

Creating Markets for Energy Innovations

Case Studies on Policy Design and Impact

Doctoral Thesis

Author(s):

Hünteler, Jörn T.

Publication date:

2015

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010361906>

Rights / license:

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

DISS. ETH No. 22490

Creating Markets for Energy Innovations

Case Studies on Policy Design and Impact

A thesis submitted to attain the degree of
DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH
(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by
Jörn Torsten Hünteler

Dipl.-Wirt. Ing., RWTH Aachen University
M.Sc., Tsinghua University

born on 30.09.1984
citizen of Germany

accepted on the recommendation of

Examiner: Prof. Dr. Volker H. Hoffmann

Co-examiner: Prof. Dr. Joanna Lewis

Co-examiner: Prof. Dr. Stefano Brusoni

Zurich, 2015

Abstract

The urgency of the world's environmental challenges has led governments around the globe to rethink the role of government in the innovation process. In addition to direct public spending on energy technology research, development and demonstration, many countries now subsidize the large-scale deployment of innovative energy technologies through so-called 'deployment policies'. Examples include feed-in tariffs for renewable electricity, mandates for the blending of biofuels and investment subsidies for electric vehicles. Deployment policies can be expensive ways to mitigate the current environmental footprint of the energy system, but proponents justify them as 'learning investments' which will pay off in the long term as they stimulate innovation, bring down cost and enhance the performance of clean energy technologies for future generations. The debate on the validity of this claim is controversial and politicized, in part because the discussion often lumps together very different technologies and paints a simplified picture of the complex process of system transformation. This thesis presents six essays to advance this debate, three on the nature of the innovation process in different energy technologies and three on the design and governance of deployment policy instruments. Collectively, these essays make three distinct contributions.

First, this thesis introduces a novel methodology to study the evolution of technology. A combination of patent content analysis and citation-network analysis, the method developed in this thesis allows to quantitatively study the focus of research activity in a sector over time and across geographies. In the future, this methodology will allow to study a number of under-researched phenomena in the evolution of technology, including (i) the relationship between the focus of research activity and competitive advantage; (ii) the division of labor in research and development between countries and regions in global value chains; (iii) the impact of public policy on shifts in the focus of research activities.

Second, this thesis introduces the explicit consideration of differences in the innovation process between energy technologies into the analysis of deployment policies. It shows that the model of the technology life-cycle that is implicitly assumed in much of the current debate on deployment policies applies to mass-produced energy technologies, but does not adequately describe innovation in complex infrastructure technologies in the energy sector. This is important because different models of the life-cycle imply different roles for deployment – and thus deployment policies – in the evolution of technology. It means that the conceptual underpinnings of the debate on deployment policies do not apply to a significant share of the energy technology space, and calls for the explicit consideration of

technological characteristics in decisions on deployment policy support for energy technologies, in particular the size, duration and geographical scope of support. It also allows us to reconcile conflicting evidence on the impact of deployment policies in the literature. These findings are based on three case studies in the first three essays of the thesis: (1) an analysis of the focus of inventive activity over time in wind turbine technology in 1973-2009, using a novel methodology that integrates expert assessment of patent data with patent-citation network analysis; (2) a comparison of technology life-cycles in wind turbine technology and solar PV technology in 1970-2009, using the same methodology; and (3) a techno-economic model of the impact of local and global learning on the cost of renewable energy deployment in Thailand in 2013-2021.

