

DISS. ETH No. 23275

Essays on energy economics and policy: Price
elasticity, policy evaluation and potential savings

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

presented by

ANNINA ANGELINA BOOGEN
MSc ETH ESC

born on 10.04.1986

citizen of Zollikon and Männedorf, Kanton Zürich

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Massimo Filippini
Prof. Dr. Sebastian Rausch

2016

Summary

This thesis is composed of three essays on the residential electricity demand and its efficient use. In order to design and implement effective energy policy measures it is important for policy makers and utilities to have information on the response of consumers to an increase in electricity prices, on the impact of current and past energy efficiency programmes on the electricity demand as well as on the potential of electricity savings in the residential sector. The goal of this thesis is to provide more information on the price elasticity of residential electricity demand, to evaluate demand-side management programmes introduced by some Swiss utilities and to estimate the potential of electricity savings in Swiss households.

In **Essay 1** we estimate the long- and short-run price elasticities of residential electricity consumption in Switzerland from a household survey that includes information on appliance stock and its price as well as information on the amount of energy services, such as the number of cooked meals or number of washing cycles, consumed within a household. We create an index of the stock of household appliances by aggregating the information on the major household appliances. The index is used to estimate the impact of appliances on residential electricity demand in the short-run and to estimate the appliance stock demand in the long-run. Furthermore, we also use energy services to estimate the electricity demand. We adopt an instrumental variables approach to obtain consistent estimates of the price elasticity to account for potential endogeneity concerns with the average price as well as the appliance stock and its price.

Our results in **Essay 1** indicate that the price elasticity in the short-run is around -0.4 while in the long-run it ranges between -0.4 and -0.6 . We also find that estimates of the electricity demand when we substitute the usual residential characteristics with energy services are very similar. Therefore, from the point of view of policy makers, pricing policy as an instrument may have a small impact in the short run. However, since the estimates of the long-run price elasticity of electricity consumption are generally higher this indicates that households will be influenced by pricing policy even though the impact may not be as substantial as needed and a combination of policies may be necessary to affect long-term electricity demand.

In **Essay 2** we use data from a survey conducted on 30 Swiss utilities from 2006 to 2012 to estimate the impact of demand-side management (DSM) activities on residential electricity demand using DSM spending and an energy efficiency score. The energy efficiency score measures a utility's commitment to implement DSM among their residential customers. Using the variation in DSM activities within utilities and across utilities over time we identify the impact of these programmes. If we consider the amount of monetary spending, a continuous measure, a 10% increase in DSM spending causes around a 0.14% reduction in per customer residential electricity consumption. A 10% increase in the energy efficiency score causes around a 0.36% reduction in per customer residential electricity consumption. To check for the robustness of this result we also consider a binary variable to denote the presence or absence of these programmes and find that they reduce per customer residential electricity consumption. We then conduct several robustness checks for potential endogeneity issues of the policies and conclude that current DSM practices in Switzerland

are statistically significant and have a negative effect.

The results of the econometric analysis of current DSM activities in Switzerland on residential electricity consumption indicate that the impact appears to be statistically significant. Using the results of the econometric estimation we perform a simple counterfactual exercise to obtain an estimate of the cost of saving a unit of electricity that would have been produced in the absence of DSM programmes. We find that, on average, the cost of saving a kilowatt hour is around CHF 0.04. This is a rough estimate and should be treated with caution due to our relatively small sample of utilities and the possible measurement error of the DSM spending variable. The range of our estimate for this cost is from a low of CHF 0.03 to CHF 0.09 while the current cost of producing and distributing electricity in Switzerland is higher than this range. Given our findings, it appears that DSM programmes may be a valuable option as Switzerland pursues its goals in *Energy Strategy 2050*.

In **Essay 3** we use the same sample of Swiss households as in **Essay 1** to measure the level of efficiency in the use of electricity in households. Since the demand for residential electricity is a derived demand, it can be modelled as a production process whereby households combine electricity and capital goods as inputs to provide services. This production process may be inefficient and to measure this inefficiency in the use of electricity in households we estimate a stochastic frontier model. As this dataset includes information on the amount of energy services consumed within a household, we are able to estimate a sub-vector input distance function using the household survey data. To the best of our knowledge, this is the first study that includes energy services in the frontier model and adopts a distance function approach on a disaggregated level to estimate the level of technical efficiency in the use of energy based on a microeconomic foundation.

