



Akademien der Wissenschaften Schweiz  
Académies suisses des sciences  
Accademie svizzere delle scienze  
Academias svizas da las ciencias  
Swiss Academies of Arts and Sciences

# Denk-Schrift Energie

**Energie effizient nutzen und wandeln**  
**Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung in der Schweiz**



## **Impressum**

### **Herausgeberin**

Akademien der Wissenschaften Schweiz  
Hirschengraben 11, Postfach 8160, 3001 Bern  
Tel. 031 313 14 40, Fax 031 313 14 50  
www.akademien-schweiz.ch, info@akademien-schweiz.ch  
© 2007

### **Redaktion**

Christoph Ritz, ProClim- Forum for Climate and Global Change (SCNAT)

### **Druck**

Vögel AG, Druckzentrum, 3550 Langnau

### **Gestaltung**

Daniela Ambühl, Schweiz. Akademie der Geistes- und Sozialwissenschaften

### **Korrektorat**

Esther Volken, ProClim- Forum for Climate and Global Change (SCNAT)

### **Bilder**

Jenni Energietechnik, Oberburg: Titelseite, S. 31, 39  
Stefan Wermuth, Bern: S. 9  
Christoph Ritz, Bern: Titelseite, S. 5, 10, 13, 16, 19, 24, 29, 33, 35, 37, 43, 45

### **Auflage**

6000

### **ISBN**

978-3-907630-29-7

# **Denk-Schrift Energie**

**Energie effizient nutzen und wandeln  
Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung in der Schweiz**

## **Wissenschaft im Dienste der Gesellschaft**

Die Akademien der Wissenschaften Schweiz sind ein Verbund der vier wissenschaftlichen Akademien der Schweiz: der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz SCNAT, der Schweizerischen Akademie der Medizinischen Wissenschaften SAMW, der Schweizerischen Akademie der Geistes- und Sozialwissenschaften SAGW und der Schweizerischen Akademie der Technischen Wissenschaften SATW.

Die Akademien der Wissenschaften Schweiz vernetzen die Wissenschaften regional, national und international. Sie vertreten die Wissenschaftsgemeinschaft sowohl disziplinar als auch interdisziplinär und unabhängig von Institutionen und Fächern. Ihr Netzwerk ist langfristig orientiert und der wissenschaftlichen Exzellenz verpflichtet. Sie beraten Politik und Gesellschaft in wissensbasierten, gesellschaftsrelevanten Fragen.

akademien-schweiz  
academies-suisses  
academie-svizzere  
academias-svizras  
swiss-academies

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>Denk-Schrift Energie</b>	<b>5</b>
<b>Vorwort</b>	<b>9</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>10</b>
<b>Resumé</b>	<b>13</b>
<b>Summary</b>	<b>16</b>
<b>Herausforderungen der zukünftigen Energienutzung und -versorgung</b>	<b>19</b>
Klimaänderung – eine der grössten Herausforderungen für die Energienutzung und -versorgung	19
Geopolitische Risiken des Energiebedarfs und der Energieversorgung	24
Das Energiepreisrisiko bei Erreichen des Fördermaximums von Erdöl	26
Herausforderungen an politische und gesellschaftliche Systeme	27
<b>Technologische und unternehmerische Lösungsmöglichkeiten</b>	<b>29</b>
Die Effizienzrevolution bei Material- und Energienutzung als technologisches Programm dieses Jahrhunderts	29
Intensivierte Güternutzung und ressourcenschonende Siedlungskonzepte	32
Potenzial der erneuerbaren Energien	33
Die Rolle von Kernenergie, Erdgas und Kohle für die Stromproduktion in der Schweiz	35
<b>Rahmenbedingungen für eine nachhaltige Energiepolitik</b>	<b>37</b>
Durchsetzbarkeit einer nachhaltigen Energiepolitik	37
Rahmenbedingungen und Instrumente	38
<b>Chancen für die Schweizer Wirtschaft und Wissenschaft</b>	<b>43</b>
Situation der Schweiz	43
Chancen und Vorteile	44
<b>Schlussfolgerungen</b>	<b>45</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>47</b>
<b>Glossar und Einheiten</b>	<b>49</b>





## Denk-Schrift Energie

### **Energie effizient nutzen und wandeln Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung in der Schweiz**

Die Denk-Schrift Energie der Akademien der Wissenschaften Schweiz (akademien-schweiz) ist ein Aufruf an die Verantwortlichen in der Schweiz in Wirtschaft, Verwaltung, Politik und Wissenschaft, die Herausforderungen der globalen Energienutzung und -versorgung aktiv anzugehen. Die Dringlichkeit einer Abkehr von fossilen Energieträgern und das Ausmass der Aufgabe sind inzwischen so gewaltig, dass ein rasches Handeln aller Nationen und das notwendige Vorausgehen reicher Staaten wie der Schweiz erforderlich sind. Aufgrund der unterschiedlichen Geschichte, Ausstattung mit Energieressourcen und Entwicklungsphasen in den einzelnen Ländern bestehen differenzierte Verantwortlichkeiten für Industrie-, Schwellen- und Entwicklungsländer.

Die Denk-Schrift Energie wurde in der Zeit von November 2006 bis Juni 2007 einem doppelten Kritikprozess von Experten der Akademien unterworfen. 47 Forschende vieler Disziplinen haben in diesem Prozess zum vorliegenden Inhalt beigetragen. Die Denk-Schrift wurde anschliessend durch designierte Experten der Akademien begutachtet und vom Präsidium der akademien-schweiz gutgeheissen.

## Autoren

Marco Berg Dr., Präsident der Energiekommission der SATW  
Eberhard Jochem Prof., Einzel-Mitglied der SATW  
Christoph Ritz Dr., Geschäftsleiter ProClim- (SCNAT)

## Unter Mitarbeit von

Aegerter Irene Dr., cogito foundation, Wollerau  
Andersson Göran Prof., ETH Zürich\*  
Baccini Peter Prof., SCNAT, Bern  
Biedermann Roger Dr., Schaffhausen  
Boulouchos Konstantinos Prof., ETH Zürich  
Braun-Fahrländer Charlotte Prof., Universität Basel\*\*  
Bretschger Lucas Prof., ETH Zürich  
Bürgenmeier Beat Prof., Université de Genève  
Dupont Jean-François, Pampigny  
Epiney Astrid Prof., Université de Fribourg  
Ganser Daniele Dr., Universität Basel\*  
Gessner Wolfgang Prof., Fachhochschule Nordwestschweiz, Olten  
Gutzwiller Felix Prof., Universität Zürich  
Hänni Hans Dr., SATW, Zürich  
Heck Pamela Dr., Swiss Re, Zürich  
Hofstetter Patrick Dr., WWF, Zürich  
Joos Fortunat Prof., Universität Bern\*\*  
Kaiser Tony Dr., Alstom (Schweiz) AG, Baden\*  
Kaufmann Michael, BFE, Ittigen  
Kaufmann-Hayoz Ruth Prof., Universität Bern  
Kiener Eduard Dr., Kirchlindach  
Kissling-Näf Ingrid Dr., SCNAT, Bern\*  
Knoepfel Peter Prof., Université de Lausanne, Chavannes-près-Renens  
Körner Christian Prof., Universität Basel  
Kriesi Ruedi Dr., Zehnder Group Management AG, Wädenswil  
Kröger Wolfgang Prof., ETH Zürich  
Leibundgut Hansjürg Prof., ETH Zürich\*  
Müller Walter, VSM, Zürich  
Neu Urs Dr., ProClim-, Bern  
Rapp Regula Dr., Universität Basel\*\*  
Reinhardt Ernst, Ecoprocess AG, Zürich  
Riedener Susanne, BAFU, Ittigen  
Rossi Michel Dr., EPF Lausanne  
Roth Thomas Dr., SECO, Bern  
Schädler Bruno Dr., BAFU, Ittigen  
Schär Christoph Prof., ETH Zürich

Stocker Thomas Prof., Universität Bern\*  
Thalmann Philippe Prof., EPF Lausanne  
Volken Esther, ProClim-, Bern  
Wanner Heinz Prof., Universität Bern  
Wild Martin Dr., ETH Zürich  
Wokaun Alexander Prof., PSI, Villigen\*  
Wüstenhagen Rolf Dr., Universität St. Gallen\*\*  
Zuberbühler Andreas Prof., Universität Basel\*\*

\* Teilnehmer am Workshop

\*\* Reviewer der Akademien

## Folgende Schweizer Forschende stützen die wesentlichen Aussagen der Denk-Schrift Energie

Abegg Bruno, Dr., Geograph. Institut - Economic Geography, Universität Zürich  
Aebischer Bernard, Dr., Centre for Energy Policy and Economics CEPE, ETH Zürich  
Afjei Thomas, Prof., Institut für Energie, Fachhochschule beider Basel  
Ammann Brigitta, Prof. em., Geograph. Institut, Universität Bern  
Amstad Hermann, Dr., Generalsekretär, SAMW  
Amstutz Marc, Dr., Institut für Tourismuswirtschaft (ITW), Hochschule Luzern  
Andersson Göran, Prof., EEH - Power Systems Laboratory, ETH Zürich  
Anselmetti Flavio, Dr., Oberflächengewässer, SURF, EAWAG  
Bach Christian, Internal Combustion Engines Laboratory, EMPA  
Bachofen Reinhard, Prof., Institut für Pflanzenbiologie, Universität Zürich  
Backhaus Norman, PD Dr., Geograph. Institut, Universität Zürich  
Baltensperger Urs, Prof., Labor für Atmosphärenchemie (LAC), PSI  
Banfi Frost Silvia, Dr., Centre for Energy Policy and Economics CEPE, ETH Zürich  
Bättig Michèle, PD Dr., econcept AG, Zürich  
Baur Bruno, Prof., Natur-, Landschafts- u. Umweltschutz (NLU), Universität Basel  
Bebi Peter, Dr., Institut für Schnee- und Lawinenforschung, SLF, WSL  
Bernasconi Angelo, Dr., Sezione protezione aria e acqua, Dipartim. del Territorio  
Bernasconi Stefano, PD Dr., Geologisches Institut, ETH Zürich  
Bernauer Thomas, Prof., Forschungsstelle für Internat. Beziehungen, ETH Zürich  
Biedermann Roger, Dr., em. Kantonschemiker, 8213 Neunkirch  
Binswanger Mathias, Prof., Fachhochschule Solothurn FHSO, Solothurn  
Blatter Heinz, Prof., Institut für Atmosphäre und Klima (IAC), ETH Zürich  
Bolius David, Dr., ART Standort Reckenholz, Agroscope Reckenholz-Tänikon ART  
Boulouchos Konstantinos, Prof., Institut für Energietechnik (IET), ETH Zürich  
Braun Artur, Dr., Laboratory for high performance ceramics, EMPA  
Braun Sabine, Dr., Institut für angewandte Pflanzenbiologie (IAP), Schönenbuch  
Braun-Fahländer Ch., Prof., Inst. f. Sozial- u. Präventivmedizin, Universität Basel  
Bresch David, Dr., Cat Perils, Swiss Re  
Bretschger Lucas, Prof., Center of Economic Research CER-ETH, ETH Zürich  
Bridel Laurent, Prof., Institut de Géographie, IGUL, Université de Lausanne  
Brülisauer Alfred, Dr., Amt f. Natur, Jagd und Fischerei, Baudep. Kt. St. Gallen  
Brunner Thomas, Amt für Umwelt und Energie, Baudep. Kt. St. Gallen  
Brunner Ursula, Dr., Rechtsanwältin., ebsbs rechtsanwälte  
Bruppacher Susanne, Dr., Interfakultäre Koord. f. Allg. Ökologie, Universität Bern  
Bugmann Harald, Prof., Dep. für Umweltwissenschaften - Forst, ETH Zürich  
Burga Conradin, Prof., Geograph. Institut - Physical Geography, Universität Zürich  
Bürgenmeier Beat, Prof., Dépt. d'Economie Politique, Université de Genève  
Burger Paul, Prof., Philosophisches Seminar, Universität Basel  
Bürgi Matthias, PD Dr., Land Use Dynamics, WSL  
Burkhardt Michael, Dr., Siedlungswasserwirtschaft, SWW, EAWAG  
Bürki Thomas, Dr., Energie Ökologie Politikberatung, Thomas Bürki GmbH  
Casciaro Claudia, Dr., Energy Science Center (ESC), ETH Zürich  
Cherix Daniel, Prof., Musée de zoologie  
Clivaz Christophe, Prof., Inst. Economie & Tourisme, Sierre Univ. of Appl. Sciences  
Collaud Coen Martine, Dr., Climate Division, MeteoSchweiz  
de Haan van der Weg P., Dr., Institut für Umweltentscheidungen (IED), ETH Zürich  
Defila Rico, Interfakultäre Koord. für Allg. Ökologie, IKAÖ, Universität Bern  
Dick Andreas, Dr., Research&Science Policy Studies, SNF  
Diekmann Andreas, Prof., Professur für Soziologie, ETH Zürich  
Dobbertin Matthias, Dr., Wald-Ökosystemprozesse, WSL  
Edelmann Werner, Dr., Arbeitsgemeinschaft Bioenergie, Baar  
Edelmann Xaver, Dr., Materialien für Energietechnologien, EMPA St. Gallen  
Elsasser Hans, Prof., Geograph. Institut - Economic Geography, Universität Zürich  
Epiney Astrid, Prof., Inst. für Europa-Völker- und öffentl. Recht, Univ. de Fribourg  
Erhardt Andreas, PD Dr., Natur-, Landschafts- u. Umweltschutz (NLU), Univ. Basel  
Eugster Werner, PD Dr., Institut für Pflanzenwissenschaften, IPW, ETH Zürich  
Filippini Massimo, Prof., Centre for Energy Policy and Economics, ETH Zürich  
Fischlin Andreas, Dr., Institut für Integrative Biologie (IBZ), ETH Zürich  
Flückiger Jacqueline, Dr., Inst. of Biogeochemistry & Pollutant Dynamics, ETH Zürich  
Flückiger Walter, Prof., Institut für angew. Pflanzenbiologie (IAP), Schönenbuch  
Fröhlich Claus, Dr., PMOD/WRC, Davos  
Furger Markus, Dr., Labor für Atmosphärenchemie (LAC), PSI  
Gallmann Peter, Swiss bee research centre, Liebefeld, Agroscope Liebefeld-Posieux  
Ganser Daniele, Dr., Historisches Seminar, Universität Basel  
Gassmann Fritz, Dr., General Energy (ENE), PSI  
Germann Peter Fritz, Prof., Geograph. Institut - Bodenkunde, Universität Bern  
Gessner Mark O., Prof., Aquatic Ecology (ECO), EAWAG  
Gessner Wolfgang, Prof., Hochschule f. Wirtschaft, Fachhochschule Nordwestschweiz  
Gilgen Paul Werner, EMPA  
Götz Andreas, Abt. Gefahrenprävention, BAFU  
Greminger Peter, Dr., BAFU  
Grosjean Martin, Prof., Oeschger Centre and NCCR Climate, Universität Bern  
Gruber Nicolas, Prof., Inst. f. Biogeochemie u. Schadstoffdynamik, ETH Zürich  
Gutscher Heinz, Prof., Psychologisches Inst. - Sozialpsychologie, Universität Zürich  
Gutzwiller Felix, Prof., Ständerat, Inst. Sozial- u. Präventivmed. (ISPMZ), Univ. Zürich  
Gutzwiller Lukas, Dr., Abt. Energiewirtschaft (AEW), BFE  
Guzzella Lino, Prof., Institut für Automatik, ETH Zürich  
Gysel Martin, Dr., Labor für Atmosphärenchemie (LAC), PSI  
Häberli Christian, Dr., Climate Division, MeteoSchweiz  
Hächler Patrick, Forecasting Division, MeteoSchweiz  
Haldi Pierre-André, Dr., Collège du Management, EPF Lausanne  
Hallenbarter Dionys, Dr., Research Unit Forest Dynamics, Eidg. Forschungsanstalt WSL  
Hammer Thomas, Prof., Interfakultäre Koord. für Allg. Ökologie, IKAÖ, Univ. Bern  
Hänni Hans, Dr., SATW  
Heimo Alain, Dr., Climate Division, MeteoSchweiz  
Hendricks Franssen H.-J., Dr., Inst. für Umweltingenieurwissenschaften, ETH Zürich  
Hildesheimer Gabi, Öbu  
Hirsch Hadorn Gertrude, Prof., Departement Umweltwissenschaften, ETH Zürich  
Hoelzle Martin, Dr., Geograph. Institut - Physical Geography, Universität Zürich  
Hofer Peter, Dr., Mobility, Energy and Environment, EMPA  
Hoffmann Volker, Prof., Dept. Management, Technology, Econ. (D-MTEC), ETH Zürich  
Holliger Klaus, Prof., Institut de Géophysique, IG, Université de Lausanne  
Holm Patricia, Prof., Programm Mensch Gesellschaft Umwelt, MGU, Univ. Basel  
Huggenberger Peter, Prof., Geologisch-Paläontologisches Inst., Universität Basel  
Hügli Christoph, Dr., Air Pollution/Environmental Technology Laboratory, EMPA  
Hungerbühler Konrad, Prof., Inst. für Chemie- u. Bioingenieurwiss. ICB, ETH Zürich  
Huppenbauer Markus, Prof., Univ. Research Priority Program in Ethics, Univ. Zürich  
Imboden Dieter, Prof., Inst. für Biogeochemie und Schadstoffdynamik, ETH Zürich  
Jaccard Samuel, Dr., Departement Erdwissenschaften, D-ERDW, ETH Zürich  
Jäggi Maya, Dr., Labor für Atmosphärenchemie (LAC), PSI  
Jakob Martin, Dr., Centre for Energy Policy and Economics CEPE, ETH Zürich  
Jaquet Jean-Michel, Dr., UNEP GRID Europe, Université de Genève  
Joos Fortunat, Prof., Physikalisches Inst. - Klima- u. Umweltpophysik, Universität Bern  
Kaiser Tony, Dr., Direktor, ALSTOM (Schweiz) AG  
Kalberer Markus, PD Dr., Labor für Atmosphärenchemie (LAC), PSI  
Kaufmann Michael, Abt. Energieeffizienz und erneuerb. Energien (AEE), BFE  
Kaufmann-Hayoz Ruth, Prof., Interfakultäre Koord. für Allg. Ökologie, Universität Bern  
Kellenberger Tobias, Dr., Geograph. Institut - Remote Sensing Lab., Univ. Zürich  
Kiefer Thorsten, Dr., International Project Office (IPO), PAGES  
Kiener Eduard, Dr., 3038 Kirchlintach

