

Runst, Petrik; Thonipara, Anita; Ochsner, Christian; Henger, Ralph

**Working Paper**

## Energieeffizienz im europäischen Wohngebäudesektor

ifh Working Paper, No. 10 (2017)

**Provided in Cooperation with:**

Volkswirtschaftliches Institut für Mittelstand und Handwerk an der Universität Göttingen (ifh)

*Suggested Citation:* Runst, Petrik; Thonipara, Anita; Ochsner, Christian; Henger, Ralph (2017) : Energieeffizienz im europäischen Wohngebäudesektor, ifh Working Paper, No. 10 (2017), Volkswirtschaftliches Institut für Mittelstand und Handwerk an der Universität Göttingen (ifh), Göttingen

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/191852>

**Standard-Nutzungsbedingungen:**

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

**Terms of use:**

*Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.*

*You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.*

*If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.*

## **ifh Working Papers**

### **No. 10**

#### **Energieeffizienz im europäischen Wohngebäudesektor**

Petrik Runst, Anita Thonipara, Christian Ochsner, Ralph Henger

**Göttingen, 2017**

Institute for Small Business Economics  
Heinrich-Düker-Weg 6  
University of Goettingen, 37073 Göttingen, Germany  
(+49) 551 3917 4886  
[joerg.thomae@wiwi.uni-goettingen.de](mailto:joerg.thomae@wiwi.uni-goettingen.de)

Die in diesem Papier vertretenen Auffassungen liegen ausschließlich in der Verantwortung der Autoren und nicht in der des ifh Göttingen.

The views and opinions expressed in this article are those of the authors and do not necessarily reflect the position of the ifh Göttingen.

## IMPRESSUM

© ifh Göttingen  
Heinrich-Düker-Weg 6  
37073 Göttingen

Tel. +49 551 39 174882  
Fax +49 551 39 174893  
E-Mail: [info@ifh.wiwi.uni-goettingen.de](mailto:info@ifh.wiwi.uni-goettingen.de)  
Internet: [www.ifh.wiwi.uni-goettingen.de](http://www.ifh.wiwi.uni-goettingen.de)

GÖTTINGEN • 2017

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



sowie die  
Wirtschaftsministerien  
der Bundesländer

Die Diskussionspapiere können kostenfrei von der Webseite des ifh Göttingen heruntergeladen werden:

[www.ifh.wiwi.uni-goettingen.de](http://www.ifh.wiwi.uni-goettingen.de)

# **Energieeffizienz im europäischen Wohngebäudesektor**

Petrik Runst, Anita Thonipara, Christian Ochsner, Ralph Henger

## **Abstract (deutsch)**

Regulatorische Anforderungen sind ein europaweit häufig gebrauchtes Policy-Instrument, um den Energieverbrauch im Wohngebäudebereich zu reduzieren. Wir führen qualitative Fall-Analysen der Länder mit niedrigem oder sinkendem Energieverbrauch durch und zeigen, dass diese Strategie effektiv sein kann, das gewünschte Ziel zu erreichen. Unsere Ergebnisse bestätigen damit die Erkenntnisse früherer Studien (Filippini et al., 2015; O’Broin et al., 2015). Da verschiedene Länder mit vergleichbarer Regulationsintensität aber zum Teil unterschiedliche Energieniveaus und Entwicklungstendenzen aufweisen, werden weitere Erklärungsfaktoren benötigt. Es zeigt sich, dass direkte und indirekte Pigou-Steuern (CO<sub>2</sub>-Steuer und Energiesteuern) ebenfalls ein effektives Mittel darstellen, um den Energieverbrauch zu senken.

**Schlagworte:** Energieeffizienz, Gebäude, Europäischer Vergleich, CO<sub>2</sub>-Steuer

## **Abstract (englisch)**

Regulatory rules represent a frequently used policy-tool for lowering the energy consumption of buildings in Europe. We explore countries with a low or falling energy consumption level (Sweden in particular) and we show that regulatory can be an effective policy tool. We thereby confirm the results of previous studies (Filippini et al., 2015; O'Broin et al., 2015). As countries with different regulatory intensities displays quite heterogeneous energy consumption levels, other explanatory factors are required. We provide evidence for the fact that Pigou-taxes (CO<sub>2</sub>- and energy taxes) are also an effective means for lowering energy consumption in buildings.

**Keywords:** energy efficiency, buildings, Europe, CO<sub>2</sub>-tax

## 1. Einführung

Der Wohngebäudesektor stellt einen wichtigen Energieverbraucher dar. Die Europäische Union konzentriert sich daher zunehmend auf die Herausbildung einer gemeinsamen Strategie, um die Energieeffizienz in diesem Sektor zu erhöhen.<sup>1</sup> Das Thema gewinnt auch in der volkswirtschaftlichen Forschungsliteratur zunehmend an Bedeutung (Ryghaug and Sorensen, 2009; Noailly, 2010; Feser und Runst, 2016; Runst, 2016; Eskeland and Mideska, 2009; Ranson et al., 2014; Manur et al., 2008; Geller et al., 2006; O'Broin et al., 2015; Andor et al., forthcoming; Filippini et al., 2014; Bertoldi und Mosconi, 2015; Filippini und Hunt, 2010; Sunnikka-Blank und Galvin, 2013; Sunnikka-Blank und Galvin, 2012), auch wenn die Steigerung der Gebäudeenergieeffizienz keinesfalls als einziges Ziel der Umweltpolitik betrachtet werden darf. Stattdessen stellt sie eins von vielen Mitteln dar, um die Energiepolitik klimafreundlich zu gestalten.

In dieser Studie untersuchen wir im europäischen Ländervergleich, durch welche wirtschaftspolitisch relevanten Faktoren die unterschiedlichen Energieeffizienzniveaus im Wohngebäudesektor erklärt werden können. Ein europäischer Vergleich von Energieeffizienz des Wohngebäudebestandes birgt einige Herausforderungen. Bisherigen Studien mangelt es hier an der Inklusion mehrerer Kontrollvariablen oder sie beschränken sich nur auf Neubauten. Außerdem gibt es in bisherigen Analysen das Problem, dass sich die verschiedenen Policies nur schwierig als quantitative Variablen ausdrücken lassen.

Deshalb bestimmen wir zunächst mithilfe einer Panelregression den Einfluss von verschiedenen Faktoren wie Klima, Einkommen, Wohnungsgröße etc. auf die Energieeffizienz. Die country fixed effects dienen dabei als ein Indikator für die durchschnittlichen Effizienzniveaus in unterschiedlichen europäischen Staaten. Dagegen bilden die Residuen im Zeitverlauf die Veränderungen der Energieeffizienz innerhalb der einzelnen Länder ab. Beide Maße können als erste Anhaltspunkte für eine vergleichende Analyse verschiedener Politiken europäischer Länder betrachtet werden. In einer anschließenden qualitativen Analyse werden wir detailliert analysieren, auf welche Policy-Änderungen die Energieeffizienzverbesserungen in Schweden, Irland, Frankreich und UK zurückzuführen sein könnten.

---

<sup>1</sup> Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC Text with EEA relevance.

Zunächst zeigt sich in der quantitativen Analyse, dass einige Länder (Estland, Tschechien, Rumänien, Polen, Kroatien, Lettland und Luxemburg) einen höheren und andere (Irland, UK; Niederlande, Dänemark, Malta, Norwegen und Schweden) einen geringeren Verbrauch aufweisen als man dies aufgrund von Klima, Einkommen, Wohnungsgröße etc. erwartet. Über die Jahre hinweg betrachtet lassen sich in der quantitativen Analyse zusätzlich Effizienzverbesserungen in Belgien, Frankreich, Deutschland, UK, Schweden, Irland und möglicherweise Luxemburg und der Slowakei feststellen. Aufgabe der qualitativen Analyse ist es deshalb, die Policies der Länder mit verbesserter Energieeffizienz zu analysieren und somit wirksame Änderungen in der Umweltpolitik herauszuheben, welche zu einer Effizienzverbesserung führen können.

In einer umfassenden Betrachtung müssten die Unterschiede zwischen den Ländern bei Energiegewinnung und -verbrauch berücksichtigt werden: Während skandinavische Länder beispielsweise bei der Energiegewinnung von Wasserkraftwerken oder lokalen Wärmenetzen profitieren, sind Länder wie Polen stärker von fossilen Brennstoffen wie Kohle geprägt. Wir werden zwar in der qualitativen Diskussion auf diese Unterschiede eingehen, in der quantitativen Betrachtung zunächst aber darauf verzichten und lediglich den Gesamtenergieverbrauch analysieren.

## **2. Literaturüberblick**

Die Energieeffizienz des Wohngebäudebestandes über europäische Ländergrenzen hinweg zu vergleichen, ist keine leichte Aufgabe. Der gemittelte Jahres-Energieverbrauch einer durchschnittlichen Wohneinheit kann als Effizienzmaß genutzt werden, jedoch vernachlässigt eine solche Betrachtung, dass ein dänischer Hausbesitzer stets einen höheren Energieverbrauch ausweisen wird als einer aus Südfrankreich. Verschiedene Klimazonen, Wohlstandsniveaus und viele weitere Faktoren machen es unmöglich, lediglich die unterschiedlichen Energiebilanzen zu vergleichen. Um dieses Problem zu lösen, vergleichen einige Autoren die Anforderungen an die Energieeffizienz von Neubauten (Schild et al., 2010); damit bringen sie jedoch lediglich geforderte Dämmwerte im Neubau in Erfahrung, ohne den nicht renovierten Bestand hinreichend zu berücksichtigen. In der vorliegenden Studie lösen wir dieses Problem, indem wir mithilfe von Panelregressionen den Einfluss von Klima, Einkommen, Wohnungsgröße etc. auf die Energieeffizienz bestimmen.

