

# Grundsatzfragen zur nachhaltigen Energieversorgung

**Ein Diskussionspapier aus der Energiekommission der Schweizerischen Akademie der Technischen Wissenschaften (SATW)**

## **Autoren**

Silvia Banfi (sbanfi@ethz.ch)  
Jean-François Dupont (jf.dupont@bluewin.ch)  
Stefan Hirschberg (stefan.hirschberg@psi.ch)  
Eduard Kiener (ed.kiener@bluewin.ch)  
Jürg Minsch (juerg.minsch@bluewin.ch)  
Ernst Reinhardt (ernst.reinhardt@bluewin.ch)  
Alexander Wokaun (alexander.wokaun@psi.ch)

## **Korrespondierender Autor**

Dr. Eduard Kiener  
Jetzkofenstrasse 8  
CH-3038 Kirchlindach  
ed.kiener@bluewin.ch

September 2010

## **Disclaimer**

Die in diesem Bericht vertretenen Meinungen entsprechen ausschliesslich den Meinungen der Autoren. Sie dürfen nicht als offizielle Position der SATW betrachtet werden.

Les opinions exprimées dans ce rapport n'engagent que leurs auteurs. Elles ne peuvent pas être considérées comme une position officielle de la SATW.

Le opinioni espresse nel presente esposto sono unicamente quelle degli autori e non possono in alcun caso essere considerata come una posizione ufficiale della SATW.

The views expressed in this report are purely those of the authors and cannot be regarded as stating an official position of the SATW.

## Fazit

Die heutigen Anstrengungen zur effizienteren Energienutzung und zur Förderung neuer erneuerbarer Energien und die dabei erzielten Ergebnisse sind erst ein kleiner Schritt auf einem sehr langen Weg. Mit diesem Papier werden - ohne Anspruch auf Vollständigkeit und umfassende Behandlung - einige für die Gestaltung eines nachhaltigen Energiesystems wesentliche Fragen diskutiert; es soll das Verständnis vertiefen, dass der Umbau der aktuellen Energieversorgung in ein künftiges, zukunftsfähiges Energiesystem anspruchsvoll und zeitaufwendig sein wird. Es geht um Fragen wie: Warum ist ein nachhaltiges Energiesystem nötig? Ist eine nachhaltige Energieversorgung überhaupt möglich? Können wir ohne fossile Energien auskommen? Sind die neuen erneuerbaren Energien problemlos? Ist eine nachhaltige Energieversorgung volkswirtschaftlich tragbar, das heisst für die Energiekonsumenten bezahlbar? Wie schnell können die erneuerbaren Energien ausgebaut werden, wie lange sind wir noch auf die konventionellen Energieträger angewiesen? Ist die Kernenergie eine Option? Was bringt die Technik, was der Mensch? Was sagen uns wissenschaftliche Erkenntnisse?

1. Ein versorgungs- und nutzungsseitig nachhaltiges Energiesystem ist für die gesamte nachhaltige Entwicklung zentral. Der heutigen und künftigen Generationen müssen die erforderlichen Energiedienstleistungen zur Verfügung gestellt werden; ohne sie ist keine Erfolg versprechende Entwicklung von Wirtschaft und Gesellschaft möglich.

Die drei von der Brundtland-Kommission formulierten gleichwertigen Nachhaltigkeitsdimensionen gelten auch für das Energiesystem: Wirtschaft und Haushalte sind wirtschaftlich, umweltschonend und sicher mit der notwendigen Energie zu versorgen, ohne künftigen Generationen unzulässige Lasten aufzubürden.

2. Das heutige Energiesystem ist alles andere als nachhaltig. Die Welt versorgt sich zu fast 90 Prozent aus nicht erneuerbaren Energieressourcen; Bereitstellung und Nutzung von Energie belasten die Umwelt und sind mindestens Mitursache der Klimaänderung; grosse Teile der Weltbevölkerung leiden unter einem Energiemangel und für sie zu hohen Energiepreisen.

Vor allem zwei Gründe verlangen nach einem Umbau des Energiesystems: die absehbare Verknappung der fossilen Energien und der durch ihre Verbrennung verursachte CO<sub>2</sub>-Ausstoss. Erdöl und Erdgas stehen, trotz zu erwartenden neuen Funden, nur mehr für wenige Generationen zur Verfügung; die zeitliche Reichweite der Kohle ist länger, aber dafür ist diese mit noch höherem CO<sub>2</sub>-Ausstoss und Umweltbelastungen verbunden. Die heute genutzten fossilen Energien stehen zudem künftigen Generationen nicht mehr als industrielle Rohstoffe zur Verfügung. Ohne andere Quellen kann die Welt längerfristig nicht mit genügend Energie versorgt werden. Auch die Treibhausgas-Problematik verlangt imperativ nach einem Umbau des Energiesystems.

3. Ein nachhaltiges Energiesystem, d.h. eine langfristig ausreichende, wirtschaftliche tragbare und umweltschonende globale Energieversorgung - mit Ablösung der fossilen Energien - ist möglich. Das Potenzial an erneuerbaren Energien ist um mehrere Grössenordnungen höher als zur Deckung des aktuellen globalen Energieverbrauchs erforderlich und genügt, um die fossilen Energien abzulösen. Grundsätzlich kann auch die weiterentwickelte Kernenergie Teil eines nachhaltigen Energiesystems sein. Die Minimierung des Energieeinsatzes durch

verantwortungsvolle und effiziente Nutzung ist ein zentrales Element eines nachhaltigen Energiesystems; hohe Energieeffizienz und damit eine geringe Energieintensität erlauben, die Energiekosten auf einem volkswirtschaftlich tragbaren Niveau zu halten.

4. Hauptaufgabe von Energiepolitik und -wirtschaft bleibt, die Versorgung von Unternehmen und Haushalten mit den notwendigen Energiedienstleistungen sicherzustellen. Dies soll mit geringem Energieverbrauch und tiefem Treibhausgasausstoss erfolgen. Dabei ist es bei genauer Betrachtung unerheblich, ob die Vision der "2000 Watt-Gesellschaft" oder die Strategie der "1 Tonne CO<sub>2</sub>-Gesellschaft" angestrebt wird. Die beiden Visionen verfolgen in den nächsten Jahrzehnten parallele Wege; die "2000 Watt-Gesellschaft" fokussiert auf die Energieeffizienz, die "1 Tonne CO<sub>2</sub>-Gesellschaft" ist offen für Lösungen mit höherem Energieeinsatz, beispielsweise durch erneuerbare Energien.

Bisher konnten, mit Ausnahme von Kriegs- und Krisenzeiten, stets alle Energiebedürfnisse befriedigt werden. Ob dies auch künftig der Fall sein wird, ist offen. Es ist zu erwarten, dass Ressourcenknappheit, Umwelt- und Klimaschutzanforderungen die Bedürfnisbefriedigung limitieren werden, teils über den Preismechanismus, teils über staatliche Vorgaben.

5. Auch wenn heute absehbar ist, nach welchen Grundsätzen ein künftiges nachhaltiges Energiesystem zu gestalten ist - die Stossrichtungen sind rationelle Energienutzung, erneuerbare Energien und allenfalls Kernenergie -, so bleibt doch offen, welche Technologien sich durchsetzen und welche Beiträge sie erbringen werden. Die Entwicklung der Technik und Verschiebungen bei den ökonomischen Relationen werden dazu führen, dass das Energiesystem immer einem Wandel unterworfen sein wird. Der Umbau des heutigen nicht nachhaltigen in ein nachhaltiges Energiesystem führt deshalb nicht zu einem idealen, dauerhaften (End-)Zustand, der heute schon erkennbar wäre. Entsprechend ist eine flexible Politik erforderlich, welche die Vorschriften und Fördermassnahmen den ändernden ökonomischen und ökologischen Rahmenbedingungen und der technologischen Entwicklung anpasst.

Der Umbauprozess ist aufwändig und erfordert viel Zeit, bis das Energiesystem einen Zustand erreicht hat, der als den Nachhaltigkeitskriterien genügend bezeichnet werden darf. Sowohl bei den Infrastrukturanlagen (Kraftwerke, Übertragungsleitungen usw.), wie auch bei den Nutzungsstrukturen (Gebäude, Fahrzeuge, industrielle Prozesse) sind die Investitionskosten hoch, die Nutzungs- und Abschreibungsfristen lang, die Bewilligungsverfahren oft zeitaufwändig, politische Schwierigkeiten eher die Regel als die Ausnahme. Die künftig gewichtigen neuen erneuerbaren Energien weisen einen hohen spezifischen Investitionsbedarf auf. Die langfristig unausweichlich grosse, wenn nicht gar dominierende Bedeutung von (stochastisch anfallender) Wind- und Sonnenenergie erfordert zudem einen wesentlichen Umbau des Stromversorgungssystems; die Regel- und Speicherkapazitäten müssen ebenso verstärkt werden wie das Übertragungs- und das Verteilnetz.

Der Ersatz der fossilen Energien kann nur nach und nach erfolgen und eine nachhaltige Energieversorgung ist nicht vor Mitte oder gar erst gegen Ende dieses Jahrhunderts zu erreichen. Erdöl, Erdgas und Kohle werden deshalb noch lange den Hauptteil der Versorgungsaufgabe übernehmen müssen. Sie können genügen, um die Transformationsphase zu überbrücken; die Probleme liegen weniger bei der Menge der noch vorhandenen fossilen Energien als beim durch ihre Nutzung hervorgerufenen CO<sub>2</sub>-Ausstoss.

Es wäre aus Ressourcen- und Wirtschaftlichkeitsgründen nicht sinnvoll, zur Deckung des global und national steigenden Bedarfs an Energiedienstleistungen von vornherein auf die Nutzung bestimmter Energien zu verzichten. Vielmehr sind alle verfügbaren nachhaltigen Energiequellen erforderlich und entsprechend ihren jeweiligen (regional unterschiedlichen und zeitlich ändernden) Grenzkosten einzusetzen, und zwar unter Berücksichtigung ihrer Entwicklungspotenziale.

6. Nachhaltigkeit ist nicht bloss Aufgabe des Staates oder der Wirtschaft; viel mehr ist auch die Gesellschaft als Stromkonsument und Basis politischer Entscheide gefordert. Die Vorgaben, die der Staat der Wirtschaft macht - insbesondere der Energiewirtschaft und der in der Energietechnik tätigen Industrie -, bilden den technisch-wirtschaftlichen Rahmen für die Entwicklung eines nachhaltigen Energiesystems.

Der Aufbau eines nachhaltigen Energiesystems ist auch eine politisch-gesellschaftliche Herausforderung. Nicht zuletzt werden die Ansprüche an das Energiesystem durch die Konsumbegehren von Wirtschaft und Gesellschaft bestimmt. Ohne Unterstützung durch die Mehrheit der Bevölkerung ist, besonders in der direkten Demokratie, keine nachhaltige Entwicklung möglich. Erforderlich ist nicht allein die Zustimmung zu einer Gesetzgebung, die Nachhaltigkeit ermöglicht, sondern auch zu notwendigen Infrastrukturvorhaben.

7. Die Energieversorgung wird teurer, unabhängig davon ob sie auf nicht erneuerbaren Energien beruht oder nachhaltig gestaltet wird. Langfristig wird sich die Welt ohnehin zum grossen Teil auf erneuerbare Energien abstützen müssen, die auch künftig teurer sein dürften als die heute genutzten konventionellen. Die steigenden Energiepreise werden eine höhere Energieeffizienz bewirken und damit den Energiekostenanstieg bremsen. Die zu erwartenden Kostensenkungen bei den erneuerbaren Energien lassen den Schluss zu, dass auch die teurer werdende Energieversorgung wirtschaftlich tragbar bleibt. Nicht tragbar wäre demgegenüber ein nicht durch den Preismechanismus zu verhindernder Energiemangel.

8. Die Nachhaltigkeitsanforderungen lassen sich in den einzelnen Verbrauchsbereichen auf unterschiedliche Weise erfüllen. Im Gebäudebereich besteht mit Niedrigenergiehäusern und der Nutzung der erneuerbaren Energien die Möglichkeit, den Bedarf längerfristig ohne fossile Energien zu decken. Das beträchtliche Sanierungspotenzial lässt sich aber auch mit einer Erhöhung der Erneuerungsrate nicht innert weniger Jahrzehnte erschliessen. Schwieriger ist die nachhaltige Deckung des Verkehrsbedarfs. Das Potenzial der ökologisch sinnvoll nutzbaren Biotreibstoffe ist beschränkt. Neben steigendem Einsatz der Elektrizität in der Mobilität werden längerfristig künstliche Treibstoffe benötigt. Die Industrie wird wohl, wenn fossile Energie nicht mehr zur Verfügung stehen, zu teuer werden oder nicht mehr eingesetzt werden dürfen, ihre Produktionsprozesse noch vermehrt elektrisch betreiben.

Die Bedeutung der Schlüsselenergie Elektrizität wird aus verschiedenen Gründen weiterhin zunehmen. Die rationelle Energienutzung und die Substitution fossiler Energie führen zu einem höheren Elektrizitätsverbrauch. Auf der Energiebereitstellungsseite sind Wind und Sonnenenergie die Energiequellen mit dem weitaus grössten Potenzial. Der notwendige Übergang auf erneuerbare Energien führt deshalb zwangsläufig zu einem steigenden Versorgungsanteil des Stroms.

9. Die Wissenschaft hat eine Reihe von Methoden zur Beurteilung von Energietechnologien entwickelt. Sie zeigen, allerdings abhängig von der gewählten Messmethode und ihren Messgrössen, dass die Resultate nur bedingt der üblichen Bewertung durch Politik und Öffentlichkeit entsprechen. So sind die neuen erneuerbaren Energien nicht von vornherein besser einzustufen als ein Teil der konventionellen Energietechnologien.

Die jeweils aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnisse sollten die Grundlage für den Aufbau eines nachhaltigen Energiesystems bilden. Andernfalls werden die unausweichlichen ökonomischen und ökologischen Reibungsverluste grösser als notwendig. Insbesondere muss versucht werden, die einzelnen Technologien zeitlich und umfangmässig optimal zu fördern.

10. Die Weiterentwicklung der Energietechnologien - durch Forschung und Entwicklung, aber auch durch Nutzung - ist eine Grundvoraussetzung dafür, dass längerfristig ein nachhaltiges Energiesystem realisiert werden kann. Forschung und Entwicklung in Naturwissenschaften und Technik allein genügen jedoch nicht, auch die sozialwissenschaftliche Forschung muss wegen der grossen Bedeutung des Konsumentenverhaltens künftig einen hohen Stellenwert aufweisen. Die staatlichen und privaten Mittel für Energieforschung und -Entwicklung müssen im Interesse eines effizienten Aufbaus eines nachhaltigen Energiesystems verstärkt werden.

## **1. Einleitung**

Die Erkenntnis setzt sich mehr und mehr durch, dass die Sicherstellung der Energieversorgung global und für jedes Land, auch für die Schweiz, eine zentrale Herausforderung für Politik und

Wirtschaft ist und immer bleiben wird. Wenn der Wirtschaft und den Haushalten die erforderlichen Energiedienstleistungen nicht erbracht werden, sind weder eine gesunde wirtschaftliche Entwicklung noch eine den heutigen Vorstellungen entsprechende Lebensführung möglich. Eine quantitativ und/oder qualitativ ungenügende Versorgung gefährdet die Industriestaaten ebenso wie die Schwellen- und Entwicklungsländer; letztere sind für die unabdingbare wirtschaftliche Entwicklung auf ein ausreichendes und damit für sie steigendes Energieangebot angewiesen. Immer noch haben Milliarden von Menschen keinen Zugang zu Elektrizität und handelbaren Energieträgern.

Mit der heutigen Art und Weise der Energiebereitstellung und -nutzung ist die quantitative, ressourcenseitige Sicherstellung der notwendigen Energie mittel- und längerfristig immer weniger zu gewährleisten; davon zeugen beispielhaft die Diskussionen um Peak Oil, die gestiegenen Energiepreise und die Bemühungen um den Zugang zu Erdgas. Die sich verschärfende Knappheit der nicht erneuerbaren Energien ist der erste limitierende Faktor der künftigen Energieversorgung. Die bekannten und die vermuteten nicht erneuerbaren Energiequellen genügen zur Deckung des steigenden globalen Energieverbrauchs immer weniger. Die Wirtschaftskrise hat die Versorgungssituation vorübergehend entschärft; dies darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Gewährleistung einer sicheren Energieversorgung eine zentrale Herausforderung bleibt.

Der zweite limitierende Faktor ist die Klimaproblematik. Der grösste Teil der anthropogen erzeugten Treibhausgase ist zurückzuführen auf die Verbrennung fossiler Energien, der heute weitaus dominierenden Energieträger. Temperaturerhöhungen sind heute nicht mehr bloss Vermutung, sondern vielfach zu beobachten. Daran ändert auch der Hinweis nichts, dass früher immer wieder natürliche Klimaschwankungen zu verzeichnen waren. Die Notwendigkeit, die CO<sub>2</sub>-Emissionen drastisch zu reduzieren, wird nur mehr von wenigen Exponenten in Frage gestellt.

Die Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften (SATW) hat im Jahre 2003 festgehalten, dass Nachhaltigkeit das einzige umfassende und zukunftsfähige Konzept für Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Technik sei. Die Forderung nach Nachhaltigkeit ist seit 1999 auch in der schweizerischen Bundesverfassung enthalten. Nachhaltige Entwicklung ist aus Sicht des Bundesrats als regulative Idee in allen Politikbereichen zu berücksichtigen und er hat mit der "Strategie Nachhaltige Entwicklung 2002" entsprechende Vorgaben festgelegt.

Die Notwendigkeit einer nachhaltigen Entwicklung wird in der wissenschaftlichen und der öffentlichen Diskussion nicht bestritten. Nachhaltigkeit wird in Wirtschaft und Politik längst auch als Marketingargument eingesetzt. Der Graben zwischen Deklaration und Wirklichkeit ist allerdings noch breit, der Weg von der Erkenntnis zur nachhaltigen Realität noch lang. Wir stehen bestenfalls am Anfang und sowohl global wie auch in unserem Land läuft immer noch vieles in eine andere Richtung.

Dies gilt wohl besonders für die Energieversorgung; der globale Energiehunger nimmt rasant zu, nicht zuletzt wegen der noch ungenügenden Energiesparbereitschaft der industriellen Welt als bisherigem Hauptverbraucher und dem berechtigten Nachholbedarf der Schwellen- und Entwicklungsländer. Auch in unserem Land ist die zu erwartende Entwicklung nicht grundsätzlich anders; die Energieperspektiven des Bundesamtes für Energie lassen eine Verbrauchsentwicklung erwarten, die in den politisch wahrscheinlicheren Szenarien weit von

einem Weg zur Nachhaltigkeit entfernt ist. Bei der Stromversorgung muss gar befürchtet werden, dass der CO<sub>2</sub>-Ausstoss in unzulässiger Weise steigt und die Kyoto-Ziele realistischerweise nicht mehr zu erreichen sind.

Von Seiten der Akademien liegen verschiedene Arbeiten zur nachhaltigen Energieversorgung vor. Der Rat der schweizerischen wissenschaftlichen Akademien (Conseil des Académies Scientifiques Suisses, CASS, Vorläufer von Akademien der Wissenschaften Schweiz) hat im Jahr 2002 den Bericht Nachhaltige Elektrizitätsversorgung veröffentlicht. Die SATW widmete ihren Jahreskongress 2004 der nachhaltigen Energieversorgung, dessen Resultate in der SATW- Schrift Nr. 38 zusammengefasst sind. Sie hat auch weitere für die nachhaltige Energieversorgung wesentliche Berichte veröffentlicht (CH50% - Eine Schweiz mit halbiertem Verbrauch an fossilen Energien, 1999, Road Map Erneuerbare Energien Schweiz, 2006, Erdölknappheit und Mobilität in der Schweiz, 2008). Die Akademien der Wissenschaften Schweiz publizierten 2007 die Denk-Schrift Energie, ein Gemeinschaftswerk dreier Akademien.

Der Umbau der heutigen, auf dem Verzehr nicht erneuerbarer Ressourcen beruhenden Energieversorgung in ein dauerhaft ökonomisch, ökologisch und sozial verträgliches Energiesystem ist anspruchsvoll. Nachhaltigkeit muss in einem auf Grund der hohen Zeitkonstanten der Energiebereitstellungs- und Nutzungsstrukturen zwangsläufig sehr langfristigen Prozess angestrebt werden. Ausgangspunkte dieses Prozesses sind die heutige Situation und die für die nächsten Jahre absehbare Entwicklung; im Zentrum der Überlegungen für seine Gestaltung stehen aber die Anforderungen und Entwicklungstendenzen für einen Zeithorizont, der bis ans Ende dieses Jahrhunderts reicht.

Mit dem vorliegenden Diskussionsbeitrag werden grundsätzliche Fragen aufgeworfen, welche für die Entwicklung eines nachhaltigen Energiesystems von entscheidender Bedeutung sind. Ein nachhaltiges Energiesystem ist, wie noch gezeigt wird, grundsätzlich möglich. Bei seinem Aufbau sind aber eine Vielzahl von Aspekten relevant, die anhand der Nachhaltigkeitsdimensionen Umwelt und Klima, Wirtschaftlichkeit und Gesellschaft diskutiert werden. Von besonderer Bedeutung ist der Übergangsprozess vom Ist- zum Sollzustand des Energiesystems; dabei sind namentlich die verschiedenen Energien und Verbrauchsbereiche, aber auch die Auswirkungen von Liberalisierung und Globalisierung, wissenschaftliche Erkenntnisse und Forschungs- und Entwicklungsbedürfnisse zu betrachten. Die meisten der nachfolgenden Überlegungen sind allgemein gültig, ein Teil von ihnen bezieht sich auf die schweizerischen Gegebenheiten.

## **2. Was heisst nachhaltige Energieversorgung?**

Gemäss der Nachhaltigkeitsdefinition der Brundtland-Kommission ist eine Entwicklung nachhaltig, wenn die Bedürfnisse der heutigen Generation befriedigt werden, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zur Befriedigung ihrer eigenen Bedürfnisse zu beeinträchtigen. Die Bedürfnisbefriedigung ist ein zentrales Anliegen des

Nachhaltigkeitskonzepts und betrifft sowohl die Industrie- als auch die Schwellen- und Industrieländer.

