

Kurt Kratena, Ina Meyer, Michael Wüger

Ökonomische, technologische und soziodemographische Einflussfaktoren der Energienachfrage

Trotz der Effizienzsteigerung durch den technologischen Fortschritt wuchs die Energienachfrage der privaten Haushalte in den letzten Jahrzehnten deutlich. Dafür waren insbesondere der Anstieg der Einkommen, die verbesserte Ausstattung mit energieverbrauchenden Haushaltsgeräten und die mäßige Energiepreisentwicklung bestimmend. Auch soziodemographische Einflussfaktoren (Änderung der Lebensstile) trugen zum Anstieg der Energienachfrage, insbesondere der Elektrizitätsnachfrage bei. Vor diesem Hintergrund ist es fraglich, ob eine Politik, die auf eine Senkung der Energienachfrage der privaten Haushalte abstellt, allein auf technologische Effizienzverbesserungen setzen kann. Die vorliegende Arbeit ermittelt auf Basis von Zeitreihen- und Querschnittsdaten konsistente Reaktionsparameter der wichtigsten Einflussfaktoren der Energienachfrage privater Haushalte. Mit Hilfe eines Modells der Gesamtkonsumnachfrage werden zudem die Rückkoppelungseffekte in der Nachfrage erfasst. Aus den Ergebnissen der Analyse und den Erfahrungen der Vergangenheit lässt sich ableiten, dass künftige energie- und klimapolitische Maßnahmen ohne eine komplementäre Preis- bzw. Steuerpolitik nicht auskommen werden.

Der vorliegende Beitrag beruht auf folgender Studie des WIFO: Kurt Kratena, Ina Meyer, Michael Wüger, *The Impact of Technological Change and Lifestyles on the Energy Demand of Households. A Combination of Aggregate and Individual Household Analysis* (WIFO Working Papers, 334/2009, http://www.wifo.ac.at/www/jsp/index.jsp?fid=23923&id=35120&typeid=8&display_mode=2) • Begutachtung: Daniela Kletzan-Slamanig • Wissenschaftliche Assistenz: Martina Agwi • E-Mail-Adressen: Kurt.Kratena@wifo.ac.at, Ina.Meyer@wifo.ac.at, Michael.Wueger@wifo.ac.at

Welche Bedeutung die Energienachfrage der privaten Haushalte für eine nachhaltige Wirtschaftsentwicklung hat (Kletzan *et al.*, 2002, Köppl – Wüger, 2007, Kratena – Meyer, 2007), ergibt sich einerseits aus Größe und Gewicht der Konsumnachfrage gemessen an der Gesamtwirtschaft und am gesamten Energieverbrauch. Andererseits erscheint es vor dem Hintergrund des EU-Klima- und -Energiepakets notwendig, 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 privater Haushalte umfassen.

Um den Einfluss von technologischen Effizienzverbesserungen und Lebensstilen auf die Energienachfrage der Haushalte zu ermitteln, integriert die dem vorliegenden Beitrag zugrundeliegende Studie (Kratena – Meyer – Wüger, 2009) Technologievariable und soziodemographische Einflussfaktoren der Energienachfrage in ein Nachfragemodell der privaten Haushalte, das sowohl Energie- als auch Nichtenergiegüter umfasst. Die gesamte Haushaltsnachfrage wird daher sowohl von ökonomischen Variablen wie Einkommen und Preisen 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-Ansatz (Almost Ideal Demand System; Deaton – Muellbauer, 1980). Neben den ökonomischen Faktoren soll so insbesondere der oft vernachlässigte 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 isoliert werden, um daraus Schlussfolgerungen für die Energiepolitik zu ziehen.

Der Modellansatz

Die Energienachfrage der privaten Haushalte weist Spezifika auf, die bei der Modellierung zu berücksichtigen sind (Köppel – Wüger, 2007). Die von den privaten Haushalten nachgefragten Energiedienstleistungen (Services) werden mit unterschiedlichen Technologien unter Einsatz von Energieträgern produziert. So wird etwa "Mobilität" entweder durch öffentliche (z. B. Bahn, Bus) oder private Verkehrsmittel (z. B. Auto, Flugzeug) befriedigt, wobei unterschiedliche Energieträger zum Einsatz kommen (z. B. Benzin, Dieselkraftstoff, Strom). Raumwärme kann mit verschiedenen Heizungssystemen (z. B. Einzelofen, Zentralheizung, Fernwärme), Gebäudetechnologien und Energieträgern (z. B. Holz, Kohle, Gas) unterschiedlich effizient produziert werden.

Rückwirkungen auf die Energienachfrage hat daher auch die Qualität des von den Haushalten eingesetzten Kapitalstocks. Da die Effizienz der energieverbrauchenden Geräte (z. B. Autos, Waschmaschinen, Kühlschränke, Fernsehgeräte) aufgrund des technologischen Fortschritts steigt, verbilligt sich die Energiedienstleistung; in der Regel zieht dies eine Zunahme der Nachfrage nach Energiedienstleistungen nach sich, sodass die Energienachfrage nicht im vollen Ausmaß der Effizienzsteigerung zurückgeht. Dieser "Rebound-Effekt" (Khazzoom, 1980, 1989, Berkhout – Muskens – Velthuisen, 2000, Brännlund – Ghalwash – Nordström, 2007) verringert die Auswirkungen des technologischen Fortschritts. Dies schränkt die Möglichkeiten einer Politik, die auf Technologieförderung abstellt, ein. Die ökonomische Literatur kennt neben dem direkten Rebound-Effekt, der über die Änderung der Preise von Energiedienstleistungen ausgelöst wird, eine Reihe von indirekten Rebound-Effekten, etwa eine Erhöhung der Nachfrage nach Energiedienstleistungen aufgrund von Realeinkommensteigerungen oder einer Ausweitung des Kapitalstocks. Die vorliegende Arbeit behandelt Preis- und Realeinkommenseffekte und die davon ausgelösten Rebound-Effekte.

Zunächst werden mit einem Fehlerkorrekturmodell¹⁾ die Gesamtkonsumausgaben (C) der privaten Haushalte für nicht-dauerhafte Konsumgüter bestimmt. Sie werden mit Hilfe eines AIDS-Ansatzes auf die einzelnen Konsumgruppen aufgeteilt. Dieser flexible Ansatz 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. Xiao – Zarnikau – Damien (2007) zeigen etwa seine Überlegenheit zur Erklärung der Elektrizitätsnachfrage in den USA.