Die empirische Analyse von Filippini et al. (2014) bezieht sich auf ein Energienachfrage-Modell, in denen unterschiedliche Nachfragefaktoren, wie Klima, Einkommen und Wohnungsgröße berücksichtigt werden. Außerdem wird dieser Ansatz mit einer ‚frontier analysis‘ verbunden.

$$Y_{it} = \alpha_i + \beta' \bar{X}_{it} + v_{it} + u_{it}$$

$$u_{it} = \gamma' PI_{it} + e_{it}$$

Dies bedeutet, dass in der Nachfragegleichung, neben den verschiedenen messbaren Einflussgrößen zwei unterschiedliche Fehlerterme aufgeführt werden. Der stochastische Fehler ‚ $v_{it}$ ‘ repräsentiert normalverteilte, zufällige Abweichungen. Der andere Fehlerterm ‚ $u_{it}$ ‘ ist hingegen systematisch und korreliert mit Policy-Indikatoren. Die Autoren erstellen Policy-Indikatoren (PI) für (i) regulatorische Standards (Bsp. U-Werte etc.), (ii) finanzielle und fiskalische Anreize und (iii) informative Maßnahmen auf Basis der MURE-Datenbank. Hier fällt bereits auf, dass unter Punkt (ii) Subventionen für spezifische Technologien mit allgemeinen Anreizen durch Besteuerung in einer Kategorie vermengt werden, d.h. sehr unterschiedliche Policy-Maßnahmen gleich behandelt werden. Die Autoren erstellen schließlich 6 Policy Dummy Variablen. Beispielhaft sei hier eine Variable aufgeführt, welche gleich 1 ist, wenn 2 Standards in Bezug auf Gebäude oder Heizung in einem Land existierten. Hier werden wiederum sehr unterschiedliche Standards gleich behandelt, weil sie in einer Variable aufgehen. Die Autoren erkennen dieses Problem selbst und schreiben „the number of measures in each group could be imprecise“ (Filippini et al., 2014, 78). Die Unwägbarkeiten eines solchen Policy-Quantifizierungsansatzes kann am Beispiel von Schweden veranschaulicht werden. In Tabelle 1 des Papierses von Filippini et al. wird aufgeführt, dass Schweden im Vergleich mit anderen Ländern nur wenige regulatorische Standards aufweist. Diese Tatsache bildet die Realität nur sehr ungenau ab. Wie wir später zeigen werden, gehören die regulatorischen Standards in Schweden zu den schärfsten unter allen europäischen Ländern.

Die beiden Gleichungen können schließlich in einer Regression geschätzt werden. Im Ergebnis zeigt sich, dass Standards und finanzielle/fiskalische Anreize den Energieverbrauch beeinflussen, während informatorische Instrumente einen geringen Effekt haben. Der letzte Befund stimmt mit Feser & Runst (2016) überein, die untersuchen, warum staatlich geförderte Energieberatungen in Deutschland kaum Effekte auf die Sanierungsaktivität aufweisen und neben Amortisationsproblemen zu dem Schluss gelangen, dass Vertrauensprobleme (asymmetrische Information) vorliegen.

O’Broin et al. (2015) verfolgen einen ähnlichen Ansatz. Die Autoren nutzen einen Paneldatensatz 15 europäischer Länder für den Zeitraum von 1990 bis 2010. Sie schätzen die Determinanten des Heizenergieverbrauchs und fügen ebenfalls Policy-Indikatoren ein. Im Gegensatz zu Filippini et al. (2014) erstellen sie semi-quantitative Variablen, d.h. sie umgehen die Nachteile des rein binären Policy-Dummy-Ansatz früherer Studien (Bsp. Filippini et al., 2014; Bertoldi und Mosconi, 2015). Die gesammelten Policies der MURE-Datenbank werden in high, medium und low impact unterteilt. O’Broin et al. übernimmt diese Aufteilung, welche laut MURE einer Einsparung von weniger als 0.1%, 0.1 bis 0.5% und mehr als 0.5% entsprechen. Jede Policy wurde daraufhin mit 1, 10 oder 20 kodiert. Der semi-quantitative Ansatz wird also dadurch erreicht, dass ein vermuteter Einsparungseffekt als Zahl ausgedrückt wird. Die so entstandenen Policy-Variablen gehen zusätzlich als „lags“ (t-1 bis t-7) in die Regressionen ein, um längerfristig wirkende Effekte zu untersuchen. Es werden 3 Policykategorien geschaffen (Financial, Informative, und Regulatory Policy). Genau wie bei Filippini et al. (2014) enthält jede Kategorie höchst unterschiedliche Policy-Maßnahmen. Beispielsweise fallen die Subventionen der Gebäudehülle und der verpflichtende Mindestanteil für regenerative Energieträger in der Wärmeerzeugung beide in die Kategorie „Financial Policies“.

Die Autoren zeigen, dass regulatorische Ansätze den größten messbaren Effekt auf den Energieverbrauch ausüben. Im Gegensatz zu Filippini et al. (2014) wird gezeigt, dass finanzielle Anreize erst nach 7 Jahren einen Effekt ausüben, welcher relativ gering ausfällt. Die Autoren schlagen vor, dass der verstärkte Einsatz präskriptiver, regulatorischer Politikmaßnahmen zu einer Erhöhung der Energieeffizienz führen kann.

Die semi-Quantitative Herangehensweise bisheriger Studien (insbesondere Filippini, 2014; muss sich der Herausforderung stellen, die Vielfalt verschiedener Policy Ansätze, quantitativ zu erfassen. Es verschwinden dadurch Unterschiede, wenn notwendigerweise breite Kategorien erstellt werden. Die so entstandenen Policy Indikatoren sind dadurch sehr grob. Eine quantitative Policy-Analyse unterliegt diesem Problem zwangsläufig, weil der Prozess der Quantifizierung innerhalb von kategorischen Variablen (d.h. Zählen) immer auch eine qualitative Homogenisierung unterschiedlicher Policies mit sich bringt. Und so wird aus Äpfeln und Birnen schnell eine Obstkategorie, in der feine Geschmacksunterschiede verloren gehen.

Um dieses Problem zu umgehen, verwenden wir keinen semi-quantitativen Ansatz, erstellen also keine Policy-Indikatoren. Stattdessen wählen wir einen Gemischt-Methoden-Ansatz. Unsere quantitative Analyse dient zunächst dazu, den Energieverbrauch so gut wie möglich durch eine Reihe von Variablen zu erklären. Dabei achten wir besonders auf auffällige Abweichungen einzelner Länder vom Durchschnittsverbrauch (country fixed effects). In einem zweiten Schritt stellen wir den durch unser Modell nicht erklärten Verbrauch (Residuen) grafisch dar. Diese Abbildungen geben Aufschluss über die Verbrauchsverbesserungen (oder Verschlechterungen) über die Zeit.

Die durch die quantitative Analyse gewonnenen Erkenntnisse zeichnen ein Bild über Länder, welche aufgrund ihres besonders niedrigen Verbrauchs in den qualitativen Länderfallstudien gesondert untersucht werden. Die explorativen Fallstudien sollen identifizieren, welche Policy-Maßnahmen für den geringen Energieverbrauch (die hohe Energieeffizienz) dieser Länder verantwortlich sein könnten. Unsere Herangehensweise sollte nicht als Substitut vorangegangener semi-quantitativer Studien (Filippini et al., 2015; O’Broin et al., 2015) verstanden werden. Der hier gewählte Ansatz ist stattdessen komplementär zu betrachten. Wenn verschiedene Ansätze zu ähnlichen Schlussfolgerungen gelangen, können die Ergebnisse als robust erachtet werden.

Des Weiteren hat sich gezeigt, dass gerade vergleichende, quantitative Länderanalysen anfällig für fehlende Variablen sind (Ranson et al., 2014). Die beschriebenen bisherigen Studien verwenden in ihren semi-quantitativen Analysen nur wenige Kontrollvariablen. Wir fügen das Medianalter der Bevölkerung, den Anteil von Wohnungen an allen Wohneinheiten, den Mieteranteil und den Anteil der Wohneinheiten, die nach 1980 errichtet wurden, in die Regression ein, um die Schätzgüte zu verbessern. Außerdem wurden bisher kaum quadrierte Variablen in die Regression aufgenommen, obwohl vermutet werden kann, dass Variablen, wie Einkommen, die Wohnungsgröße und das Medianalter der Bevölkerung nicht nur einen rein linearen Einfluss ausüben. Schließlich wurden bisher nur die Energiepreise des aktuellen Jahrs verwendet. Um Endogenitätsprobleme zu umgehen, verwenden wir Dreijahres-Lags der Ölpreise.

### 3. Quantitative Analyse

#### 3.1. Methodisches Vorgehen

Der durchschnittliche Energieverbrauch pro Wohneinheit, gemessen als öl-äquivalente Tonnen, ist in unserem Modell die abhängige Variable.

$$Energie_{it} = \alpha_{it} + \beta \bar{X}_{it} + \gamma \text{Ölpreis}_t + \delta \text{Land}_i + \pi \text{Jahr}_t + \varepsilon_{it}$$

Eine einfache OLS-Schätzung kann den spezifischen Einfluss von Jahres- und Ländereffekten nicht abbilden. Ein Hausman-Test ergab, dass die länderspezifischen Einflüsse mit der beobachteten Heterogenität korreliert sind, weswegen ein Fixed-Effects-Panelmodell zum Einsatz kommt.

Die Kovariablenmatrix  $\bar{X}_{it}$  besteht u.a. aus dem Ölpreis auf dem Weltmarkt und dessen 3-Jahres-lag (t-3), um Anpassungen in der mittleren Frist zu berücksichtigen. Da in einigen Ländern mit Elektrizität geheizt wird (Schweden, Norwegen), berücksichtigen wir auch den Strompreis. In einer Modellvariante ignorieren wir die Strompreise, um die Fallzahl zu erhöhen. Die Ergebnisse sind mit denen des vollständigen Modells allerdings fast identisch. *Alle Ergebnisse dieses Working Papers sind als vorläufig anzusehen, da der Ölpreis und der Gaspreis die Energiepreise nicht adäquat abbilden. Wir planen deshalb, einen gewichteten Energiepreisindex für jedes Land und Jahr zu erstellen.*

Dummy-Variablen für jedes Land zeigen an, ob mehr oder weniger Energie verbraucht wird als in den anderen Ländern. Die Anzahl der warmen Tage nutzen wir zusammen mit dem Längengrad, um für Klimaunterschiede zu kontrollieren. Zudem berücksichtigen wir die durchschnittliche Bodenfläche des typischen Wohnraums und das BIP/pro Kopf. Von beiden erwarten wir einen positiven Einfluss auf den Energieverbrauch.

Um das Vorhandensein des Mieter-Vermieter-Dilemmas zu berücksichtigen, wird außerdem der prozentuale Anteil der Häuser, die vom Eigentümer bewohnt (und nicht vermietet) werden, in die Regression aufgenommen. Weiterhin ist der Anteil der Apartments am Wohngebäudebestand eine wichtige erklärende Variable für den Energieverbrauch, da Apartments wegen der geringeren Anzahl der Außenwände energieeffizienter sind.

Die Autoren verschiedener vorhergehender Untersuchungen,<sup>2</sup> in denen ähnliche Modelle verwendet wurden, haben eine Reihe von Herausforderungen identifiziert: Wie Ranson et al. (2014) feststellen, sind die Energiepreise wahrscheinlich stark von der Energienachfrage beeinflusst. Um dieses Endogenitätsproblem zu lösen, setzen Bigano et al. (2006) dynamische Arellano-Bond Paneldaten-Schätzungen ein. Wir verwenden für unsere Schätzungen die globalen Rohölpreise. Die nationale Nachfrage für Heizenergie in einem der 29 Staaten wird den Weltölpreis nur schwerlich beeinflussen. Somit kann dieser ohne Probleme als exogen betrachtet werden.