Kienholz Hans, Prof., Geograph. Institut - Physische Geographie, Universität Bern  
 Kissling-Näf Ingrid, Dr., KTI , BBT  
 Klemm Veronika, Dr., Departement Erdwissenschaften, D-ERDW, ETH Zürich  
 Knoepfel Peter, Prof., Inst. Hautes Etudes en Admin. Publique, Univ. de Lausanne  
 Knutti Reto, Prof., Institut für Atmosphäre und Klima (IAC), ETH Zürich  
 Köllner-Heck Pamela, Dr., natural catastrophes / climate change, Swiss Re  
 Konzelmann Thomas, Dr., Climate Division, MeteoSchweiz  
 Körner Christian, Prof., Botanisches Institut - Pflanzenökologie, Universität Basel  
 Kozel Ronald, Dr., Abt. Hydrologie, BAFU  
 Kramers Jan Dirk, Prof., Institut für Geologie, Universität Bern  
 Kräuchi Norbert, Dr., Forschungsprog. Forstwirtschaft und Klimawandel, WSL  
 Krieger Ulrich, Dr., Institut für Atmosphäre und Klima (IAC), ETH Zürich  
 Kriesi Ruedi, Dr., Prod.+Technologie Comfosysteme, Zehnder Group Management AG  
 Kröcher Oliver, Dr., General Energy (ENE), PSI  
 Kull Christoph, Dr., OCC  
 Kunz Heike, Dr., Climate Division, MeteoSchweiz  
 Küttel Meinrad, PD Dr., Abt. Artenmanagement, BAFU  
 Kypreos Socrates, General Energy (ENE), PSI  
 Lang Herbert, Prof. em., Institut für Atmosphäre und Klima (IAC), ETH Zürich  
 Leibundgut Hansjürg, Prof., Institut für Hochbautechnik, ETH Zürich  
 Leuenberger Markus, PD Dr., Physikalisches Inst. - Klima- u. Umweltphysik, Univ. Bern  
 Leuzinger Sebastian, Dr., Botanisches Institut - Pflanzenökologie, Univ. Basel  
 Lichtensteiger Thomas, EAWAG  
 Lienert Judit, Dr., Siedlungswasserwirtschaft, SWW, EAWAG  
 Liniger Mark, Dr., Climate Division, MeteoSchweiz  
 Livingstone David, Dr., Wasserressourcen und Trinkwasser, W+T, EAWAG  
 Lohmann Ulrike, Prof., Institut für Atmosphäre und Klima (IAC), ETH Zürich  
 Luster Jörg, Dr., Soil Sciences, WSL  
 Lüthi Martin Peter, Dr., Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, VAW, ETH Zürich  
 Lys Jon-Andri, Dr., KFPE  
 Mäder Jörg, Dr., Institut für Atmosphäre und Klima (IAC), ETH Zürich  
 Mäder Paul, Dr., Research Institute of Organic Agriculture, FiBL  
 Maibach Markus, Infrastruktur-, Umwelt- und Wirtschaftsberatung, INFRAS  
 Maillard Eliane, Dr., MeteoSchweiz  
 Maisch Max, Prof., Geograph. Institut - Physical Geography, Universität Zürich  
 Marcolli Claudia, Dr., Institut für Atmosphäre und Klima (IAC), ETH Zürich  
 Marechal François, Prof., EPF Lausanne  
 Martini Rossana, Dr., Dépt. de Géologie et Paléontologie, Université de Genève  
 Marty Christoph, Dr., Schnee und Permafrost, WSL  
 Meier Ruedi, Dr., energie-cluster.ch, Bern  
 Messerli Bruno, Prof. em., Geograph. Institut - Physische Geographie, Univ. Bern  
 Messerli Paul, Prof., Geographisches Institut - Kulturgeographie, Universität Bern  
 Meusburger Hubert, Dr., Tiefbauamt, Baudepartement St. Gallen  
 Meyer Schweizer R., Prof. em., Institut für Soziologie, Universität Bern  
 Mohr Martin, Dr., Mobility and Environment, EMPA  
 Müller Adrian, Dr., Sozialökonomisches Institut, Universität Zürich  
 Müller Beat, Dr., Oberflächengewässer, SURF, EAWAG  
 Müller Hansruedi, Prof., Forschungsinstitut f. Freizeit u. Tourismus, Universität Bern  
 Müller Walter, VSM, Zürich  
 Nauser Markus, Abt. Klima, Ökonomie, Umweltbeobachtung, BAFU  
 Neu Urs, Dr., ProClim-  
 Nussbaum Stefan, Dr., SCNAT  
 Ohmura Atsumu, Prof. em., Institut für Atmosphäre und Klima (IAC), ETH Zürich  
 Parlow Eberhard, Prof., Inst. Meteorologie, Klimatologie u. Fernerk., Univ. Basel  
 Pauling Andreas, Dr., Climate Division, MeteoSchweiz  
 Persoz Francis, Prof., Institut de Géologie, Université de Neuchâtel  
 Pfeifer Hans-Rudolf, Prof., Inst. de Minéralogie et Géochimie, IMG, Univ. de Lausanne  
 Pfister Christian, Prof., Historisches Institut, Universität Bern  
 Philipona Rolf, PD Dr., Climate Division, MeteoSchweiz  
 Piffaretti Jean-Claude, Prof., Interlifescience, Massagno  
 Piguet Etienne, Prof., Institut de Géographie, Université de Neuchâtel  
 Plattner Gian-Kasper, Dr., Inst. f. Biogeochemie u. Schadstoffdynamik, ETH Zürich  
 Ramseier Dieter, Dr., Geobotanisches Institut, ETH Zürich  
 Rapp Regula, Dr., Institut für Sozial- und Präventivmedizin, Universität Basel  
 Rebetz Martine, Prof., Wald-Ökosystemprozesse, WSL  
 Reichler Claude, Prof., Faculté des Lettres, Université de Lausanne  
 Reimann Stefan, Dr., EMPA  
 Reinhardt Ernst, dipl. Forsting. ETH, 8872 Weesen  
 Rhyner Jakob, Dr., Warnung und Prävention, WSL  
 Richner Peter, Dr., Materials and Systems for Civil Engineering, EMPA  
 Rickenmann Dieter, Prof., Gebirgshydrologie und Wildbäche, WSL  
 Rickli Ralph, Dr., Meteotest, Bern  
 Rigling Andreas, Dr., Walddynamik, WSL  
 Rochaix Jean-David, Prof., Département de Biologie moléculaire, Univ. de Genève  
 Rossi Michel J., Dr., Lab. de pollution atmosphérique et du sol, EPF Lausanne  
 Rotach Mathias, PD Dr., Research + Development, Support Division, MeteoSchweiz  
 Roth Stefan, Technologiemanagement, Axpo Holding  
 Rudolf von Rohr Philipp, Prof., Inst. für Verfahrens- und Kältetechnik, ETH Zürich  
 Ruffieux Dominique, Dr., Climate Division, MeteoSchweiz  
 Sailer Giorgio, Dr., Cancellaria federale + Cantone Ticino, Bellinzona  
 Sartori Michel, Dr., Director, Musée de Zoologie  
 Scartezzini Jean-Louis, Prof., Lab. d'Energie Solaire et de Physique du Bâtiment, EPFL  
 Schädler Bruno, Dr., Abt. Hydrologie, BAFU  
 Schanz Ferdinand, Prof., Inst. f. Pflanzenbiologie, Limnologische Station, Univ. Zürich  
 Schär Christoph, Prof., Institut für Atmosphäre und Klima (IAC), ETH Zürich  
 Schaub Marcus, Dr., Wald-Ökosystemprozesse, WSL  
 Scheidegger Christoph, Prof., Biodiversität und Naturschutzbiologie, WSL  
 Schellenberger Andreas, Dr., Abt. Klima, Ökonomie, Umweltbeobachtung, BAFU  
 Scheurer Thomas, Dr., Kommission Alpenforschung, ICAS / ISCAR  
 Schläpfer Felix, Dr., Sozialökonomisches Institut, Universität Zürich  
 Schleiniger Reto, Prof., School of Management, Zürcher Hochschule Winterthur  
 Schleiss Anton, Prof., Laboratoire de constructions hydrauliques, EPF Lausanne  
 Schlüchter Christian, Prof., Institut für Geologie, Universität Bern  
 Schmidt Michael W. I., Prof., Geograph. Institut - Physical Geography, Univ. Zürich  
 Schneebeli Martin, Dr., Institut für Schnee- und Lawinenforschung, SLF, WSL  
 Schneider Andreas, Dr., Umweltprojekte/Beratung/Analytik, Carbotech AG  
 Schneider Gerhard, Dr., Nachdiplomkurse Umwelt, Hochschule f. Wirtschaft Fribourg  
 Scholz Roland W., Prof., Institut für Umweltentscheidungen (IED), ETH Zürich  
 Schwander Jakob, Dr., Physikalisches Inst. - Klima- und Umweltphysik, Univ. Bern  
 Schwikowski Margit, PD Dr., Labor für Radio- und Umweltchemie, PSI  
 Seiberth Christoph, Dr., Geschäftsleiter, Ökozentrum Langenbruck  
 Siegrist Franziska, Dr., Frasuk - Franziska Siegrist, Umwelt & Kommunikation  
 Sorg Jean-Pierre, Dr., Departement Umweltwissenschaften, ETH Zürich  
 Spehn Eva, Dr., Botanisches Institut - Pflanzenökologie, Universität Basel / GMBA  
 Springman Sarah, Prof., Institut für Geotechnik, IGT, ETH Zürich  
 Stähli Manfred, Dr., Gebirgshydrologie und Wildbäche, WSL  
 Stamm Christian, Dr., Umweltchemie, UCHEM, EAWAG  
 Steiner Daniel, PD Dr., Geograph. Institut - Physische Geographie, Univ. Bern  
 Stettler Jürg, Prof., Inst. f. Tourismuswirtschaft ITW, Hochschule f. Wirtschaft Luzern  
 Stetzer Olaf, Dr., Institut für Atmosphäre und Klima (IAC), ETH Zürich  
 Stocker Thomas, Prof., Physikalisches Inst. - Klima- u. Umweltphysik, Univ. Bern  
 Stöckli Werner E., Prof., Inst. f. Ur- und Frühgeschichte und Archäologie, Univ. Bern  
 Straehl Peter, Dr., Abt. Luftreinhaltung und NIS, BAFU  
 Strasser Reto Jörg, Prof., Laboratoire de Bioénergétique, Université de Genève  
 Stucki Samuel, Dr., General Energy (ENE), PSI  
 Sturm Patrick, Dr., Institut für Pflanzenwissenschaften, IPW, ETH Zürich  
 Suter Ulrich W., Prof., Institute of Polymer, ETH Zürich  
 Suter Werner, Dr., Ökologie der Lebensgemeinschaften, WSL

Sutter Christoph, Dr., South Pole Carbon Asset Management, Zürich  
Szidat Sönke, Dr., Departement für Chemie und Biochemie, Universität Bern  
Thalmann Philippe, Prof., ENAC INTER REME, EPF Lausanne  
Theurillat Jean-Paul, Dr., Centre Alpien de Phytogéographie, Fondation J.-M. Aubert  
Truffer Bernhard, PD Dr., Centre for Innovation Research, CIRUS, EAWAG  
Tulej Marek, Dr., General Energy (ENE), PSI  
Veit Heinz, Prof., Geograph. Institut - Physische Geographie, Universität Bern  
Vennemann Torsten, Prof., Inst. de Minéralogie et Géochimie, IMG, Univ. de Lausanne  
Veronesi Mauro, Dr., DACD - Istituto Scienze della Terra - IST, SUPSI  
Verrecchia Eric, Prof., Institut de Géologie, Université de Neuchâtel  
Vignati Davide, Dr., Institut F.-A. Forel, Université de Genève  
Vittoz Pascal, Dr., Département d'Ecologie et d'Evolution, Université de Lausanne  
Vogel Thomas, Prof., Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich  
Volken Esther, ProClim-  
Völkle Hansruedi, Prof., Radioactivité de l'Environnement, Radioprotection, BAG  
Vollenweider Pierre, Dr., Wald, WSL  
Volz Richard, Dr., Abt. Wald / Forêt / Forste, BAFU  
von Sury Felix, Dr., Executive Director, Intercooperation  
Vonder Mühl Daniel, Dr., Schweiz. Initiative für die Systembiologie, ETH Zürich  
Vuataz François D., Dr., Centre de recherche en géothermie, Univ. de Neuchâtel  
Vuilleumier Laurent, Dr., Climate Division, MeteoSchweiz  
Wachter Daniel, Prof., Sektion Nachhaltige Entwicklung, ARE  
Wanner Heinz, Prof., Geograph. Institut - Physische Geographie, Universität Bern  
Wasserfallen Antoine, Prof., EHL, Lausanne  
Wehrli Bernhard, Prof., Oberflächengewässer, SURF, EAWAG  
Weilenmann Martin, Dr., Abteilung Verbrennungsmotoren, EMPA  
Weissert Helmut, Prof., Geologisches Institut, ETH Zürich  
Widmer Alexander, Prof., Geobotanisches Institut, ETH Zürich  
Wiemken Andres, Prof., Botanisches Institut - Pflanzenphysiologie, Univ. Basel  
Wild Martin, Dr., Institut für Atmosphäre und Klima (IAC), ETH Zürich  
Wokaun Alexander, Prof., General Energy (ENE), PSI  
Wunderle Stefan, Dr., Geograph. Institut - Physische Geographie, Universität Bern  
Wüstenhagen Rolf, Prof., Inst. für Wirtschaft und Ökologie, Universität St. Gallen  
Yadigaroglu George, Prof., Institut für Energietechnik (IET), ETH Zürich  
Zemp Michael, Dr., Geograph. Institut - Physical Geography, Universität Zürich  
Zimmermann Markus, Dr., NDR Consulting GmbH, Thun  
Zimmermann Niklaus, Dr., Landnutzungsdynamik, WSL  
Zimmermann Willi, Prof., Departement f. Umweltwissenschaften - Forst, ETH Zürich  
Zobrist Jürg, Dr., Wasserressourcen und Trinkwasser, W+T, EAWAG  
Zuberbühler Andreas, Prof., Institut für Anorganische Chemie, Universität Basel  
Zweifel Roman, Dr., Wald-Ökosystemprozesse, WSL



## Vorwort

Die Schweiz und die Welt stehen vor grossen Herausforderungen im Energiebereich. Die Stabilisierung des Klimas erfordert eine rasche Abkehr von fossilen Energien. Zudem können die Förderkapazitäten des konventionellen Erdöls und von Erdgas bald nicht mehr erhöht werden bei gleichzeitig steigender Nachfrage. Es ist letztlich unerheblich, welches das dringlichere und schwerer wiegende Problem darstellt. Beide Aspekte verlangen ein dezidiertes Handeln, denn ein grundlegender Wandel in der globalen Energienutzung benötigt zumindest mehrere Jahrzehnte.

Die Denk-Schrift Energie der Akademien der Wissenschaften Schweiz (akademien-schweiz) gibt sowohl eine knappe Zusammenstellung der wesentlichen Fakten und Trends als auch konkrete Hinweise auf die entscheidenden Handlungsfelder.

Die akademien-schweiz unterstützen ausdrücklich die langfristige Vision des Bundesrates einer 2000-Watt-Gesellschaft. Das von den Autoren der Denk-Schrift formulierte Ziel, die Emissionen bis Ende des Jahrhunderts auf 1 Tonne CO<sub>2</sub> pro Kopf und Jahr zu senken kann allerdings nur dann erreicht werden, wenn nicht mehr als 500 Watt davon aus fossilen Quellen stammen. Für dieses Fernziel ist jedoch entscheidend, dass mit der Reduktion in vorhersehbaren und realistischen Schritten von mindestens 2% pro Jahr hier und heute begonnen wird. Dies ist nur zu erreichen durch eine konzentrierte Kombination der Förderung und Entwicklung erneuerbarer Energiequellen mit einer erheblichen

Steigerung der Effizienz beim Energieeinsatz. Jede Verzögerung bedeutet, dass später notwendige Schritte wesentlich schmerzvoller und kostspieliger ausfallen werden.

Die gelegentlich vorgeschlagene Idee, an Stelle von Massnahmen in der Schweiz die Reduktionsziele ganz oder vorwiegend durch Kauf von Emissionsrechten im Ausland zu erreichen, wird von den akademien-schweiz kritisch betrachtet. Insbesondere könnte dieses Vorgehen den Schwellen- und Entwicklungsländern das fatale Signal vermitteln, die Industrieländer seien unfähig oder nicht willens, ihre Treibhausgasemissionen zu senken.

Die anstehenden energiepolitischen Herausforderungen sollten von der Schweiz nicht als Bedrohung, sondern primär als Chance wahrgenommen werden. Mit ihrer hochentwickelten Industrie und einem hervorragenden Dienstleistungssektor ist die Schweiz prädestiniert für das Angebot ganzheitlicher Energiedienstleistungen, inklusive der Wartung von Anlagen. Auch hier wird es allerdings notwendig sein, dass bei uns die innovativen Lösungen entwickelt und auch angewandt werden.

Die Denk-Schrift Energie der akademien-schweiz will trotz ihrer acht Denk-Boxen nicht bloss zum Nachdenken und zur Diskussion anregen, sondern auch zu raschem und beherztem Handeln aufrufen.

Prof. Dr. René Dändliker  
Präsident der akademien-schweiz



## Zusammenfassung

Die Energieversorgung basiert derzeit global und in Europa zu mehr als 80% auf kohlenstoffhaltigen Brenn- und Treibstoffen. Vorwiegend durch deren Verbrennung ist die Konzentration des Treibhausgases CO<sub>2</sub> in den letzten 50 Jahren um 20% angestiegen. Die vom Menschen gemachte Zunahme an Treibhausgasen führt zu einer globalen Erwärmung. Die mittlere globale Oberflächentemperatur hat allein in den vergangenen fünfzig Jahren um 0,6 °C zugenommen. Das warme Klima ist in diesem Zeitraum, zumindest im Vergleich mit den letzten 1300 Jahren, aussergewöhnlich. Für die kommenden 100 Jahre sagen die Klimamodelle einen weiteren erheblichen *globalen Temperaturanstieg* voraus. Setzt die Welt weiterhin primär auf fossile Energiequellen, steigt die Temperatur bis 2100 um 3,4 °C (beste Schätzung) und danach rasch weiter. Bei weitgehender Abkehr von fossilen Energiequellen in den nächsten 50 Jahren wäre eine Stabilisierung bis zum Ende des Jahrhunderts auf +1,5 °C realisierbar. Der Temperaturanstieg ist auf dem Festland der Kontinente bedeutend grösser. Da CO<sub>2</sub> ein sehr langlebiges Treibhausgas ist, ist die bereits verursachte Klimaänderung über Generationen hinweg nicht korrigierbar. Emissionsreduktionen können jedoch die zukünftig erwartete Erwärmung dämpfen oder im Laufe dieses Jahrhunderts stoppen.

Erst seit kurzem sind Schätzungen der Schadens- und Anpassungskosten der Klimaänderung verfügbar. Diese Kosten könnten mit fortschreitender Klimaänderung erheblich wachsen und mit 5–20% des weltweiten BIP die Kosten zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen (etwa 1% des BIP) um ein Mehrfaches übersteigen. Erforderlich ist deshalb eine globale Reduktion der Treibhausgasemissionen

bis zum Ende dieses Jahrhunderts um etwa 70% des heutigen Ausstosses. Dieses Ziel ist nur erreichbar, wenn die Industrieländer ihren Ausstoss sehr bald und erheblich verringern und die Schwellenländer den Zuwachs ihrer Emissionen zunächst eindämmen und binnen zwei Jahrzehnten ihre Emissionen ebenfalls zu reduzieren beginnen. Bei einer absehbaren Weltbevölkerung von 9 bis 10 Mrd. müssten die Pro-Kopf-Emissionen auf etwa 1 Tonne CO<sub>2</sub> pro Jahr sinken. Zum Vergleich: Indien und China emittieren heute 1,2 bzw. 3,1 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Kopf und Jahr.

Die Emissionen der Schweiz betragen 1,5 Promille der globalen Emissionen. Rechnet man die «grauen Emissionen» hinzu, also den CO<sub>2</sub>-Ausstoss, der im Ausland bei der Produktion von Gütern entsteht, die für den Konsum in der Schweiz bestimmt sind, liegt die Zahl um 70% höher. Beim ethisch relevanten Mass der Pro-Kopf-Emissionen liegt die Schweiz mit 6 Tonnen (10,7 Tonnen mit Importen) deutlich über der langfristigen Zielgrösse von etwa 1 Tonne CO<sub>2</sub> pro Person und Jahr. Um bis 2100 eine Reduktion um einen Faktor 6 zu erreichen, müsste die Schweiz die CO<sub>2</sub>-Emissionen jährlich um mindestens 2% reduzieren. Diese Reduktionsanstrengungen bringen nicht nur globalen Nutzen, sondern haben auch direkte sekundäre Vorteile für eine Region oder ein Land wie die Schweiz.

Neben der Herausforderung durch die Klimaänderung besteht ein Risiko in der Energieversorgung wegen der regional ungleichen Verteilung der fossilen Ressourcen, die heute 80% der Primärenergie ausmachen. Besonders ausgeprägt ist das damit verbundene geopolitische Versorgungsrisiko beim Erdöl und Erdgas, welche mit einem Weltmarktanteil an den Primärenergieträgern von 55% die glo-

balen Energiemärkte nach wie vor dominieren. Die Abhängigkeit der bedeutendsten Volkswirtschaften von einigen wenigen, mehrheitlich politisch instabilen Regionen birgt erhebliche Risiken für gewaltsame Konflikte und gravierende Versorgungslücken.

Eine weitere *versorgungsseitige Herausforderung* kommt hinzu, wenn die weltweite Fördermenge an Erdöl und Erdgas zurückgeht. Fachleute erwarten das weltweite Fördermaximum konventionellen Erdöls zwischen 2015 und 2035 und von Erdgas in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts. Ab diesen Zeitpunkten wird das verfügbare Angebot von konventionellem Erdöl bzw. Erdgas abnehmen. Nimmt die Weltölnachfrage zu diesem Zeitpunkt noch zu, dann steigen der Erdöl- und der Erdgaspreis in erheblichem Umfang, weil die Ausweichmöglichkeiten bei der Nutzung kurz- und mittelfristig beschränkt sind. Das bereits stattfindende Ausweichen auf unkonventionelle Öle (Teersande und Ölschiefer) und besonders auf Kohle ist mit grossen zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen und anderen Umweltauswirkungen verbunden.

Um den beschriebenen Herausforderungen erfolgreich zu begegnen, sind tief greifende *Innovationen* und neue unternehmerische Lösungen in den folgenden Bereichen nötig: Verbesserung der Energieeffizienz im Bereich der Energiewandlung; Verminderung des Nutzenergiebedarfes durch Prozessverbesserungen und -substitutionen; verstärktes Recycling und verbesserte Einsatzeffizienz energieintensiver Materialien; Substitution von Werkstoffen und Materialien durch weniger energieintensive Werkstoffe.

Den *Verbrauch fossiler Energie* bis 2100 um einen Faktor sechs bei vergleichbaren Dienstleistungen zu reduzieren, ist die gesellschaftliche Herausforderung der kommenden Jahrzehnte. Diese Vision der Energie- und Materialeffizienz scheitert heute weniger an den technischen Möglichkeiten als an gesellschaftlichen Wertvorstellungen, Gewohnheiten und fehlenden politischen Anreizen. Im Bausektor sind bei Neubauten und Gebäudeerneuerungen je spezifische Energie-Standards (z. B. Passivhaus, Minergie-P) anzustreben.

Beim Verkehr müssen öffentlicher und Privatverkehr optimal kombiniert werden, und das Verkehrswachstum ist durch geeignete Raumplanung zu dämpfen. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Fahrzeugflotte sind im Einklang mit der EU vorerst auf weniger als 120 g/km zu reduzieren und mittelfristig auf bedeutend tiefere Werte. Bei grossen Gas- und Kohlekraftwerken für die Stromerzeugung müsste das CO<sub>2</sub> zwingend abgetrennt und gespeichert werden. Der Ersatz der alternden Kernkraftwerke durch beste Gaskraftwerke würde den CO<sub>2</sub>-Ausstoss um 18% erhöhen. Ein Verzicht auf die Kernenergie im Re-Investitionszyklus wird die Klimapolitik zusätzlich erschweren. Allerdings findet die Kernenergie wegen der Probleme, die sie mit sich bringt (Proliferation, Endlagerung, maximaler Störfall) bei einem Teil der Bevölkerung keine Akzeptanz. Das Ziel einer Emission von einer Tonne CO<sub>2</sub> pro Person und Jahr am Ende dieses Jahrhunderts erscheint erreichbar, wenn fossile Energieträger nur noch für die wichtigsten, am schwersten substituierbaren Nutzungen wie z. B. den Flugverkehr oder die Herstellung bestimmter Kunststoffe oder Rohstahl verwendet werden.

Die *erneuerbaren Energien* sind neben der Weiterentwicklung bestehender Energieformen und der effizienten Nutzung von Energie und Gütern allgemein eine der zentralen Antworten auf die Herausforderungen der zukünftigen Energieversorgung. Das technische Potenzial der erneuerbaren Energiequellen ist ausreichend zur Deckung des weltweiten Primärenergiebedarfs. Das ökonomisch realisierbare Potenzial ist derzeit noch bedeutend geringer. Die Nutzung der erneuerbaren Energien ist unter den heutigen Markt- und Preisbedingungen nur teilweise wirtschaftlich. Die Kosten für die Bereitstellung können bis zu zehnmals höher sein als bei der Nutzung konventioneller Energieträger. Eine Angleichung liesse sich unter anderem durch eine angemessene Berücksichtigung der mit der Nutzung verbundenen externen Kosten erreichen. Sie wird aber auch durch weitere Lern- und Skaleneffekte der neuen Technologien stattfinden. Gleichwohl wird die Nutzung einheimischer erneuerbarer Energiequellen in den nächsten Jahrzehnten den

Energiebedarf vor allem im Verkehr nur beschränkt decken können, weshalb die Schweiz weiter auf fossile Energieimporte angewiesen sein wird.

Die *effiziente Energienutzung und erneuerbare Energiequellen* müssen ökonomisch attraktiver werden. Deshalb sollten sich die externen Kosten stärker in den Energiepreisen widerspiegeln. Externe Kosten der Energieanwendung sind dabei nicht nur die Schadenskosten herkömmlicher Luftschadstoffe, die Risiko- und Folgekosten der Kernenergie und die externen Kosten der erneuerbaren Energiequellen, sondern auch die durch die Klimaänderung verursachten Anpassungs- und Schadenskosten und die Kosten zur Sicherung des Zugangs zu den Energieressourcen. Die Anpassungskosten an den Klimawandel sind heute noch wenig untersucht; sie werden aber für die Schweiz in den Gebirgskantonen, entlang von Gewässern im Mittelland, im Tourismus und in der Energiewirtschaft erheblich sein.

*Externe Kosten* können in verschiedener Weise berücksichtigt werden, etwa durch differenzierte Steuersätze oder die Einrichtung von Emissionshandelssystemen. Der Einbezug der externen Kosten in die Energiepreise muss flankiert werden durch strengere technische Standards, insbesondere im Bausektor und bei Massenprodukten, sowie durch Verpflichtungen und Anreize für Hausbesitzer für ihre Re-Investitionen. Mehr Investitionen in Energie- und Materialeffizienz sowie in erneuerbare Energieträger sind auch volkswirtschaftlich interessant, denn sie fördern die inländische Wertschöpfung und Beschäftigung und vermindern geopolitische Risiken für die Schweiz.

Die *Schweizer Wirtschaft* hat aufgrund ihres Know-hows, ihrer High-tech-Produkte, ihrer Inno-

vationskraft sowie ihrer hervorragenden Ausbildungsstätten einen erheblichen Einfluss auf zukünftige Entscheidungsträger in Industrie- und Schwellenländern. Voraussetzung für den Erhalt dieser Innovationskraft ist ein *hervorragender Bildungsstandort*. Die weltweit anerkannte Stellung der Schweizer Forschung gilt es zu wahren und zu stärken. Diese günstigen Voraussetzungen sollen langfristig durch eine fortschrittliche Energie- und Klimapolitik in der Schweiz abgesichert und zum wirtschaftlichen Vorteil genutzt werden.

