

DISS. ETH NO. 17314

**INTERMEDIATE STEPS TOWARDS THE 2000-  
WATT SOCIETY IN SWITZERLAND:  
AN ENERGY-ECONOMIC SCENARIO ANALYSIS**

A dissertation submitted to  
ETH ZÜRICH

for the degree of  
Doctor of Science

presented by  
Thorsten Frank Schulz  
Dipl.-Ing., University of Stuttgart, Germany  
born [REDACTED]  
citizen of Germany

accepted on recommendation of  
Prof. Dr. Alexander Wokaun, examiner  
Prof. Dr. Konrad Hungerbühler, co-examiner  
Mr. Socrates Kypreos, co-examiner

Zürich 2007

## Abstract

In future, the sustainable development of the Swiss energy sector under the umbrella of the 2000-Watt society is of major interest. Thereby the vision of a primary energy per capita (PEC) consumption of only 2000 Watts should ideally fulfil many targets such as improving the energy efficiency of the Swiss energy sector, reducing the dependency on fossil energy carriers, promoting renewable energies and contributing to the climate-change strategies. This dissertation aims at finding realistic targets for the vision of the 2000-Watt society until 2050. It looks at various combinations of PEC and CO<sub>2</sub> targets and estimates the additional costs to be paid by the Swiss society. The assessment is conducted with the Swiss MARKAL (MARKet ALlocation) model. Swiss MARKAL represents a bottom-up energy-systems model that provides a detailed representation of energy supply and end-use technologies. It projects future technology investments and offers an integrated analysis of primary, secondary, final and end-use energy for Switzerland.

The analysis reveals that the 2000-Watt society should be seen as a long-term goal. In the year 2000, the PEC consumption was about 5000 Watts per person with 44.4 Mt of energy-related CO<sub>2</sub> emissions. For all contemplated scenarios independent of the oil price, a PEC consumption of 3500 Watts per capita is feasible in the year 2050. However, strong PEC consumption targets can reduce CO<sub>2</sub> emissions to an equivalent of 5 % per decade at maximum. For stronger CO<sub>2</sub> emission-reduction goals, corresponding targets must be formulated explicitly. The opposite approach of tightening only CO<sub>2</sub> targets will reduce the PEC consumption to values between 4900 and 4500 Watts per capita, depending on the oil price in the year 2050. Therefore, a CO<sub>2</sub> reduction alone does not sufficiently move into the direction of a 2000-Watt society.

The major changes required concern energy-transformation and energy-demand technologies. Electricity will play, more than ever, an important role in a service-oriented society in the future. The production of electricity will increase from a today's level of 57 TWh to at least 70 - 85 TWh in 2050. Dwelling houses and the vehicle fleet have to undergo a complete transformation until 2050 if we want to reduce energy consumption and lower CO<sub>2</sub> emissions. Less heat consumption and more heat pumps as well as natural gas and hydrogen engine drives for cars would be the choice in the future.

Such a transformation comes at a cost; even intermediate steps are associated with sizeable expenses. At an oil price of 75 US\$<sub>2000</sub>/bbl in 2050, the additional costs to reach a 3500-Watt society amount to about 20 billion US\$<sub>2000</sub> (~33 billion CHF<sub>2000</sub>). A Kyoto-for-ever target (i.e. 5 % CO<sub>2</sub> reduction per decade) costs about 15 billion US\$<sub>2000</sub> (~25 billion CHF<sub>2000</sub>) or 5 billion US\$<sub>2000</sub> (~8 billion CHF<sub>2000</sub>) less. If a 10 % CO<sub>2</sub> reduction per decade is envisaged additional to the 3500 Watts per capita target, the extra costs amount to about 40 billion US\$<sub>2000</sub> (~67 billion CHF<sub>2000</sub>), despite potentially associated technological and cost synergies. If the main argument in favour of the 3500-Watt society was CO<sub>2</sub> reduction, then the PEC target is questionable.

By following pure energy-efficiency strategies with the only objective to reduce the PEC consumption, we do not meet up to possibly-desired climate-change strategies. A moderate fossil import dependency and the enhanced use of renewable energies are supported mainly by CO<sub>2</sub> reduction targets. Despite the fact that this study shows only potential cost-effective pathways but does not unfold necessary incentives of how to adopt these pathways, the study clearly shows: The transition of the current energy system is difficult and all targeted changes will not happen on their own. We need goal-oriented measures from decision-makers such that people change their behaviour and invest in more efficient and cleaner technologies rather sooner than later.

*Keywords: 2000-Watt society, MARKAL, Switzerland, energy, economy*

## Kurzfassung

Eine nachhaltige Entwicklung des schweizerischen Energiesystems mit der Vision einer 2000-Watt Gesellschaft könnte in der Zukunft von grossem Interesse sein. Die Vision einer 2000-Watt Gesellschaft (also einer Gesellschaft mit einem Primärenergieverbrauch von 2000 Watt pro Kopf) sollte idealerweise der Erreichung mehrerer Ziele dienen: der Steigerung der Energieeffizienz des schweizerischen Energiesektors, der Minderung der Abhängigkeit von fossilen Energieträgern und der Unterstützung von erneuerbaren Energien und Klimaschutzzielen.

