

**Ökonomische, technologische und  
soziodemographische Einfluss-  
faktoren der Energienachfrage**

**Kurt Kratena, Ina Meyer, Michael Wüger**

# **Ökonomische, technologische und soziodemographische Einfluss- faktoren der Energienachfrage**

**Kurt Kratena, Ina Meyer, Michael Wüger**

WIFO Working Papers, Nr. 339

Juni 2009

# Ökonomische, technologische und soziodemographische Einflussfaktoren der Energienachfrage

Kurt Kratena, Ina Meyer und Michael Wüger<sup>\*)</sup>

## Kurzfassung

Die Energienachfrage der Haushalte nimmt in der klimapolitischen Diskussion einen zentralen Stellenwert ein. Die Analyse verschiedenster Einflussfaktoren auf die Haushaltsenergienachfrage soll der Wirtschaftspolitik wichtige Informationen über Lenkungsmaßnahmen und deren Dimensionierung liefern.

Die vorliegende Arbeit untersucht den Einfluss von technologischen und sozio-demographischen Entwicklungsmustern auf die Energienachfrage der Haushalte in Österreich (1990-2006). Die analysierten technologischen Variablen repräsentieren die Entwicklung der Energieeffizienz der Kapitalstöcke der Haushalte (Autoflotte, Heizsysteme, Elektrogeräte) während die sozio-demographischen Variablen Lebensstile in Bezug auf die Wohnungsgröße, das Baujahr der Wohnungen und die Entwicklung der Siedlungsdichte widerspiegeln. Die Energienachfrage der privaten Haushalte ist in ein Modell der Gesamtkonsumnachfrage integriert. Dieses wird u.a. durch das Einkommen und die Preise bestimmt. Dabei werden Daten sowohl auf Basis von Zeitreihen- als auch auf Querschnittsebene verwendet und eigene Datenstöcke entwickelt (Energieeffizienz der Autoflotte).

Der technologische Fortschritt hat in der Beobachtungsperiode die Energienachfrage gedämpft; diese ist absolut jedoch weiter angestiegen. Das gestiegene Einkommen, der höhere Ausstattungsgrad mit energieverbrauchenden Konsumgütern und die moderate Preisentwicklung waren dabei die Haupttriebfedern der Nachfragesteigerung. Der Rebound Effekt, ausgelöst durch eine effizienzbasierte Preisreduktion der Energiedienstleistungen, bewirkte zudem eine erhöhte Nachfrage nach Energie und verringerte den potentiellen Einspareffekt erheblich. Sozio-demographische Entwicklungen wie die zunehmende Wohnungsgröße tragen zum Anstieg der Energienachfrage insbesondere in Bezug auf die Elektrizitätsnachfrage bei.

Die Ergebnisse lassen es fraglich erscheinen, ob eine Politik, die auf eine Reduktion der Energienachfrage der privaten Haushalte abstellt, allein auf technologische Effizienzverbesserungen setzen kann.

**Stichworte:** Energienachfrage der Haushalte, technologische Effizienz, Lebensstile, Rebound Effekt

**JEL Code:** D12, Q41, Q54

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Forschungsprojektes "Werkzeuge für eine nachhaltige Raumnutzung", finanziert im Rahmen des Forschungsprogrammes proVISION vom Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung (BMWF) und dem Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW). Mehr Information ist verfügbar unter: <http://www.landnutzung.at/> und <http://www.provision-research.at/>.

<sup>\*)</sup> Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung, Postfach 91, 1103 Wien, Österreich; Kontakt: [Kurt.Kratena@wifo.ac.at](mailto:Kurt.Kratena@wifo.ac.at)

## **Abstract**

This paper deals with integrating technology as well as lifestyles as driving forces of energy demand into a model of total private consumption. Private consumption is determined by economic variables like income and prices. Further, technology is represented by variables measuring the efficiency of households' capital stocks such as electrical appliances, heating, and passenger cars. Lifestyles are taken into account by socio-demographic variables depicting the size and construction year of dwellings and the regional population density. Data for both types of variables are available in cross section consumer surveys and in time series data of aggregate consumption. The cross section surveys provide information on income and socio-demographic factors relevant for energy demand (characteristics of building and population density). The time series data contain information on prices and income as well as the energy efficiency embodied in household appliances. The final model of consumption incorporates a consistent combination of both time series and cross section information into one comprehensive econometric model from which policy recommendations regarding the regulation of household energy demand are derived.

**Keywords:** household energy demand, rebound effects, efficiency of appliances, lifestyles

**JEL Code:** D11, D13, Q53

This paper is an output of the research project "A toolbox of models of a sustainable economy" funded by the research programme proVISION, which is jointly financed by the Austrian Federal Ministry of Science and Research (BMWF) and the Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management (BMLFUW). More information is available at: <http://www.landnutzung.at/> and <http://www.provision-research.at/>.

## Einleitung

Die Energienachfrage der Haushalte nimmt in der umwelt- und klimapolitischen Diskussion einen besonderen Stellenwert ein. Konzentrierte man sich zunächst weitgehend auf die negativen Umweltauswirkungen von Produktionsprozessen, so hat die Untersuchung der klimarelevanten Energienachfrage der privaten Haushalte in der jüngeren Vergangenheit zunehmendes Forschungsinteresse geweckt. Die Analyse des komplexen Zusammenspiels verschiedenster Einflussfaktoren auf die Haushaltsenergienachfrage soll der Wirtschaftspolitik wichtige Informationen über Lenkungsmaßnahmen und deren Dimensionierung liefern.

Um der Vielschichtigkeit der Energienachfrage der Haushalte gerecht zu werden, werden in der folgenden Untersuchung Daten sowohl auf Basis von Zeitreihen- als auch auf Querschnittsebene verwendet und eigene Datenstöcke entwickelt, um konsistente Reaktionsparameter der wichtigsten Einflussfaktoren zu ermitteln. Außerdem wird die Energienachfrage der privaten Haushalte in ein Modell der Gesamtkonsumnachfrage eingebettet, um die Rückkoppelungseffekte in der Nachfrage erfassen zu können.

Das WIFO hat bereits in mehreren Studien die Bedeutung der Haushaltsnachfrage für die nachhaltige Wirtschaftsentwicklung untersucht (*Kletzan et al., 2002, Köppl - Wüger, 2007, Kratena - Meyer, 2007*). Diese ergibt sich einerseits aus der Größe und Bedeutung der Konsumnachfrage für die Gesamtwirtschaft sowie den gesamten Energieverbrauch. Andererseits ergibt sich vor dem Hintergrund des neuen EU Klima- und Energiepakets die Notwendigkeit, in dem nicht vom Emissionshandel erfassten Sektor der Wirtschaft auf nationaler Ebene Maßnahmen zur Emissionsreduktion zu setzen. Dafür steht ein weites Spektrum von Politikmaßnahmen zur Verfügung, die die verschiedenen Ebenen der Bestimmungsfaktoren der Energienachfrage der Haushalte umfassen.

In der Studie (*Kratena et al., 2009*) werden Technologievariable und soziodemographische Einflussfaktoren der Energienachfrage in ein Nachfragemodell der privaten Haushalte integriert, das sowohl Energie- als auch Nichtenergiegüter umfasst. Die gesamte Haushaltsnachfrage wird daher sowohl von ökonomischen Variablen wie Einkommen und Preise als auch von technologischen und soziodemographischen Faktoren wie Energieeffizienz und Wohnungsgröße bestimmt.

Das verwendete Nachfragemodell ist eine konsistente Kombination von Zeit- und Querschnittsinformationen in einem umfassenden ökonometrischen Modell, basierend auf dem AIDS (Almost Ideal Demand System)-Ansatz (*Deaton - Muellbauer, 1980*). Dieses wird dazu verwendet, um neben ökonomischen, speziell den oft vernachlässigten Einfluss von technologischen und soziodemographischen Faktoren auf die Nachfrage nach Energie im privaten Verkehr sowie auf die Ausgaben für Beheizung und Elektrizität zwischen 1990 und 2006 zu isolieren und daraus Schlussfolgerungen für die Energiepolitik zu ziehen.