The analysis of the level of efficiency in the use of electricity in Swiss households in **Essay 3** shows an average inefficiency of around 20%. From the point of view of policy makers we conclude that there is a considerable amount of possible improvement in the efficient use of electricity in some households. Comparing our results to a earlier bottom-up economic-engineering approach, our estimates lie at the upper end.

Zusammenfassung

Diese Disseration besteht aus drei Essays über den Haushaltsstromverbrauch und dessen effizienten Verbrauch. Um effektive energiepolitische Instrumente zu entwerfen und einzuführen, ist es wichtig, dass politische Entscheidungsträger und Stromversorgungsunternehmen über Informationen verfügen, wie Konsumenten auf eine Preiserhöhung reagieren, dass sie die Wirkung von aktuellen und vergangenen Energieeffizienzmassnahmen kennen und das Potential von Stromeinsparungen im Haushaltssektor abschätzen können. Ziel dieser Dissertation ist es, einerseits die Preiselastizität von Konsumenten in Bezug auf den Strompreis zu schätzen, andererseits die Energieeffizienzmassnahmen von Schweizer Stromversorgern zu evaluieren und das Potential von Stromeinsparungen in Haushalten abzuschätzen.

Im **ersten Essay** schätzen wir die kurz- und langfristige Strompreiselastizitäten von Schweizer Haushalten unter Verwendung einer Haushaltsumfrage, welche sowohl Informationen über die vorhandenen Haushaltsgerät und deren Preise, als auch Informationen über die konsumierten Energiedienstleistungen, wie zum Beispiel die Anzahl gekochter Mahlzeiten oder die Anzahl Waschmaschinenladungen, in den Haushalten enthält. Wir erstellen einen Haushaltsgeräteindex durch die Aggregation der wichtigsten Haupthaushaltsgeräte. Diesen Index benutzen wir um den Einfluss des Gerätebestands auf den kurzfristigen Stromkonsum zu messen und um die langfristige Haushaltsgerätenachfrage zu schätzen. Zudem berücksichtigen wir auch Energiedienstleistungen in unserer Schätzung. Für die Schätzung verwenden wir die Methode der Instrumentenvariablen um potentiellen Endogenitätsproblemen des Durchschnittspreises, des Geräteindex und der Gerätepreise vorzubeugen und um so eine robuste Schätzung der Preiselastizität zu erhalten.

Unsere Schätzungen im **ersten Essay** ergeben eine kurzfristige Preiselastizität von -0.4 und eine langfristige Preiselastizität von -0.4 bis -0.6 . Zudem erhalten wir ähnliche Resultate, wenn wir die in so einer Schätzung üblichen Haushaltscharakteristika durch die Energiedienstleistungen ersetzen. Deshalb könnte, aus der Sicht der politischen Entscheidungsträger, eine Preispolitik auf kurze Sicht einen kleinen Effekt auf die Stromnachfrage haben. Auf lange Sicht hingegen haben wir eine höhere Preissensibilität festgestellt, was zeigt, dass die Haushalte langfristig eher auf eine Preispolitik reagieren. Es kann sein, dass der Effekt dennoch nicht so gross ist wie erforderlich, weshalb ein Instrumenten-Mix verwendet werden sollte, um die langfristige Stromnachfrage von Haushalten zu beeinflussen.

Im **zweiten Essay** verwenden wir Daten einer Umfrage, die auf einem Sample von 30 Schweizer Stromversorgern basiert und Daten von 2006 bis 2012 abfragt, um den Effekt von Demand-Side Management (DSM) Aktivitäten auf den Stromverbrauch zu schätzen. Dazu verwenden wir einerseits die Ausgaben für DSM-Programme und andererseits einen Energieeffizienz-Score. Der Energieeffizienz-Score misst das Engagement eines Stromversorgers für die Realisierung von DSM Massnahmen bei dessen Haushaltskunden. Mit Hilfe der Variation der DSM-Aktivitäten unter den Stromversorgern und über die Zeit versuchen wir die Wirkung dieser Programme zu identifizieren. Wenn wir die Ausgaben für DSM-Programme heranziehen, finden wir bei einer Erhöhung von 10% der Ausgaben für DSM einen Rückgang von 0.14% des Verbrauchs. Bei einer Erhöhung von 10%