Die Stromerzeugung findet überwiegend in den Nationalstaaten statt, weswegen Bedenken im Hinblick auf Endogenität angebracht sind. Um das Problem zu lösen, lassen wir die Variable in einer Spezifikation außen vor. Weiterhin sind länderübergreifende Vergleiche anfällig für fehlende Kontrollvariablen (Ranson et al., 2014). Einige Autoren betonen, dass in allen bisherigen Studien beispielsweise das Medianalter der Bevölkerung nicht berücksichtigt wird, obwohl dieses einen Einfluss auf die Heiznachfrage haben könnte. Wir nehmen diese Variable mit auf. Außerdem erfassen wir den Anteil der Gebäude, welche nach 1980 errichtet wurden, was einen negativen Einfluss auf den Verbrauch ausüben dürfte.

Es ist notwendig, dass unsere abhängige Variable bereits den Stromverbrauch mit einschließt, da einige Länder wie Norwegen oder Schweden hauptsächlich auf Elektrizität zur Wärmeerzeugung zurückgreifen. Der Anteil des Stromverbrauchs, der in anderen Ländern auf den Klimaanlagenverbrauch zurückgeht, ist sehr gering und kann vernachlässigt werden (Hendersen, 2005).

Unser Hauptziel ist nicht die Analyse kausaler Zusammenhänge, sondern den Energieverbrauch so gut wie möglich durch plausible Variablen zu erklären (Klima, Einkommen, Größe der Wohnfläche etc.). Die Residuen, d.h. die Varianz, welche von unseren Variablen nicht erklärt werden kann, werden im Zeitverlauf pro Land graphisch dargestellt, um Veränderungen der Energieeffizienz zu identifizieren.

---

<sup>2</sup> Eskeland and Mideska, 2009; Ranson et al., 2014; Mansur et al., 2008

### 3.2. Datengrundlage

Tabelle 1 zeigt deskriptive Statistiken für die Variablen und alle Datenquellen. Die Tonnen Öl-Äquivalente pro Wohneinheit (toe/dwelling) sind für jedes Land im Zeitraum von 2000 bis 2014 verfügbar. Die Daten stammen von der Website ODYSEE-MURE, welche durch die Zusammenarbeit der nationalen Energieagenturen ins Leben gerufen wurde. In der Energieverbrauchsvariable sind der Verbrauch für Wohnraumbeheizung, Wasserbeheizung, Kochen und Elektrizität enthalten. Gemäß Eurostat sind die Daten bereits für einen durchschnittlichen Winter normalisiert, d.h. der Einfluss von ungewöhnlich kalten oder warmen Wintern wurde herausgerechnet.

Um sicher zu stellen, dass wir den Einfluss des Klimas auf den Verbrauch adäquat abbilden, nutzen wir drei Variablen. Erstens, ODYSEE-MURE stellt Daten für die Anzahl der warmen Tage (heat degree days/HDD) bereit. Letztere ist definiert als der Abstand der Tagesdurchschnittstemperatur zu 18 °C, multipliziert mit der Anzahl der Tage, falls die Außentemperatur mindestens 15 °C beträgt und beträgt ansonsten Null.

$$HDD = \begin{cases} (18^\circ\text{C} - T_m) \times \text{Tage}, & T_m \leq 15^\circ \\ 0, & T_m > 15^\circ \end{cases}$$

$$\text{mit: } T_m = \frac{\sum(T_{\min} + T_{\max} / 2)}{\#\text{Tage}}$$

Zweitens nutzen wir zusätzlich den Breitengrad des Landes, mit dem der durchschnittliche Abstand zum Äquator gemessen wird. Außerdem wird der Längengrad als Kontrollvariable eingefügt, um den Effekt des kontinentalen Klimas einzufangen. Die Daten für Breiten- und Längengrad stammen aus dem CIA World Factbook und wurden mithilfe verschiedener Websites verifiziert.

Die jährlichen Weltmarkt-Rohölpreise wurden von der US-Energiebehörde bereitgestellt. Der Median des Alters der Grundgesamtheit stammt, ebenso wie der Anteil des vom Eigentümer selbst genutzten Wohnraums und der Anteil der Apartments, von Eurostat. Jedoch sind bei den letztgenannten Größen keine Daten für den gesamten Zeitraum vorhanden, insbesondere für 2000 und 2006 fehlen Daten, die wir durch Extrapolation ersetzen. Wir haben das Vorhandensein eines Trends in den Zeitreihen graphisch untersucht. Sofern die Steigung ca. null beträgt, kann davon ausgegangen werden, dass kein solcher Trend existiert; somit haben wir das jeweils aktuellste Datum für die Extrapolation genutzt. Auf diese Weise konnten wir

max. drei Jahre fehlender Daten pro Land füllen. Zusätzlich werden in einer Modellvariante die beiden Variablen mit fehlenden Angaben nicht berücksichtigt. Die Kern-Ergebnisse ändern sich hierdurch nicht. Die Anbieterpreise für Elektrizität (ohne Steuern und Abgaben) für die Haushalte mit einem Mindestkonsum von 3.500 kWh ist ebenfalls bei Eurostat verfügbar.

### *3.3. Ergebnisse*

Die Ergebnisse der Regression sind in Tabelle 6 abgebildet (Anhang). Modellvariante (A) nutzt alle Variablen, Länder-Fixed-Effects und Jahres-Fixed-Effect. Modellvariante (B) gleicht der ersten bis auf das Fehlen der Jahres-Fixed-Effects. Modellvariante (C) nutzt nur die Variablen, die für alle Jahre und Länder verfügbar sind und erzielt dadurch die höchste Fallzahl. Alle Ergebnisse dieses Working Papers sind als vorläufig anzusehen, da der Ölpreis und der Gaspreis die Energiepreise nicht adäquat abbilden. Wir planen deshalb, einen gewichteten Energiepreisindex für jedes Land und Jahr zu erstellen.

Wie erwartet, hat der Ölpreis und sein Drei-Jahres-Lag einen negativen Einfluss auf den Energieverbrauch in allen Modellvarianten. Die Klimavariablen stehen im erwarteten Zusammenhang mit dem Energieverbrauch. HDD übt einen negativen, und der Breitengrad einen positiven Einfluss aus. Der Koeffizient des Längengrads ist nur in Modell (C) signifikant.

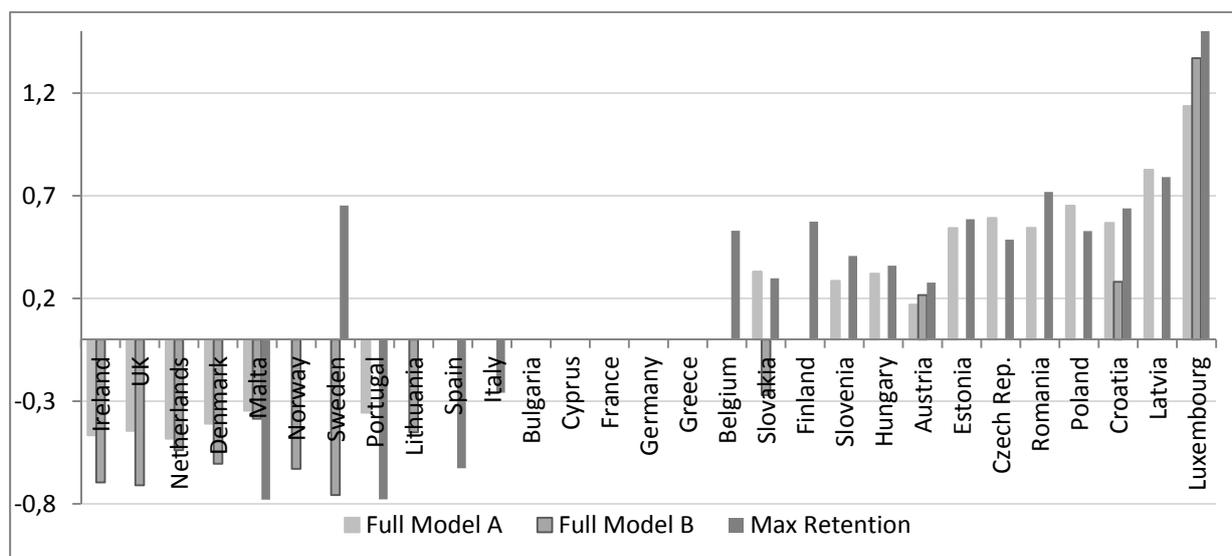
In allen Modellvarianten hat die Wohnfläche einen positiven und signifikanten Einfluss auf den Energieverbrauch. Die Koeffizienten des Medianalters der Bevölkerung erweist sich als ebenfalls statistisch signifikant. Der Verbrauchstiefpunkt (Modell A) liegt bei einem Medianalter von 36.7 Jahren. Danach steigt der Verbrauch an, was sich durch den höheren persönlichen Wärmebedarf älterer Menschen erklärt. Wie erwartet, übt die Größe der Wohnung einen größtenteils positiven Effekt aus. In der Modellvariante (A) steigt der Verbrauch bis zu einer Wohnungsgröße von 98.4 m<sup>2</sup> und fällt danach. Wahrscheinlich werden ab einer gewissen Größe (und Zimmeranzahl) die Aufenthaltsbereiche der Wohnung selektiv erwärmt. Ein ähnlicher Zusammenhang besteht für die Einkommensvariable. Der Einfluss des BIP/Kopf ist positiv für den relevanten Bereich. Der maximale Verbrauchswert wird (in Modell A) bei einem Einkommen von 77,163 Euro pro Kopf erreicht. Bei höheren Einkommen fällt der Verbrauch wieder.

Hingegen ist der Anteil der vom Eigentümer genutzten Wohneinheiten nicht signifikant von Null zu unterscheiden. Es gibt also keine Hinweise auf die Existenz eines Mieter-Vermieter-Dilemmas. Der Anteil von Mietwohnungen hat einen negativen Effekt auf die Energienachfrage, ebenso wie der Strompreis. Der Anteil neuer Gebäude übt nur in Modell (B) einen statistisch signifikanten Einfluss aus. Möglicherweise erfasst diese Variable die Altersstruktur der Gebäude nur ungenügend. Das durchschnittliche Gebäudealter wäre vorteilhafter, ist aber nicht für alle Länder und Jahre verfügbar.

Die Koeffizienten für Jahres- und Länderdummies wurden nicht in Tabelle 6 abgebildet. Es lässt sich insgesamt ein negativer Zeittrend beobachten, der höchstwahrscheinlich durch den technologischen Fortschritt und die gemeinsame europäische Energieeffizienzpolitik zu erklären ist.

