

CO₂-Reduktionspotenziale des Energiesystems in der Schweiz – Handlungsperspektiven bis 2010

Die Ziele des CO₂-Gesetzes und des Kyoto-Protokolls sind nur mit koordinierten Massnahmen der Energie-, Bau- und Verkehrspolitik sowie der Investoren in Wirtschaft, öffentlicher Hand und privaten Haushalten zu erreichen. Rund drei Viertel des Beitrags zur Zielerfüllung sind von einer effizienteren Energieanwendung zu erwarten. Die verstärkte Erdgasnutzung und der Ausbau der erneuerbaren Energiequellen kommen zusammen für das restliche Viertel auf. Das Wirtschaftswachstum wird dadurch nicht wahrnehmbar beeinträchtigt. Die zusätzlichen Kosten zur Erreichung der Reduktionsziele werden durch die Vermeidung externer Kosten in etwa aufgewogen.

Langfristige Herausforderungen und Chancen

Drei energie- und umweltpolitische Makrotrends legen es nahe, die effizientere Anwendung von Energie und die Nutzung von Erdgas sowie erneuerbarer Energiequellen in der Schweiz beschleunigt voranzutreiben:

- Der *Klimawandel durch anthropogen bedingte Treibhausgasemissionen* hat bereits begonnen (IPCC 2001). An der Notwendigkeit, die energiebedingten Klimagasemissionen – in den Industriestaaten absolut und in den Entwicklungsländern spezifisch – deutlich und langfristig zu reduzieren, besteht kein Zweifel mehr. Dies eröffnet den Schweizer Technologieproduzenten und Dienstleistern erhebliche Chancen.
- Die *hohe Erdölabhängigkeit der Schweiz* (derzeit 46% des Primärenergiebedarfs) stellt bei zunehmender Konzentration der Erdölproduktion in den Opec-Staaten – insbesondere im politisch labilen Nahen Osten – ein wachsendes Risiko für die Versorgungssicherheit dar. Dieses Risiko besteht weltweit, insbesondere für den Strassen-, Luft- und Schiffsverkehr mit seiner fast 100%igen Abhängigkeit von Erdölprodukten.
- *Merkliche Preissteigerungen des Erdöls als Preisführer auf den Energiemärkten* werden mit Erreichen des Produktionsmaximums der globalen Erdölproduktion etwa ab 2015 bis 2030 erwartet. Wegen der relativ langen Re-Investitionszyklen von Raffinerien, Tankstellen und Kesselanlagen erscheint eine beschleunigte Substitution von Erdölprodukten auch im Raum- und Prozesswärmebereich wichtig.



Prof. Dr. Eberhard Jochem
Professor für Energiewirtschaft, Centre for Energy Policy and Economics (Cepe) der Eidg. Technischen Hochschule Zürich (ETHZ)



Martin Jakob
Dipl. Phys. Ing. ETH, Centre for Energy Policy and Economics (Cepe) der Eidg. Technischen Hochschule Zürich (ETHZ)

Diese drei Herausforderungen sind für die Produzenten neuer Energietechniken und Erdgasversorger eine unternehmerische Chance. Sie waren Ausgangspunkt der Analyse, welche hier zusammengefasst wiedergegeben wird (vgl. Jochem/Jakob 2004).

Wo liegen die technologischen Chancen für die Schweiz?

Zentrale Frage der durchgeführten Analysen war, welches die möglichen technologischen Lösungen zur Erreichung der Ziele des CO₂-Gesetzes bzw. des Kyoto-Protokolls sind und wie hoch deren Kosten für die Schweiz liegen.

Methodisch verfolgte die Analyse einen vergleichenden Ansatz: Zwei Emissionsreduktions-Szenarien mit unterschiedlichen Reduktionszielen wurden einer energiewirtschaftlichen Referenzentwicklung der Schweiz gegenübergestellt. Das Referenz-Szenario beinhaltet alle bisher in Kraft getretenen und beschlossenen energie- und umweltpolitischen Massnahmen ausser denjenigen des CO₂-Gesetzes und des Kyoto-Protokolls. Die beiden Reduktions-Szenarien (I und II) gehen von einer teilweisen bzw. vollständigen Zielerfüllung des CO₂-Gesetzes aus. Das anspruchsvolle Szenario II mit Zielerfüllung im Inland unterstellt zusätzliche energiepolitische Massnahmen, darunter:

- Reduzierte Treibstoffsteuer für Erdgas und Biomasse als Treibstoff;
- CO₂-Lenkungsabgabe: 50 Fr./t CO₂ für Brennstoffe, 100 Fr./t CO₂ für Treibstoffe (1,0 Rp./kWh Erdgas, 13 Rp./l Heizöl, 24 Rp./l Benzin, 26 Rp./l Diesel).