## 1. Der Modellansatz

Die Energienachfrage der Haushalte weist Spezifika auf, die bei der Modellierung zu berücksichtigen sind (*Köppel - Wüger, 2007*). Nachgefragt werden von den privaten Haushalten Energiedienstleistungen (Services), die mit unterschiedlichen Technologien unter Einsatz von Energieträgern produziert werden. Die Konsumenten fragen z. B. Mobilität nach, die entweder durch öffentliche (z. B. Bahn, Bus) oder private Verkehrsmittel (z. B. Auto, Flugzeug) befriedigt wird, wobei unterschiedliche Energieträger zum Einsatz kommen (z. B. Benzin, Diesel, Strom). Raumwärme kann von den Konsumenten mit unterschiedlichen Heizungssystemen (z. B. Einzelöfen, Zentralheizungen, Fernwärme), Gebäudetechnologien und Energieträgern (z. B. Holz, Kohle, Gas) mehr oder weniger effizient produziert werden.

Wichtig sind daher auch die Qualität des von den Haushalten eingesetzten Kapitalstocks und die Rückwirkungen auf die Energienachfrage. Da der technologische Fortschritt zu höherer Effizienz der energieverbrauchenden Geräte (z. B. Autos, Waschmaschinen, Kühlschränke, Fernsehgeräte) führt, verbilligt sich die Energiedienstleistung, was in der Regel eine höhere Nachfrage nach den angeführten Energiedienstleistungen nach sich zieht, sodass die Energienachfrage nicht in vollem Ausmaß der Effizienzsteigerung zurückgeht. In der ökonomischen Literatur wird dieses Phänomen als "Reboundeffekt" (*Khazoom, 1980, 1989, Berkhout et al., 2000, Brännlund et al., 2007*) bezeichnet, dem wir in unserer Analyse besonderes Augenmerk schenken wollen, weil er die Auswirkungen des technologischen Fortschritts verringert, was einer Politik, die auf Technologieförderung abstellt, Grenzen setzt. Die ökonomische Literatur unterscheidet im Prinzip unterschiedliche Typen von "Reboundeffekten". Neben dem direkten, über die Preisänderung für die Energiedienstleistung ausgelösten "Reboundeffekt", gibt es auch noch eine Reihe von indirekten "Reboundeffekten". Diese umfassen Erhöhungen der Energiedienstleistungsnachfrage aufgrund von Realeinkommenssteigerungen und aufgrund einer Ausweitung des Kapitalstocks. Unsere Studie behandelt Preis- und Realeinkommenseffekte und die davon ausgelösten "Reboundeffekte".

Wir ermitteln in unserem Ansatz zunächst die Gesamtkonsumausgaben der privaten Haushalte für nicht-dauerhafte Konsumgüter, die mit einem Fehlerkorrekturmodell<sup>1)</sup> (*Davidson et al., 1978, Salmon, 1982, Thury - Wüger, 1994, 2001, Carruth - Dickerson, 2003*) bestimmt werden. Diese werden mit Hilfe eines AIDS-Ansatzes auf die einzelnen Konsumgruppen aufgeteilt. Er wird in der modernen ökonomischen Literatur nicht zuletzt deshalb verwendet, weil er relativ einfache Tests über die Gültigkeit der Annahmen in Nachfragesystemen und damit Rückschlüsse darüber zulässt, ob diese Annahmen die Schätzergebnisse beeinflussen. Der Ansatz ist relativ flexibel. Zuletzt (*Xiao - Zarnikau -*

---

<sup>1)</sup> Ein Fehlerkorrekturmodell geht davon aus, dass zwischen den Konsumausgaben und den wichtigsten Einflussfaktoren der Konsumnachfrage (z. B. Einkommen, Preise, Zinsen, Vermögen) langfristig eine enge Beziehung besteht. Kurzfristig kann es davon Abweichungen geben, die jedoch Korrekturmechanismen auslösen, die wieder zu einem Gleichgewicht führen.

Damien, 2007) konnte seine Überlegenheit zur Erklärung der Elektrizitätsnachfrage in den USA nachgewiesen werden.

Energieträger werden von den privaten Haushalten für die "Produktion" der vorher angesprochenen Dienstleistungen (Heizung, Beleuchtung, Kommunikation, Transport, Mobilität usw.) eingesetzt. Für die Produktion wird neben Energie ( $E$ ) ein bestimmter Kapitalstock verwendet. Charakterisiert wird dieser Kapitalstock durch die Effizienz ( $\eta_{ES}$ ), mit der der Energiefluss in ein Serviceniveau ( $S$ ) umgewandelt wird.

$$E = \frac{S}{\eta_{ES}} \quad (1)$$

Wie aus (1) hervorgeht, führt eine höhere Effizienz bei gegebener Dienstleistungsnachfrage zu einem geringeren Energiefluss. Für eine vorgegebene Umwandlungseffizienz kann ein Servicepreis ( $p_S$ ) (Grenzkosten der Services) ermittelt werden, der abhängig vom Energiepreis ( $p_E$ ) und der Effizienz ( $\eta_{ES}$ ) ist (2).

$$p_S = \frac{p_E}{\eta_{ES}} \quad (2)$$

Eine höhere Effizienz führt *ceteris paribus* zu einem Absinken des Servicepreises, sodass ein Anreiz zu höherer Servicenachfrage entsteht. Das ist der Mechanismus, der zum "Reboundeffekt" führt. Diese Servicepreise werden neben den Güterpreisen im Gesamtkonsummodell berücksichtigt. Der Budgetanteil der Energienachfrage kann daher sowohl traditionell als Kostenanteil oder als Serviceanteil definiert werden:  $\frac{p_E E}{C} \equiv \frac{p_S S}{C}$

Ausgangspunkt des AIDS-Ansatzes ist eine flexible funktionale Form, mit der die Präferenzen der Konsumenten approximiert werden. Aus der Optimierungsbedingung (Nutzenmaximierung bzw. Kostenminimierung) wird die Nachfragefunktion abgeleitet, in der wir zusätzlich noch technologische und soziodemographische Variable berücksichtigen.

$$w_i = \alpha_i + \sum_j \gamma_{ij} \log p_j + \beta_i \log \left( \frac{C}{P} \right) + \xi_i Z \quad (3)$$

Der Budgetanteil ( $w_i$ ) eines Gutes wird, wie in (3) ersichtlich, durch die Preis- ( $p_j$ ) und Einkommens(Gesamtkonsum)entwicklung ( $C$ ) erklärt sowie von technologischen und soziodemographischen Faktoren, die in der Variablen ( $Z$ ) zusammengefasst werden.  $P$  stellt einen geeigneten Deflator des Gesamtkonsums dar. Außerdem wird gegebenenfalls noch ein Zeittrend im Schätzansatz berücksichtigt, um Präferenzentwicklungen der Konsumenten zu berücksichtigen. Dieser Ansatz wird sowohl mit Zeitreihendaten (hochgestelltes  $T$ ) als auch auf Basis von Querschnittserhebungen (hochgestelltes  $C$ ) geschätzt.

Auf Zeitreihenbasis können aufgrund der geringen Varianz der soziodemographischen Faktoren ( $Z$ ) im Zeitablauf die Parameter  $\xi_i$ , die deren Einfluss wiedergeben sollen, nicht identifiziert werden, sodass sich der Schätzansatz auf (4) reduziert.

$$w_i^T = \alpha_i^T + \sum_j \gamma_{ij}^T \log p_j^T + \beta_i^T \log \left( \frac{C^T}{P^T} \right) \quad (4)$$

Für das Querschnittsmodell kann der Ansatz (3) folgender Maßen umgesetzt werden (5).

$$w_i^C = \alpha_i^C + \beta_i^C \log \frac{C^C}{P^C} + \sum_{u=1}^r \xi_u \text{dum}_u + \sum_{s=1}^l \xi_s \text{dum}_s + \sum_{k=1}^m \xi_k \text{dum}_k \quad (5)$$

In (5) messen die "Dummyvariablen" ( $\text{dum}_u$ ,  $\text{dum}_s$ ,  $\text{dum}_k$ ) den Einfluss der soziodemographischen Variablen Errichtungsjahr der Wohnung (Index  $u$ ), Wohnungsgröße (Index  $s$ ) und Bevölkerungsdichte (Index  $k$ ).