Anstatt die jeweiligen Ländereffekte in Tabelle 6 einzutragen, haben wir sie in Abbildung 1 graphisch dargestellt und Frankreich sowie Deutschland als Kontrollgruppe ausgelassen. Zypern wurde wegen Kollinearität nicht berücksichtigt. Die acht Länder mit dem geringsten Energieverbrauch sind Irland, UK, Niederlande, Dänemark, Malta, Norwegen und Schweden. Nord- und Nordosteuropäische Länder sind in dieser Gruppe klar überrepräsentiert. Die Länder mit dem höchsten Energieverbrauch sind Estland, Tschechien, Rumänien, Polen, Kroatien, Lettland und Luxemburg. Von Luxemburg und Belgien abgesehen, handelt es sich bei diesen Ländern um osteuropäische Staaten bzw. ehemalige Sowjet-Republiken.

**Abbildung 1: Länder-Fixed-Effects**



**Notes:** countries are sorted, from left to right, by their weighted mean coefficient across all three models. The weights are 0.45, 0.45, and 0.1 respectively due to the greater confidence we have in model A and B that include all controls.

In Abbildung 6 (im Anhang) sind die Residuen über die Zeit pro Land eingetragen. Diese Graphen können als nationale Veränderungen über die Zeit hinweg betrachtet werden. Die Länder, die einen abnehmenden Energieverbrauch aufweisen, sind Belgien, Frankreich, Deutschland, das Vereinigten Königreich, Schweden, Irland und möglicherweise Luxemburg und die Slowakei.<sup>3</sup> Energie- und Umweltpolitik dieser Staaten werden im folgenden Abschnitt qualitativ analysiert, um den Erfolg bestimmter Politikmaßnahmen zu untersuchen.

#### **4. Qualitative Policy-Analyse**

Als Ergebnis der vorangegangenen Untersuchung erhalten wir die Klassifikation der Länder nach durchschnittlichem Energieverbrauch und deren Verbrauchsveränderung (siehe Tabelle 1). Es muss beachtet werden, dass „niedriger Verbrauch“ (Kategorie V und VI) hier für den Fall steht, dass der tatsächliche Verbrauch geringer ist als aufgrund der Kontrollvariablen (Einkommen, Wohnungsgröße, Klima, etc.) vorhergesagt wird.

Mit Ausnahme von Finnland, zeichnen sich nordische Länder durch niedrige Verbräuche aus (untere Reihe). Sie sind deshalb für eine vertiefte qualitative Analyse der dort herrschenden Rahmenbedingungen besonders interessant. Das Vereinigte Königreich und Irland sind hier etwas überraschend in Kategorie (V) verortet. Die linke Spalte beinhaltet ebenfalls Fälle von näher zu untersuchenden Ländern, die durch fallende Energieverbräuche gekennzeichnet sind (Bsp. UK, Irland, Frankreich und Deutschland).

---

<sup>3</sup> Alle Ergebnisse dieses Working Papers sind als vorläufig anzusehen, da der Ölpreis und der Gaspreis die Energiepreise nicht adäquat abbilden. Wir planen deshalb, einen gewichteten Energiepreisindex für jedes Land und Jahr zu erstellen.

**Tabelle 1: Klassifikation der europäischen Länder nach durchschnittlichem Energieverbrauch und Verbrauchsveränderung**

	<b>Verbesserung der Energieeffizienz</b>	<b>Keine Verbesserung der Energieeffizienz</b>
<b>Hoher Energieverbrauch</b>	<b>I</b> Luxemburg	<b>II</b> Estland, Kroatien, Tschechien, Lettland, Polen, Rumänien
<b>Mittlerer Energieverbrauch</b>	<b>III</b> Deutschland, Frankreich, Slowakei, Belgien	<b>IV</b> Bulgarien, Spanien, Finnland, Italien, Österreich, Griechenland, Ungarn, Slowenien
<b>Niedriger Energieverbrauch</b>	<b>V</b> Schweden, UK*, Irland*	<b>VI</b> Dänemark, Norwegen, Niederlande, Malta

Anmerkungen: \* Der Golfstrom-Effekt sollte adäquat berücksichtigt werden. Um diese Möglichkeit zu evaluieren, wurden alle Regressionen mit der HDD-Klimavariablen und der Breitengradvariablen durchgeführt. Die Ergebnisse sind dennoch als vorläufig anzusehen. Es entsteht derzeit ein gewichteter Energiepreisindex, der die Öl- und Strompreise ersetzen wird.

#### **4.1. Methodisches Vorgehen**

Für die vertiefte qualitative Analyse der einzelnen Länder wurden Original-Policy-Dokumente gesichtet, Sekundärliteratur hinzugezogen und Interviews mit Experten in den jeweiligen Ländern geführt. Tabelle 2 fasst alle verwendeten Dokumente und die Anzahl der Interviewpartner zusammen. Alle Materialien wurden mit Hinblick auf die Leitfrage ausgewertet, ob sich bestimmte Policy-Designelemente finden lassen, die den niedrigen oder fallenden Energieverbrauch erklären können. Die Analyse versteht sich als explorativ. Unser Ziel ist es, Hypothesen aufzustellen, nicht Hypothesen zu testen. Nichtsdestotrotz wird versucht, die Hypothesen durch Indizien zu validieren, so dass am Ende Aussagen entstehen, die bereits eine gewisse Plausibilitätsprüfung durchlaufen haben.

**Tabelle 2: Übersicht der Dokumente und Interviewpartner**

<b>Land</b>	<b>Policydokumente</b>	<b>Interviewpartner</b>
Schweden	Boverket (National Housing Board) Gebäudeanforderungen: <a href="http://www.boverket.de">www.boverket.de</a>  SBN 1975 Supplement 1, BFS 1993; BFS 2002:6; BFS 2008:20; BBR 16;	Wissenschaft: 1 Swedish Energy Agency: 2 Boverket: 1 <b>Swedish Green Building Council: 1</b>
Irland	Building Regulations Technical Guidance Document L 1991, 1997, 2002 (Reprint 2005), 2007 (Reprint 2008), 2011	Wissenschaft: 1
United Kingdom		
Andere	<i>Finnland</i> - Odysee-Mure Policy Database <i>Deutschland</i> - Wärmeschutzverordnung 1977; Energieeinsparverordnung 2014	

## 4.2. Schweden

Ein sowohl niedriger durchschnittlicher, als auch fallender Energieverbrauch macht eine Analyse der politischen und anderweitigen Rahmenbedingungen in Schweden interessant. Drei Besonderheiten, die energetisch-regulatorischen Anforderungen im Neubau, die Energie- und CO<sub>2</sub>-Steuer und die kommunalen Heizungsnetze, sollen im Folgenden beleuchtet werden.

### Energetisch-regulatorische Anforderungen im Neubau

Die regulatorischen Anforderungen sind im europäischen Vergleich als außerordentlich stringent zu bewerten (siehe auch Tabelle 3). Dies gilt nicht nur in Bezug auf den hier betrachteten Zeitrahmen der letzten 20 Jahre. Die Bauverordnung aus dem Jahre 1997 (SBN 75, Supplement 1) enthält bereits Anforderungen an den Wärmedurchgangskoeffizienten, die den deutschen Anforderungen des Jahres 2014 entsprechen (ENEV 2014). Nach zwischenzeitlichen Änderungen in der Berechnungsgrundlage (BFS 1993; BFS 2002:6) wurden die schwedischen Auflagen für U-Werte in der BFS 2006:12 (Inkrafttreten 2007) und der BFS 2008:20 BBR 16 weiter verschärft. Besonders die Verschärfung in 2007 wird durch die Einführung einer zweijährigen vorläufigen Erlaubnis für Neubauten und regelmäßigen Verbrauchsmessungen begleitet. Im Falle von nicht regelkonformen Energieverbrauchswerten muss das Gebäude nachträglich umgebaut werden.

Da die regulatorischen Anforderungen bereits seit den 1970er Jahren sehr hoch sind und ab 2007 weiter verschärft wurden, kommen sie als erklärender Faktor für die Entwicklung des Energieverbrauchs (Abbildung 2) nur bedingt in Frage. Es zeigt sich, dass, von den Ölschocks der 70er und 80er Jahre abgesehen, der Verbrauch vor allen Dingen ab 1995 und verstärkt ab dem Jahr 2000 sinkt, während die Verschärfung der Bauteilsanforderungen und die Einführung von Kontroll- und Sanktionsmechanismen ab 2007 keine sichtbaren Auswirkungen hat.

Außerdem müssen strengere Bauteilsvorschriften nicht zwingend umweltpolitisch motiviert sein, sondern können teilweise durch nutzenmaximierende Konsumentenentscheidungen in kälteren Klimazonen erklärt werden. Wenn Hausbesitzer auch ohne staatliche Vorschriften investieren, um höhere Effizienzgrade zu erreichen, wird sich kaum Widerstand gegen eine gesetzliche Formalisierung dieser Praxis formieren. Die gesetzliche Kodifizierung übersetzt lediglich die Praxis in normative Regelungen. Der kausale Zusammenhang geht also nicht unbedingt von den Gesetzen aus, sondern das Gesetzgebungsverfahren orientiert sich an bestehenden Verfahrensweisen. Ein Vergleich mit Finnland unterstützt eine solche Sichtweise. Die historischen finnischen U-Werte (Tabelle 3) sind ebenfalls deutlich strenger (und ähnlich zu Schweden), als dies beispielsweise in Deutschland der Fall ist. Dennoch liegt der finnische Wohngebäudesektor laut unserer quantitativen Analyse in der mittleren Verbrauchskategorie (und weist einen im Zeitverlauf steigenden Verbrauch auf), während Schweden in der Niedrigverbrauchskategorie verortet ist (und einen fallenden Verbrauch aufweist). Es deutet sich also an, dass die höheren regulatorischen Anforderungen allein nicht ausreichen, um die hohe Energieeffizienz in Schweden zu erklären.