Für die "Produktion" der Dienstleistungen wie Beheizung, Beleuchtung, Kommunikation, Transport, Mobilität usw. verwenden die privaten Haushalte neben Energie (E) einen bestimmten Kapitalstock, der durch die Effizienz (η_{ES}) charakterisiert ist, mit der der Energiefluss in ein Serviceniveau (S) umgewandelt wird:

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

Wie aus (1) hervorgeht, verringert eine höhere Effizienz bei gegebener Dienstleistungsnachfrage den Energiefluss. Für eine vorgegebene Umwandlungseffizienz kann ein Servicepreis (p_S , Grenzkosten der Dienstleistungen) ermittelt werden, der abhängig vom Energiepreis (p_E) und der Effizienz (η_{ES}) ist:

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

Je höher die Effizienz, desto niedriger ist ceteris paribus der Servicepreis, sodass ein Anreiz zu höherer Servicenachfrage entsteht (Rebound-Effekt). Diese Servicepreise werden neben den Güterpreisen im Gesamtkonsummodell berücksichtigt. Der Anteil

¹⁾ Ein Fehlerkorrekturmodell geht davon aus, dass zwischen der zu erklärenden Variablen (hier: Konsumausgaben) und deren wichtigsten Einflussfaktoren (hier z. B. Einkommen, Preise, Zinssätze, Vermögen) langfristig eine enge Beziehung besteht. Kurzfristige Abweichungen davon lösen Korrekturmechanismen aus, die wieder ein Gleichgewicht herstellen (Davidson et al., 1978, Salmon, 1982, Thury – Wüger, 1994, 2001, Carruth – Dickerson, 2003).

der Energienachfrage am Haushaltsbudget (C) kann daher 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, die hier zusätzlich technologische und soziodemographische Variable berücksichtigt:

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

Der Budgetanteil (w_i) eines Gutes wird demnach mit der Entwicklung der Preise (p_j) und der Einkommen bzw. des Gesamtkonsums (C) erklärt sowie mit technologischen und soziodemographischen Faktoren, die in der Variablen (Z) zusammengefasst werden. P steht für einen geeigneten Deflator des Gesamtkonsums. Zusätzlich wird eventuell mit einem Zeitrend die Veränderung der Konsumentenpräferenzen erfasst. Dieser Ansatz wird sowohl mit Zeitreihendaten ($C^T T$) als auch auf Basis von Querschnitterhebungen ($C^Q T$) geschätzt.

Auf Zeitreihenbasis können aufgrund der geringen Varianz der soziodemographischen Faktoren (Z) im Zeitablauf die Parameter ξ_i , die deren Einfluss wiedergeben sollen, nicht identifiziert werden, sodass sich der Schätzansatz folgendermaßen reduziert:

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

Für das Querschnittsmodell kann der Ansatz (3) so umgesetzt werden:

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

Die Dummyvariablen dum_u , dum_s , dum_k messen den Einfluss der soziodemographischen Variablen Errichtungsjahr der Wohnung (u), Wohnungsgröße (s) und Bevölkerungsdichte (k).

Aus der Gleichung (3) können Einkommens- bzw. Gesamtkonsumelastizitäten (ε_i) sowie unkompenzierte (ε_{ij}^U) und kompenzierte (ε_{ij}^K) Preiselastizitäten errechnet werden (Green – Alston, 1990), um den Einfluss von Einkommens- und Preisänderungen auf die Güternachfrage zu erfassen:

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

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

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

δ_{ij} ... Kronecker-Delta: $\delta_{ij} = 0$ für $i \neq j$, $\delta_{ij} = 1$ für $i = j$.

Die Einkommenselastizität (bzw. Gesamtkonsumelastizität) gibt die Änderung der Nachfrage nach einem Gut in Prozent an, wenn sich das Einkommen (bzw. der Gesamtkonsum) um 1% ändert, die Preiselastizität die Nachfrageänderung bei einer Änderung des Güterpreises um 1%. 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 Rebound-Effektes. Die Nachfrage nach einem Energiegut wird durch die

Servicesnachfrage (S_i) und die Effizienz (η_j) der energieverbrauchenden Geräte bestimmt. Die Entwicklung der Energienachfrage über die Zeit kann daher, wie in Gleichung (9) formal dargestellt, durch einen direkten Effekt der Effizienzänderung und einen indirekten über die Servicesnachfrage beschrieben werden. Dies schließt den Rebound-Effekt ein, weil Änderungen der Effizienz den Servicepreis beeinflussen und über die Preiselastizität die Servicesnachfrage:

$$(9) \quad \frac{d E_i}{d t} = \frac{\partial E_i}{\partial \eta_j} \frac{d \eta_j}{d t} + \frac{\partial E_i}{\partial S_i} \frac{d S_i}{d t}.$$

Dividiert man beide Seiten von (9) durch E_i und berücksichtigt die Preiselastizität der Energienachfrage (ε_{ij}), so erhält man Gleichung (10)²⁾, welche die Reaktion der Energienachfrage (E) auf eine Änderung der Technologie (η) wiedergibt:

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

Die Technologieänderung schlägt sich also nicht in einem ebenso großen Rückgang der Energienachfrage nieder (Khazzoom, 1980, Berkhout – Muskens – Velthuisen, 2000, Brännlund – Ghalwash – Nordström, 2007), sondern vermindert um die durch die Preisänderung ausgelöste Änderung der Servicesnachfrage, der durch die Preiselastizität (ε_{ij}) erfasst wird.

Anders als jene Studien, die auf Paneldaten mit meist unzureichender Varianz in den Preisen beruhen (Labandeira – Labeaga – Rodriguez, 2006), folgt die vorliegende Arbeit 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.

