer Diversifizierung der Stromversorgung sind zu begrüssen. Windenergie in grossen Mengen von Werken aus der Nordsee zu importieren, ist nicht realistisch, denn neben den unverantwortlichen Verlusten beim Transport ist es aus Gründen der Netzkapazität äusserst schwierig, grössere Strommengen zu importieren.

## **15 Umweltorganisationen (Greenpeace Schweiz, Schweizerische Energiestiftung, Verkehrs-Club der Schweiz und WWF Schweiz): Energieperspektive 2050**

Literatur: [19]

### **15.1 Ziele der Energieperspektive 2050**

Es wird eine Zielperspektive erstellt, die sich an der 2000-Watt-Gesellschaft (auf Stufe Primärenergie) orientiert.

Dabei werden technische und politische Zielsetzungen zugrunde gelegt:

- Energienachfrage mindern (Effizienzstrategie);
- Energiebedarfsdeckung möglichst aus erneuerbaren Energien;
- Qualitätsgerechter Einsatz der Energieform, das heisst Minimierung des Einsatzes hochwertiger Energieformen zur Deckung niederwertiger Energiebedürfnisse;
- Deckung des Strombedarfs aus inländischen Primärenergiequellen, um die Auslandabhängigkeit zu verringern.

### **15.2 Umsetzung**

Die Zielperspektive bildet eine gewünschte Entwicklung ab. Damit diese eintritt, müssen stringente politische Rahmenbedingungen geschaffen werden, welche die reale Entwicklung auf den Zielpfad lenken. Es wird davon ausgegangen, dass die Gesellschaft das Ziel der 2000-Watt-Gesellschaft wirklich erreichen will, und zwar auf einem wirtschaftlich möglichst effizienten Pfad.

#### **15.2.1 Annahmen**

- Technisch: Es wird das Inländerkonzept berücksichtigt. Das heisst, dass es keine Rolle spielt, wo der Energieverbrauch stattfindet, sondern es zählt einzig der Umstand, dass er durch Konsum und Investitionsentscheide der schweizerischen Bevölkerung direkt oder indirekt ausgelöst wird.
- Modelltechnisch: Es handelt sich um ein statisches Modell, das heisst es wird vom heutigen Konsumniveau und den heutigen Konsummustern ausgegangen. Einzig die Technologie zur Energienutzung und Energiebereitstellung variiert.

#### **15.2.2 Berücksichtigte Massnahmen und Politikinstrumente**

- Gesellschaftlich: Ab 2012 wird bei jeder ordentlichen Ersatzinvestition eines energieverbrauchenden Gerätes, Fahrzeugs oder Gebäudes eine Technologie eingesetzt, die der heutigen „Best-Available-Technology“ (BAT) entspricht;
- Politisch:
  - Einführung einer Lenkungsabgabe im Bereich der Brenn- und Treibstoffe;
  - Technische Vorschriften betreffend Wirkungsgrade und Stand-by-Verbräuche;
  - Zielorientierte, das heisst, je nach Zielerreichung veränderte, Einspeisevergütung für Strom aus erneuerbaren, inländischen Quellen nach kostenoptimierten Grundsätzen. Die relativ billigen erneuerbaren Primärenergiequellen werden somit zuerst ausgeschöpft;
  - Forschungsförderung durch zweckmässige Rahmenbedingungen.

### **15.3 Ergebnisse**

- Durch die BAT lassen sich gegenüber heute im Geräte- und Beleuchtungssektor bis 2020 rund 6 TWh, beim Ersetzen von Elektroheizungen durch Wärmepumpen 7.7 TWh und durch den Minergie-P-Standard 67% gegenüber einem Standardhaus des Energieverbrauchs einsparen.
- Unter den obigen Annahmen und den berücksichtigten Massnahmen werden die Ideen der 2000-Watt-Gesellschaft bis 2050 allerdings verfehlt. Der Energiebedarf kann von heute 6000 Watt auf 3500 Watt reduziert werden. Der Anteil der nicht-erneuerbaren Energie beträgt mit

2000 Watt immer noch viermal mehr als gewünscht. Erforderlich sind somit stärkere Eingriffe, insbesondere im Bereich der Mobilität (zum Beispiel Car-Pooling).