Aus der Beziehung (3) können Einkommens- (Gesamtkonsums-) ( $\varepsilon_i$ ) sowie unkompenzierte ( $\varepsilon_{ij}^U$ ) und kompenzierte ( $\varepsilon_{ij}^K$ ) Preiselastizitäten errechnet werden (*Green - Alston, 1992*), das sind Maßzahlen, mit denen der Einfluss von Einkommens- und Preisänderungen auf die Güternachfrage erfasst werden<sup>2</sup>).

$$\varepsilon_i = \frac{\beta_i}{w_i} + 1 \quad (6)$$

$$\varepsilon_{ij}^U = \frac{\gamma_{ij} - \beta_i w_j}{w_i} - \delta_{ij} \quad (7)$$

$$\varepsilon_{ij}^K = \frac{\gamma_{ij} - \beta_i w_j}{w_i} - \delta_{ij} + \varepsilon_i w_j = \frac{\gamma_{ij} + w_i w_j}{w_i} - \delta_{ij} \quad (8)$$

Die Einkommens-(Gesamtkonsums)-elastizität gibt die Änderung der Nachfrage nach einem Gut in Prozent an, wenn sich das Einkommen (der Gesamtkonsum) um ein Prozent ändert, die Preiselastizität die Nachfrageänderung bei einer 1%-igen Änderung des Güterpreises. Die kompenzierte Preiselastizität misst den reinen Preiseffekt, während die unkompenzierte auch den durch die Preisänderung ausgelösten Realeinkommenseffekt berücksichtigt.

Die Preiselastizitäten sind auch die zentrale Größe für die Ermittlung des oben erwähnten "Reboundeffektes". Die Nachfrage nach einem Energiegut wird durch die Servicenachfrage ( $S_i$ ) und die Effizienz ( $\square_j$ ) der energieverbrauchenden Geräte bestimmt. Die Änderung der Energienachfrage im Zeitablauf kann daher wie in Beziehung (9) formal dargestellt, durch einen direkten Effekt der Effizienzänderung und einen indirekten über die Servicenachfrage beschrieben werden. Dies inkludiert den "Reboundeffekt", weil Änderungen der Effizienz den Servicepreis beeinflussen und über die Preiselastizität die Servicenachfrage.

<sup>2</sup>) In (7) und (8) stellt  $\delta_{ij}$  das Kronecker Delta dar mit  $\delta_{ij} = 0$  für  $i \neq j$  und  $\delta_{ij} = 1$  für  $i = j$ .

$$\frac{dE_i}{dt} = \frac{\partial E_i}{\partial \eta_j} \frac{d\eta_j}{dt} + \frac{\partial E_i}{\partial S_i} \frac{dS_i}{dt} \quad (9)$$

Dividiert man beide Seiten von (9) durch  $E_i$  und berücksichtigt die Preiselastizität der Energienachfrage ( $\varepsilon_{ij}$ ), so erhält man Beziehung (10)<sup>3)</sup>, in der die Reaktion der Energienachfrage ( $E$ ) auf eine Änderung der Technologie ( $\eta$ ) aufgezeigt wird.

$$\frac{d \log E_i}{d \log \eta_j} = -(1 + \varepsilon_{ij}) \quad (10)$$

Die Technologieänderung schlägt sich also nicht eins zu eins in einem Rückgang der Energienachfrage nieder (*Khazoom, 1980, Berkhout et al., 2000, Brännlund et al., 2007*), sondern vermindert um den durch die Preisänderung ausgelösten Anstieg der Servicenachfrage, der durch die Preiselastizität ( $\varepsilon_{ij}$ ) erfasst wird.

In unserem Ansatz streben wir eine methodisch geeignete Kombination aus Zeit- und Querschnittsinformation an. Im Unterschied zu jenen Arbeiten, die auf Paneldaten mit meist unzureichender Varianz in den Preisen beruhen (*Labandeira et al., 2006*), folgen wir ähnlich wie *Nichèle - Robin (1995)* dem Ansatz einer konsistenten Verbindung von Zeitreihen- und Querschnittsinformation. Zu diesem Zweck werden zunächst die Modelle (4) und (5) geschätzt und die Ergebnisse für den Einkommensterm kombiniert.

Wir nützen die Elastizitätsschätzungen aus beiden Modelltypen (Zeitreihe und Querschnitt), die ja relative Maße darstellen, um zusammen mit den Budgetanteilen sinnvolle Parameterrestriktionen für unser "gekoppeltes Modell" festzulegen. Die bessere Qualität der Querschnittsinformation in Bezug auf das Einkommen, die aus einer höheren Anzahl von Beobachtungen (3.500 Haushalte) und einer höheren Varianz über die erfassten verschiedenen Haushaltstypen resultiert, wird dazu genutzt, um in einem ersten Schritt die Einkommenselastizität aus dem Querschnitt als gegeben anzusehen. Wir verwenden daher die Einkommenselastizität  $\varepsilon_i^c$ , um den Einkommensparameter  $\beta_i^{T*}$  für das "gekoppelte Modell" vorzugeben, der konsistent mit dem Budgetanteil  $w_i^T$  des Zeitreihenmodells ist.

$$\beta_i^{T*} = (\varepsilon_i^c - 1)w_i^T \quad (11)$$

Da die Preisinformation über die Zeit jener aus dem Querschnitt, der nur regionale Unterschiede beinhaltet, vorzuziehen ist, nehmen wir den Preiseffekt aus der Zeitreihenanalyse als gegeben an, was zur Parameterrestriktion (12) im "gekoppelten Modell" führt.

$$\gamma_{ii}^{T*} = (\varepsilon_{ii}^T + 1 + \beta_i^{T*})w_i^T \quad (12)$$

---

<sup>3)</sup> In (10) steht "log" für den natürlichen Logarithmus, die Gleichung beschreibt daher die Elastizität der Energienachfrage auf technologische Änderungen.

Diese Restriktion garantiert, dass die Eigenpreiselastizität  $\mathcal{E}_{ii}^T$  aus dem Zeitreihenmodell konsistent mit der Einkommensinformation auf der Querschnittsebene innerhalb des AIDS-Ansatzes wird.

Als letzten Schritt werden im "gekoppelten Modell" die Schätzergebnisse der soziodemographischen Einflussfaktoren aus der Querschnittsinformation eingebaut. Die Schätzwerte der Parameter  $\square_i$  (mit  $i = u, s, k$ ) auf Querschnittsebene messen den Gesamteinfluss eines Haushaltscharakteristikums. Sie müssen in ein relatives Maß  $\square_i$  als Abweichung vom Mittelwert  $\bar{\xi}_i$  transferiert werden, um Auswirkungen von Strukturverschiebungen in diesen Merkmalen auf die Nachfrage im Zeitablauf zu erfassen. Die Zusammengewichtung der relativen soziodemographischen Faktoren mit den Anteilen  $wd_i$  der jeweiligen Haushaltstypen im Zeitablauf gibt deren Einfluss im "gekoppelten Modell" wieder.

Unser endgültiges Modell hat daher folgendes Aussehen (13)<sup>4</sup>:

$$w_i = \alpha_i + \sum_{i=1}^n \gamma_{ii}^{T*} \log p_i + \sum_{j \neq i} \gamma_{ij}^T \log p_j + \beta_i^{T*} \log \frac{C_h}{P} + \sum_{u=1}^r \sigma_u wd_u + \sum_{s=1}^l \sigma_s wd_s + \sum_{k=1}^m \sigma_k wd_k \quad (13)$$

Die Nachfrage nach einem Energiegut wird in unserem Ansatz durch die Servicenachfrage bestimmt, die zum einem im Zusammenhang mit dem ökonomischen Umfeld des Haushalts (Einkommens- und Preisentwicklung) zu sehen ist, zum anderen mit der Energieeffizienz des verwendeten Kapitalstocks (energieverwendende Geräte). Zusätzlich wird der Energieverbrauch auch noch durch die Verteilung der Haushalte über die demographischen Variablen: Errichtungsjahr der Gebäude, Wohnungsgröße und Bevölkerungsdichte bestimmt. Das Errichtungsjahr ist in Zusammenhang mit der Technologie zu sehen, Wohnungsgröße und Bevölkerungsdichte mit der Servicenachfrage. Da wir ein Gesamtmodell, das nicht nur Energiegüter, sondern auch Nichtenergiegüter umfasst verwenden, werden Rückkoppelungseffekte sowohl innerhalb der Energienachfrage als auch innerhalb des Gesamtkonsums erfasst.

## 2. Die Datenbasis

In der Analyse unterscheiden wir folgende Konsumpositionen der privaten Haushalte:

Ausgaben für

- (i) Services für den privaten Transport (durch den Einsatz von Benzin und Diesel)
- (ii) Services für Beheizung (durch den Einsatz von festen Brennstoffen, Öl, Gas, Fernwärme)
- (iii) Services für elektrizitätsverbrauchende Geräte (durch den Einsatz von Elektrizität)
- (iv) Nahrungsmittel, Getränke, Tabak

---

<sup>4</sup>) In (13) wird auf die explizite Ausweisung eines Zeitindex  $t$  verzichtet.