Anhand der Elastizitätsschätzungen aus beiden Modelltypen (Zeitreihe und Querschnitt), die ja relative Maße sind, und der Budgetanteile werden sinnvolle Parameterrestriktionen für das "gekoppelte Modell" festgelegt. Weil die Querschnittsdaten für Einkommen und soziodemographische Faktoren mit einer größeren Zahl von Beobachtungen (3.500 Haushalte) und einer höheren Varianz über die erfassten Haushaltstypen von besserer Qualität sind, wird in einem ersten Schritt die Einkommenselastizität ε_i^Q als gegeben verwendet, um den Einkommensparameter β_i^{T*} für das gekoppelte Modell vorzugeben, der konsistent mit dem Budgetanteil w_i^T des Zeitreihenmodells ist:

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

Da die Preisinformation über die Zeit jener aus dem Querschnitt über die Regionen vorzuziehen ist, wird der Preiseffekt aus der Zeitreihenanalyse als gegeben angenommen. Daraus ergibt sich die Parameterrestriktion (12) im gekoppelten Modell:

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

Diese Restriktion stellt sicher, dass die Eigenpreiselastizität ε_{ii}^T aus dem Zeitreihenmodell konsistent mit der Einkommensinformation auf der Querschnittsebene innerhalb des AIDS-Ansatzes wird.

Im letzten Schritt werden im gekoppelten Modell die Schätzergebnisse der soziodemographischen Einflussfaktoren aus der Querschnittsinformation eingebaut. Die Schätzwerte der Parameter ξ_i (mit $i = u, s, k$) auf Querschnittsebene messen den Gesamteinfluss eines Haushaltscharakteristikums. Sie müssen in ein relatives Maß σ_i als Abweichung vom Mittelwert $\bar{\xi}_i$ transferiert werden, um Auswirkungen von Struk-

²⁾ $\log \dots$ natürlicher Logarithmus, die Gleichung beschreibt daher die Elastizität der Energienachfrage auf technologische Änderungen.

turveränderungen dieser Merkmale auf die Nachfrage im Zeitablauf zu erfassen. Die Zusammengewichtung der relativen soziodemographischen Faktoren mit den Anteilen wd_u der jeweiligen Haushaltstypen im Zeitablauf gibt deren Einfluss im gekoppelten Modell wieder.

Das endgültige Modell lautet daher wie folgt³⁾:

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

Die Nachfrage nach einem Energiegut wird in diesem Ansatz durch die Service-nachfrage 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 (energieverbrauchende Geräte). Zusätzlich wird der Energieverbrauch durch die Verteilung der Haushalte über die demographischen Variablen (Errichtungsjahr der Gebäude, Wohnungsgröße und Bevölkerungsdichte) bestimmt. Das Errichtungsjahr ist im Zusammenhang mit der Technologie zu sehen, Wohnungsgröße und Bevölkerungsdichte mit der Service-nachfrage. Im vorliegenden Gesamtmodell, das nicht nur Energiegüter, sondern auch Nichtenergiegüter umfasst, werden Rückkoppelungseffekte sowohl innerhalb der Energienachfrage als auch innerhalb des Gesamtkonsums erfasst.

In der Analyse werden folgende Konsumausgaben der privaten Haushalte unterschieden:

- Services für den privaten Transport (durch den Einsatz von Benzin und Dieselkraftstoff),
- Services für Beheizung (durch den Einsatz von festen Brennstoffen, Öl, Gas, Fernwärme),
- Services für energieverbrauchende Geräte (durch den Einsatz von Elektrizität),
- Nahrungsmittel, Getränke, Tabak,
- Bekleidung und Schuhe,
- andere (Nicht-)Energiegüter.

Zeitreihen für diese Größen und für die Modell-Variablen Preise und Einkommen liegen auf aggregiertem Niveau hauptsächlich im Rahmen der VGR vor, Querschnittdaten im Rahmen der Konsumerhebungen.

Ergänzt werden diese Informationen durch eigene Berechnungen zur Energieeffizienz der energieverbrauchenden Geräte im Bereich Elektrizität, Beheizung und Pkw-Mobilität. Daten über die Energieeffizienz ("specific consumption") von elektrischen Geräten (1970 bis 2006) und Beheizung (einschließlich Warmwasser; 1990 bis 2006) lieferte vor allem die ODYSSEE-Datenbank, die von der Austrian Energy Agency zur Verfügung gestellt wurde. Mit Hilfe der Daten über den Stromverbrauch einzelner Geräte ("unit consumption") ebenfalls aus der ODYSSEE-Datenbank wurde die Energieeffizienz auf einen Indikator für die Effizienz des Elektrizitätsverbrauchs umgerechnet. Außerdem enthält die ODYSSEE-Datenbank technische Indikatoren für die Effizienz der Energieanwendungen "Beheizung einschließlich Warmwasser" und "Kochen", die direkt als Effizienzindikatoren übernommen werden konnten.

Als Indikator für die Effizienz im Bereich Pkw-Mobilität wurde ein eigener Datensatz für den Durchschnittsverbrauch der österreichischen Pkw-Flotte erstellt. Ausgehend von einer Erfassung einzelner Pkw-Typen in der Pkw-Bestandsstatistik, die 60% des Gesamtbestands abbildet, wurde mit zusätzlichen technischen Quellen ein Datensatz zu Hubraum, Motorleistung, Gewicht und Durchschnittsverbrauch erhoben (Meyer – Wessely, 2009).

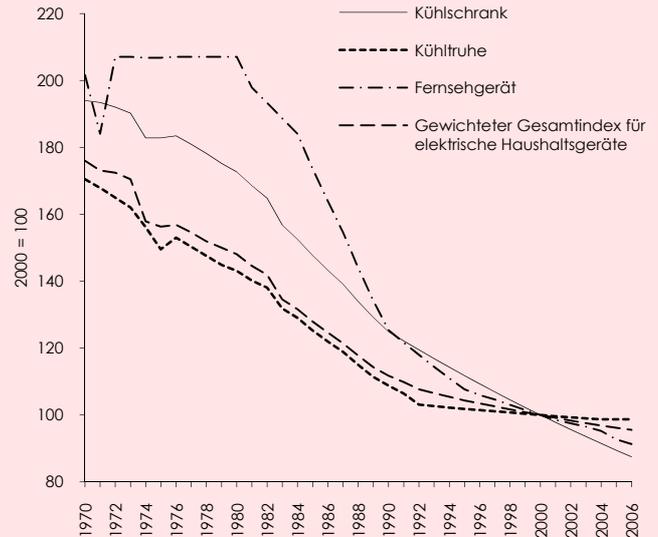
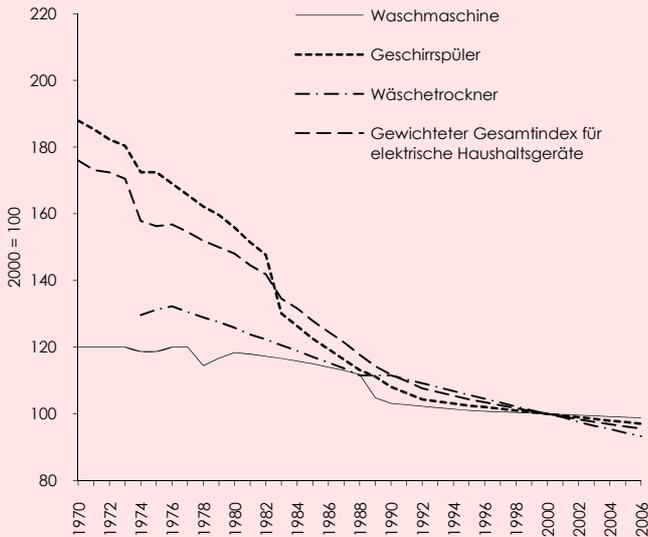
³⁾ In (13) wird auf die explizite Angabe eines Zeitindex t verzichtet.