Die drei Nachhaltigkeitsdimensionen Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft sind gleichwertig zu berücksichtigen, keine darf zu Lasten einer anderen ein Übergewicht erhalten. Sie sind auch nicht unabhängig voneinander, sondern in vielen Fragen verknüpft. Insbesondere zwischen den Dimensionen Umwelt und Gesellschaftlich-Soziales ist die formale Abgrenzung häufig schwierig, für die Sache aber wenig relevant.

Die Energieversorgung ist ein zentrales Element im Nachhaltigkeitskonzept; ohne nachhaltiges Energiesystem kann es keine nachhaltige Entwicklung geben. Hier eine Bemerkung zur Terminologie: es ist zweckmässiger, von einem nachhaltigen Energiesystem zu sprechen als von einer nachhaltigen Energieversorgung. Unter dem Begriff Energieversorgung wird die Versorgung der Konsumenten mit Energie verstanden, also die Angebotsseite. Für die Nachhaltigkeit ist die Nutzungsseite mindestens ebenso wichtig; es ist deshalb naheliegend, unter dem Begriff nachhaltiges Energiesystem Bereitstellung und Verwendung der Energie zusammenzufassen. Die Begriffe Nachhaltiges Energiesystem und Nachhaltige Energieversorgung werden im Folgenden als Synonyme verwendet.

Entsprechend den Vorgaben der Brundtland-Kommission muss das Energiesystem

- Wirtschaft und Haushalte heute und auch künftig mit der notwendigen Energie versorgen,
- die Energie - Produktionsfaktor und Konsumgut - wirtschaftlich und
- umweltschonend und sicher bereitstellen und nutzen, ohne künftigen Generationen unzulässige Lasten aufzubürden.

Damit wird in der schweizerischen Energiepolitik kein Neuland betreten. Die Bundesverfassung verlangt bereits seit 1990 eine ausreichende, breit gefächerte, sichere, wirtschaftliche und umweltverträgliche Energieversorgung sowie einen sparsamen und rationellen Energieverbrauch. Die gleiche Zielsetzung findet sich konsequenterweise auch im Energiegesetz von 1998.

Die bundesrätliche "Strategie Nachhaltige Entwicklung 2002" enthält eine Reihe allgemein gültiger Kriterien, orientiert an den drei Zieldimensionen „ökologische Verantwortung“, „wirtschaftliche Leistungsfähigkeit“ und „gesellschaftliche Solidarität“. Sie können für ein nachhaltiges Energiesystem wie folgt konkretisiert werden:

- Die ausgewiesenen Nutzenergiebedürfnisse (Wärme, Kraft, Licht, Kommunikation) der Wirtschaft und der Individuen sind zu decken.
- Damit die nicht erneuerbaren Energieträgern (fossile Energien, Uran) längerfristig ersetzt werden können, muss ihr Verbrauch unter dem Entwicklungspotenzial von erneuerbaren Energien bleiben.
- Der Verbrauch an erneuerbaren Energien ist unter dem Regenerationsniveau zu halten; dies betrifft vor allem die Biomasse.
- Die Belastung der natürlichen Umwelt durch Energiebereitstellung, -transport und -nutzung darf nicht über einem Niveau mit irreversiblen Schäden liegen.
- Risiken dürfen nur so weit eingegangen werden, dass beim grösstmöglichen Schadensereignis keine dauerhaften Schäden über eine Generation hinaus eintreten können.

- Die Energieversorgung muss bezahlbar sein und die Konkurrenzfähigkeit der Wirtschaft erhalten bleiben.
- Die gesellschaftliche Akzeptanz der Anlagen der Energieversorgung und -Entsorgung ist notwendig.

Die Anforderungen an ein nachhaltiges Energiesystem sind hoch. Entsprechend griffig und gut dotiert müssen die energiepolitischen Instrumente zu ihrer Durchsetzung sein. In den letzten Jahren sind hier wesentliche Fortschritte erzielt worden (CO<sub>2</sub>-Abgabe mit Teilzweckbindung, Einspeisevergütung). Die Anstrengungen von Politik, Wirtschaft und Gesellschaft sind aber weiter zu verstärken. Medienwirksame Einweihungen von Solarkraftwerken, Ankündigungen von Windparks, Fördermassnahmen und Verschärfungen der energetischen Gebäudevorschriften sind erfreuliche Schritte in die richtige Richtung, genügen aber bei weitem nicht.

Eine nachhaltige Energieversorgung ist nur im globalen Rahmen zielführend. Es ist unausweichlich, dass die Energieversorgung weltweit in Richtung Nachhaltigkeit umgebaut wird. Nicht nur die Industrie-, sondern auch die Schwellen- und Entwicklungsländer sind dem Zwang zu effizienterem Energieeinsatz, zur Ablösung der nicht erneuerbaren durch erneuerbare und zum Einsatz CO<sub>2</sub>-armer Energien unterworfen. Nur so ist es möglich, dass langfristig die Energieversorgung global gesichert und die Klimaproblematik bewältigt werden kann. Eine autonome schweizerische Entwicklung ist faktisch nicht machbar. Kein Land, auch kein heutiger Energieexporteur, kann sich auf Dauer von der globalen Entwicklung abkoppeln; der erforderliche Umstellprozess wird massgeblich durch die globale Entwicklung mitbestimmt. Die wesentlichen Rahmenbedingungen - Energiressourcen und -preise, Regelungen betreffend Treibhausgasreduktion, Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Energiespartechnologien und der erneuerbaren Energien - sind die Resultate der naturräumlichen Gegebenheiten, der Dynamik der weltweiten Energiemärkte, der technologischen Entwicklung, der Wirtschafts- und Sicherheitspolitik sowie der Verlässlichkeit internationaler Vereinbarungen.

### **3. Ist ein nachhaltiges Energiesystem möglich?**

Die heutige globale Energieversorgung ist offensichtlich nicht nachhaltig. Die diesbezüglichen Anforderungen von Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft werden nicht erfüllt:

- Die Welt stützt sich erstens immer noch weit überwiegend auf nicht erneuerbare Energiequellen. Auf der Primärenergiestufe betrug ihr globaler Anteil 2007 gemäss Angaben der Internationalen Energieagentur 87,3 Prozent (fossile Energien 81,4 Prozent).

- Zweitens verstärkt der wachsende CO<sub>2</sub>-Ausstoss die Klimaänderungen und die mit dem Energieverbrauch verknüpften Feinstaubemissionen und zu hohen Ozonwerte gefährden die Gesundheit.
- Drittens ist der Zugang zur Energie geographisch ungleich verteilt und es sind immer noch viele Menschen ohne Elektrizität und Zugang zu kommerziell gehandelter Energie. Der Mangel an Energie ist in Entwicklungsländern ein wichtiges Entwicklungshemmnis und ein Grund für Gesundheitsbeeinträchtigung und geringe Lebenserwartung.
- Schliesslich behindern viertens die steigenden Energiepreise die Wirtschaftsentwicklung und belasten einkommensschwache Bevölkerungsschichten.

Kein Staat kann von sich behaupten, seine Energieversorgung sei nachhaltig. Auch jene, die sich in verdienstvoller Weise in besonderem Masse für die rationelle Energienutzung und die Förderung der erneuerbaren Energien einsetzen, sind noch weit vom Ziel entfernt. Die Welt und auch kein einzelnes Land kommt darum herum, den beschwerlichen Weg von der heutigen, auf Verschwendung und fossilen Energien beruhenden Energieversorgung hin zu einem nachhaltigen Energiesystem zu beschreiten. Dass dieser Weg grundsätzlich gangbar ist, zeigen die folgenden Überlegungen.

### 3.1 Energieressourcen

In einer nachhaltigen Energieversorgung müssen die Bedürfnisse der heutigen und künftiger Generationen befriedigt werden. Gegenwärtig erfolgt dies weitgehend durch nicht erneuerbare, also endliche Energien. Wie lange sie noch zur Verfügung stehen, wird vereinfachend durch die so genannte statische Reichweite (bekannte Vorräte dividiert durch aktuelle Jahresförderung) beschrieben.

Beim Erdöl wird diese in der Regel mit 40 Jahren angegeben. Eine erhöhte Förderung verkürzt die statische Reichweite, steigende Vorräte verlängern sie. Die bekannten Vorräte sind nicht eine fest gegebene Grösse, sondern hängen von Erfolgen der Explorationstätigkeit und der technischen Entwicklung der Förderung ab. Die Einschätzungen darüber werden von den Interessen und den politischen Einstellungen der sich dazu Äussernden mindestens beeinflusst oder gar bestimmt und widerspiegeln sich in der Diskussion um Peak oil. Damit wird der Zeitpunkt bezeichnet, in dem die Förderung ihren Höchstwert erreicht. Die Förderung folgt in jedem Erdölfeld in etwa einer Glockenkurve; die Überlagerung der einzelnen Förderkurven ergibt für jedes Ölförderland und global einen Peak oil-Zeitpunkt. Er dürfte in wenigen Jahren erreicht sein; die meisten Experten erwarten ihn zwischen 2015 und 2030; energiewirtschaftskritische Experten sind der Ansicht, Peak oil sei bereits überschritten. Es ist unerheblich, wer Recht hat und selbst bei noch so spektakulären neuen Erdölfunden gilt, dass früher oder später die Förderung sinkt und das Erdöl knapp wird. Die Ölförderung übertrifft längst die neuen Funde. Peak oil kann nicht mehr weit sein. Nicht zuletzt spielt dabei eine Rolle, wie weit risikoreichere Vorkommen in der Tiefsee und in der Arktis ausgebreitet werden dürfen; es ist zu hoffen, dass die Welt durch die schweren Umweltverschmutzungen endlich aufgerüttelt wird. In der längerfristigen Tendenz steigen die Ölpreise; darüber dürfen auch vorübergehende, durch die globale Wirtschaftskrise hervorgerufene vorübergehende Ölpreissenkungen nicht hinwegtäuschen. Damit erhöht sich der Druck zur Ausbeutung aller Vorkommen, auch von Ölschiefer und Teersand, trotz der damit verbundenen Umweltprobleme.

Beim Erdgas wird die statische Reichweite üblicherweise mit 60 Jahren angegeben. Neue Funde, z.B. in Ölschiefern, entlasten den Markt und können die Konkurrenzsituation rasch ändern, wie sich dies in den USA jüngst gezeigt hat. Sie dürfen aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass auch Gas nur während einer beschränkten Zeit zur Verfügung steht.

Kohle ist mit einer statischen Reichweite von ca. 200 Jahren der fossile Energieträger mit den weitaus grössten Reserven. Sie kann aber, mindestens ohne aufwändige effizienzmindere Umwandlung, längst nicht für alle Anwendungen eingesetzt werden. Und auch die Kohle steht schlussendlich nicht unbeschränkt zur Verfügung. Ihr voller Einsatz hängt nicht zuletzt davon ab, ob die CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung gelingt.

Zur Problematik der schwindenden fossilen Reserven werden scheinbar widersprüchliche Signale ausgesandt. Die einen, vor allem die Energiewirtschaft und internationale Organisationen, orientieren sich an der Frage, ob die Versorgung mit Energieträgern, vor allem mit Erdöl, in den nächsten zwei bis drei Jahrzehnten gesichert sei. Die Antwort lautet regelmässig, dass ausser im Fall schwerer politischer Turbulenzen keine mengenmässige Verknappung befürchtet werden müsse, geopolitische Probleme werden kaum thematisiert. Die andere Meinung, vor allem von Umweltschutzseite, moniert mit Verweis auf Peak oil ein rasch sinkendes Angebot.

Beide Ansichten sind gleichzeitig teilweise richtig und falsch. Weder übertriebener Optimismus noch Untergangsstimmung sind gerechtfertigt. Es ist grundsätzlich möglich, in den nächsten Jahrzehnten auch einen global steigenden Energieverbrauch zu decken, wenn die Förder-, Transport- und Raffineriekapazitäten genügend ausgebaut und gesichert werden. Die Folge ist ein rascherer Abbau der Reserven und damit ein früherer Eintritt der zu erwartenden Verknappungen. Dabei ist zu beachten, dass im Erdöl- und auch im Erdgasmarkt die Produzentenstaaten immer mehr Einfluss nehmen. Man kann deshalb nicht davon ausgehen, dass die simple Marktformel weiterhin gilt, wegen steigenden Preisen könne es keine echten Verknappungen geben.

Inwieweit ist dieser kurz- und mittelfristige Streit um die Ressourcenverknappung für die nachhaltige Energieversorgung relevant? Die langfristige Notwendigkeit ist klar: auf Dauer kann man nicht auf die nicht erneuerbaren Energien setzen. Sie sind aber für eine längere Übergangszeit unabdingbar. Die gegenwärtigen Anstrengungen zur Deckung der steigenden globalen Energiebedürfnisse sind aus Sicht der wirtschaftlichen Entwicklung, vor allem der Schwellen- und Entwicklungsländer, verständlich und auch wegen der Sicherung der politischen Stabilität nicht zu umgehen. Die rasche Ressourcenverknappung wird jedoch den künftigen Umstellungsprozess hin zu einer nachhaltigen Energieversorgung wesentlich erschweren. Die rasch steigende Nachfrage aus grossen Schwellenländern, die ungleiche geografische Verteilung der Vorkommen, leicht zu störende Logistik und nicht zu überbrückende ideologische Differenzen dürften die Versorgungssicherheit erheblich beeinträchtigen.

Die künftige nachhaltige Energieversorgung muss sich angebotsseitig weitgehend auf erneuerbare Energien abstützen, was grundsätzlich möglich ist, denn das Potenzial einzelner erneuerbarer Energien ist faktisch unbeschränkt. Dies gilt namentlich für die Sonnenenergie; deren jährlich auf die Erdoberfläche treffende Energiemenge beträgt etwa das 10 000-fache des globalen Energieverbrauchs. Auch die Erdwärme steht in praktisch beliebiger Menge zur

Verfügung. Gleiches wäre für die "sonnenähnliche", auf Deuterium basierende Kernfusion zu sagen, falls es gelingt, sie grosstechnisch zu beherrschen und wirtschaftlich zu nutzen. Wichtig ist auch das Potenzial der Windenergie. Beschränkt ist hingegen das Biomassepotenzial, wo sich bereits erste Nutzungskonflikte mit der Nahrungs- und Futtermittelerzeugung zeigen.

Für fast jede Volkswirtschaft stellt sich die Frage, wie weit die Energiebedürfnisse künftig durch erneuerbare Energien gedeckt werden können. Die Abschätzung der Potenziale und ihrer zeitlichen Ausschöpfung ist unabdingbares Element jedes Energieszenarios. Die erwarteten bzw. erhofften künftigen Versorgungsbeiträge der erneuerbaren Energien ergeben sich nicht zwingend aus der Einschätzung der technischen und wirtschaftlichen Entwicklung, sondern sind nicht zuletzt eine Frage des politischen Standorts. Im Rahmen des Energie Dialogs Schweiz (ETS) wurden die in den verschiedenen Szenarien und Studien des Bundes, der Elektrizitätswirtschaft und weiterer Organisationen ermittelten Gesamtpotenziale der erneuerbaren Energien verglichen und festgestellt, dass diese beim Strom um einen Faktor drei bis vier, bei der Wärme um einen Faktor zwei divergieren. "Die ETS-Kerngruppe kommt aufgrund ihrer Überlegungen zum Schluss, dass bei den neuen erneuerbaren Energien sowohl beim Strom als auch bei der Wärme bis zum Jahr 2035 mindestens mit einer Verdoppelung der heutigen Produktion gerechnet werden kann." Bis zum Jahr 2050 dürfen weitere substanzielle Produktionserhöhung erwartet werden.

Wegen der geringen Energiedichte der erneuerbaren Energien ist deren spezifischer Materialaufwand hoch. Damit stellt sich die Frage, ob die für eine voll erneuerbare Energieversorgung nötige Materialmenge ohne Engpässe bereitgestellt werden kann. Die Penetration einzelner Technologien kann durch die beschränkte Verfügbarkeit kritischer Rohstoffe limitiert sein; für gewisse seltene Elemente, die heute in der Fotovoltaik eingesetzt werden, bestehen entsprechende Befürchtungen. Diesbezügliche quantitative Abklärungen sind nicht bekannt; Experten rechnen nicht mit einer ungenügenden Materialversorgung, welche die Entwicklung der erneuerbaren Energien generell beeinträchtigen würde.

Zu prüfen ist, ob auch nicht erneuerbare Energien mit sehr grosser Reichweite mindestens für längere Zeit den Erneuerbaren gleich gesetzt werden können, nicht zuletzt weil sie den Umstellungsprozess hin zur voll erneuerbaren Versorgung wesentlich erleichtern könnten. Hier ist an die weiterentwickelte Kernenergie (Generation IV) und an die Kohle zu denken, falls die CO<sub>2</sub>-Sequestrierung gelingt. Sie von vornherein auszuschliessen wäre mit hoher Wahrscheinlichkeit kontraproduktiv.

Das mengenmässig unbeschränkte Potenzial der erneuerbaren Energien erlaubt von den Ressourcen her eine vollständig erneuerbare Energieversorgung. Die globale Versorgung mit den benötigten Energiedienstleistungen ist auf beliebige Zeit möglich. Auch ein verschwenderisches, auf erneuerbare Energien beruhendes Energiesystem ist denkbar; dies wäre aber weder ökonomisch noch ökologisch sinnvoll. Vielmehr ist angezeigt, global die Energieverschwendung einzudämmen und die beachtlichen noch vorhandenen nicht erneuerbaren Energieressourcen zweckmässig und effizient einzusetzen; damit ist der erforderliche Umbau hin zu einem nachhaltigen Energiesystem ohne grössere Verwerfungen zu erreichen.

### **3.2 Umwelt und Klima**

Bei der Umweltdimension der nachhaltigen Entwicklung sind einerseits die direkten Auswirkungen der Energieversorgung auf die Umwelt und die verursachten Schäden zu beachten, andererseits der klimarelevante Treibhausgasausstoss.

Der technische Umweltschutz kann in unserem Land grosse Erfolge vorweisen. Der Ausstoss von Schwefeldioxid und Stickoxiden konnte entscheidend eingedämmt werden; die neu aufgekommene Feinstaubproblematik kann durch technische Massnahmen in Griff genommen werden. Die häufig immer noch zu hohen Ozonwerte verlangen allerdings nach weiteren Anstrengungen. Auch die Schäden durch Ölnfälle (Verkehr, Tankanlagen) wurden massiv reduziert. Der oben erwähnte hohe spezifische Materialaufwand der erneuerbaren Energien führt zu entsprechenden Umweltlasten, die aber die grundsätzliche ökologische Verträglichkeit nicht in Frage stellen dürften. Insgesamt scheint eine auf erneuerbaren Energien beruhende Energieversorgung bei entsprechender Ausgestaltung den Anforderungen des Umweltschutzes genügen zu können. Angesichts des grossen Beitrags, den insbesondere die Sonnenenergie und der Wind künftig zu leisten haben, sind allerdings gewichtige Änderungen im Siedlungs- und Landschaftsbild nicht zu umgehen; daran wird sich die Gesellschaft gewöhnen müssen.

Schwieriger zu bewältigen ist die Eindämmung der Treibhausgase. Sie ist eine globale Aufgabe, zu deren Bewältigung auch unser Land seinen Beitrag zu liefern hat. In der Schweiz sind vier Fünftel des Treibhausgasausstosses auf die Nutzung fossiler Energien zurückzuführen. Die Energiepolitik muss deshalb den grössten Beitrag zur Klimapolitik liefern. Dafür kommen drei Stossrichtungen in Frage: der Einsatz CO<sub>2</sub>-armer Energieträger, die CO<sub>2</sub>-Speicherung und die Reduktion der Nachfrage nach fossilen Energien durch effiziente Nutzung. Vollständig CO<sub>2</sub>-freie Energien gibt es nicht, da auch bei den aus Klimasicht vorteilhaften erneuerbaren Energien und bei der Kernenergie die Anlageinvestitionen und die Brennstoffe (Uran, Biomasse) in jedem Fall mindestens teilweise durch fossile Energien erzeugt werden. Die grosstechnische CO<sub>2</sub>-Speicherung (Sequestrierung) ist erst im Stadium von Forschung und Entwicklung, der Nachweis, dass diese Technik langfristig sicher ist, muss noch erbracht werden. Die Verbesserung der Energieeffizienz ist zweifellos die wichtigste Massnahme zur Eindämmung des CO<sub>2</sub>-Ausstosses.

Die globale Wirtschaftsentwicklung, der Nachholbedarf der Schwellen- und Entwicklungsländer, insbesondere aber die mangelnde Energiesparbereitschaft der Industrienationen lassen jedoch für die nächsten Jahrzehnte nicht auf ein wesentliches Absinken der Treibhausgasemissionen hoffen. Dies zeigen auch die schleppenden Verhandlungen für ein neues Klimaabkommen. Zudem weisen insbesondere die Schwellen- und Entwicklungsländer, aber auch grosse Industriestaaten wie die USA, eine hohe Energieintensität auf, verbrauchen also pro Einheit Bruttoinlandsprodukt viel Energie. Damit sind zwar hohe Einsparpotenziale verbunden, bei den einen fehlt aber das Können, bei den anderen das Wollen zu Verbesserungen.

### **3.3 Wirtschaftlichkeit**

Energie ist für die Wirtschaft ein unverzichtbarer Produktionsfaktor, für die Haushalte ein für die Lebensführung notwendiges Konsumgut:

- Der Energiekostenanteil der Unternehmungen und Branchen ist sehr unterschiedlich, doch nur bei verhältnismässig wenigen energieintensiven Industriebetrieben ist Energie

ein erfolgskritischer Kostenfaktor. Für die gesamte Wirtschaft gilt jedoch, dass Energieeffizienz ökonomisch vorteilhaft ist. Grundsätzlich ist die Wirtschaft an günstiger Energie interessiert; steigende Energiepreise sind aber für die Unternehmungen verkraftbar, wenn der Preisanstieg nicht abrupt erfolgt und in- und ausländische Konkurrenten in gleicher Weise trifft. Viel entscheidender als das Energiepreinsniveau ist die Versorgungssicherheit; ein Energiemangel wäre wesentlich gravierender als höhere Preise.

- Auch für die Haushalte sind die Energiekosten nicht prohibitiv. Sie belasten, jedenfalls in Industriestaaten, nur einkommensschwache Haushalte in fühlbarer Masse. Soweit die Teuerung durch Lohn- und Rentenanpassungen ausgeglichen wird, sind Energiepreiserhöhungen im Durchschnitt wohlfahrtsneutral. Zudem können auch die Haushalte ihre Energiekosten durch effizienten und sparsamen Energieeinsatz begrenzen.