**Tabelle 3: Regulatorische Anforderungen an U-Werte bestimmter Bauteile im Ländervergleich**

<i>Jahr</i>	<b>Finnland</b>			<b>Deutschland</b>		<b>Schweden</b>	
	<b>1978</b>	<b>1985</b>	<b>2010</b>	<b>1977</b>	<b>2014</b>	<b>1978</b>	<b>2008</b>
Wand	0,29 - 0,35	0,28	0,17	1,45 - 1,75	0,28	0,25 - 0,30	0,18
Dach	0,23 / 0,29	0,22	0,09	0,45	0,2	0,17 - 0,20	0,13
Fenster	2,1 / 3,1	2,1 / 3,1	1,00	1,6 - 3,5	1,3	1,0 - 2,0	1,3
Boden	0,23 / 0,4	0,22 / 0,36	0,16	0,9	0,35	0,17 - 0,30	0,15

Anmerkung: Alle Zahlen verstehen sich als U-Werte und sind in folgender Einheit angegeben  $\frac{W}{m^2K}$

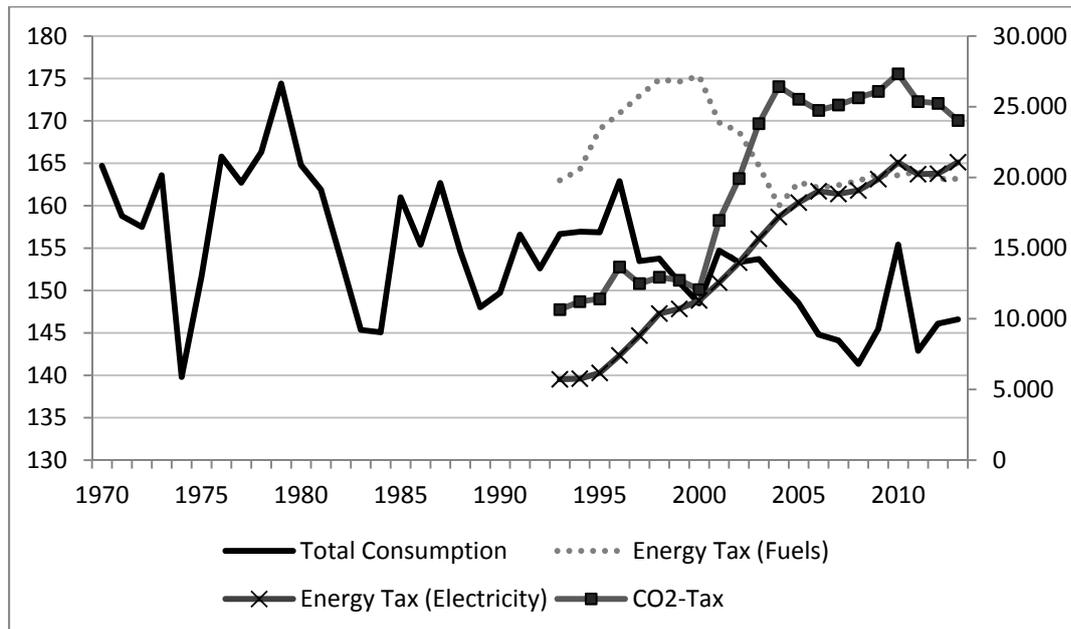
Quellen: *Finnland* - Odyssee-Mure Policy Data Base  
*Deutschland* - Wärmeschutzverordnung 1977, nichtamtliche Fassung S. 9-12;  
Energieeinsparverordnung 2014 nichtamtliche Fassung S. 41f.  
*Schweden* - SBN 1975 Supplement 1 S. 17, BFS 2008:20 BBR 16 S. 10.

### Energie- und CO2-Steuer

Die Darstellung (Abbildung 2) zeigt, dass ein Großteil der Einsparungen im Zeitraum von 1995 bis 2008 ausgelöst wurde. Die Verschärfung der Bauteilsanforderung ab 2007 kommt dementsprechend nicht als erklärender Faktor in Frage. Stattdessen erscheint es plausibel, dass die Einführung und Anhebung der umweltpolitischen Besteuerung eine maßgebliche Rolle spielen. Schweden hat 1991 als eines der ersten Länder eine CO2-Steuer erhoben. In gegenwärtigen Preisen betrug sie weniger als 20 Euro pro Tonne CO2 und wurde in den Folgejahren sukzessive erhöht. Der größte Anstieg erfolgte dabei in den Jahren 2000 bis 2004, in denen der Preis von ca. 40 auf 100 Euro pro Tonne anwuchs. Aktuell liegt der Preis bei ca. 137 Euro pro Tonne.

In Abbildung 2 werden sowohl die Steuereinnahmen durch die Energiesteuer auf Brennstoffe und Elektrizität als auch die 1991 eingeführte CO2-Steuer dargestellt. Der durchgehende Anstieg der Elektrizitätssteuereinnahmen nach 1993, sowie der rasante Anstieg der CO2-Steuereinnahmen nach 2000 stimmen mit dem abnehmenden Verbrauchstrend zeitlich überein. Die Verminderung der Brennstoffbesteuerung im gleichen Zeitraum wird durch den Anstieg der Strom- und CO2-Steuer deutlich überkompensiert.

**Abbildung 2: Gesamtenergieverbrauch des Wohngebäudesektors (1970-2013, in TWh) und Umweltsteuern (1993-2013, in Mio. SEK) in Schweden.**

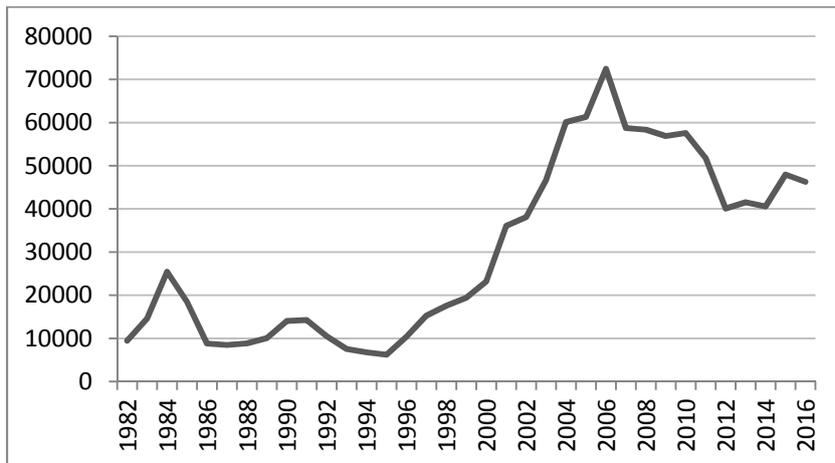


Quelle: Swedish Energy Agency, Statistics Sweden

Neben der allgemeinen Reduzierung der Energieverbrauchsmenge kann vermutet werden, dass die Besteuerung auch zu einer qualitativen Änderung der genutzten Brennstofftypen beigetragen hat. Insbesondere die Verminderung des Ölverbrauchs (Abbildung 4) und die verstärkte Nutzung von Wärmepumpen (Abbildung 3) kann durch die zeitliche Übereinstimmung mit hoher Wahrscheinlichkeit auf den Anstieg der Steuern zurückgeführt werden. Interessanterweise hat Verbreitung von Wärmepumpen nach dem Jahr 2000 nicht zu einem Anstieg des Stromverbrauchs geführt. Außerdem wird die Öl-Reduktion teilweise durch Biomasse kompensiert. Der wahre Anstieg des Biomasseanteils an allen Brennstoffen wird in Abbildung 4 jedoch unterschätzt, da Fernwärmenetzwerke<sup>4</sup> (welche gesondert aufgeführt werden) zu einem großen Teil durch Biomasse befeuert werden.

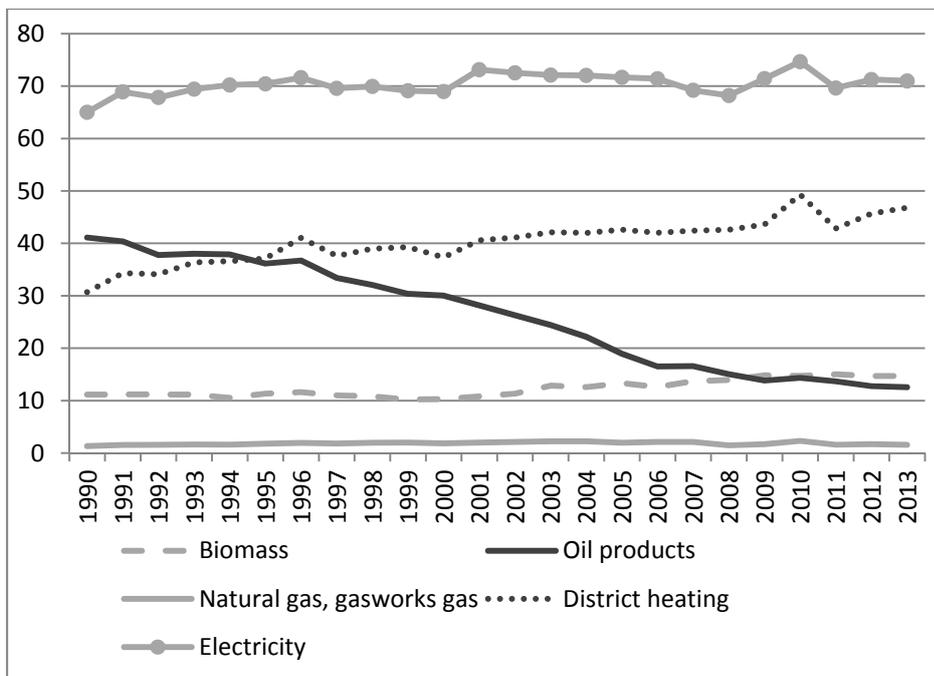
<sup>4</sup> Fernwärmenetzwerke in Schweden wurden seit den 1970ern ausgebaut und sind im Besitz der Städte und Gemeinden. Der Übergang von Öl hin zu regenerativen Energieträgern (insbesondere Biomasse) wurde durch die öffentliche Trägerschaft wahrscheinlich erleichtert und politisch vorangetrieben.

**Abbildung 3: Anzahl der verkauften Wärmepumpen pro Jahr (Schweden)**



Quelle: Svenska Kyl&Värmepump Föreningen [Schwedischer Kühl- und Wärmepumpenverband]

**Abbildung 4: Energieverbrauch nach Energieträger (Schweden, in TWh)**



Quelle: Swedish Energy Agency

### Kommunale Heizungsnetze:

Abschließend soll auf eine weitere schwedische Besonderheit eingegangen werden. Als Reaktion auf die Ölschocks der 70er und 80er Jahre, wurde der kommunale Besitz von Fernwärmenetzwerken politisch vorangetrieben. Fernwärmenetze sind per se relativ effizient. Durch die hohe Besteuerung, wurden diese Wärmenetze in den 1990er und 2000er auf regenerative Energieträger umgestellt (Müllverbrennung, Biomasse).

Zwei Elemente sollen zusammenfassend als wahrscheinliche Einflussfaktoren herausgestellt werden: (1) Die regulatorischen Anforderungen an Neubauten sind seit den 70er Jahren auf einem im Vergleich zu anderen europäischen Ländern relativ strikten Niveau, wurden nach der Jahrtausendwende weiter verschärft und durch Kontroll- und Sanktionsmechanismen ergänzt. Die Regulationsintensität allein genügt allerdings nicht, um die Verbrauchsentwicklung zu erklären. Die vergleichsweise hohen CO<sub>2</sub>- und Energiesteuern (2) wurden ebenfalls als erklärender Faktoren identifiziert. Der rasante Anstieg der CO<sub>2</sub> Steuern ging zeitlich einher mit einem abnehmenden Verbrauchstrend und zunehmender Nutzung von alternativen Heiztechnologien (Wärmepumpen) einher. Dies kann somit als erfolgreiche umweltpolitische Maßnahme und potentiell stark wirksamer Faktor für Energieeffizienzverbesserungen betrachtet werden.