Viele der denkbaren technischen und unternehmerischen Lösungsmöglichkeiten und deren Förderung durch politische Massnahmen werfen Fragen ihrer *gesellschaftlichen Akzeptanz* auf. Das Bewusstsein für die Notwendigkeit wirksamer energie- und klimapolitischer Rahmenbedingungen zur Vermeidung der antizipierten Schäden ist in der jüngsten Zeit zwar deutlich gestiegen. Dennoch bedarf es verstärkter Bildungs- und Informationsarbeit seitens des Staates, der Wissenschaft und der Zivilgesellschaft, um dieses Bewusstsein in dauerhafte Veränderungen des persönlichen Verhaltens und der politischen Rahmenbedingungen zu überführen.

An der Energie- und Klimathematik wird sich zeigen, wie wirkungsvoll das auf freier Marktwirtschaft basierende Gesellschaftssystem in der Lage ist, die selbst induzierten Fehlentwicklungen im Ressourcenverbrauch durch Veränderungen der Rahmenbedingungen zu korrigieren. Wegen des globalen Charakters braucht es wirksame, zum sofortigen Handeln anregende, *politische Rahmenbedingungen* auf allen Ebenen: Gemeinden, Kantone, Bund und multinational.



## Resumé

L'approvisionnement énergétique dans le monde et en Europe repose actuellement à raison de plus de 80% sur les combustibles et carburants carbonés. C'est avant tout leur combustion qui a fait monter la concentration du CO<sub>2</sub> de 20% pendant les cinquante dernières années. L'augmentation anthropique des gaz à effet de serre provoque un réchauffement de la planète. Rien que pendant les cinquante années passées, la température superficielle moyenne globale a augmenté de 0.6 °C. Le climat chaud de cette période est exceptionnel, du moins en comparaison des derniers mille trois cents ans. Et les modèles climatiques prévoient que la *température globale poursuivra son ascension* au cours des cent années à venir. Si le monde continue de miser principalement sur les sources d'énergie fossile, la température montera de 3.4 °C d'ici 2100 (meilleure estimation) et rapidement par la suite. Dans l'hypothèse d'un large abandon des énergies fossiles, deux scénarios, qui se distinguent par la date du démarrage de ce renoncement, concluent à une stabilisation à +1.5 °C à la fin du siècle (objectif de l'UE) ou à une hausse de 1.8 °C avec poursuite du réchauffement le siècle prochain. La montée de la température est nettement plus prononcée sur les continents. Le CO<sub>2</sub> étant un gaz à effet de serre de très longue durée de vie, les changements climatiques déjà causés se prolongeront pendant des générations sans pouvoir être corrigés. Néanmoins, des réductions des émissions permettront d'atténuer à l'avenir le réchauffement attendu ou de l'arrêter au cours de ce siècle.

Des estimations des coûts des dommages dus aux changements climatiques et d'adaptation à ces derniers ne sont disponibles que depuis peu. La progression des changements climatiques pourrait faire

croître très substantiellement ces coûts qui, en atteignant 5–20% du PIB mondial, dépasseraient alors d'un multiple les coûts d'évitement des émissions de gaz à effet de serre (environ 1% du PIB). C'est pourquoi il faut réduire les émissions globales actuelles de gaz à effet de serre d'à peu près 70% d'ici la fin du siècle. Cet objectif ne peut être atteint que si les pays industrialisés diminuent leurs rejets très bientôt et de façon drastique et que les pays émergents enrayent d'abord la croissance de leurs émissions et commencent également de les réduire d'ici deux décennies. Pour une population mondiale prévisible de 9 à 10 milliards d'habitants, les émissions par tête devraient être abaissées à environ 1 tonne de CO<sub>2</sub> par an. En comparaison, l'Inde émet aujourd'hui 1.2 et la Chine 3.1 tonnes de CO<sub>2</sub> par tête et année.

Les émissions de la Suisse représentent 1.5 pour mille des émissions globales. Ce chiffre est de 70% supérieur si l'on inclut également les « émissions grises », c'est-à-dire le CO<sub>2</sub> rejeté à l'étranger lors de la production de biens destinés à être consommés en Suisse. Par rapport aux émissions par tête, mesure significative sur le plan éthique, la Suisse se situe, avec 6 tonnes (10.7 tonnes si l'on inclut les importations), bien au-dessus de la cible à long terme de 1 tonne de CO<sub>2</sub> par personne et année. Pour atteindre une réduction d'un facteur 6 jusqu'en 2100, la Suisse devrait diminuer ses émissions de CO<sub>2</sub> au moins de 2% par an. Ces efforts de réduction ne sont pas utiles seulement à l'échelon global, mais ont aussi des avantages secondaires directs pour une région ou un pays comme la Suisse.

Au défi des changements climatiques s'ajoute un risque en matière d'approvisionnement énergétique du fait de la répartition régionalement inégale des

ressources fossiles, qui représentent aujourd'hui 80% de l'énergie primaire. Le risque géopolitique d'approvisionnement est particulièrement prononcé pour le pétrole et le gaz naturel, qui constituent 55% des agents énergétiques primaires et continuent ainsi de dominer sur les marchés mondiaux de l'énergie. Le fait que les économies les plus importantes dépendent de quelques régions, en majorité politiquement instables, recèle un risque considérable de conflits violents.

Un autre *défi en matière d'approvisionnement* se présentera lorsque la production mondiale de pétrole et de gaz naturel reculera. Selon les experts, le pic mondial de production du pétrole conventionnel est attendu entre 2015 et 2035, et celui du gaz naturel dans la seconde moitié de ce siècle. Par la suite, l'offre de pétrole conventionnel ou de gaz diminuera. Si la demande mondiale de pétrole présente alors encore une tendance à la hausse, le prix de l'or noir et du gaz montera en flèche, car les possibilités d'éviter l'utilisation de ces agents énergétiques seront limitées à court et moyen terme. L'exploitation, qui a déjà lieu aujourd'hui, du pétrole non conventionnel (sables et schistes bitumineux) et surtout du charbon comme options de rechange, entraîne d'importantes émissions supplémentaires de CO<sub>2</sub> et d'autres impacts sur l'environnement.

Pour faire face avec succès aux défis décrits ci-dessus, des *innovations* agissant en profondeur et de nouvelles solutions entrepreneuriales sont nécessaires dans les domaines suivants : l'amélioration de l'efficacité énergétique dans les conversions d'énergie ; la diminution du besoin d'énergie utile par l'amélioration et la substitution de processus ; le recyclage et l'utilisation efficace des matériaux à contenu énergétique élevé ; la substitution de matériaux par d'autres à plus faible contenu énergétique.

Réduire, à prestations comparables, la *consommation d'énergie fossile* d'un facteur six jusqu'en 2100 est le défi que la société devra relever au cours des prochaines décennies. La réalisation de cet objectif se heurte aujourd'hui moins aux possibilités techniques qu'aux valeurs et habitudes de la société et au manque d'incitations politiques. Le

secteur du bâtiment doit viser des standards énergétiques spécifiques (p.ex. maison passive, Minergie-P) pour les nouvelles constructions et les rénovations. En matière de mobilité, il faut combiner de façon optimale transports publics et privés et ralentir la croissance du trafic par des mesures d'aménagement du territoire. Les émissions de CO<sub>2</sub> du parc de véhicules doivent d'abord être abaissées en harmonie avec l'UE à moins de 120 g/km et plus tard à une valeur beaucoup plus basse. Le CO<sub>2</sub> produit par les grandes centrales électriques à gaz et à charbon devrait absolument être séquestré et stocké. Le remplacement des centrales nucléaires vieillissantes par des centrales au gaz naturel de dernière génération, signifierait une augmentation des émissions de CO<sub>2</sub> de 18%. Un renoncement à l'énergie nucléaire dans le cycle de réinvestissement aurait pour conséquence de rendre la politique climatique plus difficile. Toutefois, une partie de la population rejette l'énergie nucléaire à cause des risques auxquels elle est liée (prolifération, entreposage des déchets, accident majeur). L'objectif consistant à limiter les émissions de CO<sub>2</sub> à une tonne par personne et année d'ici la fin du siècle semble pouvoir être atteint si l'on ne fait appel aux agents énergétiques fossiles que pour les utilisations les plus importantes et les plus difficiles à substituer, comme p.ex. les transports aériens ou la fabrication de certaines matières synthétiques ou d'acier brut.

Les *énergies renouvelables* constituent, à côté du perfectionnement de formes d'énergie existantes et de l'utilisation efficace de l'énergie et des biens en général, l'une des réponses centrales aux défis du futur approvisionnement énergétique. Le potentiel technique des sources d'énergie renouvelable est suffisant pour couvrir le besoin mondial d'énergie primaire. Le potentiel économiquement réalisable est pour l'heure encore sensiblement inférieur. Le recours aux énergies renouvelables est certes rentable en partie dans les conditions actuelles du marché et des prix, mais leurs coûts considérés dans l'optique de l'économie d'exploitation sont en partie encore jusqu'à dix fois plus élevés que l'utilisation d'agents énergétiques conventionnels. Un rajustement pourrait être obtenu entre autres en tenant

mieux compte des coûts externes liés à celle-ci. Mais il se fera aussi par des effets d'apprentissage et d'échelle des nouvelles technologies. Malgré tout, le recours à des sources indigènes d'énergie renouvelable ne pourra couvrir, dans les transports notamment, le besoin d'énergie que de façon limitée pendant les prochaines décennies, raison pour laquelle la Suisse continuera d'être tributaire d'importations d'énergie fossile.

*L'utilisation efficace de l'énergie et les sources d'énergie renouvelable* doivent devenir plus attractives sur le plan économique. C'est pourquoi les coûts externes devraient être mieux répercutés sur les prix de l'énergie. Les coûts externes des applications énergétiques ne sont pas seulement les coûts des dommages causés par les polluants atmosphériques classiques, les coûts du risque et des conséquences de l'énergie nucléaire et les coûts externes des énergies renouvelables, mais aussi les coûts d'adaptation aux changements climatiques et des dommages causés par ces derniers et les coûts pour s'assurer l'accès aux ressources énergétiques. Les coûts d'adaptation aux changements climatiques sont encore peu étudiés aujourd'hui ; mais ils seront considérables en Suisse dans les cantons de montagne, le secteur du tourisme et l'économie énergétique.

Les *coûts externes* peuvent être pris en compte de différentes manières, par exemple par des taux d'imposition nuancés ou par la mise en place de systèmes de marché des émissions. L'inclusion des coûts externes dans les prix de l'énergie doit être accompagnée de standards techniques plus sévères, notamment dans le bâtiment et les produits de masse ; elle doit aussi comprendre des obligations et incitations en matière de réinvestissements par les propriétaires de maisons. Accroître les investissements dans l'utilisation efficace de l'énergie et des matériaux et dans les énergies renouvelables est

intéressant du point de vue de l'économie nationale, car cela favorise la création de valeur et l'emploi dans le pays et diminue les risques géopolitiques qu'il encourt.

*L'économie suisse* a, de part son savoir-faire, ses produits de haute technologie, son pouvoir d'investissement et ses remarquables établissements de formation, une influence considérable sur de futurs décideurs dans les pays industrialisés et émergents. Une condition pour maintenir cette capacité d'innovation est un haut niveau de formation. Il convient de préserver et renforcer la position, reconnue dans le monde entier, de la recherche suisse. Ces conditions favorables doivent être assurées à long terme en Suisse par une politique énergétique et climatique progressive et être utilisées à l'avantage de l'économie.

Nombre de solutions techniques et entrepreneuriales possibles et leur encouragement par des mesures politiques soulèvent la question de leur *acceptation par la société*. La prise de conscience que des *conditions-cadres* efficaces en politique énergétique et climatique sont nécessaires pour éviter les dommages prévisibles s'est certes nettement renforcée ces derniers temps. Il faut néanmoins que l'Etat, la science et la société civile intensifient leur travail de formation et d'information afin que cette prise de conscience se traduise en changements durables du comportement individuel et des conditions-cadres politiques.

La question de l'énergie et du climat révélera avec quel degré d'efficacité un système social basé sur l'économie de marché est en mesure de corriger, en modifiant les conditions-cadres, les évolutions négatives qu'il a lui-même induites en matière de consommation des ressources. Vu le caractère global de la question, il faut des conditions-cadres efficaces, incitant à agir dans l'immédiat, et à tous les niveaux : communes, cantons, Confédération, et à l'échelon multinational.



## Summary

Currently, carbon-based fuels account for more than 80% of energy supplies in Europe and worldwide. Due to the burning of these fossil fuels, concentrations of the greenhouse gas CO<sub>2</sub> have risen by 20% over the past 50 years. The anthropogenic increase in greenhouse gases leads to global warming. In the last 50 years only, the mean global surface temperature has risen by 0.6 °C. The warm climate observed over this period is unusual, at least compared with the previous 1300 years. For the next 100 years, climate models predict a substantial further *rise in global temperatures*. If the world continues to rely primarily on fossil energy sources, the temperature will rise by 3.4 °C (best estimate) by 2100, and rapidly thereafter. If fossil energy sources are largely abandoned, two hypothetical climate scenarios – based on different phase-out times – suggest stabilization at +1.5 °C (EU target) by the end of the century or an increase of 1.8 °C with further warming occurring in the next century respectively. In continental inland regions the temperature increase is considerably higher. Because CO<sub>2</sub> is a very persistent greenhouse gas, the climate change that has already arisen cannot be reversed for several generations. However, in the course of this century the expected future warming can be mitigated or stopped by emission reductions.

The damage costs associated with climate change and costs of adaptation measures have only recently been estimated. As climate change intensifies, these costs could increase to 5–20% of global GDP and thus be many times higher than the costs of avoiding greenhouse gas emissions (approx. 1% of GDP). For this reason, greenhouse gas emissions need to be reduced globally by about 70% below current

levels by the end of this century. This target is only achievable if industrialized countries cut their emissions dramatically and very rapidly. Furthermore, emerging economies need to limit the increase in emissions and then also start to reduce their emissions within the next two decades. Expecting a global population of 9–10 billion, per capita emissions would need to decrease to around 1 tonne of CO<sub>2</sub> per year. For comparison, India and China currently emit 1.2 and 3.1 tonnes of CO<sub>2</sub> per person per year respectively.

Switzerland's emissions currently account for 1.5 per mille of the global total amount. If "embedded" emissions are also included, i.e. CO<sub>2</sub> emissions abroad associated with the production of goods intended for consumption in Switzerland, the Swiss portion is 70% higher. Considering the ethically relevant measure of per capita emissions, Switzerland's current output of 6 tonnes per person per year (10.7 tonnes including imports) is clearly above the long-term target of around 1 tonne of CO<sub>2</sub>. To achieve a reduction to the sixth part of today's CO<sub>2</sub> emissions by 2100, in Switzerland an annual reduction by at least 2% would be required. For a region or country like Switzerland, these reduction efforts not only provide global benefits but also offer direct secondary benefits.

Apart from the challenges posed by climate change, risks related to energy supply arise from the unequal regional distribution of fossil fuel resources, which currently account for 80% of primary energy. The geopolitical supply risk is particularly distinct in the case of oil and gas, which continue to dominate global energy markets, with a 55% share of the primary fuel market. The dependency of major

economies on a small number of mostly politically unstable regions involves a substantial risk of violent conflicts.

An additional *supply-side challenge* will arise from a decline in global oil and gas production. Experts expect global production of conventional oil to peak between 2015 and 2035, and gas production to peak in the second half of this century. Thereafter, available supplies of conventional oil and gas will decrease. If global demand for oil is still rising at that point, then oil and gas prices will increase sharply, as alternative options remain limited in the short to medium term. Switchovers to non-conventional oil (tar sands and oil shale) and particularly coal, which already occur, give rise to substantial additional CO<sub>2</sub> emissions and other environmental impacts.

To successfully meet these challenges will require radical *innovations* and new corporate solutions in the following areas: improving the efficiency of energy conversion; reducing energy demand through improved and alternative processes; increasing recycling and improving efficiency in the use of energy-intensive materials; replacing materials and substances with less energy-intensive alternatives.

The challenge that society needs to face in the decades ahead is to reduce the *consumption of fossil energy* to the sixth part by 2100 while maintaining services at a comparable level. Today, this vision is thwarted not so much by a lack of technical possibilities as by society's ideals and habits, and a lack of political incentives. The construction sector should aim at adopting specific energy standards (e.g. passive house, "Minergie-P") for new buildings and renovations. In the transport sector, public and private modes need to be optimally combined, and traffic growth should be controlled by appropriate spatial planning. CO<sub>2</sub> emissions from private vehicles should firstly be reduced to less than 120 g/km in line with EU targets and later to much lower values. At gas- and coal-fired power plants, it would be essential to capture and sequester CO<sub>2</sub> emissions. To replace aging nuclear power plants by gas-fired power plants of the latest standard would increase

CO<sub>2</sub>-emissions by 18%. An abandonment of nuclear power plants will complicate climate policy additionally. However, nuclear energy does not find approval by part of the population due to the problems involved (nuclear proliferation, disposal, maximum hazardous incident). The goal of reducing CO<sub>2</sub> emissions to 1 tonne per person per year by the end of the century appears to be attainable if the use of fossil fuels is restricted to the most important applications where substitution is most difficult, e.g. aviation or the production of certain plastics or crude steel.

In addition to the further development of existing forms of energy and to the efficient use of energy and goods in general, *renewable energy resources* are one of the key answers to the challenges of securing future energy supplies. The technical potential of renewable energy resources is sufficient to meet global primary energy demands. At present, the economically practicable potential remains much lower. Although the use of renewables under current market and pricing conditions is in some cases already economically viable, from a business perspective the costs may still be up to ten times higher than with the use of conventional fuels. This difference could be reduced, for example, by giving due consideration to the external costs associated with consumption. However, the costs of the new technologies will also fall as the learning curve and economies of scale take hold. Even so, the extent to which energy demand, especially in the transport sector, can be met by domestic renewables will be limited in the coming decades, and Switzerland will consequently continue to be reliant on imports of fossil energy.

*Energy efficiency and renewable sources of energy* ought to become more attractive economically. Therefore, energy prices should reflect external costs comprehensively. External costs of energy use do not only include the costs of damage caused by classical air pollutants, the risk-related and legacy costs of nuclear power, and the external costs of renewables, but also the costs of damage and adaptation associated with climate change and the costs of securing access to energy resources. The costs of adapting to climate change have been little studied

to date. For Switzerland, they will be considerable in the mountainous cantons and in the tourism and energy sectors.

*External costs* can be taken into account in various ways, e.g. by differential taxation or the establishment of emission trading systems. The inclusion of external costs in energy pricing needs to be accompanied by more stringent technical standards, especially in the construction sector and for mass products, and also by obligations and incentives for property owners to reinvest. Investments in energy efficiency, material-use efficiency and in renewable energy resources are also economically attractive as they stimulate domestic value creation and employment and reduce geopolitical risks for Switzerland.

Because of its expertise, high-tech products, innovativeness and outstanding training facilities, *Swiss industry* exerts a considerable influence on future decision-makers in industrialized and emerging nations. A prerequisite for the maintenance of Switzerland's innovativeness is an *outstanding education sector*. The globally recognized status of Swiss research needs to be preserved and enhanced.

In the long term, this favourable environment should be reinforced by a progressive energy and climate policy in Switzerland and turned to economic advantage.

Many conceivable technical and corporate solutions – and political measures designed to promote them – raise questions of *acceptability to society*. Although recently the awareness of the need for an effective energy and climate policy framework to avoid anticipated damage has risen, increased education and communication efforts are required on the part of the state, the private sector and civil society in order to translate this consciousness into permanent changes in individual behaviour and the *political framework*.

The energy and climate issue will demonstrate to what extent a social system based on free-market economics is capable of correcting self-induced aberrations in resource use by changing the background conditions. Given the global nature of the problem, there is a need for an effective political framework stimulating immediate action at all levels – municipal, cantonal, federal and international.



## Herausforderungen der zukünftigen Energienutzung und -versorgung

Die Energiewirtschaft in Industrie-, Schwellen- und Entwicklungsländern steht längerfristig wegen ihrer starken Abhängigkeit von fossilen Energieträgern vor grossen Herausforderungen. Erstens verursacht die Verbrennung fossiler Energieträger eine Klimaänderung, die bereits eingesetzt hat. Zweitens ergeben sich geopolitische Risiken infolge der Konzentration der flüssigen und gasförmigen fossilen Ressourcen in politisch instabilen Gebieten, ihres Transports mit hochgradig verletzlichen Infrastrukturen und des markanten Ungleichgewichts in deren weltweiter Nutzung. Drittens werden die Energiepreise bei Erreichen des Fördermaximums von Erdöl und Erdgas in nicht abschätzbarem Ausmass ansteigen.

### Klimaänderung – eine der grössten Herausforderungen für die Energienutzung und -versorgung

---

Der Energieverbrauch basiert derzeit global und in Europa zu etwa 80% auf kohlenstoffhaltigen Brennstoffen. Ihre Verbrennung erhöht die Konzentration von CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre jährlich um etwa 2 ppm (parts per million). Diese Konzentration ist in den letzten 50 Jahren um 20% angestiegen und hat derzeit (Stand Frühjahr 2007) 384 ppm erreicht. *Durch diesen schnellen Konzentrationsanstieg ist die mittlere globale Oberflächentemperatur allein in den vergangenen 50 Jahren (1955–2005) um gut 0.6 °C angestiegen. Zu einer so schnellen Erwärmung ist es in den letzten 1000 Jahren nie gekommen.* Die Erwärmung ist je nach Region verschieden, im Allgemeinen über den Landmassen grösser und über den Ozeanen geringer. In der Schweiz beträgt die mittlere Temperaturerhöhung der letzten 50 Jahre 1.6 °C. Sie ist damit stärker als der Durchschnitt der Landmassen der Nord-Hemisphäre und vergleichbar mit der Erwärmung in Skandinavien.

Für die kommenden 100 Jahre sagen die *Klimamodelle* einen noch erheblicheren globalen Temperaturanstieg voraus (Abb. 1-1, Abb. 1-2). Setzt die Welt weiter primär auf fossile Energiequellen (Szenario A2), dann steigt die Temperatur bis 2100 gegenüber 1990 um 3.4 °C (beste Schätzung) und danach rasch weiter. Bei weitgehender Abkehr von fossilen Energiequellen bis zum Ende dieses Jahrhunderts ergibt das IPCC-Klimaszenario B1 eine globale Erwärmung von 1.8 °C bis 2100 mit einem weiteren Anstieg im 22. Jahrhundert. Gemäss den noch ambitionseren EU-Zielen soll gar eine Stabilisierung bei +1.5 °C in diesem Jahrhundert erreicht werden. Der Temperaturanstieg auf den Kontinenten ist bedeutend höher. Da CO<sub>2</sub> grösstenteils über Hunderte, aber teilweise bis zu Hunderttausenden von Jahren in der Atmosphäre verweilt, werden die Emissionsreduktionsanstrengungen erst eine sichtbare Klimawirkung zeigen, wenn die absoluten Emissionen gegenüber heute stark reduziert sind. Dies ist auch beim ambitionösen Szenario B1 erst in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts der Fall.