Die künftige Energieversorgung wird wegen der unausweichlichen Verknappung der konventionellen Energien kostspieliger sein als die aktuelle. Die meisten erneuerbaren Energien sind heute noch wesentlich teurer als die abzulösenden fossilen Energien, werden aber dank technischem Fortschritt und Marktvolumen immer preiswerter. Die einzelnen Technologien werden zu unterschiedlichen Zeitpunkten wirtschaftlich; es ist deshalb zur Minderung der Aufbauposten ökonomisch sinnvoll, zuerst vorzugsweise jene zu nutzen, die nahe am break-even-Punkt sind. Es wird noch einige Zeit dauern, bis die neuen erneuerbaren Energien insgesamt konkurrenzfähig zu den teurer werdenden traditionellen Energien sind, bis sich also die Grenzkosten der verschiedenen erneuerbaren und konventionellen Energiequellen angeglichen haben.

Hier sei versucht, die künftige Grössenordnung der Energiepreise abzuschätzen. Im Jahre 2009 betragen die schweizerischen Endverbraucher-Ausgaben für Energie (Brenn- und Treibstoffe, Elektrizität) 27,1 Milliarden Franken (2008: 32,6 Mia.Fr.), damit kostete 1 kWh Endenergie durchschnittlich 11,1 Rappen (2008 waren es noch 13,1 Rappen); die durchschnittlichen Konsumentenpreise für Strom beliefen sich im Jahre 2008 auf 14,60 Rp./kWh. Diesen heutigen sind die künftig zu erwartenden Energiepreise bei einer weitgehend erneuerbaren Energieversorgung gegenüberzustellen. Es sei davon ausgegangen, dass die Photovoltaik als teuerste einzusetzende Energie und damit Grenzerzeugungstechnik einen beachtlichen Versorgungsbeitrag leisten muss. Heute betragen die Gestehungskosten gemäss der für das Jahr 2010 geltenden kostendeckenden Einspeisevergütung (KEV) zwischen 40 Rp./kWh für grosse freistehende Photovoltaikanlagen und 73,8 Rp./kWh für kleine integrierte Anlagen. Das Paul Scherrer Institut (PSI) hat für das Jahr 2035 Produktionskosten von 32 bis 42 Rp./kWh für Dachanlagen und von 22 bis 29 Rp./kWh für Grossanlagen ermittelt (Neue erneuerbare Energien und neue Nuklearanlagen: Potenziale und Kosten, Mai 2005); die SATW erwartet in ihrer Road Map (Erneuerbare Energien Schweiz, Dezember 2006) für das Jahr 2050 Gestehungskosten von 13,4 Rp./kWh. Berücksichtigt man noch die Kosten für die Konsumanpassung und die Netznutzung (Speicherung, Durchleitung, Netzregelung etc), so sind die totalen durchschnittlichen Gestehungskosten in der Grössenordnung von real etwa 25 bis 30 Rp./kWh für die Mitte dieses Jahrhunderts zu schätzen. Sie dürften damit etwa das Zweieinhalbfache bis das Dreifache der heutigen Energiepreise betragen.

Die effektiven durchschnittlichen Energiepreise werden unter diesem Wert liegen, wenn die Annahme zutrifft, dass die Photovoltaik Grenzkostentechnologie bleibt und dass die

Materialkosten, die ihrerseits wieder vom Energiepreisniveau beeinflusst werden, nicht in extreme Höhen steigen. Die gesamtwirtschaftlichen Energiekosten hängen auch davon ab, ob die Kernenergie weiter genutzt wird oder nicht; der Verzicht auf diese kostengünstige Stromerzeugung wäre wirtschaftlich nachteilig.

Wären die oben geschätzten Energiepreiserhöhungen von der Wirtschaft und den Haushalten zu verkraften?

- Einen ersten Anhaltspunkt gibt der Anteil der Endverbraucherausgaben am Bruttoinlandsprodukt. Er betrug im Jahre 1981 noch 8,4 Prozent und sank bis 2002 auf 5,2 Prozent; mit den seitherigen Energiepreiserhöhungen stieg er auf 6,0 Prozent im Jahr 2008 und fiel dann wegen den rezessionsbedingten Energiepreissenkungen 2009 (vorübergehend?) auf 5,1 Prozent. Unsere Wirtschaft und die Haushalte geben demnach trotz tendenziell weiterhin steigenden Energiepreisen immer noch relativ weniger für die Energie aus als anfangs der achtziger Jahre. Die realen Energiepreise sind erst in den letzten Jahren über die bisherigen Höchstwerte der achtziger Jahre gestiegen.
- Ein zweiter Anhaltspunkt ist der hohe Nutzen der Energie. Menschliche Arbeit ist nicht in der Lage, technisch erzeugte Arbeit zu halbwegs vernünftigen Kosten zu ersetzen. Viele Tätigkeiten lassen sich zudem ohne Energie, speziell ohne Elektrizität, nicht ausüben; ein einleuchtendes Beispiel dazu ist die Kommunikation. Soweit diese Tätigkeiten als nötig erachtet werden, spielen für sie die Energiekosten keine Rolle. Höhere Energiepreise führen wegen der Abhängigkeit des Verbrauchs vom Gerätebestand kurzfristig zu geringen Verbrauchsminderungen; die längerfristigen Elastizitäten und damit die Reaktionen der Verbraucher sind dagegen grösser.
- Ein dritter Anhaltspunkt sind die Energiesparmöglichkeiten. Die erwünschten Energiedienstleistungen können vielfach mit weniger Energieeinsatz erbracht werden. Der Energieeinsatz pro Einheit BIP reduziert sich in den Industrieländern gemäss IASA Laxenburg seit langem um ein bis zwei Prozent pro Jahr. Mit einem verstärkten Sparprogramm könnten künftige Energiepreiserhöhungen wesentlich abgefedert und volkswirtschaftliche Kosten reduziert werden.

Man darf deshalb davon ausgehen, dass auch eine deutlich teurere Energieversorgung für Wirtschaft und Haushalte tragbar sein wird. Entscheidend ist, dass die notwendige Energie zur Verfügung steht die nötigen Anpassungen nach dem Stand des Wissens und rechtzeitig getroffen werden. Wenn die Energiepreise rasch steigen, die Energiekonsumenten nicht oder ungenügend mit Verbrauchsreduktionen reagieren können, ergeben sich für energieintensive Industrien und Gewerbe und für einkommensschwache Haushalte nicht zu unterschätzende wirtschaftliche Schwierigkeiten.

### 3.4 Gesellschaftliche Aspekte

Die gesellschaftlich-soziale (weiche) Dimension der nachhaltigen Energieversorgung hat verschiedene, oft widersprüchliche Facetten. Energiepolitische Entscheide, das Investitionsverhalten der Wirtschaft und der Individuen, die Akzeptanz oder Nichtakzeptanz der Energieinfrastruktur, die Art und Weise, wie Energie genutzt wird - sie sind für die Durchsetzbarkeit einer nachhaltigen Energieversorgung ebenso wichtig wie die (harten) Dimensionen Umwelt und Wirtschaftlichkeit, wenn nicht noch wichtiger. Die Einhaltung der

Umwelt- und Wirtschaftlichkeitskriterien ist notwendig, aber nicht hinreichend. Die gesellschaftlichen Herausforderungen sind ebenso enorm wie die technisch-wirtschaftlichen. Nur wenn systemisches, auf Nachhaltigkeit ausgerichteteres Wissen von einer Mehrheit der Konsumenten umgesetzt wird, ist eine nachhaltige Energieversorgung durchsetzbar.

Dazu einige Überlegungen:

- Eine nachhaltige Energieversorgung kann nur in einem langfristigen, von Bevölkerung und Politik getragenen Prozess gestaltet werden. Grundsätzliche Änderungen im Energiesystem und die Abkehr vom tradierten Energieverbrauchsverhalten sind unabdingbar.
- Eine nachhaltige Energieversorgung verlangt nach einer wesentlich geringeren Energieintensität, was bedeutet, dass der Energieeinsatz pro Einheit Bruttoinlandsprodukt (BIP) vermindert werden muss. Dies ist teilweise mit technischen Mitteln möglich (Gebäudesanierungen, sparsamere Autos und Elektrogeräte usw.), wohl ebenso wichtig ist aber der Abbau der Energieverschwendung durch verantwortungsbewussteres Verbraucherverhalten. Eine generelle Bereitschaft dazu ist noch nicht ersichtlich. Zudem werden Effizienzverbesserungen häufig durch zusätzlich beanspruchte Anwendungen und erhöhte Leistungen teilweise oder ganz wettgemacht (Rebound-Effekt); ein Beispiel dazu sind die Automobile, wo der zwischen Bund und Automobilimporteuren vereinbarte Verbrauchs-Absenkpfad trotz Verbesserungen bei den Motoren wegen grösseren Motorenleistungen und Mehrgewicht der importierten Fahrzeuge bisher nicht erreicht wurde.
- Erneuerbare Energien sind offensichtlich bei der Bevölkerung beliebter als Energiesparmassnahmen, obwohl diese mindestens in absehbarer Zeit meist wirtschaftlicher und energiepolitisch effektiver sind. Die grundsätzliche Zustimmung zu den erneuerbaren Energien verhindert nicht, dass neue Anlagen oft auf Widerstand stossen. Erst in letzter Zeit werden die neuen erneuerbaren Energien dank Fördermassnahmen (Einspeisevergütung, Subventionen) verstärkt genutzt.
- Moderne Gesellschaften und die von ihnen eingesetzten Technologien sind von der Verfügbarkeit von Energie abhängig. Eine massive dauerhafte Knappheit würde zu einer Beeinträchtigung der Lebensqualität führen und könnte Turbulenzen auslösen.
- Die Gesellschaft verlangt die Befriedigung ihrer Energiedienstleistungsbedürfnisse (Wärme, Kraft, Licht, Kommunikation), ist aber häufig nicht bereit, die dafür notwendigen Infrastrukturanlagen (Kraftwerke, Hochspannungsleitungen, Entsorgungsanlagen usw.) zu akzeptieren. Man will das Produkt, aber nicht die Produktion.
- Energiebereitstellung und -nutzung sind mit Risiken verbunden; sie sind möglichst zu minimieren. Für ihre Beurteilung und Objektivierung stehen Risikoanalysen zur Verfügung. Die politische Risikodiskussion beschränkt sich jedoch nicht auf die Restrisiken, also auf jene Risiken, welche trotz allen Sicherheitsvorkehrungen verbleiben. Es steht vielmehr häufig das Gefahrenpotenzial im Vordergrund, ohne Berücksichtigung der Eintretenswahrscheinlichkeiten. Die Gesellschaft akzeptiert in der Regel kleine Gefahren mit grosser Eintretenswahrscheinlichkeit eher als grosse Gefahren mit geringer Eintretenswahrscheinlichkeit, selbst wenn die Risiken der letzteren kleiner sind. Die Risikoakzeptanz ist demnach ein gewichtiger Faktor energiepolitischer Entscheide..

- Die Bevölkerung blendet häufig aus, dass ihre steigende Energienachfrage neue oder stärkere Infrastrukturanlagen wie Kraftwerke und Hochspannungsleitungen und damit zusätzliche Gefahren induziert.
- Gefahren, die man glaubt selbst beeinflussen oder verhindern zu können, werden leichter akzeptiert als fremd verursachte. Dies zeigt sich deutlich an sehr gefährlichen Freizeitaktivitäten; eine entsprechende Gefährdung beispielsweise durch Kraftwerke würde nie geduldet. Auch der Verzicht auf Energienbereitstellung und -nutzung birgt Gefahren, ebenso fehlende oder zur Unzeit getroffene Entscheide.

Die gesellschaftlich-sozialen Einschätzungen determinieren in ihrer Gesamtheit die Haltung der Bevölkerung zur Energiefrage. Diese bestimmt in der direkten Demokratie, ob die erforderliche Neuorientierung möglich wird. Massnahmen zur effizienteren Energienutzung, die Förderung erneuerbarer Energien und der Bau von Infrastrukturanlagen sind nur möglich, wenn sie von der Bevölkerung bejaht werden. In der direkten Demokratie bestimmt die Bevölkerung über die erforderliche Neuorientierung; es ist fraglich, ob diese ohne spürbare Verknappung der Energie rechtzeitig gelingen wird.

### **3.5 Eine nachhaltige Energieversorgung ist möglich**

Obige Ausführungen lassen darauf schliessen, dass die heute auf nicht erneuerbaren Energien beruhende Energieversorgung so umgebaut werden kann, dass die Menschen langfristig umwelt- und klimagerecht mit genügend Energie versorgt werden können. Erneuerbare Energienressourcen sind zur Genüge vorhanden, die Umweltbelastung lässt sich durch technische Massnahmen beherrschen und die gegenüber heute teureren Energiedienstleistungen werden wirtschaftlich tragbar sein. Der Umbau des Energiesystems wird aber Jahrzehnte dauern, während denen die Versorgung, wenn auch in sinkendem Masse, auf die traditionellen Energien angewiesen bleibt. Es wird deshalb in diesem Zeitraum schwierig bleiben, den Anforderungen des Klimaschutzes zu genügen. Unsicher ist, ob es gelingt, Politik und Bevölkerung von den erforderlichen Änderungen und notwendigen Massnahmen dauerhaft zu überzeugen.

## **4. Grundsätzliche Aspekte einer nachhaltigen Energieversorgung**

### **4.1 Zielsetzung: Energieverbrauch oder CO<sub>2</sub>-Ausstoss?**

Das PSI hat 1994 die Vorstellung der 2000 Watt-Gesellschaft in die Diskussion um die Ausgestaltung einer nachhaltigen Entwicklung eingebracht (Proc. Energietage, PSI 1994; 2000 Watt-Gesellschaft - Modell Schweiz, Strategie Nachhaltigkeit im ETH-Bereich, Zürich 1998). Die 2000 Watt entsprechen etwa der heute durchschnittlich global beanspruchten kontinuierlichen Leistung pro Kopf, gleich viel wie in der Schweiz im Jahre 1960. Unser Land war damals also eine 2000 Watt-Gesellschaft. Der heutige schweizerische Energieverbrauch kommt einer durchschnittlichen Leistung von etwa 5000 Watt gleich. Berücksichtigt man die

graue Energie, sind noch einmal knapp 4000 Watt dazu zu addieren (PSI, Energie-Spiegel 18, 2007). Die Zielsetzung des im Rahmen der Initiative novatlantis des ETH-Bereichs formulierten Leitbilds war, den pro Kopf-Verbrauch dank erhöhter Energie- und Materialeffizienz bis 2050 von 5000 Watt auf 2000 Watt zu vermindern, ohne Einbusse an den mit wachsender Wirtschaft und Bevölkerung steigenden Energiedienstleistungen. Mit der angestrebten Verminderung des Verbrauchs an fossilen Energien auf etwa 500 Watt oder 1 t CO<sub>2</sub>/Kopf könnte in der zweiten Hälfte dieses oder spätestens im Laufe des nächsten Jahrhunderts die ambitionöse CO<sub>2</sub>-Zielsetzung zur Begrenzung der globalen Temperaturerhöhung (2 Grad Celsius verglichen mit dem vorindustriellen Zeitalter) erreicht werden (Leichter leben. Ein neues Verständnis für unsere Ressourcen als Schlüssel zu einer nachhaltigen Entwicklung - 2000-Watt-Gesellschaft, novatlantis 2005).

Der Bundesrat nahm das 2000 Watt-Konzept auf und oficialisierte es damit (Strategie Nachhaltige Entwicklung 2002, Seite 24): "Das Szenario 2000-Watt-Gesellschaft dient der Energie- und Klimapolitik als Zielvorstellung, was langfristig eine Reduktion der Treibhausgase (primär CO<sub>2</sub>) auf nachhaltig 1 Tonne/Kopf, eine Deckung des Energieverbrauchs von 500 W/Kopf aus fossilen und 1500 W/Kopf aus erneuerbaren Energieträgern erfordern würde." Der Bundesrat ging offensichtlich davon aus, dass das im Rahmen von novatlantis entwickelte Modell einen realistischen Weg zur nachhaltigen Entwicklung aufzeige.

Die Väter des Modells 2000 Watt-Gesellschaft realisierten im Verlauf ihrer weiteren Arbeiten, dass die Zielsetzung und insbesondere die Zeitvorstellungen zu anspruchsvoll waren. Die 2000 Watt-Gesellschaft wurde in der Folge als - machbare - Vision bezeichnet, als Metapher, die die Ressourceneffizienz in den Fokus nimmt, ihre Definition wurde als nicht in Stein gemeißelt, sondern zur Revision offen bezeichnet. Die missverständliche Auffassung eines vorgegebenen Pfades wich dem Bild eines Suchprozesses, dies umso mehr, als 2004 mit "A White Book for R&D of energy-efficient technologies" Forschung und Entwicklung in den Vordergrund gerückt wurden.

Trotz dieser Relativierungen bleibt die Vision der 2000 Watt-Gesellschaft mindestens eine anstrengenswerte Entwicklungsrichtung; auf Grund heutiger Kenntnis darf davon ausgegangen werden, dass damit eine nachhaltige Energieversorgung erreicht werden kann. Ihr energiepolitischer Ansatz liegt in der Verbesserung der Energie- und Materialeffizienz um den Faktor 5, die von seinen Protagonisten als machbar angesehen wird. Wie der verbleibende Energieverbrauch gedeckt werden soll, wird aber nur am Rand betrachtet.

Anfangs 2008 hat die ETH Zürich eine neue Energiestrategie veröffentlicht, die als zentrale Zielsetzung nicht die Limitierung des Energieverbrauchs, sondern des Treibhausgasausstosses auf 1 t CO<sub>2</sub>/Kopf postuliert (Energiestrategie für die ETH Zürich, Energy Science Center, ESC, Februar 2008). "Eine konkrete Zahl für den zulässigen Primärenergiebedarf pro Kopf als strategisches Ziel auszugeben, hält das ESC langfristig nicht für sinnvoll, obwohl ein möglichst geringes Niveau angestrebt werden soll. Vielmehr ist auf die nachhaltige Qualität der Primärenergieträger zu achten, wobei nebst der Entkarbonisierung die Zugangsgerechtigkeit, Aspekte der Sicherheit, die volkswirtschaftlichen Kosten und die Kompatibilität zur Umwelt zu berücksichtigen sind."

Mit dem Vorschlag der "1 Tonne CO<sub>2</sub>-Gesellschaft" entfernt sich die ETH Zürich von den durch novatlantis formulierten, vom Bundesrat übernommenen Vorstellungen, was zu teils harschen

Reaktionen von Seiten der Väter des 2000-Watt-Modells geführt hat. Die ETH Zürich glaubt, dass es nicht notwendig ist, das energetische Anspruchsniveau auf 2000 Watt zu senken. In der ESC-Strategie wird davon ausgegangen, dass sich die Schweiz beim Primärenergiefluss und beim energetisch bedingten CO<sub>2</sub>-Ausstoss dem globalen pro Kopf-Mittelwert angleicht und dass der Primärenergiebedarf im Energiesystem gegen Ende des 21. Jahrhunderts zwischen 4000 und 6000 W pro Kopf betragen wird. Dieser Primärenergiebedarf könne die gesamte Energienachfrage nachhaltig abdecken. Dabei ist wesentlich, dass genügend CO<sub>2</sub>-freie Primärenergie zur Verfügung steht. Im Klartext bedeutet dies, dass die künftige nachhaltige Energieversorgung neben den erneuerbaren Energien auch die Kernenergie und die Kohle (mit CO<sub>2</sub>-Sequestrierung) einsetzen wird. Allerdings wird darauf verwiesen, dass die benötigte Energie von den Potenzialen her grundsätzlich auch mit erneuerbarer Energie, insbesondere mit Sonnenenergie, bereitgestellt werden könne.

Wo liegen die Gemeinsamkeiten und Differenzen der beiden Ansätze? Der ETH-Bereich hat in seiner Broschüre "Schweizer Beitrag zur Energiezukunft" (2009) festgehalten, dass die beiden Ziele miteinander verknüpft sind, und dass beide Visionen in den ersten 50 Jahren parallele Wege verfolgen. Beide sind technologieorientiert; das 2000 Watt-Modell fokussiert auf Effizienztechnologien, das 1 Tonne CO<sub>2</sub>-Modell schwergewichtig auf das Energieangebot. Beide betonen die Notwendigkeit zur Effizienzsteigerung und verlangen eine sinkende Kohlenstoffintensität, enthalten die gleiche CO<sub>2</sub>-Zielsetzung, sind Visionen und nicht endgültig festgelegte Marschrichtungen (auch das ESC spricht von der Vision eines Transformationspfads für das Energiesystem im 21. Jahrhundert), beide sind, obwohl in der öffentlichen Diskussion als energiepolitische Entwürfe kommuniziert, im wesentlichen Gehalt Forschungsstrategien für den ETH-Bereich bzw. die ETH Zürich. Der entscheidende Unterschied liegt darin, dass das ESC-Modell einen höheren Energieverbrauch als möglich und zulässig erachtet als das 2000 Watt-Modell.

Wer hat nun Recht? Aus heutiger Sicht und Kenntnislage beide teilweise. Hier sei nochmals auf die erwähnte Broschüre des ETH-Bereichs verwiesen. Der Schlüssel zur Antwort liegt wohl in drei Überlegungen: erstens ist davon auszugehen, dass die Grenzkosten der Energieeffizienz mindestens noch während längerer Zeit geringer sein werden als jene der meisten neuen erneuerbaren Energien; zweitens müssen die CO<sub>2</sub>-Sequestrierung und die Kernreaktoren der Generation IV zuerst entwickelt und ihre Sicherheit nachgewiesen werden; drittens ist offen, ob die Gesellschaft als politische Akteure und Konsumenten die neuen Kohletechnologien und Kernreaktoren und/oder die Energieeffizienzmassnahmen akzeptiert. Weiter ist zu beachten, dass von den beiden Restriktionen Klimabelastung und Ressourcen erstere die härtere ist; der Treibhausgasausstoss muss zwingend limitiert werden, während mit den erneuerbaren Energien, der Kernenergie und der Kohle (mit CO<sub>2</sub>-Sequestrierung) ein grosses Primärenergieangebot für eine CO<sub>2</sub>-arme Versorgung zur Verfügung steht. Der lange Betrachtungszeitraum - bei beiden Modellen ist er bis mindestens in die zweite Hälfte dieses Jahrhunderts anzusetzen - lässt zudem keine endgültige Antwort zu. Es ist aber zu vermuten, dass sich die reale Entwicklung zwischen den beiden Modellen bewegen wird; es ist wahrscheinlicher, dass sich das künftige Energiesystem auf den beiden Schienen Energieeffizienz und CO<sub>2</sub>-freie Energien als allein in Richtung Energieeffizienz herausbildet.