(v) Bekleidung und Schuhe

(vi) Andere (Nicht)-Energiegüter

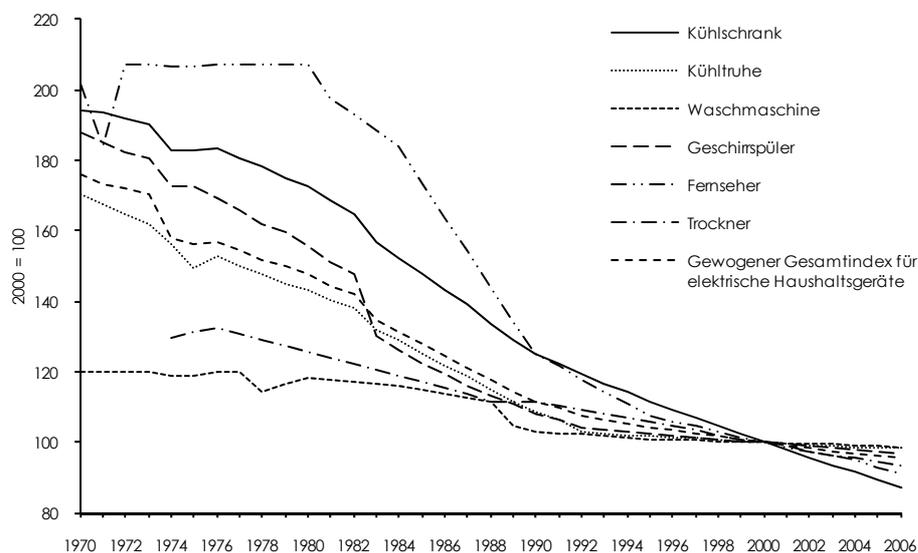
Informationen über die angeführten Ausgabengruppen sowie die unterschiedlichen Variablen, die in unserem vorher angeführten Modellansatz Verwendung finden, gibt es in Form von Zeitreihenbeobachtungen auf aggregiertem Niveau hauptsächlich im Rahmen der VGR (Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung) sowie in Konsumerhebungen auf Basis von Querschnittsdaten.

Die Zeitreihendaten im Rahmen der VGR enthalten Informationen über Preise und Einkommen, die wir in unserem Zeitreihenmodell verwenden. Ergänzt werden diese Informationen um von uns berechnete Daten über die Energieeffizienz der energieverbrauchenden Geräte im Bereich Heizung, Elektrizität und Automobilität. Für elektrische Geräte und Heizung (einschließlich Warmwasser) war die ODYSSEE Datenbank die hauptsächliche Informationsquelle für die Beobachtungsperiode 1970 bis 2006 (elektrische Geräte) bzw. 1990 bis 2006 (Heizung, Warmwasser). Diese wurde dankenswerterweise von Reinhard Jellinek (Austrian Energy Agency) zur Verfügung gestellt. Diese Datenbank enthält Indikatoren für die Effizienz ("specific consumption") unterschiedlicher elektrizitätsverbrauchender Geräte und Anlagen im Haushalt, die mit Hilfe von ebenfalls enthaltenen Daten über die Aufteilung des Verbrauches von Elektrizität auf einzelne Geräte ("unit consumption") auf einen Indikator für die Effizienz des Elektrizitätsverbrauches umgerechnet wurde. Außerdem enthält die ODYSSEE Datenbank technische Indikatoren für die Effizienz in den Energieanwendungen Heizung einschließlich Warmwasser und Kochen, die direkt als Effizienzindikatoren übernommen werden konnten.

Als Indikator für die Effizienz im Bereich Automobilität wurde im WIFO ein eigener Datensatz für den Durchschnittsverbrauch der österreichischen Pkw-Flotte konstruiert. Dabei wird von einer Erfassung von einzelnen Pkw-Typen in der Pkw-Bestandsstatistik ausgegangen, die 60% des Gesamtbestandes abbilden. Für diese wurde mit zusätzlichen technischen Quellen ein Datensatz zu Hubraum, Motorleistung, Gewicht und Durchschnittsverbrauch erhoben. Eine ausführliche Beschreibung der Konstruktion dieses Datensatzes findet sich in *Meyer - Wessely* (2009).

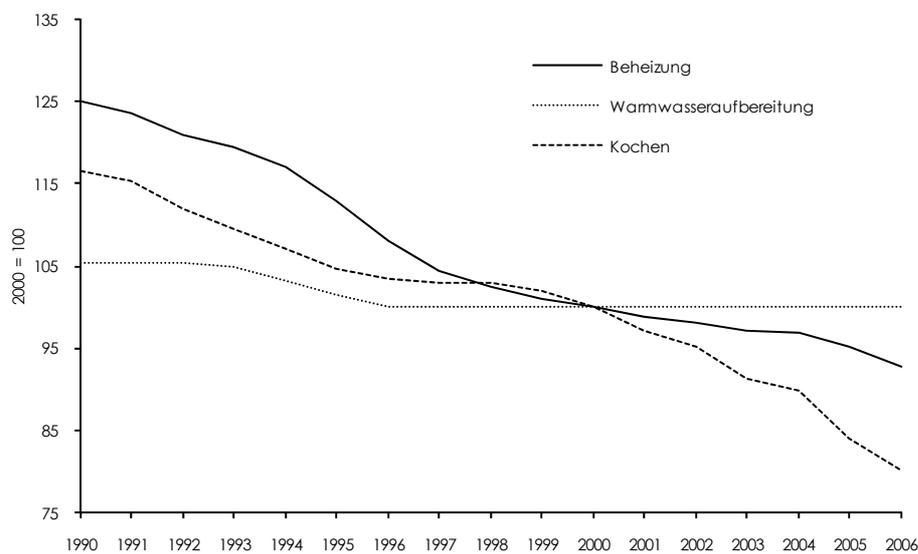
Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der Effizienz von einzelnen elektrizitätsverbrauchenden Haushaltsgeräten und den gewogenen Gesamtindex für Elektrizität, der - wie oben beschrieben - mit Hilfe der Aufteilung des Verbrauches auf Geräte ("unit consumption") konstruiert wurde. Das Gleiche wird in Abbildung 2 für Beheizung einschließlich Warmwasseraufbereitung und Kochen dargestellt und in Abbildung 3 für die Benzin- und Diesel-Pkw-Flotte sowie für die gesamte Fahrzeugflotte in Diesel-Äquivalenzeinheiten. Diese Abbildungen zeigen, dass es im Beobachtungszeitraum zu signifikanten Verbesserungen in der Energieeffizienz des energierelevanten Kapitalstocks der Haushalte gekommen ist. Das betrifft insbesondere die elektrizitätsverbrauchenden Haushaltsgeräte und die PKW-Flotte. Weniger ausgeprägt ist diese Entwicklung bei den Heizsystemen und Geräten zur Warmwasseraufbereitung.

Abbildung 1: Entwicklung der Effizienz elektrizitätsverbrauchender Haushaltsgeräte in Österreich



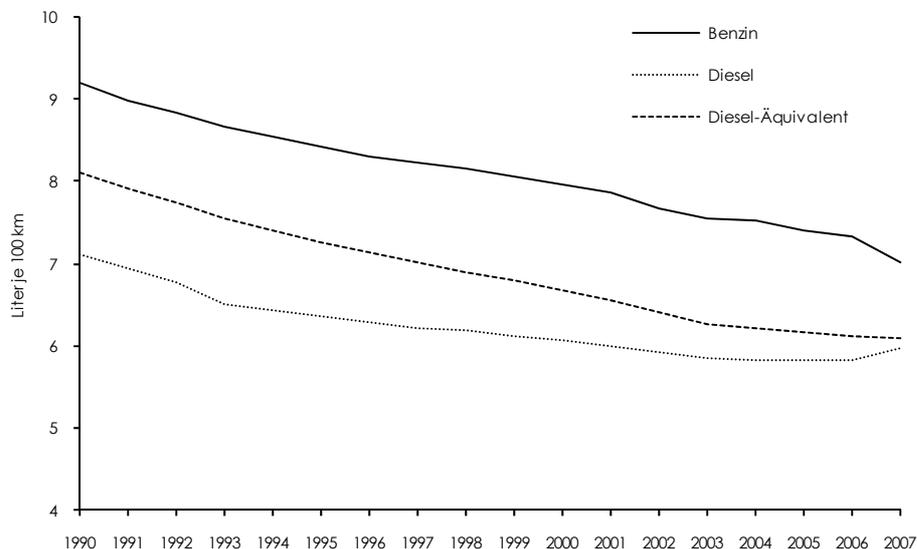
Q: ODYSSE-Datenbank, WIFO-Berechnungen.

