

Neue Aufschlüsse über die Elektrizitätsnachfrage der schweizerischen Haushalte

SUSANNE BONOMO*, MASSIMO FILIPPINI** und PETER ZWEIFEL***

1. EINLEITUNG

Der Schlüssel zur Eindämmung der Umweltbelastungen und -risiken liegt bei der Optimierung des Energieverbrauchs. Auch der «saubere» Energieträger Elektrizität belastet bei der Produktion sowie bei der Verteilung die Umwelt:

- Die Kernenergie birgt Strahlungsrisiken. Sowohl bei der Produktion von Kernenergie als auch beim Transport von radioaktivem Material und bei der Lagerung der Abfälle treten diese Risiken für Mensch und Umwelt auf.
- Um Elektrizität aus Wasserkraft zu gewinnen, werden Beeinträchtigungen von Landschaften und Flussbiotopen in Kauf genommen.
- Die fossile Elektrizitätsproduktion ist mit einem Ausstoss von CO₂ verbunden.
- Die Übertragung von Elektrizität (auch aus dem Ausland importierte) ist mit einer Beeinträchtigung der Landschaft verbunden. Eine Beeinträchtigung der Gesundheit durch die Übertragung von Strom in Hochspannungsleitungen ist umstritten, aber nicht auszuschliessen.
- Solaranlagen und Windkraftwerke können ebenfalls störend auf das Landschaftsbild einwirken.

Die Schätzung der entsprechenden externen Kosten gehen zum Teil weit auseinander¹. Entsprechend lassen sich Internalisierungszuschläge zum Strompreis nur schlecht durchsetzen.

Die Nachfrage nach Elektrizität nimmt indessen ständig zu. Unter anderem wegen des milden Wetters ist zwar für 1997 gegenüber 1996 ein leichter Rückgang der Elektrizitätsnachfrage in der Schweiz von 48,7 auf 48,6 Mia. kWh verzeichnet worden. Doch so-

* Susanne Bonomo, Sozialökonomisches Seminar der Universität Zürich, Zürich.

** Prof. Dr. Massimo Filippini, Università della Svizzera Italiana, Lugano.

*** Prof. Dr. Peter Zweifel, Sozialökonomisches Seminar der Universität Zürich, Zürich.

Die vorliegende Untersuchung wurde ermöglicht durch das vom Bundesamt für Energiewirtschaft finanzierte Projekt «Auswirkungen einer grenzkostenorientierten Tarifrevision auf die Elektrizitätsnachfrage». Wir danken dem Bundesamt für Energiewirtschaft, dem Bundesamt für Statistik sowie den Elektrizitätswerken der Städte Zürich, Bern und Basel für die tatkräftige Unterstützung des Projekts.

1. Vgl. PROGNOS (1992).

lange mit einem Wachstum der schweizerischen Wirtschaft gerechnet werden kann, wird es in Zukunft wieder zu einer Zunahme der Nachfrage kommen (SPIERER, 1988). Dabei steigt der Anteil der Haushaltsnachfrage an der gesamten Nachfrage tendenziell an. Im Jahr 1986 betrug er noch 29,1%, im Jahr 1996 bereits 31,4% am Gesamtverbrauch an Elektrizität. Die Stromnachfrage der Haushalte ist deshalb in zunehmendem Masse für die eingangs genannten Umweltbelastungen und -risiken verantwortlich.

Von besonderer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang die Tatsache, dass die Stromnachfrage starke Schwankungen aufweist. Einerseits kommt es am Morgen und zur Mittagszeit zu massiven Tagesspitzen, im Sommer noch ausgeprägter als im Winter². Ausserdem schwankt die Nachfrage saisonal, indem in den Sommermonaten deutlicher weniger Elektrizität verbraucht wird als in den Wintermonaten³. Eine Glättung der Elektrizitätsnachfrage der Haushalte würde dazu beitragen, dass ein Ausbau der Produktions- und Übertragungskapazitäten unterbleiben oder zumindest hinausgeschoben werden kann. Die Analyse der Elektrizitätsnachfrage der schweizerischen Haushalte könnte Hinweise auf Möglichkeiten zur Verbrauchsglättung ergeben und hat aus diesem Grunde eine umweltpolitische Dimension.

Dem Einfluss der Strompreise auf die Nachfrage kommt in diesem Zusammenhang besondere Bedeutung zu. Da bis jetzt keine Internalisierungszuschläge verlangt wurden, ist von einem gesamtwirtschaftlich gesehen zu hohen Elektrizitätsverbrauch der Haushalte auszugehen. Insbesondere sind Aufschlüsse über die zeitabhängige Stromnachfrage der Haushalte wertvoll. Denn solange sich eine zusätzliche Nachfrage ausschliesslich auf Schwachlaststrom bezieht, trägt sie nur zur besseren Auslastung der bestehenden Kapazitäten bei, schafft aber keine neuen Kapazitätsbedürfnisse. Hier stellt sich die Frage, inwiefern eine zeitdifferenzierte Tarifierung zu einer gleichmässigeren zeitlichen Verteilung der Nachfrage beitragen kann.

Der vorliegende Beitrag setzt sich deshalb zum Ziel, die Bestimmungsgründe der zeitabhängigen Stromnachfrage der schweizerischen Haushalte zu eruieren. Insbesondere wird untersucht, wie sich der Elektrizitätsverbrauch der Haushalte durch die Tarifgestaltung beeinflussen lässt. Anhand der Resultate lässt sich abschätzen, welche Umweltwirkungen erreicht werden können – dies für den Bereich der Haushaltsnachfrage.

Die Arbeit ist wie folgt aufgebaut. In Abschnitt 2 wird ein theoretisches Modell der zeitabhängigen Haushaltselektrizitätsnachfrage hergeleitet. Abschnitt 3 präsentiert das empirische Modell. In Abschnitt 4 werden die für die Untersuchung verwendeten Daten vorgestellt. Abschnitt 5 enthält die Schätzergebnisse und Abschnitt 6 die Schlussfolgerungen aus der Untersuchung.

2. Die Tagesschwankungen sind illustriert in der Schweizerischen Elektrizitätsstatistik. Vgl. zum Beispiel Bulletin SEV/VSE 8/97, S. 39.
3. Im Winterhalbjahr 1995/96 sind 28,6 Mia. kWh verbraucht worden, im Sommerhalbjahr 1996 nur 23,5 Mia. kWh. Vgl. Bulletin SEV/VSE 8/97, S. 20.

2. DIE THEORETISCHE GRUNDLAGE

Bei der Untersuchung der Elektrizitätsnachfrage wird zwischen kurz- und langfristigen Anpassungen an Veränderungen unterschieden. In der kurzen Frist kann ein Haushalt nur die Intensität der Nutzung des gegebenen Bestands an elektrischen Geräten ändern, während in der langen Frist auch eine qualitative oder quantitative Änderung des Gerätebestands als Teil des Kapitalstocks in Frage kommt. Preis- und Einkommensänderungen werden sich also in der kurzen Frist auf die Nutzungsintensität auswirken, in der langen Frist dagegen auch auf die Ausstattung mit Geräten. Die Fristigkeit der Reaktion zu kennen ist wichtig, weil Planung und Bau von neuen Kraftwerken im allgemeinen viel Zeit benötigen.

Das folgende theoretische Modell der kurz- und langfristigen zeitabhängigen Elektrizitätsnachfrage basiert auf der Haushaltsproduktionstheorie⁴. Der Grundgedanke dabei ist, dass der Haushalt Waren, aber auch Energie auf dem Markt einkauft, um sie zur Herstellung von konsumierbaren Leistungen einzusetzen. Mit Hilfe der Produktionsfaktoren «Elektrizität», «Hausarbeit» und «elektrische Geräte» werden Energiedienstleistungen wie zum Beispiel warme Raumtemperatur, warmes Wasser, Mahlzeiten und Musik produziert. Es sind diese Leistungen und nicht die Energie an sich, die dem Haushalt Nutzen stiften. Daneben gibt es natürlich auch Waren, die unmittelbar konsumierbar sind, also insbesondere keiner elektrischer Energie für den Konsum bedürfen.

Kurzfristige Elektrizitätsnachfrage

Zur Herleitung der kurzfristigen Elektrizitätsnachfrage eines Haushalts wird eine Nutzenfunktion wie folgt formuliert:

$$U = U(X, D, F). \quad (1)$$

D bezeichnet dabei ein mit Hilfe von Elektrizität produziertes Gut, das nur im Haushalt selber hergestellt werden kann. X bezeichnet ein Gut, das nur auf dem Markt erworben werden kann. Neben den beiden zusammengesetzten Gütern D und X enthält die Nutzenfunktion zudem die Freizeit F ⁵.