- Sollte sich bei der Stromproduktion die Geothermie bis 2035 in der Schweiz nicht in erwarteter Masse erschliessen lassen, müsste beim Strom auf ausländische Gewinnungsanlagen – zum Beispiel Windimporte – zurückgegriffen werden. Im Jahr 2050 lässt sich der Strombedarf dann zu 98% aus einheimischer und erneuerbarer Primärenergie decken.
- Bei Gesamtausgaben für Energie von 24.5 Mrd. CHF (Stand 2004) ergibt sich mit der BAT ein erschliessbares Sparpotenzial von rund 10 Mrd. CHF pro Jahr.

## 16 Verband Schweizer Elektrizitätsunternehmen (VSE): Vorschau 2006 auf die Elektrizitätsversorgung der Schweiz im Zeitraum bis 2035/2050

Literatur: [20]

### 16.1 Ziele der Vorschau 2006

- Interpretation des Begriffs der Versorgungssicherheit im europäischen Marktumfeld;
- Varianten der Beschaffung oder Erzeugung von Elektrizität aufzeigen;
- Massnahmen für die langfristige Versorgungssicherheit vorschlagen.

### 16.2 Nachfrageentwicklung

Es werden zwei Verbrauchsprognosen über die, gemäss VSE, mit hoher Wahrscheinlichkeit eintretende Stromverbrauchsentwicklung betrachtet:

- Landesverbrauch tief: Verbrauchsanstieg um 1% pro Jahr bis 2010, dann um 0.5% bis 2030 und 0% bis 2050.
- Landesverbrauch hoch: Verbrauchsanstieg um 2% bis 2010, 1% bis 2030, dann weiter 0.5% bis 2050.

Tabelle 18: **Daten zur Stromlücke.**

Zur inländischen Produktion werden die Bezugsrechte bei der EDF dazugezählt.

	Szenario hoch	Szenario tief
Stromlücke Schweiz ab	2019/20	2029/30
Stromlücke im Jahr 2030 in TWh	9	5
Stromlücke Winterhalbjahr ab	2020/21	2027/28
Leistungslücke im Engpassfall (mit Sockelangebot)	2006 (2006)	2006 (2038/39)

### 16.3 Angebotsentwicklung

Es wird zwischen einem „Sockelangebot“ und einem „Rest“ unterschieden, wobei ersteres auch Neu- und Ausbauten im Bereich der erneuerbaren Energien und die bisher geplanten Kombianlagen umfasst.

Bei den erneuerbaren Energien werden zwei Nutzungsarten unterschieden: erneuerbare Technologien mit Möglichkeiten zu band- oder bandähnlicher Produktion (Wasserkraft, Biogas- und Holzverstromung, Geothermie) sowie stochastischer Produktion (Windenergie, Photovoltaik). Die Potenziale der erneuerbaren Energien in der Schweiz werden als limitiert eingestuft. Im Sockelangebot wird allerdings für 2035 ein zehnpromzentiger Zuwachs gegenüber dem Landesverbrauch von 2005 unterstellt.

Der VSE betrachtet drei verschiedene Primärenergiepreisszenarien für Öl und koppelt den Gas- an den Ölpreis:

- Referenzpreisszenario: realer Preis von 30 USD pro Barrel bis 2030 danach stetig steigend;
- Hochpreisszenario: real 50 USD pro Barrel; dieses Szenario ist auf schlecht funktionierende Energiemärkte, auf denen auch Marktmacht ausgeübt werden kann, ausgerichtet;
- Tiefpreisszenario: real 22 USD pro Barrel; der Energiemarkt funktioniert gut, es werden günstige Ressourcen in grösserem Umfang gefunden.

Für 2020 wird für CO<sub>2</sub>-Emissionen ein Preis von 35 CHF pro Tonne CO<sub>2</sub> angenommen.

### 16.3.1 Mögliche Angebotsvarianten

Für die Deckung der das Sockelangebot übersteigenden Nachfrage werden drei Angebotsvarianten betrachtet.

- Variante A: Kernkraft;
- Variante B: Erdgas;
- Variante C: Mix Erdgas und Kernkraft.

Zu den verschiedenen Angebotsvarianten und Importen werden keine Kosten ausgewiesen.