Die ESC-Strategie ist demnach offener als das Modell der 2000 Watt-Gesellschaft. Allerdings müssen Vorbehalte angebracht werden. Es ist fragwürdig, das Energiesystem allein am CO<sub>2</sub>-

Ausstoss zu messen und es wäre nicht zielführend, bei der Energieeffizienz wesentliche Abstriche zu machen, weil dies rasch zu ökonomischer Ineffizienz führen würde. Die Frage darf nicht lauten: rationelle Energienutzung oder CO<sub>2</sub>-freie Energien, sondern nur: welches ist der optimale Mix? Erfolgversprechend ist die ESC-Strategie dann, wenn sie die Stärken des 2000 Watt-Modells übernimmt. In den nächsten Jahrzehnten muss ohnehin die Effizienzsteigerung aus Gründen der Versorgungssicherheit und der volkswirtschaftlichen Kosten erste Priorität haben.

Ob der Diskussion um die beiden ETH-Modelle darf die globale Zielsetzung der Energiepolitik nicht vergessen werden. Es gilt, weltweit ein nachhaltiges Energiesystem aufzubauen, welches die Bereitstellung der erforderlichen Energiedienstleistungen erlaubt. Am dringendsten ist die Bekämpfung der Energiearmut in den Entwicklungsländern, mit ihren verheerenden Auswirkungen auf die Lebenssituation und die Gesundheit der Betroffenen, auf die Bevölkerungsdynamik, aber auch auf die dortige Umwelt. Wenn sich die Industriestaaten quantitative Ziele bezüglich des Energieverbrauchs niveaus setzen, müssen sie beachten, dass sie mindestens langfristig nicht autonom sind. Die grossen Schwellenländer China und Indien, aber auch viele kleinere Schwellen- und Entwicklungsländer benötigen zwangsläufig mehr Energie und in einer globalisierten Wirtschaft werden sich unweigerlich auch die Ansprüche an die Energieversorgung angleichen. Konkurrenz bedeutet, dass die Energieintensität der verschiedenen Volkswirtschaften nicht zu stark differieren kann, Ausnahmen von dieser Regel sind höchstens für energieexportierende Staaten möglich, speziell für Ölexporture.

## 4.2 Die Aufgabe der Energiewirtschaft

Primäre Aufgabe der Energieversorgung und damit der Energiewirtschaft ist und bleibt, die Wirtschaft und die Haushalte mit der Energie zu versorgen, die sie zur Befriedigung ihrer Bedürfnisse benötigen. Dies wird gerne aus den Augen verloren, nicht zuletzt auch bei der Zieldiskussion 2000 Watt-Gesellschaft oder 1 t CO<sub>2</sub>-Gesellschaft. Besonders bei der 2000 Watt-Vision wird implizit davon ausgegangen, dass die erforderliche Energie zur Verfügung steht.

Für die Energiewirtschaft wird es immer schwieriger, das nötige Angebot bereitzustellen, nicht nur wegen der oben erwähnten Ressourcenverknappung, sondern auch weil es politisch immer mühsamer wird, Infrastrukturanlagen zu realisieren. Die Energiewirtschaft kann sich auch nicht bloss um die quantitative Bereitstellung der benötigten Energie kümmern; sie muss eine Reihe von gesetzlich vorgegebenen Rahmenbedingungen einhalten, wie die Versorgungssicherheit, Umweltauflagen, die Wirtschaftlichkeit, die technische Sicherheit.

Restriktionen - gesetzliche Rahmenbedingungen und politische Schwierigkeiten - treffen nicht nur die traditionelle Energiewirtschaft, sie werden sich zweifellos auch auf die nachhaltige Energieversorgung auswirken. Erste Anhaltspunkte, dass es auch gemeinhin als nachhaltig betrachtete Technologien schwer haben können, sind die Widerstände gegen Windkraftwerke oder die Ängste gegenüber der Geothermie, auch der Ausbau der Wasserkraft ist nicht unumstritten. Ein nachhaltiges Energiesystem lässt sich nicht ohne Schwierigkeiten gestalten, selbst wenn sich in Bevölkerung und Politik das Bewusstsein durchsetzen sollte, dass dies der einzige verantwortbare Weg ist.

Auch wenn wie erwähnt die Bereitstellung des Energieangebots weiterhin ihre Kernaufgabe bleibt, muss sich die Energiewirtschaft doch fragen, welche weiteren Aufgaben ihr beim Aufbau eines nachhaltigen Energiesystems zukommen und welche wirtschaftlichen Chancen sich dabei ergeben. Das künftige nachhaltige Energiesystem wird nicht nur technisch, sondern auch betrieblich-organisatorisch komplexer sein als das traditionelle mit seinen beiden Polen Anbieter und Konsumenten. Versorger und Kunde werden mit grosser Wahrscheinlichkeit stärker vernetzt sein als heute und Online-Beziehungen pflegen; ein Stichwort dazu ist das Smart grid. Die Konsumenten werden sich künftig wohl eher als heute im Klaren sein, dass sie zur Befriedigung ihrer Bedürfnisse Energiedienstleistungen und nicht die Energie selber benötigen. Es könnte sich ein neues Geschäftsmodell der Energiewirtschaft herausbilden, bei dem nicht Energieträger, sondern Energiedienstleistungen angeboten werden. Mit dem Contracting und ähnlichen Lösungen bestehen bereits entsprechende Ansätze. Wenn sich die Energiewirtschaft zum Energiesystemanbieter ausweiten würde, hätte dies den Vorteil, dass Fachwissen, wirtschaftliche Kompetenz und finanzielle Potenz gebündelt würden, mit positiven Auswirkungen auf den anspruchsvollen Umbauprozess hin zu einem nachhaltigen Energiesystem.

#### **4.3 Welche Bedürfnisse sind zu befriedigen?**

Was sind eigentlich die Energiebedürfnisse? Die Energiekonsumenten wollen Raumwärme, Warmwasser, Kraft, Licht, Mobilität, Prozessenergie, Strom für Informatik und Kommunikation - also Energiedienstleistungen, die ihnen wirtschaftliche Aktivitäten und eine Lebensweise nach heutigen Vorstellungen ermöglichen sollen. Die Nachfrage nach Endenergie (Strom, Brenn- und Treibstoffe) ist eine abgeleitete. Da ausser in Kriegs- und Krisenzeiten stets genügend Energie zur Verfügung stand, stellte sich bisher die Frage nicht, ob alle Energiebedürfnisse, also alle nachgefragten Energiedienstleistungen, zu befriedigen sind. Jede noch so sinnlose Energieanwendung, jede Energieverschwendung waren zulässig. Einschränkungen wie Anwendungsverbote, Kontingentierungen und Rationierungen standen nicht zur Diskussion.

Dies wird künftig wohl nicht mehr vollständig der Fall sein. Energiepreissteigerungen und quantitative, nicht durch den Preismechanismus zu bewältigende Knappheiten werden mit grosser Wahrscheinlichkeit dazu führen, dass nicht mehr alle Energieanwendungen erlaubt sind. Nicht nur die Ressourcenknappheit, sondern auch die auf Grund der globalen Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung zwangsläufig zu verschärfenden Umwelt- und Klimaschutzanforderungen werden die Bedürfnisbefriedigung limitieren.

Angesichts des berechtigten Nachholbedarfs der Schwellen- und Entwicklungsländer stellen sich auch ethische Fragen. Die ungezügelt befriedigte Bedürfnisbefriedigung, insbesondere im Mobilitätsbereich, durch die kaufkräftigen Konsumenten in den Industriestaaten verteuert die Energie und verschärft die globalen Anforderungen an Umwelt und Klima, mit negativen Folgen für die Schwellen- und Entwicklungsländer. Erst recht fragwürdig ist, wenn Biotreibstoffe an Stelle von Nahrungsmitteln produziert und erst noch als ökologisch - als erneuerbar und CO<sub>2</sub>-neutral - deklariert werden.

Es besteht ein doppelter Generationenkonflikt um die Nutzung der beschränkten globalen Ressourcen, einerseits zwischen der heutigen Generation in den Industriestaaten und in den Schwellen- und Entwicklungsländern, andererseits zwischen der heutigen und den künftigen

Generationen. Was wir heute in den Industriestaaten vergeuden, obwohl wir die gewünschten Energiedienstleistungen mit weniger Energieeinsatz erbringen könnten, steht heute der Dritten Welt und morgen den künftigen Erdenbürgern nicht zur Verfügung.

Die Problematik der knapper werdenden Ressourcen lässt sich durch hohe Energieeffizienz entschärfen. Je weniger Energie wegen schlechten Wirkungsgraden verschleudert wird, desto mehr steht für Energiedienstleistungen zur Verfügung. In diesem Sinne bedeutet rationelle Energienutzung künftig noch weniger als heute Einschränkung, sondern die Möglichkeit zu mehr Bedürfnisbefriedigung.

Die Politik wird gefordert sein, einerseits zum Erlass von Energiesparmassnahmen, andererseits zur Beantwortung der schwierigen Frage, ob auch künftig die Befriedigung aller Energiebedürfnisse zulässig sein soll, unabhängig von allfälligen negativen Auswirkungen auf Wirtschaft und Gesellschaft. Letzteres würde bedeuten, dass die Steuerung allein den Marktkräften überlassen wäre, mit der wahrscheinlichen Konsequenz, dass kaufkraftschwache Schichten existenzielle Bedürfnisse nicht befriedigen könnten. Es ist absehbar, dass sich die Politik mit Einschränkungen schwer tun und wohl erst handeln wird, wenn es nicht mehr anders geht.

Es ist nicht unwahrscheinlich, dass Energie derart knapp wird, dass der Markt die Allokation nicht mehr zufriedenstellend bewältigen kann; diese Problematik zeichnet sich insbesondere bei der Elektrizität ab, wo Produktionsengpässe nicht durch Lager überbrückt werden können. Damit wird die Konkurrenz der beiden Nachhaltigkeitsdimensionen Wirtschaft und Gesellschaft/Soziales deutlich. Im Fall von Engpässen müsste eine ausgewogene Verteilung des knappen Gutes Energie auf die Konsumenten in Wirtschaft und Haushalten vorgenommen werden. Dies könnte wohl auch die Reaktivierung von Massnahmen erfordern, die verpönt sind: Verbote, Kontingentierungen, Rationierungen, im Strombereich Netzabschaltungen.

#### **4.4 Ein schwieriger Übergangsprozess**

Wie oben dargelegt, ist eine nachhaltige Energieversorgung oder präziser, weil die Nutzungsseite ebenso wichtig ist wie das Angebot, ein nachhaltiges Energiesystem grundsätzlich möglich. Der Übergang vom heutigen nicht nachhaltigen, auf verschwenderischem Verzehr nicht erneuerbarer Energieträger beruhenden zu einem nachhaltigen Energiesystem wird aber schwierig und kostenintensiv sein. Er wird durch eine Reihe von Faktoren bestimmt, insbesondere durch die technische Entwicklung, durch die Situation der Energieressourcen, durch (steigende) Energiepreise, durch die staatlichen Rahmenbedingungen und Massnahmen.

Der Umbau des Energiesystems braucht viel Zeit. Massgeblich sind dabei die Abschreibungs- und Realisierungsfristen sowohl beim Energieangebot als auch bei den Nutzungsstrukturen. Die Lebensdauer von Kraftwerken beträgt einige Jahrzehnte, bei Wasserkraftwerken bis ein Jahrhundert oder mehr, die Realisierung neuer Anlagen dauert wegen langwieriger Bewilligungsverfahren und Bauzeiten häufig mehr als ein Jahrzehnt. Gleiches lässt sich für

Übertragungsleitungen sagen. Auch auf der Nutzungsseite sind die Lebensdauern unterschiedlich. Der Gebäudebereich ist sehr langlebig; bei der Gebäudehülle sind bei einer - ohne Fördermassnahmen nicht unrealistischen - Erneuerungsrate von ein bis zwei Prozent pro Jahr zwischen 50 und 100 Jahre bis zur umfassenden Sanierung des Gebäudeparks notwendig; bei der Heizung und der Warmwassererzeugung dürfte die Erneuerung etwa alle 20 bis 25 Jahre erfolgen. Kürzer sind die Erneuerungsdauern bei Fahrzeugen und elektrischen Apparaten; sie betragen etwa 15 Jahre.

Der für die Erneuerung der Angebots- und Nutzungsstrukturen erforderliche Zeitbedarf kann durch staatliche Massnahmen wie Vorschriften und Anreize reduziert werden. Wichtig ist dabei, dass das in den letzten Jahren mit der Einspeisevergütung und dem Gebäudesanierungsprogramm auf Bundesebene und mit den kantonalen Förderprogrammen lancierte staatliche Massnahmenpaket mit Nachdruck und Flexibilität weiterverfolgt wird. Nicht zuletzt gilt es auch, die Rahmenbedingungen zu verbessern, indem administrative Hemmnisse und politische Widerstände abgebaut werden.

Mangelnde Investitionsbereitschaft vor allem bei den Nutzungsstrukturen und noch nicht vollständig abgeschriebene Investitionen hemmen den Aufbau eines nachhaltigen Energiesystems. Dazu kommt, dass die künftig massgebliche Säule der Versorgung, die erneuerbaren Energien, zu einem wesentlichen Teil eine geringe Energiedichte und deshalb einen hohen spezifischen Investitionsbedarf aufweist. Die Umbaugeschwindigkeit wird damit auch durch die Kapitalverfügbarkeit limitiert.

Es bestehen keine genügend tragfähigen Szenarien, welche den vollen Weg bis zur Nachhaltigkeit des Energiesystems abbilden. Man muss davon ausgehen, dass der Zeitbedarf des Umbauprozesses viele Jahrzehnte beträgt und dass das Energiesystem frühestens in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts vollständig auf erneuerbaren Energien beruhen kann. Einen Anhaltspunkt für diese Aussage geben die Modellberechnungen der "Road Map Erneuerbare Energien Schweiz" der SATW. Es können bis 2050 wesentliche zusätzliche Versorgungsbeiträge der erneuerbaren Energien erwartet werden; die Hauptlast der Versorgung dürften sie aber dann noch nicht übernehmen. Im Übrigen wäre es falsch, sich einen idealen, dann erreichten Endzustand vorzustellen; das Energiesystem wird sich wegen ändernden Bedürfnissen und technischem Fortschritt immer im Wandel befinden.

Kontinuierliche Innovationen werden auch künftig ein wesentliches Element beim Umbau des Energiesystems sein; technologische Durchbrüche sind nicht auszuschliessen, man darf aber von ihnen nicht Wunder erhoffen. Weder naturwissenschaftlich-technische Gesetze noch ökonomische Entwicklungen lassen schnelle Änderungen erwarten. Selbst wenn neue, revolutionäre Technologien gefunden würden, benötigte ihre Umsetzung viel Zeit, denn im Energiesystem sind Änderungen in der Ausrüstung oder gar in der Struktur - anderes als etwa in der Informatik - sowohl auf der Angebots- wie auf der Nachfrageseite immer Generationenaufgaben.

Der Umbau des Energiesystems muss grundsätzlich zu möglichst geringen gesamtwirtschaftlichen Kosten und damit auf Grund von Grenzkostenüberlegungen erfolgen. Allerdings ändert sich die Kostensituation der verschiedenen Energien und Technologien im

Verläufe des langen Transformationsprozesses immer wieder; deshalb ist Flexibilität unabdingbar.

Die heutigen Energieszenarien internationaler Organisationen wie der Internationalen Energieagentur (IEA), der Internationalen Atomenergieagentur (IAEO) oder des Weltenergieerats (WEC), beschreiben ebenso wie jene des Bundes die Entwicklung in den nächsten Jahrzehnten. Konkretisierte längerfristige Vorstellungen über die Jahrhundertmitte hinaus fehlen. Dies gilt auch für Publikationen, welche sich der nachhaltigen Entwicklung widmen. Der wesentliche Aussagegehalt betrifft damit eine zeitliche Periode, in der die traditionellen Energien weiterhin dominieren werden und in der die erneuerbaren Energien erst in der Anlaufphase sind. Der World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) wählt in seinen "Pathways to 2050, Energy and climate change" zwar den Betrachtungszeitraum bis Mitte des Jahrhunderts, ohne aber die Problematik eines nachhaltigen Energiesystems in ihren drei Dimensionen zu beleuchten.

Der im Oktober 2007 veröffentlichte Bericht des InterAcademy Council (IAC), der 15 Akademien (ohne die schweizerischen) vereinigt, beschränkt sich zeitlich auf die nächsten zwei bis drei Jahrzehnte. Der IAC analysiert in "Lighting the way, Toward a sustainable energy future" die Szenarien der einschlägigen internationalen Organisationen und die Fachliteratur und verzichtet auf eigene Szenarien. Damit stimmt der Zeithorizont mit jenem der Unterlagen überein. Dementsprechend betreffen die neun Schlussfolgerungen die aktuellen energiepolitischen Prioritäten, also nur die nächste Phase des Umstiegs hin zu einem nachhaltigen Energiesystem, langfristige Überlegungen fehlen:

"1. Meeting the basic energy needs of the poorest people on this planet is a moral and social imperative that can and must be pursued in concert with sustainability objectives.

2. Concerted efforts must be made to improve energy efficiency and reduce the carbon intensity of the world economy.

3. Technologies for capturing and sequestering carbon from fossil fuel, particularly coal, can play a major role in the cost-effective management of global dioxide emissions.

4. Competition for oil and natural gas supplies has the potential to become a source of growing geopolitical tension and economic vulnerability for many nations in the decades ahead.

5. As a low carbon resource, nuclear power can continue to make a significant contribution to the world's energy portfolio in the future, but only if major concerns related to capital cost, safety, and weapons proliferation are addressed.

6. Renewable energy in its many forms offers immense opportunities for technological progress and innovation.

7. Biofuels hold great promise for simultaneously addressing climate-change and energy-security concerns.

8. The development of cost-effective energy storage technologies, new energy carriers, and improved transmission infrastructure could substantially reduce costs and expand the contribution from a variety of energy supply options.

9. The S&T community - together with the general public - has a critical role to play in advancing sustainable energy solutions and must be effectively engaged."

Der Bericht enthält viele interessante Analysen und zu jeder der neun Schlussfolgerungen Empfehlungen und die nötigen Aktionen. Er ist stark auf Technologie und Wirtschaftlichkeit ausgerichtet, politische und sozialwissenschaftliche Aspekte werden nur am Rande behandelt. Der IAC ist der Meinung, dass es trotz sehr ernüchternden Energieperspektiven nachhaltige Lösungen des Energieproblems gibt. Massive Unterstützung von Energiewissenschaft und -technologien muss verbunden werden mit Anreizen zur Verstärkung der aktuellen Entwicklung und Verbreitung innovativer Lösungen, welche die ganze Landschaft von Energienachfrage und -Angebot grundlegend ändern.

#### **4.5 Wichtigste Stossrichtung: Energieeffizienz**

Ein nachhaltiges Energiesystem ist nur möglich, wenn die Energiedienstleistungen mit einem minimalen Energieeinsatz erbracht werden. Daran ändert auch die in Kapitel 4.1 erwähnte Zieldiskussion nichts. Gesparte, nicht verschwendete Energie ist die nachhaltigste Energie: sie vermindert den Ressourcenverzehr, die Umwelt- und Klimabelastung und die Energiekosten. Die rationelle Energienutzung ist in der Regel wirtschaftlicher als die Bereitstellung von Energie, das heisst die Grenzkosten der Energieeinsparung sind geringer als jene der Energieversorgung, jedenfalls wenn genügend lange Pay back-Fristen angesetzt werden.

In sämtlichen Verbrauchsbereichen - Gebäude, Mobilität, Stromerzeugung und -nutzung, gewerbliche und industrielle Prozesse - bestehen beachtliche Einsparpotenziale und es sind auch die erforderlichen Techniken vorhanden. Staatliche Instrumente (Vorschriften, finanzielle Anreize, Information, Aus- und Weiterbildung) können die Ausschöpfung der Sparpotenziale beschleunigen, ihre Grenzen liegen aber in der politischen Durchsetzbarkeit. Die staatlichen Eingriffe können oft erst dann erfolgen, wenn der Problemdruck genügend gross wird und die Akzeptanz der Massnahmen gegeben ist. Sie geschehen häufig auch nicht in der nötigen Schärfe, etwa wenn bei Elektrogeräten und Automobilen an Stelle des Erlasses von Zulassungsvorschriften (schliesslich nicht eingehaltene) Verbrauchsziele vereinbart werden.

Die Internationale Energieagentur (IEA) weist in ihren Technologieperspektiven (IEA, Energy Technology Perspectives 2008) der Energieeffizienz die tragende Rolle bei der Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen zu. Mit umfassendem Einsatz und Weiterentwicklung der heutigen Technologien könnten bis 2050 die globalen Emissionen wieder auf das heutige Ausmass zurückgeführt werden. Eine Halbierung, wie sie zur Beschränkung der globalen Temperaturerhöhung nötig ist, erfordert einen raschen Kurswechsel und die Entwicklung neuer Technologien, mit Kosten von geschätzten 45 000 Mia. \$. Vier Fünftel der Emissionsreduktion würden durch Effizienzmassnahmen, ein Fünftel durch erneuerbare Energien erbracht. Für die Weltwirtschaft wäre dieser Aufwand in der Grössenordnung von einem Prozent des jährlichen globalen Bruttoinlandsprodukts beachtlich, aber nicht prohibitiv. Die positiven Wirkungen der

Energieeffizienzanstrengungen auf die Energiekosten, die Versorgungssicherheit und die Umwelt würden die Kosten zweifellos dauerhaft überwiegen.

Die Energieeffizienzsteigerung wird nicht nur durch die technische und wirtschaftliche Entwicklung und die staatlichen Massnahmen bestimmt. In modernen freiheitlichen Gesellschaften lässt sich längst nicht alles durch Vorschriften normieren. Ohne Bereitschaft der Energiekonsumenten, bzw. der Investoren, zu Energiesparmassnahmen kann der spezifische Energieverbrauch nicht im erforderlichen Masse reduziert werden.