Analysiert wurden die Emissionsentwicklung von Treibhausgasen und konventionellen Luftschadstoffen, kostenseitige Auswirkungen (direkte Kosteneffekte und externe Kosten) sowie energiewirtschaftliche Aspekte und gesamtwirtschaftliche Auswirkungen. Hierzu wurden prozessorientierte sektorale Rechenmodelle des Centre for Energy Policy and Economics (Cepe) und des Paul Scherrer Instituts (PSI) verwendet.

Die Kostenrechnungen auf der prozess- bzw. mikro-ökonomischen Ebene basieren meistens auf projektorientierten Investitions- und Betriebskosten, wobei für die Berechnung

der jährlichen Kapitalkosten in der gesamtwirtschaftlichen Perspektive ein Realzinssatz von 2,5% und in der einzelwirtschaftlichen Perspektive ein solcher von 8% bzw. 5% (Gebäude) zugrunde gelegt wurde. Meist sind keine Transaktions- bzw. Programmkosten enthalten; hierüber liegen derzeit noch wenige empirische Informationen in unmittelbarer verwendbarer Form vor.

Was kann man von der Energieeffizienz erwarten?

Bezogen auf das Bruttoinlandprodukt (BIP) verbessert sich *im Referenz-Szenario* die *Endenergieintensität* – d.h. das Verhältnis zwischen Endenergiebedarf und BIP – um durchschnittlich gut 1% pro Jahr, was eine übliche Intensitätsverbesserung vieler OECD-Staaten in den letzten zwei Jahrzehnten darstellt. Basis dafür bilden typische Trends technischer Effizienzverbesserungen im Re-Investitionszyklus (z.B. bei Heizanlagen, Industrieprozessen und Gebäuden), der Strukturwandel zu weniger energieintensiven Branchen sowie Sättigungseffekte in einer Gesellschaft mit hohem Pro-Kopf-Einkommen.

Im *Reduktions-Szenario II* geht der Endenergiebedarf um rund 30 PJ auf rund 760 PJ im Jahre 2010 zurück; der Rückgang beträgt also etwa -5,7% gegenüber 1999. Die grössten Reduktionen werden im Gebäude- und Strassenfahrzeugbereich erreicht. Gesenkt wird der Energiebedarf auch durch eine veränderte Verkehrspolitik (erheblich) und durch eine Materialeffizienzpolitik (gering). Diese Energieeffizienzgewinne sind allein durch investive und organisatorische Massnahmen – d.h. ohne Beeinträchtigung des Konsum- oder Produktionsnutzens – erreichbar.

Was leistet das Erdgas zur CO₂-Minderung?

Seit der Einführung des Erdgases zu Beginn der Siebzigerjahre wurde die flächenspezifische Erdgasversorgung erheblich ausgebaut. Allerdings ist der eigentliche Gasanschluss weit weniger fortgeschritten: Zwar leben rund zwei Drittel der Bevölkerung in gasversorgten Gemeinden, aber nur ein Fünftel der Wohnungen und gut ein Zehntel der Einfamilienhäuser sind ans Erdgasnetz angeschlossen. Im Dienstleistungs- bzw. Industriesektor ist der Anschlussgrad im Vergleich zum Erschliessungsgrad etwas höher.

Diese Ausgangslage sowie die durchgeführten raumbezogenen Analysen legen es nahe, dass künftig dem so genannten Verdichten – d.h. dem Gewinnen von neuen Bezügern im gasversorgten Gebiet – eine hohe Bedeutung in allen Szenarien zukommt. Ebenfalls

von Bedeutung ist das Erschliessen von Neubau-Gebieten, da bei der Erschliessung kostenreduzierende Synergieeffekte erzielt werden können. Im Reduktions-Szenario II wird von einem verstärkten und beschleunigten Ausbau der Gasversorgung aus Gründen der Diversifizierung der Primärenergieträger und des Klimaschutzes ausgegangen; die Diffusionsgeschwindigkeit der Neunzigerjahre bliebe bis 2012 erhalten (im Gegensatz zur Referenz, in der mit einem Sättigungsphänomen gerechnet wird). Der gegenüber der Referenz-Entwicklung höhere Erdgasanteil führt aufgrund des verdrängten Erdölbedarfs zu einer Verminderung der CO₂-Emissionen von rund 340 000 t CO₂ im Jahr 2012 (Reduktions-Szenario II).