4. Für die theoretische Formulierung der Haushaltsproduktionstheorie siehe BECKER (1965), MUTH (1966) sowie DEATON und MUELLBAUER (1980). Für ein Haushaltsproduktionsmodell im Bereich der Elektrizitätsnachfrage vgl. z.B. DENNERLEIN (1987) und FLAIG (1991).
5. In FLAIGs Modell [vgl. FLAIG (1991)] kann das Gut D nicht nur im Haushalt produziert, sondern auch auf dem Markt erworben werden. Diese Modellierung verwendet FLAIG, weil er explizit den Einfluss des Preises von Substituten zu Haushaltsdienstleistungen – wie zum Beispiel von Mahlzeiten ausser Haus – schätzt. Die Substitution von im Haushalt produzierten Gütern durch auf dem Markt erworbenen Gütern kann aber auch in unserem Modell gezeigt werden (Substitution von D durch X). Die hier verwendete vereinfachte Modellvariante (ein Marktgut X , ein im Haushalt produziertes Gut D) verwendet zum Beispiel auch WILLS (1981).

Für das Gut D gilt die Produktionsfunktion

$$D = D(H, EH, EN, VL; K, W), \quad (2)$$

mit H : Hausarbeitszeit; EH : Elektrizitätsverbrauch zum Hochtarif; EN : Elektrizitätsverbrauch zum Niedertarif; VL : Vorleistungen; K : Kapitalstock (wird im kurzfristigen Modell als fixer Produktionsfaktor betrachtet); W : Vektor von beobachteten Variablen, die die Produktionsbedingungen des Haushalts abbilden. Zu den für die Haushalte relevanten Produktionsbedingungen W zählt insbesondere das natürliche Klima. Der Strichpunkt in der Produktionsfunktion deutet an, dass H , EH , EN und VL vom Haushalt bestimmt werden können, während K (in der kurzen Frist) und W sich ausserhalb der Kontrolle des Haushalts befinden.

Bei der Nutzenmaximierung muss der Haushalt eine Zeit- und eine Budgetrestriktion einhalten. Die Zeitrestriktion lautet

$$T = H + F. \quad (3)$$

T sei die dem Haushalt insgesamt zur Verfügung stehende Zeit abzüglich der Marktarbeitszeit. Die frei verfügbare Zeit T kann der Haushalt entweder für Hausarbeiten einsetzen (H : Hausarbeitszeit) oder als Freizeit F geniessen. Obschon einige Haushalte die Marktarbeitszeit in einem gewissen Rahmen wählen können, wird diese Entscheidung hier nicht untersucht, sondern vielmehr angenommen, dass die Marktarbeitszeit – und damit auch die frei verfügbare Zeit T sowie das Einkommen Y – vorgegeben sind. Diese Annahme wird auch von anderen Autoren getroffen, die die Elektrizitätsnachfrage modellieren⁶. In der in diesem Abschnitt untersuchten kurzen Frist ist die Annahme einer vorgegebenen Marktarbeitszeit plausibel. Die Spielräume zur Variation der Arbeitszeit öffnen sich aber um so mehr, je länger der Entscheidungshorizont der Haushalte wird.

Die finanzielle Budgetrestriktion schreibt sich:

$$Y - P_K K = P_X X + P_{EH} EH + P_{EN} EN + P_{VL} VL, \quad (4)$$

mit Y : verfügbares Haushaltseinkommen; P_X : Preis des Gutes X ; P_{EH} : Elektrizitätspreis zum Hochtarif; P_{EN} : Elektrizitätspreis zum Niedertarif; P_{VL} : Preis der Vorleistungen; $P_K K$: Nutzungskosten des Kapitalstocks. Der Begriff Nutzungskosten bezeichnet die reinen Kapitalkosten für den Gerätekapitalstock K (die Stromausgaben zählen also nicht dazu). Sie hängen ab von der (physischen) Höhe des Gerätekapitalstocks K , vom Gerätepreis P_G , vom Abschreibungssatz δ sowie vom Zinssatz r ⁷.

6. DENNERLEIN (1987) und FLAIG (1991) verwenden ein exogen vorgegebenes Einkommen in einem statischen Modell der Elektrizitätsnachfrage. WILLETT und NAGSHPOUR (1987) gehen in einem dynamischen Modell der Energienachfrage von einem exogen gegebenen Einkommen aus.
7. Die genaue Formel lautet für einen konstanten Gerätepreis: $P_K K = \left(\frac{\delta + r}{1 + r} \right) P_G K$. Vgl. DEATON und MUELLBAUER (1980), S. 107.

Da für die optimale Entscheidung lediglich Preisverhältnisse und nicht absolute Preise relevant sind, darf ein Preis ohne Verlust der Allgemeingültigkeit auf Eins normiert werden. Im vorliegenden Modell wird P_X , der Preis des auf dem Markt erwerbbaaren Konsumgutes X , gleich Eins gesetzt.

Der Haushalt maximiere seinen Nutzen (1) unter den Nebenbedingungen (2) bis (4). Als Lösung der Problems ergeben sich die folgenden Elektrizitätsnachfragegleichungen:

$$EH^* = EH^*(Y - P_K K, P_{EH}, P_{EN}, P_{VL}, K, W, T) \quad (5)$$

+ - + + + +/ - -

$$EN^* = EN^*(Y - P_K K, P_{EH}, P_{EN}, P_{VL}, K, W, T) \quad (6)$$

+ + - + + +/ - -

Unter den erklärenden Variablen sind die Vorzeichen der partiellen Ableitungen angegeben, es gilt also zum Beispiel $\partial EHT / \partial PHT < 0$.

Langfristige Elektrizitätsnachfrage

In der langen Frist ist auch der Kapitalstock K (d. h. der Gerätebestand) eines Haushaltes variabel. Bleibt man dennoch in einem statischen Modellrahmen, d.h. vernachlässigt man die Tatsache, dass Ersatzinvestitionen heute den Kapitalstock morgen vergrößern, so ergibt das Optimierungskalkül die folgenden beiden langfristigen Elektrizitätsnachfragegleichungen:

$$EH^* = EH^*(Y, P_{EH}, P_{EN}, P_{VL}, P_K, W, T) \quad (7)$$

+ - + + - +/ - -

$$EN^* = EN^*(Y, P_{EH}, P_{EN}, P_{VL}, P_K, W, T) \quad (8)$$

+ + - + - +/ - -

Gleichungen (7) und (8) stellen die theoretisch fundierten Gleichungen der langfristigen Nachfrage nach Elektrizität dar.

3. EMPIRISCHES MODELL

Für die empirische Schätzung müssen die theoretischen Nachfragegleichungen konkretisiert werden. So muss festgelegt werden, welche Geräte den Kapitalstock abbilden und durch welche Variablen die Produktionsbedingungen W des Haushalts erfasst werden sollen. Neben der Theorie übt natürlich auch die Datenlage einen Einfluss auf die Spezifikation aus. Die empirischen Gleichungen der kurzfristigen Elektrizitätsnachfrage lauten deshalb:

$$\begin{aligned} \ln EHT = & \alpha + \beta_1 \ln PHT + \beta_2 \ln PNT + \beta_3 \ln GG + \beta_4 Y2 + \beta_5 Y3 + \beta_6 Y4 + \\ & \beta_7 HAUSEIG + \beta_8 HFRAU + \beta_9 KIND + \beta_{10} PERS_I + \beta_{11} PERS_4P + \\ & \beta_{12} TIEFK + \beta_{13} GESCHIRR + \beta_{14} WASCHM + \beta_{15} KOCH + \beta_{16} BOI + \beta_{17} ELH \\ & + \beta_{18} WOCHEND + \beta_{19} WARM + \beta_{20} KALT + \beta_{21} J92 \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \ln ENT = & \gamma + \delta_1 \ln PHT + \delta_2 \ln PNT + \delta_3 \ln GG + \delta_4 Y2 + \delta_5 Y3 + \delta_6 Y4 + \\ & \delta_7 HAUSEIG + \delta_8 HFRAU + \delta_9 KIND + \delta_{10} PERS_I + \delta_{11} PERS_4P + \\ & \delta_{12} TIEFK + \delta_{13} GESCHIRR + \delta_{14} WASCHM + \delta_{15} KOCH + \delta_{16} BOI + \delta_{17} \\ & ELH + \delta_{18} WOCHEND + \delta_{19} WARM + \delta_{20} KALT + \delta_{21} J92 \end{aligned} \quad (10)$$

Die in den Gleichungen enthaltenen Variablen sind in Tabelle 1 definiert. Erklärt wird mit den beiden Gleichungen die jährliche Elektrizitätsnachfrage eines Haushalts zum Hoch- bzw. zum Niedertarif, gemessen jeweils in Kilowattstunden.