#### **4.6 Alle verfügbaren Energien werden gebraucht**

Massnahmen zur Effizienzverbesserung, auch wenn sie heute schon wirtschaftlich sind, lassen sich nicht von einem Tag auf den anderen umfassend durchsetzen; ebenso wenig stehen die neuen erneuerbaren Energie rasch in genügender Menge zur Verfügung. Der Umbauprozess dauert wie gesagt viele Jahrzehnte, während denen die Welt und auch unser Land auf die konventionellen Energien angewiesen bleiben. Die Zielsetzungen - Reduktion des Verbrauchs an fossilen Energien zur Verminderung des Ressourcenverzehr und des CO<sub>2</sub>-Ausstosses - ändern nichts daran, dass in absehbarer Zeit, d.h. während Jahrzehnten, Öl und Gas und mit steigendem Anteil Kohle die Hauptlast der globalen Energieversorgung übernehmen werden.

Sinnvollerweise wird während diesem Übergangsprozess auf keine Energiequelle zur Deckung des steigenden Energiehungers der wachsenden Weltbevölkerung verzichtet. Es gibt dabei nur die zwei Säulen Nichterneuerbare und Erneuerbare Energien. Sie sind zwangsläufig komplementär; je schneller die Versorgungsbeiträge der erneuerbaren Energien wachsen, desto rascher können die nicht erneuerbaren zurückgefahren werden. Und bei den Nichterneuerbaren besteht nur die Wahl zwischen fossiler und nuklearer Energie; wer die Kernenergie nicht will, entscheidet sich unausweichlich für entsprechend mehr Erdöl, Erdgas und Kohle. Aus heutiger Sicht wäre es weder aus ökonomischen noch aus ökologischen Gründen sinnvoll, unverzüglich auf die Kernenergie zu verzichten. Gestaltungsraum besteht in erster Linie bei Neu- und Ersatzanlagen; die bestehende Energieinfrastruktur wird genutzt, solange dies technisch und wirtschaftlich möglich ist, was die Umbaugeschwindigkeit reduziert.

Das angestrebte nachhaltige Energiesystem lässt sich nur aufbauen, wenn in der Transitionsperiode eine funktionsfähige Energieversorgung zur Verfügung steht. Genauso wie sich erfahrungsgemäss der Umweltschutz in prosperierenden Wirtschaften leichter realisieren lässt als in wirtschaftlich schwachen Ländern, sind auch die Energieeffizienzverbesserungen und die neuen erneuerbaren Energien in einer starken Wirtschaft erfolgreicher zu entwickeln. Eine ungenügende, unsichere Energieversorgung würde nicht dazu führen, dass sich Energiesparmassnahmen und neue erneuerbare Energien schneller durchsetzen.

Die Energieversorgung ist nicht erst dann nachhaltig, wenn sie weitgehend auf erneuerbare Energien umgestellt ist. Während des langen Übergangsprozesses ist das Energiesystem dann ressourcenseitig nachhaltig, wenn die Energiebedürfnisse laufend erfüllt werden und die jeweils verbleibenden nicht erneuerbaren Energien für die restliche Umstellperiode genügen.

Das Begehren nach umgehendem Verzicht auf die konventionellen Energien, wie es etwa geäussert wird, ist ein gefährlicher Wunschtraum. Es ist unverantwortlich, wenn grosse ausgewiesene Potenziale an Energiesparmassnahmen und neuen erneuerbaren Energien als kurzfristig realisierbar verkündet und als Begründung gegen notwendige Energieinfrastrukturanlagen - vor allem Kraftwerke und Hochspannungsleitungen - missbraucht werden.

Gegen neue Anlagen der Energieversorgung, besonders gegen Kraftwerke, wird immer etwa ins Feld geführt, zusätzliches Angebot verhindere die rationelle Energienutzung und die erneuerbaren Energien. Dahinter steht die Meinung, ein Energiemangel würde den sparsamen Energieeinsatz erzwingen. Dies ist nur sehr bedingt richtig. Zwar würden die Energiepreise steigen, diese hätten aber wegen den tiefen Elastizitäten nur eine verhältnismässig geringe und zeitlich verzögerte Verbrauchsminderung zur Folge. Künstliche Verknappungen sind kein sinnvolles energiepolitisches Instrument, da ihre negativen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Konsequenzen zu schwerwiegend sind. Über den Energiepreis wirkende Massnahmen zur Förderung einer nachhaltigen Energieversorgung, wie Lenkungsabgaben oder eine ökologische Steuerreform, müssen wegen den hohen Investitionen und den langen Abschreibungsfristen vorausschauend eingesetzt werden.

#### **4.7 Erneuerbare Energien**

Die erneuerbaren Energien decken global, in der EU und in der Schweiz erst einen beschränkten, wenn auch wachsenden Anteil der Energiebedürfnisse ab. Gemäss der Internationalen Energieagentur (IEA) betrug der globale Versorgungsbeitrag der erneuerbaren Energien im Jahre 2007 12,7 Prozent des Primärenergieaufkommens, den überwiegenden Teil davon erbrachten mit 9,8 Prozent die festen Brennstoffe und die Abfälle; auf die Wasserkraft entfielen 2,2 Prozent, auf die neuen erneuerbaren Energien wie Erdwärme, Sonne und Wind 0,7 Prozent. In der EU-27 war der Versorgungsbeitrag der erneuerbaren Energien im gleichen Jahr mit 7,8 Prozent Anteil am Bruttoenergieverbrauch laut eurostat noch geringer. Für die Schweiz belief sich 2008 der Anteil der erneuerbaren Energien auf Endenergiestufe 18,6 Prozent; der überwiegende Teil davon stammte von der Wasserkraft. Wind und Photovoltaik fallen noch nicht ins Gewicht; sie steuerten 2009 1,17 Promille zur Stromerzeugung bei.

Es können aber keine Zweifel bestehen, dass langfristig die erneuerbaren Energien den Grossteil der Energieversorgung abdecken müssen; dies wird spätestens dann der Fall sein, wenn die Öl- und die Gasförderung zurückgehen, also relativ knapp nach Peak oil und Peak gas. Dann werden grosse und flexible industrielle und gewerbliche Kapazitäten zum Aufbau der erforderlichen Anlagen zur Nutzung der erneuerbaren Energien nötig sein.

Der Ausbau der erneuerbaren Energien beschränkt sich aber nicht allein auf den Bau von Solar- und Geothermieanlagen, Windkraftwerken, Biogasanlagen und dergleichen. Je grösser der Versorgungsbeitrag der erneuerbaren Energien wird, umso weniger ist das traditionelle Energiesystem in der Lage, sie zu übernehmen. Dies gilt speziell für unregelmässig und nicht bedarfsangepasst erzeugte Energien, also die Solarenergie und die Windkraft. Auch andere erneuerbare Energien fallen nur teilweise in einer Form an, in der man sie direkt verwenden kann.

Es wird deshalb eine Konsumanpassung erforderlich. Die Technologien dazu sind bekannt, müssen aber weiter entwickelt werden. Bei der Stromerzeugung durch Wind- und Solarenergie bedeutet dies den Ausbau der Speichermöglichkeiten (Pumpspeicherkraftwerke, Akkumulatoren, Kondensatoren), die Verstärkung der Netze und der Netzregulierung, allenfalls, bei hohem Versorgungsbeitrag, die Umwandlung in flüssige Brenn- und Treibstoffe.

Die verstärkte Bereitstellung und Nutzung der erneuerbaren Energien ändert auch den Aufbau des Energiesystems hin zu dezentraleren Strukturen. Der Anteil der in Kleinanlagen erzeugten Energie steigt, ohne dass dadurch die traditionelle Energiewirtschaft mit ihren Grossanlagen an Bedeutung verliert. Sie muss im Gegenteil eine immer wichtigere Ausgleichsfunktion übernehmen.

Der Entwicklungsstand der neuen erneuerbaren Energien und der für sie verwendeten Technologien ist unterschiedlich; die meisten sind für den Einsatz in grossem Massstab genügend ausgereift. Allerdings sind sie in der Regel noch nicht wirtschaftlich und müssen deshalb durch zweckmässige Rahmenbedingungen und staatliche Massnahmen gefördert werden, wenn sie in absehbarer Zeit ins Gewicht fallende Beiträge liefern sollen. Allein auf die Marktkräfte zu hoffen, wäre nicht zielführend. Wollte man darauf vertrauen, dass sich die einzelnen erneuerbaren Energien ohne Fördermassnahmen durchsetzen, sobald ihre Wirtschaftlichkeit dank technischem Fortschritt und Verteuerung der Konkurrenzenergien gegeben ist, würde dies zu erratischen, volkswirtschaftlich suboptimalen Entwicklungen führen. Die Verwerfungen wären grösser als bei den konventionellen Energien, wo Anlagen verhältnismässig rasch erstellt werden können. (Für unser Land ist diese Aussage allerdings wegen politischen Schwierigkeiten und komplizierten, zeitaufwändigen Verfahren zu relativieren, wie die Diskussionen um Gaskraftwerke zeigen.) Die erneuerbaren Energien weisen in der Regel eine geringe Energiedichte auf, sind deshalb kapital- und materialintensiv und haben damit zwangsläufig eine geringe Aufbaugeschwindigkeit.

Die Förderung kann sich nicht auf die gewichtige finanzielle Unterstützung durch Anwendungssubventionen, Einspeisevergütungen, Risikodeckungen, Beimischungsverpflichtungen und dergleichen beschränken, sondern muss auch Forschung und Entwicklung mit Einschluss von Pilot- und Demonstrationsanlagen enthalten. Die technische Weiterentwicklung und die economy of scale helfen, die Kosten der erneuerbaren Energien zu senken, diese damit konkurrenzfähiger zu machen und den break-even-Punkt vorzuzuschieben.

Die Bestimmung der optimalen Förderstrategie ist schwierig und es sind dafür keine ökonomischen Modelle bekannt. Die Förderung soll helfen, dass die neuen Technologien marktfähig werden und dass sie dann in industriellem Massstab zur Verfügung stehen. Die Förderung muss für die einzelnen Technologien und für den Technologiemarkt optimiert und der Förderaufwand minimiert werden. Sie unterliegt dem Spannungsfeld zwischen der schnellen Markteinführung einzelner, noch unwirtschaftlicher Technologien und der Knappheit der Mittel, die vielleicht effektiver eingesetzt werden könnten. Das Risiko von bedeutenden Fehlallokationen ist nicht von der Hand zu weisen. Deshalb wurden beim Erlass des Stromversorgungsgesetzes die Förderanteile der einzelnen erneuerbaren Energien begrenzt, insbesondere jene der Photovoltaik. Diese ist zwar auf einem Stand, der ihre Nutzung in grossem Umfang technisch problemlos zulässt, aber noch weit von der Wirtschaftlichkeit entfernt. Die

steigende Nachfrage ist im Wesentlichen die Folge von Markteingriffen, mit einem viel höheren finanziellen Einsatz pro erzeugte Kilowattstunde als bei allen anderen erneuerbaren Energien. Die Energiekommission der SATW untersucht im Projekt "Förderstrategie Erneuerbare Schweiz" die Argumente und Möglichkeiten zur Optimierung von Förderstrategien.

Die erneuerbaren Energien geniessen oft hohe gesellschaftliche Zustimmung, gelten als problemlos und sauber. Sie werden deshalb auch für Marketingzwecke verwertet, indem Unternehmen z.B. versuchen, sich durch Ökostromeinsatz ein grünes Image zu verschaffen. Die effektive Bereitschaft der Energiekonsumenten, die erneuerbaren Energien einzusetzen, entspricht allerdings häufig nicht der positiven Einschätzung. Die Gründe können mannigfach sein, von den höheren Kosten über mangelndes Vertrauen in die Einsatzreife bis zu fehlendem Einfluss auf die Investitionsentscheide, was für Mieter zutrifft.

Werden erneuerbare Energien in grossem Massstab genutzt, sinkt häufig die Akzeptanz. Dies zeigt sich insbesondere bei Windanlagen. Nimmt man zudem die erneuerbaren Energien mit wissenschaftlichen Instrumenten unter die Lupe, etwa mit Lebenszyklusanalysen (LCA) oder Gesamtkostenermittlungen, das heisst mit Einbezug der externen Kosten, so zeigt sich, dass die günstige Beurteilung zu relativieren ist. Dies liegt nicht zuletzt am oft hohen spezifischen Materialaufwand.

#### **4.8 Kohle**

Die Kohle ist zweifellos, so sie heute genutzt wird, das Paradebeispiel der nicht nachhaltigen Energie. Sie ist zwar die fossile Energie mit den weitaus grössten Reserven und damit jene mit der grössten zeitlichen Reichweite; diese wird meist zu etwa 160 bis 200 Jahre angegeben. Die positive Einschätzung der Kohlereserven ist allerdings nicht unbestritten. Die gegenüber Aussagen der Energiewirtschaft kritische Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH verweist auf die schlechte Datenlage der Kohlereserven, welche in vielen Ländern seit längerem nicht aufdatiert wurden (Jörg Schindler: *The culminating energy insecurity*, 2007). Auch für die Kohleproduktion erwartet Schindler den Peak um das Jahr 2025 auf einem Niveau von bestenfalls 30 Prozent über der heutigen Erzeugung.

Die entscheidenden Nachteile der Kohle sind ihr hoher spezifischer CO<sub>2</sub>-Ausstoss und die starke Umweltbelastung. Die Kohlevorkommen sind geographisch weit verbreitet; die Länder mit den grössten Kohlereserven sind die USA, Russland, Indien, China und Australien, alles Länder mit hohem Energieverbrauch.

Es ist naheliegend, dass gerade die Schwellenländer China und Indien, aber auch Indonesien, ihren wachsenden Energieverbrauch zu einem wesentlichen Teil durch einheimische Kohle decken. Dazu tragen sicher auch steigende Erdöl- und Erdgaspreise bei. Die durch die fossilen Energien, speziell die Kohle, verursachte Umweltbelastung mit ihren Gesundheitsschäden führt aber auch in diesen Ländern mehr und mehr zur Einsicht, dass saubere und klimafreundliche Energien nötig sind und dass nicht nur die Industriestaaten an der Bewältigung der Klimaproblematik interessiert sein müssen.

Es wäre naiv zu glauben, wegen dieser Erkenntnis werde der Kohleverbrauch eingedämmt. Der Primärenergieanteil der Kohle betrug 2007 gemäss IEA (*Key World Statistics 2009*) global 26,5

Prozent und in der Schweiz 0,7 Prozent, der weltweite Anteil des Kohlestroms 41,5 Prozent. Die Schwellen- und Entwicklungsländer sind auf die Kohle angewiesen und auch Industrieländer setzen sie verstärkt zur Stromerzeugung ein. Selbst Deutschland, das sich gerne als Vorreiter in Klima- und Umweltschutz sieht, plant, gemäss einer Mitteilung des Bundes für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND) vom Februar 2010, 25 neue Kohlekraftwerke mit einer Leistung von 27 GW, denen Stilllegungen von 7 GW gegenüberstehen; dies wohl nicht zuletzt wegen des Ausstiegs aus der Kernenergie.

Die Aussichten auf eine Entlastung an der Klimafront sind offensichtlich sehr getrübt; es ist im Gegenteil eine Verschärfung zu befürchten. Griffige Gegenmassnahmen sind erforderlich, wenn die Klimaziele auch nur halbwegs erreicht werden sollen. Die grosse Hoffnung der Energiewirtschaft und in vielen Staaten auch der Politik liegt in technischen Lösungen. Die Zauberworte heissen Clean Coal Technology, CO<sub>2</sub>-Sequestrierung oder Carbon Capture and Storage (CCS). Ob sie in grossem Massstab realisierbar, dauerhaft sicher und wirtschaftlich tragbar sind, ist offen. Ihre bisherigen Einsätze bei der Erdölförderung sind eher Nischenanwendungen. Sollten diese neuen Technologien erfolgreich sein, könnte die (saubere) Kohle eine gewichtige Rolle beim Übergang zu einer nachhaltigen Energieversorgung spielen. Andernfalls ist sie ein Klimakiller.

#### 4.9 Kernenergie

Die Kernenergie (Kernspaltung) ist in unserem Land mit etwa 40 Prozent Anteil an der Stromerzeugung eine gewichtige Säule der Stromversorgung; global beträgt ihr Produktionsbeitrag 13,8 Prozent. Die heutige Kernenergienutzung kann nicht als nachhaltig eingestuft werden; es stellt sich aber die Frage, ob nicht die künftige Kerntechnik den Nachhaltigkeitsanforderungen genügen wird. Unter den Blickwinkeln Ressourcenverfügbarkeit, Umwelt und Klima, Wirtschaftlichkeit und gesellschaftlich-soziale Aspekte zeigt sich eine unterschiedliche Beurteilung der heutigen und der künftigen Reaktortechnologie:

- Die Reserven an Uran und dem zweiten möglichen Reaktorbrennstoff Thorium sind erst ungenügend erforscht; wegen der Stagnation der Kerntechnologie in den letzten Jahrzehnten wurden kaum Uran exploriert und neue Minen eröffnet. Die steigende Zahl von Kernreaktorprojekten auch in den westlichen Industriestaaten kann dazu führen, dass Uran vorübergehend knapper und damit teurer wird. Man darf aber davon ausgehen, dass noch viele Vorkommen vorhanden sind und nutzbar gemacht werden können. Zudem ist sehr viel Uran im Meerwasser enthalten, wenn auch mit geringer Konzentration. Durch neue Reaktorsysteme der Generation IV (z.B. Brüter) mit geschlossenem Brennstoffkreislauf kann die Fission noch sehr lange genutzt werden. Zudem findet Uran ausser für die Energiegewinnung keine friedliche Verwendung. Aus Ressourcensicht ist die Fissionstechnologie den erneuerbaren Energien formell unterlegen. Die lange Verfügbarkeit von genügend Brennstoffen erlaubt aber, dass die Kerntechnologie eine wesentliche Stütze der Energieversorgung bleibt, auf welche die Welt nicht verzichten kann.
- Die Kernenergie ist im Betrieb CO<sub>2</sub>-frei; ihr ist nur ein geringer CO<sub>2</sub>-Ausstoss aus der Brennstoffherzeugung und der grauen Energie zuzuweisen. Auch bezüglich Umweltbelastung steht sie gut da dank der hohen Energiedichte des Brennstoffs und dem damit tiefen Materialumsatz im Betrieb und der im Vergleich zur erzeugten Energie

niedrigen Energieinvestition (graue Energie) in die Anlage. Die thermische Belastung durch die Kühlung führt zu keinen unzulässigen Umweltauswirkungen. Negativ ins Gewicht fallen können die im Ausland befindlichen Anlagen des Brennstoffkreislaufs, wenn Umwelt-, Sicherheits- oder soziale Anforderungen nicht eingehalten werden. Sehr negativ zu beurteilen ist die Kernenergie im Falle eines schweren Unfalls mit Freisetzung grosser Mengen Radioaktivität. Bereits die heutigen Kernkraftwerke weisen einen hohen Sicherheitsgrad auf, ein schwerer Unfall ist deshalb sehr unwahrscheinlich und neue Reaktorgenerationen werden noch sicherer sein. Ein besonderer Streitpunkt sind die radioaktiven Abfälle. Der Bundesrat hat festgehalten, dass die sichere Entsorgung der radioaktiven Abfälle in unserem Land möglich ist.

- Die steigenden Energie- und Materialpreise verteuern auch die Kernenergie, aber weniger als die fossile Stromerzeugung. Die Kernenergie ist auch unter Berücksichtigung aller Kostenbestandteile wirtschaftlich und wird dies auch künftig sein.
- Die aus der Sicht der gesellschaftlich-sozialen Nachhaltigkeitsdimension grösste Schwäche der Kernenergie ist zweifellos die mangelnde Akzeptanz in weiten Bevölkerungskreisen. Vor allem sind es zwei Punkte, welche die Gemüter bewegen: das nicht völlig auszuschliessende Risiko schwerer Unfälle und die Entsorgung der radioaktiven Abfälle. In ihren Standortregionen sind die bestehenden Kernkraftwerke wohl gelitten. Die Zustimmung zu neuen Kernkraftwerken steigt, wie Umfragen zeigen, wohl vor allem weil die Bevölkerung mehr und mehr anerkennt, dass zusätzliche Kraftwerkskapazitäten erforderlich sind.

Misst man die Kernenergie an der generellen Nachhaltigkeitsforderung, wonach die Möglichkeiten künftiger Generationen zur Befriedigung ihrer eigenen Bedürfnisse nicht beeinträchtigt werden dürfen, so kann sie in den Dimensionen Umwelt und Wirtschaft positiv beurteilt werden. Die Kernenergie ist, in Kombination mit der rationellen Energienutzung und den erneuerbaren Energien, eine erfolgversprechende Stossrichtung zur Eindämmung der Treibhausgase. Die Anforderungen an die gesellschaftlich-soziale Dimension der Nachhaltigkeit sind dann erfüllt, wenn die Kernenergienutzung künftige Generationen nicht gefährdet und in ihrer Lebensweise nicht beeinträchtigt. Dies bedeutet, dass durch den Betrieb der Kernkraftwerke und die Lager für radioaktive Abfälle nicht Radionuklide in einem Umfang in die Umgebung abgegeben werden dürfen, dass die Gesamtstrahlung im Vergleich zur natürlichen Strahlung unzulässig steigt.

Künftige Kernkraftwerke der Generation IV müssen so konzipiert sein, dass auch beim grössten anzunehmenden Unfall keine radioaktiven Nuklide aus der Anlage austreten, die eine Notfallplanung verlangen würden. Und wenn die radioaktiven Abfälle so gelagert werden, dass die Radionuklide nicht in die Biosphäre gelangen können, behindern sie die Bedürfnisbefriedigung künftiger Generationen nicht.

Damit kann die Kernenergie ein wesentliches Element mindestens für den Übergangsprozess hin zu einer möglichst erneuerbaren Energieversorgung sein. Ob allerdings diese technisch-wirtschaftliche Sicht der Kernenergie und die offensichtliche Notwendigkeit neuer Kraftwerke genügen, um die Ängste und Zweifel der Bevölkerung auszuräumen, ist offen. Erst die Rahmenbewilligungsabstimmungen für neue Kernkraftwerke und geologische Tiefenlager werden zeigen, ob die erforderliche Akzeptanz bei Politik und Bevölkerung gewonnen werden kann und diese die Kernenergie weiterhin als Teil der Energieversorgung bejahen.