- Variante A: Es wird angenommen, dass in den Jahren 2025, 2034 und 2043 drei Kernkraftwerksblöcke mit je 1'500 MW Leistung in Betrieb genommen werden, die je 12 TWh erzeugen. Dadurch entstehen jährliche Kosten von rund 600 Mio. CHF zur Deckung der über das Sockelangebot hinausgehenden Nachfrage.
- Variante B: Es wird angenommen, dass in den Jahren ab 2020 total 12 Blöcke mit je 500 MW (6'000 Betriebsstunden) Leistung erstellt werden, die jährlich je 3 TWh erzeugen. Bei einem Referenzpreis von real 30 USD pro Barrel Öl ergeben sich jährliche Kosten von rund 1000 Mio. CHF (im Hochpreisszenario mit real 50 USD pro Barrel Öl 1300 Mio. CHF). Der mittlere CO<sub>2</sub>-Ausstoss liegt bei 5.6 Mt pro Jahr, was einem zusätzlichen Ausstoss von 12.4% entspricht.
- Variante C: Die Deckungslücke im 2050 wird mit sechs GuD-Anlagen und drei Kernkraftwerken mit 1000 MW Leistung gedeckt und trägt damit zur Diversifikation des Kraftwerks- und Primärenergieportfolios bei. Bei einem Referenzpreis von 30 USD pro Barrel Öl ergeben sich jährliche Kosten von rund 800 Mio. CHF (im Hochpreisszenario mit 50 USD pro Barrel Öl 900 Mio. CHF). Der mittlere CO<sub>2</sub>-Ausstoss liegt rund 4.6% höher als heute.

### 16.4 Resultate

Durch diese drei Varianten ist die Leistungsbilanz im Winter bis ins Jahr 2050 auch in extremen Situationen für einen mittleren Landesverbrauchsanstieg gewährleistet.

Die drei Angebotsvarianten werden nach sechs Kriterien beurteilt: Beitrag zur Versorgungssicherheit, Kosten, Unternehmerisches Risiko, Umwelt, Realisierbarkeit und volkswirtschaftliche Auswirkungen.

Für den VSE weist die Angebotsvariante A am meisten Vorteile auf, allerdings wird die Realisierbarkeit als negativ beurteilt. Auf eine Variante mit Importen wird verzichtet, da die Nachteile deutlich überwiegen.

Um die Sicherstellung der Versorgung gewährleisten zu können, ist sich die Elektrizitätswirtschaft bewusst, dass sie Kraftwerksplanung und -bau sowie die Weiterentwicklung der Netze und die Ausschöpfung des Potenzials erneuerbarer Energien vorantreiben muss.

Um die Ziele zu erreichen, erwartet die Elektrizitätswirtschaft die Unterstützung von Politik und Verwaltung. Insbesondere fordert sie, dass bei Planungs- und Genehmigungsverfahren im Kraftwerks- und Netzbereich die Verfahren zu beschleunigen und alle Entscheidungen zur Gestaltung des Marktes unter dem Blickwinkel der Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit und des Umweltschutzes zu beurteilen seien.

