

ENERGIE-SPIEGEL

FACTS FÜR DIE ENERGIEPOLITIK VON MORGEN

Die 2000-Watt-Gesellschaft: Norm oder Wegweiser?

Unsere Energieversorgung ist nicht nachhaltig. Der Energieverbrauch in entwickelten Ländern ist hoch, in Schwellenländern wächst er rasant. Die Dominanz von Erdöl, Kohle und Erdgas bringt das Klima aus dem Lot, politische Spannungen verschärfen sich. Am PSI wurde untersucht, wie sich hierzulande das Energiesystem bis 2050 entwickeln könnte, um den Zielen einer nachhaltigeren Energieversorgung zu entsprechen. Eine energie- und CO₂-sparende Gesellschaft soll dabei wegweisend sein.

Die 2000-Watt-Gesellschaft wird heute oft als Vision für eine nachhaltige Energieversorgung betrachtet, die umweltverträglich sein und zugleich mindestens stabilen Wohlstand erlauben soll. Der Begriff geht von einer mittleren «Leistung» von 2000 Watt pro Kopf aus (17'520 kWh Primärenergie pro Kopf und Jahr) und entspricht heute etwa dem globalen Durchschnittsbedarf eines Menschen. In der Schweiz liegen wir derzeit bei rund 5000 Watt, und das ohne graue Energie, die noch einmal knapp 4000 Watt ausmacht. Ein grosser Teil der Menschheit muss dagegen mit weniger als 1000 Watt pro Kopf auskommen.

Sind 2000 Watt pro Kopf in der Schweiz in Zukunft möglich und unter welchen Bedingungen ist das auch klimaverträglich? Eine PSI-Studie* zeigt, dass wir mit dem Begriff der 2000-Watt-Gesellschaft sehr vorsichtig umgehen müssen. Entscheidend sind nicht die 2000 Watt allein, sondern auch, wie sie erzeugt werden.

Wir brauchen mehr Energieeffizienz, Sparmassnahmen und neue Technologien. Bis 2050 werden wir damit unseren Verbrauch sozial verträglich jedoch höchstens um 30% senken können. Dass wir 2000 Watt pro Kopf nicht erreichen, ist aber für das Klima nicht entscheidend. Angesichts des Klimawandels müssen wir vor allem die CO₂-Emissionen möglichst rasch senken. Das langfristige Ziel liegt bei einer Tonne CO₂ pro Kopf und Jahr oder 500 Watt pro Kopf aus fossilen Quellen. Das ist etwa 6 Mal weniger als heute und erfordert grosses Umdenken und den Einsatz aller nicht-fossilen Energieträger. Die 2000-Watt-Gesellschaft soll dabei als langfristiger Wegweiser dienen – als Ausdruck unserer Ambitionen, Wohlstand und nachhaltige Energieversorgung unter einem Dach zu vereinen.

MIT EINLAGEBLATT

Inhalt

- 2 Situation heute: **Energie als Schlüssel zum Wohlstand**
- 3 ...und morgen: **Hoher Lebensstandard trotz weniger Energie**
- 4 Interview mit Peter Beyeler und Hans-Peter Fricker: **«Energieeffizienz und Komfort schliessen sich nicht aus»**

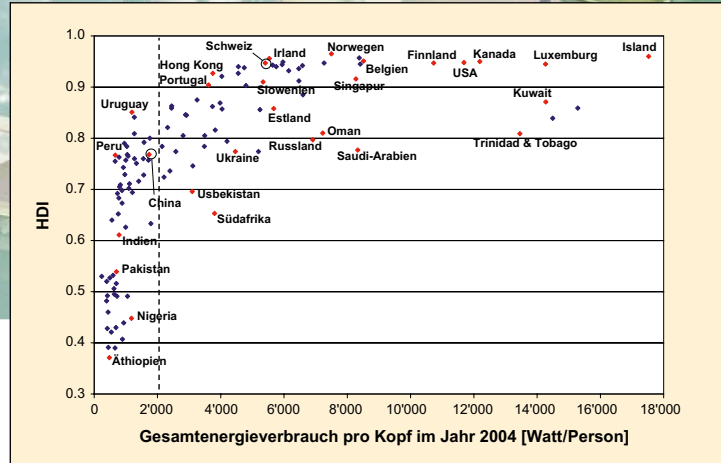
*Thorsten F. Schulz, «Intermediate steps towards the 2000-Watt society in Switzerland: An energy-economic scenario analysis», Dissertation ETHZ, Einreichung 2007

Energie als Schlüssel zum Wohlstand

Der westliche Lebensstandard hängt heute entscheidend von unserer Energieversorgung ab: Wohlstand braucht Energie. Kehrseite der Medaille sind Umweltprobleme. Besonders der Klimawandel wird immer mehr zur Gewissheit. Dabei machen sich heutige Entwicklungsländer gerade daran, die Entwicklung des Westens nachzuvollziehen. Gefragt sind Alternativen mit geringerer Energieintensität.



Human Development Index und Energieverbrauch für verschiedene Länder (UNDP 2006).