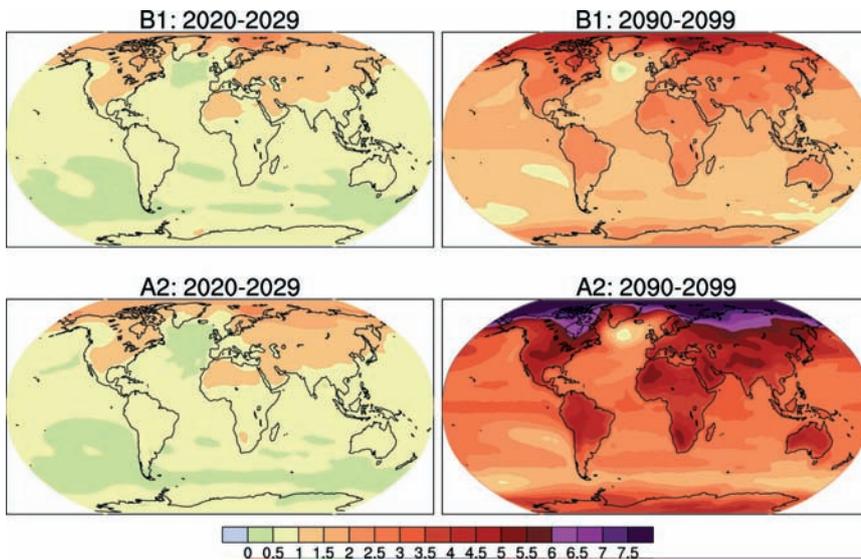


Abb. 1-1: Klimaerwärmung für zwei Emissionsszenarien gegenüber 1990 in °C: Szenario B1 (oben) setzt eine Abkehr von fossilen Energieträgern unter Nutzung bekannter und absehbarer Technologien und in weltweiter Kooperation voraus; Szenario A2 (unten) nimmt eine heterogene Welt mit regional orientierter Wirtschaft an (business as usual). In der Zeitperiode 2020–2030 unterscheiden sich die Auswirkungen trotz sofort eingeleiteten sehr unterschiedlichen Massnahmen kaum (linke Spalte). Diese zeigen ihre Wirkung erst in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts (rechte Spalte). [IPCC 2007a].

Mit der Klimaänderung verändern sich die Wetterlagen: Im Sommer wird sich das Azorenhoch häufiger auf ganz Europa ausdehnen, und im Winter werden sich die Zugbahnen der Tiefdruckgebiete nach Norden verlagern und eventuell verstärken [IPCC 2007a]. Die Klimaänderung wird auch die Niederschlagsmuster je nach Region verändern und Extremereignisse wie schwere Stürme oder Hitzewellen werden global an Häufigkeit zunehmen [IPCC 2007a]. Parallel dazu werden auch die Schadenskosten ansteigen (siehe unten Abschnitt Anpassungs- und Schadenskosten).

Klimaprojektionen für regionale und kleinräumige Gebiete wie die geographisch stark gegliederte Schweiz sind mit einigen Unsicherheiten behaftet. Die Modelle und physikalisches Verständnis legen aber eine Fortsetzung der beobachteten Trends nahe. Die mittleren Temperaturen werden in der Schweiz in allen Jahreszeiten steigen. Die mittlere Niederschlagsmenge wird im Winterhalbjahr zunehmen und im Sommerhalbjahr abnehmen [Occc/ProClim].

Ohne eine erhebliche Verminderung der Treibhausgasemissionen würde gegen Ende dieses Jahrhunderts ein durchschnittlicher Sommer in der Schweiz so warm (Abb. 1-3) und so trocken sein wie der Hitzesommer 2003 [Schär et al.;

Scherrer et al.]. Hitzewellen oder Dürren würden dann zur Normalität und im Atlantik schwere Hurrikane voraussichtlich bedeutend häufiger. Bei den Niederschlägen zeigen die Analysen in Mitteleuropa eine Zunahme der Extremwerte im Winterhalbjahr. Weniger klar ist die Situation im Sommer. Obwohl die Modelle eine markante Abnahme des mittleren Sommerniederschlags simulieren, nehmen Extremwerte nach den Modellrechnungen leicht zu [Occc/ProClim]. Eine Zunahme der Niederschlagsintensität und -extreme und ein Rückgang der Permafrostgebiete bergen das Potenzial für häufigere Hochwasser, Hangrutschungen und Murgänge [Occc/ProClim]. Der Wintertourismus in den Alpen käme in den tiefer gelegenen heutigen Skigebieten zum Erliegen, und ein grosser Teil der Gletscher dürfte bis Mitte des Jahrhunderts weitgehend weggeschmolzen sein [Zemp et al.]. Die geringere Speicherung von Wasser als Schnee wird den saisonalen Abfluss verändern mit höheren Werten im Frühling und geringeren Werten im Sommer.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den Energieverbrauch machen weltweit rund 60% aller menschenverursachten Treibhausgase aus. Wegen der Dominanz und langen Verweilzeit in der Atmosphäre ist das CO<sub>2</sub> von zentraler Bedeutung. Mit rund 20%

zweitwichtigstes Treibhausgas ist Methan, welches in der Landwirtschaft und der Massentierhaltung entsteht. Da Methan relativ kurzlebig ist, verliert es seine Wirkung, wenn längere Zeiträume als 100 Jahre betrachtet werden. In Zukunft dürften die Methanemissionen aus den auftauenden Permafrostböden das Klimaproblem jedoch verschärfen, da diese Emissionen nicht mehr zu stoppen sind. Darum ist die Reduktion der fossilen Energien am dringendsten.

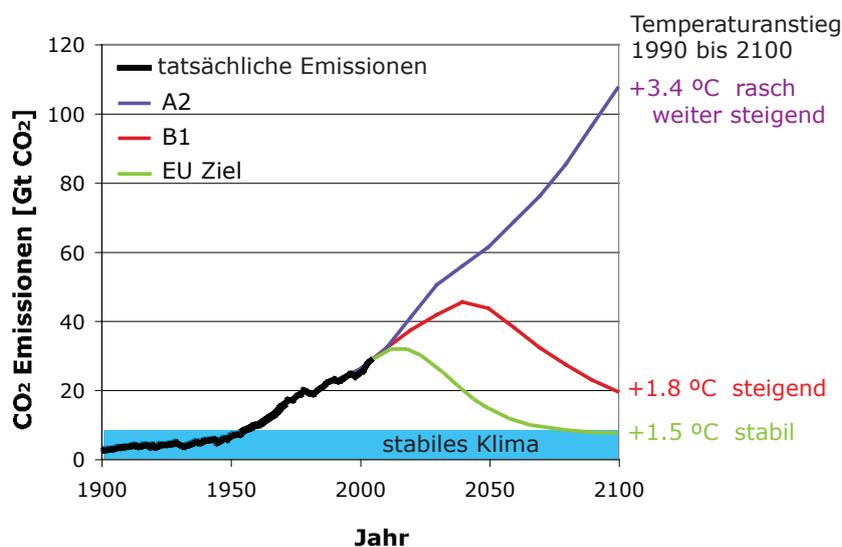
### Treibhausgase rasch senken

Um die vom Menschen verursachte Klimaänderung zu stoppen, müssen die weltweiten Treibhausgasemissionen um rund 70% des heutigen Ausstosses auf 10 Mrd. Tonnen CO<sub>2</sub> reduziert werden (Abb. 1-2). Die erreichte Gleichgewichtstemperatur – sei sie nun +2 °C oder +6 °C – ist primär abhängig davon, wie schnell die Emissionen auf dieses Niveau abgesenkt werden. Um die von der EU maximal erlaubten +1.5 °C (resp. +2 °C gegenüber vorindustriellen Temperaturwerten) nicht zu übersteigen, müssten die globalen Emissionen bereits ab etwa 2015 zu sinken beginnen (entspricht Kategorie I in [IPCC 2007c]). Die Emissionen allein der Industrieländer mit etwa 1 Mrd. Menschen lagen im

Jahr 2003 mit 16 Mrd. Tonnen CO<sub>2</sub> weit über den erlaubten Emissionen. Auch die Schwellen- und Entwicklungsländer stiessen 2003 11 Mrd. Tonnen CO<sub>2</sub> aus mit rasch steigender Tendenz, aber verursacht von rund 5.5 Mrd. Menschen. Selbst wenn die jährlichen weltweiten Emissionen bei knapp 27 Mrd. Tonnen CO<sub>2</sub> (2003) stabilisiert werden könnten, was bis jetzt nicht der Fall ist, würde die mittlere bodennahe Temperatur in diesem Jahrhundert global um etwa 2 °C und über den Kontinenten um mehr als 3 °C zunehmen und danach rasch weiter ansteigen.

Die erforderlichen drastischen Emissionsreduktionen in den Industrieländern müssen daher ergänzt werden durch Effizienz steigernde Massnahmen und eine maximale Nutzung der erneuerbaren Energien auch in den Schwellen- und Entwicklungsländern. Die in vielen dieser Länder intensive Sonneneinstrahlung und guten Windverhältnisse bedeuten eine Chance, durch Nutzung der Sonnen- und Windenergie das Zeitalter der Nutzung fossiler Energien zu verkürzen. Es ist unakzeptabel, wenn veraltete Technologien, wie heute oft praktiziert, in diese Länder verschoben werden. Der Aufbau einer sicheren und möglichst CO<sub>2</sub>-freien Energieversorgung und -nutzung stellt daher eine der grossen Herausforderungen der globalen Energiewirtschaft dar.

Abb. 1-2: Um die Temperatur zu stabilisieren, müssten die Emissionen global um etwa 70% auf 10 Mrd. Tonnen CO<sub>2</sub> reduziert werden. Dies wäre unter Nutzung bekannter und absehbarer Technologien und in weltweiter Kooperation machbar. Bei Emissionsverlauf gemäss Szenario B1 steigt die Temperatur bis 2100 um 1.8 °C (beste Schätzung), gemäss EU Ziel um 1.5 °C (entspricht IPCC Szenario I). Die heutige weltweite Emissionszunahme ist eher noch ausgeprägter, als in Szenario A2 (siehe Glossar) dargestellt [ProClim, nach IPCC 2007a,c].



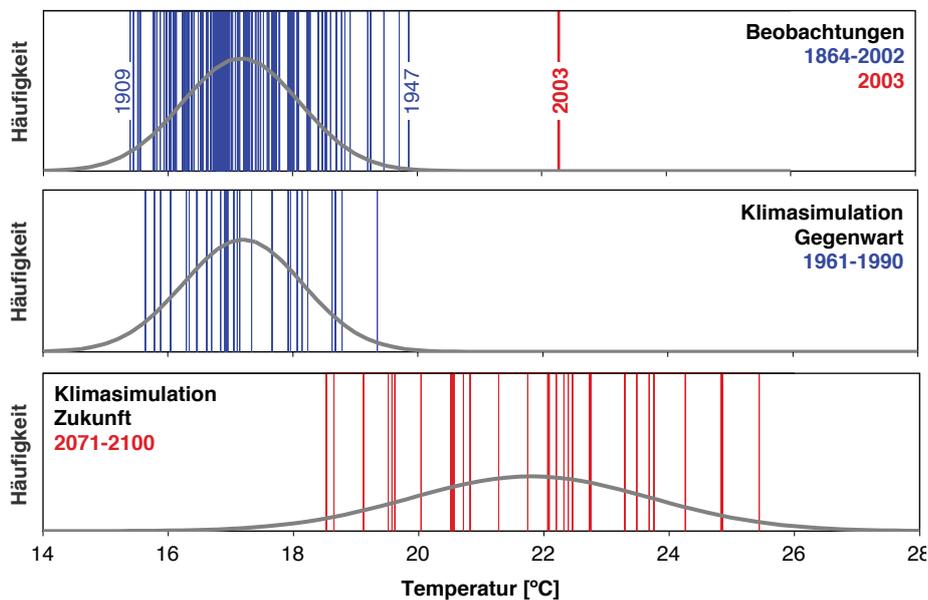


Abb. 1-3: Mittlere jährliche Sommer-temperaturen (vertikale Striche) und daraus berechnete Wahrscheinlichkeitsverteilung (Gausskurve). Oben: Beobachtete Werte (1864–2002); Mitte: Resultat eines regionalen Klimamodells für die Schweiz für heutige Verhältnisse (1961–1990); Unten: Resultat für die Jahre 2071–2100 unter der Annahme, dass weiterhin primär auf fossile Energieträger gesetzt wird (IPCC Szenario A2). Ein durchschnittlicher Sommer entspricht in 100 Jahren etwa dem Hitzesommer 2003 und die Variabilität von Sommer zu Sommer nimmt zu [Schär et al.].

### Anpassungs- und Schadenskosten wegen der Klimaänderung

In den letzten Jahren sind die Schadenskosten durch Unwetter weltweit deutlich angestiegen [EEA, Swiss Re]. Da weitere Faktoren wie die Konzentration in Ballungsräumen, der ständig zunehmende Kapitalstock und die Versicherungsdichte hinzukommen, ist es nicht einfach, den Zusammenhang zwischen steigenden Schadenskosten und Klimaänderung statistisch nachzuweisen. Besonders für einen kleinen Raum wie die Schweiz lassen sich zudem aufgrund der Seltenheit von Extremereignissen keine eindeutigen Trends ableiten. Das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) rechnet damit, dass die weltweiten Schäden besonders bei grosser Änderungsgeschwindigkeit des Klimas rasch anwachsen [IPCC 2007b, c].

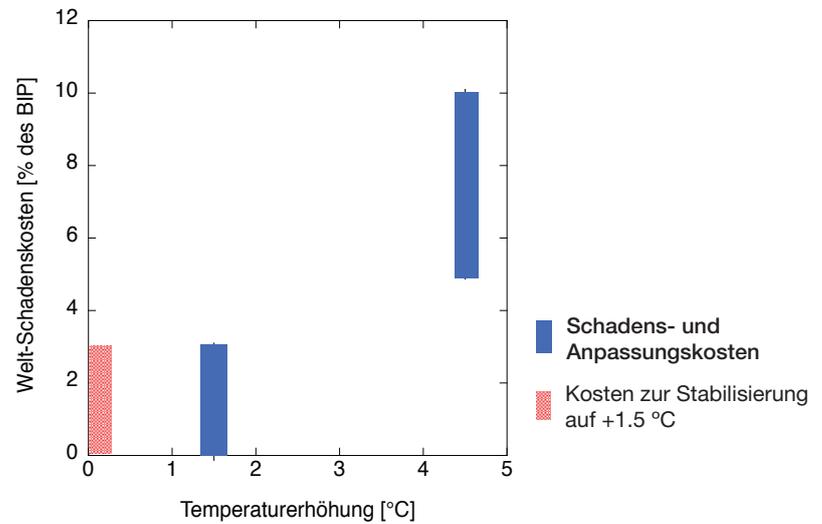
Berechnungen mit regionalen Klimamodellen und dem Swiss Re Schadenmodell bestätigen die aufgrund der Unwetter-Beobachtungen vermutete klimawandelbedingte Zunahme der Schäden [Schwierz et al.]. Bis zum Ende des Jahrhunderts dürften gemäss diesen Modellrechnungen die Schadenskosten allein durch Winterstürme in Europa von heute 4.1 Mrd. Fr. pro Jahr im Schnitt

um mehr als 40% und in Norddeutschland um mehr als 100% ansteigen.

Analysen der globalen Kostenentwicklung (Abb. 1-4) zeigen, dass eine Stabilisierung der globalen Temperatur bei +1.5 °C zwischen 0% und 3% des weltweiten Bruttoinlandprodukts (BIP) kosten würde [IPCC 2007c]. (Der Stern Report, die EU und IPCC 2007c geben den Anstieg gegenüber vorindustrieller Temperatur an, d.h. mit +2 °C.) Jeder Verzug erhöht die Kosten für die Erreichung des +1.5 °C Ziels, da die Emissionen später viel rascher gesenkt werden müssen.

Die Schadens- und Anpassungskosten bei einem auf +1.5 °C stabilisierten Klima werden auf weniger als 3% des BIP geschätzt [Stern]. Ohne konsequente Emissionsreduktionen könnten die globalen Temperaturen +4.5 °C überschreiten und dürften dann 5–10% des globalen BIP an Schadenskosten verursachen [Stern]. Falls überraschende Ereignisse eintreten, wie zum Beispiel eine rasche Abschwächung des Golfstroms, oder nicht monetäre Schäden einbezogen werden, könnten die Schadenskosten für +4.5 °C auf 20% des BIP anwachsen (in Abb. 1-4 nicht eingezeichnet). Zum Vergleich: Das ganze Energiesystem eines Industriestaates kostet etwa 8% des BIP.

Abb. 1-4: Geschätzte Schadens- und Anpassungskosten (blau) in Abhängigkeit vom Wert, bei dem die Temperatur stabilisiert werden kann. Die Kosten wachsen rasch, wenn es nicht gelingt, die globale Temperaturzunahme im Bereich von 1.5–2 °C zu halten. Die Kosten für die Temperaturstabilisierung (rot) sind mit 0% bis 3% des BIP vergleichsweise gering [Stern 2006, IPCC 2007c].



Die globalen Emissionsreduktionen senken primär die Schadens- und Anpassungskosten. Sie haben auch *zusätzliche Nutzen*, die nicht direkt das Klima betreffen [OcCC 2000]. Zusätzliche Nutzen ergeben sich zum Beispiel in der Gesundheit: Die Luftverschmutzung und die damit verbundenen Herz-/Kreislauf- und Atemwegserkrankungen und deren Kosten nehmen ab. Bei einer Mobilitätsverlagerung vom Individualverkehr auf den öffentlichen Verkehr werden sich auch verkehrsbedingte Verletzungen verringern, sofern die Fahrkilometer des gesamten motorisierten Verkehrs tatsächlich abnehmen.

### In 20 bis 40 Jahren absehbare Anpassungskosten für die Schweiz

Die Schweiz hat eine lange Tradition der Anpassung an Naturgefahren. Sie hat auch die finanziellen Mittel und das technische Know-how, um die in den nächsten Jahrzehnten absehbaren Anpassungen und Auswirkungen meistern zu können [OcCC/ProClim]. Die Kosten für die Anpassung von Gebäuden oder zentralen thermischen Kraftwerken sind jedoch beträchtlich, da diese für eine Lebensdauer von mehreren Jahrzehnten erstellt werden. Während der Heizenergiebedarf bis 2050 im Winter abnimmt (-15% gegenüber 1984–2004), steigt der

Kühlbedarf um etwa 150% im Sommer [Aebischer et al]. Damit steigen die Anforderungen an die Bauhülle (z. B. passiver Sonnenschutz), der Bedarf an Ventilation und Klimatisierung von Gebäuden sowie der Bedarf an Kühlung thermischer Kraftwerke. Die Anpassungskosten für den Überhitzungsschutz von bereits bestehenden Büro- und Nutzbauten werden für die Schweiz für die kommenden 30 Jahre auf etwa 1 Mrd. Fr. pro Jahr oder 0.2% des BIP geschätzt [Jakob et al].

Für das Energiesystem der Schweiz sind die Anpassungskosten an die Klimaerwärmung noch kaum untersucht. Erste Abschätzungen zeigen, dass der gesamte Strombedarf hauptsächlich wegen vermehrtem Einsatz von Klima- und Kälteanlagen bis 2035 um gut 4% anwachsen könnte [BFE a, b]. Die Laufwasserkraftwerke werden wegen mangelnder oder extremer Wasserführung der Flüsse weniger Elektrizität erzeugen. Überlandleitungen und andere exponierte Strukturen müssten laufend überprüft werden in Bezug auf neue Gefährdungen, wie z. B. extremere Stürme oder Hanginstabilitäten als Folge des tauenden Permafrosts.

Kurzfristig kann die Schneesicherheit in Wintersportorten dank Investitionen in Schneekanonen (Investitionskosten von 1 Mio. Fr. je km Piste plus 50 000 Fr. Betriebskosten pro Jahr) gewährleistet werden [CIPRA]. Dies gibt den Tourismusorten Zeit



für die Anpassung an neue Zielgruppen. In tieferen Lagen (unter 1500 m) könnte das Ende des Wintertourismus bald erreicht sein [OcCC/ProClim]. Anpassungskosten umfassen auch den Schutz vor Hangmuren und die neue Verankerung von Anlagen in Permafrostzonen (Lawinerverbauungen, Masten und Bauwerke). Die veränderten Risiken haben steigende Versicherungsprämien und höhere Selbstbeteiligungen bei Naturereignissen zur Folge.

### Geopolitische Risiken des Energiebedarfs und der Energieversorgung

Neben der Herausforderung durch die Klimaänderung bestehen geopolitische Risiken aufgrund des immensen Ungleichgewichts im Pro-Kopf-Energieverbrauch zwischen den Ländern weltweit und aufgrund der geographischen Verteilung der fossilen Ressourcen.

**DENK-BOX 1:** Die Schadens- und Anpassungskosten der Klimaänderung werden mit Fortschreiten von Ausmass und Geschwindigkeit der Änderung erheblich zunehmen. Sie dürften ab 2050 die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten um ein Mehrfaches übersteigen, welche bei sofortigem Handeln auf wenige Prozent des globalen Bruttoinlandsprodukts (BIP) beschränkt werden können. Erforderlich ist dazu eine globale Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen bis zum Ende dieses Jahrhunderts von heute 27 Mrd. Tonnen CO<sub>2</sub> um rund 70% auf 10 Mrd. Tonnen. Dieses Ziel ist nur erreichbar, wenn die Industrieländer ihren Ausstoss bald deutlich reduzieren und die entsprechenden Technologien weltweit verfügbar gemacht und eingesetzt werden.

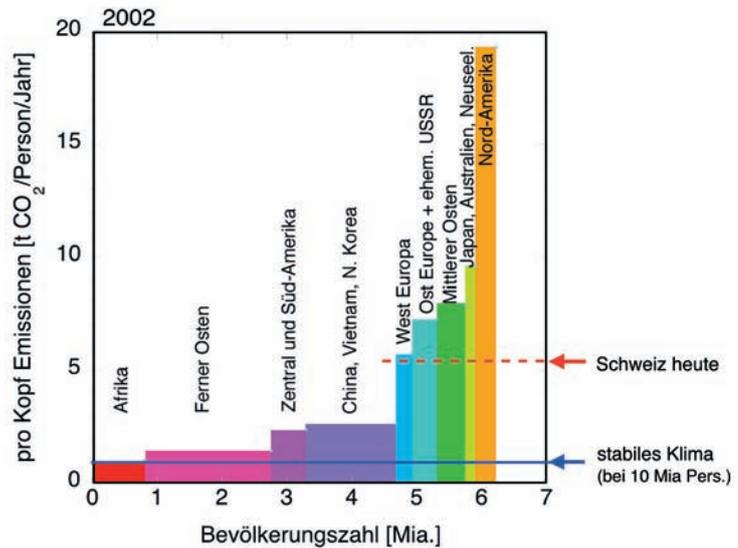
### Geopolitische Risiken des unterschiedlichen Pro-Kopf-Energieverbrauchs

Der Pro-Kopf-Energieverbrauch ist heute in der Schweiz, in Europa und in anderen entwickelten Volkswirtschaften, aber auch in den Grossstädten der Schwellenländer sehr hoch. Derzeit benötigen die europäischen Länder jährlich 170 GJ (siehe Glossar) pro Kopf Primärenergie hauptsächlich in Form von Erdöl, Erdgas, Kohle, Wasser- und Kernkraft (ohne Berücksichtigung des internationalen Luftverkehrs); dies entspricht einem Heizöl- bzw. Benzinverbrauch von 4700 Litern pro Kopf und Jahr. 80% des Energieverbrauchs werden durch fossile Energieträger gedeckt (Schweiz 58% von 160 GJ/Person/Jahr).