### **4.3. Irland**

Obwohl der Anteil von Öl am Energiemix mit 34% (in 2014) vergleichsweise hoch ist, erzielt Irland in unserer quantitativen Untersuchung ein relativ gutes Ergebnis in Bezug auf den Energieverbrauch<sup>5</sup>. Im Gegensatz zu Schweden gibt es in Irland keine CO<sub>2</sub>-Steuer oder vergleichbare Instrumente. Daher ist Irland ein weiterer relevanter Fall für unsere qualitative Untersuchung.

Wie auch in Schweden, spielen die Wohngebäudeenergieeffizienzregulierungen im Fall Irland eine Rolle. Dort sind sowohl Neu- als auch Altbauten den Regulierungen unterworfen, allerdings in unterschiedlichem Ausmaß, wie Tabelle 4 zu entnehmen ist. Im Folgenden werden beide Fälle gesondert betrachtet.

#### Energetisch-regulatorische Anforderungen im Neubau

Die Regulierungen wurden zur Jahrtausendwende 2002 deutlich verschärft. Im europäischen Vergleich ist Irland damit im oberen Mittelfeld zu verorten. Da dies in den betrachteten Untersuchungszeitraum fällt, kommen die Regulierungen als erklärende Variable für die gesteigerte Energieeffizienz infrage.

Zwischen 2000 und 2007 betrug die jährliche Gebäudeneubaurate ca. 3,4 - 6,4%; letzteres ist der Spitzenwert von 2006. Der Gebäudebestand wurde somit zwischen 2000 und 2014 von ca. 1,2 Mio. auf ca. 1,7 Mio. permanent bewohnter Gebäude erweitert. Im Zuge der Vergrößerung des Gebäudebestandes stieg die durchschnittliche Fläche pro Gebäude ebenfalls um ca. 11%

---

<sup>5</sup> Wie bereits erwähnt, sind die Ergebnisse als vorläufig zu betrachten, da die Regression einen gewichteten Energiepreisindex enthalten sollte. Dieser wird momentan konstruiert.

zwischen 2000 und 2014. Der Energieverbrauch pro m<sup>2</sup> nahm jedoch zwischen 2000 und 2014 ab. Dies wird von der irischen Energiebehörde auf die weitere Verbreitung von Zentralheizungssystemen in Häusern zurückgeführt, die energieeffizienter sind als Raumheizungen.

Es ist davon auszugehen, dass ein wesentlicher Anteil des irischen Gebäudebestandes den Regulierungen von 2002 oder 2007 unterliegt. Somit kann die Verschärfung der Regulierungen 2002 und 2007 für einen Teil der Wohngebäudeenergieeffizienzverbesserungen verantwortlich gemacht werden.

#### Energetisch-regulatorische Anforderungen im Altbau und Renovierungen

Wie eingangs angeführt, werden in Irland auch die Ersatzteile für Altbauten reguliert. Die Regulierungen (vgl. Tabelle 4) sind jedoch deutlich moderater als diejenigen für Neubauten, wie der Vergleich der irischen Altbauregulierungen mit den bestenfalls durchschnittlichen deutschen Neubauregulierungen aufzeigt.

Die irische Regierung setzt seit längerem mit dem Ziel der Energieeffizienzsteigerung Anreize, um Renovierungen voranzutreiben. Ein besonders wichtiges Programm ist dabei der „Better Energy Home Grant“, mit dem Hausbesitzer bei der Renovierung finanziell unterstützt werden. Seit der Einführung 2009 bis Beginn 2017 wurden mithilfe dieses Projekts nach Angaben der irischen Energiebehörde mehr als 200.000 Häuser renoviert.

**Tabelle 4: Regulatorische Anforderungen an U-Werte bestimmter Bauteile in Irland im Zeitverlauf für Neu- und Altbauten**

<b>Neubauten</b>						
<b>Jahr</b>	<b>1991</b>	<b>1997</b>	<b>2002</b>	<b>2007</b>	<b>2011</b>	<b>2017</b>
Wand	0,45 - 0,6	0,45 - 0,6	0,27	0,27	0,21	0,21
Dach	0,25 - 0,35	0,25 - 0,35	0,16 - 0,22	0,16 - 0,22	0,16 - 0,2	0,16 - 0,2
Fenster	?	3,30	2,2	2	1,60	1,60
Boden	0,45 - 0,6	0,45	0,25	0,25	0,21	0,21
Quelle	BRTGDL, 1991, S. 8	BRTGDL, 1997, S. 8	BRTGDL, 2002 (Reprint 2005), S. 9	BRTGDL, 2007 (Reprint 2008), S. 17	BRTGDL, 2011, S.17	BRTGDL, 2017, S.18

<b>Altbauten</b>						
<b>Jahr</b>	<b>1991</b>	<b>1997</b>	<b>2002</b>	<b>2007</b>	<b>2011</b>	<b>2017</b>
Wand	0,60	0,45 - 0,6	0,6	0,27	0,35 - 0,55	0,35 - 0,55
Dach	0,35 - 0,6	0,35 - 0,6	0,35	0,16 - 0,22	0,16 - 0,25	0,16 - 0,25
Fenster	--	3,30	2,2	2	1,6	1,6
Boden	--	--	--	0,25	0,45	0,45
Quelle	BRTGDL, 1991, S. 8	BRTGDL, 1997, S. 8	BRTGDL, 2002 (Reprint 2005), S. 9	BRTGDL, 2007 (Reprint 2008), S. 28	BRTGDL, 2011, S. 26	BRTGDL, 2017, S. 27

**Anmerkung:** Alle Zahlen verstehen sich als U-Werte und sind in folgender Einheit angegeben  $\frac{W}{m^2K}$   
BRTGDL = Building Regulations Technical Guidance Document L

Zusammenfassend erklären wir den im Zeitverlauf abnehmenden Energieverbrauch Irlands durch die vergleichsweise strikten Regulierungen für Neubauten, die durch die starke Neubautätigkeit Eingang in den Gebäudebestand finden. Die moderaten Regulierungen für Altbauten tragen durch entsprechende Anreizsetzungen wie Finanzhilfen möglicherweise ebenfalls zur Energieverbrauchsminderung bei.

#### 4.4. Vereinigtes Königreich

Obwohl das Vereinigte Königreich in der quantitativen Analyse (siehe Kapitel 5.3) sowohl hinsichtlich des Niveaus als auch hinsichtlich der Verbesserung relativ gut im Europäischen Vergleich abgeschnitten hat, hält es sich mit Politikmaßnahmen im Bereich der Energieeffizienz im Gebäudesektor eher zurück. Das Ergebnis ist überraschend, da der britische Gebäudebestand für seine relativ schlecht isolierten Fenster, Türen, Wände und Dächer und seine veralteten Heizsysteme bekannt ist<sup>6</sup> (National Audit Office, 2016, 6).

<sup>6</sup> Wie bereits erwähnt, sind die Ergebnisse als vorläufig zu betrachten, da die Regression einen gewichteten Energiepreisindex enthalten sollte. Dieser wird momentan konstruiert.

Offensichtlich scheinen die Eigentümer und Mieter ihr Nutzverhalten an ihre Gebäude angepasst zu haben, sodass die spezifischen Verbräuche relativ gut ausfallen.

Es bestehen aber auch wesentliche Politikunterschiede zu anderen Ländern. Der markanteste Unterschied ist, dass keine nationale Förderbank wie die deutsche KfW existiert, die anhand verschiedener Förderprogramme private Investitionen durch Zinsvergünstigungen und Zuschüsse fördert. Es bestehen auch keine zielgerichteten Steuervergünstigungen oder eine „Carbon Tax“ wie in Schweden. Hinzu kommt, dass der groß angekündigte Britische „Green Deal“ massiv gescheitert ist. Der Green Deal ist eine breit angelegte Informationskampagne inklusive Finanzierungsmechanismus für energetische Sanierungen. Seit dem Jahr 2013 ist das nationale Programm in Kraft mit dem Ziel, die Sanierungsgeschwindigkeit im Wohnungs- und Bürogebäudebestand zu beschleunigen. Der Green Deal richtet sich an Haushalte und Unternehmen, die ihre Wohn- oder Gewerbeimmobilien energetisch modernisieren möchten. Das Programm besteht aus drei Stufen: 1) Einer energetischen Begutachtung des Gebäudes durch einen akkreditierten Dienstleister (GD Assessment), 2) einer Finanzierung durch einen akkreditierten Anbieter, die durch Einsparungen bei den Heizkosten zurückgezahlt wird (GD Plan) und 3) der Durchführung der zugelassenen Maßnahmen durch qualifizierte Installateure im Rahmen des Energieeffizienz-Pakets. Das Finanzierungssystem des Green Deals sucht in Europa seinesgleichen, da die Immobilieneigentümer keine eigenen Mittel zur Finanzierung der energetischen Sanierung aufbringen müssen und die Kredite vollständig von akkreditierten Anbietern oder der im Rahmen des Green Deal gegründeten „Green Investment Bank“ finanziert werden. Die Rückzahlungen sind dabei auch nicht an das Gebäude gebunden, sondern an die Person, die investiert hat, sodass die Rückzahlung auch bei Verkauf der Immobilie gesichert ist. Die Regierung Cameron erhoffte sich durch das Programm eine schnelle Verbesserung des relativ einfachen britischen Gebäudebestandes. Der Green Deal blieb aber weit hinter seinen Erwartungen zurück. In den ersten drei Jahren wurden zwar insgesamt 1,4 Mio. Maßnahmen durchgeführt, jedoch sind hiervon nur 14.000, also 1%, mit einer Finanzierung nach dem Green Deal versehen (National Audit Office, 2016, 4). Damit gilt das Programm als gescheitert und als weniger erfolgreich als vorherige Programme. Der Grund des Scheiterns liegt vor allem darin begründet, dass die so genannte Goldene Regel (Golden Rule) aufgrund der ab 2012 gefallenen Energiepreise nicht gehalten werden konnte. Die „Golden Rule“ besagt, dass die Rückzahlungen für Maßnahmen zu Verbesserung der energetischen Qualität eines Gebäudes niedriger sein müssen als die Einsparungen durch niedrigere Heizkosten. Neben den geringeren Heizkosten werden aber auch die hohen

Anforderung und die Komplexität eines Finanzierungsplans für das die geringe Nachfrage verantwortlich gemacht.