Die Datenbasis

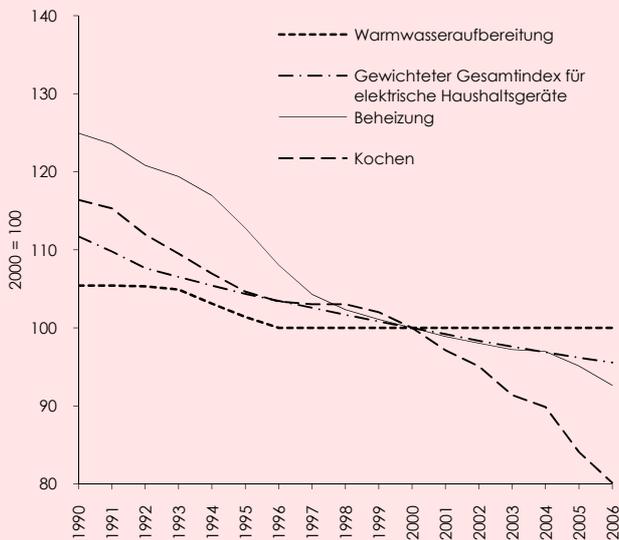
Wie Abbildung 1 für die drei Gruppen "energieverbrauchende Haushaltsgeräte", "Beheizung einschließlich Warmwasseraufbereitung und Kochen" sowie "Pkw-Mobilität" zeigt, hat sich die Energieeffizienz des energierelevanten Kapitalstocks der Haushalte im Beobachtungszeitraum erheblich verbessert. Das betrifft insbesondere die energieverbrauchenden Haushaltsgeräte und die Pkw-Flotte. Weniger ausgeprägt ist diese Entwicklung für Heizsysteme und Geräte zur Warmwasseraufbereitung. Gemäß den darauf beruhenden Berechnungen für die Effizienzentwicklung nach Energieträgern (Abbildung 2) klaffen Energiepreis und Servicepreis zunehmend auseinander.

Abbildung 1: Entwicklung der Energieeffizienz für Elektrizität, Beheizung und Pkw-Mobilität in Österreich