Weit mehr als die Hälfte der Menschheit muss andererseits mit sehr wenig Energie auskommen (Abb. 1-5). Etwa 1.6 Mrd. Menschen haben nicht einmal Zugang zu elektrischer Energie. Da die Bevölkerung in den am wenigsten entwickelten Regionen (primär in Afrika) mit sehr geringem Pro-Kopf-Energieverbrauch am rasantesten wächst, ist es dringend, dass das Bevölkerungswachstum durch eine schnelle Verbesserung der Lebensbedingungen vermindert wird. Diese Verbesserung ist an die Verfügbarkeit einer minimalen Energiedienstleistung gekoppelt. Die Schwellen- und Entwicklungsländer werden daher einen steigenden Anteil am Weltenergieverbrauch beanspruchen.

Diese Entwicklung darf aber keinesfalls nach dem gleichen Muster verlaufen wie in den Industrieländern, da alle Weltregionen mit Ausnahme Afrikas bereits heute über dem angestrebten Emissionsziel von 1 Tonne CO<sub>2</sub> pro Person und Jahr liegen (Abb.1-5). Erstens würde sich dadurch die globale Klimaproblematik rasch verschärfen. Zweitens sind zahlreiche Schwellen- und Entwicklungsländer von den Folgen der Klimaänderung (z. B. Wasserverknappung) besonders stark betroffen. In Kombination mit der geringen Lebensqualität könnte dies zu erheblicher Migration, Verteilungskonflikten zwischen Verursachern und Betroffenen der Klima-

Abb. 1-5: Pro-Kopf-CO<sub>2</sub>-Emissionen aus fossilen Energiequellen nach Weltregionen. Der CO<sub>2</sub>-Ausstoss einer Region entspricht der jeweiligen Fläche. Zum Vergleich: Die Schweiz emittiert pro Person und Jahr 6 Tonnen CO<sub>2</sub>, China 3.1 Tonnen CO<sub>2</sub> (Bevölkerung 1.3 Mrd.) und Indien (Bevölkerung 1.05 Mrd.) 1.2 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Person und Jahr. Zur Temperaturstabilisierung müssen die CO<sub>2</sub>-Emissionen bei 10 Mrd. Weltbevölkerung langfristig auf etwa 1 Tonne CO<sub>2</sub> pro Person und Jahr (entspricht 500 Watt thermischer Energie aus fossilen Quellen) gesenkt werden (ProClim, basierend auf [ORN, UN]).



änderung sowie Wachstumseinbussen für die Weltwirtschaft führen. Der Wissenschaftliche Beirat der deutschen Bundesregierung WBGU befürchtet, dass ein ungebremster Klimawandel zu einem der zentralen politischen Konflikte des 21. Jahrhunderts werden könnte [WBGU].

### Geopolitische Risiken der Energieversorgung

Ein versorgungsseitiges Risiko besteht in der regional ungleichen Verteilung der fossilen Ressourcen. Besonders ausgeprägt ist diese beim Erdöl, welches mit einem Weltmarktanteil an den Primärenergieträgern von gut einem Drittel die globalen Energiemärkte nach wie vor dominiert. Knapp 60% der global nachgewiesenen Erdölreserven befinden sich im Mittleren Osten, über ein Drittel davon allein in Saudi-Arabien. Die OPEC-Länder vereinigen 70% der Erdölreserven auf sich. Die traditionellen Verbraucherzentren USA, Europa und Japan verfügen dagegen über ebenso ungenügende eigene Reserven wie China, Indien und Brasilien, die zudem ein schnelles Verbrauchswachstum aufweisen.

Diese Abhängigkeit der bedeutendsten Volkswirtschaften von einigen wenigen, mehrheitlich politisch instabilen Regionen birgt erhebliche Risiken. Konflikte in diesen Regionen könnten die weltweite Ver-

sorgungssicherheit substantiell beeinträchtigen, vor allem dann, wenn ähnlich wie während der Suezkrise 1956 durch Sabotage oder Krieg wichtige Pipelines zerstört oder Transportrouten unpassierbar werden (Suezkanal, Strasse von Hormuz, Strasse von Malakka). Als Reaktion auf die Gefahr solcher Konflikte wird die Sicherung des Zugangs zu Ressourcen zunehmend zu einer Triebfeder des aussenpolitischen Handelns derjenigen, die durch ihren Lebensstil in besonderem Masse davon abhängig sind.

Gewaltsame Konflikte wie die Kriege im Irak oder im Sudan, ähnlich wie die Verstaatlichung von Energieschätzen in Russland oder Venezuela, können als Vorboten eines intensivierten Kampfes um Energiequellen verstanden werden, wobei das Einhalten von Umweltnormen (Russland) oder der Kampf gegen den Terrorismus (Irak) als Gründe vorgeschoben werden.

Ein ähnliches Bild wie beim Erdöl ergibt sich beim Erdgas, welches ebenfalls auf wenige Regionen konzentriert ist und 20% Weltmarktanteil an den Primärenergieträgern hat. 42% der Erdgasreserven befinden sich im Mittleren Osten, 32% in den ehemaligen Republiken der Sowjetunion.

Weniger ausgeprägt sind die geopolitischen Risiken dagegen bei der Kohle. Hier sind die Reserven gleichmässiger verteilt, und die grossen Ver-

braucherländer verfügen ebenfalls über namhafte Reserven. Durch Nutzung von Kohle könnte somit das geopolitische Risiko gemindert werden, das Klimaproblem würde hingegen verschärft, da die CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Energieeinheit für Kohle etwa doppelt so gross sind wie für Erdgas.

Die Reserven des für Kernkraftwerke benötigten Urans konzentrieren sich zur Hauptsache auf Australien, Kanada und die USA. Damit sind die geopolitischen Risiken relativ gering und Kernbrennstäbe sind gut lagerbar. Allerdings ist auch Uran mit heutigen Reaktoren und heutigem Verbrauch zeitlich ähnlich beschränkt wie Erdgas. In Entwicklung stehende Kernkraftwerke der nächsten Generation (Generation IV) könnten das Uran um bis zu zwei Grössenordnungen besser ausnutzen.

**DENK-BOX 2:** Die günstige und weitgehend unbeschränkte Verfügbarkeit von Erdöl im 20. Jahrhundert hat die Industriegesellschaft in eine gefährliche Abhängigkeit gebracht. Die Problematik dieser Abhängigkeit vergrössert sich mit dem wachsendem Energiehunger der Schwellenländer, die bereits heute pro Kopf über dem Welt-Emissionsziel von 1 Tonne CO<sub>2</sub> pro Person und Jahr liegen. Überdies ist das Fördermaximum des regional ungleich verteilten Erdöls bald erreicht. Daraus ergeben sich Risiken im Hinblick auf den Anstieg der Energiepreise, die Versorgungssicherheit und gewaltsame Konflikte. Es sind dies weitere Gründe, warum ein effizienterer Einsatz fossiler Energien und deren Ersatz durch erneuerbare Energien dringlich sind.

## Das Energiepreisisiko bei Erreichen des Fördermaximums von Erdöl

Eine weitere versorgungsseitige Herausforderung ergibt sich, wenn das weltweite Fördermaximum konventionellen Erdöls – der sogenannte Peak Oil – erreicht wird. Für die Nordsee war dieser Zeitpunkt im Jahre 1999, für die USA 1970. Mehrheitlich wird erwartet, dass der Peak Oil irgendwann zwischen 2015 und 2035 erreicht wird (vgl. Abb. 1-6). Ab diesem Zeitpunkt wird das verfügbare Angebot von konventionellem Erdöl abnehmen [BP]. Der Zeitpunkt selbst ist allerdings stark abhängig von der Technologieentwicklung bei der Exploration und Förderung und diese von den Investitionen der Erdölindustrie, welche wiederum eine Funktion des Marktpreises für Erdöl sind.

Besonders die Kunststoffherstellung, der Luftverkehr, und in geringerem Masse der Strassenverkehr können auf Erdöl nicht verzichten. Der Abbau von nicht-konventionellem Erdöl (zum Beispiel Ölsande in Kanada) ist nur zu höheren Kosten möglich und bringt zusätzliche Umweltbelastungen mit sich. Nicht-konventionelles Erdöl wird vermutlich die zurückgehende Förderung konventionellen Erdöls nach Erreichen des Peak Oil nur für wenige Jahre kompensieren können. Gleichwohl werden noch über Jahrzehnte fossile Ressourcen zur Verfügung stehen, da noch gewaltige Mengen an Kohle sowie andere bis jetzt wenig genutzte fossile Brennstoffe (Bsp. Methanclathrate) vorhanden sind.

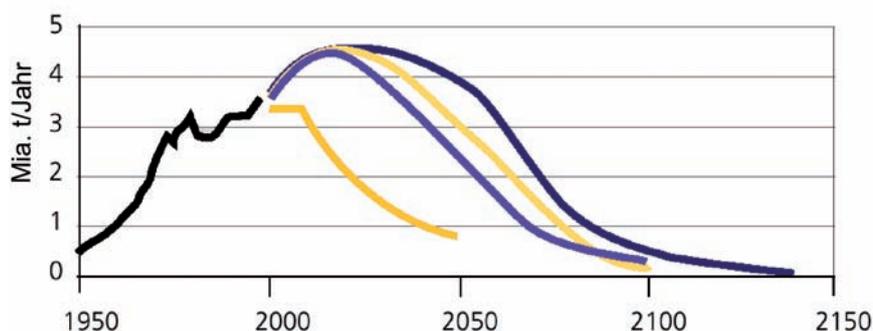


Abb. 1-6: Förderung von konventionellem Erdöl bis heute (schwarz) und Expertenschätzungen für mögliche Entwicklungen (farbige Linien).

Nimmt die Weltölnachfrage nach Erreichen des Fördermaximums noch zu, wird der Erdölpreis in erheblichem Umfang steigen. Infolge des Mangels an Ausweichmöglichkeiten ist beim Erdöl eine geringe Preiselastizität der Nachfrage zu beobachten: So schwankte der Rohölpreis seit 1999 zwischen gut 10 \$ und 90 \$ je Fass, global ohne erkennbaren Einfluss auf die Nachfrage. Ein plötzlicher, rasanter Anstieg des Erdölpreises kann zu einer spürbaren volkswirtschaftlichen Belastung führen.

Zweifellos bietet andererseits ein Anstieg des Erdölpreises im Hinblick auf die Wettbewerbsfähigkeit erneuerbarer Energien bzw. die wirtschaftliche Attraktivität von Energieeffizienzmassnahmen auch Chancen. Das gilt auch für die Entwicklungsländer, welche von der erwarteten Energiepreissteigerung auf den Weltmärkten besonders betroffen sein werden.

### Herausforderungen an politische und gesellschaftliche Systeme

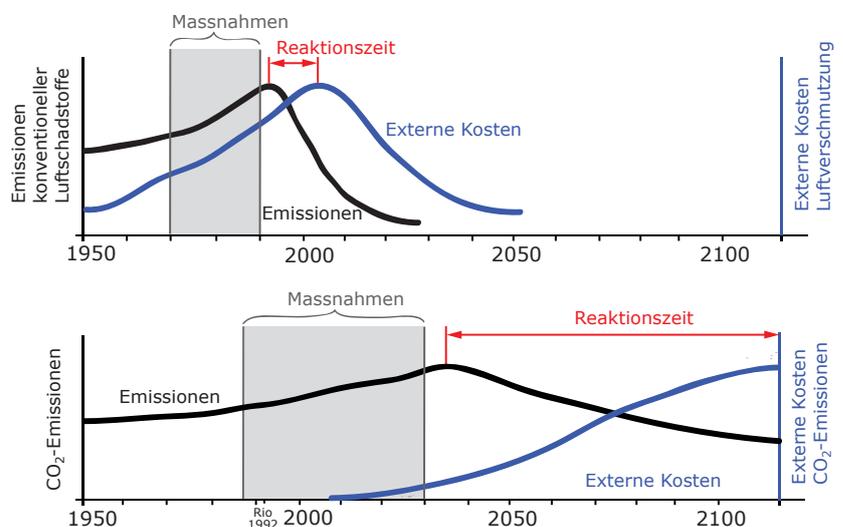
Grosse Veränderungen der natürlichen Umwelt sind auch eine Herausforderung für die politischen und gesellschaftlichen Systeme. In der Regel kommt es in einem demokratischen System erst dann zu einem Wandel, wenn die Wähler den durch eine Umweltveränderung hervorgerufenen Schaden am

eigenen Leib erfahren. Mit der öffentlichen Wahrnehmung entsteht ein wirksamer Druck auf die Politik, welche in der Folge neue Rahmenbedingungen für das Schaden verursachende Handeln setzt.

Bei den klassischen Luftschadstoffen wie Staub,  $\text{NO}_x$  oder  $\text{SO}_2$  können die durch sie verursachten Schäden (z. B. Atemwegserkrankungen, Ernteschäden) bereits nach wenigen Jahren von jedermann wahrgenommen werden (vgl. obere Hälfte von Abb. 1-7). Klassische Luftschadstoffe haben überdies die Eigenschaft, nach Tagen bis wenigen Wochen aus der Atmosphäre ausgewaschen zu sein. Anders ist die Situation bei der Klimaänderung: Wegen der extrem langen Verweilzeit der Treibhausgase in der Atmosphäre und den langen Reaktionszeiten des globalen Klimasystems werden die durch die Klimaänderung verursachten Schäden erst nach Jahrzehnten bis Jahrhunderten deutlich. Aufgrund der verzögerten öffentlichen Wahrnehmung fehlt der gesellschaftliche Druck, womit die Gefahr besteht, dass eine politische Gegensteuerung zu spät erfolgt, um Schäden zu vermeiden. Viel Zeit vergeht bis zur Einsicht, dass es neue Rahmenbedingungen braucht und bis diese wiederum über Entscheidungs- und Verhaltensänderungen in der Gesellschaft zu einer Schadensminderung oder -vermeidung führen.

Im Weiteren wird Zeit benötigt, um die Rahmenbedingungen selbst gesellschaftlich auszuhandeln.

Abb. 1-7: Das Dilemma der Klimapolitik (untere Bildhälfte) im Vergleich mit der Umweltpolitik für klassische Luftschadstoffe (obere Bildhälfte). Bei den konventionellen Luftschadstoffen erfolgt die Implementierung von politischen Massnahmen unter dem Druck von auftretenden Schäden, und die Schadenskosten vermindern sich rasch nach Beginn der Emissionsreduktionen. Bei den  $\text{CO}_2$ -Emissionen müssen politische Massnahmen aufgrund der langen Reaktionszeit zu einem Zeitpunkt beschlossen und ergriffen werden, wenn diese noch nicht mit den verzögert auftretenden Schadenskosten begründet werden können.



**DENK-BOX 3:** Die Folgen der Treibhausgasemissionen werden wegen der langen Verweilzeit in der Atmosphäre erst nach Jahrzehnten bis Jahrhunderten spürbar. In breiten Kreisen der Gesellschaft, Politik und Wirtschaft wurden die Zeichen der Klimaänderung erkannt, was auch zu ersten klima- und energiepolitischen Entscheiden führte. Die notwendige Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Schweiz um mindestens 2% pro Jahr erfordert jedoch deutlich wirksamere energie- und klimapolitische Rahmenbedingungen. An der globalen Energie- und Klimathematik wird sich zeigen, wie wirkungsvoll das auf freier Marktwirtschaft aufgebaute Gesellschaftssystem in der Lage ist, die selbst verursachten Fehlentwicklungen im Ressourcenverbrauch rechtzeitig durch Veränderungen der Rahmenbedingungen und der Grundhaltungen zu korrigieren.

Offen ist, welcher Mix von technischer Entwicklung, höheren Energiepreisen und Wertewandel geeignet ist, um einen klimaverträglichen Lebensstil in den Industrieländern zu erreichen, und wie die Rahmenbedingungen für diesen Mix gesetzt werden müssen. So wird etwa ein Wertewandel von jenen als weniger dringend erachtet, die auf die technische Entwicklung und auf rechtzeitige und richtige Reaktionen der globalen Märkte setzen. Andere sind der Meinung, das Energieverhaltensverhalten müsse mit Vorschriften oder Anreizen gesteuert werden.

Die Wissenschaft in ihrer Rolle als gesellschaftliches Instrument zur Früherkennung ist deshalb besonders gefordert, im engen Dialog mit Politik, Wirtschaft und Gesellschaft bereits zu einem frühen Zeitpunkt zu Massnahmen zu motivieren (vgl. untere Hälfte der Abbildung 1-7). Dabei muss sie ihre antizipierende Haltung nicht nur in den Industrie-, sondern auch in den Schwellenländern zur Geltung bringen.



## Technologische und unternehmerische Lösungsmöglichkeiten

Um den Herausforderungen an das Energiesystem der Schweiz erfolgreich zu begegnen, braucht es grosse Anstrengungen, Innovationen und ein Portfolio von Massnahmen. Beispiele dafür sind die Steigerung der Energieeffizienz, die Förderung von erneuerbaren und kohlenstofffreien Energieträgern, die Berücksichtigung externer Kosten, der Abbau von ökonomischen und institutionellen Barrieren, sowie die Aufhebung von Gesetzen und Subventionen, welche den Treibhausgasausstoss fördern. Viele Möglichkeiten sind heute bereits bekannt und müssen nur hinreichend konsequent und schnell realisiert werden. In den kommenden Jahrzehnten werden weitere Lösungen hinzukommen. Mehr Energieeffizienz und erneuerbare Energien erfordern eine Kapitalintensivierung, d.h. höhere Anfangsinvestitionen bei deutlich verminderten Betriebskosten über die Lebensdauer. Die effizientere Nutzung von Elektrizität und ihre Produktion bleibt eine bedeutende Knacknuss in den kommenden 10 bis 20 Jahren, weil die alternden Kernkraftwerke zumindest teilweise ausser Betrieb gehen.

### Die Effizienzrevolution bei Material- und Energienutzung als technologisches Programm dieses Jahrhunderts

---

Die Nutzung von Energie verläuft über drei Stufen (vgl. Abb. 2-1): Als *Primärenergie* wird die vorhandene Energie in Form von Erdöl, Uran, Wasserkraft oder anderer Energieträger bezeichnet. Nach Abzug der Umwandlungs- und Transportverluste steht dem Verbraucher die so genannte *Endenergie* in Form von Heizöl, Benzin, Elektrizität, Fernwärme etc. zur Verfügung. Die Energie, mit welcher der Endnutzer seine Bedürfnisse befriedigt, heisst *Nutzenergie* (z. B. Wärme, Antriebskraft, Licht, Kommunikation via elektronische Medien). Was der Konsument wirklich braucht, ist die *Energiedienstleistung*, zum Beispiel einen angenehm temperierten Raum, ein gekochtes Essen oder den Transport an eine Feriendestination.

Auf allen drei Stufen der Energienutzung gibt es Energieverluste. Für die *Umwandlung von Primärenergie in Endenergie* liegen die Verluste derzeit bei 20%. Dieser Wert hat sich in den letzten fünf Jahren verbessert. Bei thermischen Kraftwerken betragen die Verluste (Abwärme) derzeit 60–65% (bei neuen Gaskraftwerken nur mehr 40%). Bei der *Wandlung von Endenergie in Nutzenergie* gehen in der Schweiz im Mittel 48% verloren. Besonders hohe Verluste haben die Antriebssysteme von Strassenfahrzeugen (etwa 80%), die klassische Beleuchtung mit der Glühlampe (91%) und Hochtemperatur-Industrieprozesse (44%). Aufgrund der hohen Energieverluste stehen dem Endnutzer von der ursprünglich eingesetzten Primärenergie schliesslich noch 41% als Nutzenergie zur Verfügung [Jochem et al]. Schliesslich entstehen Verluste bei der *Wandlung der Nutzenergie in die gewünschte Dienstleistung*. Diese Energie wird als ungenutzte





Deren Verbesserungspotenziale von 10–20% sind zwar absolut betrachtet erheblich, aber sie verengen den Blick auf die thermische Stromerzeugung, während ebenso hohe Energieverluste bei den anderen Energiewandlern weitgehend unbeachtet bleiben. So haben die Strassenfahrzeuge – heute weltweit zu fast 100% vom Erdöl abhängig – enorme Umwandlungsverluste (etwa 80% bei Verbrennungsmotor und Getriebe). Neue Antriebssysteme wie z. B. Hybridantriebe sind erforderlich.

Für Niedrigtemperaturanwendungen ist der Einsatz von fossilen Energieträgern oder Strom energetisch viel zu wertvoll. Wesentlich effizienter für das Heizen und die Warmwasseraufbereitung ist die Nutzung vorhandener Abwärme, der Umweltwärme (mittels Wärmepumpen) und der Sonnenenergie.

### **Schritt 2. Verminderung des Nutzenergiebedarfes durch bessere Effizienz und durch Substitutionen heutiger Technik**

Es bestehen zahlreiche Möglichkeiten, den Nutzenergiebedarf durch Substitutionen und Verbesserungen zu vermindern. Besonders bei Objekten mit Investitionszyklen von mehreren Jahrzehnten sind bereits heute maximale Einsparungen anzustreben. Als Beispiele für die vielen Möglichkeiten seien die folgenden genannt: Bei Neubauten und mit Abstrichen auch bei Gebäudeerneuerungen lässt sich ein Energie-Standard, der dem Passivhaus oder Minergie-P entspricht, realisieren. Im Industriesektor könnte der Energiebedarf durch Substitution des Walzens von Metallen durch Giessen in ihre fast endgültige Form erheblich reduziert werden. Ebenso wäre die Substitution von Verdampfung und Trocknung durch energiesparendere physikalisch-chemische Trennverfahren wie z. B. die Membrantechnik in der Nahrungsmittel- und pharmazeutischen Industrie sinnvoll. Die Verlustwärme bei Industrieöfen und beim Wärmetransport könnte durch verbesserte Wärmedämmung

reduziert werden. Bei Aufzügen oder Rolltreppen erhöht die Rückspeisung von Bremsenergie in das Stromnetz durch Leistungselektronik die Energieeffizienz.

Im Verkehrsbereich lassen sich die Verluste durch leichtere Fahrzeuge mit minimalem Luftwiderstand (minimale Querschnittsfläche) und die Nutzung der Bremsenergie (Auto und Bahnen) deutlich reduzieren. Eine verbesserte Kommunikation, zum Beispiel mit Videokonferenzen und Datenübertragung, macht manche Reise überflüssig. Durch flexiblere Nutzung des optimalen Transportmittels (einschliesslich des öffentlichen Verkehrs) sowie verbesserte Logistik (Verminderung von Leerfahrten) lassen sich Transporte optimieren.

### **Schritt 3. Verstärktes Recycling und verbesserte Materialeffizienz energieintensiver Materialien**

Die Erzeugung energieintensiver Werkstoffe aus wiedergewonnenen Materialien benötigt deutlich weniger Energie als die Erzeugung von Primärmaterial des gleichen Werkstoffs (inklusive des Energiebedarfs der Recyclingrouten). Bei seit vielen Jahrzehnten genutzten Werkstoffen ist der Recyclinganteil bereits heute relativ hoch (z. B. bei Papier und Behälterglas über 50% in Europa); dagegen sind die Recyclingraten bei jüngeren Werkstoffen relativ niedrig (z. B. Kunststoffe: bei 20%). Durch Ausschöpfung des Recycling-Potenzials könnte der gesamte industrielle Energiebedarf mindestens um weitere 10% reduziert werden. Somit liegen die Ressourcen für Werkstoffe nicht nur in der Erde, sondern sind meist energieschonender aus der Infrastruktur und den Gebrauchsgütern der Industriestaaten zu gewinnen.