Abbildung 2: Entwicklung der Effizienz für Heizung/Warmwasser und Kochen in Österreich



Q: ODYSSEE- Datenbank, WIFO-Berechnungen.

Abbildung 3: Entwicklung der Effizienz (inverser Durchschnittsverbrauch) der PKW-Flotte in Österreich



Q: Meyer - Wessely (2009).

Übersicht 1 zeigt dann die darauf beruhenden Berechnungsergebnisse für die Effizienzentwicklung nach Energieträgern, die zu einem Auseinanderklaffen zwischen Energiepreis und "Service"preis führt.

Übersicht 1: Energiepreis und "Service"preis

|      | Treibstoffe  |                | Beheizung    |                | Elektrizität |                |
|------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|
|      | Energiepreis | "Service"preis | Energiepreis | "Service"preis | Energiepreis | "Service"preis |
|      | 2000 = 100   |                |              |                |              |                |
| 1990 | 70,8         | 85,9           | 82,5         | 101,2          | 84,6         | 94,5           |
| 1991 | 69,4         | 82,1           | 85,0         | 103,4          | 85,5         | 93,9           |
| 1992 | 74,0         | 85,6           | 84,6         | 100,7          | 87,0         | 93,7           |
| 1993 | 72,5         | 81,9           | 84,2         | 99,2           | 88,6         | 94,4           |
| 1994 | 74,8         | 82,9           | 84,2         | 97,1           | 89,6         | 94,4           |
| 1995 | 80,0         | 87,0           | 83,8         | 93,5           | 90,9         | 94,9           |
| 1996 | 86,3         | 92,0           | 88,2         | 94,6           | 95,9         | 99,3           |
| 1997 | 88,5         | 92,9           | 92,0         | 95,5           | 98,5         | 101,1          |
| 1998 | 83,8         | 86,7           | 88,4         | 90,3           | 98,5         | 100,2          |
| 1999 | 85,2         | 86,7           | 89,3         | 90,2           | 97,8         | 98,6           |
| 2000 | 100,0        | 100,0          | 100,0        | 100,0          | 100,0        | 100,0          |
| 2001 | 96,2         | 94,5           | 104,7        | 103,7          | 102,1        | 101,3          |
| 2002 | 93,6         | 89,8           | 103,2        | 101,3          | 99,0         | 97,4           |
| 2003 | 93,9         | 88,0           | 104,6        | 101,9          | 100,0        | 97,6           |
| 2004 | 102,0        | 94,8           | 111,7        | 108,6          | 102,7        | 99,5           |
| 2005 | 114,0        | 105,0          | 123,5        | 118,0          | 105,8        | 101,8          |
| 2006 | 122,4        | 111,9          | 132,0        | 123,3          | 109,5        | 104,6          |

Q: Statistik Austria, WIFO-Berechnungen.

Die Querschnittserhebungen liefern Informationen über Einkommen und soziodemographische Faktoren, die relevant für die Energienachfrage sind, wie Gebäudecharakteristika (Errichtungsjahr, Wohnungsgröße) und Bevölkerungsdichte. Wir verwenden die Konsumerhebung 2004/2005 von Statistik Austria mit Daten über Einkommen und Konsumausgaben von rund 8.500 Haushalten. Um die soziodemographischen Faktoren berücksichtigen zu können, die wir für unsere Analyse benötigen (Errichtungsjahr und Größe der Wohnung, Bevölkerungsdichte), mussten wir ein Sub-Sample von 3.500 Haushalten auswählen.

Für das "gekoppelte Modell" musste Information über die soziodemographischen Faktoren im Zeitablauf gesammelt werden. Für das Errichtungsjahr und die Wohnungsgröße lieferte der Mikrozensus von Statistik Austria die notwendige Information. In Übersicht 2 und Übersicht 3 zeigen sich markante Verschiebungen in der Haushaltsstruktur bezüglich dieser beiden Merkmale. Im Fall des Errichtungsjahres haben die Anteile aller vor 1980 errichteten Wohnungen insgesamt zwischen 1990 und 2006 erwartungsgemäß stark abgenommen (um nahezu 18 Prozentpunkte). Im Falle der Wohnungsgröße hat der Anteil von Wohnungen mit mehr als 110 m<sup>2</sup> zwischen 1990 und 2006 um 10 Prozentpunkte zugenommen. Das bedeutet einen Anstieg der durchschnittlichen Wohnungsgröße zwischen 1990 und 2006 um etwa 7 m<sup>2</sup>. Für die Bevölkerungsdichte lagen zunächst nur Daten aus den Volkszählungen 1991 und 2001 vor. Diese mussten mit Hilfe von Daten aus dem Mikrozensus (ein Sub-Sample der Volkszählung) zur regionalen Bevölkerungsverteilung kombiniert werden, um die gesamtösterreichische Bevölkerungsdichte zu interpolieren. In Übersicht 4 zeigt sich, dass die Strukturverschiebung in den Haushalten bezüglich dieses Charakteristikums zwischen 1990 und 2006 wesentlich geringer war als bezüglich der Wohnungscharakteristika.

*Übersicht 2: Haushalte nach Errichtungsjahr der Wohnung*

|      | Vor 1945 | 1945 bis 1980<br>Anteile in % | Nach 1980 |
|------|----------|-------------------------------|-----------|
| 1990 | 34,6     | 52,4                          | 12,9      |
| 1991 | 33,9     | 51,9                          | 14,2      |
| 1992 | 33,5     | 51,2                          | 15,3      |
| 1993 | 33,2     | 50,6                          | 16,2      |
| 1994 | 32,0     | 49,5                          | 18,5      |
| 1995 | 31,3     | 48,7                          | 20,0      |
| 1996 | 30,5     | 48,0                          | 21,5      |
| 1997 | 29,6     | 47,7                          | 22,7      |
| 1998 | 29,1     | 46,8                          | 24,1      |
| 1999 | 28,3     | 46,0                          | 25,7      |
| 2000 | 27,7     | 45,4                          | 26,8      |
| 2001 | 27,3     | 44,6                          | 28,2      |
| 2002 | 26,8     | 44,3                          | 28,9      |
| 2003 | 26,9     | 44,0                          | 29,1      |
| 2004 | 25,7     | 44,3                          | 29,9      |
| 2005 | 25,0     | 43,6                          | 31,4      |
| 2006 | 25,9     | 43,5                          | 30,6      |

Q: Mikrozensus, WIFO-Berechnungen.

*Übersicht 3: Haushalte nach Wohnnutzfläche*

|      | Bis 60 m <sup>2</sup> | 60 bis 110 m <sup>2</sup><br>Anteile in % | Mehr als 110 m <sup>2</sup> |
|------|-----------------------|---|-----------------------------|
| 1990 | 27,8                  | 48,0                                      | 24,2                        |
| 1991 | 27,8                  | 47,5                                      | 24,8                        |
| 1992 | 27,4                  | 47,5                                      | 25,1                        |
| 1993 | 26,7                  | 47,6                                      | 25,6                        |
| 1994 | 26,8                  | 47,4                                      | 25,8                        |
| 1995 | 25,9                  | 47,3                                      | 26,8                        |
| 1996 | 25,0                  | 47,8                                      | 27,2                        |
| 1997 | 24,3                  | 47,9                                      | 27,8                        |
| 1998 | 24,1                  | 47,9                                      | 28,0                        |
| 1999 | 23,4                  | 47,9                                      | 28,7                        |
| 2000 | 22,8                  | 48,0                                      | 29,1                        |
| 2001 | 22,4                  | 47,9                                      | 29,7                        |
| 2002 | 22,0                  | 47,8                                      | 30,2                        |
| 2003 | 21,5                  | 46,9                                      | 31,6                        |
| 2004 | 21,0                  | 46,1                                      | 32,9                        |
| 2005 | 20,6                  | 45,7                                      | 33,6                        |
| 2006 | 20,5                  | 45,3                                      | 34,2                        |

Q: Mikrozensus, WIFO-Berechnungen.