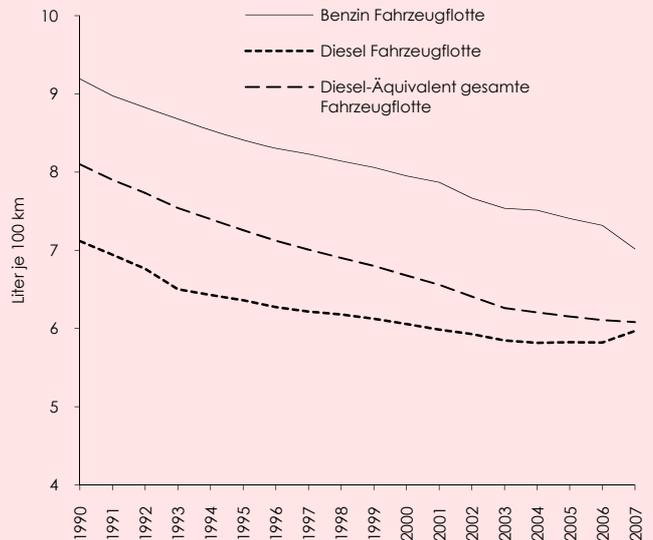
Energieverbrauchende Haushaltsgeräte



Beheizung, Warmwasseraufbereitung, Kochen



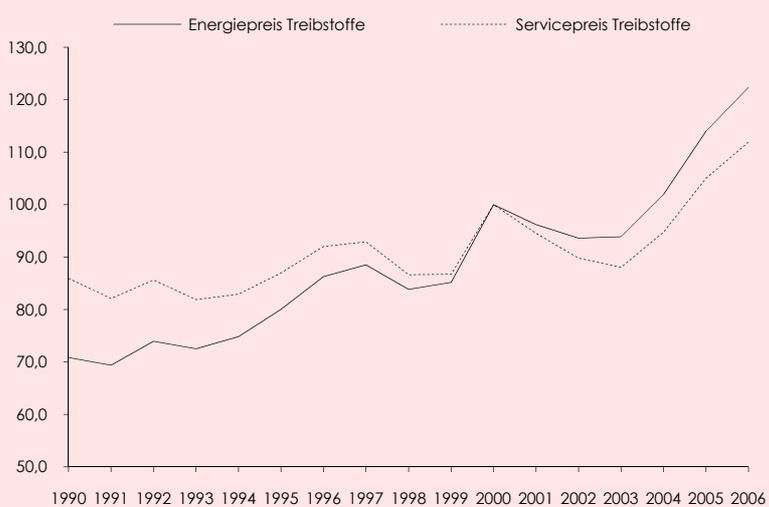
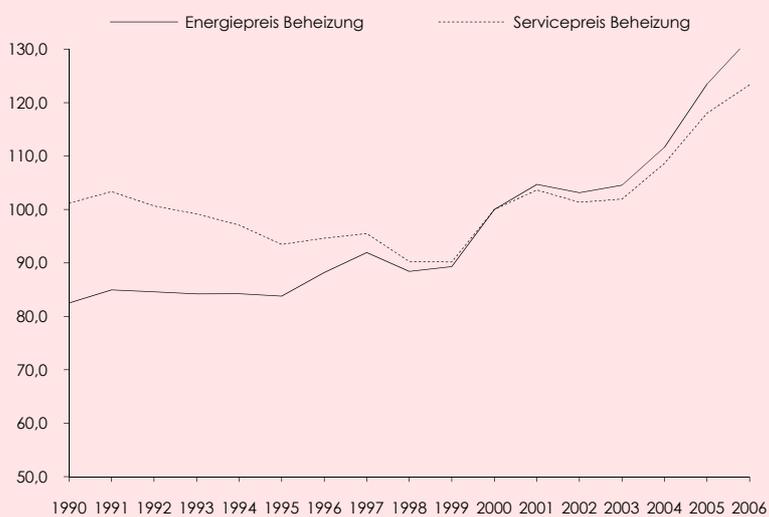
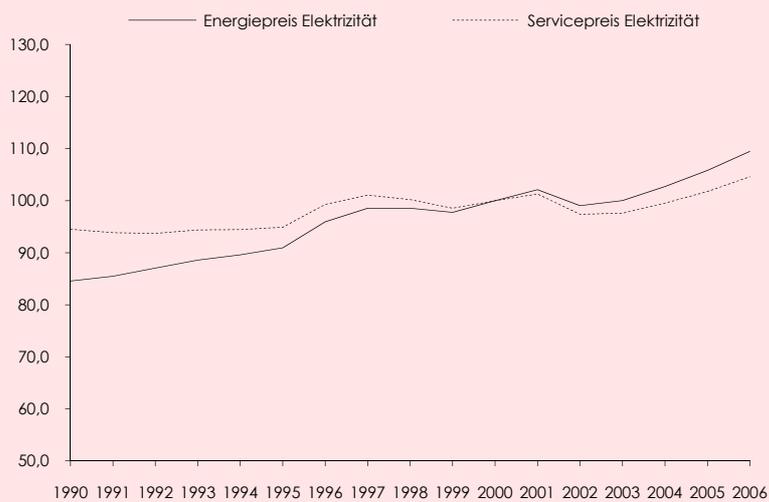
Pkw-Mobilität (inverser Durchschnittsverbrauch der Pkw-Flotte)



Q: ODYSSE-Datenbank, WIFO-Berechnungen. Pkw-Flotte: Meyer –Wessely (2009).

Die Querschnitterhebungen (Konsumerhebung 2004/05 von Statistik Austria, 8.500 Haushalte) liefern Informationen über Einkommen, Konsumausgaben und soziodemographische Faktoren, die relevant für die Energienachfrage sind, wie Gebäudecharakteristika (Errichtungsjahr, Wohnungsgröße) und Bevölkerungsdichte. Sie gehen über ein Sub-Sample von 3.500 Haushalten in die Berechnungen ein.

Abbildung 2: Energiepreis und Servicepreis

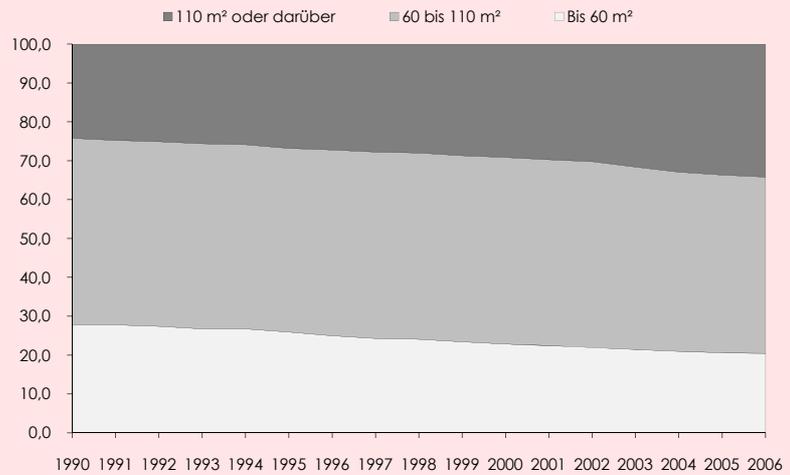


Q: Statistik Austria, WIFO-Berechnungen.

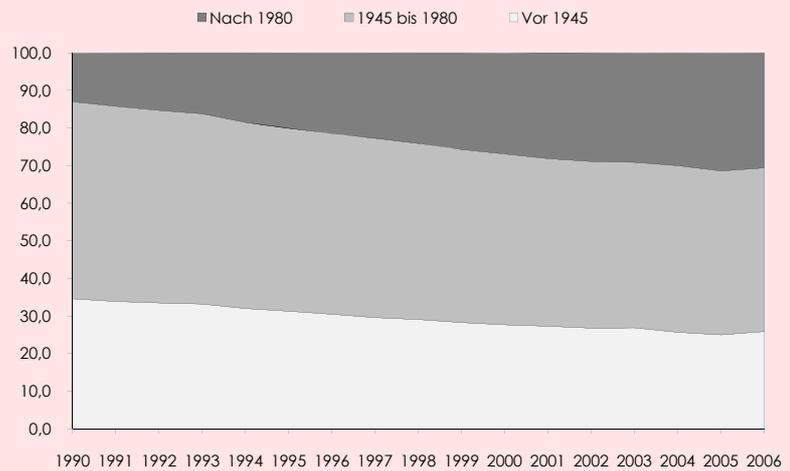
Abbildung 3: Struktur der privaten Haushalte