Wie es die theoretischen Nachfragegleichungen (5) und (6) verlangen, treten zunächst einmal der Hoch- und der Niedertarifpreis für Elektrizität, PEH und PEN , als erklärende Variablen auf. Die beiden Gleichungen sind doppeltlogarithmisch spezifiziert, so dass an den Parametern direkt die Preiselastizitäten abgelesen werden können. β_1 ist die Preiselastizität der Hochtarnachfrage, β_2 die Kreuzpreiselastizität der Hochtarnachfrage, δ_1 die Preiselastizität der Niedertarnachfrage und δ_2 die Kreuzpreiselastizität der Niedertarnachfrage.

Gemäss Theorie wird die Elektrizitätsnachfrage auch vom Einkommen beeinflusst. Es steht jedoch keine kontinuierliche Einkommensvariable zur Verfügung; bekannt ist lediglich die Zugehörigkeit zu einer von insgesamt vier Einkommensklassen. Entsprechend wird der Einfluss des Einkommens mit drei Dummy-Variablen abgebildet, die den Wert 1 annehmen, wenn der betrachtete Haushalt in die entsprechende Einkommensklasse fällt, und 0 sonst. Den Gleichungen (5) und (6) zufolge müsste zudem vom Einkommen noch der Betrag $p_K K$ abgezogen werden, wobei p_K durch den Zinssatz r und die Gerätepreise p_G bestimmt wird (vgl. oben, Fussnote 7). Da eine direkte Verrechnung mit dem Einkommen nicht möglich ist, könnte $p_K K$ als eigener Regressor in die Schätzgleichung

chung aufgenommen werden. Dagegen spricht der Umstand, dass r und p_G und damit p_K für alle Haushalte näherungsweise gleich sind, während die Höhe des Kapitalstocks stark mit der Einkommensklasse korreliert; unter diesen Voraussetzungen wäre mit ausgeprägten Multikollinearitätsproblemen zu rechnen. Aus diesem Grunde wird auf die Berücksichtigung der Grösse $p_K K$ verzichtet und der damit verbundene Spezifikationsfehler in Kauf genommen.

Tabelle 1: Definition der Variablen der empirischen Elektrizitätsnachfragegleichungen

Variable:	Definition:
<i>EHT:</i>	Elektrizitätskonsum zum Hochtarif [kWh/Jahr].
<i>ENT:</i>	Elektrizitätskonsum zum Niedertarif [kWh/Jahr].
<i>PHT:</i>	Arbeitspreis Hochtarif [Rp./kWh] zu Preisen von 1982.
<i>PNT:</i>	Arbeitspreis Niedertarif [Rp./kWh] zu Preisen von 1982.
<i>GG:</i>	Grundgebühr für einen Haushalt mit einem durchschnittlichen Hochtarifverbrauch, zu Preisen von 1982 [Rp./Jahr] ^a .
Dummy-Varivable:	nimmt den Wert 1 an, wenn folgendes zutrifft (0 sonst):
<i>Y2:</i>	Haushalt der Einkommensklasse 2 (3050 bis 4549 Fr. monatlich).
<i>Y3:</i>	Haushalt der Einkommensklasse 3 (4550 bis 6049 Fr. monatlich).
<i>Y4:</i>	Haushalt der Einkommensklasse 4 (6050 Fr. monatlich und mehr).
<i>HAUSEIG:</i>	Haushalt lebt im eigenen Haus.
<i>HFRAU</i>	Haushalt mit nicht auswärts berufstätiger Hausfrau.
<i>KIND</i>	Haushalt mit Kindern.
<i>PERS_1:</i>	Einpersonenhaushalt.
<i>PERS_4P:</i>	grosser Haushalt (4 und mehr Haushaltsmitglieder).
<i>TIEFK:</i>	Tiefkühlgerät vorhanden.
<i>GESCHIRR:</i>	Geschirrspülgerät vorhanden.
<i>WASCHM:</i>	Waschmaschine in der Wohnung vorhanden.
<i>KOCH:</i>	für Kochzwecke wird hauptsächlich elektrische Energie verwendet.
<i>BOI:</i>	elektrischer Boiler in der Wohnung vorhanden.
<i>ELH:</i>	elektrische Heizung in der Wohnung vorhanden.
<i>WOCHEND:</i>	am Wochenende gilt (teilweise) auch tagsüber der Niedertarif.
<i>WARM</i>	Anzahl Heizgradtage 1991 weniger als 3500.
<i>KALT:</i>	Anzahl Heizgradtage 1991 mehr als 4000.
<i>J89:</i>	Jahr = 1989.
<i>J92:</i>	Jahr = 1992.

- a. Für die Variable Grundgebühr stellt sich bei der Logarithmierung ein Problem, weil diese Variable für einige Beobachtungen den Wert 0 annimmt. Da der Logarithmus von 0 nicht definiert ist, wird für die Grundgebühr in diesen Fällen statt dessen ein Wert von 0.0001 Rp. pro Jahr angenommen.

Neben den Arbeitspreisen erheben die meisten Elektrizitätswerke eine Grundgebühr (GG). Theoretisch wirkt eine Erhöhung der Grundgebühr um einen Franken wie eine Senkung des verfügbaren Haushaltseinkommens um den gleichen Betrag. Für die Variable GG wird deshalb der gleiche Koeffizient wie für die Einkommensvariable – allerdings mit dem umgekehrten Vorzeichen – erwartet. Es wird sogar empfohlen, die Grundgebühr direkt vom Einkommen abzuziehen, so dass nur *ein* Koeffizient geschätzt werden muss⁸. Weil das Einkommen der Haushalte hier nur mit Dummy-Variablen erfasst ist, fällt dieses Vorgehen aber ausser Betracht, und die Koeffizienten der Variablen für die Grundgebühr und für das Einkommen können nur bezüglich des Vorzeichens, nicht aber bezüglich der Höhe verglichen werden.

Viele Elektrizitätswerke erheben eine konstante Grundgebühr, in einigen Städten hängt sie dagegen von der bezogenen Menge ab. Um ein Simultaneitätsproblem zu vermeiden, wird nicht die von einem Haushalt tatsächlich geschuldete Grundgebühr, sondern die Höhe der Grundgebühr bei einem durchschnittlichem Elektrizitätsverbrauch berücksichtigt⁹. Auf die Ausarbeitung eines besseren Instruments wird verzichtet, da Aufwand und Ertrag in einem ungünstigen Verhältnis stehen. Für eine Instrumentschätzung¹⁰ müssten alle Tarifstufen genau erfasst werden. Der Ertrag einer genaueren Abbildung der Grundgebühr erscheint dagegen minimal, denn im Durchschnitt liegt die Grundgebühr bei allen Haushaltsgruppen um rund 100 Franken pro Jahr, kann also nur einen geringen Einkommenseffekt auslösen.

Im theoretischen Modell wurde der Preis der auf dem Markt gekauften Güter X auf 1 normiert. Dem entspricht im empirischen Modell die Deflationierung von Preisen und Einkommen mit dem Konsumentenpreisindex¹¹. Zur Deflationierung der hier verwendeten Haushaltsdaten, die die Jahre 1989, 1991 und 1992 abdecken, wird der Konsumentenpreisindex auf der Basis Dezember 1982 = 100 gewählt. Danach beträgt der Indexstand für 1989 115,4 Punkte, für 1991 128,7 Punkte und für 1992 133,9 Punkte. Während Grenzpreis und Grundgebühr durch die entsprechenden Werte dividiert werden, erfolgt beim Einkommen keine Anpassung, da die Klassengrenzen vom Befragungsinstitut für die verschiedenen Jahre mit nominal 3050, 4550 und 6050 Fr. pro Monat unverändert vorgegeben wurden. Der daraus resultierende Fehler dürfte allerdings klein sein, denn die Einkommensklassen sind relativ breit. Die Mehrheit der Beobachtungen

8. Vgl. TAYLOR (1975).

9. Im Modell wird ein Einfluss der Grundgebühr auf den Verbrauch von Elektrizität postuliert. Zumindest in den Städten mit mengenabhängiger Grundgebühr geht aber umgekehrt auch von der Stromnachfrage ein Einfluss auf die Grundgebühr aus. WILSON (1971) löst das Simultaneitätsproblem analog wie wir, indem er den Tarif für eine vorgegebene Konsumhöhe verwendet. Weitere Beispiele für Simultaneitätsprobleme im Bereich der Elektrizitätsnachfrage und deren Lösung finden sich in BARNES, GILLINGHAM und HAGEMAN (1981), BERNDT (1991), S. 324–26, HENSON (1984) und MCFADDEN, PUIG und KIRSHNER (1977).