## **5. Zusammenfassung und Diskussion**

Regulatorische Anforderungen sind ein europaweit häufig gebrauchtes Policy-Instrument, um den Energieverbrauch im Wohngebäudebereich zu reduzieren. Die qualitativen Fall-Analysen der Länder mit niedrigem oder sinkendem Energieverbrauch zeigen, dass diese Strategie effektiv sein kann, das gewünschte Ziel zu erreichen. Unsere Ergebnisse bestätigen damit die Erkenntnisse früherer Studien (Filippini et al., 2015; O’Broin et al., 2015). Da verschiedene Länder mit vergleichbarer Regulationsintensität aber zum Teil unterschiedliche Energieniveaus und -Entwicklungstendenzen aufweisen, werden weitere Erklärungsfaktoren benötigt. Es zeigt sich, dass direkte und indirekte Pigou-Steuern (CO<sub>2</sub>-Steuer und Energiesteuern) ebenfalls ein effektives Mittel darstellen, um den Energieverbrauch zu senken.

Es muss an dieser Stelle daran erinnert werden, dass national effektive Instrumente nicht notwendigerweise auch international effektiv sind, noch kosteneffizient sein müssen (siehe Sunnikka-Blank und Galvin, 2012; Sunnikka-Blank und Galvin, 2013; Runst, 2016; Andor et al., forthcoming; OECD, 2013). Dieser Fakt kann in besonderer Schärfe am Beispiel der deutschen Energiepolitik nachvollzogen werden. Die Gebäudesanierung in Deutschland führt zu CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten von mindestens 220 €/Tonne (max. 500 €/Tonne, Sunnikka-Blank und Galvin, 2012; Runst, 2016). Der Nichtverbrauch einer Tonne CO<sub>2</sub> senkt jedoch den Preis im europäischen Zertifikatehandel und kann dazu führen, dass ein Emittent in einem anderen Land ein zusätzliches Zertifikat erwirbt und verbraucht. Wenn 220 €, welche in die Gebäudesanierung fließen, stattdessen für den Kauf von Emissionszertifikaten umgewandelt würden, deren Marktpreis beim Verfassen dieses Textes bei unter 5 € liegt, ließen sich hingegen 44 Tonnen CO<sub>2</sub> vom Markt nehmen. Während Morris et al. (2008) davon ausgehen, dass effiziente Vermeidungskosten bei unter 60 €/pro Tonne liegen sollten, zeigt eine OECD Studien (2013), dass Kosten von zwischen 30 und 200 € erreichbar sind. Unabhängig von der Frage, ob kostenminimierende Vermeidungspreise bei 5, 60 oder 200 € liegen sollten, sind sie aber in jedem Falle günstiger als die Vermeidungskosten, welche im deutschen Gebäudesektor, welcher durch detaillierte staatliche Anforderungen geprägt ist, existieren. Wenn die Kosten der Energiewende über das effiziente Maß steigen, besteht die Gefahr, dass

die Wähler dem Klimaschutz ihre Unterstützung entziehen (Andor et al., forthcoming).

CO<sub>2</sub>-Steuern bieten den Vorteil, dass die Akteure zwar einen Anreiz haben, CO<sub>2</sub>-reduzierende Maßnahmen durchzuführen, diese aber nicht konkret vorgegeben werden. Die Suche nach kostengünstigen und innovativen Maßnahmen wird also nicht in eine Richtung kanalisiert, sondern nach allen Seiten hin offen gelassen. Es spielt deshalb keine Rolle, ob neue Fenster eingebaut werden, ein Elektroautomobil erworben wird, oder eine völlig neue Technologie oder Maßnahme angewendet wird. In jedem Falle wird CO<sub>2</sub> (kostengünstig) eingespart. In der gegenwärtigen Studie zeigt sich, dass eine solche technologieoffene energiepolitische Maßnahme mit hoher Wahrscheinlichkeit zu Energieverbrauchsreduzierungen im Wohngebäudebereich führt. Hinzu kommen qualitative Veränderungen zugunsten regenerativer Energieformen (Bsp. Wärmepumpe statt Ölheizung), welche ebenfalls geeignet sind, nationalen und internationalen umweltpolitischen Zielen näherzukommen.

Die abschließende Aussage unserer Untersuchung lautet deshalb: Regulatorische Anforderungen sind ein effektives Mittel, um den Energieverbrauch im Gebäudesektor zu reduzieren. Damit bestätigt unser Gemischt-Methoden-Ansatz die Ergebnisse bisheriger Studien (Filippini et al., 2015; O’Broin et al., 2015). Darüber hinaus muss davon ausgegangen werden, dass bisherige Studien die Effektivität von markt-kompatiblen politischen Strategien, insbesondere von Energie- und CO<sub>2</sub>-Steuern unterschätzt haben. Während regulatorische Strategien effektiv sein können, hat sich gezeigt, dass die dadurch entstehenden CO<sub>2</sub>-Vermeidungspreise nicht unbedingt kostenminimierend sind. Es gibt gute theoretische Gründe zu vermuten, dass eine CO<sub>2</sub>-Besteuerung (oder ein wohldurchdachter Zertifikatehandel) eher zu kosteneffizienten Lösungen führt. Vor dem Hintergrund der hier gewonnen Erkenntnisse sollte der verstärkte Einsatz von markt-kompatiblen politischen Maßnahmen zukünftig in Erwägung gezogen werden.

## Literatur

Andor, Mark A.; Frondel Manuel; Vance Colin (forthcoming) Germany's Energiewende: A Tale of Increasing Costs and Decreasing Willingsness-to-Pay, Energy Journal.

Bertoldi, Paolo; Mosconi, Rocco (2015). The Impact of energy effieency policies on energy consumption in the EU Member States: A New Approach based on Energy Policy Indicators. European Commission. JRC Science for Policy Report.

Bigano, Andrea; Bosello, Francesco; Marano, Giuseppe (2006) Energy Demand and Temperature: A Dynamic Panel Analysis.

BPIE, Building Performance Institute Europe (2011) Europe's Buildings under the Microscope. A country-by-country review of the energy performance of buildings.

Bowmen, Alex; Rydge, James (2011). Climate change policy in the United Kingdom, Centre for Climate Change Economics and Policy, Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment.

Eskeland Gunnar S.; Mideksa, Torben K. (2009) Climate Change Adaptation and Residential Electricity Demand in Europe, CICERO Working paper 2009:01.

Feser, Daniel; Runst, Petrik (2016). Energy efficiency consultants as change agents? Examining the reasons for EECs' limited success. Energy Policy, 98:309-317.

Filippini, Massimo; Hunt, Lester C. (2010) US Residential Energy Demand and Energy Efficiency: A Stochastic Demand Frontier Approach. Surrey Energy Economics Diskussion paper Series 130.

Filippini, Massimo; Hunt, Lester C.; Zoric, Jelena (2014). Impact of energy policy instruments on the the estimated level of underlying energy efficiency in the EU residential sector. Energy Policy, 69:73-81.

Geller, Howard; Harrington, Philip; Rosenfeld, Artur H.; Tanishima, Satoshi; Unander, Fridtjof (2006) Polices for increasing energy efficiency: Thirty years of experience in OECD countries, Energy Policy, 34:556-573.

Henderson, George (2005) Home air conditioning in Europe - how much energy would we use if we became more like American households? ECEEE 2005 SUMMER STUDY - WHAT WORKS & WHO DELIVERS?

Mansur, Erin T.; Mendelsohn, Robert; Morrison, Wendy (2008) Climate change adaptation: A study of fuel choice and consumption in the US energy sector, Journal of Environmental Economics and Management 55 (2008) 175-193.

J. Morris, S. Paltsev, J. Reilly: Marginal abatement costs and marginal welfare costs for Greenhouse gas emissions reductions: results from the EPPA model, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge Report, Nr. 164, 2008.

OECD: Effective Carbon Prices, OECD Publishing, 2013

OTB, Research Institute for the Built Environment (2010) Housing Statistics in the European Union 2010 (eds. Kees Dol and Marietta Haffner, Delft University of Technology).

Ranson, Matthew; Morris, Lauren, Kats-Rubin, Alex (2014) Climate Change and Space Heating Energy Demand: A Review of the Literature, working paper 14-07, US National Center for Environmental Economics.

Runst, Petrik (2016). Kurswechsel in der deutschen Klimapolitik am Beispiel der energetischen Gebäudesanierung, Wirtschaftsdienst, 5, 340-43.

SEAI, Sustainable Energy Authority of Ireland (2016) Energy Efficiency in Ireland, 2016 Report. Cork, Ireland.

SEA, Swedish Energy Agency (2015) Energy in Sweden 2015. (Available at: [www.energimyndigheten.se](http://www.energimyndigheten.se))

OECD (2013) *Effective Carbon Prices*, OECD Publishing.

O'Broin, Eoi; Nässén Jonas, Filip Johnsson (2015) Energy Efficiency Policies for Space Heating in EU countries: A Panel Data Analysis for the period 1990-2010. Applied Energy, 150: 211-223.

M. Sunikka-Blank, R. Galvin: Introducing the prebound effect: the gap between performance and actual energy consumption, in: Building Research and Information, 40. Jg. (2012), H. 3, S. 260-273.

M. Sunikka-Blank, R. Galvin (2013) *A Critical Appraisal of Germany's Thermal Retrofit Policy: Turning Down the Heat*, London.

## Anhang

**Tabelle 5: Deskriptive Statistik**

Variable	observations	mean	st.d.	min	max	data source
toe_dwell	425	1.573	0.521	0.330	4.250	Odysee
price of oil	435	60.7	27.8	21.8	96.0	OECD
price of oil (t-3)	435	45.1	27.4	10.9	95.7	OECD
Median Population Age	434	39.3	2.3	32.4	45.6	Eurostat
Latitude	435	49.136	7.240	35.126	61.924	CIA Fact Book
Longitude	435	14.947	13.658	-8.244	60.128	CIA Fact Book
heat degree days	435	2943	1221	307	6058	Odysee
floor area	417	90.4	22.1	34.4	145.8	Eurostat
GDP per capita	435	29,430	21,918	1,609	116,613	Eurostat
home ownership	358	75.86	10.55	51.60	97.60	Eurostat
apartment share	365	38.01	16.86	2.50	69.70	Odysee
electricity price	363	11.10	3.16	4.99	23.80	Eurostat
Share of new dwellings	434	1.11	1.03	0.07	6.91	European Commission (EC), Statistical Office of Norway and Denmark
Share of Post1980-Buildings	464	31.75	10.81	2.03	74.23	EC, ODYSEE, Norway Statistical Office, generated