Sollte die Fusion grosstechnisch gelingen und eine wirtschaftliche Stromerzeugung erlauben, würde sich eine gewichtige neue Perspektive für eine nachhaltige Energieversorgung eröffnen.

#### **4.10 Wer ist für die Nachhaltigkeit des Energiesystems zuständig?**

Nachhaltigkeit ist nur durch einen verantwortbaren Umgang mit den Ressourcen und der Umwelt zu erreichen. Damit sind sämtliche Akteure in Wirtschaft und Gesellschaft gefordert, die Konsumenten, die Anlagenbesitzer und -investoren, die Energiewirtschaft und die Politik auf allen Ebenen des Staatswesens.

Man kann nicht, wie dies etwa geschieht, von der Energiewirtschaft erwarten, dass sie allein die Probleme löst. Ihre zentrale Aufgabe ist die Sicherung der Energieversorgung; viele Unternehmungen setzen sich auch für die rationelle Energienutzung und die Förderung erneuerbaren Energien ein; dies ist aber nicht ihre Kernaufgabe. Die Anstrengungen der Energiewirtschaft sind wesentlich, vor allem weil sie das Versorgungssystem nachhaltig umbauen muss und weil sie durch beispielhafte Aktivitäten Impulse geben (und damit politisch punkten) kann. Die anderen Beteiligten sind jedoch ebenso bedeutend.

Insbesondere sind die Energiekonsumenten in Pflicht zu nehmen. Die meisten von ihnen fühlen sich weder für den Ressourcenverschleiss noch für die Klima- und Umweltbelastung verantwortlich. Als Automobilisten verlangen sie stets genügend und billigen Treibstoff, als Stromkonsumenten drehen sie am Schalter und erwarten, dass immer Strom fliesst. Diese Anspruchshaltung ist auf Dauer nicht zu verantworten, vielmehr müssen die Konsumenten erkennen, dass künftig nicht mehr alle Energieanwendungen unbesehen möglich sind und dass höchste Energieeffizienz gefragt ist.

Analoges gilt aber auch für die Anbieter der energieverbrauchenden Anlagen, Geräte und Fahrzeuge. Bis vor kurzen kümmerten sich weder die Autoproduzenten noch die Autoverkäufer ernsthaft um zukunftsfähige Fahrzeuge, welche den absehbaren Anforderungen an die Ressourcen-, Klima- und Umweltschonung genügen. Und die Anbieter von elektrischen Anlagen und Geräten fragen sich in der Regel bei neuen Anwendungen nicht, ob diese sinnvoll sind und sie bringen immer noch Geräte auf den Markt, die nicht der effizientesten Technik entsprechen. Hier kann mit Vorschriften Abhilfe geschaffen werden.

Für die Wirtschaft ist die Energie Produktionsfaktor, teilweise auch erheblicher Kostenbestandteil. Sie bemüht sich deshalb um den rationellen Energieeinsatz, wobei bisher aber weder das energetische noch das ökonomische Sparpotenzial ausgereizt wurden. Entscheidend für die Wirtschaft ist die Versorgungssicherheit; sie ist deshalb an einer nachhaltigen, also langfristig gesicherten Energieversorgung interessiert und auch als Herstellerin der energieverbrauchenden Anlagen, Geräte und Fahrzeuge ein wichtiger Player.

Der Staat bestimmt die politischen und teilweise die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen; er kann durch Vorschriften, finanzielle Anreize, Abgaben, Information, Forschung, Entwicklung und Ausbildung wesentlich einwirken. Die Konsumenten und die Wirtschaft sind politisch von zentraler Bedeutung; die Konsumenten bestimmen in der direkten Demokratie über die

staatlichen Kompetenzen, die Wirtschaftslobby beeinflusst die politischen Entscheide in Verwaltung, Regierung und Parlament.

## **4.11 Sektorielle Überlegungen**

### **4.11.1 Gebäude**

Der Gebäudebereich (Wohn- und Dienstleistungsgebäude) ist bei uns und in vielen Ländern der Sektor mit dem grössten Energieverbrauch; auf Raumwärme, Warmwasser und Kühlung entfallen zwischen 30 und 40 Prozent des Endenergieverbrauchs. In der Schweiz verursacht der Gebäudebereich die Hälfte des CO<sub>2</sub>-Ausstosses. Eine wachsende Bevölkerung mit steigender spezifischer Wohnflächennachfrage führt tendenziell zu steigendem Energieverbrauch, die energetische Verbesserung senkt diesen. Moderne Neubauten benötigen viel weniger Energie und es ist möglich, mit geringem Mehraufwand langfristig wirtschaftliche Gebäude zu erstellen, bei welchen Raumwärme und Warmwasser allein mit erneuerbaren Energien bereitgestellt werden. Problematischer ist die Situation bei den Altbauten. Der Sanierungsaufwand ist beträchtlich und das Energiesparpotenzial lässt sich nur sehr langsam erschliessen; mit einer Erneuerungsrate im tiefen Prozentbereich dauert es Jahrzehnte bis zur vollständigen Sanierung.

Der Weg zu einem nachhaltigen Gebäudebestand ist bekannt. Langfristig sollten alle Gebäude dem Minergie- oder dem Passivhausstandard entsprechen. Neben den Anforderungen an Neubauten, welche sich relativ leicht durchsetzen lassen, da sie im Interesse der Hausbesitzer und -bewohner liegen, gilt es, die umfassende Sanierung des Altbaubestandes voranzutreiben. Gesetzliche Vorschriften scheinen hier nur bei Umbauten verhältnismässig. Deshalb brauchte es Förderprogramme. Weitere Verbesserungen können sich durch eine energetisch korrekte Nutzung der Gebäude ergeben; dazu ist optimierende, fehlerrobuste Technik erforderlich, welche nur wenig fachlich korrektes Eingreifen der Bewohner benötigt.

Der Energiebedarf der Gebäude für Raumwärme, Warmwasser und Kühlung kann längerfristig ohne fossile Energien gedeckt werden, durch Solarenergie, Umweltwärme (Wärmepumpe) und Biomasse. Dabei wird der Versorgungsanteil des Stroms steigen.

### **4.11.2 Mobilität**

Der globale Anteil des Verkehrs am Endenergieverbrauch beträgt etwa ein Viertel, in der Schweiz gut ein Drittel (2008: 34,5 %). Der Mobilitätsbedarf steigt weiterhin, in Entwicklungs- und Schwellenländern auf Grund ihres Nachholbedarfs, in Industriestaaten nicht zuletzt wegen der ungebremsten Nachfrage der Konsumenten nach Freizeitverkehr (heute meist mehr als 50 Prozent der Verkehrsnachfrage), aber auch wegen der Zersiedelung und der auf die Spitze getriebenen globalen Arbeitsteilung.

Die Deckung des Mobilitätsbedarfs ist vermutlich die schwierigste Aufgabe der Nachhaltigkeitspolitik. Der Verkehrssektor wird sich - in nur langsam abnehmendem Mass - noch längere Zeit auf Erdölprodukte stützen und es ist zu erwarten, dass bildlich gesprochen der letzte Tropfen Erdöl für den Gütertransport und den Langstrecken-Flugverkehr eingesetzt wird. Die Zahlungsbereitschaft der Konsumenten ist wohl in keinem Sektor so gross wie bei der Mobilität. Benzin und Dieselöl werden, vor allem wegen ihrer hohen Energiedichte, im Verkehr

auch dann noch einen dominierenden Versorgungsanteil aufweisen, wenn Erdöl im Gebäudebereich und in der Industrie weitgehend substituiert ist. Die Entwicklung der letzten Jahre zeigt, dass viele Staaten bereit sind, die Entwicklung von Biotreibstoffen prioritär voranzutreiben. Das Potenzial an Treibstoffen aus Biomasse - erst recht nicht das aus Sicht der Nachhaltigkeit verantwortbare - wird jedoch nicht genügen, um den Treibstoffbedarf vollständig zu decken. Erneuerbare Elektrizität, CO<sub>2</sub>-arm produzierter Wasserstoff sowie damit hergestellte synthetische flüssige Kraftstoffe stellen viel beachtete weitere Optionen dar.

Effizienz der Verkehrsträger ist die Grundvoraussetzung dafür, dass diese erneuerbaren Alternativen für den Verbraucher erschwinglich bleiben. Ein viel effizienteres Verkehrssystem und eine entsprechende Raumordnung sind notwendig; der Modal Split ist zu Gunsten des öffentlichen Verkehrs zu ändern und die Fahrzeuge müssen wesentlich leichter und sparsamer werden.

#### 4.11.3 Elektrizität

Die Sicherstellung der Stromversorgung ist und bleibt eine der wichtigsten Fragen der nachhaltigen Entwicklung; diese muss sich immer mehr auf erneuerbare Energien stützen. Weltweit sind noch grosse regional nutzbare Wasserkraftpotenziale vorhanden; in unserem Lande ist die hydraulische Energie jedoch weitgehend ausgebaut. Wind und Solarenergie stehen künftig im Zentrum der Ausweitung der Stromerzeugung, Biomasse und tiefe Geothermie werden ebenfalls Versorgungsbeiträge liefern. Der Beitrag der erneuerbaren Energien zur Stromversorgung steigt; er beträgt in der Schweiz bereits heute mehr als 50 Prozent und könnte bis 2050 auf gegen 80 Prozent erhöht werden. Global werden aber in den nächsten Jahrzehnten Erdgas und Kohle global die wichtigsten Stromquellen bleiben, sinnvollerweise ergänzt durch einen wachsenden Anteil Kernenergie.

Die Bedeutung der Elektrizität - schon heute Schlüsselenergie - wird weiterhin zunehmen. Erstens ist die rationelle Energienutzung häufig mit höherem Elektrizitätseinsatz verbunden (Prozesse, Wärmerückgewinnung, Steuerungen) und Wärmepumpen werden vermehrt zur Heizung, Warmwasserbereitung und Kühlung verwendet. Zweitens werden die Forderungen nach grösserem Anteil der erneuerbaren Energien am Gesamtenergieverbrauch überproportional durch erneuerbaren Strom, vor allem aus Wind und Solarenergie, zu erfüllen sein. Wenn beispielsweise die EU für 2020 verlangt, dass 20 Prozent des Energiebedarfs durch erneuerbare Energien gedeckt werden, so ist dies nur möglich durch massiven Ausbau der Stromerzeugung vor allem aus Windenergie. Sie ermöglichte schon, das von der EU für 2010 gesteckte Ziel eines Konsumanteils von 21 Prozent erneuerbar erzeugter Elektrizität zu erreichen. Das Potenzial der Biomasse ist zu limitiert, als dass damit die geforderte Steigerung des Beitrags der erneuerbaren Energien im Nicht-Strombereich möglich wäre.

Eine nachhaltige, weitgehend erneuerbare Stromversorgung ist grundsätzlich möglich. Ein massiver Ausbau der Elektrizitätserzeugung aus Wind und Solarenergie erfordert aber Konsumentanpassungs- und Regulierungsanstrengungen, um die Produktionsschwankungen zu bewältigen. Die Schweiz verfügt zwar über bedeutende Leistungsreserven; es ist aber absehbar, dass die Speicher- und Leistungskapazitäten im Hinblick auf eine in bedeutendem Masse auf fluktuierender Erzeugung beruhenden Stromversorgung verstärkt werden müssen.

Leistungserhöhungen bestehender Speicherkraftwerke und neue Pumpspeicherkraftwerke dienen nicht nur der schweizerischen Versorgungssicherheit, sondern bilden auch einen wichtigen und für unser Land kommerziell interessanten Beitrag an eine nachhaltige europäische Stromversorgung. Schliesslich gilt für die Elektrizitätsversorgung, dass Effizienz sowohl bei der Erzeugung wie auch bei der Nutzung aus ökologischen und ökonomischen Gründen zu oberst steht.

In der Schweiz sind, dies zeichnet sich seit längerem ab und wird durch die Energieperspektiven des Bundesamtes für Energie bestätigt, bis spätestens 2020 grosse neue Produktionskapazitäten erforderlich. Bereits sind Rahmenbewilligungsgesuche für neue Kernkraftwerke eingereicht worden. Gegen neue Grosskraftwerke, auch gegen Gaskombikraftwerke, wird ins Feld geführt, diese seien gar nicht notwendig, wenn die möglichen Effizienzsteigerungen durchgesetzt und die neuen erneuerbaren Energien genügend gefördert würden. Diese Argumentation verkennt, dass die beiden an und für sich richtigen energiepolitischen Stossrichtungen erst langfristig (Zeithorizont 2050) dominante Resultate bringen können. Beispielsweise trug 2008 der Wind- und der Fotovoltaikstrom in unserem Land erst 0,83 Promille zur Deckung des Strombedarfs bei; die verstärkte Förderung durch die Einspeisevergütung hat diesen Anteil 2009 auf 1,17 Promille erhöht und wird ihn längerfristig in den tiefen Prozentbereich bringen. Der in den nächsten Jahrzehnten zusätzlich durch erneuerbare Energien erzeugte Strom reicht - auch gemäss den Resultaten des Energie Dialogs Schweiz - nicht vollständig aus, um die sich öffnende Stromlücke zu schliessen. Wer diese Fakten nicht erkennen will, unterliegt einer Denklücke.

Es ist auch Wunschdenken, wenn mit Blick auf die grossen Zuwachsraten an Windkraft in verschiedenen europäischen Staaten erhofft wird, unsere Stromlücke lasse sich innert nützlicher Frist durch Import von Elektrizität aus neuen erneuerbaren Energien füllen. Erstens fehlen die erforderlichen Übertragungsleitungen, deren Erstellung im Ausland genauso schwierig ist wie bei uns; erschwerend wirkt, dass im europäischen Strombinnenmarkt Leitungen den Eigentümern nicht exklusiv zur Verfügung stehen. Zweitens brauchen die europäischen Staaten ihre erneuerbaren Energien zur Erfüllung der hohen EU-Vorgaben selber.

#### 4.11.4 Industrie

Industrielle Prozesse erfordern in der Regel Strom und Wärme auf mittlerem bis hohem Temperaturniveau. Der zu erwartende Beitrag der erneuerbaren Energien an den industriellen Wärmebedarf wird deshalb bescheiden bleiben. Für die Industrie ist es schwierig, die langfristigen Anforderungen einer nachhaltigen Entwicklung einzuhalten. Sie wird sich für Wärmeerzeugung aus Kostengründen weiterhin auf fossile Energien stützen. Wenn diese nicht mehr zur Verfügung stehen, zu teuer werden oder nicht mehr eingesetzt werden dürfen, wird die Elektrizität in den industriellen Prozessen dominieren. Wo dies wirtschaftlich und technisch sinnvoll ist, wird die Industrie vermehrt die Wärmekraftkopplung nutzen, nicht zuletzt zur Sicherung des eigenen Stromverbrauchs.

## 4.12 Liberalisierung und Globalisierung

Es stellt sich die Frage, ob die Liberalisierung und Globalisierung die Nachhaltigkeit des Energiesystems behindert oder fördert. Von der Liberalisierung tangiert sind in erster Linie die Elektrizitäts- und die Gasversorgung. Solange diese Bereiche Monopole waren, bestand keine Gefahr, dass Anlagen zu nicht amortisierbaren Investitionen hätten werden können. Die Unternehmungen haben stets die erforderlichen Investitionen vorgenommen und waren Schuldner mit hoher Kreditwürdigkeit.

In den geöffneten Märkten sind die Investitionssicherheit und Kreditwürdigkeit nicht mehr von vornherein gegeben. Die Liberalisierung der Gas- und Strommärkte liess Befürchtungen aufkommen, dass die nötigen Infrastrukturinvestitionen nicht mehr vorgenommen würden. Man könnte angesichts des absehbaren europäischen Stromengpasses meinen, das sei so; die ungenügenden Investitionen in Kraftwerke und Hochspannungsleitungen sind aber nicht die Folge der Liberalisierung, sondern von vergangenen Stromüberschüssen, politischen Hemmnissen und lokalen Widerständen. Auch mangelnde Übertragungskapazitäten, welche die Entwicklung z.B. des Windstroms in Norddeutschland behindern, können nicht der Liberalisierung angelastet werden. Diese hat keinen negativen Einfluss auf die Entwicklung der neuen erneuerbaren Energien; sie ermöglicht im Gegenteil die Bildung von Ökostrommärkten. Entscheidend für den Erfolg der erneuerbaren Energien bleiben in den kommenden Jahren bis Jahrzehnten die staatlichen Vorgaben wie Quoten und die Pflicht zur Übernahme dezentral erzeugten Stroms.

Die Liberalisierung verlangt nach einer teilweisen Regulierung der Gas- und der Elektrizitätswirtschaft; je nach Ausgestaltung kann diese die Entwicklung einer nachhaltigen Energieversorgung befördern oder hemmen. Eine blossе Marktöffnung ohne Berücksichtigung der Nachhaltigkeitsanforderungen würde eine nicht nur ökologisch, sondern auch ökonomisch negative Entwicklung einleiten. Sowohl die EU-Richtlinien wie auch die schweizerische Gesetzgebung, insbesondere beim Stromversorgungsgesetz, nehmen deshalb Rücksicht auf die Erfordernisse einer nachhaltigen Energieversorgung, zum Beispiel durch Vorgaben zur Versorgungssicherheit und zur Förderung erneuerbarer Energien.

Die Energiewirtschaft war, was die Energieträger betrifft, seit langem globalisiert. Grundsätzliche Änderungen und unterschiedliche Betroffenheit gegenüber anderen Branchen ergeben sich wegen der Globalisierung nicht.

Es sind demnach weder von der Liberalisierung noch der Globalisierung Einflüsse zu erwarten, welche die Entwicklung eines nachhaltigen Energiesystems verunmöglichen würden. Viel wichtiger sind die politische Situation und die staatlichen Rahmenbedingungen.

#### **4.13 Messgrössen**

Die Wissenschaft hat verschiedene interessante Instrumente zur Qualifizierung der Energien und Energietechnologien erarbeitet. Sie gestatten deren Vergleich unter verschiedenen Gesichtspunkten und damit die Beurteilung von Energieoptionen. In aggregierter Form können diese auch in den Nachhaltigkeitsdimensionen Ökologie, Ökonomie und Gesellschaftlich-Soziales bewertet werden.

- Die wichtigsten technisch-wissenschaftlichen Grundlagen bilden die Lebenszyklusanalysen (LCA) der einzelnen Produkte von der Materialgewinnung bis zur Entsorgung. Sie sind das Werkzeug für weiterführende Analysen wie die Ermittlung von Ökobilanzen und externen Kosten. Die ecoinvent-Datenbank des Schweizerischen Zentrums für Ökoinventare ([www.ecoinvent.ch](http://www.ecoinvent.ch)) erlaubt, Energiesysteme systematisch unter die Lupe zu nehmen und insbesondere Strom- und Wärmesysteme auf gesicherter Datenbasis zu vergleichen.
- Die Gesamtkostenbetrachtung über den Lebenszyklus berücksichtigt neben den direkten auch die externen Kosten der verschiedenen Energien. Der Einbezug der externen Kosten monetarisiert Umweltschäden und Klimaauswirkungen. Die Berechnung der externen Kosten ist methodisch anspruchsvoll und mit vielen Bewertungsannahmen und -schätzungen verbunden. Besondere Schwierigkeiten und Anlass zu Kontroversen bietet die Bewertung von Risiken mit hohem Gefahrenpotenzial und geringer Eintretenswahrscheinlichkeit.
- Für die Beurteilung der nachhaltigen Elektrizitätsversorgung hat der Rat der schweizerischen wissenschaftlichen Akademien (CASS), die Vorläuferorganisation von Akademien Schweiz, einen Satz von 24 Einflussgrössen (Variablen) herangezogen. Sie reichen vom Gang der Wirtschaft über den Strompreis, den Stromverbrauch, die verschiedenen Stromerzeugungsarten, die Umweltbelastungen bis zu gesellschaftlichen Variablen wie Lebensqualität, Nachhaltigkeitsbewusstsein und die Rolle von Interessengruppen.
- Die Nachhaltigkeitstrategie des Bundes berücksichtigt in den drei Bereichen Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft je 5, also insgesamt 15 Nachhaltigkeitskriterien. Die Strategie beleuchtet die gesamte nachhaltige Entwicklung; als Beurteilungsmassstäbe einer nachhaltigen Energieversorgung sind die Kriterien nicht direkt verwendbar, geben aber Anregungen aus übergeordneter Sicht.
- Das Paul Scherrer Institut (PSI) hat im Projekt GaBE (Ganzheitliche Betrachtung von Energiesystemen) 18 quantitative Indikatoren (Messgrössen) ermittelt (Energie-Spiegel Nr. 3 / September 2000, Energie-Spiegel Nr. 20 / Juni 2010). Sie gestatten, Energiesysteme auf ihre Nachhaltigkeit zu prüfen.
- Eine Weiterentwicklung bildet die Multi-kriterielle Entscheidungsanalyse (MCDA) des PSI zur Bewertung alternativer Stromerzeugungstechnologien (ILK/PSI 2004). Mit ihr werden die Indikatoren für die drei Nachhaltigkeitsdimensionen aggregiert. Dabei sind neben quantitativen auch qualitative Kriterien und damit Werthaltungen einbezogen, welche mitentscheiden, ob einzelne Technologien oder ganze Energiesysteme als nachhaltig bezeichnet werden können oder nicht. Eine kürzlich erstellte MCDA-Studie zur Beurteilung der heutigen und künftiger Stromerzeugungstechnologien in der Schweiz umfasst 75 Indikatoren, darunter auch nicht monetär quantifizierbare wie die Risikowahrnehmung und die politische Stabilität (Hirschberg et al., 2008a; Roth et al., 2009). Ferner veröffentlichte das PSI im Jahr 2008 einen Satz von 36 Indikatoren, erarbeitet im Rahmen des EU-Projekts NEEDS in Zusammenarbeit mit Sozialwissenschaftlern; dieser Indikatorensatz fand bei europäischen Stakeholdern breite Akzeptanz (Vgl. auch Energie-Spiegel Nr. 20 / Juni 2010).