In der Schweiz wurden 1960 durchschnittlich 2000 Watt pro Kopf verbraucht. Der Wohlstand hat sich seither, gemessen am Bruttoinlandsprodukt, vervierfacht. Die Zahl der Motorfahrzeuge nahm von damals 860'000 auf ca. 5 Millionen zu. Fast parallel zum BIP stieg der Primärenergieverbrauch. Jeder Schweizer und jede Schweizerin verbraucht heute im Mittel fast 42'000 kWh jährlich, das entspricht fast 5000 Liter Benzin bzw. einer Dauerleistung von etwa 4800 Watt. Und das ohne Graue Energie (siehe Kasten), die

Schweizer Ziele für 2050: 3-4 t CO₂ pro Kopf bei 1500-2000 Watt fossiler Energie

noch einmal fast 80 % des heimischen Verbrauchs ausmacht*. Gut zwei Drittel der Energie stammen aus fossilen Quellen – Erdöl und Erdgas, meist für Heizungen und Transporte. Folge des steigenden Energieverbrauchs waren immer wieder Umweltprobleme: Früher standen Smog und saurer Regen im Fokus der Debatte, heute Feinstaub und Klimawandel. In den letzten Jahren ist der Energieverbrauch pro Kopf zwar kaum mehr gestiegen, der Stromverbrauch wächst aber sogar stärker als das BIP.

Blick über die Grenze

Eine ausreichende Energieversorgung ist Voraussetzung für hohen Wohlstand. Das zeigt der internationale Vergleich. Ob ein Land beim Index für menschliche Entwicklung (Human Development Index – HDI) der UNO gut abschneidet, hängt vom Energieverbrauch pro Kopf ab. Dabei ist der Schweizer Pro-Kopf-Verbrauch gegenüber anderen hoch entwickelten Ländern wie Finnland, Belgien, oder den USA eher gering. Als unteres Limit für ein Leben in gewissem Wohlstand wird der heutige weltweite Durchschnitt von 2000 Watt pro Kopf und Jahr angesehen. Beispiele wie Russland oder Saudi-Arabien zeigen aber auch, dass reichlich Energie nicht automatisch eine wohlhabende oder hoch entwickelte Gesellschaft bedeutet.

globales Ziel von 1 t CO₂ pro Kopf und Jahr – das entspricht den Auswirkungen eines Flugs in die Türkei (Zürich-Antalya und zurück) – können wir mit unserem heutigen Verbrauchsmuster keinesfalls erreichen. Das heisst zwar nicht, dass wir in Zukunft bei Dunkelheit frieren sollen. Wir müssen aber die Abhängigkeit von fossilen Ressourcen stark reduzieren und unsere Energieversorgung so umgestalten, dass bei geringerem Verbrauch zumindest der heutige Wohlstand erhalten bleibt. Auf dem Weg zu dieser weit entfernten Vorgabe brauchen wir realistische, aber trotzdem anspruchsvolle Zwischenziele für die Mitte dieses Jahrhunderts: 3–4 t CO₂ pro Kopf und Jahr bei 1500–2000 Watt aus fossilen Quellen (ohne graue Emissionen und Energie) sollten wir auf unsere Agenda setzen.

Problematische Entwicklung

Auch wenn die Schweiz einen erfolgreichen Weg hinter sich hat, wird zunehmend klar, dass wir nicht in jeder Beziehung als Modell für heutige Schwellen- und Entwicklungsländer dienen dürfen. Unsere Energieversorgung ist mit der hohen Abhängigkeit von fossilen Ressourcen und den damit verbundenen CO₂-Emissionen kein ideales Beispiel für eine nachhaltige Entwicklung. Der im Februar veröffentlichte vierte IPCC-Bericht zeigt deutlich, dass der grosse fossile Energieverbrauch den globalen Klimawandel stark beeinflusst. Um die Erwärmung der Erdatmosphäre in erträglichen Grenzen zu halten, müssen die globalen CO₂-Emissionen bis 2050 um bis zu 50 % abnehmen.

Angesichts des wirtschaftlichen Aufholbedarfs vieler Entwicklungs- und Schwellenländer bedeutet das für die wohlhabenden Staaten noch stärkere Reduktionen (60–80 %). Die direkten Schweizer Pro-Kopf-Emissionen liegen heute bei rund 6t CO₂ pro Jahr. Dazu kommt noch deutlich mehr als die Hälfte davon an grauem CO₂. Ein langfristiges

Human Development Index (HDI)

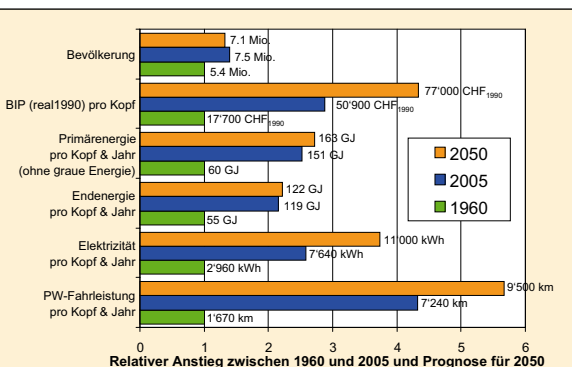
Der HDI ist ein länderspezifisches Mass für den Stand der menschlichen Entwicklung auf einer Skala von 0 bis 1. Er wird alljährlich von der UNO erhoben. In die Berechnung fliessen die Lebenserwartung, der Bildungsstandard sowie die Kaufkraft der Einwohner eines Landes ein.