Anteile in %

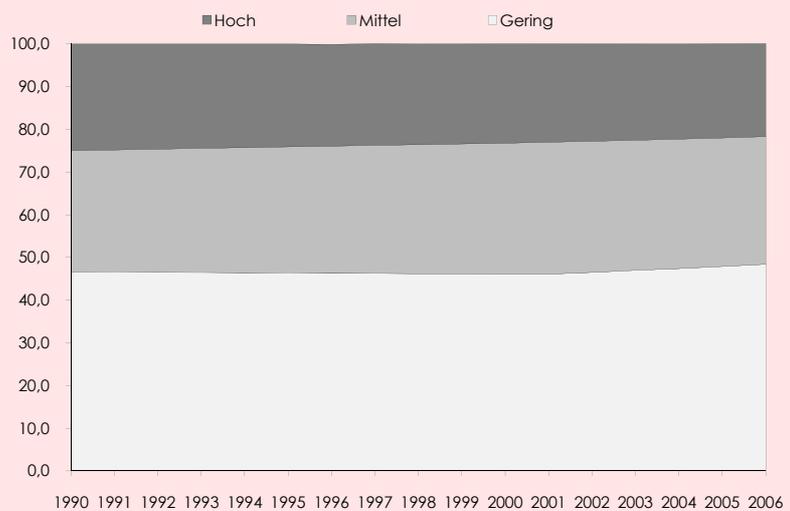
Wohnnutzfläche



Errichtungsjahr der Wohnung



Bevölkerungsdichte



Q: Mikrozensus, WIFO-Berechnungen. Bevölkerungsdichte: hoch . . . Regionen mit mindestens 50.000 Einwohnern und mehr als 500 Einwohnern je km², mittel . . . Regionen mit mindestens 50.000 Einwohnern und 100 bis 499 Einwohnern je km², gering . . . übriges Österreich.

Für das gekoppelte Modell musste Information über die Entwicklung der soziodemographischen Faktoren über die Zeit gesammelt werden. Für das Errichtungsjahr und die Wohnungsgröße liefert der Mikrozensus von Statistik Austria die notwendige Information. Demnach veränderte sich die Haushaltsstruktur bezüglich dieser beiden Merkmale im Untersuchungszeitraum deutlich (Abbildung 3). Der Anteil der vor 1980 errichteten Wohnungen nahm zwischen 1990 und 2006 erwartungsgemäß stark ab (nahezu –18 Prozentpunkte), während der Anteil der Wohnungen über 110 m² zwischen 1990 und 2006 um 10 Prozentpunkte zunahm. Die durchschnittliche Wohnungsgröße erhöhte sich somit zwischen 1990 und 2006 um etwa 7 m². Für die Bevölkerungsdichte lagen zunächst nur Daten aus den Volkszählungen 1991 und 2001 vor. Sie mussten mit Daten aus dem Mikrozensus (ein Sub-Sample der Volkszählung) zur regionalen Bevölkerungsverteilung kombiniert werden, um die gesamtösterreichische Bevölkerungsdichte zu interpolieren. Dieses Strukturmerkmal veränderte sich zwischen 1990 und 2006 wesentlich weniger als die Wohnungscharakteristika.

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 Zeitreihendaten (Gleichung (4)) und Querschnittsdaten (Gleichung (5)) geschätzt; im Zeitreihenmodell wurde ein SUR-Systemestimator (Seemingly Unrelated Regressions) unter den allgemein gültigen Nebenbedingungen (Homogenität, Symmetrie) angewandt. Da die Qualität der Einkommensinformation auf der Querschnittsebene wie erwähnt besser ist, wurde die Schätzung der Einkommenselastizität auf Querschnittsebene für Parameterrestriktionen des Einkommensparameters (Gleichung (11)) und damit zusammenhängend des Eigenpreisparameters (Gleichung (12)) auf der Zeitreihenebene verwendet. Die anderen Preisparameter wurden unrestringiert im Zeitreihenansatz geschätzt, weil wie erwähnt die Preisinformation im Zeitreihendatensatz eine größere Varianz aufweist als in den Querschnittsdaten, die nur die regionale Preisdifferenzierung wiedergeben. Der Einfluss der soziodemographischen Faktoren kann nur auf Querschnittsebene identifiziert werden, und zwar als absoluter Wert (ξ_i). Um diesen in das Zeitreihenmodell einbauen zu können, musste er, wie oben beschrieben, in einen konsistenten relativen Wert (σ_i) umgewandelt werden, der ins Zeitreihenmodell gewichtet mit den Merkmalsanteilen (w_{di}) eingeht. So wurden alle Parameter des gekoppelten Modells identifiziert, das als 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 (Übersicht 1). Demnach reagiert die Nachfrage nach Energie nicht sehr elastisch auf Änderungen des Einkommens (bzw. des Gesamtkonsums): Die Elastizitäten sind kleiner als 1. Eine Zunahme des Einkommens (bzw. Gesamtkonsums) um 1% zieht einen Anstieg der Nachfrage nach Treibstoffen um 0,48%, nach Heizenergie um 0,31% und nach Elektrizität um 0,33% nach sich.

Die ermittelten Eigenpreiselastizitäten sind erwartungsgemäß negativ, d. h. ein Preisanstieg zieht einen Nachfragerückgang nach sich, ein Preisrückgang einen Nachfragezuwachs. Sie sind zudem relativ niedrig. Gleiches gilt für die Kreuzpreiselastizitäten, mit denen Wechselbeziehungen in der Nachfrage erfasst werden. Der Vorteil des Modellansatzes liegt wie erwähnt darin, dass er Wechselbeziehungen umfassend abbildet, sowohl innerhalb der Energienachfrage als auch zwischen der Nachfrage nach Energie und nach anderen Konsumgütern.

Eine positive (kompensierte) Kreuzpreiselastizität zwischen zwei Ausgabengruppen impliziert eine substitutive⁴⁾ Beziehung zueinander, eine negative eine komplementäre⁵⁾. Demnach besteht innerhalb der Energienachfrage eine substitutive Bezie-

⁴⁾ Eine Verteuerung des einen Gutes lässt die Nachfrage nach dem anderen Gut steigen und umgekehrt.

⁵⁾ Eine Verteuerung des einen Gutes lässt die Nachfrage nach dem anderen Gut sinken und umgekehrt.

Empirische Ergebnisse

hung zwischen Treibstoffen und Beheizung sowie zwischen Treibstoffen und Elektrizität und eine komplementäre zwischen Beheizung und Elektrizität. Die substitutive Beziehung ergibt sich aus den Präferenzen der Haushalte und deren Budgetbeschränkung, die komplementäre Beziehung zwischen Beheizung und Elektrizität könnte auf technologische Faktoren zurückzuführen sein (z. B. Wärmepumpen als Unterstützung von Heizsystemen).

