



Doctoral Thesis

Transformation strategies towards a sustainable Swiss energy system An energy-economic scenario analysis

Author(s):

Weidmann, Nicolas Oliver

Publication Date:

2013

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-009962867> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 21137

**TRANSFORMATION STRATEGIES TOWARDS A
SUSTAINABLE SWISS ENERGY SYSTEM:
AN ENERGY-ECONOMIC SCENARIO ANALYSIS**

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

NICOLAS OLIVER WEIDMANN

MSc ETH in Mechanical Engineering. ETH ZURICH
born 7th of June 1979
citizen of Steinmaur (ZH)

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. A. Wokaun, examiner
Prof. Dr. K. Hungerbühler, co-examiner
Dr. S. Hirschberg, co-examiner
Dr. H. Turton, co-examiner

2013

Abstract

Key elements of a sustainable energy system comprise a sufficient, diversified, secure, economically and environmentally compatible energy supply and the efficient use of energy. Given its relatively high dependence on imported fossil fuels, the energy system in Switzerland today does not meet the criteria of a sustainable energy system. In order to achieve a more sustainable configuration of the energy system and cope with key challenges related to energy security, climate change mitigation, and the more rational use of energy, fossil fuel consumption would have to be significantly reduced. Additionally, the overall efficiency and the diversification of energy supply options would need to be increased in the energy system while deploying more environmentally friendly end-use technologies. The achievement of such targets is likely to require a major transformation of the configuration of the Swiss energy system. The realisation of such a transformation depends on a number of uncertain factors related to policy decisions, technological developments, and international energy prices, amongst others. The overall objective of this dissertation is to improve understanding of how a sustainable Swiss energy can be realised from a technology perspective.

Given the considerable levels of uncertainty that could affect the development of the future energy system, scenarios reflecting key uncertainties were developed, quantified, and analysed with the application of a technology-rich bottom-up model of the Swiss energy system, called Swiss MARKAL.

Different sets of scenarios based on key uncertainties were analysed within the scope of this dissertation. The first set comprises scenarios representing uncertainties related to political support for future electricity supply options including new nuclear power plants and large centralised fossil power plants and is analysed for different levels of climate change mitigation targets. In addition, the impact of changes in international prices for fossil fuels on the technological configuration of the energy system is investigated. Second, the potential role of low-carbon electricity sources such as carbon capture and storage (CCS) technologies in a nuclear- and climate-constrained Swiss energy system was analysed. In a third set, the impact of alternative socio-economic developments including economic and population growth on the energy system was investigated.

The scenario analysis conducted within the scope of this dissertation provided important insights into how the transformation towards a more sustainable Swiss energy system could be realised.

Coping with key challenges related to climate change mitigation will likely require significant reductions in domestic CO₂ emissions that can be realised with an increased deploy-

ment of energy efficiency technologies across all end-use sectors along with investments in energy saving measures in residential, commercial, and industrial buildings. Electrification could support the decarbonisation of the building sectors and reduce the need for more costly mitigation options in other parts of the energy system. Under stringent climate constraints, such an electrification will likely require the deployment of low-carbon electricity from renewable sources such as solar, wind, and biomass.

Given the limited potentials of domestic renewables and the recent decision on phasing out nuclear power in Switzerland, CCS technologies could provide an attractive complementary and almost abundant source for low-carbon electricity in the future energy system. However, the future availability of this technology is still highly uncertain since different technical, geological, and public acceptance issues will first have to be solved. Additionally, the fact that CCS technologies are likely to rely on fossil fuels can have consequences for the security of the energy supply.

The analysis of alternative projections of key socio-economic parameters showed that higher population and economic growth could result in higher energy service demands and possibly make the achievement of ambitious climate targets more challenging and more costly. However, there might be also positive aspects of an increased growth in population and GDP (e.g. with higher GDP, energy system costs could be carried more easily).

The results of this analysis provide insights into cost-effective technology combinations that could contribute to the transformation of the energy system towards a more sustainable configuration. However, barriers to the deployment of some of the cost-effective technology options can exist. In order to overcome these barriers, suitable policies need to be developed and successfully implemented.

Keywords: Swiss energy system; sustainable development; climate change; mitigation; nuclear policy; energy security; energy saving; efficiency; technologies

Kurzfassung

Wesentliche Elemente eines nachhaltigen Energiesystems beinhalten eine ausreichende, breit gefächerte, sichere, wirtschaftliche und umweltverträgliche Energieversorgung sowie eine effiziente Energienutzung. Aufgrund der relativ hohen Abhängigkeit von importierten fossilen Energieträgern, entspricht das heutige Schweizer Energiesystem nicht den Grundsätzen eines nachhaltigen Energiesystems. Um eine nachhaltigere Gestaltung des Schweizer Energiesystems zu erreichen und in der Lage zu sein, wichtige Herausforderungen im Zusammenhang mit Versorgungssicherheit, Klimaschutz und einem rationelleren Energieverbrauch zu meistern, müssen fossile Energieträger wesentlich reduziert werden. Zusätzlich sollte die Gesamteffizienz und die Diversifizierung der Energieversorgung im Energiesystem vergrößert und umweltfreundlichere Endnutztechnologien vermehrt zum Einsatz kommen. Das Erreichen solcher Ziele erfordert höchstwahrscheinlich eine bedeutende Umgestaltung des heutigen Energiesystems. Die Realisierung einer solchen Umgestaltung hängt von einer Anzahl von ungewissen Faktoren wie zum Beispiel politischen Entscheidungen, technologischen Entwicklungen, und internationalen Preisen von Energieträgern ab. Das Hauptziel dieser Dissertation ist es, das Verständnis, wie ein nachhaltiges Energiesystem aus technologischer Sicht realisiert werden kann, zu verbessern.