## Literatur

Alle Studien sind über Internet auf den entsprechenden Homepages erhältlich

- [1] Axpo: Strom für heute und morgen; Studie Stromperspektiven 2020, Zürich 2005.
- [2] Axpo: Medienorientierung 24. Mai 2005 „Stromperspektiven 2020“, Baden 2005.
- [3] Baudirektion Kanton Zürich: Das Angebot erneuerbarer Energien: Potenzial erneuerbarer Energieträger im Kanton Zürich, Zürich 2006.
- [4] Baudirektion Kanton Zürich: Vision Energie 2050: Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Ausstoss für vier Szenarien der Entwicklung. 2004 aufdatierte Fassung der Vision 2050 von 1994, 2. Auflage, Zürich 2005.
- [5] Christliche Volkspartei der Schweiz: Mehr Markt, mehr Versorgungssicherheit, mehr Klimaschutz; Energiepapier der CVP Schweiz, Bern 2004.
- [6] Energy Information Administration (EIA): Annual Energy Outlook 2005 with Projections to 2025, Washington 2005.
- [7] European Commission: World energy, technology and climate policy outlook (WETO), Brussels 2003.
- [8] ExxonMobil: Energy Outlook 2004.
- [9] ExxonMobil: Die Energie von morgen: Ein Blick auf Energietrends, Treibhausgasemissionen und alternative Energien der Zukunft, Irving 2006.
- [10] ExxonMobil: Oeldorado 2006, Hamburg 2006.
- [11] Freisinnig-Demokratische Partei Schweiz: Nachhaltige Energiepolitik setzt auf Innovation; Positionspapier der FDP Schweiz, Bern 2006.
- [12] Grüne Partei der Schweiz: Grundlagenpapier zur Energiepolitik: Gründe Energieperspektiven 2050, Energieversorgung zu 100% aus erneuerbarer Energie, Mai 2005.
- [13] International Energy Agency: World Energy Outlook 2004, Paris 2004.
- [14] International Energy Agency: World Energy Outlook 2005: Middle East and North Africa Insights, Paris 2005.
- [15] Kanton Bern: Energiestrategie 2006, Bern 2006.
- [16] Rechsteiner Rudolf: Sicher und effizient umsteigen; Unterwegs zur Vollversorgung mit erneuerbaren Energien; Perspektivpapier der SP Schweiz, April 2006.
- [17] Royal Dutch/Shell Group: Energy Needs, Choices and Possibilities – Scenarios to 2050, London 2001.
- [18] Schweizerische Volkspartei: Schweizer Strom aus Eigenproduktion; Positionspapier der SVP, Zürich 2006.
- [19] Sturm Andreas, Norbert Egli, Rolf Frischknecht, Roland Steiner: Energieperspektive 2050 der Umweltorganisationen: Studie im Auftrag von Greenpeace Schweiz, Schweizerische Energienstiftung, Verkehrs-Club der Schweiz und WWF Schweiz, Basel 2006.
- [20] VSE: Vorschau 2006 auf die Elektrizitätsversorgung der Schweiz im Zeitraum bis 2035/2050, Aarau 2006.
- [21] World Energy Council (WEC): Global Energy Perspectives, Cambridge University Press, 1998 (Hrsg.: Nebosjsa Nakicenovic, Arnulf Grübler, Alan McDonald). Zusammenfassung verfügbar unter: [http://www.iiasa.ac.at/Research/ECS/docs/book\\_st/wecintro.html](http://www.iiasa.ac.at/Research/ECS/docs/book_st/wecintro.html).

## Weitere Arbeiten, die nicht im Exkurs abgehandelt werden:

- Böhni Thomas: Alternative Energie: Konzept für den Kanton Thurgau (Medienmitteilung St. Galler Tagblatt 29.04.06)
- Deutsche Bank Research: Energie prospects after the petroleum age, Dezember 2004
- Deutsche Bank Research: Bio-Energien für die Zeit nach dem Öl, Juli 2005
- Deutsche Bank Research: Energieperspektiven nach dem Ölzeitalter, Dezember 2004
- European Commission Directorate-General for Energy and Transport: European Energy and Transport Scenarios on key drivers, September 2004.
- KPMG: Energy outlook for China, Industrial Markets.
- RWE: Weltenergiereport 2005, Essen.
- United Kingdom: The Energy Challenge: Energy Review Report 2006; Department of Trade and Industry, July 2006.

## Umrechnungen und Länderdefinitionen

### Übersicht über Einheiten

Umrechnung Öläquivalent in Joule

$$1 \text{ Mtoe} = 41,868 \cdot 10^6 \cdot 10^9 \text{ J} = 41,868 \cdot 10^{15} \text{ J} = 41,868 \text{ PJ}$$

Volumeneinheit:

$$1 \text{ Fass Rohöl} = 1 \text{ Barrel} = 159 \text{ l}$$

Energieeinheiten:

$$1 \text{ Joule} = 1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$$

$$1 \text{ TWh} = 10^3 \text{ GWh} = 10^6 \text{ MWh} = 10^9 \text{ kWh} = 3.6 \cdot 10^{15} \text{ J}$$

$$1 \text{ ton oil equivalent} = 1 \text{ toe} = 4.2 \cdot 10^{10} \text{ J} (\approx 7.3 \text{ Barrel})$$

$$1 \text{ Mtoe} = 10^6 \text{ toe}$$

Leistungseinheiten:

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J} / 1 \text{ s}$$

$$1 \text{ GW} = 10^3 \text{ MW} = 10^6 \text{ kW} = 10^9 \text{ W}$$

## Definition von Ländergruppen

- Transformationsländer: Mittel- und osteuropäische Länder und Gruppe der Neuen Unabhängigen Staaten auf dem Gebiet der ehemaligen Sowjetunion
- Entwicklungsländer: Welt ohne OECD- und Transformationsländer
- Middle East: Naher Osten