10. Zur Instrumentschätzung vgl. PINDYCK und RUBINFELD (1991), S. 161 f.

11. Vgl. VARIAN (1992), S. 147–50.

stammt ausserdem aus dem Jahr 1991, das als Basisjahr für die Klasseneinteilung angesehen werden kann, und nur eine Minderheit aus 1989 und aus 1992 [weitere Einzelheiten zur Datenbasis finden sich in BONOMO (1998), Kap. 4]. So sind es vermutlich nur einige wenige Haushalte, die sich gerade am Rand einer Klasse befinden und falsch eingeteilt werden, weil die Inflation bei der Einkommensvariablen nicht berücksichtigt wird.

Der Preis verschiedener Vorleistungen für die Haushaltsproduktion – z.B. von Fertigmalzeiten – erscheint nicht in der empirischen Spezifikation. Da wir hier mit Querschnittsdaten aus der Schweiz über einen kurzen Zeitabschnitt arbeiten, kann angenommen werden, dass diese Vorleistungen für alle untersuchten Haushalte etwa gleich teuer sind. Damit fliessen diese Preise in die Höhe der Konstanten der Regressionsgleichung ein.

Im theoretischen Modell wurde die Zusammensetzung des Haushalts vernachlässigt. Je mehr Personen zusammen in einem Haushalt leben, desto intensiver dürfte aber die Nutzung der Einrichtungen zugunsten der Haushaltsproduktion sein. Damit ist – auch bei einem gegebenen Einkommen und Gerätebestand – ein erhöhter Elektrizitätsverbrauch verbunden. Die Haushaltsgrösse wird mit den Variablen *PERS_1* und *PERS_4P* abgebildet, wobei *PERS_1* den Wert 1 annimmt, wenn es sich um einen Einpersonenhaushalt handelt, und 0 sonst. Analog nimmt *PERS_4P* den Wert 1 an, wenn der Haushalt vier oder mehr Mitglieder umfasst¹².

Die Variablen *HFRAU* und *KIND* sollen Einflüsse auf das Zeitbudget der Haushalte widerspiegeln. Wenn Kinder im Haushalt vorhanden sind (*KIND* = 1), sinkt die für Hausarbeiten verfügbare Zeit, da die Betreuung der Kinder Zeit beansprucht. Da sich durch den Einsatz von Elektrizität Zeit sparen lässt, sollte der Stromverbrauch bei Anwesenheit von Kindern steigen. Wenn eine nicht auswärts berufstätige Hausfrau vorhanden ist (*HFRAU* = 1), dürfte die Haushaltsproduktion einen grösseren Umfang annehmen, mit einem erhöhten Verbrauch an Elektrizität¹³. Ein Rückgang des Verbrauchs könnte umgekehrt auftreten, wenn durch die erhöhte Produktivität im Haushalt oder durch das Verrichten der Tätigkeiten von Hand Elektrizität gespart wird. Der Einfluss der Variable *HFRAU* ist also nicht eindeutig.

Bei der Auswahl der Geräte zur Abbildung des Kapitalstocks *K* wurden nur Geräte mit einem namhaften durchschnittlichen Elektrizitätsverbrauch¹⁴ berücksichtigt. In der Schätzgleichung erscheinen deshalb nur Tiefkühlgerät, elektrischer Boiler, Elektroheizung, Geschirrspülmaschine und Waschmaschine. Geräte mit mittlerem Energieverbrauch wie Fernseher, Computer, Mikrowellengerät, Kleinheizgerät und Luftbefeuchter

12. Die Haushalte mit zwei oder drei Mitgliedern bilden die Basisgruppe, deshalb muss für sie keine Dummyvariable eingeführt werden.
13. Der Einfluss eines nicht ausser Haus berufstätigen Hausmanns kann nicht berücksichtigt werden, weil die Daten dazu leider keine Angaben enthalten.
14. Zum durchschnittlichen Stromverbrauch von Elektrogeräten vgl. BONOMO (1998), Kapitel 2.1, Tabelle 1, und die dort angegebenen Quellen.

werden ausgeschlossen, weil nicht genügend Beobachtungen vorhanden sind, um auch ihren Einfluss auf die Stromnachfrage abzuklären. Die Anzahl Freiheitsgrade würde zu stark reduziert, wenn viele zusätzliche erklärende Variablen in die Gleichung aufgenommen würden. Der Einfluss eines Kühlschranks kann nicht untersucht werden, obschon er an und für sich bedeutsam wäre. Doch fast alle Haushalte haben einen Kühlschrank, so dass sich sein Einfluss auf den Stromverbrauch in der erhöhten Konstanten niederschlägt. Der Besitz eines Tumblers kann ebenfalls nicht berücksichtigt werden, diesmal, weil in der Datenbasis die Angabe fehlt, ob der Haushalt in einem Mehrfamilienhaus einen Tumbler mit anderen teilt oder ob er über einen eigenen verfügt. Der Stromverbrauch der gemeinsam benützten Geräte in Mehrfamilienhäusern wird jedoch üblicherweise von einem separaten Stromzähler gemessen und erscheint nicht in der individuellen Stromabrechnung der einzelnen Haushalte. Auch der Stromverbrauch von Ölbrennern und Umlaufpumpen läuft nur in Einfamilienhäusern über den individuellen Stromzähler der einzelnen Haushalte; er lässt sich mit einer Dummy-Variable für Hauseigentümer (s.u.) erfassen.

Leider ist die Qualität der untersuchten Geräte, die ja in der kurzen Frist ebenfalls als fix angesehen werden muss, nicht bekannt. Insbesondere fehlt die Information über den spezifischen Elektrizitätsverbrauch.

Die Dummy-Variable für Haushalte, die im eigenen Haus leben ($HAUSEIG = 1$), erfasst nicht nur den Verbrauch von Umwälzpumpen und Ölbrennern, der auf der individuellen Stromabrechnung von Haushalten in Mehrfamilienhäusern fehlt. Es gibt weitere Gründe, warum Personen, die im eigenen Haus leben, mehr Elektrizität brauchen als andere. Zunächst einmal haben sie vermutlich mehr elektrische Geräte als andere Haushalte, weil sie mehr Platz haben, um diese aufzustellen, und damit niedrigere Nutzungskosten. Sie ziehen vermutlich auch weniger um und schaffen deshalb eher schwer zu verschiebende, sperrige Geräte mit grösserem Energieverbrauch an. Es könnte zudem sein, dass sie günstigere Finanzierungsbedingungen zum Kauf der Geräte erhalten als andere. Weiter ist auch mit einer intensiveren Nutzung der vorhandenen Geräte zu rechnen, sei es, dass dabei weniger Rücksicht auf Nachbarn genommen werden muss, Eigentümer häuslicher sind und mehr Komfortansprüche stellen als andere oder dass vermehrt Instandstellungs- und Hobbyarbeiten in der Wohnung ausgeführt werden. Schliesslich könnte der Status der Hauseigentümerin auch ein höheres Einkommen als angegeben aufzeigen, falls die Eigenmiete nicht im gemessenen Einkommen enthalten ist.

Als Variable, die das Produktionsumfeld des Haushalts beschreibt, wurde bereits das Klima erwähnt. Um den Einfluss der Witterung auf die Elektrizitätsnachfrage zu erfassen, werden die Haushalte deshalb anhand der Heizgradtage im Jahr 1991 in drei Gruppen eingeteilt: warmes Klima (weniger als 3500 Heizgradtage 1991); mittleres Klima (zwischen 3500 und 4000 Heizgradtage 1991) und kaltes Klima (mehr als 4000 Heizgradtage 1991). Mit zwei Dummy-Variablen [eine für Haushalte in kaltem ($KALT = 1$) und eine für Haushalte in warmem Klima ($WARM = 1$)] kann somit das unterschiedliche Klima berücksichtigt werden. Je kälter das Klima, um so mehr Elektrizität dürfte zu Heizzwecken verbraucht werden, um so weniger dafür aber vermutlich zum Kühlen.