Primärenergie: Energie, die ursprünglich in den genutzten Energieträgern (z.B. Erdgas, Rohöl) enthalten ist.

Endenergie: Energie, die nach Verlusten bei Umwandlung und Transport dem Verbraucher zur Verfügung steht (z.B. Holzpellets, Strom, Benzin).

Nutzenergie: Energie, die der Verbraucher effektiv nutzt (z.B. Raumwärme, Licht).

Graue Energie und Emissionen: Diese Energie bzw. Emissionen sind in importierten Gütern und Dienstleistungen enthalten bzw. werden davon verursacht und tauchen in den Schweizer Inlandsstatistiken nicht auf.



Wachstum in der Schweiz von 1960 bis 2005 und Prognose für das Basisszenario im Jahr 2050 (BFE 2006) (siehe Einlageblatt)

*Persönliche Mitteilung Rolf Frischknecht. ESU-services GmbH; Studie noch unveröffentlicht.

Hoher Lebensstandard trotz weniger Energie

Unser Energiesystem lässt sich schon heute nachhaltiger gestalten: ökologischer mit weniger Erdöl und zugleich ökonomisch und sozial verträglich durch Umsetzung der günstigsten Effizienzsteigerungs- und Energiesparmassnahmen. Die 2000 Watt pro Kopf lassen sich zwar bis 2050 nicht verwirklichen, ambitionöse Schritte in diese Richtung und hin zu weniger CO₂-Emissionen sollten aber angegangen werden.

Eine reine Effizienzstrategie, die ausschliesslich den Primärenergieverbrauch verringert, führt nicht zum Ziel. Mit weniger Energie auszukommen, ist zwar wichtig, damit alleine sinken aber die CO₂-Emissionen nicht ausreichend. 2000 Watt pro Person zu erreichen (entsprechend einem Energiebedarf von 17'520 kWh pro Jahr) braucht länger als bis 2050. Mit einem jährlichen Flug von Zürich nach Los Angeles und zurück wäre dieses Limit schon zur Hälfte erreicht. Mit den technologischen Mitteln, die uns Mitte des Jahrhunderts voraussichtlich zur Verfügung stehen werden, könnte unser Primärenergiebedarf bestenfalls auf 3500 Watt gedrückt werden (ohne Graue Energie).

Weniger CO₂ als Gebot der Stunde

Macht es Sinn, auf maximale Reduktion des Energieverbrauchs zu setzen? Dies allein würde den Erdöl- und Erdgasverbrauch nicht genügend reduzieren, die CO₂-Emissionen blieben zu hoch. Wir können die CO₂-Emissionen auch erheblich senken, ohne den Energieverbrauch aus reinem Selbstzweck so stark zurückzuschrauben.

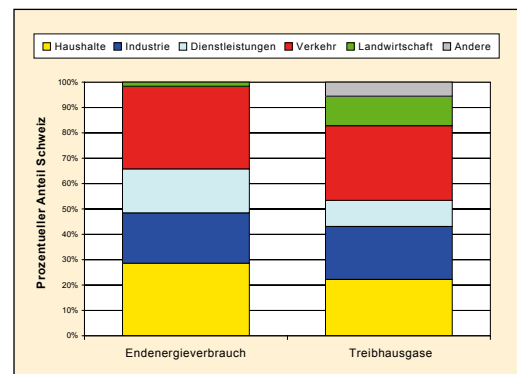
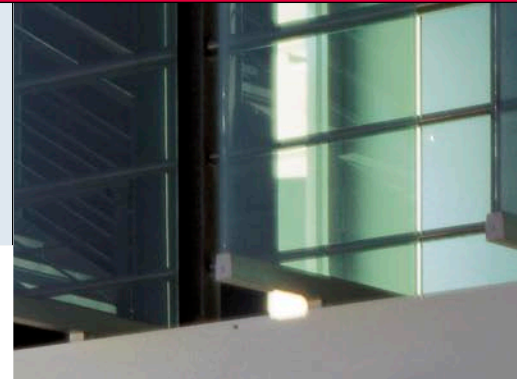
Die CO₂-Reduktion sollte sogar das vorrangige Ziel sein. Diese Zielsetzung hat zur Folge, dass bei etwas mehr Primärenergieverbrauch geringere Zusatzkosten anfallen, die Schweizer Luft sauberer wird und die Abhängigkeit von fossilen Energieimporten abnimmt. Aus klimapolitischen Gründen sollten die Schweizer CO₂-Emissionen bis 2050 um mindestens 50 % sinken. Das entspricht – vorausgesetzt, die Schweiz erreicht 2010 das Kyoto-Ziel – einer Absenkung von fast 15 % pro Dekade zwischen 2010

Die CO₂-Reduktion sollte das vorrangige Ziel sein

und 2050. Dieser ehrgeizige Weg ist nur bei äusserster Anstrengung im Bereich des Möglichen, auch weil damit erhebliche Investitionen verbunden sind (siehe Einlageblatt).