Beitrag der erneuerbaren Energien

Die weiter gehende Nutzung von erneuerbaren Energien bis 2012 ist vor allem im Wärmebereich von Bedeutung. Trotz stagnierendem Wärmemarkt wird bereits im Referenz-Szenario von steigender Holznutzung (der beobachtete Rückgang der traditionellen Holzheizungen wird durch neue, moderne Techniken überkompensiert), einer Zunahme der Wärmepumpen (der zusätzliche Strombedarf wird als Ergebnis der Annahmen durch den Ersatz von Elektroheizungen und -boilern überkompensiert), der Verbrennung organischer Abfälle und der solaren Warmwassernutzung ausgegangen. Im Szenario II erhöht sich der Anteil der erneuerbaren Energien und Abfallstoffnutzung von 6% am Primärenergiebedarf auf 7,7% (ohne Wasserkraft). Die erneuerbaren Energien werden eher in den nachfolgenden Dekaden eine grössere Rolle spielen.

Aufgrund der erforderlichen Aufbauzeit haben die erneuerbaren Energien im Strassenverkehr bis 2012 eine sehr geringe Bedeutung. Mittelfristig könnten auch Treibstoffe aus erneuerbaren Energien einen Beitrag zur Minderung des CO₂-Ausstosses leisten.

Die meist vergessene ökologische Rendite von verminderten Emissionen

Die traditionellen Luftschadstoffe (NO_x, SO₂ und Partikel-Emissionen) vermindern sich um etwa ein Drittel gegenüber 1999. Allein die Gesundheitseffekte – gemessen an Mortalität und Morbidität – bedeuten im Jahr 2012 eine Kostenminderung um rund 200 Mio. Franken (ca. 1000 verlorene Lebensjahre pro Jahr) im Reduktions-Szenario II gegenüber der Referenz. Dabei sind die Adaptationsmassnahmen zum Klimawandel, die schon jetzt den Bergkantonen erhebliche Kosten verursachen, nicht berücksichtigt.

Kasten 1

Kosten/Nutzen-Verhältnis der Investitionen

Im Reduktions-Szenario II kommt es infolge vermehrter Effizienz- und Substitutionsinvestitionen gegenüber dem Referenz-Szenario zu erhöhten Kosten, und zwar in Höhe von insgesamt etwa 400 Mio. Fr./a aus einzel- bzw. 160 Mio. Fr./a aus gesamtwirtschaftlicher Sicht. Hierbei entfällt der grösste Anteil auf die Gebäude und den Strassenverkehr. Die zusätzlichen Nettokosten für den Erdgasausbau hängen vom Verhältnis der Mindererträge aufgrund des rückläufigen Wärmemarktes und der besseren Auslastung der bestehenden Infrastruktur durch Verdichtung ab. Die genannten Nettokosten werden durch die vermiedenen externen Kosten infolge vermiedener Luftschadstoffe und Treibhausgasemissionen zumindest aufgewogen (siehe *Tabelle 1*). Die einzelwirtschaftlichen Kosten sind nach neuesten Erkenntnissen zum Teil überhöht, weil Zusatznutzen der Gebäudeerneuerung oder des energieeffizienten Bauens – Komfortsteigerung, besserer Lärmschutz, höhere Mieterträge, bessere Wertentwicklung der Gebäude – nicht mit eingerechnet wurden (vgl. Ott et al. 2005).

Tabelle 1

Jährlich Nettokosten für Energieeffizienz und Treibstoff-Substitution

mit unterschiedlichen Diskontraten, Nachhaltigkeits-Szenario I (bezogen auf Referenz) und Nachhaltigkeits-Szenario II (bezogen auf NH I) sowie vermiedene externe Kosten; in Mio. Franken/Jahr