Der spezifische Werkstoffbedarf je Werkstoffdienstleistung kann überdies durch Veränderung von Eigenschaften (bessere mechanische Eigenschaften) der Werkstoffe und konstruktive Änderungen des jeweils betrachteten Produktes

vermindert werden. Zu den zahlreichen Möglichkeiten gehören dünnere Verpackungsmaterialien und leichtere Flächengewichte von Printmedien, Schäumen von Aluminium, Magnesium und Kunststoffen, dünnere Oberflächenaufbauten bei Lacken, Katalysatoren und sonstigen Spezialoberflächen durch Nanotechnik.

#### **Schritt 4. Substitution von Werkstoffen und Materialien durch weniger energieintensive Werkstoffe**

Das Substitutionspotenzial von Werkstoffen und Materialien beruht auf deren unterschiedlichem spezifischem Energiebedarf. Insbesondere bei Verwendung natürlicher Werk- oder Rohstoffe eröffnen sich erhebliche Energiesparpotenziale durch eine entsprechend gewählte Werkstoffsubstitution. Entscheide über die Werkstoffwahl und damit über Substitutionsprozesse erfolgen allerdings in erster Linie unter Aspekten von Kostenvorteilen, der Werkstoff- und Nutzungseigenschaften sowie des Images des Werkstoffs und bestehender Modetrends. An der Schwelle zur Wiederverwendung stehen heute zunehmend biogene Werkstoffe und Produkte (z. B. Holz, Flachs, Hanf, Stärke, natürliche Fette und Öle) mit wesentlich geringerem spezifischem Energieeinsatz als die petro-chemisch basierten Werkstoffe.

Fasst man alle in den vier Schritten beschriebenen technischen Möglichkeiten zusammen, liegt das Energiesparpotenzial zwischen 80% und 90% des heutigen Primärenergiebedarfs. Dieses Potenzial könnte in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts realisiert sein [Jochem et al].

#### **Intensivierte Güternutzung und ressourcenschonende Siedlungskonzepte**

Neben diesen technischen Gesichtspunkten der Energie- und Materialeffizienz sowie der Kreislaufwirtschaft bedarf es auch unternehmerischer Innovationen, um die effiziente Nutzung von natürlichen Ressourcen voran zu bringen:

#### **Intensivierung der Güternutzung**

Durch eine intensiviertere Nutzung von Gebrauchsgütern, Fahrzeugen, Maschinen und Produktionsanlagen verbessert man gesamtwirtschaftlich betrachtet die Materialeffizienz und vermindert damit indirekt die industrielle Energienachfrage. «Gemeinsam nutzen statt besitzen» setzt den Nutzenaspekt eines Gebrauchs- oder Investitionsgutes vor den Eigentumsaspekt. Das Konzept des Pooling und der arbeitsteiligen Produktion (Lohnaufträge) verfolgt die Idee, Gebrauchsgüter aus einem Pool oder Maschinen und Anlagen mehreren Nutzern gemeinsam zugänglich zu machen, da sie nicht gleichzeitig genutzt werden. Bekannte Beispiele für Pooling sind heute das (kurzfristige) Vermieten von Baumaschinen, Reinigungsmaschinen, Fahrzeugen (darunter das Car-sharing), die Nutzung von Waschsalons oder Lohnaufträge für Ernten im Agrarbereich und für energieintensive Prozesse im Industriebereich. Der energetische Nutzen dieser Dienstleistungsmärkte liegt in der Verringerung der notwendigen Gütermenge, um die gesellschaftlichen Bedürfnisse zu befriedigen oder in der Vermeidung von Anfahr- und Abfahrverlusten energieintensiver Anlagen in der industriellen Fertigung. In vielen Fällen müssten Gebrauchsgüter eine längere Lebensdauer aufweisen (Abkehr von der Wegwerfgesellschaft). Dies erfordert minimale Qualitätsstandards.

#### **Ressourcenschonende Siedlungskonzepte**

Neben diesen unternehmerischen Chancen besteht auch die Möglichkeit, die Siedlungsplanung vermehrt unter dem Gesichtspunkt der Ressourcenschonung voranzutreiben. Wenn Siedlungen die verschiedenen Funktionen von Wohnen, Arbeit, Handel und Freizeit integrieren, kann in erheblichem Umfang Verkehr vermieden werden. Energiesparpotenzial liegt auch in der besseren Durchmischung der Stadtfunktionen von Wohnen, Arbeit, Einkaufen und Freizeit, im verdichteten Städtebau, in der besseren Auslastung grosser Wohnungen durch attraktive Angebote von Alterswohnungen und der Fertigung in mehrgeschossigen Fabrikationsgebäuden.



## Potenzial der erneuerbaren Energien

Die erneuerbaren Energien sind neben der effizienten Nutzung von Energie und Gütern eine der zentralen Antworten auf die Herausforderungen der zukünftigen Energieversorgung. Das technische Potenzial der erneuerbaren Energiequellen ist bei weitem ausreichend zur Deckung des weltweiten Primärenergiebedarfs [UNDP, Chapter 7]. Deren Nutzung ist unter den heutigen Markt- und Preisbedingungen teils bereits wirtschaftlich, teils um einen Faktor bis 10 teurer als die Nutzung konventioneller Energieträger. Es bedarf langer Zeiträume und politischer sowie unternehmerischer Anstrengungen, um die Kostenunterschiede durch Berücksichtigung der externen Kosten und durch Lern- und Skaleneffekte der neuen Technologien zu vermindern. Zudem sind wegen der langen Re-Investitionszyklen und hohen Kapitalintensität erfahrungsgemäss meist mehr als 50 Jahre erforderlich, bis ein Primärenergieträger weltweit einen Marktanteil von mehr als einem Drittel erreicht. Die EU hat sich zum Ziel gesetzt, den Anteil der erneuerbaren Energien am gesamten Primärenergiebedarf von heute (2007) 6.4% auf 20% im Jahr 2020 zu steigern [EU]. Das Beispiel der Windenergie zeigt, dass derartige Zielsetzungen nicht unrealistisch sein müssen. Die Realisierung wird aber zunehmend aufwändiger. Denn hier wurden in den letzten 15 Jahren in Europa – wenn auch gestützt durch politische Rahmenbedingungen wie garantierte, aber zeitlich degressive Einspeisevergütungen – grosse Fortschritte erreicht. Der Anteil der Windenergie an der Stromerzeugung wuchs in den letzten Jahren beträchtlich und betrug 2006 für die EU-25 bereits etwa 2%. Die EU erwartet einen weiteren Anstieg bis 2020 auf 12% [EU]. Eine ähnlich dynamische Entwicklung zeichnet sich nunmehr bei der Verstromung von Biogas und der Nutzung von Holzhackschnitzeln und Holz-Pellets in einigen EU-Ländern ab.

Die Potenziale zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen werden seit den beiden Ölpreiskrisen in den siebziger Jahren breit diskutiert, so auch in der Schweiz [Hirschberg et al, BFE a]. Die SATW veröffentlichte kürzlich eine «Road Map Erneuerbare Energien Schweiz» [SATW 2006]. Diese Analyse beschreibt das technisch nutzbare Potenzial der einheimisch verfügbaren erneuerbaren Energiequellen, wie dieses in den nächsten 50 Jahren erschlossen werden könnte und welche Auswirkungen dies auf die Energiegestehungskosten haben würde.

Die Schweiz kann in verschiedenen Bereichen die im Land verfügbaren erneuerbaren Energiequellen nutzen. Im Wesentlichen geht es dabei um drei Formen:

1. Wärme aus der Umwelt mittels Wärmepumpen, Solarthermie, Geothermie und Biomasse
2. Strom aus Wasserkraft, Wind, Biomasse, Photovoltaik und Geothermie
3. Gas und flüssiger Treibstoff aus Biomasse.

Wie könnte sich das erneuerbare Energieangebot in der Schweiz bis 2050 entwickeln, wenn das einheimisch vorhandene technisch nutzbare Potenzial der erneuerbaren Energiequellen weitgehend erschlossen würde? Die Stromproduktion aus erneuerbaren Energiequellen in der Schweiz könnte

**DENK-BOX 4:** Eine Industriegesellschaft, welche pro Kopf und Jahr nur eine Tonne CO<sub>2</sub> emittiert, was ca. 400 l Öl pro Kopf und Jahr entspricht, ist in diesem Jahrhundert realisierbar. Ebenso ist eine um den Faktor fünf effizientere Nutzung von Primärenergie technisch machbar. Möglich ist sogar eine Kreislaufwirtschaft, welche die der Natur entnommenen Ressourcen nach ihrer Verwendung wiederverwertet und die sich ausschliesslich erneuerbarer Energien bedient sowie hoch effizient ist. Auch eine solche Kreislaufwirtschaft kann ökonomisch wachsen, etwa bei einer erhöhten Nachfrage nach immateriellen Gütern.

bis 2050 im Vergleich zu heute um 15 TWh steigen (Tabelle 2-1). Inklusiv der Stromproduktion aus den bereits bestehenden und technologisch optimierten Wasserkraftwerken resultiert eine erneuerbare Stromproduktion von rund 50 TWh. Die Wärmeproduktion aus erneuerbaren Energiequellen in der Schweiz könnte bis 2050 im Vergleich zu heute um 63 PJ (17.5 TWh) auf etwa 88 PJ (24 TWh) zunehmen (Tabelle 2-2). 2070 könnte sie sogar über 30 TWh betragen. Besonders attraktiv ist die Produktion chemischer Energieträger aus erneuerbaren Energiequellen, da Energie in dieser Form gut gespeichert und effizient genutzt werden kann. 2050 wäre eine Produktion von fast 6 TWh in Form flüssiger Treibstoffe möglich, beim Gas eine Produktion von etwa 5 TWh.

Insgesamt könnte sich somit die Produktion von Nutzwärme, Strom und Treibstoffen aus erneuerbaren Energiequellen von heute 42.6 TWh bis zum Jahr 2050 auf bis rund 85 TWh erhöhen (ohne Wasserkraftwerke von 7.6 TWh auf knapp 50 TWh). Im ambitionierten Szenario IV des Bundesamtes für Energie, welches scharfe Massnahmen voraussetzt, geht der Energieverbrauch bis 2035 um knapp ein Drittel zurück. Damit könnte immerhin fast die Hälfte des Energiebedarfs erneuerbar zur Verfügung gestellt werden. Diese Zahlen lassen die Möglichkeit des Imports erneuerbarer Energien noch ausser Acht, z. B. Import von Biotreibstoffen, von Strom aus Sonnen- oder Windenergie oder von solar erzeugtem Wasserstoff. Beispiele sind die Beteiligung an Solarkraftwerken in südlichen Regionen oder von Windparksanlagen in der Nordsee. Allerdings ist auch der Import von erneuerbarer Energie nicht immer unbedenklich, zum Beispiel wenn die Produktion von Biotreibstoffen auf Kosten der Nahrungsmittelproduktion geschieht oder wenn ihr unberührter Regenwald zum Opfer fällt [EMPA/BFE].

Der wichtigste Vorteil erneuerbarer Energiequellen gegenüber nicht-erneuerbaren ist die nachhaltige Verfügbarkeit. Die Nutzung erneuerbarer Energien ist jedoch mit einigen Schwierigkeiten verbunden. Diese gründen zum einen in der meist tieferen Energiedichte: Damit erneuerbare Energiequellen

Tabelle 2-1: Stromproduktion aus erneuerbaren Energiequellen in 2003 und 2050 [SATW 2006]. (Zum Vergleich: Bruttostromverbrauch der Schweiz im Jahr 2005: 57.3 TWh.)

	2003 [TWh]	2050 [TWh]
Geothermie	-	2.1
Biomasse	0.78	3.8
Photovoltaik	0.017	5.7
Wind	0.005	1.2
Wasserkraft	34.3	37.3
<b>Total</b>	<b>35.1</b>	<b>50.1</b>

Tabelle 2-2: Wärmeproduktion aus erneuerbaren Energiequellen in 2003 und 2050 [SATW 2006]. (Vergleich: Raumwärmebedarf der Schweiz im Jahr 2005: 300 PJ)

	2003 [PJ]	2050 [PJ]
Wärmepumpen	5.0	41
Solarthermie	0.7	12
Geothermie	-	8.6
Biomasse	18.7	26
<b>Total</b>	<b>24.5</b>	<b>88</b>

ebenso leicht in der bestehenden Infrastruktur eingesetzt werden können wie fossile Energieträger, müssen sie oft mit technischen Mitteln aufkonzentriert werden. Nutzungsschwierigkeiten entstehen auch durch die häufig von Umweltbedingungen abhängige variable Verfügbarkeit und im Fall von Sonnen- und Windenergie begrenzte Speichermöglichkeit. Beide Schwierigkeiten haben zur Folge, dass die Nutzung erneuerbarer Energiequellen derzeit aus betriebswirtschaftlicher Sicht meist noch teurer ist als die Nutzung fossiler Energieträger.

Allerdings werden sich die Kosten zur Nutzung der konventionellen Energien wie beschrieben in den kommenden Jahren erhöhen. Umgekehrt werden die Kosten für die Produktion erneuerbarer Energien in den nächsten Jahren durch Lern- und Skaleneffekte deutlich sinken. So ist beim Strom davon auszugehen, dass die Gestehungskosten im Jahr 2050 in der Schweiz zwischen 6 Rp/kWh (Grosswasserkraft) und 13 Rp/kWh (Photovoltaik) liegen dürften. Werden die Stromgestehungskosten aus Wasser-,



Solar- und Windkraft sowie aus Geothermie- und Biomasseanlagen in einer Mischkalkulation an die Kunden weitergegeben, so verteuern sich diese bis zum Jahr 2035 maximal um 2 Rp/kWh oder rund einen Drittel. Im Jahre 2050 dürfte der Zuschlag noch 1.5 Rp/kWh betragen. Dies sind etwa 10% des heutigen Elektrizitätspreises. Auch bei der Wärme ist mit deutlich abnehmenden Gestehungskosten zu rechnen. Im Jahr 2050 dürften sie zwischen 5 Rp/kWh (tiefe Geothermie) und 13 Rp/kWh (Biomasse) liegen.

### **Die Rolle von Kernenergie, Erdgas und Kohle für die Stromproduktion in der Schweiz**

---

#### **Kernenergie**

Eine nicht-erneuerbare CO<sub>2</sub>-arme Alternative zur Stromproduktion aus fossilen thermischen Kraftwerken bietet die Kernenergie. Deren Nutzung trägt heute knapp 40% zur Schweizer Stromproduktion bei, bezogen auf den gesamten Endenergieverbrauch beträgt ihr Beitrag jedoch lediglich 9%. Global liegt der Anteil bei 3%. Trotzdem ist der Beitrag für die Schweiz bedeutend: Würden die in der Schweiz bestehenden Kernkraftwerke (KKW) mit ihren 25 TWh Jahresproduktion durch modernste erdgasbefeuerte Gas-und-Dampf-Kraftwerke mit 320 g CO<sub>2</sub>/kWh ersetzt, würden die CO<sub>2</sub>-Emissionen um 8 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> oder 18% steigen. Dies entspricht der Hälfte der gesamten Emissionen des Verkehrs.

Die Kernenergie trägt somit in der Schweiz in merklichem Umfang zur Minderung der Klimarisiken bei. Diesen und andere Vorteile wie z. B. ihre tiefen Betriebskosten gilt es gegen die Probleme abzuwägen, die die Nutzung der Kernenergie mit sich bringt und die einem Teil der Bevölkerung als nicht akzeptabel erscheinen: das Risiko der Verbreitung kernwaffenfähigen Materials insbesondere beim Einsatz in politisch instabilen Regionen; die

über viele Generationen sicherzustellende Lagerung der radioaktiven Abfälle, die den zeitlichen Horizont bisherigen technischen und betrieblichen Handelns sprengt; die Möglichkeit eines sehr hohen Schadens, wenn auch mit sehr kleiner Eintrittswahrscheinlichkeit, und damit ein Risiko, das in der heutigen Versicherungswirtschaft nicht voll versicherbar ist.

#### **Erdgas**

Erdgas ist mit einem Anteil von 12% der dritt-wichtigste Endenergieträger der Schweiz und wird fast ausschliesslich zur Wärmeerzeugung verwendet. Bestrebungen, Erdgas in Grosskraftwerken zur Erzeugung von Strom einzusetzen, sind im Gange. Dadurch würde die problematische Abhängigkeit der Schweiz von fossilen Energieträgern und der Ausstoss von CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre noch vergrössert, wenn nicht die effizientere Nutzung von Energie und die Nutzung erneuerbarer Energien wesentliche Fortschritte machen [BFE a]. Im Übrigen ist – zeitversetzt um wenige Jahrzehnte – analog zum Peak Oil ein Peak Gas zu erwarten mit entsprechenden Preissteigerungsrisiken. Wegen der schlechten Lagerfähigkeit (wenige Tage) ist die Auslandsabhängigkeit beim Erdgas noch ausgeprägter als beim Erdöl.

Gaskraftwerke und wärmegeführte Blockheizkraftwerke weisen gegenüber Kernkraftwerken aber auch Vorteile auf: Sie haben wegen höherer Betriebstemperaturen einen um zwei Drittel höheren Wirkungsgrad; sie lassen sich nachfrageabhängig regeln; sie sind besser in ihrer Grösse skalierbar als heute kommerziell erhältliche Kernkraftwerke, wodurch sich eher die Möglichkeit zur teilweisen Abwärmenutzung bietet. Kleinere Gaskraftwerke lassen durch Beimischung von Biogas einen schrittweisen Umstieg auf erneuerbare Energien zu. Schliesslich sind bei ihnen die Investitionskosten tiefer und die Planungs- sowie Re-Investitionszeiten kürzer.

## Kohle und CO<sub>2</sub>-Speicherung

Kohlekraftwerke sind in der Schweiz derzeit kein Thema. Sie werden in der Regel am Ort der Kohleförderung oder an schiffbaren Standorten gebaut. Kohlekraftwerke emittieren pro kWh je nach Kohleart 230–280% mehr CO<sub>2</sub> als Gaskraftwerke. Bei der Verbrennung von Kohle – aber auch von Öl oder Gas – in grosstechnischen Anlagen sollte generell eine Abtrennung und Speicherung des entstehenden CO<sub>2</sub> erfolgen. Die Verlässlichkeit der unterirdischen Speicherung des CO<sub>2</sub> ist aber noch kaum bekannt und für die Schweiz sind noch keine Lagermöglichkeiten erforscht. Von Bedeutung ist überdies, mit welcher Sicherheit vorausgesagt werden kann, dass die Leckverluste dieser Speichertechnik auch über Hunderte von Jahren unbedeutend sind [Haugan et al].

Theoretisch lassen sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen fossiler Kraftwerke um etwa 80–90% vermindern, allerdings nur zu substantiellen Mehrkosten von 6 bis 7 Rp/kWh. Bei bestehenden Kraftwerken erfordert dies eine einfach zu realisierende, wenngleich teure Rauchgasreinigung. Bei Neubauten wird der fossile Energieträger entweder mit reinem Sauerstoff verbrannt, um dann möglichst nur Wasserdampf und CO<sub>2</sub> im Rauchgas zu erhalten, oder es wird daraus zuerst ein Synthesegas hergestellt, aus dem vor der Verbrennung das CO<sub>2</sub> abgetrennt wird [IPCC 2005]. Inwieweit die Speicherung von CO<sub>2</sub> die Nutzung von Kohle zur Stromerzeugung wieder attraktiv machen kann, hängt sowohl von der technischen Entwicklung wie den wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen ab. In

den nächsten Jahren darf nicht mit der Lagerung von grossen Mengen CO<sub>2</sub> gerechnet werden. Forschungsbedarf besteht sowohl in der EU wie in der Schweiz für die Suche nach geeigneten Lagerstätten.

## Plädoyer für eine offene Diskussion energiepolitischer Widersprüche

Gerade in Zusammenhang mit der Stromversorgung verstrickt sich die Energiediskussion immer wieder in Widersprüche. Dies zeigt auch die aktuelle in der Schweiz geführte Debatte über die in 10 bis 15 Jahren zu erwartende «Stromlücke». Angesichts der allmählich ihre technische Lebensdauer erreichenden Kernkraftwerke (KKW) und auslaufender Bezugsrechte für Strom aus französischen KKW sind Entscheide zur zukünftigen Stromversorgung dringend. Eine Substitution der Stromproduktion der KKW allein aus einheimischen erneuerbaren Energien ist kaum realisierbar [SATW 2006, BFE a]. Will die Schweiz den notwendigen Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Reduktion leisten und gleichzeitig die Kernenergie durch fossile Stromproduktion substituieren, dann müssen anderswo zusätzliche 20% CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktionen erzielt werden. Alternativ kann die Schweiz einen Teil des benötigten Stroms aus den Nachbarländern importieren, was in einem deregulierten Markt zu erwarten ist. Zumindest teilweise wird der Importstrom aber fossil erzeugt sein, womit die Verantwortung für die entstehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen auf andere abgewälzt wird.

**DENK-BOX 5:** Die Schweiz benötigt verbindliche energiepolitische Vorschriften zur massiven Verbesserung der Energieeffizienz sowie zur konsequenten Ausschöpfung der erneuerbaren Energien. Selbst mit diesen wird sich die in den nächsten Jahrzehnten aufklaffende «Stromlücke» nicht leicht schliessen lassen. Es ist an der Energiewirtschaft und Politik zu entscheiden, mit welcher Kombination aus Kernkraftwerken und stromgeführten Gaskraftwerken oder gegebenenfalls Importen die verbleibende Lücke geschlossen werden soll. Ein Anstieg der CO<sub>2</sub>-Emissionen ist dabei – unter Einschluss der Möglichkeit der CO<sub>2</sub>-Kompensation – zu vermeiden.



## Rahmenbedingungen für eine nachhaltige Energiepolitik

Wenngleich die Möglichkeiten zur Verminderung und Vermeidung des Energieverbrauchs sehr gross und in vielen Fällen auch unter heutigen Rahmenbedingungen wirtschaftlich sind, so werden sie wegen bestehender Hemmnisse und Marktdefizite nicht oder nur teilweise realisiert. Viele Investitionen und Verbrauchsentscheidungen werden nicht allein unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten getroffen, sondern auch unter Aspekten der üblichen Verhaltensmuster der jeweiligen sozialen Gruppe, der Wirtschaft oder der Verwaltung (Bund, Kantone und Gemeinden). Zudem ist die Klimapolitik aufgrund der global sich ausbreitenden Treibhausgase wie kaum eine andere Politik auf eine internationale Abstimmung angewiesen. Hierbei geht es wegen der Vielfalt der Hemmnisse und Marktdefizite um einen von der Gesellschaft akzeptierten Strauss von Rahmenbedingungen und Massnahmen. Ein hohes Mass an Initiative und Kreativität ist nicht nur auf Seiten der Verwaltung und Politik erforderlich, sondern auch auf Seiten der Wirtschaft und der Zivilgesellschaft.