Ein steiniger Weg

Was bedeutet das aber für uns konkret in den kommenden Jahrzehnten? Die grossen Brocken beim Energieverbrauch und den CO₂-Emissionen sind heute Bau und Betrieb von Gebäuden, der Verkehr und Konsumgüter aus der Industrie und Dienstleistungsbranche (Grafik rechts). Im Gebäudebereich sind Spar- und Effizienzmassnahmen angesagt. Verschärfte Standards für Neubauten und Sanierungen können bewirken, dass der Energieeinsatz in diesem Sektor bis 2050 um gut 60 % abnimmt. Der geringere Wärmebedarf könnte dann überwiegend durch Wärmepumpen gedeckt werden, Erdöl und Erdgas würden nur noch wenig benötigt. Schwieriger wird es im Transportsektor: Wenn der

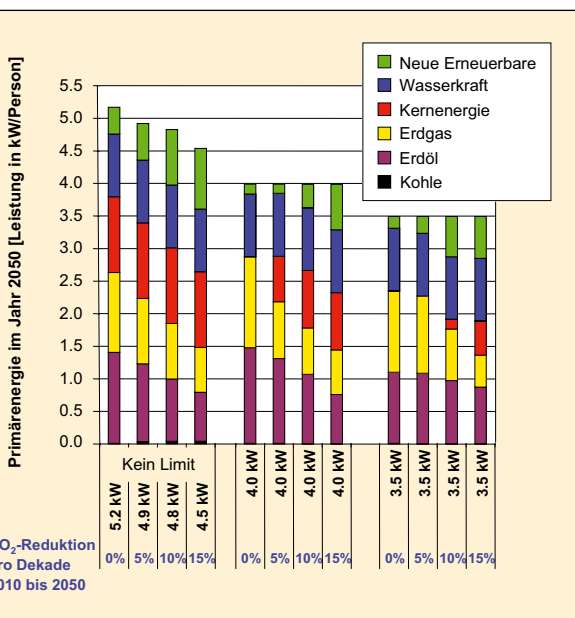


Anteile der verschiedenen Wirtschaftssektoren am Endenergiebedarf und an den Treibhausgasemissionen der Schweiz im Jahr 2004 (BAFU 2006).

Verkehr weiter zunimmt, können mit technischen Lösungen Energieverbrauch und CO₂-Emissionen bis 2050 nur um ca. ein Drittel sinken. Im Industrie- und Konsumgüterbereich müssten konsequent die effizientesten Verfahren und Geräte eingesetzt werden. Weniger Gesamtenergieverbrauch und vor allem niedrigere CO₂-Emissionen bedeuten aber auch, dass der Strom im Energiesystem an Bedeutung gewinnen und der Bedarf zunehmen wird (siehe Einlageblatt).

Auch wenn die aktuelle Studie nur mögliche Entwicklungen aufzeigt und nichts darüber aussagt, welche Anreize wir brauchen, um die heutigen Verhaltensmuster über Bord zu werfen: Klar ist, dass die Umgestaltung unseres Energiesystems schwierig wird und dieser angestrebte Wandel nicht von selbst passiert. Es braucht zielgerichtete und langfristige Massnahmen von Seiten der Politik, um die Menschen dazu zu bewegen, eine neue Richtung einzuschlagen. Und je früher der nötige Wandel eingeleitet wird, desto einfacher und günstiger werden wir die Ziele erreichen können.

Auch wenn die aktuelle Studie nur mögliche Entwicklungen aufzeigt und nichts darüber aussagt, welche Anreize wir brauchen, um die heutigen Verhaltensmuster über Bord zu werfen: Klar ist, dass die Umgestaltung unseres Energiesystems schwierig wird und dieser angestrebte Wandel nicht von selbst passiert. Es braucht zielgerichtete und langfristige Massnahmen von Seiten der Politik, um die Menschen dazu zu bewegen, eine neue Richtung einzuschlagen. Und je früher der nötige Wandel eingeleitet wird, desto einfacher und günstiger werden wir die Ziele erreichen können.



Primärenergiebedarf im Jahr 2050:

Szenarien ohne Limit, mit 4 kW und 3.5 kW pro Kopf; vorgegebene CO₂-Reduktion pro Dekade zwischen 2010 und 2050 jeweils 0%, 5%, 10% und 15%.

«Energieeffizienz und Komfort schliessen sich nicht aus»

Die 2000-Watt-Gesellschaft ist Bestandteil der «Strategie Nachhaltige Entwicklung» des Bundesrats. Was verstehen Sie unter diesem Begriff?

Fricker: Das Konzept der 2000-Watt-Gesellschaft enthält zwei Schwerpunkte: Mit der besten Technologie will sie den Energieverbrauch auf ein weltweit und langfristig tragbares Mass senken. Andererseits akzeptiert sie, dass alle Gesellschaften höchste Lebensqualität anstreben. Ein nachhaltiges Energiesystem, weitgehend ohne fossile Energie und ohne Atomkraft, macht dies möglich.

Beyeler: Die 2000-Watt-Gesellschaft ist eine Vision, aber mit langfristigem Umsetzungspotenzial. Vorab mit markant verbesserter Energieeffizienz lässt sich der Verbrauch von heute über 5000 Watt stark reduzieren, ohne Verlust beim Lebensstandard. Dies ist aber ein langer Weg.

Was hat für Sie Priorität: Weniger Energieverbrauch an sich, oder eher die Reduktion der CO₂-Emissionen?