Third, this thesis' results emphasize the need to consider the complex political dynamics of socio-technical transformations in the debate on energy innovation policies in general and deployment policies in particular. In most technology policy analyses, policy decisions are seen as essentially exogenous to the technological change the intervention aims to induce. In practice, this means that the possibility of changes to public policy in response to induced technological change is not part of the analysis, nor is the ability of affected actors to foresee or respond to such changes. Essay 4 demonstrates that this may not adequately reflect political reality. The essay presents a qualitative analysis of the evolution of Germany's public policy support for solar power in 2000-2012. The essay demonstrates that deployment policy instruments can become at least in part endogenous to the transformation they were designed to induce, because they trigger unforeseen changes in the socio-technical system, and develops a model to account for these dynamics. The findings have two important implications. First, because investors in innovative energy technologies are aware of the possibility of policy changes, the effect of deployment policies on innovation will depend, at least in part, on the political system and its ability to learn and respond. Second, the ability of a policy to induce desired technological outcomes will depend as much on the design of the policy itself as on the state of the socio-technical system. Policy designs and lessons learned can therefore not always be transferred between jurisdictions – e.g., the fact that Germany may no longer need costly feed-in tariffs to attract investment in photovoltaics does not mean this policy is not the most cost-efficient option to attract investment in other jurisdictions. The last two essays explore these two implications in more detail. Essay 5 reviews and analyzes the proposals for internationally supported feed-in tariffs for renewable energy in developing countries, and discusses how to minimize the risk premium demanded by investors due to the policy risk induced by the prospect of unforeseen cost developments.

Essay 6 explores the implications of the German experience with deployment policies for solar power in the context of the newly introduced feed-in tariff for renewable electricity in Japan.

Zusammenfassung

In Anbetracht dringlicher globaler Umweltprobleme, wie etwa des Klimawandels und der urbanen Luftverschmutzung, wird die Rolle des Staates der Entwicklung innovativer Technologien seit einiger Zeit neu diskutiert. Neben der traditionellen öffentlichen Förderung von Forschung, Entwicklung und Demonstrationsanlagen subventionieren viele Regierungen neuerdings auch den großtechnischen Einsatz innovativer Energietechnologien durch sogenannte „Nachfrageinstrumente“, wie zum Beispiel Einspeisetarife für Strom aus erneuerbaren Energien, Mandate für die Beimischung von Biokraftstoffen oder Investitionszuschüsse für Elektroautos. Geht es nur um die Reduktion des momentanen ökologischen Fußabdrucks des Energiesystems, sind diese Nachfrageinstrumente oft vergleichsweise kostenintensiv. Befürworter argumentieren jedoch, dass es sich bei Nachfrageinstrumenten um "Lerninvestitionen" handelt, welche sich auf lange Sicht durch induzierte Innovationen, Kostenreduktionen und Effizienzsteigerungen auszahlen werden.

Die wissenschaftliche und öffentliche Debatte über den Innovationseffekt von Nachfrageinstrumenten ist kontrovers und politisiert. Dies liegt unter anderem daran, dass unterschiedliche Technologien in der Debatte nicht ausreichend differenziert werden. Auch wird oft ein sehr vereinfachtes Bild der komplexen, systemischen Transformationsprozesse und ihrer Determinanten gezeichnet. Die vorliegende Dissertation umfasst sechs Artikel, die darauf abzielen, bezüglich dieser zwei Aspekte mehr Substanz in die Debatte zu bringen. Die ersten drei Aufsätze befassen sich demnach mit technologiespezifischen Faktoren im Innovationsprozess in unterschiedlichen Energietechnologien. Die nächsten drei Aufsätze befassen sich mit der Gestaltung und zeitlichen Dynamik von Nachfrageinstrumenten im Kontext von komplexen, systemischen Transformationen und der daraus resultierenden Unsicherheit. Im Folgenden sollen die drei wichtigsten Beiträge dieser Arbeit herausgearbeitet werden.

Erstens, diese Dissertation entwickelt eine neue Methodik, mit der die Evolution von Technologien untersucht werden kann. Die Methodik integriert Ansätze aus der Patentanalyse und der Netzwerkanalyse und ermöglicht es, die Entwicklung eines komplexen technischen Systems über Zeit und in ihrer räumlichen Ausprägung quantitativ zu analysieren und graphisch darzustellen. Diese Methodik wird es in der Zukunft erlauben, eine Reihe von bisher kaum untersuchten Phänomenen genauer zu untersuchen, wie etwa (i) die Beziehung zwischen dem Fokus industrieller Forschung und Wettbewerbsvorteilen; (ii) die räumliche und betriebliche Arbeitsteilung in der Entwicklung

komplexer technischer Systeme; und (iii) die Auswirkung von regulatorischen Interventionen und öffentlicher Förderung auf den technologischen Fokus der industriellen Forschung.