Die Höhe des Kühlbedarfs könnte durch eine Einteilung anhand der Anzahl Kühlgradtage besser erfasst werden. Verschiedene amerikanische Studien verwenden deshalb sowohl Heiz- als auch Kühlgradtage in ihren empirischen Modellen¹⁵. Sehr eng mit der Anzahl der Kühlgradtage zusammen hängt vor allem der Verbrauch von Klimaanlage, die hierzulande allerdings im Gegensatz zu den USA in den Haushalten wenig verbreitet sind. Durch den Einbezug beider Grössen ergeben sich ausserdem Probleme durch ihre hohe Korrelation¹⁶. Deshalb wird auf das Einbeziehen der Kühlgradtage hier verzichtet im Bewusstsein, dass mit der Einteilung nach den Heizgradtagen auch die Auswirkungen unterschiedlich vieler Kühlgradtage miterfasst werden.

Da Beobachtungen aus verschiedenen Jahren verwendet werden (aus 1989, 1991 und 1992), muss zudem den klimatischen Unterschieden im Zeitablauf Rechnung getragen werden. Das Jahr 1991 war – gemessen an den Heizgradtagen – das kälteste unter den drei Jahren, für 1989 und 1992 werden deutlich weniger Heizgradtage gezählt, wobei 1992 noch etwas kälter wie 1989 war. Mit Jahres-Dummy-Variablen sollen diese zeitlichen Temperaturschwankungen aufgefangen werden.

Die Hoch- und Niedertarifzeiten unterscheiden sich von Werk zu Werk. Der grössere Teil der untersuchten Elektrizitätswerke gewährt den Niedertarif nur für den nächtlichen Stromverbrauch. Eine Minderheit der Werke verrechnet zusätzlich generell am Wochenende ab spätestens Samstag mittag bis am Montag morgen den Niedertarif. Die von ihnen versorgten Haushalte werden durch *WOCHEND* = 1 charakterisiert.

Wie üblich enthält die Gleichung einen Störterm ε , von dem angenommen wird, dass er normalverteilt ist mit einem Erwartungswert von Null und einer zu schätzenden Varianz von σ^2 .

In den *langfristigen* Elektrizitätsnachfragegleichungen fehlen gemäss den theoretischen Nachfragegleichungen (9) und (10) die Variablen zum Gerätekapitalstock, da dieser in der langen Frist variabel ist. Dagegen wirken laut Theorie die Nutzungskosten für den Kapitalstock P_K auf die langfristige Nachfrage ein. Die Variable P_K fehlt aber in den empirischen Nachfragegleichungen, weil der Nutzungspreis zwischen den Haushalten nicht variieren dürfte; sein Einfluss wird in der Konstanten aufgefangen. Die empirischen Gleichungen der langfristigen Elektrizitätsnachfrage sind somit abgesehen von den fehlenden Gerätevariablen identisch mit den kurzfristigen Spezifikationen.

15. Vgl. zum Beispiel GARBACZ (1984), HENSON (1984), HEWLETT (1977), HIRST, GOELTZ und CARNEY (1982), MCFADDEN, PUIG und KIRSHNER (1977), MORSS und SMALL (1989).

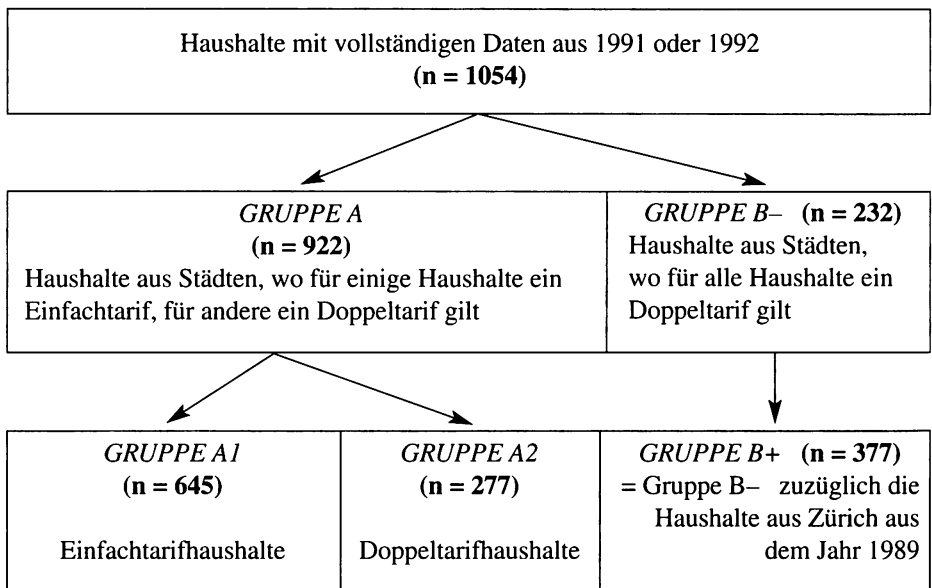
16. Vgl. GARBACZ (1983).

4. DIE DATEN

Für die Untersuchung stehen 1054 Beobachtungen von Haushalten aus Schweizer Städten mit vollständigen Daten aus den Jahren 1991 oder 1992 zur Verfügung. Die sozio-ökonomischen Angaben stammen von Haushaltbefragungen, die Verbrauchsdaten und Tarifmerkmale von den zuständigen städtischen Elektrizitätswerken¹⁷.

Grundsätzlich lassen sich die Elektrizitätswerke bezüglich der Tarifierung der Haushalte in zwei Gruppen einteilen. Einige Werke liefern den Strom an alle Haushalte zu einem zeitdifferenzierten Tarif, dem sogenannten Doppeltarif. Ein Haushalt bezahlt dabei für eine kWh im Hochtarif mehr als für eine kWh, die er nachts in der Niedertarifzeit konsumiert. Eine Mehrheit der untersuchten Werke wenden den Doppeltarif nur für einen Teil der Haushalte an, die anderen Haushalte bezahlen einen Einfachtarif, d.h. einen konstanten Arbeitspreis pro kWh unabhängig davon, wann diese verbraucht wird.

Abbildung 1: Die verwendeten Datensätze



Nach dem Tarifangebot lassen sich die vorhandenen Daten also in zwei Gruppen unterteilen. (vgl. Abbildung 1). Gruppe A enthält die Haushalte aus denjenigen Städten, wo das Tarifangebot für die Haushalte sowohl einen Einfach- als auch einen Doppeltarif umfasst. Zur kleineren Gruppe B- gehören die Haushalte aus denjenigen Städten, wo für alle Haushalte ein Doppeltarif gilt.

17. Für weitere Einzelheiten vgl. BONOMO (1998, Kap. 4).

Gruppe A wird zu Schätzzwecken weiter aufgeteilt in die Einfachtarifhaushalte (Gruppe A1) und in die Doppeltarifhaushalte (Gruppe A2). Gruppe B– enthält keine Beobachtungen aus der Stadt Zürich, obschon auch dort für alle Haushalte ein Doppeltarif gilt. Doch seit dem Herbst 1990 unterscheidet sich die vom Elektrizitätswerk der Stadt Zürich festgelegte Niedertarifzeit so fundamental von den in anderen Städten gültigen Zeiten, dass die Verbrauchsdaten Zürichs aus dem Jahr 1991 nicht berücksichtigt werden können¹⁸. Deshalb werden als Ersatz für die nicht verwendbaren Zürcher Beobachtungen des Jahres 1991 diejenigen aus dem Jahr 1989 (145 Beobachtungen) zur Gruppe B– hinzugefügt.

Für die Untersuchung der zeitabhängigen Elektrizitätsnachfrage eignen sich nur die Doppeltarifhaushalte. Folgende Datensätze werden deshalb verwendet:

- Gruppe A2: Doppeltarifhaushalte aus Städten, wo – allerdings oft nur, wenn bestimmte Bedingungen erfüllt sind¹⁹ – der Haushalt wählen kann, ob der Stromverbrauch nach dem Einfach- oder nach dem Doppeltarif verrechnet wird (277 Beobachtungen);
- Gruppe B+: Doppeltarifhaushalte aus Städten, wo für alle Haushalte ein Doppeltarif gilt, ergänzt mit den Zürcher Daten 1989 (377 Beobachtungen).

Bei der Verwendung der Gruppe A2 stellen sich spezielle schätztechnische Probleme. Es muss berücksichtigt werden, dass die Aufteilung der Haushalte in die Gruppen A1 und A2 nicht zufällig ist. Dies geschieht, indem eine sogenannte Selektionskorrekturvariable λ eingeführt wird²⁰.