Fricker: Grund für den Umbau unseres Energiesystems sind die zu hohen Treibhausgasemissionen (THG) als Ursache des Klimawandels. Eine nachhaltige Energieversorgung kann rascher wirtschafts- und umweltverträglich verwirklicht werden, wenn wir den Energieverbrauch deutlich reduzieren.

Beyeler: Eindeutig weniger CO₂. Die Folgen dieser Hypothek werden wir erst in 20 Jahren spüren. Wir müssen fossile Energieträger durch andere Energieformen ersetzen und gleichzeitig die Effizienz massiv erhöhen. Dabei kommt der Forschung eine wichtige Rolle zu, besonders dem vom PSI geleiteten «Competence Center Energy and Mobility».

Wie soll die Gesellschaft zu einer energie- und CO₂-sparenden Lebensweise motiviert werden?

Beyeler: Energieeffizienz und Komfort schliessen sich nicht aus, das Musterbeispiel dafür sind Minergie-Gebäude. Es gilt, die Bevölkerung dazu zu ermuntern, künftig auf energieeffiziente Geräte, Fahrzeuge und Gebäude zu setzen. Dabei können auch finanzielle Anreize im Sinne von Anschubfinanzierungen helfen. Von Sparprogrammen mit Verboten und Verhaltensvorgaben halte ich aber wenig.

Fricker: Die Politik muss vorausschauend Rahmenbedingungen schaffen, damit sich Energie sparen und der Gebrauch von erneuerbaren Energien lohnen. Die Bevölkerung will an sich weder Energie verschwenden, noch das Klima mit CO₂-Emissionen belasten. Unsere Energiepolitik ist bis jetzt sehr stark von den Interessen der Energie- und Stromanbieter geprägt, d.h. immer mehr Liefern und nicht Sparen. Hier braucht es neue Anreiz-



Peter C. Beyeler,
Dipl. Bauingenieur
ETH, ist seit Juli
2000 Regierungsrat
des Kantons Aargau
und steht dem
Departement Bau,
Verkehr und Umwelt

vor. Zuvor war er in der Privatwirtschaft im In- und Ausland in verschiedenen Funktionen im Engineeringbereich tätig.



Dr. Hans-Peter Fricker ist seit Januar 2004 Direktor des WWF Schweiz. Nach seinem phil.-Studium an der Uni Zürich hatte er verschiedene Lehraufträge inne, war

Mitglied der Geschäftsleitung des Schweizer Radio DRS und leitete die Schweiz. Multiple Sklerose Gesellschaft.

systeme, z.B. staatsquotenneutrale Lenkungsabgaben und/oder eine ökologische Steuerreform. Allein mit Appellen und Freiwilligkeits-Programmen wird die Verschwendung nicht zu stoppen sein.

Welche politischen Massnahmen halten Sie für notwendig und zielführend, um Energie und CO₂ einzusparen?

Beyeler: Bei Gebäuden muss der Minergie-Standard zur Norm werden – bis hin zum Passivhaus, das mit sehr wenig Energie heutigen Wohnkomfort ermöglicht. Die Kantone sind daran, die Vorschriften entsprechend anzupassen. Der Bund ist gefordert, energieeffiziente Fahrzeuge beim Import zu bevorzugen. Auf Kantonsebene sind energieabhängige Motorfahrzeugabgaben in Bearbeitung. Und zur Verbesserung der CO₂-Bilanz sind erneuerbare Energien zu fördern, speziell auch im Gebäudebereich.

Fricker: Der WWF Schweiz hat zusammen mit 50 weiteren Organisationen im sog. Klima-Masterplan (www.wwf.ch/klimafakten) aufgezeigt, welche Regelungen anzupassen und welche Massnahmen zu ergreifen sind, damit die Investitionen von Staat und Wirtschaft und unser Verhalten künftig in die richtige Richtung gehen. Die besten Technologien sollen sich so mit Hilfe einer Kombination von

marktwirtschaftlichen Anreizen und Mindeststandards durchsetzen.

Welche energiepolitischen Ziele sollen sich der Kanton Aargau bzw. die Schweiz mittelfristig (2030 bis 2050) setzen?

Fricker: Die Wissenschaft ist sich einig, dass die globale Erwärmung seit Beginn der Industrialisierung 2 °C nicht überschreiten darf. Dafür braucht es in den Industrieländern, auch in der Schweiz, eine Reduktion der THG um 90% bis 2050. Aus diesem Grund hat der WWF zusammen mit andern Organisationen eine Volksinitiative angekündigt, welche uns verpflichtet wird, die THG bis 2020 gegenüber 1990 um 30% zu senken. Wir laden das PSI ein, in seinen Energiemodellierungen dieses Klimaschutzenszenario ebenfalls einzubauen.

Beyeler: Die Gebäude sollen höchstens noch die Hälfte der Energie von heute benötigen. Auch bei den Fahrzeugen und Geräten wollen wir dank neuer Standards klare Verbesserungen. Anders gesagt: Auch wenn wir bis 2050 die Vision der 2000-Watt-Gesellschaft nicht umsetzen können, müssen wir einen grossen Schritt in diese Richtung machen. Steigende Energiepreise werden das ihre beitragen, denn am Ende läuft vieles noch immer über das Portemonnaie.