Die vorliegende Studie versucht, realistische Ziele für die Vision der 2000-Watt Gesellschaft bis in das Jahr 2050 aufzuzeigen. Dazu werden verschiedene Kombinationen von Primärenergie- und CO<sub>2</sub>-Minderungszielen untersucht, sowie anfallende zusätzlichen Kosten berechnet, welche von der Gesellschaft für die Erreichung eines jeden Zieles getragen werden müssen. Die Ergebnisse der Dissertation wurden mit Hilfe des Energiesystemmodells Swiss MARKAL (MARKet ALLOCATION) erarbeitet. Swiss MARKAL ist ein bottom-up (von unten nach oben aufbauendes) Energiesystemmodell für die Schweiz. Es beinhaltet eine detaillierte Abbildung von Energiebereitstellungs- und Energieverbrauchstechnologien, so dass zukünftige Investitionen abgeschätzt werden können. Zudem bietet das Modell eine ganzheitliche Bilanzierung von Primär-, Sekundär-, End- und Nutzenergieverbräuchen für die gesamte Schweiz.

Die Analyse verdeutlicht, dass die 2000-Watt Gesellschaft nur als ein Langzeitziel gesehen werden sollte. Im Jahr 2000 lag der Primärenergieverbrauch bei ca. 5000 Watt pro Person mit einem resultierenden energiebezogenen CO<sub>2</sub>-Ausstoss von 44.4 Mt. Unabhängig vom Ölpreis ist für alle untersuchten Szenarien eine Verbrauchssenkung auf 3500 Watt möglich. Allerdings vermögen selbst starke Primärenergieabsenkungen den CO<sub>2</sub>-Ausstoss nur um maximal 5 % pro Dekade zu senken. Für stärkere CO<sub>2</sub>-Minderungsziele müssen diese explizit vorgegeben werden. Wenn ausschliesslich CO<sub>2</sub>-Minderung als Ziel vorgegeben wird, senkt sich der Primärenergieverbrauch, abhängig vom erwarteten Ölpreis im Jahr 2050, lediglich auf 4900 bis 4500 Watt pro Person. Die Verfolgung von strikten CO<sub>2</sub>-Zielen allein führt nicht zu der Erreichung des Ziels einer 2000-Watt Gesellschaft.

Die grössten Veränderungen in den untersuchten Szenarien betreffen sowohl Energieumwandlungs- als auch Nutzenergietechnologien. In der Zukunft wird

Elektrizität eine immer wichtigere Rolle einnehmen. Die Produktion von Elektrizität wird sich vom heutigen Niveau von ca. 57 TWh auf mindestens 70 – 85 TWh steigern. Haushaltssektor und Fahrzeugflotte bedürfen einer vollständigen Erneuerung, falls Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen merklich gesenkt werden sollen. Weiterhin sind die Reduzierung des Wärmebedarfs und der vermehrte Einsatz von Wärmepumpen nötig. Auch die Nutzung von Erdgas- and Wasserstoffautos wird in der Zukunft essentiell sein.

Jede umfassende Änderung des Energiesystems ist verbunden mit Kosten. Dazu zählt auch eine schrittweise Annäherung an eine 2000-Watt Gesellschaft bis 2050. Bei einem Ölpreis von 75 US\$<sub>2000</sub>/bbl in 2050 betragen die Kosten ca. 20 Milliarden US\$<sub>2000</sub> (~33 Milliarden CHF<sub>2000</sub>) um eine 3500-Watt Gesellschaft zu erzielen. Die Kosten für ein Kyoto-für-immer Ziel (5 % CO<sub>2</sub>-Minderung pro Dekade) betragen im Vergleich dazu nur ca. 15 Milliarden US\$<sub>2000</sub> (~25 Milliarden CHF<sub>2000</sub>), und sind damit um 5 Milliarden US\$<sub>2000</sub> (~8 Milliarden CHF<sub>2000</sub>) geringer. Falls das übergreifende Ziel ist, die CO<sub>2</sub>-Emissionen um 10 % pro Dekade zu senken und zudem eine 3500-Watt Gesellschaft zu erreichen, liegen die Extrakosten bei ca. 40 Milliarden US\$<sub>2000</sub> (~67 Milliarden CHF<sub>2000</sub>), trotz potenzieller Technologie- und Kostensynergien. Somit ist das Ziel der 3500-Watt Gesellschaft fragwürdig, falls das Hauptargument der Primärenergiereduktion die Minimierung der CO<sub>2</sub>-Emission sein sollte.

Wenn Energieeffizienzmassnahmen mit dem alleinigen Ziel verbunden sind, die Primärenergie zu senken, kommen wahrscheinlich wünschenswerte Klimaschutzziele zu kurz. Moderate Importe von fossilen Energieträgern und die verstärkte Nutzung von erneuerbaren Energien unterstützen CO<sub>2</sub>-Minderungsziele erheblich. Obwohl die Studie nur potenzielle kosteneffektive Wege aufzeigt, ohne nötige Anreize für diese Wege zu erörtern, wird dennoch ein Sachverhalt deutlich: die Umwandlung des existierenden Energiesystems ist mit grossen Herausforderungen verbunden. Zielgerichtete Umwandlungen werden nicht von alleine passieren. Die Schweiz braucht daher genau diese zielgerichteten Massnahmen ausgehend von Entscheidungsträgern, so dass die Bevölkerung ihr (Kauf-)verhalten ändert und in effizientere und saubere Technologien investiert. Je früher Massnahmen in Angriff genommen werden, umso nachhaltiger werden die Ergebnisse sein.

*Stichwörter: 2000-Watt Gesellschaft, MARKAL, Schweiz, Energieökonomie*