### Durchsetzbarkeit einer nachhaltigen Energiepolitik

---

Die meisten Entscheide in Wirtschaft und Politik basieren heute auf kurzfristigen Erfolgsstrategien. Für viele Unternehmen haben energierelevante Entscheide relativ geringe Priorität im Vergleich zu ihrem Kerngeschäft. Private Haushalte treffen ihre Kaufentscheide oft aufgrund der Höhe der Anfangsinvestition und berücksichtigen nicht die tatsächlichen Lebenszykluskosten der Geräte, Autos und Wohnungen. Diese kurzen Zeithorizonte stehen im Gegensatz zu den globalen Herausforderungen einer nachhaltigen Energienutzung, die langfristiges Denken und entsprechende Strategien und Investitionsentscheide erfordern.

Die zügige Umsetzung der im vorhergehenden Kapitel genannten Lösungen im Bereich der Energie- und Materialeffizienz sowie der erneuerbaren

Energien stösst auf eine Reihe von Schwierigkeiten sowie auf Verhaltensmuster, welche für die notwendigen Entscheidungen ungeeignet sind:

- Eine am unmittelbaren, individuellen Konsum orientierte Gesellschaft tut sich schwer, langfristig orientierte Investitionen zu tätigen (z. B. energieeffiziente Gebäudesanierungen).
- Energierelevante Investitionsentscheide fallen oft aufgrund individueller Präferenzen, anderweitiger Prioritäten oder Gewohnheit zugunsten ineffizienter Produkte und energietechnischer Lösungen aus.
- Viele private Haushalte und kleinere Unternehmen verfügen nicht über die notwendigen Informationen und Kenntnisse, um rentable Investitions- oder Kaufentscheidungen treffen zu können (z. B. Anzahl Jahre, bis Mehrinvestitionen im Gebäude(um)bau eingespart sind).

- Geschäftsberichte im Dreimonatsrhythmus zwingen zu kurzfristigem Kapitalrückfluss und zur Vernachlässigung einer effizienten Infrastruktur in den Betrieben und Unternehmen. Nur in einem Viertel der Fälle wird eine Energieeffizienz-Investition an ihrer Rentabilität gemessen und viel zu oft lediglich an der Kapitalrückflusszeit.
- Schwankende Erdöl- und Gaspreise verleiten zu einer Haltung des Abwartens anstelle von Investitionen in Energieeffizienz oder erneuerbare Energien.
- Politiker orientieren sich häufig an den kurzfristigen Werthaltungen ihrer Wähler und den Anliegen heutiger Interessensvertreter. Bei ihren Entscheidungen berücksichtigen sie daher die Interessen zukünftiger Generationen zu wenig.

Die dominierende gesellschaftliche Grundhaltung mit ihren ökonomischen Spielregeln erschwert es bei Entscheiden in privaten Haushalten, in Betrieben und Verwaltungen, langfristige Entscheidungsaspekte und Überlegungen zur Nachhaltigkeit in den Vordergrund zu stellen. Im privaten Bereich reagiert das Umfeld möglicherweise mit Unverständnis; im geschäftlichen Umfeld stehen ökonomische Risiken im Vordergrund. In beiden Fällen führen Bequemlichkeit oder die Vermeidung von Transaktionskosten zu risiko-aversen Entscheidungen und damit zur Beibehaltung des Status Quo.

**DENK-BOX 6:** Wenn es um die Umsetzung einer nachhaltigen Energienutzung und -versorgung geht, müssen die individuellen Präferenzen, Interessen und Verhaltensmuster berücksichtigt werden. Viele Investitionen und organisatorische Massnahmen zur effizienten Nutzung von Energie und Material sind hoch rentabel und kommen aufgrund mangelnder Kenntnisse oder Gewohnheiten dennoch nicht zur Anwendung. Als Entscheidungsgrundlagen werden *gesamtheitliche* und *langfristige Analysen* benötigt, welche die absehbaren Anpassungskosten an die Klimaänderung in der Schweiz und die steigenden Energiepreise einbeziehen. Dies gilt besonders für Strukturen mit langen Erneuerungszyklen wie den Gebäudesektor, die Siedlungsentwicklung sowie für Verkehrs- und Energie-Infrastrukturen.

Erschwerend kommen die Interessen vieler traditioneller Energieanbieter oder industrieller Grossenergieverbraucher hinzu. Die Idee des freien Marktes ist akzeptiert, während gleichzeitig die Berücksichtigung der externen Kosten der Energienutzung von vielen Wirtschaftsverbänden abgelehnt wird. Auch ambitionierte energietechnische Standards bei Massenkonsumgütern haben oft einen schweren Stand, selbst wenn die entsprechenden Güter ausschliesslich importiert werden (z. B. Fahrzeuge) und die Volkswirtschaft durch die höhere ökonomische Effizienz Vorteile erzielen könnte.

### Rahmenbedingungen und Instrumente

Die nachhaltige Entwicklung des Energieverbrauchs lässt sich direkt fördern, indem auf politischer Ebene durch geeignete Rahmenbedingungen Anreize geschaffen werden für ein grösseres Interesse an einer effizienten Ressourcennutzung und für emissionsarme Energieträger [UVEK]. Die Schweiz verfügt über das Potenzial, mit einer entsprechenden pro-aktiven Haltung von Politik und Wirtschaft eine nachhaltige Energieanwendung auf globaler Ebene voranzutreiben und damit zum Vorreiter in einzelnen Bereichen zu werden. Dies ist oft auch wirtschaftlich interessant. Um optimale Rahmenbedingungen für eine nachhaltige Energiepolitik im Energiebereich zu schaffen, sind die Steuerungsmodi Markt, Staat und Selbstorganisation in einzelnen Sektoral- und Technologie-Politiken kombiniert und zielgerichtet einzusetzen und die entsprechenden Politikinstrumente anzuwenden. Dies wird insbesondere dann notwendig, wenn die Präferenzen einzelner Gruppen (z. B. Einkommensgruppen, kleine, mittlere und grosse Unternehmen, energie- und nicht-energie-intensive Unternehmen) nicht von sich aus genügend rasch zum gesellschaftlich gewünschten Zustand führen. Da die Hemmnisse und Marktdefizite meist sehr technologie- bzw. gruppenspezifisch sind, steht dieser Vielfalt auch eine Vielzahl möglicher Massnahmen gegenüber (vgl. Tabelle 3-1).



Bei den *allgemein wirksamen preisbezogenen Instrumenten* (wie z. B. Emissionszertifikate, Abgaben) geht es in der Regel um die Berücksichtigung externer Kosten der Energieanwendung, während es bei den *sektor- oder technologiespezifischen Instrumenten* um die Beseitigung oder Verminderung spezieller Hemmnisse und Marktdefizite oder um die Förderung bestehender Motivationen und ausgewählter Technologien geht (vgl. Tabelle 3-1). Bei letzteren kann die *Selbstorganisation der Wirtschaft und der Gesellschaft* eine grosse Rolle spielen. Sie kann auf eigenem Interesse beruhen oder als Public-Private-Partnership gestaltet sein.

Typische Beispiele, wie auf *multi- oder internationaler Ebene* energiepolitische Initiativen realisiert werden, sind die Klimarahmenkonvention, die Direktiven der Europäischen Kommission, die Zuschüsse der Weltbank oder die Fortbildung durch die UNO (vgl. Tabelle 3-1). Auf *nationaler Ebene* ist es wichtig, dass einzelne Instrumente nicht wegen der leichteren politischen Akzeptanz isoliert eingesetzt werden, sondern dass eine Kombination von Massnahmen ergriffen wird. Diese Massnahmen sollten sich an den im jeweiligen Land vorhandenen Hemmnissen und Marktdefiziten orientieren sowie an den Chancen und den Motivationen der innovativen Unternehmen und Marktteilnehmer. Für eine klimarelevante Energiepolitik ist eine internationale Abstimmung – auch mit den Schwellenländern – erfolgsentscheidend.

### Förderung der Energieeffizienz

Traditionell richtet die Energiepolitik ihre Aufmerksamkeit und ihre Ressourcen auf das Energieangebot, d.h. die Förderung der erneuerbaren Energiequellen, den weiteren Ausbau der Kernenergie [IEA], die Nutzung von Erdgas und neuerdings von Kohle mit CO<sub>2</sub>-Rückhaltung und -Speicherung. Die Energieeffizienz spielte demgegenüber in der Energiepolitik der Industrieländer wegen der bisher tiefen Energiepreise, der technischen Vielfalt

und Komplexität, vielleicht auch der mangelnden Medieneignung eine eher untergeordnete Rolle. Dabei ist es die effizientere Nutzung von Energie und Material, die noch über mehrere Jahrzehnte die grössten und rentabelsten Lösungsbeiträge an das Langfristziel von 1 Tonne CO<sub>2</sub>-Emission pro Kopf liefern wird (Beispiele dazu siehe Kasten 3-2). Entsprechend bedarf es einer Intensivierung der Material- und Energieeffizienzpolitik auf Bundes- und Kantonsebene ebenso wie auf internationaler Ebene und in anderen multi-nationalen Kooperationen.

Die Hersteller energieeffizienter Lösungen haben es nicht geschafft, ähnlich wie die erneuerbaren Energien eine klar umrissene Lobby auf hoher politischer Ebene zu schaffen, obwohl (oder gerade weil) es sich wie bei den erneuerbaren Energien um Hunderte von Technologien und Dienstleistungen handelt, die von vielen Branchen der Wirtschaft angeboten werden. Eine notwendige Bedingung für eine gesamtwirtschaftlich optimale nachhaltige Energieanwendung und Materialnutzung ist daher auch ein stärkeres politisches Engagement der Effizienz-Produzenten und ihrer Branchen. Ebenfalls erforderlich sind ein verbessertes Bewusstsein über die ökonomischen Chancen der Energieeffizienz und ein geschlosseneres Auftreten der Innovationsträger in der Wirtschaft und seitens der privaten Haushalte.

### Förderung der erneuerbaren Energien

Aufgrund der höheren betriebswirtschaftlichen Kosten sind erneuerbare Energien meist nur dann konkurrenzfähig, wenn den konventionellen Energieträgern diejenigen Kosten angerechnet werden, welche aufgrund der Emissionen durch Gesundheits- und Umweltschäden entstehen. Aus gesamtwirtschaftlicher Sicht ist der Ausgleich der unterschiedlichen externen Kosten der Energieträger zwingend. Erstens werden dadurch bereits existierende, emissionsarme oder -freie Techniken ökonomisch wettbewerbsfähig. Zweitens fördert die

Tabelle 3-1: Überblick über wesentliche Instrumente der Energie- und Klimapolitik nach Akteurgruppen (Auswahl).

Akteurgruppe Instrumente-Typ	Multi- und internationale Institutionen	Bund, Kantone und Gemeinden	Selbstorganisation der Wirtschaft und Zivilgesellschaft
<b>allgemein wirksame Instrumente</b>	Emissionszertifikate multinational verbindliche Verträge (z. B. Klimarahmenkonvention)	Lenkungsabgaben auf Energie und Emissionen Zweckgebundene Steuern Emissionszertifikate  Aufhebung von Subventionen und Investitionen, welche die Emissionen von Treibhausgasen fördern  Forschung und Entwicklung	Informationen zu effizienter und nachhaltiger Energieanwendung durch Medien  Dialog zwischen Wissenschaft und Entscheidungsträgern
<b>sektor- und technologie-spezifische Instrumente</b>	Energieverbrauchs-Kennzeichnung  multinationale technische Standards  multinationale Direktiven (z. B. EU) und Vereinbarungen (z.B. auf G8-Ebene, IEA zur Erdölbevorratung, oder zur Fusionsforschung)  Subventionen durch multi- u. internationale Banken  Fortbildung und Erfahrungsaustausch z. B. durch die IEA und UN-Organisationen  Treibstoffabgaben Luft- und Schifffahrt	Zertifikate für Energieeffizienz  Obligatorische Energieverbrauchs-Kennzeichnung  technische Standards (z. B. für Gebäude, Elektroanwendungen)  Investitionszuschüsse, Steuervergünstigungen für Investitionen, Personal- und Betriebskosten  zeitlich degressive Einspeisevergütungen  Informationskampagnen, berufliche Fortbildung, Ausbildung  Forschung und Entwicklung  öffentliche Beschaffung  Änderung hemmender Gesetze u. Vorschriften  Exportförderung von Energietechnologien	Selbstverpflichtungen von Herstellern und Importeuren  Freiwillige Energieverbrauchs-Kennzeichnung und Labelling  Angebote von klima-neutralen Dienstleistungen (Transport)  Pooling, Car-sharing  Anreize über Energie-Tarife und Zuschüsse  Information, berufliche Fortbildung  Stärkerer Fokus auf Energie im Schulunterricht und in der beruflichen Ausbildung  Forschung und Entwicklung  lokale lernende Netzwerke  gemeinsame Beschaffung  öffentliche Auszeichnungen von Preisgebern

## Exemplarische Beispiele zur Förderung der Energieeffizienz

### Private Haushalte/Elektrogeräte

**Ziel:** Verminderung des Strombedarfs pro Kopf trotz steigender Gerätenutzung und zunehmender Wohnflächen.

Instrumente bzw. Massnahmenbündel:

- Reduktion der Standby-Verluste um 80% durch technische Standards (OECD-weit)
- Periodische Anpassung der EU-Labels für Elektrogeräte an den technischen Fortschritt, später durch technische Standards zu ersetzen, die sich jeweils an den besten Geräten der vorangegangenen Jahre zu orientieren haben (top runner Regel)
- Ausweitung der Pflicht der Verbrauchskennzeichnung für andere Elektrogeräte und -anwendungen (z. B. für Heizungspumpen, Ventilatoren, Klimageräte, Druckluftkompressoren)
- Entwicklung neuer Technologien wie z. B. energiearmer Beleuchtungssysteme mittels der LED-Technik oder elektronischer Stromzähler zur Einführung zeitvariabler Strompreise für alle Stromkunden.

### Gebäude (Wohn-, Büro- und Fabrikationsgebäude)

**Ziel:** Verminderung des Energiebedarfs der Schweiz um 80% im Neubau bzw. um 60% bis 80% im Sanierungszyklus.

Instrumente bzw. Massnahmenbündel:

- Fortbildungsprogramme für am Bau beteiligte Architekten, Ingenieure und Handwerker
- Kostensenkung durch industrielle Vorfabrikation geeigneter Bauelemente
- Einführung eines energetischen Baustandards, welcher bei Erneuerungen beispielsweise maximal 40 kWh/m<sup>2</sup>·Jahr (braucht Anreize) und bei Neubauten 30 kWh/m<sup>2</sup>·Jahr beträgt und durch die Kantone kontinuierlich angepasst wird. Zum Vergleich: Ein Durchschnittsneubau verbraucht heute etwa 100 kWh/m<sup>2</sup>·Jahr.
- Gebäude-Energielabels bei Vermietung und Verkauf von Gebäuden und Wohnungen.
- finanzielle Anreize zur Gesamtanierung von Wohn-, Büro und Fabrikationsgebäuden unterhalb der neuen Standards
- Forschung und Entwicklung einzelner Bauelemente und zur Kostensenkung, insbesondere bei Gebäude-Sanierungsarbeiten

### Strassenverkehr

**Ziel:** Verminderung des Treibstoffbedarfs um 40% in den kommenden 15 Jahren.

Instrumente bzw. Massnahmenbündel:

- Graduell ansteigende Importauflagen für den spezifischen Treibstoffbedarf für PW
- Erhöhung der Mineralölsteuer zur Finanzierung von Anpassungs- und Schadenskosten der Klimaänderung in der Schweiz
- Nutzung der Bremsenergie durch Leistungselektronik in Hybrid- und Elektrofahrzeugen
- Verbesserte Logistik für optimierte Gütertransporte auf Strasse, Schiene und Seeweg
- Verbrauchsabhängige Motorfahrzeug-Steuer und Versicherungen
- Forschung und Entwicklung neuer Antriebssysteme und Integration neuer Energieträger in das bestehende Treibstoffverteilungssystem

### Industrie

**Ziel:** Verbesserung des spezifischen Energiebedarfs um jährlich 1.5% bis 2%.

Instrumente bzw. Massnahmenbündel:

- Ausbau eines regelmässigen Erfahrungsaustausches von Betrieben als örtliches lernendes Netzwerk (internat. Energie-Modell Schweiz genannt) auf weitere Netzwerke, Fortbildung und Zertifizierung der Moderatoren und beratenden Ingenieure
- Intensivierung von Fortbildungsprogrammen (auch zur Materialeffizienz) für einzelne Branchen und Technologiebereiche (z. B. Opto-Elektronik, Bionik)
- Ausbau des Programms Druckluft Schweiz auf andere Querschnittstechnologien wie Kälteaggregate, Kälteanlagen, Ventilatoren, Pumpensysteme, Aufzüge, Beleuchtung

Berücksichtigung der externen Kosten energietechnische Innovationen, da durch Massenfertigung und einhergehendem rascherem technologischem Fortschritt mögliche Kostenreduktionen schneller realisiert werden, wie das Beispiel der Windenergie in den USA, Dänemark und Deutschland zeigt.

Verschiedene erprobte Instrumente stehen zur Förderung der erneuerbaren Energien zur Verfügung (vgl. Tabelle 3-1): Neben Energiesteuern, CO<sub>2</sub>-Abgaben und dem Zertifikathandel kommen finanzielle Ausgleichsinstrumente wie Anreize und zeitlich degressive Einspeisevergütungen in Frage. Als sehr erfolgreich haben sich im benachbarten Ausland gesetzlich festgelegte Einspeisevergütungen bei der Stromerzeugung und Investitionskostenzuschüsse bei Wärme erzeugenden Techniken herausgestellt. Mit dem revidierten Energie- und dem Stromversorgungsgesetz gelten jetzt in der Schweiz ähnliche Konditionen. Damit keine unnötigen Anreizzahlungen entrichtet werden, ist es sinnvoll, die Höhe der Einspeisevergütung entsprechend dem technischen Fortschritt Jahr für Jahr um einen gewissen Prozentsatz zu vermindern.

Nicht selten wird wegen der Vielfalt der möglichen Instrumente nach «dem» für die ganze Welt geeigneten Instrumentenmix gefragt. Dies ist aus sozialwissenschaftlichen Gründen nicht möglich, da jedes Land und jede soziale Gruppe andere Präferenzen und Akzeptanzmuster haben kann, was die Durchsetzbarkeit geeigneter Instrumente beeinflusst. Darum ist das in einem Lande realisierte Politik-Bündel das Ergebnis eines Aushandlungsprozesses.

**DENK-BOX 7:** Die Schweiz hat derzeit die tiefsten Energiesteuern auf fossilen Energieträgern in Westeuropa [OECD 2006]. Der Anreiz zur Energieeffizienz oder zu erneuerbaren Energien ist damit für Investoren und Energieverbraucher relativ gering. Die Energieeffizienz sollte wegen ihrer rentablen Potenziale – nebst der Förderung der erneuerbaren Energien – im Zentrum der energiepolitischen Anstrengungen stehen. Geeignete Instrumente (Lenkungsabgaben, Steuern, technische Standards, Energieverbrauchs-Kennzeichnung, Aus- und Weiterbildung etc.) stehen zur Verfügung und sollten stärker genutzt werden. Viele Strukturen im Energiebereich haben lange Erneuerungszyklen und sind kostspielig (z. B. Gebäude, Kraftwerke, Schienenwege, Industrieprozesse). Damit solche Investitionen in der Schweiz getätigt werden, sollten die Rahmenbedingungen ungeachtet der allfällig kürzeren internationalen Verpflichtungen über entsprechend lange Zeiträume angelegt sein.



## Chancen für die Schweizer Wirtschaft und Wissenschaft

Die Chancen, welche sich für die Schweiz durch eine einflussreiche und innovative Position im Bereich der Energiepolitik ergeben können, finden noch zu wenig Beachtung. Die Schweiz kann mit ihrem Know-how auf technischem, unternehmerischem und administrativem Gebiet auf globaler Ebene Einfluss nehmen. Wenn beispielsweise Schweizer Unternehmen in China oder Indien dazu beitragen, dass im boomenden Bausektor der Minergie-Standard zum Einsatz kommt, haben die betroffenen Volkswirtschaften einen Impuls in Richtung nachhaltiger Entwicklung erhalten. Je erfolgreicher die Schweizer Forschung und Technologieproduzenten nachhaltige, energietechnisch neue Lösungen realisieren, desto grösser sind die Chancen, dass sie sich über den internationalen Wettbewerb und Handel verbreiten.

### Situation der Schweiz

Ein Blick in die Aussenhandelsstatistik zeigt deutliche Spezialisierungsmuster der Schweizer Industrie im Hinblick auf energie- und material-effiziente technische Lösungen: beispielsweise ausgewählte elektronische Produkte (Thyristoren, TRIAC, DIACS), Hochpräzisionsteile für Verbrennungsmotoren, Gasturbinen, Generatoren, Spezialchemikalien für Oberflächenbehandlungen sowie spezielle Glasfassaden-Systeme. In diesen Bereichen haben die Schweizer Hersteller nicht nur sehr hohe Exportquoten, sondern häufig auch erhebliche Weltmarktanteile.

Dienstleistungen aus der Schweiz, welche ein Produkt begleiten, sind besonders gefragt. Diese Leistungen (Planung, Finanzierung, Montage, Inbetriebnahme, Wartung, Instandhaltung und Risiko-Management) fundieren auf dem grossen Know-how der Schweizer Unternehmen. Zudem haben Schweizer Unternehmen im Ausland einen guten Ruf als reaktionsschnell bei Maschinen- und

Anlagenausfall, Termintreue und durch die Zuverlässigkeit. Die Schweizer Wirtschaft hat im internationalen Vergleich eine hervorragende Position.

Andererseits holen die ausländischen Wettbewerber in Europa und Japan auch in Produkt- und Dienstleistungsbereichen, wo die Schweiz heute noch führend ist, schnell auf (z. B. integrale Bautechnik). Dies liegt nicht nur an höheren Automationsgraden (Skaleneffekte infolge grösserer Binnenmärkte wie zum Beispiel die EU), sondern auch an strengeren staatlichen Rahmenbedingungen der Märkte (z. B. höhere Energie- und Ökosteuern, EU-Emissionszertifikate, striktere energie- und umwelttechnische Standards relativ zur Schweiz). Im Hinblick auf derartige leistungssteigernde Impulse durch staatliche Rahmenbedingungen der Energie- und Umweltpolitik hat die Schweiz in den letzten 10 Jahren ihre Führungsrolle in mehreren Bereichen an die EU, Kalifornien und Japan verloren [EU; OECD]. Längerfristig bedeuten tiefere Standards für die Schweizer Wirtschaft einen strukturellen Wettbewerbsnachteil.

## Chancen und Vorteile

---

Mehr Investitionen in Energie- und Material-Effizienz sowie in erneuerbare Energieträger substituiert importierte Energie durch meist inländisch erzeugte Investitionsgüter und Dienstleistungen. Damit werden die geopolitischen Risiken für die Schweiz reduziert und die inländische Beschäftigung nimmt zu. Eine fortschrittliche Energie- und Klimapolitik liegt daher im eigenen wirtschaftlichen Interesse.

Ein Ausbau der Exportchancen der Schweizer Wirtschaft könnte auch darin bestehen, mehr als bisher Systemangebote der Planung, Finanzierung, Versicherung, Bauaufsicht, Inbetriebnahme und selbst des Betriebs von Anlagen zu machen. Diese könnten durch die beiden projektgebundenen Kyoto-Instrumente (Joint Implementation [JI] und Clean Development Mechanism [CDM]) noch eine spezielle Förderung erfahren. Durch diese intensivere Exportorientierung könnte auch weltweit ein wirksamer Beitrag der Schweiz zur Lösung der energie- und klimarelevanten Probleme geleistet werden.