des Energieeffizienz-Score resultiert einen Rückgang von 0.36% des Verbrauchs. Um die Robustheit dieses Resultats zu überprüfen, schätzen wir zusätzlich ein Model mit einer binären Variable, welche die An- oder Abwesenheit eines DSM-Programms misst. Auch hier finden wir einen signifikanten und negativen Effekt (Rückgang des Stromverbrauches). Um potentielle Endogenitätsprobleme des politischen Instruments zu testen führen wir verschiedene Robustheitsprüfungen durch. Aus diesem dritten Teil können wir folgern, dass aktuelle DSM Aktivitäten in der Schweiz einen statistisch signifikanten negativen Effekt auf den Stromverbrauch von Haushalten haben.

Aus dem ökonometrischen Teil dieser Analyse können wir folgern, dass aktuelle DSM-Aktivitäten in der Schweiz einen statistisch signifikanten Effekt auf den Stromverbrauch von Haushalten haben. Mit der Hilfe der Resultate aus der ökonometrischen Schätzung schätzen wir durch eine simple kontrafaktische Überlegung die Kosten einer gesparten Einheit Strom, die in Abwesenheit des DSM Programms produziert worden wäre. Wir erhalten durchschnittliche Kosten von 0.04 CHF für eine eingesparte Kilowattstunde. Hier muss man betonen, dass es sich nur um eine grobe Abschätzung handelt, und mit Vorsicht betrachtet werden muss, da unsere Stichprobe relativ klein ist, und wir möglicherweise Messfehler der DSM-Ausgaben nicht ausschliessen können. Die Bandbreite für diese Kosten liegt zwischen 0.03 CHF und 0.09 CHF, die Kosten für die Produktion und Verteilung von Elektrizität in der Schweiz liegen jedoch über dieser Bandbreite. Angesichts unserer Ergebnisse scheint es, dass DSM Programme eine wertvolle Option für die Schweiz sein kann um die Ziele der *Energiestrategie 2050* zu verfolgen. Abschliessend empfehlen wir in Zukunft regelmässig detailliertere Informationen über die Versorgungsunternehmen und ihre DSM Anstrengungen zu sammeln. Dies wird es den Forschern ermöglichen die Daten zu analysieren um anschliessend Regulatoren, politischen Entscheidungsträger und andere Interessenten über den Fortschritt der *Energiestrategie 2050* zu informieren.

Im **dritten Essay** verwenden wir dieselben Daten wie im **ersten Essay** um das Level der Effizienz in der Verwendung von Elektrizität in Haushalten zu messen. Da die Stromnachfrage der Haushalte eine abgeleitete Nachfrage ist, kann diese als einen Produktionsprozess modelliert werden, wobei Haushalte Elektrizität und Kapitalgüter als Produktionsfaktoren benutzen um Dienstleistungen bereit zu stellen. Dieser Produktionsprozess kann von Ineffizienzen geprägt sein und um diese Ineffizienz in der Verwendung von Elektrizität in Haushalten zu messen, benutzen wir eine Stochastische Frontier-Analyse. Weil der Datensatz auch Informationen über die im Haushalt konsumierten Energiedienstleistungen enthält, können wir für die Haushalte eine sub-vektor Input-Distanzfunktion schätzen. Nach unserem besten Wissen, ist dies die erste Studie, welche Energiedienstleistungen in einer Frontier-Analyse benutzt und einen Distanzfuntion-Ansatz wählt um das Effizienzlevel in der Verwendung von Energie mit disaggregierten Daten auf Basis von mikroökonomischer Grundlage zu schätzen.

In der Analyse des Effizienzlevels in der Verwendung von Elektrizität in Schweizer Haushalten im **dritten Essay** resultiert eine durchschnittliche Ineffizienz von 20%. Aus der Sicht von politischen Entscheidungsträgern können wir folgern, dass es eine beträchtliche Menge an möglichen Verbesserungen in der effizienten Verwendung von Elektrizität gibt, zumindest für einige Haushalte. Vergleichen wir unsere Resultate mit einer früheren ökonomisch-ingenieurtechnischen Bottom-up Analyse, liegen unsere Resultate am oberen Ende.