Um dem beträchtlichen Mass an Unsicherheiten, welche die Entwicklung des zukünftigen Energiesystems beeinflussen könnten, Rechnung zu tragen, wurden Szenarien für das zukünftige Energiesystem entwickelt, die wichtige Unsicherheiten abbilden. Diese Szenarien wurden mit dem Swiss MARKAL Modell, einem technologiereichen Bottom-up-Modell des Schweizer Energiesystems, quantifiziert und analysiert.

Verschiedene Gruppen von Szenarien, die wichtige Unsicherheiten repräsentieren, wurden im Rahmen dieser Dissertation analysiert. Die erste Gruppe umfasst Ungewissheiten bezüglich der politischen Unterstützung für zukünftige Stromversorgungsoptionen, einschließlich neuer Kernkraftwerke und zentralisierten fossilen Kraftwerken und wurde für verschiedene Klimaschutzziele analysiert. Zusätzlich wurden die Auswirkungen von Änderungen in internationalen Preisen für fossile Energieträger auf die Attraktivität von Technologien im Energiesystem untersucht. In einer zweiten Gruppe wurde die mögliche Rolle von Technologien zur Abscheidung und -Speicherung von Kohlenstoffdioxid (CO₂) (CCS) in einem künftigen Schweizer Energiesystem analysiert, das gleichzeitig Klimaschutzziele verfolgt und auf den Bau neuer Kernkraftwerke verzichtet. Eine dritte Szenariengruppe untersuchte die Auswirkungen von Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum auf die zukünftige Entwicklung des Energiesystems.

Basierend auf der in dieser Dissertation durchgeführten Szenarienanalysen konnten wichtige Erkenntnisse, wie eine Transformation hin zu einem nachhaltigeren Energiesystem

realisiert werden könnte.

Um bedeutende Herausforderungen im Zusammenhang mit Klimaschutz meistern zu können, werden vermutlich signifikante Reduktionen domestischer CO₂-Emissionen nötig sein. Diese Reduktionen könnten mit einem intensiveren Einsatz energieeffizienter Technologien in allen Endnutzsektoren und mit Investitionen in energiesparende Massnahmen im Gebäudebereich realisiert werden. Eine Elektrifizierung könnte die Dekarbonisierung des Gebäudesektors unterstützen und die Notwendigkeit von teureren CO₂-Reduktionsmassnahmen in anderen Bereichen des Energiesystems vermindern. Unter einem ambitionierten Klimaschutzziel erfordert eine solche Elektrifizierung den Einsatz von CO₂-armer Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen wie zum Beispiel Sonne, Wind und Biomasse.

Aufgrund der limitierten Potentiale von domestischen erneuerbaren Energien und der Entscheidung, aus der Kernkraft auszusteigen, könnten CCS-Technologien eine attraktive komplementäre Quelle für kohlenstoffarme Elektrizität im Schweizer Energiesystem sein. Allerdings ist die zukünftige Verfügbarkeit dieser Technologieoption heute noch höchst ungewiss, da verschiedene Probleme im Zusammenhang mit technischer und geologischer Umsetzbarkeit und gesellschaftlicher Akzeptanz zuerst gelöst werden müssten. Zusätzlich könnte die Tatsache, dass CCS-Technologien höchstwahrscheinlich auf fossilen Energieträgern basieren werden, Konsequenzen für die Versorgungssicherheit des Landes haben.

Die Analyse von alternativen sozioökonomischen Entwicklungen hat gezeigt, dass ein höheres Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum zu einer höheren Nachfrage nach Energiedienstleistungen führen, und möglicherweise das Erreichen ambitionierter Klimaschutzziele erschweren und verteuern könnte. Auf der anderen Seite könnte ein stärkeres Wachstum aber auch positive Skaleneffekte mit sich bringen.

Die Resultate aus dieser Arbeit gewähren Einblicke in kosteneffiziente Technologiekombinationen, welche die Transformation zu einem nachhaltigeren Energiesystem unterstützen können. Allerdings können Hindernisse zur Verbreitung dieser Technologien existieren. Um diese Hindernisse zu überwinden, müssen geeignete politische Strategien entwickelt und erfolgreich implementiert werden.

Stichwörter: Schweizer Energiesystem, nachhaltige Entwicklung, Klimawandel, Klimaschutz, Atompolitik, Energiesicherheit, Energie sparen, Effizienz, Technologien