5. RESULTATE DER EMPIRISCHEN SCHÄTZUNG

Die ausführlichen Schätzergebnisse sind im Anhang in den Tabellen 3 (Haushalte mit Tarifwahl, Gruppe A2) und 4 (Haushalte ohne Tarifwahl, Gruppe B+) aufgeführt. Der Erklärungsgrad liegt bei allen Schätzungen für Querschnittsdaten relativ hoch. Erwartungsgemäss liegt die Güte der Schätzung der langfristigen Spezifikation (korrigiertes R^2 zwischen 0.21 und 0.44) jeweils unter derjenigen der kurzfristigen Spezifikation (korrigiertes R^2 zwischen 0.30 und 0.64), weil die Gerätevariablen fehlen. Kurzfristig ist der Stromverbrauch weitgehend durch den Gerätebestand festgelegt; der Haushalt kann lediglich die Nutzungsintensität anpassen. Langfristig gewinnt er Freiheitsgrade, in dem er über Ersatz und Neubeschaffung von Geräten entscheiden kann. Viele der Determinan-

18. Vgl. dazu ZWEIFEL, FILIPPINI und BONOMO (1997).

19. Vgl. dazu BONOMO (1998), Kapitel 4.3.1.

20. Die Selektionskorrektur hat auf die geschätzten Preiselastizitäten wenig Einfluss; vgl. ZWEIFEL, FILIPPINI und BONOMO (1997, Kapitel 4.3.3) sowie BONOMO (1998).

ten dieser zusätzlichen Entscheide sind aber hier nicht erfasst, so dass mit einer Verschlechterung der statistischen Anpassung bei der langfristigen Spezifikation gerechnet werden muss²¹.

Für ein nicht unerhebliches Substitutionspotential zwischen Hochtarif- und Niedertarif-Elektrizität sprechen die Koeffizienten von *WOCHEND*. Die Tatsache, dass ein Haushalt während (mindestens Teilen) des Wochenendes vom Niedertarif profitiert, lässt zwar *ceteris paribus* seinen Niedertarifverbrauch höher ausfallen und seinen Hochtarifverbrauch niedriger ausfallen, ohne dass er zwischen den beiden Stromarten substituiert. Im Falle einer Gleichverteilung des Verbrauchs über die Wochentage würde der Reduktionseffekt im Hochtarifbereich im Regelfall 29% ($= 2 \cdot 16 \text{ Stunden} / 7 \cdot 16 \text{ Stunden}$) betragen. Die vier in den Tabellen 3 und 4 ausgewiesenen geschätzten Koeffizienten von *WOCHEND* in den Gleichungen für *ln EHT* gehen aber ausnahmslos deutlich über den Wert von 29% hinaus²². Dies lässt auf eine zusätzliche Preisreagibilität der Nachfrage schliessen, die von den nachstehend diskutierten Preiselastizitäten nicht vollumfänglich erfasst wird.

Die geschätzten Eigen- und Kreuzpreiselastizitäten der Hoch- und Niedertarfnachfrage sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Zum Vergleich enthält die Tabelle zudem Werte, die mit aggregierten Daten ermittelt wurden²³. Dabei handelt es sich um die Schätzung einer langfristigen Elektrizitätsnachfragegleichung, d.h. ohne Gerätevariablen.

21. Für eine ausführlichere Erläuterung der Schätzkoeffizienten der Nicht-Preisvariablen vgl. ZWEIFEL, FILIPPINI und BONOMO (1997), Kapitel 4.3.
22. Der niedrigste Wert der vier genannten Koeffizienten ist -0.384 (vgl. Tabelle 4), der höchste -0.544 (vgl. Tabelle 3). Dies entspricht näherungsweise Reduktionen von 32% und 42% (vgl. ZWEIFEL, FILIPPINI und BONOMO [1997], Anhang A für Einzelheiten).
23. Vgl. FILIPPINI (1995).

Tabelle 2: Preiselastizitäten im Vergleich^a

Datensatz	Hochtarifnachfrage		Niedertarifnachfrage	
	Eigenpreis- elastizität	Kreuzpreis- elastizität	Eigenpreis- elastizität	Kreuzpreis- elastizität
Kurzfristige Spezifikation:				
Gruppe A2 (Tarifwahl)	-0.67***	0.29	-0.89***	0.22
Gruppe B+ (keine Tarifwahl)	-0.24	0.75	-1.35*	1.67***
Langfristige Spezifikation:				
Gruppe A2 (Tarifwahl)	-0.90***	0.60***	-0.59*	-0.21
Gruppe B+ (keine Tarifwahl)	0.04	0.81	-1.73*	2.89***
Zum Vergleich:				
Aggregierte Daten auf Städteebene (langfristige Spezifikation)	-0.71**	0.65**	-1.92**	2.16**

a. *, **, ***: Signifikant von Null verschieden im 90%-, 95%-, 99%-Konfidenzintervall.

Die Schätzergebnisse lassen fast immer eine Übereinstimmung der Eigenpreis- und Kreuzpreiselastizitäten mit den theoretischen Erwartungen erkennen, was das Vorzeichen betrifft, doch bestehen Unterschiede in den einzelnen Werten. Solche Unterschiede sind jedoch nichts Aussergewöhnliches, sondern im Hinblick auf die unterschiedlichen Datensätze und Spezifikationen zu erwarten.

Die Resultate zeigen, dass nicht immer eine klare Erhöhung der Elastizitäten beim Übergang von der kurzen zur langen Frist stattfindet, wie es eigentlich zu erwarten wäre. Das lässt sich zum einen damit erklären, dass die hier geschätzten kurzfristigen Elastizitäten bereits langfristige Elemente enthalten. Haushalte in Orten, wo hohe Preise vorherrschen, besitzen vermutlich Geräte mit geringerem Stromverbrauch und umgekehrt. Weil der spezifische Verbrauch hier nicht beobachtet und somit nicht konstant gehalten werden kann, ist der Effekt der langfristigen Anpassung an die Preise durch die Wahl der Gerätequalität auch in den geschätzten kurzfristigen Elastizitäten enthalten. Die kurzfristigen Preiselastizitäten werden somit überschätzt. Auch ein weiteres relevantes Qualitätsmerkmal – nämlich die Grösse des Geräts – kann aus Datengründen nicht berücksichtigt werden.

Zum andern überwiegen in der Schweiz und insbesondere in den untersuchten Städten die Mieterhaushalte²⁴. Bei Geräten wie Boiler, Elektroherd und Heizung trifft nicht der Mieter, sondern der Vermieter die Auswahl. Dadurch verbleibt dem Haushalt in bezug auf wichtige energieverbrauchende Geräte nur die kurzfristige Entscheidung bezüglich der Nutzungsintensität, während die langfristigen Entscheidungen bezüglich Gerätebestand und spezifischem Verbrauch vom Vermieter getroffen werden. Der vermutlich besonders weite Planungshorizont des Vermieters dürfte bewirken, dass die aktuellen Energiepreise kaum in seinen Entscheid einfließen. Damit nähern sich die langfristigen Preiselastizitäten den kurzfristigen an. Zwar wäre theoretisch denkbar, dass der Wettbewerb auf dem Wohnungsmarkt den Vermieter dazu veranlasst, die für den Mieter optimale Geräteinstallation zu beschaffen, weil er sonst durch eine niedrigere erzielbare Rendite bestraft würde. Weil der Wohnungsmarkt aber vielerlei Regulierungen unterworfen ist, kann dieser Mechanismus wenn überhaupt nur verzögert spielen.

Aufgrund der in der Tabelle 2 angegebenen Resultate lassen sich folgende Aussagen über die Reaktion der schweizerischen Haushalte auf Änderungen des Strompreises machen:

- Die geschätzten Eigenpreiselastizitäten der Hoch- und Niedertarifnachfrage haben – mit einer Ausnahme²⁵ – ein negatives Vorzeichen. Die Haushalte zeigen überwiegend eine fühlbare Reaktion des zeitabhängigen Stromverbrauchs auf eine Änderung des Preises der entsprechenden Tarifperiode. Eine Verteuerung des Hochtarifs um 10% könnte die Hochtarifnachfrage langfristig um bis zu 9% reduzieren (Gruppe A2). Die geschätzten Eigenpreiselastizitäten der Niedertarifnachfrage sind immer mindestens im 90%-Konfidenzintervall signifikant verschieden von Null.
- Die positiven Werte der Kreuzpreiselastizitäten bedeuten, dass Hochtarif- und Niedertarifelektrizität Substitute darstellen²⁶. Eine Verbilligung des Niedertarifs um 10% führt bei den Haushalten mit Tarifwahl zu einer langfristigen Verringerung der Nachfrage in der Hochtarifzeit um rd. 6% (Gruppe A2). Diese Ergebnisse stützen die Hypothese, dass zeitdifferenzierte Elektrizitätstarife den Stromverbrauch der Haushalte von der Hochtarifperiode in die Niedertarifperiode verschieben können.