Übersicht 1: Preis- und Einkommenselastizitäten

	Nahrungsmittel, Getränke	Bekleidung	Treibstoffe	Beheizung	Elektrizität	Andere Konsumgüter
Unkompensierte Preiselastizitäten						
Nahrungsmittel, 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, 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
Einkommenselastizität	0,5899	1,0557	0,4788	0,3101	0,3347	1,1061

Q: WIFO-Berechnungen.

Mit Hilfe der Preiselastizitäten wurde ein Rebound-Effekt – gemessen an der unkompensierten Preiselastizität, die Substitutions- und Einkommenseffekt berücksichtigt – von 48% für Treibstoffe, 27% für Heizungsenergie und 12% für Elektrizität errechnet. Dabei überwiegt 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). Die hier ermittelten Werte liegen am oberen Ende der Ergebnisskala anderer Studien: Für Beheizung (einschließlich Warmwasser) werden Rebound-Effekte zwischen 10% und 30% ermittelt (Greening – Greene – Difiglio, 2000).

Graham – Glaister (2002) errechnen Rebound-Effekte zwischen 20% und 30% für Treibstoffe. Der hier geschätzte hohe Wert von 48% ist in Zusammenhang mit dem "Tanktourismus" zu sehen: Weil Treibstoffe in Österreich in den neunziger Jahren billiger waren als in den Nachbarländern, ist ein Gutteil des Anstiegs der Treibstoffnachfrage in Österreich ausländischen Haushalten zuzuschreiben. Gemäß Studien für die Schweiz (Banfi – Filippini – Hund, 2005) kommen Modelle, die Arbitragetanken im Grenzgebiet berücksichtigen, zu deutlich niedrigeren Preiselastizitäten (für den heimischen Verbrauch). Berücksichtigt man in der Elastizitätsberechnung die Schwankungsbreite der Parameterschätzungen, so ist für Österreich ein Rebound-Effekt von 30% bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1% nicht abzulehnen. Vor diesem Hintergrund dürfte der Rebound-Effekt der Treibstoffnachfrage der österreichischen Haushalte rund 30% betragen.

In der Beobachtungsperiode verbesserte sich die Effizienz des Kapitalstocks der privaten Haushalte wie erwähnt erheblich. Änderungen der Effizienz ziehen Änderungen im Preissystem und über die oben angeführten Kreuzpreiseffekte Nachfrageänderungen in allen Energiekategorien nach sich. Auch die Verteilung der Haushalte nach den hier erfassten soziodemographischen Faktoren verlagerte sich in der Beobachtungsperiode deutlich. Die Effekte dieser Entwicklungen auf die Energienachfrage können mit Hilfe zweier Simulationen mit dem hier verwendeten Modell gezeigt werden:

In der ersten Simulation wird unterstellt, dass die Verteilung der Haushalte nach den soziodemographischen Faktoren über die gesamte 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 der Änderung von Lebensstilen auf die Energienachfrage, die in den soziodemographischen Faktoren abgebildet werden, die zweite misst den Einfluss des technologischen Wandels auf die Energienachfrage.

Demnach ging von den soziodemographischen Faktoren der größte Einfluss auf die Elektrizitätsnachfrage aus: Ohne Änderung der Lebensumstände wäre sie 2006 um 11% niedriger gewesen als tatsächlich (Übersicht 2). Für Beheizung wird eine Differenz von 7% errechnet, während der Einfluss der soziodemographischen Faktoren für die Treibstoffnachfrage vernachlässigbar gering ausfällt (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% dämpfte. In dieser Altersstruktur der Gebäude ist auch ein Einfluss einer technologischen Komponente enthalten (Effizienz des Gebäudebestands). Der Elektrizitätsverbrauch wurde durch alle drei soziodemographischen Faktoren im Beobachtungszeitraum mit unterschiedlicher Intensität gesteigert. Erwartungsgemäß hat die Nutzfläche mit Abstand den größten Einfluss auf die Elektrizitätsnachfrage. Insgesamt erhöhte die Entwicklung der soziodemographischen Faktoren zwischen 1990 und 2006 den Energieverbrauch der Haushalte signifikant.

Übersicht 2: Auswirkungen des Lebensstils und der Technologie auf die Energienachfrage

2006

	Treibstoffe	Beheizung	Elektrizität
	Differenz zwischen hypothetischer und tatsächlicher Energienachfrage		
Soziodemographische Variable: Stand 1990	- 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
Technologische Variable: Stand 1990	+ 18,03	+ 15,90	+ 8,55
Effizienz: Treibstoffverbrauch	+ 12,83	+ 3,82	+ 8,28
Effizienz: Verbrauch von Heizenergie	+ 2,76	+ 17,59	- 13,46
Effizienz: Stromverbrauch	+ 2,45	- 5,52	+ 13,73

Q: WIFO-Berechnungen.

Hingegen hatte der technologische Wandel eine erhebliche dämpfende Wirkung auf die Energienachfrage, speziell für Treibstoffe und Heizenergie. Mit dem technologischen Niveau des Jahres 1990 wäre der Treibstoffverbrauch im Jahr 2006 um 18%, die Heizenergienachfrage um 16% höher gewesen. Für Strom fällt dieser Effekt mit +8,6% viel geringer aus. Aufgrund von Kreuzpreis- und Einkommenseffekten bewirkt eine Veränderung der Effizienz in der Anwendung eines Energieträgers auch Veränderungen des Verbrauchs von anderen Energieträgern. Wenn etwa das technologische Niveau der Heizsysteme das Niveau von 1990 gehalten hätte, wäre im Jahr 2006 um rund 13% weniger Elektrizität verbraucht worden. Diese Wechselbeziehungen können durch die Natur des technologischen Wandels selbst (z. B. verstärkter Einsatz von Wärmepumpen) erklärt werden.

Übersicht 2 zeigt 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 der soziodemographischen Faktoren. Für Beheizung machen die soziodemographischen Faktoren ungefähr halb so viel aus wie der technologische Wandel (wie erwähnt hat der Effekt des Errichtungsjahres auch eine technologische Kompo-

nente). Für Elektrizität ist der Beitrag von technologischem und soziodemographischem Wandel weitgehend ausgewogen.

Der dämpfende Einfluss des technologischen Wandels auf die Energienachfrage wurde zumindest teilweise und in manchen Bereichen vollständig (Elektrizität) kompensiert durch den verbrauchserhöhenden Einfluss der Veränderung der Lebensstile. Die gleichzeitige deutliche Zunahme der Energienachfrage der privaten Haushalte geht also hauptsächlich auf ökonomische Faktoren (Einkommen, Preise) zurück.