CO ₂ -Reduktionsmassnahme und Sektor	Nachhaltigkeits-Szenario I		Nachhaltigkeits-Szenario II	
	8% Zins	2.5% Zins	8%Zins	2.5% Zins
Kosten: Energieeffizienz und Substitution				
Haushalte (Gebäude und Geräte)	62 ^a	3	264 ^a	122
Dienstleistungssektor	26	4	57	21
Industriesektor	-1	-21	30	7
Verkehr	16	-26	87	30
Total direkte Nettokosten	103	-40	440	180
Nutzen: Vermiedene externe Kosten				
- durch Luftschadstoffe	k.A.	-110	k.A.	-200
- durch Klimawandel (Treibhausgase)	k.A.	-5 bis -50	k.A.	-20 bis -200
Total vermiedene externe Kosten	k.A.	-115 bis -160	k.A.	-220 bis -400
Gesamttotal	-155 bis -200		-40 bis -220	

a Realzins bei Gebäuden und Erdgasnetz 5%.

Quelle: Berechnungen Cepe, PSI, s&p / Die Volkswirtschaft

Die Abschätzungen der *Schadenskosten durch Treibhausgasemissionen* unterliegen derzeit grossen Unsicherheiten, zumal sie erst nach vielen Jahrzehnten sichtbar werden. Heute sieht man die ersten zusätzlichen Investitionen wegen Hochwasser-, Lawinen- und Murenenschutz oder Beschneigungs- und Klimaanlagen. Bezieht man also die vermiedenen Kosten der Treibhausgasemissionen in den erwarteten Nutzen mit ein, so liegen diese in der gleichen Höhe wie die zusätzlich zu erwartenden Kosten (vgl. *Tabelle 1*).

Beitrag der drei technologischen Optionen zur CO₂-Minderung im Vergleich

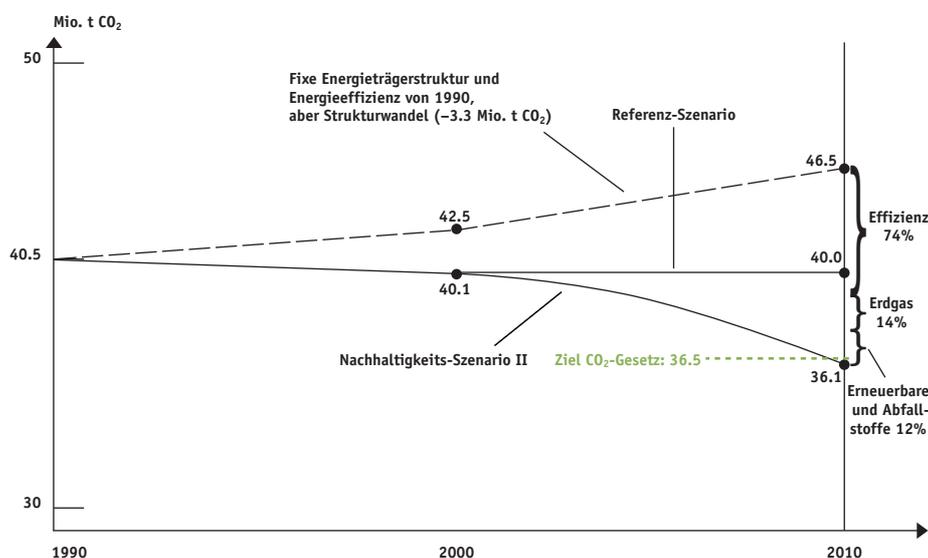
Wäre seit 1990 die Energie-Effizienz nicht laufend verbessert worden (verbesserte Neubauweise, Erneuerung von Gebäuden, Heiz- und Industrieanlagensersatz etc.), würden die CO₂-Emissionen im Jahre 2010 aufgrund des Wirtschaftswachstums sowie des Zuwachses an beheizten Flächen und Fahrzeugen mit etwa 46 Mio. t CO₂ wesentlich höher liegen als im Referenz-Szenario; es entstünde eine Ziel-lücke von rund 10 Mio. t CO₂ (vgl. *Grafik 1*). Insgesamt ist denn auch der Beitrag der Effizienzsteigerungen zur CO₂-Minderung zwischen 1990 und 2012 in allen Rechenläufen am grössten, nämlich rund drei Viertel. Im Vergleich dazu spielt die Substitution durch Erdgas mit einem Beitrag von 14% eine bedeutende, aber keine dominierende Rolle. Ein vergleichbarer Beitrag (12%) kommt von den erneuerbaren Energien (inklusive der Verbrennung von organischen Abfallstoffen). In geringem Masse trägt die Substitution von Brennstoffen durch Strom zur Reduktion bei.