Impressum

Energie-Spiegel ist der Newsletter des PSI zur ganzheitlichen Betrachtung von Energiesystemen (Projekt GaBE). Er erscheint alle vier Monate. Beiträge zu dieser Ausgabe von C. Bauer, T. F. Schulz, S. Hirschberg, M. Jermann, A. Wokaun.

ISSN-Nr.: 1661-5093

Auflage: 15 000 Ex. Deutsch, 4000 Ex. Französisch, 800 Ex. Englisch
Bisherige Ausgaben als Pdf (D, F, E):
<http://gabe.web.psi.ch/>

Verantwortlich für den Inhalt:

Paul Scherrer Institut
Dr. Stefan Hirschberg
5232 Villigen PSI, Schweiz
Tel. 056 310 29 56, Fax 056 310 44 11
stefan.hirschberg@psi.ch
www.psi.ch/GaBE

Redaktion: Christian Bauer

Verteilung und Subskription:
energiespiegel@psi.ch

Layout: Monika Blétry

Energiesystem-Analysen am PSI: Ziel der Energiesystem-Analysen am Paul Scherrer Institut, Villigen, ist eine umfassende und detaillierte Beurteilung heutiger und zukünftiger Energiesysteme. Betrachtet werden neben Technologien insbesondere gesundheitliche, ökologische und ökonomische Kriterien. Auf der Basis von Life Cycle Assessment (LCA), energiewirtschaftlichen Modellen, Risikoanalysen, Schadstoff-Ausbreitungsmodellen und schliesslich einer Multikriterien-Analyse ist es möglich, unterschiedliche Energieszenarien zu vergleichen, um Grundlagen für politische Entscheidungen zu schaffen.

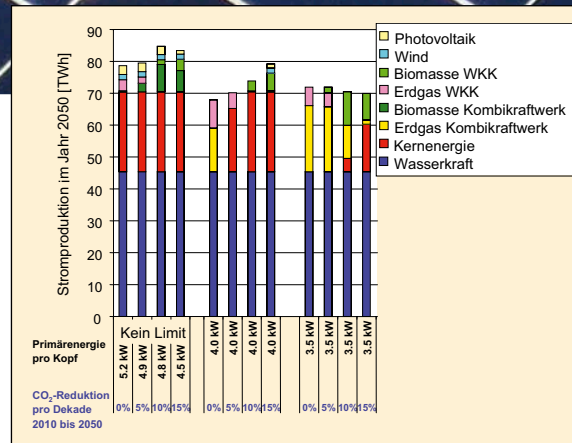
Zusammenarbeiten mit:

ETH Zürich; EPF Lausanne; EMPA; Massachusetts Institute of Technology (MIT); University of Tokyo; Europäische Union (EU); International Energy Agency (IEA); Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD); Organisation der Vereinten Nationen (UNO)

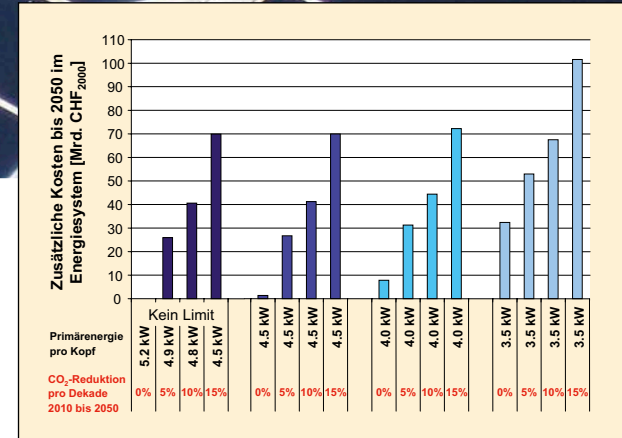
Im Detail: Elektrizität und Kosten

Elektrizität wird in Zukunft wichtiger denn je für unsere Dienstleistungsgesellschaft. Strom kann andere Energieträger effizient ersetzen, darum ist gerade dessen CO₂-freie Produktion der Schlüssel zu einer wirkungsvollen CO₂-Reduktion. Aber die nachhaltige Umgestaltung des heutigen Energiesystems wird bis 2050 mindestens 70 Mrd. Franken kosten.

Das Paradebeispiel für die effiziente Substitution von fossilen Energieträgern durch Strom sind Wärmepumpen. Auch bei industriellen Prozessen kann Strom oft Erdöl oder Erdgas ersetzen. Bei einer Halbierung der CO₂-Emiss-



Stromproduktion in der Schweiz im Jahr 2050; Produktion entspricht dem Inlandsverbrauch. Deutlich weniger CO₂ heisst für die Schweiz, dass auch in Zukunft Kernenergie ein wichtiger Bestandteil bleiben muss. Bei strengen Primärenergievorgaben alleine würde Kernenergie wegen des tieferen Wirkungsgrads Anteile zu Gunsten von Erdgas verlieren.



Kumulierte Zusatzkosten im Energiesystem bis 2050 im Vergleich zum Szenario ohne Primärenergie-limit und ohne CO₂-Reduktion, ganz links.