24. Im Falle des Datensatzes A2 wohnen nur 27% der Haushalte im eigenen Haus, im Falle des Datensatzes B+ gar nur 15%.

25. In der langen Frist erhält man einen positiven Wert für die Hochtarifnachfrage der Gruppe B+. Der Wert liegt mit 0.04 allerdings sehr nahe bei Null und ist nicht signifikant verschieden von Null.

26. Wieder erhält man in einem Fall ein falsches Vorzeichen. Die langfristige Kreuzpreiselastizität der Niedertarifnachfrage für A2 wird mit -0.21 geschätzt. Dieser Wert ist allerdings nicht signifikant verschieden von Null.

- Aus dem Vergleich der langfristigen Eigenpreis- und Kreuzpreiselastizitäten (Gruppe A2) geht hervor, dass eine vorgegebene langfristige Reduktion der Hochtarifnachfrage durch eine Verteuerung des Hochtarifs kombiniert mit einer Verbilligung des Niedertarifs erreicht werden könnte, wobei die Verbilligung etwa das Anderthalbfache der Verteuerung ausmachen würde.

Diese Resultate werden übrigens durch weitere Schätzungen bestätigt, wobei dort die zeitabhängige Elektrizitätsnachfrage wesentlich anders, nämlich als theoretisch abgeleitetes System simultaner Nachfragegleichungen modelliert wird²⁷.

6. SCHLUSSBEMERKUNGEN

In dieser Arbeit wurden zum Teil sehr deutliche Reaktionen der schweizerischen Haushalte auf Unterschiede in den Elektrizitätspreisen ermittelt. Die vergleichsweise hohen Preis- und Kreuzpreiselastizitäten der zeitabhängigen Elektrizitätsnachfrage stützen die Aussage, dass die zeitliche Substitution zwischen Hoch- und Niedertarifperioden des Tages relativ gut möglich ist. Die Ergebnisse zeigen somit, dass eine zeitdifferenzierte Tarifierung als Mittel zu einer gleichmässigeren Auslastung und damit effizienteren Verwendung der existierenden Produktions- und Verteilungskapazitäten eingesetzt werden kann. Durch die Tarifpolitik lässt sich mithin das Wachstum der Nachfrage in jener Laststufe bremsen, welche an die Kapazitätsgrenze stösst und die einen Zubau an Kapazitäten nötig machen könnte. Zur Zeit dürfte dies in der Schweiz eher das Winterhalbjahr im Vergleich zum Sommerhalbjahr sein; langfristig wird jedoch das stetige Wachstum der Nachfrage nach Elektrizität während der Tagesspitzen auch wieder die tageszeitliche Preisdifferenzierung zum Thema machen. Dabei deutet die vorliegende Untersuchung darauf hin, dass eine Verbilligung des Niedertarifs eine ähnliche Wirkung haben könnte wie eine Verteuerung des Hochtarifs, sofern sie etwas ausgeprägter ausfällt. Die Wirkung besteht in der Verringerung der Hochtarifnachfrage nach Elektrizität und dem damit ermöglichten (zumindest vorübergehenden) Verzicht auf den Ausbau der entsprechenden Produktions- und Verteilungskapazitäten, der seinerseits eine Reihe von Umweltbelastungen vermeiden helfen würde.

27. Vgl. ZWEIFEL, FILIPPINI, BONOMO (1997), Kapitel 5.

LITERATUR

- BARNES, R., R. GILLINGHAM und R. HAGEMANN (1981), The short-run residential demand for electricity, *Review of Economics and Statistics*, 63, S. 541–551.
- BECKER, G. S. (1965), A theory of the allocation of time, *Economic Journal*, 75, S. 493–517.
- BERNDT, E. R. (1991), *The Practice of Econometrics: Classic and Contemporary*, Addison-Wesley.
- BONOMO, S. (1998), *Elektrizitätsnachfrage und Gerätenachfrage von Haushalten in der Schweiz*, Dissertation Universität Zürich.
- DEATON, A. und J. MUELLBAUER (1980), *Economics and Consumer Behavior*, Cambridge University Press.
- DENNERLEIN, R. K.-H. (1987), *Stromverbrauchsverhalten privater Haushalte – Empirische Grundlagen für Langfrist-Prognosen*, in: Expertengruppe Energieszenarien, Schriftenreihe Nr. 13, Stromverbrauchsverhalten privater Haushalte, Bern: EDMZ.
- FILIPPINI, M. (1995), Swiss residential demand for electricity by time-of-use, *Resource and Energy Economics* 17, S. 281–290.
- FILIPPINI, M. (1997), *Elements of the Swiss Market for Electricity*, Heidelberg: Physica-Verlag.
- FLAIG, G. (1991), Haushaltsentscheidungen über den Besitz und die Nutzung von energieverbrauchenden Haushaltsgeräten, *IFO-Studien*, S. 255–270.
- GARBACZ, CH. (1983), A model of residential demand for electricity using a national household sample, *Energy Economics*, 5, S. 124–128.
- GARBACZ, CH. (1984), A national micro-data based model of residential electricity demand. New evidence on seasonal variation, *Southern Economic Journal*, 51, S. 253–249.
- GREENE, W. H. (1993), *Econometric Analysis*, Second Edition, New York: MacMillan.
- HENSON, S. E. (1984), Electricity demand estimates under increasing-block rates, *Southern Economic Journal*, S. 147–156.
- HEWLETT, J. G. (1977), Changing patterns of household's consumption of energy Commodities, *Proceedings of the American Statistical Association, Business and Economic Section*, S. 99–108.
- HIRST, E., R. GOELTZ und J. CARNEY (1982), Residential energy use. Analysis of disaggregate data, *Energy Economics*, 4, S. 74–82.
- McFADDEN, D., C. PUIG und D. KIRSHNER (1977), Determinants of the long-run demand for electricity, *Proceedings of the American Statistical Association, Business and Economic Section*, S. 109–113.
- MORSS, M. F. und J. L. SMALL (1989), Deriving electricity demand Elasticities from a simulation model, *Energy Journal*, 10, S. 51–76.
- MUTH, R. F. (1966), Household production and consumer demand functions, *Econometrica*, 34, S. 699–708.

- PINDYCK, R. S. und D. L. RUBINFELD (1991), *Econometric Models & Economic Forecasts*, Third Edition, New York: McGraw-Hill.
- PROGNOS (1992), Identifizierung und Internalisierung externer Kosten der Energieversorgung. Endbericht, *Studie im Auftrag des Bundesministers für Wirtschaft*, Nr. 561/3655, Basel.
- SPIERER, CH. (1988), Modélisation économétrique et perspectives à long terme de la demande d'énergie en Suisse, *Expertengruppe Energieszenarien*, Schriftenreihe Nr. 17, Bern: Bundesamt für Energiewirtschaft.
- TAYLOR, L. D. (1975), The demand for electricity, a survey, *Bell Journal of Economics*, S. 74–110.
- VARIAN, H. R. (1992), *Microeconomic Analysis*, Third Edition, New York: W. W. Norton & Company.
- WILLETT, K. D. und S. NAGHSHPOUR (1987), Residential demand for energy commodities. A household production function approach, *Energy Economics*, S. 251–56.
- WILLS, J. (1981), Residential demand for electricity, *Energy Economics*, S. 249–255.
- WILSON, J. W. (1971), Residential Demand for Electricity, *Quarterly Review of Economics and Business*, Vol. 11, No 1, S. 7–22.
- ZWEIFEL, P., M. FILIPPINI und S. BONOMO (1997), *Elektrizitätstarife und Stromverbrauch im Haushalt. Neue Erkenntnisse aus der Schweiz*, Heidelberg: Physica.