Zweitens, diese Dissertation stellt dar, wie relevante Charakteristika von Energietechnologien in die Gestaltung und Evaluation von Nachfrageinstrumenten mit einbezogen werden können. In den ersten drei Artikeln dieser Arbeit wird empirisch aufgezeigt, dass sich Innovationsprozesse in verschiedenen Energietechnologien deutlich hinsichtlich ihrer zeitlichen und räumlichen Muster unterscheiden. Die so herausgearbeiteten Technologiecharakteristika ermöglichen es, widersprüchliche Aussagen über die Innovationseffekte von Nachfrageinstrumenten in der wissenschaftlichen Literatur in Einklang zu bringen. Darüber hinaus ergeben sich aus einer Differenzierung von Technologien nach den herausgearbeiteten Charakteristika wichtige technologiespezifische Implikationen für die räumliche und strategische Ausgestaltung von Nachfrageinstrumenten. Die Ergebnisse beruhen auf einer Analyse des Fokus der Forschungstätigkeit in der Windturbinentechnologie im Zeitraum 1973-2009 (Aufsatz 1); einem Vergleich der Technologielebenszyklen in der Windturbinentechnologie und der Photovoltaik im Zeitraum 1970-2009 (Aufsatz 2); und einer Modellierung der Auswirkung von lokalen und globalen Lerneffekten auf die Kosten von erneuerbaren Energien in Thailand im Zeitraum 2013-2021 (Aufsatz 3).

Drittens, diese Dissertation arbeitet heraus, wie die komplexe Dynamik von systemischen Transformationsprozessen und die daraus resultierende Unsicherheit in der Gestaltung von Nachfrageinstrumenten berücksichtigt werden können. In der Innovationspolitikforschung wird die Gestaltung und der Umfang von öffentlichen Technologiesubventionen üblicherweise als exogen angenommen. Aufsatz 4 zeigt jedoch, mithilfe einer qualitativen Analyse der Entwicklung der politischen Förderung für die Photovoltaik im Zeitraum 2000-2012 in Deutschland, dass es eine starke „Rückkopplung“ zwischen Innovationspolitik und technologischem Wandel gibt. Technologische Veränderungen in der Photovoltaikindustrie in Deutschland, welche von staatlichen Subventionen ermöglicht wurden, führten wiederholt zu politischem Druck die Subventionspolitik anzupassen und zu reformieren. Das beschriebene, komplexe Zusammenspiel zwischen Innovationspolitik und technischem Wandel hat zwei Implikationen. Zum einen können Förderinstrumente nicht ohne weiteres zwischen Ländern übertragen werden, da die momentan „optimale“ Förderpolitik vom technologischen Stand der geförderten lokalen Industrie abhängt. Zum anderen hat das Zusammenspiel Auswirkungen auf die Fähigkeit von politischen Förderinstrumenten, langfristige Investitionen anzuziehen: die Erwartungen von Investoren bezüglich der politischen Nachhaltigkeit eines Subventionsregimes beeinflussen direkt die verlangte Risikoprämie in den

Kapitalkosten, und damit die Attraktivität von risikoreichen und langfristigen Investitionen. Die letzten beiden Essays vertiefen die Diskussion der Implikationen der Aufsätze 1-4 für die Gestaltung von Nachfrageinstrumenten. Aufsatz 5 diskutiert und analysiert unterschiedliche Vorschläge für finanziell unterstützte Einspeisetarife für erneuerbare Energien in Entwicklungsländern. Der Aufsatz diskutiert wie diese Einspeisetarife gestaltet werden können, so dass die Risikoprämie, welche von Investoren verlangt wird um das Risiko nachträglicher Politikänderungen abzusichern, minimiert werden kann. Aufsatz 6 diskutiert die internationale Übertragbarkeit von politischen Instrumenten, insbesondere wie die deutschen Erfahrungen mit Einspeisevergütungen für Erneuerbare Energien auf Japans neue Förderpolitik übertragen werden können.