Schlussfolgerungen

Der hier verwendete Modellrahmen kann als eine ökonometrische Kalibrierung von ökonomischen (Einkommen, Preisen), technologischen (Effizienz der energieverbrauchenden Geräte) und soziodemographischen (Errichtungsjahr der Gebäude, Wohnungsgröße, Bevölkerungsdichte) Einflussfaktoren auf die Energienachfrage bezeichnet werden. Dabei fließen Informationen aus unterschiedlichen Datenstöcken auf Basis von Zeitreihen- und Querschnitterhebungen ein. Im Ansatz werden sowohl Energie- als auch Nichtenergiegüter modelliert, sodass 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 dämpfte in der Beobachtungsperiode die Energienachfrage der privaten Haushalte, insbesondere im Bereich Treibstoffe, Beheizung und Beleuchtung, weniger im Bereich Elektrizität. Trotz der technologisch bedingten Effizienzsteigerung erhöhte sich die Energienachfrage jedoch im Beobachtungszeitraum deutlich. Diese Entwicklung war vor allem durch das ökonomische Umfeld bestimmt. Die Zunahme der Einkommen, der höhere Ausstattungsgrad mit energieverbrauchenden Haushaltsgeräten sowie die mäßige und großteils stabile Preisentwicklung waren die Haupttriebfeder der Nachfrage. Konterkariert wurde der verbrauchsdämpfende Effekt des technischen Fortschritts außerdem durch den "Rebound-Effekt": Die technologisch bedingte Verbilligung der Energiedienstleistungen zog eine Zunahme der Nachfrage nach den einzelnen Energieträgern nach sich, sodass der potentielle technologische Einsparungseffekt um bis zu 30% oder mehr gedrückt wurde. Auch soziodemographische Einflussfaktoren, die mit einer Änderung der Lebensstile zusammenhängen, trugen zu einem Anstieg der Energienachfrage, insbesondere der Elektrizitätsnachfrage bei. In diesem Bereich kompensierte der Anstieg der Effizienz nicht den Effekt des soziodemographischen Wandels.

Vor diesem Hintergrund ist fraglich, ob eine Politik, die auf eine Dämpfung der Energienachfrage der privaten Haushalte abstellt, allein auf technologische Effizienzverbesserungen setzen kann. Diese haben, isoliert betrachtet, zwar das Potential, die Energienachfrage zu senken (insbesondere den Treibstoffverbrauch), ziehen aber beträchtliche Rebound-Effekte nach sich und werden durch das Einkommenswachstum und durch eine mäßige Preisentwicklung letztlich überkompensiert. Aus den Erfahrungen der Vergangenheit lässt sich daher ableiten, dass künftige energie- und klimapolitische Maßnahmen, die sich an private Haushalte richten, auf eine komplementäre Preis- bzw. Steuerpolitik setzen müssen. Die Einführung einer (europaweiten) CO₂-Steuer, die die Preissenkung kompensiert, erscheint angesichts der vorliegenden Ergebnisse notwendig, um die effizienzbasierte Senkung des Servicepreises auszugleichen, das Auftreten von Rebound-Effekten zu minimieren und das gesamte technische Effizienzpotential zu realisieren. Eine solche Steuer kann zudem die durch Einkommensteigerungen ausgelöste Zunahme der Nachfrage nach energierelevanten Konsumgütern und Serviceleistungen bremsen. Für die Erreichung der Reduktionsziele des EU-Klima- und -Energiepakets erscheint eine solche preisbasierte Regulierung der CO₂-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, WIFO, Wien, 2002, http://www.wifo.ac.at/www/jsp/index.jsp?fid=23923&id=22262&typeid=8&display_mode=2.
- Köppl, A., Wüger, M., "Energienachfrage der privaten Haushalte für Wohnen und Verkehr", WIFO-Monatsberichte, 2007, 80(11), S. 875-891, http://www.wifo.ac.at/www/jsp/index.jsp?fid=23923&id=30422&typeid=8&display_mode=2.
- Kratena, K., Meyer, I., "Energieverbrauch und CO₂-Emissionen in Österreich. Die Rolle von Energieeffizienz und Energieträgersubstitution", WIFO-Monatsberichte, 2007, 80(11), S. 893-907, http://www.wifo.ac.at/www/jsp/index.jsp?fid=23923&id=30423&typeid=8&display_mode=2.
- 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), http://www.wifo.ac.at/www/jsp/index.jsp?fid=23923&id=32366&typeid=8&display_mode=2.
- 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, 2009, (334), http://www.wifo.ac.at/www/jsp/index.jsp?fid=23923&id=35120&typeid=8&display_mode=2.

Economic, Technological and Socio-demographic Factors Impacting on Energy Demand – Summary

This paper deals with integrating technology as well as lifestyles variables as driving forces of energy demand in a model of total private consumption for Austria. Private consumption is determined by economic variables such as income and prices. Technology is represented by variables measuring the efficiency of households' capital stocks such as electrical appliances, heating systems 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 incomes as well as the level of 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. This model describes demand for energy and non-energy commodities in an almost ideal demand system (AIDS) and is used in ex-post simulation exercises to isolate the impact of technological and socio-demographic variables on the demand for petrol/diesel, heating and electricity. Results show that technological and lifestyle change has a significant influence on the energy demand of households. While technological efficiency improvements have dampened energy demand growth, especially for transportation fuels, sociodemographic (lifestyle) change has increased energy demand in the past, especially for electricity. The growing stock of energy consuming appliances, the growth of income and the moderate price development have driven energy demand up. The analysis finally draws some policy conclusions on regulating energy demand by households through carbon taxes.

- Kratena, K., Wüger, M., "PROMETEUS: Ein multisektorales makroökonomisches Modell der österreichischen Wirtschaft", WIFO-Monatsberichte, 2006, 79(3), S. 187-205, http://www.wifo.ac.at/www/jsp/index.jsp?fid=23923&id=26339&typeid=8&display_mode=2.
- Labandeira, X., Labeaga, J. M., Rodríguez, 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 CO₂-Emissions", Energy Policy, Special Issue "Carbon in Motion", 2009 (erscheint demnächst).
- 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., Zamikau, 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.