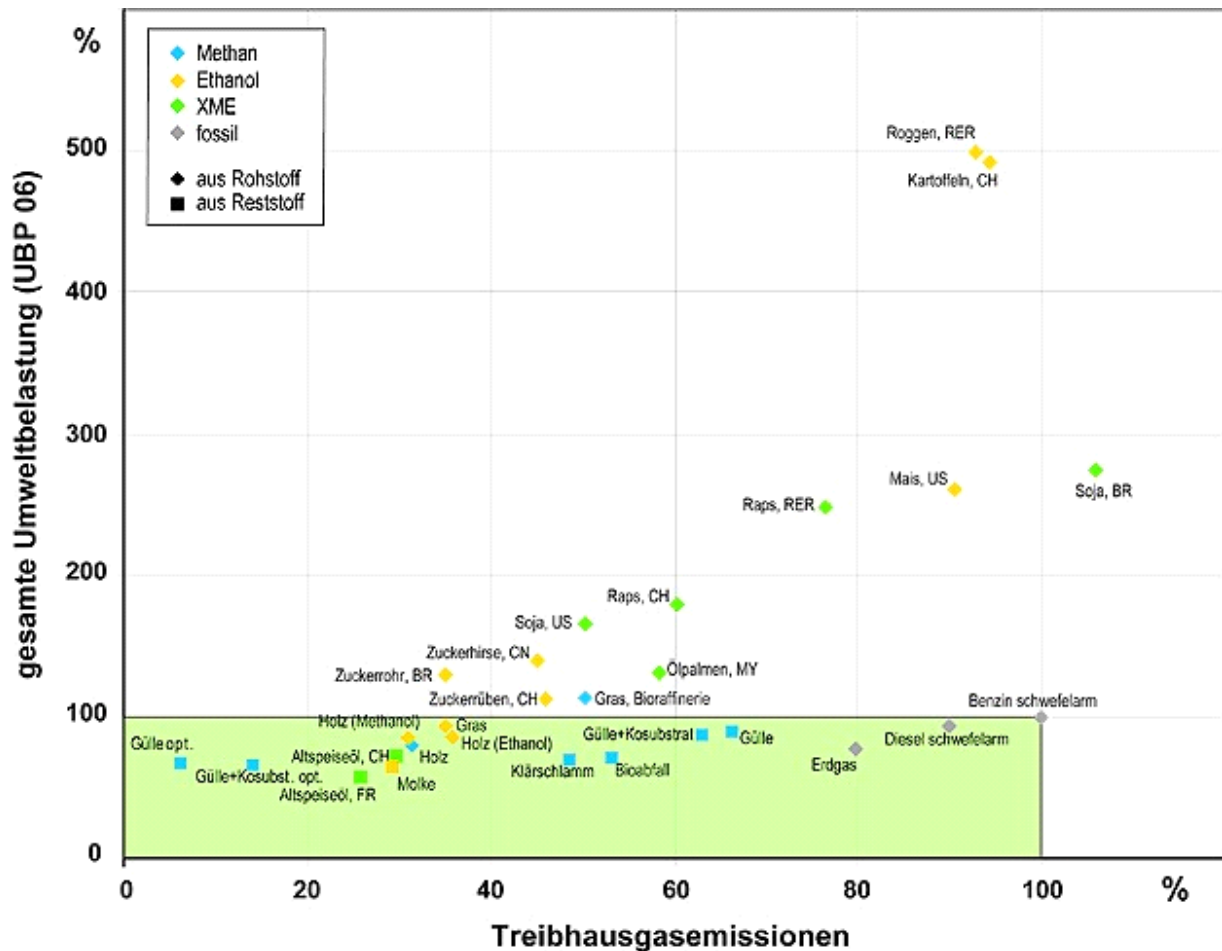
#### 4.14 Wissenschaftliche Erkenntnisse akzeptieren

Hier seien einige für die nachhaltige Energieversorgung wichtige Erkenntnisse der Energieforschung und ihre Wirkungen für die energiepolitische Praxis kommentiert. Die Beispiele zeigen, dass wissenschaftliche Aussagen und politische und gesellschaftliche Ansichten stark divergieren können. Eine stärkere Berücksichtigung wissenschaftlicher Resultate täte der gelegentlich von Emotionen dominierten energiepolitischen Diskussion gut. Man darf dabei nicht ausser Acht lassen, dass wissenschaftlich erarbeitete Aussagen mit den Grenzen der verwendeten Methodik behaftet und nicht frei von Werthaltungen der Forschenden sind. Sie sind auch nicht unveränderliche Wahrheit; was heute richtig scheint, muss es morgen nicht mehr sein. Trotzdem: Politische Entscheide, die - unter Berücksichtigung der Limiten der Wissenschaft - auf wissenschaftlichen Erkenntnissen aufbauen, sind mit hoher Wahrscheinlichkeit zielführender als solche, welche allein auf Gefühl oder gar Vorurteilen und Ideologien beruhen.

#### 4.14.1 Biotreibstoffe

Bis vor wenigen Jahren ist die Biomasse recht undifferenziert als problemloser Energieträger taxiert worden. Die Meinung herrschte vor, es sei viel ungenutztes Agrarland vorhanden und ein Nutzungskonflikt zu Nahrungsmitteln bestehe nicht. Kritische Bemerkungen waren unbeliebt. Bedenken machten allenfalls die ökologisch und klimatisch schädlichen Regenwaldabholzungen. Nicht zuletzt in der EU, aber auch in der Schweiz wurde die obligatorische Beimischung von Biotreibstoffen verlangt, ohne Rücksicht auf ökologische Vorbehalte. Die USA haben in starkem Masse mit der Nutzung von Getreide, Mais und Soja für die Herstellung von Treibstoffen begonnen, ohne die Auswirkungen auf die Preise der Grundnahrungsmittel breiter Bevölkerungskreise zu beachten.

Die 2007 erschienene Studie "Ökologische Bewertung von Biotreibstoffen" der Empa zeigte deren Problematik auf. Eine ökologische Gesamtbilanz ergab, dass längst nicht alle Biotreibstoffe umweltfreundlich sind. Es sind primär biologische Rest- und Abfallstoffe, die zu ökologisch günstigen Treibstoffen verarbeitet werden können. Treibstoffe aus Raps, Mais, Soja, Ölpalmen und dergleichen sind aus verschiedenen Gründen ökologisch unzulässig; Experten haben ermittelt, dass teilweise selbst die Energiebilanz nicht positiv ist. Es wäre deshalb angebracht, statt von Bio- von Agrotreibstoffen zu reden.



Darstellung der gesamten Umweltbelastung (senkrecht) sowie der Treibhausgasemissionen (waagrecht) der untersuchten Biotreibstoffe in Prozenten gegenüber Benzin. Die Treibstoffe innerhalb der grünen Fläche schneiden sowohl bei den Treibhausgasen als auch bei der gesamten Umweltbelastung besser ab als Benzin. (UBP 06: Eine in der Schweiz entwickelte Methode, welche die totale Umweltbelastung aus der Differenz der Emissionswerte zu den gesetzlichen Vorschriften schätzt). Quelle: Empa 2007.

Mit diesen wissenschaftlich fundierten Resultaten, aber auch wegen den sichtbar werdenden negativen Auswirkungen auf die Nahrungsversorgung, hat sich eine neue Einschätzung der Biomasse ergeben, die auch auf die Energie- und Steuerpolitik ausstrahlen muss. Es darf nur ökologisch unbedenkliche Biomassenutzung von staatlichen Massnahmen profitieren, zumal der Beitrag - mindestens in unserem Land - anteilmässig gering bleiben wird.

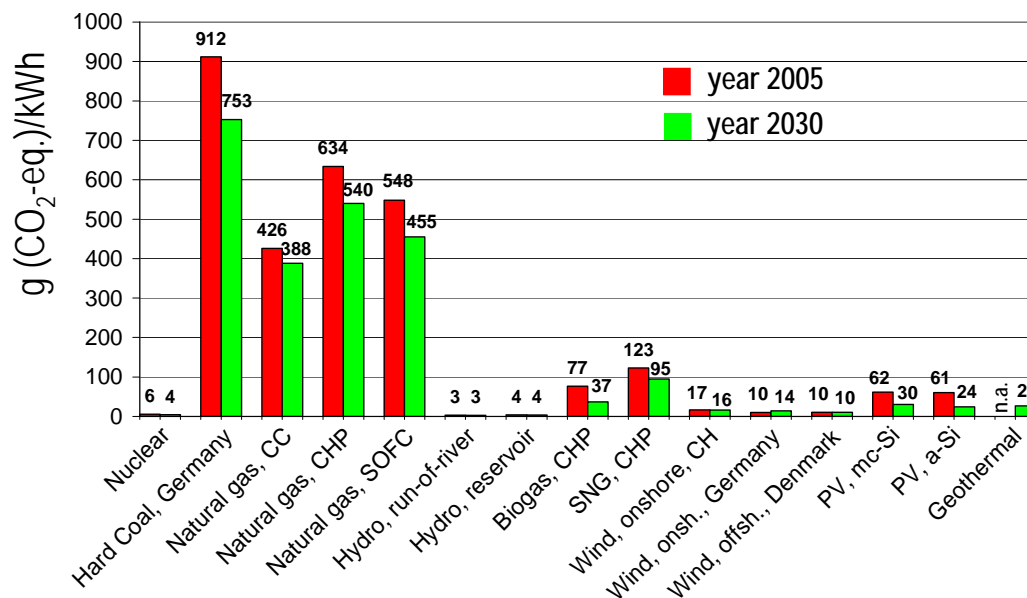
#### 4.14.2 Strom- und Wärmeerzeugung

Das Paul Scherrer Institut hat im Rahmen des Projekts GaBE mittels umfassenden Lebenszyklusanalysen, Analysen der Umweltauswirkungen, Risikoanalysen und ökonomischen Untersuchungen, vor allem für die Elektrizitätsproduktion, aber auch für die Wärmeerzeugung, fundierte Beurteilungen erarbeitet. Sie zeigen unter anderem die spezifischen

Treibhausgasemissionen, die Gesamtkosten und auch eine umfassende Nachhaltigkeitsbeurteilung der wesentlichen Strom- und Wärmeproduktionstechnologien.

Bezüglich der Treibhausgasemissionen bei der Stromerzeugung sind naheliegenderweise die fossilen Kraftwerke um Größenordnungen schlechter als die Wasserkraft, die übrigen erneuerbaren Energien und die Kernenergie. Am besten schneidet immer die Wasserkraft ab, dicht gefolgt von der Kernenergie, während die neuen erneuerbaren Energien und das Holz heute und auch künftig etwas höhere Treibhausgasemissionen verzeichnen. Auseinandersetzungen über die der Kernenergie zuzuweisende CO<sub>2</sub>-Belastung, begründet durch unterschiedliche Annahmen bezüglich Uranherkunft, führen nicht dazu, dass deren relative Klimafreundlichkeit in Frage zu stellen ist.

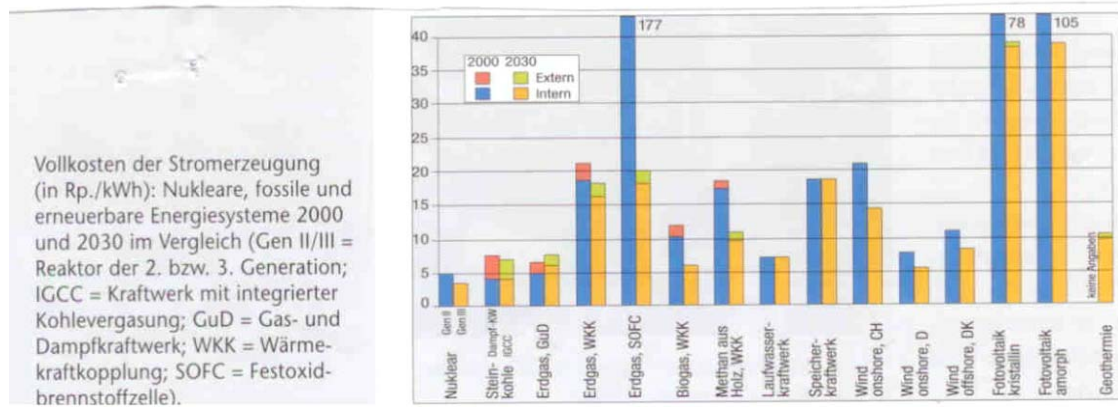
Bei der Wärmeerzeugung weist das Holz die geringsten Treibhausgasemissionen auf, dicht gefolgt von der mit CO<sub>2</sub>-freiem Strom betriebenen Wärmepumpe und der Sonnenwärme; auch hier sind die fossilen Brennstoffe Erdöl EL und Erdgas wesentlich schlechter.



LCA-basierte Treibhausgasemissionen von Stromversorgungssystemen (PSI, Bauer et. al., 2008)

Bei den Gesamtkosten (Produktions- und externe Kosten) der Elektrizitätsproduktion liegt wiederum die Wasserkraft an der Spitze, gefolgt von der Kernenergie und mit einigem Abstand von der fossilen Stromerzeugung. Die neuen erneuerbaren Energien liefern deutlich teurere Elektrizität. Die Berücksichtigung der externen Kosten ändert nichts daran, dass die Wasserkraft und die Kernenergie die wirtschaftlich günstigsten Stromerzeugungsmöglichkeiten sind. Diese Aussagen bestätigen frühere, vom Bundesamt für Energie veranlasste Untersuchungen über die externen Kosten der Energieversorgung. Man muss aber festhalten, dass die Ermittlungen der externen Kosten eine Reihe von Annahmen erfordert und diese ist nur mit beachtlichen Unsicherheiten schätzen sind. Insbesondere gilt dies für die durch die Treibhausgasemissionen verursachten Schäden, aber auch die Berücksichtigung möglicher Unfälle und Katastrophen kann kontrovers sein. Zudem berücksichtigen die Gesamtkosten soziale Aspekte wie die Akzeptanz

der verschiedenen Technologien nur ungenügend. Und schliesslich weisen deren vermutete künftige Kosten unterschiedliche Kapitalkostensensitivitäten auf.

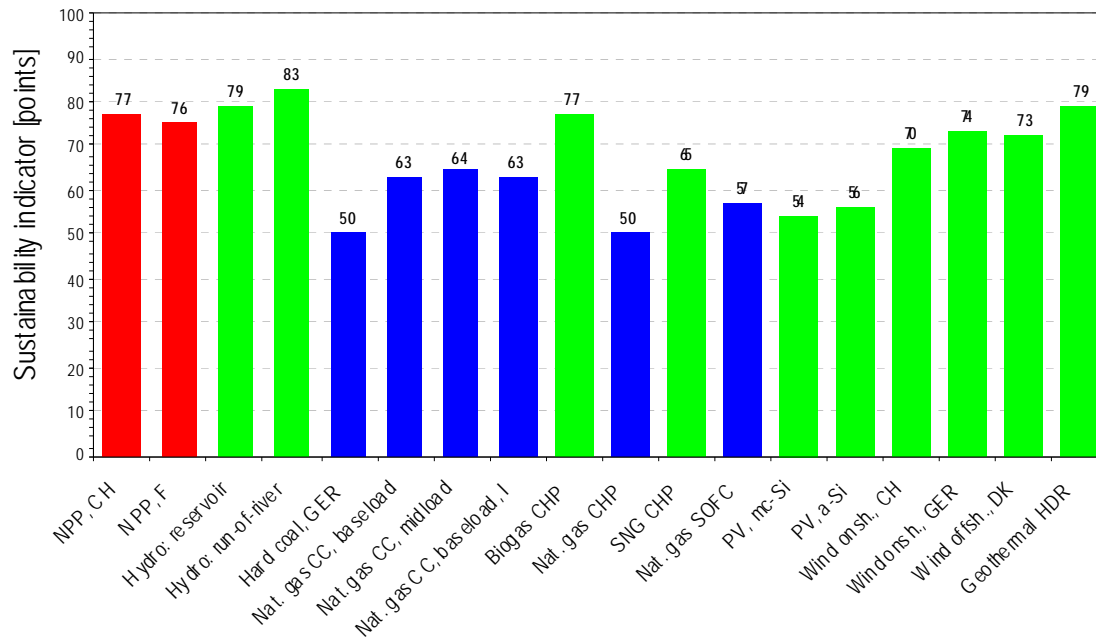


(Quelle: PSI-Jahresbericht 2006)

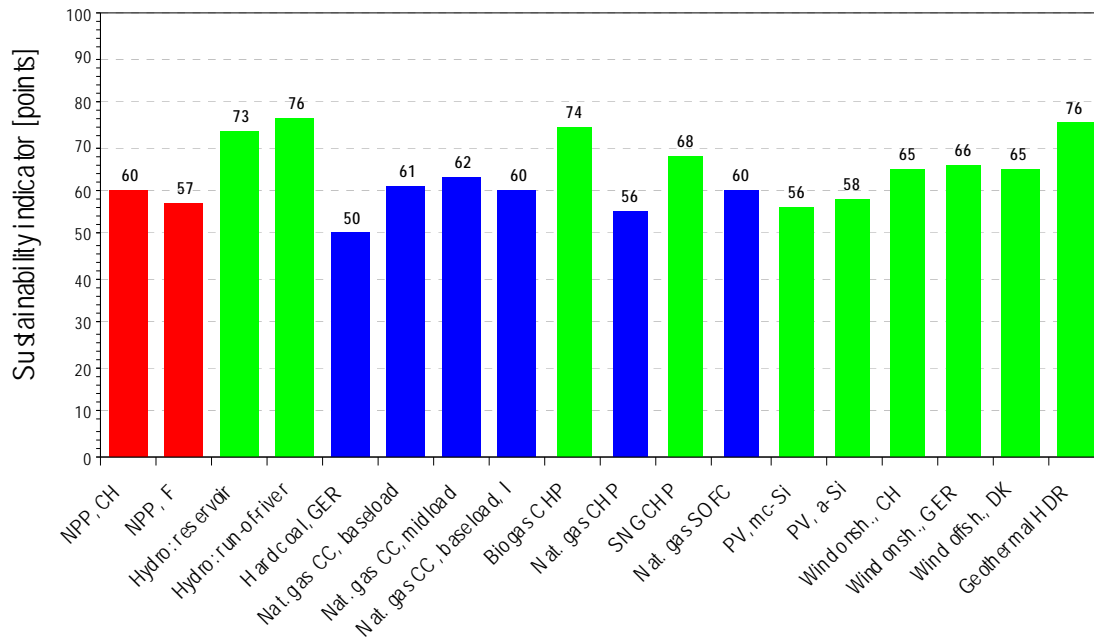
Das PSI hat die Stromerzeugungstechnologien in den drei Nachhaltigkeitsdimensionen Wirtschaft, Umwelt, Gesellschaftlich-Soziales analysiert und ein Gesamturteil entwickelt. Die Zahl der verwendeten Kriterien variiert zwischen den verschiedenen durchgeführten Studien. In einer multi-kriteriellen Entscheidungsanalyse (MCDA) wurden 18 überwiegend wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Indikatoren verwendet; im Rahmen des 2009 abgeschlossenen Energie Dialogs Schweiz wurden das gegenwärtige und mögliche künftige Stromerzeugungs-Portfolios der Axpo mit 75 quantitativen Indikatoren untersucht. Diese Indikatoren haben meist solide Grundlagen; in gewissen Fällen, besonders bei sozialen Indikationen, erfolgt die Bewertung durch Expertenurteile. Wo es nicht anderes geht, werden relative Skalen eingesetzt. Zwangsläufig haben hier Werthaltungen einen wesentlichen Einfluss auf die Resultate. Von Bedeutung ist auch, ob bei der Beurteilung allen drei Dimensionen gleiches Gewicht zugemessen wird oder ob sie unterschiedlich gewichtet werden (vgl. auch Energie-Spiegel Nr. 20 / Juni 2010, wo Resultate des EU-Projekts NEEDS - Nachhaltigkeitsbewertung innovativer Stromproduktionstechnologien bis 2050 unter Leitung des PSI unter Mitwirkung von Industrie und NGOs - dargelegt sind).

Die beiden nachfolgenden Figuren zeigen die mit dem Axpo-Indikatorensatz für zwei unterschiedliche Präferenzprofile erhaltenen Resultate. Das erste Profil soll die Präferenzen der Elektrizitätswirtschaft widerspiegeln, das zweite jene von NGOs. In beiden Fällen werden die drei Nachhaltigkeitsdimensionen gleichwertig gewichtet.

Im ersten Fall sind Wasserkraft, Geothermie, Kernenergie, Biogas und Wind die günstigsten Stromerzeugungstechnologien, am schlechtesten schneiden Gaskombikraftwerke, Kohlekraftwerke und die Photovoltaik ab. Für das zweite Profil bleiben Wasserkraft, Geothermie und Biogas an der Spitze, die Kernenergie wird schlechter eingestuft und erhält etwa die gleiche Beurteilung wie die Photovoltaik; am schlechtesten bleibt Kohlekraft.



Technology ranking based on a constructed preference profile with equal weighting of the three dimensions of sustainability and in relation to the profile behind the results shown in the next figure stronger emphasis on climate and human health protection, electricity generation costs and impacts on utility (Roth et al., 2009)



Technology ranking based on a constructed preference profile with equal weighting of the three dimensions of sustainability and in relation to the profile behind the results shown in the figure above stronger emphasis on resource depletion including uranium, internal security, political stability and legitimacy including proliferation potential, risk perception and consequences of severe accidents, and direct employment effects (Roth et al., 2009).

Was ist aus diesen wissenschaftlichen Erkenntnissen zu schliessen?

- Die erste Folgerung ist naheliegend: die Wasserkraft ist zweifellos die beste Stromerzeugungsart. Leider ist ihr Ausbaupotenzial beschränkt. Ganz unbestritten ist auch sie allerdings nicht, wie Volksinitiativen und Widerstände gegen Neu- und Ausbauten zeigen. Wasserkraftwerke haben wie alle energiewirtschaftlichen Anlagen Auswirkungen auf die Umwelt. Man darf allerdings daran erinnern, dass Wasserkraftanlagen und Stauseen längst zu touristischen Zielen oder gar Naturschutzgebieten wurden.

- Zweitens schneidet die Kernenergie in der mit wissenschaftlichen Methoden durchgeführten Beurteilung gut ab. Sie ist und bleibt eine wesentliche Säule der schweizerischen Stromversorgung. Schlechter wird ihre Beurteilung allerdings dann, wenn in der MCDA-Analyse der Fokus schwergewichtig auf gesellschaftlichen Präferenzen liegt.