Rahmenbedingungen: Die Annahmen zur Entwicklung der Schweizer Bevölkerung, des BIP, der Wohnfläche, des Verkehrsaufkommens etc. stützen sich auf Vorhersagen der Bundesämter. Davon ausgehend wird das Energiesystem bis 2050 ohne Primärenergie- und CO₂-Limit als Basisszenario («business as usual») simuliert. Für die Szenarien mit verringertem Energieverbrauch wird jeweils die Primärenergie im Jahr 2050 limitiert. Die Angabe der CO₂-Reduktion erfolgt ab 2010 jeweils in Prozent pro Dekade mit dem Ausgangsniveau des erfüllten Kyoto-Ziels. Bei vorgegebener Abnahme von Energieverbrauch und CO₂-Emissionen wird jeweils das ökonomisch optimale Energiesystem errechnet, also jenes System, das die gesetzten Limite zu den geringsten Kosten erfüllen kann. Politische Lenkungsmassnahmen sind im Modell nicht enthalten. Potenziale und Kosten zukünftiger Energiesysteme basieren teils auf den Angaben in Nr. 14 und 15 des Energiespiegels.

sionen gegenüber dem Kyoto-Ziel (das entspricht knapp minus 15 % pro Dekade ab 2010) wird bis 2050 der Stromanteil am Gesamtenergieverbrauch von heute 23 % auf 35–40 % wachsen. Es ist abzusehen, dass ohne zielgerichtete Stromsparinstrumente unser Verbrauch gegenüber 57 TWh/a heute auf 85 TWh im Jahr 2050 steigen wird. Wenn wir es schaffen, den Primärenergieverbrauch um 30 % zu senken, steigt der Strombedarf trotz Sparmassnahmen auf 70 TWh. So trägt z.B. der Einsatz von Wärmepumpen wesentlich zu höherer Energieeffizienz bei, ist aber mit einem Mehrverbrauch an Strom von bis zu 8 TWh/a verantwortlich (siehe Rückseite). Die Zusammensetzung unseres Strommix wird also entscheidend für die Schweizer CO₂-Emissionen sein: Effektive Massnahmen gegen den Klimawandel, die wir uns auch leisten können, erfordern massiv mehr neue erneuerbare Energien und weiterhin Kernkraftwerke, selbst wenn wir das Wasserkraft-Potenzial voll ausnützen.

Eine Umgestaltung der Energieversorgung wird bedeutende Kosten verursachen. Bei einer 15-prozentigen CO₂-Reduktion pro Dekade betragen die kumulierten Zusatzkosten im Energiesystem bis 2050 mindestens 70 Mrd. Franken, unabhängig von der Beschränkung des Energieverbrauchs. Alleine den Energieverbrauch auf 4000 Watt pro Per-

son zu senken (ohne CO₂-Reduktion), ist mit knapp 10 Mrd. Franken noch relativ günstig zu haben. Weiter gehende Reduktionen werden aber massiv teurer. Wir sollten unser Geld besser in technologische Entwicklungen für eine CO₂-arme Energieversorgung investieren als das Maximalziel auf dem Energiereduktionspfad verfolgen.

Systemkosten: Die hier berechneten Zusatzkosten im Energiesystem beinhalten sämtliche Investitions-, Betriebs- und Brennstoffkosten von heute bis 2050. Ausgangsniveau (= keine Zusatzkosten) ist die Entwicklung ohne Beschränkung von Energieverbrauch und CO₂-Emissionen. Die in Zukunft anfallenden Kosten werden mit einem Zinssatz von 3 % pro Jahr diskontiert. Das bedeutet, dass z.B. 36 Franken, die im Jahr 2050 investiert werden, einer heutigen Investition von 10 Franken entsprechen. Damit wird berücksichtigt, dass wir dem Geld, über das wir

heute verfügen können, mehr Wert geben als dem Geld, das wir in Zukunft haben werden. Nicht berücksichtigt sind Auswirkungen auf die Volkswirtschaft sowie externe Umwelt- und Gesundheitskosten. Wenn etwa Massnahmen gegen den Klimawandel im internationalen Einklang erfolgen und so die Erderwärmung eingedämmt werden kann, könnten die vermiedenen Schadenskosten den finanziellen Aufwand zur CO₂-Reduktion zum Teil kompensieren oder sogar übertreffen. Und wir würden auch von einer besseren Luftqualität profitieren.

Im Detail: Haushalte und Verkehr

Unsere Häuser und unser Fahrzeugpark müssen bis 2050 komplett anders aussehen, wenn wir die CO₂-Emissionsziele erreichen wollen. Weniger Wärmebedarf und mehr Wärmepumpen bzw. neuartige Antriebe für Autos könnten Mittel der Wahl sein.