Wirtschaftswachstum kaum beeinträchtigt

Die Auswirkungen einer CO₂-Abgabe auf das *Wachstum des BIP* sind nach den Erkenntnissen vorliegender Studien (siehe *Grafik 2*) als marginal einzuschätzen. Höhe und Richtung der Abweichung des BIP vom Referenzniveau sind von der Ausgestaltung der Abgabe-Rückerstattung und der Arbeitsmarktlage abhängig. Werden die Höhe der Abgaben begrenzt (etwa auf 30 bis 40 Fr./t CO₂), die Staatsquote durch die Rückerstattung gemildert und/oder Innovationen bei Energieanwendungen und -dienstleistungen realisiert, kann ein positiver Nettoeffekt infolge der höheren Ressourcenproduktivität resultieren. Die *Beschäftigungswirkungen* einer CO₂-Abgabe sind laut vorliegender Studien bei Begrenzung der Abgabe bis zu etwa 60 Fr./t CO₂ als positiv einzuschätzen, weil importierte Energie in hohem Umfang durch inländisch

Grafik 1

Entwicklung der CO₂-Emissionen und Reduktionsbeiträge gemäss Szenario II 1990 bis 2010

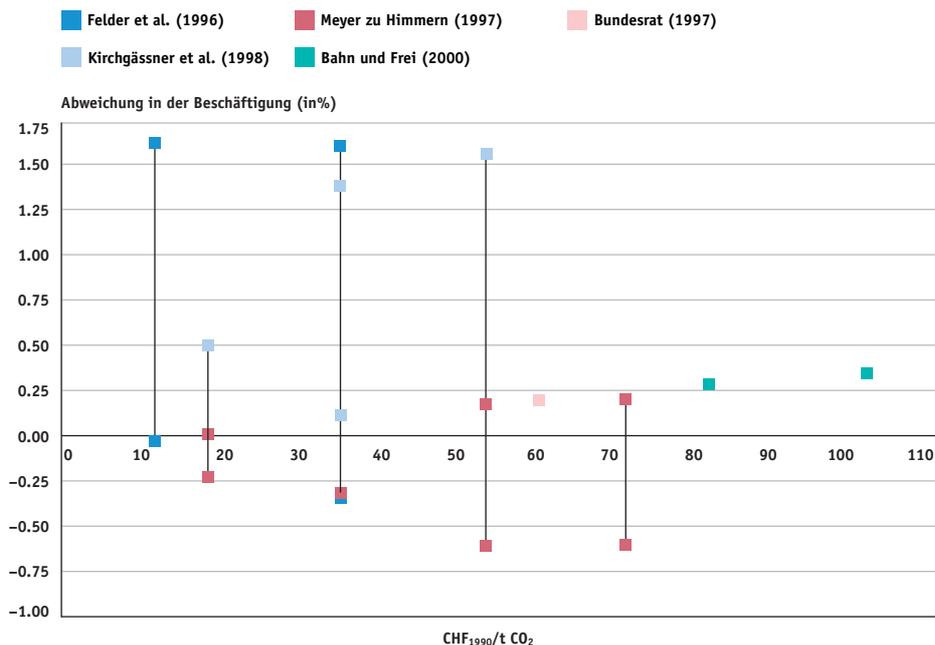


Anmerkung: Entwicklung der CO₂-Emissionen bei fixer Energieträgerstruktur und ohne energietechnischen Fortschritt (obere Kurve) sowie die Reduktionsbeiträge infolge zunehmender Energieeffizienz, verstärktem Einsatz erneuerbarer Energien und Erdgasnutzung im Nachhaltigkeits-Szenario II.

Quelle: Jochem, Jakob / Die Volkswirtschaft

Grafik 2

Veränderung der Beschäftigung nach Einführung einer CO₂-Abgabe in der Schweiz



Quelle: Diverse (siehe Kasten 3) / Die Volkswirtschaft

Kasten 2

Verdankung

Die Autoren danken dem Forschungsfonds der Gaswirtschaft (Foga) und den beteiligten Institutionen ETH Zürich, Cepe, PSI, ESU-services und s&p für die finanzielle Unterstützung und die Eigenleistungen, welche die hier zusammengefasste Studie erst möglich machten. Ausserdem danken wir den Mitautoren (B. Aebischer, G. Catenazzi, R. Madlener, M. Wickart, O. Bahn, L. Gutzwiller, Th. Heck, S. Hirschberg, A. Janssen, S. Kypreos, S. Lienin, R. Frischknecht, J. Schwarz) und allen weiteren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Studie für ihr Engagement und ihre Fachkompetenz, welche sie diesem Projekt zugute kommen liessen.