**Tabelle 6: Regressionsergebnisse**

	(1)	(2)	(3)
	Full Model A	Full Model B	Max. retention of observations
Price of oil	-0.00524*** (0.00149)	-0.00156*** (0.000517)	-0.00397** (0.00157)
Price of oil (t-3)	-0.00430*** (0.00130)	-0.000839* (0.000434)	-0.00335** (0.00137)
HDD	-0.0000559 (0.0000412)	-0.0000717** (0.0000360)	-0.0000766* (0.0000424)
Latitude	0.0328* (0.0176)	0.0622*** (0.0187)	0.0185 (0.0152)
Longitude	-0.000516 (0.00456)	0.00492 (0.00436)	-0.00968* (0.00546)
Median Age	-0.288** (0.122)	-0.295** (0.127)	-0.339*** (0.111)
Median Age squared	0.00392** (0.00158)	0.00341** (0.00157)	0.00445*** (0.00141)
Floor area	0.0186* (0.0100)	0.0245** (0.00996)	0.0278*** (0.0107)
Floor area squared	-0.0000945* (0.0000480)	-0.000125*** (0.0000482)	-0.000130** (0.0000622)
GDP/ capita x 1,000	0.0321*** (0.00000644)	0.0170*** (0.00000463)	0.0215*** (0.00000593)
GDP/ capita squared	-2.08e-10*** (4.51e-11)	-1.41e-10*** (3.86e-11)	-1.75e-10*** (4.88e-11)
Home ownership rate	0.00262 (0.00241)	0.00310 (0.00234)	
Apartment share	-0.0103** (0.00404)	-0.0104** (0.00413)	
Price of electricity	-0.00238 (0.00501)	-0.00610 (0.00466)	
Share of Post1980 buildings	0.000282 (0.00169)	-0.00341* (0.00194)	0.000720 (0.00143)
country fixed effects	yes	yes	yes
year fixed effects	yes	no	yes
N	316	316	412
R2	0.969	0.964	0.951

Abbildung 5: Energieverbrauch pro Wohneinheit im europäischen Vergleich

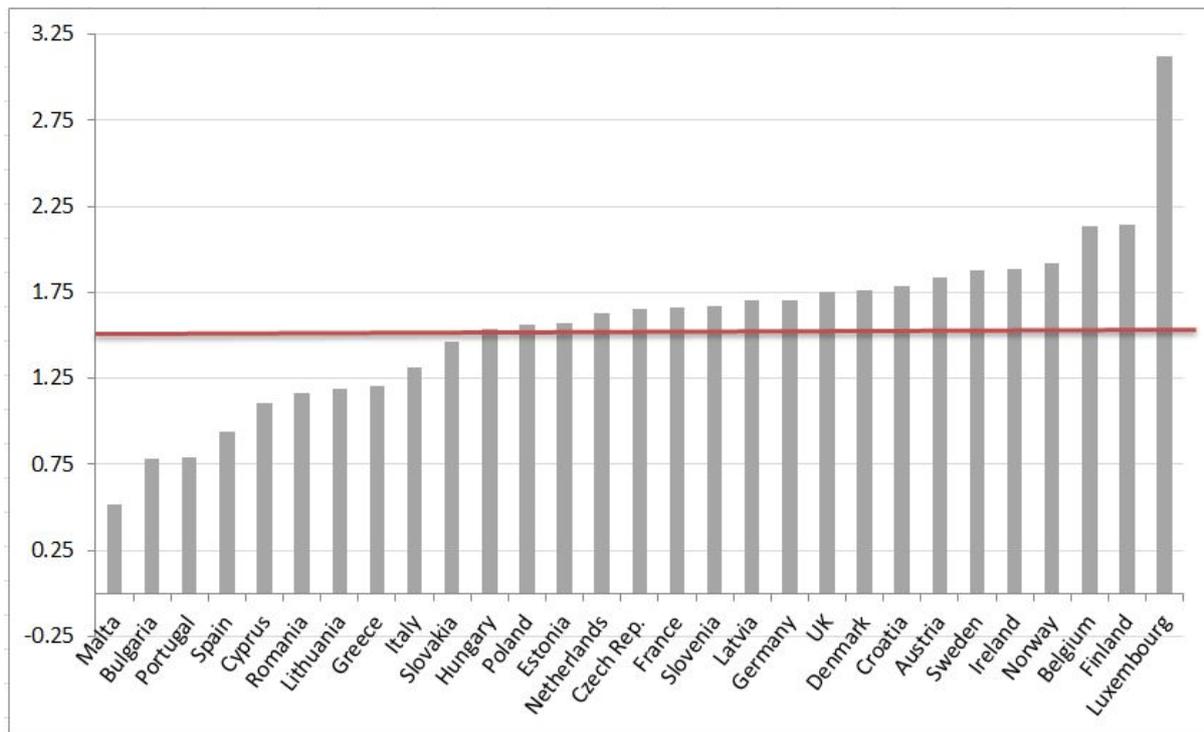


Abbildung 6: Residuen nach Panel-Regression, pro Land und Jahr

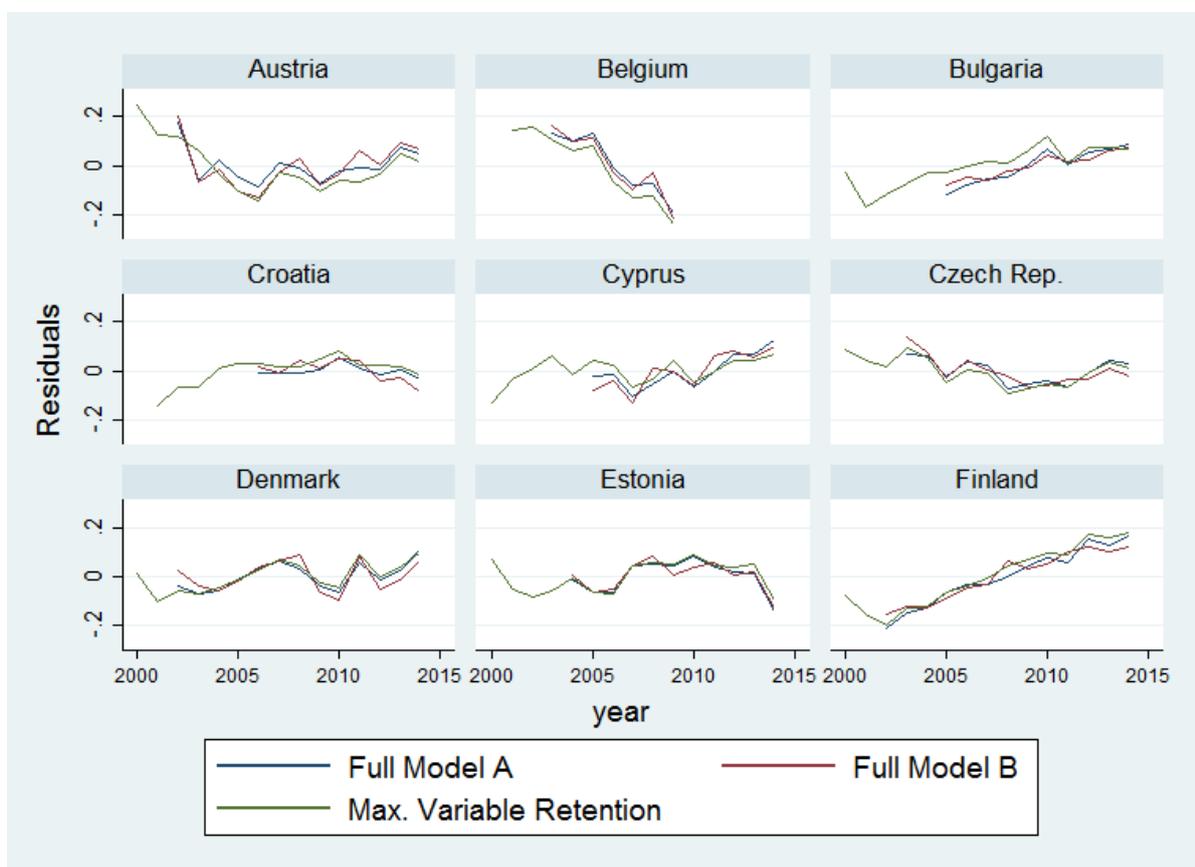


Abbildung 6 fortgesetzt: Residuen nach Panel-Regression, pro Land und Jahr

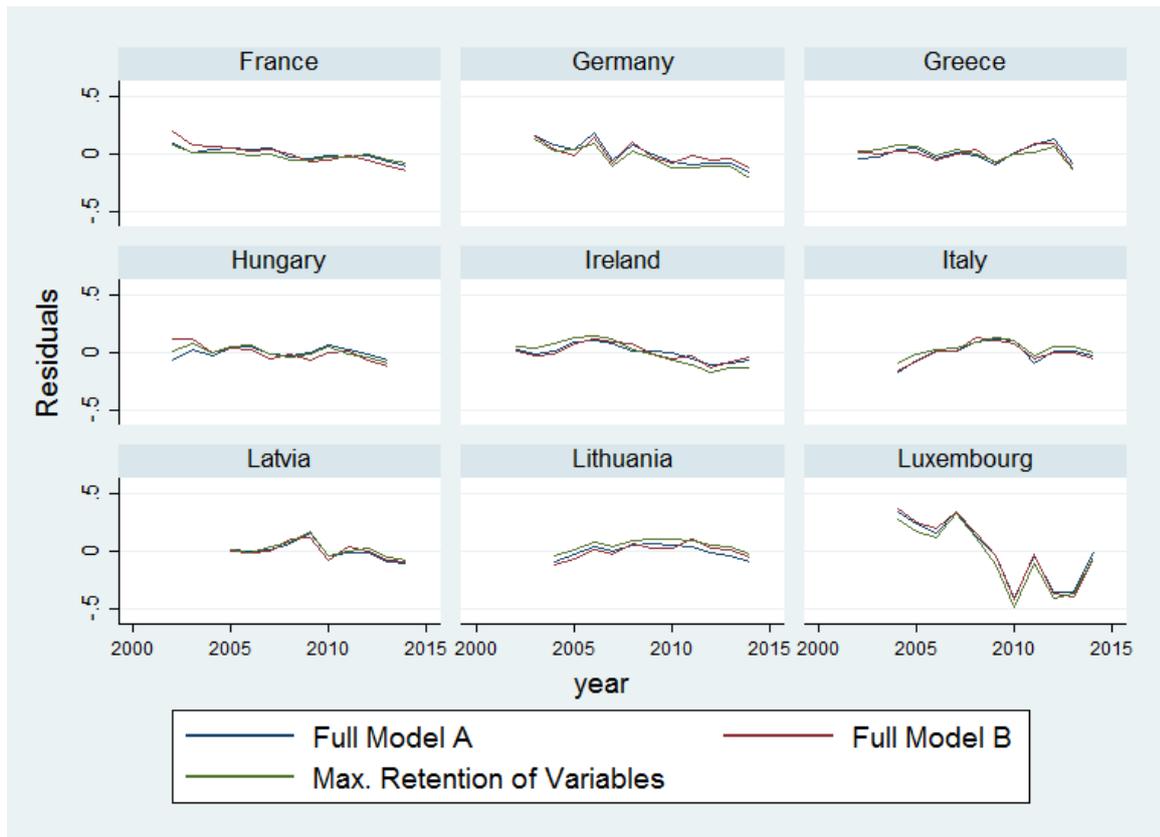


Abbildung 6 fortgesetzt: Residuen nach Panel-Regression, pro Land und Jahr