*Übersicht 4: Haushalte nach Bevölkerungsdichte*

|      | Hoch | Mittel<br>Anteile in % | Gering |
|------|------|------------------------|--------|
| 1990 | 25,0 | 28,4                   | 46,6   |
| 1991 | 24,8 | 28,6                   | 46,6   |
| 1992 | 24,6 | 28,9                   | 46,5   |
| 1993 | 24,4 | 29,1                   | 46,5   |
| 1994 | 24,3 | 29,3                   | 46,4   |
| 1995 | 24,1 | 29,5                   | 46,4   |
| 1996 | 23,9 | 29,7                   | 46,3   |
| 1997 | 23,8 | 30,0                   | 46,3   |
| 1998 | 23,6 | 30,2                   | 46,2   |
| 1999 | 23,4 | 30,4                   | 46,2   |
| 2000 | 23,3 | 30,6                   | 46,1   |
| 2001 | 23,1 | 30,9                   | 46,1   |
| 2002 | 22,8 | 30,7                   | 46,5   |
| 2003 | 22,6 | 30,5                   | 47,0   |
| 2004 | 22,3 | 30,3                   | 47,4   |
| 2005 | 22,0 | 30,1                   | 47,9   |
| 2006 | 21,8 | 29,9                   | 48,4   |

Q: Mikrozensus, Volkszählung, WIFO-Berechnungen. Hoch . . . Gebiete mit mindestens 50.000 Einwohnern und mehr als 500 Einwohner je km<sup>2</sup>, Mittel . . . Gebiete mit mindestens 50.000 Einwohnern und 100 bis 499 Einwohnern je km<sup>2</sup>, Gering . . . alle übrigen Gebiete Österreichs.

### 3. Empirische Ergebnisse

Um die Parameter des "gekoppelten Modells" (Gleichung (13)) zu ermitteln, das zur Abbildung der Energienachfrage der privaten Haushalte konstruiert wurde, wurden zunächst die AIDS-Ansätze auf Basis von Querschnitts- (Gleichung (5)) und Zeitreihendaten (Gleichung (4)) geschätzt, wobei im Zeitreihenmodell ein SUR (Seemingly Unrelated Regressions)-Systemenschätzer unter den allgemein gültigen Nebenbedingungen (Homogenität, Symmetrie) angewendet wurde. Da die Qualität der Einkommensinformation auf der Querschnittsebene - wie oben erwähnt - besser ist, wurde die Einkommenselastizitätsschätzung auf Querschnittsebene für Parameterrestriktionen des Einkommensparameters (Gleichung (11)) und damit zusammenhängend des Eigenpreisparameters (Gleichung (12)) auf der Zeitreihenebene verwendet. Die übrigen Preisparameter wurden unrestringiert im Zeitreihenansatz geschätzt, weil - wie oben bereits erwähnt - die Preisinformation im Zeitreihendatensatz eine größere Varianz aufweist als in den Querschnittsdaten, die nur regionale Preisdifferenzierung aufweisen. Der Einfluss der soziodemographischen Faktoren kann nur auf Querschnittsebene identifiziert werden und zwar als absoluter Wert ( $\beta_j$ ). Um diesen in das Zeitreihenmodell einbauen zu können, musste er, wie vorher beschrieben, in einen konsistenten relativen Wert ( $\beta_j$ ) umgewandelt werden, der ins Zeitreihenmodell gewogen mit den Merkmalsanteilen ( $wd_j$ ) eingeht. Auf diese Weise wurden alle Parameter des gekoppelten Modells identifiziert, das als eine ökonometrische Kalibrierung der unterschiedlichen Einflussfaktoren auf die Energienachfrage der privaten Haushalte aufgefasst werden kann.

Der Einfluss der ökonomischen Faktoren Einkommen und Preise auf die Nachfrage der privaten Haushalte kann am besten mit Hilfe von Elastizitäten angegeben werden. Diese sind in Übersicht 5 aufgelistet. Demnach reagiert die Nachfrage nach Energie nicht sehr elastisch auf Einkommens-(Gesamtkonsum)-änderungen. Die Elastizitäten sind kleiner als eins, sodass die Energieausgaben nur unterproportional auf Schwankungen des Einkommens-(Gesamtkonsum)-niveaus reagieren. Ein 1%-iger Einkommens-(Gesamtkonsum)-anstieg zieht einen Nachfrageanstieg bei Treibstoffen von 0,48%, bei Heizung von 0,31% und bei Elektrizität von 0,33% nach sich.

Übersicht 5: Preis- und Einkommenselastizitäten

|                                   | Nahrungsmittel,<br>Getränke | Bekleidung | Treibstoffe | Beheizung | Elektrizität | Andere<br>Konsumgüter |
|-----------------------------------|-----------------------------|------------|-------------|-----------|--------------|-----------------------|
| Unkompensierte Preiselastizitäten |                             |            |             |           |              |                       |
| Nahrungsmittel,<br>Getränke       | - 0,1111                    | 0,2601     | 0,1510      | - 0,0568  | - 0,1037     | - 0,7296              |
| Bekleidung                        | 0,4606                      | - 1,5953   | - 0,0473    | 0,0294    | 0,0363       | 0,0607                |
| Treibstoffe                       | 0,7906                      | - 0,0866   | - 0,4750    | 0,1238    | 0,1844       | - 1,0161              |
| Beheizung                         | - 0,3496                    | 0,1460     | 0,1666      | - 0,2699  | - 0,3819     | 0,3786                |
| Elektrizität                      | - 0,4591                    | 0,1979     | 0,3050      | - 0,4760  | - 0,1241     | 0,2217                |
| Andere Konsumgüter                | - 0,8043                    | 0,8383     | - 0,1923    | 0,5793    | 0,3331       | - 1,8602              |
| Kompensierte Preiselastizitäten   |                             |            |             |           |              |                       |
| Nahrungsmittel,<br>Getränke       | - 0,0389                    | 0,2966     | 0,1650      | - 0,0461  | - 0,0952     | - 0,2813              |
| Bekleidung                        | 0,5893                      | - 1,5301   | - 0,0223    | 0,0485    | 0,0515       | 0,8629                |
| Treibstoffe                       | 0,8490                      | - 0,0570   | - 0,4635    | 0,1325    | 0,1913       | - 0,6522              |
| Beheizung                         | - 0,3117                    | 0,1651     | 0,1740      | - 0,2642  | - 0,3774     | 0,6142                |
| Elektrizität                      | - 0,4183                    | 0,2186     | 0,3129      | - 0,4700  | - 0,1193     | 0,4760                |
| Andere Konsumgüter                | - 0,6694                    | 0,9068     | - 0,1661    | 0,5993    | 0,3491       | - 1,0197              |
| Einkommenselastizitäten           | 0,5899                      | 1,0557     | 0,4788      | 0,3101    | 0,3347       | 1,1061                |

Q: WIFO-Berechnungen.

Die ermittelten Eigenpreiselastizitäten sind erwartungsgemäß negativ<sup>5)</sup>. Sie sind relativ niedrig. Gleiches gilt für die Kreuzpreiselastizitäten, mit denen Wechselbeziehungen in der Nachfrage erfasst werden. Der Vorteil unseres Modellansatzes liegt, wie bereits erwähnt, darin, dass wir Wechselbeziehungen umfassend abbilden, sowohl innerhalb der Energienachfrage als auch zwischen Energie und anderen Konsumgütern.

Eine positive (kompensierte) Kreuzpreiselastizität zwischen zwei Ausgabengruppen impliziert eine substitutive<sup>6)</sup> Beziehung zueinander, eine negative eine komplementäre<sup>7)</sup>. Demnach besteht innerhalb der Energienachfrage eine substitutive Beziehung zwischen Treibstoffen und Heizung sowie zwischen Treibstoffen und Elektrizität und eine komplementäre zwischen Heizung und Elektrizität. Die substitutive Beziehung ergibt sich aus den Präferenzen der Haushalte und deren Budgetbeschränkung, die komplementäre Beziehung zwischen Heizung und Elektrizität könnte auf technologische Faktoren zurückzuführen sein (z.B. Wärmepumpen als Unterstützung von Heizsystemen).

Mit Hilfe der Preiselastizitäten können auch die vorher erwähnten Reboundeffekte quantifiziert werden. Unsere Ergebnisse liefern einen Reboundeffekt - gemessen an der

5) Preisanstiege ziehen einen Nachfragerückgang nach sich Preisrückgänge Nachfragezuwächse.

6) Ein Preisanstieg (Preisrückgang) des einen Gutes führt zu einem Nachfrageanstieg (Nachfragerückgang) des anderen.