ANHANG

Tabelle 3: Schätzung der Elektrizitätsnachfrage mit dem Datensatz A2 (277 Beobachtungen)
(t-Werte in Klammern)

	kurzfristig		langfristig	
	<i>ln EHT</i>	<i>ln ENT</i>	<i>ln EHT</i>	<i>ln ENT</i>
Konstante	8.017*** (18.063)	7.413*** (11.153)	8.760 *** (18.965)	8.462 *** (12.197)
<i>ln PHT</i>	-0.669*** (-2.954)	0.215 (0.631)	-0.896 *** (-3.551)	-0.210 (-0.535)
<i>ln PNT</i>	0.292 (1.414)	-0.890*** (-2.851)	0.600 *** (2.680)	-0.588* (-1.683)
<i>ln GG</i>	-0.014 (-1.124)	-0.036* (-1.956)	-0.041 *** (-3.042)	-0.052 *** (-2.797)
<i>Y2</i>	-0.220*** (-2.748)	-0.041 (-0.355)	-0.200 ** (-2.291)	-0.036 (-0.250)
<i>Y3</i>	-0.104 (-1.247)	-0.010 (-0.081)	-0.077 (-0.827)	0.049 (0.320)
<i>Y4</i>	-0.112 (-1.398)	-0.059 (-0.485)	-0.047 (-0.540)	-0.083 (-0.587)
<i>PERS_1</i>	-0.322*** (-4.844)	-0.256*** (-2.587)	-0.314 *** (-4.300)	-0.271 *** (-2.687)
<i>PERS_4P</i>	0.312*** (4.591)	0.368*** (3.658)	0.380 *** (4.964)	0.395 *** (3.556)
<i>HAUSEIG</i>	0.236*** (3.149)	0.474*** (4.105)	0.458 *** (4.348)	0.882 *** (5.026)
<i>HFRAU</i>	0.117** (2.359)	0.048 (0.649)	0.042 (0.768)	-0.018 (-0.231)
<i>KIND</i>	0.044 (0.626)	-0.060 (-0.562)	0.063 (0.806)	-0.101 (-0.789)
<i>WOCHEND</i>	-0.501*** (-6.593)	0.236* (2.038)	-0.544 *** (-6.601)	0.111 (0.810)
<i>WARM</i>	0.300 *** (3.439)	0.027 (0.213)	0.425 *** (4.216)	-0.044 (-0.315)
<i>KALT</i>	0.078 (0.994)	0.144 (1.224)	0.196 ** (2.210)	0.231* (1.769)
<i>TIEFK</i>	0.222*** (4.019)	0.068 (0.826)	–	–
<i>GESCHIRR</i>	0.119** (2.183)	0.189** (2.355)	–	–
<i>WASCHM</i>	0.131** (2.283)	0.062 (0.726)	–	–
<i>KOCH</i>	0.217*** (2.731)	0.087 (0.728)	–	–
<i>BOI</i>	0.226* (1.677)	1.115*** (5.459)	–	–
<i>ELH</i>	0.793*** (4.873)	0.379 (1.581)	–	–
<i>J92</i>	-0.056 (-0.749)	-0.118 (-1.064)	-0.047 (-0.572)	-0.008 (-0.074)
Lambda	0.253** (2.255)	0.517*** (3.085)	0.165 (1.198)	0.838 *** (3.798)
Korrigiertes R ²	0.54	0.30	0.43	0.21

*, **, ***: Signifikant von Null verschieden im 90%-, 95%-, 99%-Konfidenzintervall.

Tabelle 4: Schätzung der Elektrizitätsnachfrage mit dem Datensatz B+ (n = 377)
(t-Werte in Klammern)

	kurzfristig		langfristig	
	<i>ln EHT</i>	<i>ln ENT</i>	<i>ln EHT</i>	<i>ln ENT</i>
Konstante	7.912*** (4.984)	5.872*** (2.674)	7.113 *** (4.245)	3.141 (1.158)
<i>ln PHT</i>	-0.244 (-0.575)	1.666** (2.571)	0.035 (0.075)	2.887 *** (3.601)
<i>ln PNT</i>	0.752 (1.528)	-1.347* (-1.722)	0.810 (1.473)	-1.727 * (-1.857)
<i>ln GG</i>	-0.209* (-0.149)	(-1.662) (-1.104)	-0.159 (-0.063)	(-0.853) (-0.288)
<i>Y2</i>	0.099* (1.701)	0.028 (0.322)	0.117 * (1.667)	-0.045 (-0.338)
<i>Y3</i>	0.028 (0.415)	-0.065 (-0.671)	0.078 (0.963)	-0.214 (-1.514)
<i>Y4</i>	0.043 (0.654)	-0.057 (-0.603)	0.113 (1.461)	-0.133 (-0.992)
<i>PERS_1</i>	-0.465*** (-8.121)	-0.405*** (-4.765)	-0.626 *** (-9.158)	-0.588 *** (-5.296)
<i>PERS_4P</i>	0.128** (2.515)	0.162** (2.291)	0.107 * (1.753)	0.215 ** (2.253)
<i>HAUSEIG</i>	0.203*** (3.362)	0.372*** (3.814)	0.387 *** (6.049)	0.655 *** (5.668)
<i>HFRAU</i>	0.088** (2.236)	-0.034 (-0.603)	0.080 * (1.686)	-0.017 (-0.224)
<i>KIND</i>	0.224*** (4.317)	0.110 (1.368)	0.273 *** (4.497)	0.062 (0.626)
<i>WOCHEND</i>	-0.389*** (-5.739)	0.438*** (4.965)	-0.384 *** (-5.310)	0.482 *** (4.307)
<i>WARM</i>	-0.015 (-0.170)	-0.195 (-1.552)	-0.079 (-0.808)	-0.226 (-1.431)
<i>TIEFK</i>	0.190*** (4.511)	0.123** (1.988)	–	–
<i>GESCHIRR</i>	0.141*** (3.133)	0.187*** (2.984)	–	–
<i>WASCHM</i>	0.220*** (4.725)	0.105* (1.663)	–	–
<i>KOCH</i>	0.390*** (8.176)	0.162** (2.230)	–	–
<i>BOI</i>	0.023 (0.468)	0.993*** (14.337)	–	–
<i>ELH</i>	0.471*** (3.115)	0.445*** (3.324)	–	–
<i>J92</i>	-0.032 (-0.480)	-0.049 (-0.376)	-0.017 (-0.198)	0.154 (1.068)
<i>J89</i>	0.087 (0.524)	-0.385* (-1.748)	0.157 (0.863)	-0.174 (-0.592)
Korrigiertes R ²	0.58	0.64	0.44	0.39

*, **, ***: Signifikant von Null verschieden im 90%-, 95%-, 99%-Konfidenzintervall.

ZUSAMMENFASSUNG

Auch der «saubere» Energieträger Elektrizität ist nicht frei von externen Effekten, die in steigendem Masse auf die Haushalte zurückgehen, deren Nachfrage zudem ausgeprägte Tages- und Saisonspitzen aufweist. Nur schon eine Glättung der Nachfrage würde dazu beitragen, dass ein Ausbau der Produktions- und Übertragungskapazitäten unterbleiben oder zumindest hinausgeschoben werden kann. Der vorliegende Beitrag setzt sich deshalb zum Ziel, mit Hilfe von Haushaltsdaten den Zusammenhang zwischen dem zeitabhängigen Elektrizitätsverbrauch der Haushalte und der Tarifgestaltung zu eruieren. Die geschätzten Eigenpreiselastizitäten sind ganz überwiegend signifikant negativ und die Kreuzpreiselastizitäten positiv. Die Tarifpolitik der Elektrizitätswerke ist demnach in der Lage, die Stromnachfrage der Haushalte zu steuern und zu glätten und so zur Eindämmung externer Effekte beizutragen.

RÉSUMÉ

L'électricité, source d'énergie censée «propre», a des effets externes que l'on peut imputer dans un degré croissant aux ménages avec leur demande caractérisée par d'importantes fluctuations journalières et saisonnières. Une réduction de ces fluctuations permettrait donc de renoncer à ou au moins de reporter l'augmentation des capacités de production et de transmission. La présente contribution a pour but d'examiner le lien entre la distribution temporelle de la consommation et la tarification de l'électricité dans le cas des ménages suisses. Estimées sur la base de données individuelles, les élasticités-prix sont dans leur grande majorité significativement négatives tandis que les élasticités-prix croisées sont positives. Par conséquent, la politique de tarification des centrales d'électricité est en mesure de régler et de stabiliser la demande d'électricité des ménages, contribuant ainsi à limiter les effets externes.

SUMMARY

In spite of its «clean» image, electricity is not without external effects, which can be increasingly traced to the households, whose demand is characterized by considerable time-of-day and seasonal variation. Thus, a reduction of this variation may permit the cancellation or at least deferral of additions to production and transmission capacities. This contribution purports to shed light on the relationship between time-dependent household demand for electricity and the pricing of power. Own price elasticities, estimated from individual data, are significantly negative with few exceptions, and the cross price elasticities positive. Clearly, the pricing policies of power producers have the potential for stabilizing and smoothing household demand for power, thus contributing to the mitigation of external effects.