- Drittens bleibt die Stromerzeugung aus neuen erneuerbaren Energien in der Bewertung durch die Gesamtkosten hinter der Wasserkraft und der Kernenergie zurück. Im MCDA-Beurteilungsmodell wird mehr Gewicht auf Umwelt- und soziale Aspekte gelegt, was eine für die neuen erneuerbaren Energien günstigere Beurteilung ergibt.

- Viertens: Mittels wissenschaftlicher Methoden nach bestem Wissen und Gewissen erarbeitete Aussagen können politisch unbeliebt sein, wenn sie mit Mainstream-Meinungen nicht übereinstimmen. Besonders gilt dies für eine positive Einstufung der Kernenergie und kritische oder auch nur relativierende Aussagen zu den neuen erneuerbaren Energien.

### 4.14.3 Ökostrom

In den letzten Jahren wurde eine Vielzahl von Stromangeboten entwickelt, die unter dem Begriff Ökostrom vermarktet werden. Unter Ökostrom wird auf ökologisch vertretbare Weise erzeugter Strom verstanden. Was als umweltschonende Energiequellen betrachtet wird, ist je nach Anbieter und Label unterschiedlich. In der Regel wird Strom aus Kleinwasserkraftwerken und neuen erneuerbaren Energien als Ökostrom bezeichnet. Ein Teil der Anbieter verkauft Strom aus grossen Wasserkraftwerken, aus Wärmekraftkopplung oder gar aus Gaskombikraftwerken mit Wärmeauskopplung als Ökostrom. Elektrizität aus Kernenergie und aus Öl- und Kohlekraftwerken gilt nicht als Ökostrom.

Es gibt Zertifizierungsagenturen, welche die Umweltverträglichkeit der einzelnen Wasserkraftwerke überprüfen und deren Erzeugung in verschiedenen qualifizierte Ökostromkategorien einteilen. Es bleibt aber die Tatsache, dass das Ökostrommarketing in erster Linie ein Förderinstrument für Stromproduktion aus erneuerbaren Energien ist, ohne Bezug auf die wissenschaftliche Beurteilung der verschiedenen Stromerzeugungsarten. Die spezifische Umwelt- und Klimabelastung von Kleinanlagen ist häufig höher als jene von Grosskraftwerken. Ökostrom ist demnach nicht von vornherein ökologischer und nachhaltiger als "gewöhnlicher" Strom.

## 5 Forschungs- und Entwicklungsbedarf

### 5.1 Mehr wissenschaftliche Erkenntnisse nötig

Der Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem mit hoch entwickelter und effizienter Energieversorgung- und Nutzungsstruktur erfordert die Entwicklung immer leistungsfähigerer Technologien zur Bereitstellung und zur effizienten Nutzung der Energie. Nur mit einem technisch hoch entwickelten, wirtschaftlichen, umwelt- und klimaschonenden Energiesystem ist Nachhaltigkeit zu erzielen. Dabei muss die Energietechnik auf die Befriedigung der Konsumentenbedürfnisse an Energiedienstleistungen ausgerichtet, also benutzerfreundlich sein und Benutzerfehler möglichst ausschliessen.

Hoch entwickelte Technik ist eine notwendige, aber nicht eine hinreichende Bedingung für die nachhaltige Entwicklung und die erfolgreiche Umgestaltung des Energiesystems. Technische Lösungen, welche von der Gesellschaft und damit von den Konsumenten nicht akzeptiert werden, bringen nichts. Die intellektuelle Erkenntnis und die emotionale Bereitschaft der Bevölkerung, der Wirtschaft und der Politik, den notwendigen Übergang zu akzeptieren und mitzugestalten, sind die Grundlagen für die politischen Entscheiden, die erforderliche Investitionsbereitschaft und Änderungen im Konsumentenverhalten.

Ohne gesellschaftlich-soziale Fortschritt setzen sich weiterentwickelte technische Lösungen nur verzögert oder gar nicht durch. Dies zeigen die Erfahrungen der letzten Jahrzehnte. Zukunftsgerichtete, ausgereifte und wirtschaftliche Technologien werden nur ungenügend

umgesetzt. Dies ist umso schwerwiegender, als Energie verbrauchende Anlagen, Geräte und Fahrzeuge oft eine sehr lange Lebensdauer haben. Ein Beispiel dafür sind die Gebäude; die Vorteile von Niedrigenergiehäusern sind längst bekannt, und trotzdem wird erst ein geringer Teil der Neubauten nach diesem Standard erstellt.

Forschung und Entwicklung müssen die Grundlagen erarbeiten für

- Technologien, welche den künftigen Bedarf von Wirtschaft und Gesellschaft an Energiedienstleistungen unter Einhalten der Nachhaltigkeitskriterien zu decken erlauben.
- die notwendigen gesellschaftlichen Veränderungen.

Fortschritte auf beiden Gebieten - im technisch-wirtschaftlichen und im gesellschaftlich-sozialen - erfordern die Weiterentwicklung der wissenschaftlichen Grundlagen. Die bisherigen Forschungsbemühungen im Energiebereich fokussierten sich weitgehend auf die technischen Aspekte; dazu bestehen in der Schweiz mit den beiden Technischen Hochschulen, dem PSI, Instituten an verschiedenen Universitäten und den Fachhochschulen hochqualifizierte und leistungsfähige Forschungsinstitutionen.

Schwächer dotiert ist demgegenüber die sozialwissenschaftliche Energieforschung. Dank dem seit längerem bestehenden Programm Energiewirtschaftliche Grundlagen des Bundesamtes für Energie sind zwar wesentliche Erkenntnisse für politische Entscheide erarbeitet worden und mit dem Center for Energy Policy and Economics (CEPE) der ETH besteht auch eine spezialisierte Institution. Sozialwissenschaftliche Aspekte müssen vermehrt bearbeitet werden und die Forschungsergebnisse in die Politik und die Investitionsentscheide einfließen. Beispielsweise wird das Konsumentenverhalten immer wichtiger. Der technische Fortschritt bringt energieeffizientere Gebäude, Fahrzeuge und Geräte; er kann seine Wirkung aber nur voll entfalten, wenn die Benutzer die möglichen Energieeinsparungen nicht durch falsches Verhalten mindern oder gar einen Mehrverbrauch verursachen. Es gibt eine Reihe von Hemmnissen, wieso fortschrittliche Techniken vom Markt nur ungenügend oder nicht angenommen werden. Sie und weitere sozialwissenschaftliche Aspekte sind vertieft zu erforschen. Die Komplexität dieser Aufgaben sollte nicht unterschätzt werden und man darf auch nicht erwarten, dass sich Erkenntnisse leicht verwirklichen lassen; es dürfte leichter sein, technisch-wissenschaftlichen Fortschritt umzusetzen.

Wissenschaftliche Erkenntnisse sind die unabdingbare Basis für die Bewältigung der brennenden Energieprobleme. Der Wissensfortschritt wird allerdings in Politik und Wirtschaft unterschiedlich aufgenommen und umgesetzt. Viele neue Erkenntnisse führen direkt zu neuen oder verbesserten Produkten oder zu politischen Entscheiden, andere stossen auf Skepsis oder Ablehnung. Auch hier bestehen Hemmnisse.

Die Wissenschaft darf nicht hoffen, dass ihre Aussagen sofort und überall grosse Freude hervorrufen. Selbst wenn anerkannte wissenschaftliche Institutionen Antworten zu technischen, wirtschaftlichen oder politischen Energiefragen erarbeiten, heisst dies noch lange nicht, dass sie in der Öffentlichkeit und der Politik zur Kenntnis genommen und genutzt werden. Wie in anderen Gebieten macht es auch in der energiepolitischen Diskussion Mühe, überkommene Vorurteile, lieb gewonnene Hoffnungen oder einmal eingenommene Positionen über Bord zu werfen. Was nicht sein darf, kann oft nicht sein. Der Beobachter der Auseinandersetzungen um die Ausrichtung der Energieversorgung kommt nicht um den Eindruck herum, dass diese härter und dogmatischer geführt werden als in anderen Politikbereichen. Da wundert es nicht, dass

unangenehme, bisherigen Ansichten entgegenstehende Erkenntnisse es schwer haben, akzeptiertes Allgemeingut zu werden. Allerdings ist auch zu anerkennen, dass es durchaus Beispiele gibt, bei denen wissenschaftliche Erkenntnisse zu neuen Einschätzungen führen.

Die Wissenschaft ist gelegentlich nicht unschuldig daran, dass ihre Erkenntnisse ungenügend aufgenommen werden. Wissenschaftliche Aussagen müssen in einer dem Zielpublikum entsprechenden Form verbreitet werden, was leider nicht immer der Fall ist. Die Wissenschaft hat eine Bringschuld und sie ist in nicht geringem Masse dafür verantwortlich, dass sich sachlich richtige Lösungen durchsetzen.

## 5.2 Das CORE-Konzept

Die Eidgenössische Energieforschungskommission CORE legt im Vierjahresrhythmus ein Konzept der Energieforschung des Bundes vor, welches in die Botschaft des Bundesrates über die Förderung von Bildung, Forschung und Technologie (BFT-Botschaft) an das Parlament einfliesst und Grundlage für die Forschungsförderung des Bundes und Richtschnur für die bundeseigenen Forschungsinstitutionen ist. Das aktuelle CORE-Konzept ist auf die Vision der 2000 Watt-Gesellschaft ausgerichtet und arbeitet mit dem Zeithorizont 2050.

Für die zweite Hälfte dieses Jahrhunderts gilt es gemäss der CORE

- "den Energiebedarf um den Faktor 2,5 zu verringern. Dies entspricht einem mittleren Leistungsbedarf von 2000 Watt pro Person (Primärenergie).
- den CO<sub>2</sub>-Ausstoss auf einen Sechstel zu reduzieren, d.h. auf maximal 1 Tonne pro Person und Jahr.
- die Schadstoffemissionen (Stickoxide, Feinstaub, fluorierte Kohlenwasserstoffe etc.) zu minimieren.
- die durch die Energiegewinnung bedingten Stoffflüsse massiv zu verringern."

Die Kommission weist unter anderem darauf hin, dass diese Vorgaben ohne Änderungen im Konsumverhalten nicht zu erreichen sind und dass der Energiemix der Zukunft im Spannungsfeld zwischen Konsumenten, Industrie und Politik liegt. Für die Forschung folgert die CORE, dass die Steigerung der Energieeffizienz in allen Bereichen, die Technologien zur Nutzung von erneuerbaren Primärenergien zum Ersatz fossiler Energien und die weiterhin sichere Nutzung der Kernenergie im Vordergrund stehen.

"Als Zwischenschritt auf dem Weg zur Vision postuliert die CORE vier quantitative Ziele, die - trotz Wachstum der Energie-Dienstleistungen von 60 % - bis 2050 erreicht werden sollen:

- Verzicht auf fossile Brennstoffe für die Bereitstellung von Wärme in Gebäuden (Alt- und Neubauten).
- Halbierung des Energieverbrauchs in Gebäuden (Alt- und Neubauten). Heutiger Primärenergieverbrauch: 500 PJ.

- Mindestens Verdreifachung der Nutzung der Biomasse als Energieträger. Heutige Nutzung: 37 PJ.
- Senkung des durchschnittlichen fossilen Flottenverbrauchs auf 3 Liter je 100 km. Heutiger Verbrauch: 7,6 Liter je 100 km."

Die konkrete Forschungsförderung betrifft die Planungsperiode bis 2011; verschiedene Projekte führen langjährige Forschungsrichtungen weiter. Wesentlich ist dabei, dass sie die Grundlage für die langfristigen, auf Nachhaltigkeit zielenden Entwicklungen sind. Diesen Anspruch erfüllt das CORE-Konzept für die kurz- und mittelfristige Sicht. Aus langfristiger Optik fehlen allerdings beispielsweise noch Überlegungen zur Integration grosser Mengen an unregelmässig anfallenden erneuerbaren Energien. Wenn die neuen erneuerbaren Energien, vor allem Sonnenenergie und Wind, nicht mehr marginal bleiben und den überwiegenden Teil der Energiebedürfnisse abdecken sollen, müssen sie konsumgerecht aufbereitet werden. Nicht zuletzt sind, über den beschränkten Beitrag ökologisch verantwortbarer Biotreibstoffe hinaus, künstliche Treibstoffe herzustellen. Grundsätzliche Möglichkeiten dazu sind bekannt, sie müssen aber technisch und ökonomisch weiterentwickelt werden.

Die Energieforschung des Bundes enthält traditionell auch den Bereich Energiewirtschaftliche Grundlagen. Eine wichtige Forschungsrichtung ist die Ressortforschung, mit dem Ziel, das für energiepolitische Entscheide erforderliche Wissen bereitzustellen. Daneben werden auch Fragen bearbeitet, die der Grundlagenforschung zuzuweisen sind, wobei die Abgrenzung nicht scharf sein kann. Die aktuellen Anstrengungen des Bereichs Energiewirtschaftliche Grundlagen betreffen die Weiterentwicklung der Perspektiven-Modelle, die Wirksamkeitsprüfung politischer Instrumente und den Umsetzungsprozess von Forschungsergebnissen in den Markt.

Der Bundesrat hat 2007 die Ausrichtung der Energiepolitik auf die vier Säulen und Energieeffizienz, erneuerbare Energien, Grosskraftwerke und Energieaussenpolitik beschlossen. Auf diese sind auch die Stossrichtungen der künftigen Ressortforschung im Energiebereich zu fokussieren. Im Vordergrund stehen dabei Forschung und Entwicklung auf den beiden Gebieten Energieeffizienz und erneuerbare Energien, unter gewichtiger Berücksichtigung der Notwendigkeit, den Treibhausgasausstoss zu reduzieren.

Das CORE-Konzept ist schwergewichtig naturwissenschaftlich-technisch geprägt. Es sucht vor allem nach Lösungen für energietechnische und ökologische Fragestellungen, insbesondere durch Weiterentwicklung der einzelnen Technologien. Der technische Fortschritt ist, wie oben erwähnt, eine unverzichtbare Grundlage für die erforderlichen Änderungen und Verbesserungen im Energiesystem. Notwendig sind aber auch Aussagen zu ökonomischen und gesellschaftlichen Fragen. Es genügt nicht, Potenziale und Wirkungsgradverbesserungen einzelner Technologien abzuschätzen, daraus idealisierte Entwicklungslinien mit hohen Verbrauchseinsparungen oder Versorgungsbeiträgen zu ermitteln und bestenfalls noch die technologiespezifischen Kosten und Nutzen zu errechnen. Vielmehr müssen die gesamtwirtschaftlichen und gesellschaftlichen Aspekte der Energietechnologien und der gesamten Energie- und Umweltpolitik steigende Aufmerksamkeit erlangen. Beispiele dazu sind etwa die Technologieförderung, wo vermehrt Transparenz bezüglich der wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Auswirkungen und der Vernetzungen notwendig ist, etwa bei der kostendeckenden Einspeisevergütung (KEV), wo die Gefahr von Fehlentwicklungen mit grossen volkswirtschaftlichen Kosten nicht auszuschliessen ist. Vor allem ist aber die Umsetzung energiepolitischer Vorschläge und Massnahmen eine

entscheidende Herausforderung. Viele gut gemeinte und an und für sich sinnvolle Vorschläge scheitern daran, dass ihre Umsetzung an den gesellschaftlichen und wirtschaftlichen und damit auch an den politischen Rahmenbedingungen scheitert.

### **5.3 Sozialwissenschaftliche Forschung**

Während die naturwissenschaftlich-technische Forschung und Entwicklung die Anforderungen eines künftigen nachhaltigen Energiesystems in ihren Stossrichtungen weitgehend abdeckt - ein Mehr an finanziellen Mitteln wäre mindestens wünschenswert - sind deutlich grössere sozialwissenschaftliche Forschungsanstrengungen notwendig. Wie oben dargelegt, ist fortgeschrittenste Technik nur eine notwendige, nicht aber eine hinreichende Bedingung für die nachhaltige Entwicklung. Wesentliche Fortschritte sind bezüglich des Problemverständnisses und des Verhaltens der Gesellschaft und der einzelnen Individuen erforderlich. Wenn dank technischem Fortschritt der spezifische Energieverbrauch von Gebäuden, Anlagen, Fahrzeugen und Geräten sinkt, steigt im Gegenzug die relative Bedeutung des Konsumentenverhaltens. Die beste Technologie kann bei falscher Nutzung unwirksam sein und sie hat keine Anwendungschancen, wenn die Gesellschaft sie nicht akzeptiert.

Individuen und Kollektive prägen die Energiezukunft durch ihre Investitionen, ihr Konsumverhalten, aber auch durch politische Entscheide, nicht zuletzt an der Urne. Bessere Kenntnisse der sozialen und wirtschaftlichen Fragen von Energiebereitstellung und -nutzung sind unabdingbar, wenn das bisherige, auf Verschwendung und nicht erneuerbaren Energien beruhende Energiesystem erfolgreich, d.h. sozialverträglich und möglichst kostengünstig in ein nachhaltiges umgebaut werden soll.

Die zentralen Fragestellungen sind dabei: Wie können Gesellschaft und Wirtschaft dauerhaft von der Notwendigkeit eines verantwortungsvolleren Umgangs mit der Energie überzeugt werden? Wie wird diese Einsicht erfolgreich durch individuelles Investitions- und Konsumverhalten sowie durch politische Entscheide umgesetzt? Wie kann der sogenannte Rebound-Effekt verhindert werden? Welche Gründe für Innovationshemmungen bestehen, weshalb werden fortschrittliche Technologien zur Energie- und Materialeffizienz und zur Nutzung erneuerbarer Energien ungenügend angewendet, selbst wenn sie wirtschaftlich sind? Wie können Technologien, wie z.B. die Photovoltaik, gesamtwirtschaftlich optimal, d.h. ohne wesentliche Fehlallokationen, entwickelt werden? Welches ist die Effektivität der verschiedenen energiepolitischen Massnahmen (Vorschriften, Subventionen, Einspeisevergütungen, Information und Ausbildung, Forschung und Entwicklung etc) und welches wäre ein optimaler Massnahmenmix?

### **5.4 Forschung und Entwicklung brauchen genügend Mittel**

Grundlagen- und angewandte Forschung und auch die Entwicklung bis hin zu Pilot- und Demonstrationsanlagen erfordern staatliche Unterstützung. Die Mittel dafür sinken seit längerem, gegenüber dem Höchstwert der öffentlichen Förderung von 250 Mio. Franken im Jahr 1992 sind sie deutlich zurückgegangen, im Jahr 2007 betragen sie noch 174 Mio. Franken.

Die finanzielle Unterstützung der Anwendung ist mit der Einführung der kostendeckenden Einspeisevergütung (KEV) stark gestiegen und wird mit der beschlossenen Teilzweckbindung der CO<sub>2</sub>-Abgabe weiter zunehmen. Sie beschleunigt die Marktdurchdringung und damit, dank Produktentwicklung und Economy of scale, die Effizienz und Wirtschaftlichkeit neuer Energietechnologien. Der so induzierte technische Fortschritt genügt aber nicht, es braucht auch Forschung und Entwicklung.

Es ist offensichtlich, dass der energetische Nutzen der für die Marktdurchdringung eingesetzten Fördermittel umso höher ist, je effizienter, je marktnäher die eingesetzten Technologien sind. Eine Energietechnik sollte erst in starkem Masse unterstützt werden, wenn sie technisch und wirtschaftlich genügend ausgereift ist. Besonders gilt dies bei Förderinstrumenten wie die KEV, wo die für eine Anlage gesprochenen Fördermittel für 20 Jahre gebunden sind. Im speziellen ist dabei die Fotovoltaik zu erwähnen, welche glücklicherweise eine starke Kostensenkung erfährt. Wenn die von der Solarbranche monierten wirtschaftlichen Verbesserungen zutreffen, kann in wenigen Jahren mit dem gleichen finanziellen Einsatz ein sehr viel höherer Energiebeitrag erzielt werden.

Eine einseitige Ausweitung der Anwendungsförderung ohne gleichzeitige Verstärkung von Forschung und Entwicklung wäre mit grosser Wahrscheinlichkeit ökonomisch suboptimal. Es ist deshalb sinnvoll, die Anwendung heute noch teurer Technologien auf nicht zu hohem Niveau weiter zu fördern, aber deren Erforschung und Entwicklung wesentlich auszubauen. Die staatlichen und privaten Mittel für Forschung und Entwicklung inklusive Pilot- und Demonstrationsanlagen sollten deshalb deutlich gesteigert werden. Die von der CORE angestrebte Erhöhung der öffentlichen Mittel für Forschung und Entwicklung auf jährlich 200 Mio. Franken erscheint im Lichte der zu lösenden Probleme als eher moderat.

## Literatur

Akademien der Wissenschaften Schweiz (2007): Denk-Schrift Energie, Energie effizient nutzen und wandeln, Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung in der Schweiz

Bundesamt für Energie (2007): Konzept der Energieforschung des Bundes 2008-2011, ausgearbeitet durch die Eidgenössische Energieforschungskommission CORE

Bundesrat (2002): Strategie nachhaltige Entwicklung 2002

Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt EMPA (2007): Ökologische Bewertung von Biotreibstoffen

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (2008): Energiestrategie für die ETH Zürich, Energy Science Center ESC

InterAcademy Council (2007): Lighting the way, Toward a sustainable energy future

International Council of Academies of Engineering and Technological Sciences CAETS (2010): Deployment of Low Emissions Technologies for Electric Power Generation in Response to Climate Change

NEEDS New Energy Externalities Development for Sustainability (2008/2009): Final set of sustainability criteria and indicators for assessment of electricity supply options

Novatlantis - Nachhaltigkeit im ETH-Bereich (2005): Leichter leben, Ein neues Verständnis für unsere Ressourcen als Schlüssel zu einer nachhaltigen Entwicklung - die 2000-Watt-Gesellschaft

Royal Academy of Engineering (2010): Generating the Future: UK energy systems fit for 2050

Paul Scherrer Institut PSI: Energie-Spiegel 3/2000, Energie-Spiegel 18/2007, Energie-Spiegel 20/2010

Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften (2005): Nachhaltige Energieversorgung, Bericht zum SATW-Jahreskongress 2004

Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften (2006): Road Map Erneuerbare Energien Schweiz, Eine Analyse zur Erschliessung der Potenziale bis 2050

Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften (2008): Erdölknappheit und Mobilität in der Schweiz

Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften (2009): Biotreibstoffe - Chancen und Grenzen

World Business Council for Sustainable Development (2005): Pathways to 2050, Energy & climate change