7) Ein Preisanstieg (Preisrückgang) des einen Gutes führt zu einem Nachfragerückgang (Nachfrageanstieg) des anderen.

unkompensierten Preiselastizität, die Substitutions- und Einkommenseffekt berücksichtigt - von 48% bei Treibstoffen, von 27% für Heizungsenergie und von 12% für Elektrizität. Dabei dominiert der Substitutionseffekt den Einkommenseffekt deutlich, d. h., die Reaktionen auf Preisänderungen sind stärker als die Reaktionen auf die dadurch ausgelösten Realeinkommensänderungen (*Kratena - Meyer - Wüger, 2008*). Im Vergleich zu anderen Studien liegen unsere Werte am oberen Ende der Ergebnisskala. Für Heizung (einschließlich Warmwasser) wurden Reboundeffekte zwischen 10% und 30% ermittelt (*Greening et al., 2000*). *Graham - Glaister (2002)* berichten von Reboundeffekten in der Größenordnung zwischen 20% und 30% für Treibstoffe. Der von uns ermittelte hohe Wert von 48% liegt außerhalb dieses Intervalls. Das muss in Zusammenhang mit dem "Tanktourismus" gesehen werden. Wegen des im Vergleich zu den Nachbarländern niedrigen Preisniveaus in Österreich in den neunziger Jahren, muss ein Gutteil des Anstiegs der Treibstoffnachfrage in Österreich ausländischen Haushalten zugeschrieben werden. Studien über den "Tanktourismus" für die Schweiz (*Banfi et al., 2005*) zeigen, dass Modelle, die Arbitrageaktivitäten im Grenzgebiet berücksichtigen, zu deutlich niedrigeren Preiselastizitäten (für den heimischen Verbrauch) kommen. Berücksichtigt man die Schwankungsbreite der Parameterschätzungen bei den Elastizitätsberechnungen, so kann für Österreich ein Reboundeffekt von 30% bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1% nicht ausgeschlossen werden. Unter Berücksichtigung dieser Fakten dürfte sich der Reboundeffekt der Treibstoffnachfrage der österreichischen Haushalte um die 30% bewegen.

In der Beobachtungsperiode kam es, wie vorher dargestellt, zu signifikanten Verbesserungen in der Effizienz des Kapitalstocks der privaten Haushalte. Änderungen in der Effizienz führen zu Änderungen im Preissystem und über die oben angeführten Kreuzpreiseffekte zu Nachfrageänderungen in allen Energiekategorien. Auch die Verteilung der Haushalte nach den in unserem Modell erfassten soziodemographischen Faktoren hat sich in der Beobachtungsperiode, wie vorher dargestellt, deutlich verändert. Wie sich diese Entwicklungen auf die Energienachfrage ausgewirkt hat, kann mit Hilfe zweier Simulationen mit unserem Modell demonstriert werden.

In der ersten Simulation unterstellen wir, dass die Verteilung der Haushalte nach den soziodemographischen Faktoren während der gesamten Beobachtungsperiode auf dem Niveau des Ausgangsjahres (1990) verharrt, in der zweiten, dass sich die technologische Effizienz des Kapitalstocks der privaten Haushalte seit 1990 nicht verändert hätte. Die erste Simulation liefert Ergebnisse über die Auswirkungen von Lebensstilen auf die Energienachfrage, die in den soziodemographischen Faktoren abgebildet werden, die zweite misst den Einfluss der Technologie auf die Energienachfrage.

Wie aus Übersicht 6 hervorgeht, ging von den soziodemographischen Faktoren der größte Einfluss auf die Elektrizitätsnachfrage aus, die ohne Änderungen in den Lebensumständen um 11% niedriger als im aktuellen Jahr 2006 ausfallen würde. Für Heizung liegt der ermittelte Rückgang noch bei 7%, während für Treibstoffe der Einfluss der soziodemographischen Faktoren vernachlässigbar gering ausfällt (Rückgang weniger als 1%). Die einzelnen

soziodemographischen Faktoren können sich unterschiedlich auf die Nachfrage nach einem Energieträger auswirken. Im Fall der Heizungsenergie wirkt der Anstieg der Nutzfläche im Zeitraum 1990 bis 2006 um insgesamt 11% verbrauchserhöhend, während die Verschiebung der Altersstruktur der Gebäude die Energienachfrage um 4% dämpft. In dieser Altersstruktur der Gebäude ist auch ein Einfluss einer technologischen Komponente enthalten (Effizienz des Gebäudebestandes). Für Elektrizität wirken alle drei soziodemographischen Faktoren im Beobachtungszeitraum mit unterschiedlicher Intensität verbrauchserhöhend. Erwartungsgemäß hat die Nutzfläche mit Abstand den größten Einfluss auf die Elektrizitätsnachfrage. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Entwicklung der soziodemographischen Faktoren zwischen 1990 und 2006 den Energieverbrauch der Haushalte signifikant erhöht hat.

*Übersicht 6: Effekt auf die Energienachfrage 2006 bei Lebensstil und Technologie von 1990*

|                                      | Treibstoffe | Beheizung<br>Differenz in % | Elektrizität |
|--------------------------------------|-------------|-----------------------------|--------------|
| <i>Soziodemographische Variablen</i> |             |                             |              |
| Gesamteffekt                         | - 0,86      | - 7,33                      | - 10,82      |
| Errichtungsjahr                      | 0,01        | 3,98                        | - 0,61       |
| Nutzfläche                           | - 0,30      | - 10,63                     | - 8,50       |
| Bevölkerungsdichte                   | - 0,56      | - 0,68                      | - 1,70       |
| <i>Technologische Variablen</i>      |             |                             |              |
| Gesamteffekt                         | 18,03       | 15,90                       | 8,55         |
| Effizienz, Treibstoffe               | 12,83       | 3,82                        | 8,28         |
| Effizienz, Beheizung                 | 2,76        | 17,59                       | - 13,46      |
| Effizienz, Elektrizität              | 2,45        | - 5,52                      | 13,73        |

Q: WIFO-Berechnungen.

Demgegenüber zeigen unsere Simulationsresultate, dass der technologische Wandel die Energienachfrage deutlich gedämpft hat, speziell für Treibstoffe und Heizung. Mit dem technologischen Niveau des Jahres 1990 wäre im Jahr 2006 der Treibstoffverbrauch um 18%, die Heizenergienachfrage um 16% höher. Für Strom fällt dieser Effekt mit 8,6% deutlich geringer aus. Aufgrund von Kreuzpreis- und Einkommenseffekten bewirkt eine Veränderung der Effizienz in der Anwendung eines Energieträgers auch Veränderungen im Verbrauch von anderen Energieträgern. Das sieht man am Beispiel des Effektes des technologischen Wandels für Heizung auf Elektrizität. Wenn das technologische Niveau der Heizsysteme auf dem Niveau von 1990 geblieben wäre, dann würde im Jahr 2006 um rund 13% weniger Elektrizität verbraucht. Diese Wechselbeziehungen können durch die Natur des technologischen Wandels selbst (z. B. verstärkter Einsatz von Wärmepumpen) erklärt werden.

In Übersicht 6 sieht man auch die relative Bedeutung von technologischem und soziodemographischem Wandel auf die Energienachfrage der Haushalte. Für die Treibstoffnachfrage ist der technologische Wandel wesentlich bedeutender als die

Veränderung in den soziodemographischen Faktoren. Für Heizung machen die soziodemographischen Faktoren ungefähr halb so viel aus wie der technologische Wandel. Dabei muss bedacht werden, dass der Effekt des Errichtungsjahres, der hier als soziodemographischer Faktor betrachtet wird, auch eine technologische Komponente enthält. Für Elektrizität ist der Beitrag von technologischem und soziodemographischem Wandel relativ ausgewogen.

Insgesamt sieht man, dass der verbrauchsdämpfende Einfluss des technologischen Wandels auf die Energienachfrage zumindest teilweise und in manchen Bereichen (Elektrizität) zur Gänze kompensiert wird durch den verbrauchserhöhenden Einfluss der Lebensstile. Da gleichzeitig im Zeitraum 1990 bis 2006 die Energienachfrage der Haushalte deutlich angestiegen ist, haben hauptsächlich ökonomische Faktoren (Einkommen, Preise) die Energienachfrage getrieben.

#### **4. Schlussfolgerungen**

Der in unserer Studie verwendete Modellrahmen kann als eine ökonometrische Kalibrierung von ökonomischen (Einkommen, Preisen), technologischen (Effizienz der energieverwendenden Geräte) und soziodemographischen (Errichtungsjahr der Gebäude, Wohnungsgröße, Bevölkerungsdichte) Einflussfaktoren auf die Energienachfrage bezeichnet werden, wobei Informationen aus unterschiedlichen Datenstöcken auf Basis von Zeitreihen- und Querschnitterhebungen einfließen. Im Ansatz werden sowohl Energie- als auch Nichtenergiegüter modelliert, wodurch vielfältige Rückkoppelungseffekte erfasst werden können. Dieser Konsumblock kann in eine neue Version des disaggregierten gesamtwirtschaftlichen Modells PROMETEUS (*Kratena - Wüger, 2006*) eingebaut werden, wobei weitere gesamtwirtschaftliche Effekte erfasst werden können.