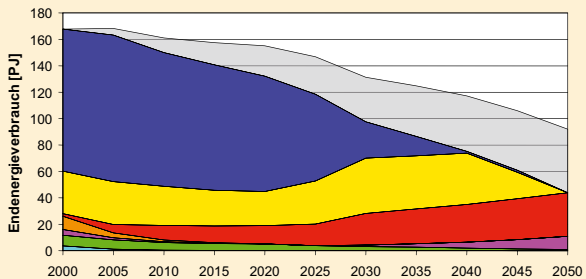
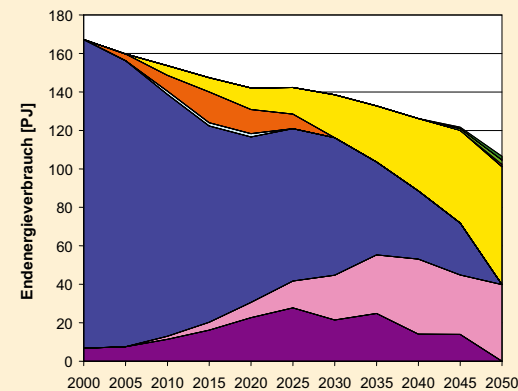
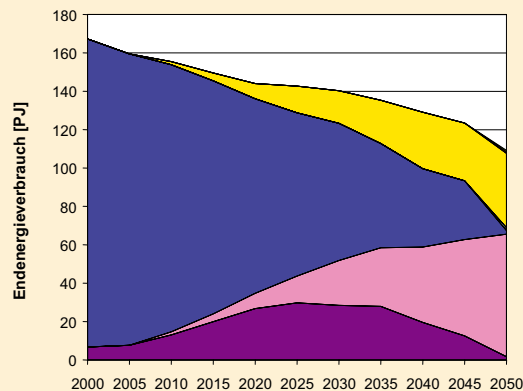
Heute stammen mehr als 80 % der Raumwärme in Privathäusern und -wohnungen aus Öl- und Gasheizungen. Darauf können wir weitgehend verzichten, selbst wenn wie erwartet die Wohnfläche bis 2050 um 40 % steigen wird. Die Grafiken unten zeigen den Endenergieverbrauch für Raumwärme in

Endenergieverbrauch im Sektor Privatverkehr bis 2050 bei einem Gesamtprimärenergiebedarf von jeweils 3500 Watt; links ohne CO₂-Limit, rechts -10% CO₂ pro Dekade ab 2010; BZ = Brennstoffzelle. Konservative und heute sehr unsichere Annahmen bez. Kosten lassen Wasserstoff und BZ-Fahrzeuge erst ab 2045 Anteile gewinnen. Optimistischere Annahmen würden zu einem früheren Markteintritt und schnellerer Expansion führen.

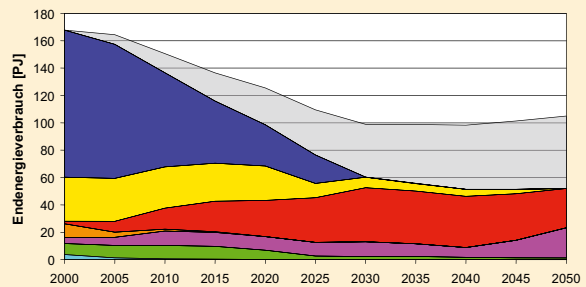
zwei möglichen Szenarien. Energie sparendes Bauen und Sanieren nach Minergie- und MinergieP-Standard könnte den Wärmebedarf schon bis 2030 auf weniger als 40 % des heutigen Werts senken. Und wenn wir dabei noch massiv auf Wärmepumpen und Fernwärme aus Biomasse-Heizkraftwerken oder zentralen Grosskraftwerken setzen würden,

Endenergieverbrauch für Raumwärme im Sektor Privathaushalte bis 2050 bei einem durchschnittlichen Gesamtprimärenergiebedarf pro Kopf von jeweils 3500 W; oben ohne CO₂-Limit, unten -10% CO₂ pro Dekade ab 2010; *Energie sparende Bauweise.

■ Wasserstoff Hybrid BZ ■ Wasserstoff BZ ■ Wasserstoff Hybrid ■ Erdgas Hybrid
■ Diesel ■ Diesel Hybrid ■ Benzin ■ Benzin Hybrid ■ Erdgas



■ Widerstandsheizung elektrisch ■ Biomasse ■ Fernwärme ■ Sparmassnahmen *
■ Wärmepumpe elektrisch ■ Erdgas ■ Öl ■ Andere



dann bräuchten wir nur noch einen geringen Anteil an fossilen Energieträgern zum Heizen. Wir könnten so die jährlichen CO₂-Emissionen um 10 Mio. Tonnen (ca. 20 % der gesamten Schweizer Treibhausgasemissionen von heute) senken.

Falls wir weiterhin immer mehr Auto fahren und trotzdem auch im Verkehrssektor CO₂ einsparen wollen, müssen wir bis 2050 effizientere Antriebssysteme einsetzen, die pro km deutlich weniger CO₂ emittieren. Wir werden jedoch nicht auf fossile Treibstoffe verzichten können. Die Grafiken oben zeigen den Endenergieverbrauch von Personwagen in zwei Szenarien. Hybridantriebe könnten die heute dominierenden reinen

Benzin- und Dieselmotoren kostengünstig ersetzen. Benzin hätte bei einer angestrebten durchschnittlichen Leistung pro Kopf von 3500 W wegen des vergleichsweise hohen Verbrauchs keine Zukunft. Erdgas könnte sich neben Diesel durchsetzen, weil es als Treibstoff effizient ist und weniger CO₂ produziert. Dazu wäre aber ein rascher Ausbau der nötigen Infrastruktur nötig, also Erdgastankstellen und -leitungen. Realistisch wäre das nur im europäischen Einklang. Auch wenn man bis 2050 davon ausgeht, dass das private Verkehrsaufkommen um 40 % steigt, wären mit einem solchen Technologiewechsel ein Drittel weniger Endenergieverbrauch und jährlich 5 Mio. Tonnen weniger CO₂ möglich.