Die Universitäten, die ETHs und die Fachhochschulen werden zunehmend von Studierenden aus Schwellenländern besucht. Je intensiver diese jungen Menschen in der Lehre und Forschung mit Lösungsmöglichkeiten einer nachhaltigen Energie- und Materialnutzung auf technischen, unternehmerischen und politikwissenschaftlichen Gebieten vertraut gemacht werden, desto wirksamer und schneller werden die Effekte sein, wenn sie gut ausgebildet in ihre Länder zurückkehren. Dort entscheiden sie in häufig jüngerem Alter über wesentlich grössere Investitionen (z. B. in Mega-Cities) als Studienabgänger aus Europa. Insofern kann das Schweizer Ausbildungs- und Forschungssystem einen erheblichen Einfluss auf Entscheidungen in aller Welt ausüben.

Die Aussenhandelspolitik der Schweiz, aber auch die Aussen- und Entwicklungspolitik sowie die Hochschulpolitik sollten jene Kooperationen und Know-how Transfers besonders fördern, welche zu einer nachhaltigeren Energieanwendung führen. Die Chance der Schweiz liegt darin, auf den Gebieten Energieeffizienz und erneuerbare Energien mit gutem Beispiel voranzugehen und so ein nachhaltiges Modell für Schwellenländer vorzuleben.

**DENK-BOX 8:** Mittel- und langfristig profitiert die Schweizer Wirtschaft dank ihrer Innovationskraft von einer fortschrittlichen Energie- und Klimapolitik, aber auch von der international hervorragenden Klimaforschung und der breit anerkannten Technologieforschung zur Energienutzung und -wandlung. Eine aktive Haltung der Schweiz in der effizienten Ressourcennutzung lohnt sich auch deshalb, weil sie sich damit die Chance schafft, auf globaler Ebene Einfluss zu nehmen. Davon könnte die Schweiz nicht nur politisch, sondern auch wirtschaftlich profitieren. Die wissenschaftlichen Ausbildungsstätten können die internationale Durchsetzung unterstützen, indem ausländische Studienabgänger für eine weltweite Diffusion des technischen, unternehmerischen und politikwissenschaftlichen Know-hows sorgen.



## Schlussfolgerungen

Die Schweizer Forschenden und die Akademien der Wissenschaften Schweiz (akademien-schweiz) wollen mit dieser Denk-Schrift ihre Verantwortung gegenüber der Gesellschaft, zukünftigen Generationen und stärker betroffenen Regionen dieser Erde wahrnehmen, indem sie auf die notwendigen Schritte einer vorausschauenden und wirksamen Energie- und Klimapolitik hinweisen.

1. Die *Klimaänderung* ist eine gewaltige Herausforderung für die Menschheit, da sie wegen der grossen Trägheit des Klimasystems über viele Generationen hinweg praktisch irreversibel ist. Sie verursacht weltweite, rasch wachsende Schadens- und Anpassungskosten. Hauptursache sind die weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen wegen des hohen Verbrauchs an fossilen Energieträgern. Um die Klimaänderung zu begrenzen, müssen die Treibhausgasemissionen in diesem Jahrhundert weltweit auf 1 Tonne CO<sub>2</sub> pro Person und Jahr gesenkt werden, und zwar nicht nur in den Industrieländern, sondern auch in den Schwellenländern. Für die Schweiz bedeutet dies mindestens 2% Reduktion pro Jahr. Neue wissenschaftliche Erkenntnisse wie zum Beispiel das Kippen der terrestrischen Ökosysteme von einer CO<sub>2</sub>-Senke zu einer Quelle könnten das Ausmass der erforderlichen Reduktion noch erhöhen. Die technischen und organisatorischen Möglichkeiten für diese Aufgabe stehen heute ansatzweise zur Verfügung.

Die Schweiz wird aufgrund ihrer geographischen Lage und Topographie mehr als andere europäische Länder von der Klimaänderung betroffen sein. Das bedeutet höhere relative Anpassungs-

kosten für Private, die Wirtschaft und die öffentliche Hand, insbesondere für den Tourismus, für die Sicherheitsmassnahmen der Bergkantone, der Energie- und Wasserwirtschaft sowie der Klimatisierung von Gebäuden.

2. Zusätzlich zu diesen durch den Menschen verursachten Veränderungen ist ein erheblicher Preisanstieg bei den *fossilen Brenn- und Treibstoffen* zu erwarten, insbesondere sobald die weltweite konventionelle Erdölförderung ihr Maximum erreicht hat (Peak Oil). Wann dieser Zeitpunkt eintritt, hängt von der Entwicklung der Produktionstechniken der Erdölförderung, dem Investitionsverhalten der Erdölindustrie und der Nachfrage in den kommenden Jahren ab; er dürfte zwischen 2015 und 2035 liegen. Der zunehmende Bedarf an Erdöl und Erdgas sowie die hohen Energiepreise führen bereits heute zu geopolitischen Spannungen. Diese dürften sich noch verschärfen, da viele Schwellen- und Entwicklungsländer sich in der Phase von Industrialisierung und Motorisierung befinden. Der Ausweg, verstärkt Kohle zu nutzen, ist kontraproduktiv, solange das CO<sub>2</sub> nicht abgetrennt und sicher gespeichert wird.
3. Eine Reduktion der Verbrennung fossiler Brennstoffe führt zu bedeutenden sekundären Nutzen, zum Beispiel in der *Gesundheit*. So verringern sich mit einem geringeren Verbrauch an fossiler Energie für die Gebäudeheizung und dank effizienterer Fahrzeuge nicht nur die CO<sub>2</sub>-Emissionen, sondern auch der Ausstoss von anderen Luftschadstoffen. Damit werden Herz- und

Atemwegserkrankungen abnehmen. Bei einer Mobilitätsverlagerung vom Individualverkehr auf den öffentlichen Verkehr werden sich auch verkehrsbedingte Verletzungen verringern, falls dadurch die Fahrkilometer des gesamten motorisierten Verkehrs tatsächlich abnehmen.

4. Die Herausforderungen im Energie- und Klimabereich dulden *keinen Aufschub* der Entscheidung mehr, weil viele Massnahmen nur im Zuge von Re-Investitionen kostengünstig durchgeführt werden können. Zudem braucht es *Zeit*, um das erforderliche technische und unternehmerische Know-how in allen Bereichen wie Planung, Installation, Fertigung, Betrieb und Instandhaltung aufzubauen. Dies gilt nicht nur für die Schweiz und die anderen Industrieländer, sondern auch für die Transformations- und Schwellenländer.
5. Eine weiterhin zögerliche Klima- und Energiepolitik, wie sie die Schweiz und mehrere OECD-Staaten seit Ende der 1990er Jahre praktizieren, führt zu *verpassten Chancen* im Re-Investitionszyklus (z. B. bei Gebäudesanierungen, neue Formen der Stromerzeugung) und zu einem Mangel an Innovationen, insbesondere im Bereich der effizienteren Nutzung von Energie. Sie schmälert die langfristigen Chancen der Schweizer Wirtschaft im internationalen Wettbewerb, sowohl durch verminderte Exporte als auch durch höhere Importe effizienter Produkte aus Ländern mit einer konsequenten Energie- und Klimapolitik.
6. Trotz ihrer geringen Grösse hat die Schweiz international eine erhebliche *Ausstrahlung*.

Der hohe Forschungs- und Bildungsstand der Schweiz stärkt das weltweite Potenzial für Innovationen. Die Ausbildung von Studierenden aus Schwellen- und Entwicklungsländern an Schweizer Hochschulen und Universitäten kann Einfluss auf die zukünftigen Entscheidungen in diesen Ländern haben. Die Exportanteile energieeffizienter Technologien sind von zunehmender Bedeutung, wie zum Beispiel bei Investitionsgütern, den Transport- und Gebäudetechnologien, bei Energie- und Finanzdienstleistungen.

7. Die Schweiz hat mit ihrer Forschungskapazität in den Natur- und Ingenieurwissenschaften sowie den Sozialwissenschaften ein hervorragendes Potenzial zum *technologischen Vorreiter* in ausgewählten Bereichen der erneuerbaren Energien und der effizienten Energiewandlung und Energienutzung sowie der Materialeffizienz und -substitution. Dies setzt den Mut der betroffenen Entscheidungsträger voraus, wirksame und langfristig ausgelegte *Rahmenbedingungen* zu setzen. Es gilt, die vorhandene Kreativität und die Kompetenzen konsequent zu fördern und zu nutzen.
8. Die Herausforderungen für eine nachhaltige Energienutzung und -versorgung sind nicht nur als ein Feld der Energie- und Klimapolitik zu begreifen. Sie stellen auch eine grosse Chance für eine auf Ressourceneffizienz fokussierte Innovations- und Industriepolitik in der Schweiz dar. Diese Chancen werden von der Investitionsgüter-Industrie, der chemischen Industrie, dem Baugewerbe und der Finanzwirtschaft noch zu wenig erkannt.

## Literaturverzeichnis

- Aebischer B., Cattenazzi G. (2007) *Energieverbrauch der Dienstleistungen und der Landwirtschaft. Ergebnisse der Szenarien I bis IV*. Bundesamt für Energie, Bern.
- BAFU (2007) Jungbluth N., Steiner R., Frischknecht R. *Graue Treibhausgas-Emissionen der Schweiz 1990–2004. Erweiterte und aktualisierte Bilanz*. Umwelt-Wissen Nr. UW–0711. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- BFE (2007a) *Die Energieperspektiven 2035 – Band 1. Synthese*. Bundesamt für Energie, Bern.
- BFE (2007b) *Die Energieperspektiven 2035 – Band 4. Exkurs Nr. 18: Kälte- und Hitzewellen*. Bundesamt für Energie, Bern.
- BP (2007) *BP Statistical Review of World Energy*.  
[www.bp.com/multipleimagesection.do?categoryId=9017892&contentId=7033503](http://www.bp.com/multipleimagesection.do?categoryId=9017892&contentId=7033503)
- CASS (2002) *Nachhaltige Elektrizitätsversorgung*. Bericht der gleichnamigen CASS-Arbeitsgruppe, ISBN 3-907835-40-9.
- CIPRA (2004) *alpMedia Hintergrundbericht «Künstliche Beschneigung im Alpenraum»*. [www.cipra.org/de/alpmedia/dossiers/11](http://www.cipra.org/de/alpmedia/dossiers/11)
- European Commission (2006) *Action Plan for Energy Efficiency: Realising the Potential*. COM 545 final, Brussels.
- EEA (2004) *Impact of Europe's Changing Climate – An indicator-based assessment*. European Environmental Agency, Copenhagen, ISBN 92-9167-692-6.
- BFE/EMPA (2007) Zah R., Böni H., Gauch M., Hirschier R., Lehmann M., Wäger P. *Ökobilanz von Energieprodukten: Ökologische Bewertung von Biotreibstoffen*. Bundesamt für Energie, Bern.
- Haugan P.A. and Joos F. (2004) *Metrics to assess the mitigation of global warming by carbon capture and storage in the ocean and in geological reservoirs*. *Geophysical Research Letters*, 31.
- Hirschberg S. et al. (2005) *Erneuerbare Energien und neue Nuklearanlagen: Potenziale und Kosten*. Bundesamt für Energie, Bern.
- IEA (2006) *World Energy Outlook 2006*, International Energy Agency, OECD/IEA, ISBN 92-64-10989-7.
- IEA (2007) *Renewable Energy: RD&D Priorities*, International Energy Agency, OECD/IEA, ISBN 92-64-10955-2.
- IPCC (2005) *Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage*. Cambridge University Press, Cambridge, ISBN 13 978-0-521-68551-1.
- IPCC (2007a) *Climate Change 2007 – The Scientific Basis; Contribution of Working Group I to AR4 of the IPCC*. Cambridge University Press, Cambridge, ISBN 978 0521 70596-7.
- IPCC (2007b) *Climate Change 2007 – Impacts, Adaptation, and Vulnerability; Contribution of Working Group II to AR4 of the IPCC*. Cambridge University Press, Cambridge, ISBN 978 0521 70597-4.
- IPCC (2007c) *Climate Change 2007 – Mitigation; Contribution of Working Group III to AR4 of the IPCC*. Cambridge University Press, Cambridge, ISBN 978 0521 70598-1.
- Jakob M., Jochem E., Honegger A., Baumgartner A., Menti U., Plüss I. (2006) *Grenzkosten bei forcierten Energie-Effizienz-Massnahmen und optimierter Gebäudetechnik bei Wirtschaftsbauten*. Bundesamt für Energie, Bern.
- Jochem E., Andersson G., Favrat D., Gutscher H., Hungerbühler K., von Rohr R. P., Spreng D., Wokaun A., Zimmermann M. (2004) *Steps towards a sustainable development - A White Book for R&D of Energy-Efficient Technologies*. CEPE/ETH and novatlantis Zurich, Switzerland.
- OcCC (2000) *Sekundärnutzen von Treibhausgas-Reduktionen*. Synthesebericht, OcCC, Bern.

- OcCC (2003) *Extremereignisse und Klimaänderung*. OcCC, Bern, ISBN 3-907630-23-8.
- OcCC/ProClim (2007) *Klimaänderung und die Schweiz 2050 – Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft*. OcCC/ProClim, Bern, ISBN 978-3-907630-26-6.
- OECD (2007) *Umweltprüfberichte, Schweiz*. Bundesamt für Umwelt, Bern (auch in französischer und italienischer Sprache erhältlich).
- ORNL (2006) *Online Trends – a compendium of data on global change*. <http://cdiac.ornl.gov/trends/trends.htm>
- ProClim (2005) *Hitzesommer 2003 – Synthesebericht*. ProClim, Bern, ISBN 978-3-907630-16-7.
- SATW (1999) *CH50% – Eine Schweiz mit halbiertem Verbrauch an fossilen Energien*. SATW Bericht Nr. 30.
- SATW (2005) Kiener E. *Nachhaltige Energieversorgung*. SATW-Bericht Nr. 38, ISBN: 3-908235-10-3.
- SATW (2006) Berg M., Real M. *Road Map Erneuerbare Energien Schweiz. Eine Analyse zur Erschließung der Potenziale bis 2050*. SATW-Bericht Nr. 39, ISBN 3-908235-12-X.
- Schär C., Vidale P. L., Lüthi D., Frei C., Haeberli C., Liniger M. A. und Appenzeller C. (2004) *The role of increasing temperature variability for European summer heat waves*. Nature, 427, 332-336.
- Scherrer S. C., Appenzeller C., Liniger M. A. (2006) *Temperature trends in Switzerland and Europe: Implications for climate normals*. International Journal of Climatology, 26, 565-580.
- Schwierz C., Heck P., Zenklusen E., Bresch D., Schär C., Vidale P. L., Wild M. (2007) *Modelling European winter wind storm losses in current and future climates*. Journal of Climatic Change, submitted.
- Science (2003) Review-Artikelserie *Tragedy of the Commons?* Science, 302: 1906–1929.
- Stern Report (2006) *The Economics of Climate Change – The Stern Review*. Cambridge University Press 2006. Siehe auch die im Review zitierten Forschungsergebnisse.
- Swiss Re (2006) *Natural catastrophes and man-made disasters 2005*. Sigma 2/2006.
- UNDP/WEC/DESA (2000) *World Energy Assessment*. UNDP New York, ISBN 92-1-126126-0.
- UN (2004) *World Population Prospects: The 2004 Revision, Vol. III, Analytical Report*. United Nations.
- UNFCCC (2005) *National Communications*.
- Schweiz: [http://unfccc.int/parties\\_and\\_observers/parties/items/2208.php](http://unfccc.int/parties_and_observers/parties/items/2208.php);
- Andere Nationen: [http://unfccc.int/national\\_reports/items/1408.php](http://unfccc.int/national_reports/items/1408.php)
- UVEK (2007) *Klimabericht – Bericht des UVEK über die zukünftige Klimapolitik der Schweiz*. Bern.
- WBGU (2007) *Welt im Wandel – Sicherheitsrisiko Klimawandel*. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, ISBN 978-3-540-73247-1.
- Weisz P. B. (2004) *Basic Choices and Constraints on Long-Term Energy Supplies*, Physics Today, 57, p 47ff.
- Zemp M., Haeberli W., Hoelzle M. and Paul F. (2006) *Alpine glaciers to disappear within decades?* Geophysical Research Letters, 33, L13504, doi:10.1029/2006GL026319.

## Glossar und Einheiten

### Anpassungskosten (Adaptationskosten)

Die Kosten von Investitionen und organisatorischen Massnahmen, die private Haushalte, Unternehmen oder die öffentliche Hand durchführen, um Komforteinbussen, wirtschaftliche Rückschläge und Schäden der Klimaänderung zu vermeiden.

### Begleitende Nutzen

Die Werte, die durch Investitionen zur Energieeffizienz als Nebeneffekt erzielt werden, z. B. höhere Produktqualität, geringerer Ausschuss, verbesserter Wohnkomfort.

### Bruttoinlandprodukt (BIP)

Die Summe aller Wertschöpfungen der Wirtschaft und der öffentlichen Hand einer Volkswirtschaft innerhalb einer gewissen Zeit (z. B. eines Jahres).

### Clean Development Mechanism (CDM)

Ein Klimaschutzprojekt in einem Vertragsstaat des Kyoto-Protokolls, welcher selbst kein verbindliches Emissionsziel angenommen hat. Für die im Vergleich mit einem Referenzprojekt erzielten Emissionsreduktionen werden vom zuständigen UNO-Gremium handelbare Zertifikate ausgestellt, die von anderen Vertragsstaaten zur Erfüllung ihrer Emissionsziele angerechnet werden können.

### Emissionszertifikatehandel

Die Emissionsrechte können zwischen Besitzern dieser Zertifikate (z. B. Unternehmen, Länder) gehandelt werden. Derzeit gibt es in der EU und in einigen Staaten der USA einen CO<sub>2</sub>-Zertifikatehandel zwischen Unternehmen mit energieintensiven Anlagen.

### Energiedienstleistungen

Gewünschte Situationen und Leistungen, die den Einsatz technischer Lösungen mit Energieeinsatz benötigen (z. B. temperierte Häuser, produzierte

Tonnen Stahl oder Papier, Mobilität mit Fahrzeugen, technisch gestützte Kommunikation).

### Endenergie

Die Endenergien sind in aller Regel kommerziell gehandelte Energieträger wie z. B. Heizöl, Erdgas, Strom, Benzin, Diesel, Holzpellets und Holzsplit oder Fernwärme für den jeweiligen Energieanwender in privaten Haushalten, Wirtschaft und Verkehr.

### Externe Kosten

Die externen Kosten der Energienutzung (z. B. Korrosions-, Ernte- und Gesundheitsschäden durch Luftschadstoffe, Anpassungskosten an die Klimaänderung, Schadenskosten extremer Witterungsereignisse). Sie sind heute in den Energiepreisen nicht enthalten.

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

(analog zu graue Energie)

CO<sub>2</sub>-Emissionen, welche bei Herstellung, Transport und Lagerung (inkl. aller Vorprodukte) sowie der Entsorgung eines Produktes erzeugt werden (z. B. Herstellung und Entsorgung eines Autos). Sie entstehen ausserhalb des Landes, in dem das Produkt genutzt wird.

### Internalisierung externer Kosten

Durch energiespezifische Abgaben oder Steuern können die externen Kosten in die Preise der jeweiligen Energieträger einbezogen (internalisiert) werden.

### IPCC Szenarien

Szenario A2: wirtschaftsorientiert mit ungleicher Entwicklung der Welt und steigender Weltbevölkerung in Entwicklungsländern.

Szenario B1: nachhaltigkeitsorientiert mit schnellem globalem Wechsel zu einer Dienstleistungs- und Informationsgesellschaft. Rasche weltweite Einführung energieeffizienter Technologien.

### Joint Implementation

Wie beim Clean Development Mechanism (CDM) handelt es sich um ein Klimaschutzprojekt, diesmal jedoch in einem Vertragsstaat des Kyoto-Protokolls, welcher selbst ein Emissionsziel angenommen hat.

### Klimaänderung

Über einen längeren Zeitraum sich veränderndes Klima. Währenddem natürliche Effekte wie die Veränderung der Sonneneinstrahlung und Vulkanausbrüche das historische Klima prägten, wird die Klimaänderung immer stärker durch menschliche (anthropogene) Aktivitäten wie die Emission von Treibhausgasen dominiert.

### Nutzenergie

Diese Energieformen werden stets am Endpunkt einer Energiekette benötigt: z. B. die Heizwärme am Heizradiator, die Fortbewegungskraft an der Achse eines Fahrzeugs, die Hochtemperaturwärme zum Stahlschmelzen, der Lichtstrom zur Beleuchtung.

### Peak Oil/Peak Gas

Zeitpunkt, an dem das Fördermaximum erreicht ist, ab dem die Fördermenge rückläufig ist. Peak Oil ist abhängig Faktoren wie Preis, Nachfrage, Förderpolitik.

### Primärenergie

Die Primärenergie ist diejenige Energie eines Landes, die der Natur im Inland entnommen oder über die Grenze importiert wird. Nicht enthalten in der Primärenergie sind Betankungen für den internationalen Flug- und Schiffsverkehr.

### Schadenskosten der Klimaänderung

Extreme Witterungsereignisse (Hitzewellen, Orkane, Hochwasser) oder der Wandel regionaler Eigenheiten (z. B. Permafrostgebiete, Gletscher, Anstieg des Meeresspiegels) führen zu ereignisbedingten oder langfristigen Schäden mit erheblichen Kosten und menschlichen Leiden (z. B. Verlust von Eigentum und Nutzungsmöglichkeiten, Ernteausfälle, Krankheit, Tod, Emigration und Flucht).

### Thermische Energie

In der Umgangssprache wird die thermische Energie auch Wärmeenergie genannt. Es ist die in Atomen oder Molekülen gespeicherte ungeordnete Bewegungsenergie. In thermischen Kraftwerken wird einem heißen Gas oder Wasserdampf thermische Energie entzogen, um eine Turbine anzutreiben.

### Treibhauseffekt

Der Treibhauseffekt beruht darauf, dass die kurzwellige Strahlung der Sonne von der Erdoberfläche absorbiert und zum Teil als langwellige (Wärme-) Strahlung wieder ausgestrahlt wird. Die Wärmestrahlung wird in der Atmosphäre durch Wasserdampf und die Treibhausgase fast vollständig absorbiert und in alle Richtungen wieder abgestrahlt.

### Treibhausgase

Treibhausgase absorbieren die langwellige Wärmestrahlung in der Atmosphäre. Die wichtigsten natürlichen Treibhausgase sind Wasserdampf und Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>). Die bedeutendsten vom Menschen verursachten Treibhausgase sind CO<sub>2</sub> aus der Verbrennung fossiler Kohlenstoffe, Methan (CH<sub>4</sub>) und zu einem geringeren Anteil Lachgas und Fluorkohlenwasserstoffe.

1 Terawattstunde (TWh) = 3.6 Petajoule (PJ)

1 Tonne CO<sub>2</sub> ~ 400 Liter Erdöl ~ 500 Watt • Jahr thermische Energie auf Basis Erdöl

1 l Heizöl extraleicht ~ 10 kWh thermische Energie

Peta: 10<sup>15</sup> ; Tera: 10<sup>12</sup> ; Giga: 10<sup>9</sup> ; Mega: 10<sup>6</sup>