Der technologische Fortschritt hat in der Beobachtungsperiode die Energienachfrage gedämpft, insbesondere im Bereich Treibstoffe und Beheizung und Beleuchtung, weniger im Bereich Elektrizität. Trotz der technologischen Effizienzsteigerungen ist die Energienachfrage der privaten Haushalte im Beobachtungszeitraum jedoch deutlich angestiegen. Hauptgrund dafür war das ökonomische Umfeld. Das gestiegene Einkommen, der höhere Ausstattungsgrad mit energieverbrauchenden Haushaltsgeräten und die moderate und großteils stabile Preisentwicklung waren die Haupttriebfeder der Nachfrage. Konterkariert wurde der technische Fortschritt außerdem durch den so genannten "Reboundeffekt". Die durch die bessere Technologie ausgelöste Verbilligung der Energiedienstleistungen zog eine erhöhte Nachfrage nach den einzelnen Energieträgern nach sich und verringerte den potentiellen technologischen Einspareffekt um bis zu 30% und mehr. Auch soziodemographische Einflussfaktoren, die mit Lebensstilen in Verbindung stehen, haben zu einem Anstieg der Energienachfrage, insbesondere der Elektrizitätsnachfrage beigetragen. In diesem Bereich konnte der Anstieg der Effizienz nicht den Effekt des Lebensstils, der durch die soziodemographischen Faktoren erfasst wird, kompensieren.

Im Lichte dieser Ergebnisse ist es fraglich, ob eine Politik, die auf eine Reduktion der Energienachfrage der privaten Haushalte abstellt, allein auf technologische Effizienzverbesserungen setzen kann. Diese haben, isoliert betrachtet, zwar das Potential die Energienachfrage zu reduzieren, insbesondere in Bezug auf den Treibstoffverbrauch, ziehen gleichwohl beträchtliche Reboundeffekte nach sich und werden durch das Wachstum im Einkommen sowie durch eine moderate Preisentwicklung letztlich überkompensiert. Aus den Erfahrungen der Vergangenheit lässt sich daher ableiten, dass künftige energie- und klimapolitische Maßnahmen, die sich an Haushalte richten, ohne eine komplementäre Preis- bzw. Steuerpolitik nicht auskommen werden. Die Einführung einer (europaweiten) preiskompensierenden CO<sub>2</sub>-Steuer erscheint angesichts der vorliegenden Ergebnisse notwendig, um effizienzbasierte Servicepreisreduktionen zu neutralisieren, das Auftreten von Reboundeffekten zu minimieren und um das gesamte technische Effizienzpotential zu realisieren. Außerdem kann eine derartige Steuer die durch Zuwächse im Einkommen ausgelöste Nachfrage nach energierelevanten Konsumgütern und Serviceleistungen bremsen. Für die Erreichung der Reduktionsziele des EU Klima- und Energiepakets erscheint eine derartige preisbasierte Regulierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Haushaltssektors unerlässlich.

## Literaturhinweise

- Banfi, S., Filippini, M., Hund, L. C., "Fuel tourism in border regions: the case of Switzerland", *Energy Economics*, 2005, 27(5), S. 689-707.
- Berkhout, P. H., Muskens, J. C., Velthuisen, J. W., "Defining the rebound effect", *Energy Policy*, 2000, 28(6-7), S. 425-432.
- Brännlund, R., Ghalwash, T., Nordström, J., "Increased Energy Intensity and the Rebound Effect: Effects on Consumption and Emissions", *Energy Economics*, 2007, 29(1), S. 1-17.
- Carruth, A., Dickerson, A., "An asymmetric error correction model of UK consumer spending", *Applied Economics*, 2003, 35(6), S. 619-630.
- Davidson, J., Hendry, D., Srba, F., Yeo, S., "Econometric Modelling of the Aggregate Time-Series Relationship between Consumers' Expenditure and Income in the United Kingdom", *The Economic Journal*, 1978, 88(352), S. 661-692.
- Deaton, A., Muellbauer, J., "An Almost Ideal Demand System", *American Economic Review*, 1980, 70(3), S. 312-326.
- Graham, D. J., Glaister, S., "The Demand for Automobile Fuel, A Survey of Elasticities", *Journal of Transport Economics and Policy*, 2002, 36(1), S. 1-26.
- Green, R. D., Alston, J. M., "Elasticities in AIDS Models", *American Journal of Agricultural Economics*, 1990, 72(2), S. 442-445.
- Greening, L. A., Greene, D. L., Difiglio, C., "Energy efficiency and consumption - the rebound effect - a survey", *Energy Policy*, 2000, 28(6-7), S. 389-401.
- Khazzoom, J. D., "Economic Implications of Mandated Efficiency in Standards for Household Appliances", *The Energy Journal*, 1980, 1(4), S. 21-39.
- Khazzoom, J. D., "Energy Savings from More Efficient Appliances: A Rejoinder", *The Energy Journal*, 1989, 10(1), S. 157-166.
- Kletzan, D., Köppl, A., Kratena, K., Wüger, M., "Ökonomische Modellierung nachhaltiger Strukturen im privaten Konsum. Am Beispiel Raumwärme und Verkehr, Studie des WIFO im Auftrag des Bundesministeriums für

- Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, Juli 2002.
- Köppl, A., Wüger, M., "Energienachfrage der privaten Haushalte für Wohnen und Verkehr", WIFO-Monatsberichte, 2007, 80(11), S. 875-891.
- Kratena, K., Meyer, I., "Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen in Österreich. Die Rolle von Energieeffizienz und Energieträgersubstitution", WIFO-Monatsberichte, 2007, 80(11), S. 893-907.
- Kratena, K., Wüger, M., "PROMETEUS: Ein multisektorales makroökonomisches Modell der österreichischen Wirtschaft", WIFO-Monatsberichte, 2006, 79(3), S. 187-205.
- Kratena, K., Meyer, I., Wüger, M., Modelling the Energy Demand of Households in a Combined Top Down/Bottom Up Approach, WIFO Working Papers, 2008, (321).
- Kratena, K., Meyer, I., Wüger, M., The Impact of Technological Change and Lifestyles on the Energy Demand of Households. A Combination of Aggregate and Individual Household Analysis, WIFO Working Papers, Februar 2009, (334).
- Labandeira, X., Labeaga, J. M., Rodriguez, M., "A Residential Energy Demand System for Spain", The Energy Journal, 2006, 27(2), S. 87-111.
- Meyer, I., Wessely, S., Fuel Efficiency of the Austrian Passenger Vehicle Fleet - Analysis of Trends in the Technological Profile and Related Impacts on CO<sub>2</sub>-Emissions, Energy Policy Special Issue Carbon in Motion, in press, 2009.
- Nichèle, V., Robin, J. M., "Simulation of Indirect Tax Reforms Using Pooled Micro and Macro French Data", Journal of Public Economics, 1995, 56(2), S. 225-244.
- Salmon, M., "Error Correction Mechanisms", The Economic Journal, 1982, 92(367), S. 615-629.
- Thury, G., Wüger, M., "Schätzung einer datenkonformen Konsumfunktion für nichtdauerhafte Konsumgüter und Dienstleistungen", WIFO-Monatsberichte, 1994, 67(12), S. 680-688.
- Thury, G., Wüger, M., "The treatment of seasonality in error correction models as unobserved component: a case study for an Austrian consumption function", Empirical Economics, 2001, 26(2), S. 325-341.
- Xiao, N., Zarnikou, J., Damien, P., „Testing Functional Forms in Energy Modeling: an Application of the Bayesian Approach to U.S. Electricity Demand“, Energy Economics, 2007, S. 158-166.

© 2009 Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung

Medieninhaber (Verleger), Hersteller: Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung • Wien 3, Arsenal, Objekt 20 • A-1103 Wien, Postfach 91 • Tel. (43 1) 798 26 01-0 • Fax (43 1) 798 93 86 • <http://www.wifo.ac.at/> • Verlags- und Herstellungsort: Wien

Die Working Papers geben nicht notwendigerweise die Meinung des WIFO wieder

Kostenloser Download: [http://www.wifo.ac.at/www/jsp/index.jsp?fid=23923&id=36141&typeid=8&display\\_mode=2](http://www.wifo.ac.at/www/jsp/index.jsp?fid=23923&id=36141&typeid=8&display_mode=2)