Kasten 3

Literatur

- Bahn, O., Frei, C. (2000). GEM-E3 Switzerland: A Computable General Equilibrium Model Applied for Switzerland. PSI-Bericht Nr. 00-01, Paul-Scherrer-Institut (PSI), Villigen.
- Felder, S., van Nieuwkoop, R. (1996). Revenue recycling of a CO₂ tax: Results from a general equilibrium model for Switzerland. *Annals of Operations Research* 68, 233–265.
- IPCC (2001), *Climate Change (2001). Mitigation: Contribution of Working Group III to TAR of the IPCC*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Jochem, E., Jakob, M. (Hrsg.) (2004). *Energieperspektiven und CO₂-Reduktionspotenziale in der Schweiz bis 2010*. vdf Verlag, Zürich.
- Kirchgässner, G., Müller, U., Savioz, M. (1998). Ecological tax reform and involuntary unemployment: Simulation results for Switzerland. *Swiss Journal of Economics and Statistics* 134, 329–353.
- Meyer zu Himmern, A.-C. (1997). *Strukturelle Auswirkungen umweltpolitischer Massnahmen zur Bekämpfung des Treibhauseffektes*. Dissertation Nr. 2002, Universität St. Gallen (HSG), St. Gallen.
- Ott, W., Baur, M., Jakob, M. (2005). *Direkte und indirekte Zusatznutzen bei energieeffizienten Wohngebäuden*. econcept und Cepe; ETH Zürich, i.A. EWG-BFE, BWO, HEV, ewz. Bern (forthcoming).

erzeugte Effizienzprodukte, erneuerbare Energien und Dienstleistungen substituiert wird und bei rentablen Massnahmen ein zusätzlicher Nachfrageeffekt entsteht (vgl. Grafik 2). Negative Beschäftigungseffekte konzentrieren sich im konventionellen Energiesektor, während die Technologieproduzenten und das Baugewerbe einen positiven Nettobeschäftigungseffekt aufweisen. Die involvierten Planungs-, Bau- und Erneuerungsarbeiten sind gerade in ländlichen strukturschwachen Gebieten speziell willkommen.

Schlussfolgerungen

Mit der bisherigen – meist auf freiwilligen Massnahmen basierenden – Energie- und Klimapolitik werden die Ziele des CO₂-Gesetzes und von Kyoto nicht erreicht. Bei grossen Anstrengungen könnten diese Ziele bis 2012 indes noch erreicht werden. Hierbei liefert die effizientere Nutzung von Energie etwa drei Viertel des Zielbeitrages und die Substitution von Erdöl durch Erdgas und die erneuerbaren Energien jeweils etwa die gleichen Restbeiträge. Gemessen an der energiepolitischen Aufmerksamkeit werden somit die Chancen der Energieeffizienz unterschätzt und die in der Bevölkerung und den Medien viel beachteten erneuerbaren Energiequellen für dieses Jahrzehnt überschätzt. Bisher wenig beachtet wurden auch die mit den Massnahmen verbundenen Nutzen auf der Umweltebene (Reduktion der externen Kosten) sowie im Bereich Gebäude (Erhöhung des Wohnkomforts,

Werterhaltung/-steigerung). Konzeptionell herrscht noch immer eine Strategie des (alternativen) Energieangebotes vor, anstatt einer Strategie von Ressourceneffizienz und Innovationsoffensive.

Je länger Politik und Unternehmen mit weiteren Massnahmen zuwarten, desto kostspieliger wird es, bis 2012 das Kyoto-Ziel noch zu erreichen. Die Schweiz setzt gar ihr Image aufs Spiel, wenn sie als Hochtechnologieland die selbst gewählten Ziele nicht erreicht. Die Schweizer Wirtschaft vergibt sich zudem die Chance, durch den Export von hoch effizienten Anlagen und Maschinen Pioniergewinne im Ausland zu realisieren. Denn Klimawandel und drohende Preiserhöhungen fossiler Energieträger werden die Herausforderungen der kommenden Jahrzehnte bleiben. Eine Lösung bietet sich nur durch eine völlige Erneuerung des Kapitalstocks in Richtung hoher Energie- und Materialeffizienz an.