Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 74 (1983)

Heft: 6

Artikel: Statistische Untersuchungen zur Entwicklung des schweizerischen Elektrizitätsverbrauchs im Zeitraum 1960 bis 1981

Autor: Schweikert, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904779

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Statistische Untersuchungen zur Entwicklung des schweizerischen Elektrizitätsverbrauchs im Zeitraum 1960 bis 1981

H. Schweikert

Das Wirtschaftswachstum und die Zunahme der Realeinkommen können den Anstieg des Elektrizitätsverbrauchs nicht allein erklären. Ein wichtiger Bestandteil dieses Verbrauchsanstiegs besteht in einer Trendkomponente, die letztlich auf die vielfältigen Anwendungsvorteile der elektrischen Energie zurückgeführt werden kann. Aufgrund statistischer Berechnungen darf vermutet werden, dass diese Trendkomponente in der Entwicklung des schweizerischen Elektrizitätsverbrauchs während der Periode von 1960 bis 1981, ausgedrückt als durchschnittliche jährliche Wachstumsrate des Landesbedarfs, auf etwa 2–2,5% veranschlagt werden kann.

La croissance économique et la hausse des revenus réels n'expliquent pas à elles-seules la hausse de la consommation d'électricité. Une part importante de cette hausse provient d'une composante tendancielle que l'on peut attribuer en fin de compte aux nombreux avantages d'utilisation de l'énergie électrique. Sur la base de calculs statistiques, il est permis de penser que pour l'évolution de la consommation suisse d'électricité entre 1960 et 1981, cette composante tendancielle, exprimée en tant que taux de croissance annuel moyen des besoins nationaux, peut être estimée à environ 2 ou 2,5%.

Adresse des Autors

H. Schweikert, Dr. rer. pol., Direktionsstab der Industriellen Werke Basel, Margarethenstrasse 40, 4053 Basel.

1. Einleitung

Die Entwicklung der modernen Industriewirtschaften ist untrennbar mit der Ausbreitung der elektrischen Energie verbunden. Wie keine andere Energieform weist die Elektrizität, seit dem Entstehen der öffentlichen Elektrizitätsversorgungen gegen Ende des 19. Jahrhunderts, ein kontinuierliches und scheinbar unaufhaltsames Wachstum auf. Selbst aussergewöhnliche Ereignisse wie Kriege oder grössere wirtschaftliche Rezessionen haben diese Entwicklung nicht aufzuhalten, sondern allenfalls vorübergehend zu unterbrechen oder zu stören vermocht.

Die Wirtschaftstheorie hat das Wachstum des Elektrizitätsverbrauchs zunächst dadurch erklärt, dass sie der Elektrizitätsversorgung die Rolle einer wachstumspolitischen Schlüsselindustrie zusprach. *Schumpeter* z. B. verknüpfte die Elektrizität mit dem dritten «Kondratjeff-Zyklus» (langfristiger Konjunkturzyklus) [1], und auch andere frühere Wachstumstheoretiker, so z. B. *Fellner*, waren der Ansicht, die Elektrizität sei jenen «führenden Industrien» zuzurechnen, die während einer längeren Periode das Wirtschaftswachstum bestimmen, dann aber von einer neuen «führenden Industrie» in dieser Rolle wieder abgelöst werden [2].

Ob diese Thesen von der wachstumsbestimmenden Funktion der Elektrizität in einer gewissen Phase der Industrialisierung richtig waren, mag heute dahingestellt bleiben. In der Gegenwart ist es jedenfalls nicht mehr die elektrische Energie, die das Wachstum trägt, sondern es sind die spezifischen Eigenschaften der Elektrizität, welche die Nachfrage nach dieser Energieform immer weiter ansteigen lassen. In gewissem Sinne als Ausgleich für die relativ hohen Umwandlungsverluste bei ihrer (thermischen) Erzeugung kann Elektrizität äusserst effizient in praktisch alle Formen der Nutzenergie übergeführt werden, und es sind vor allem die anwendungstechnischen Vorteile, welche ihr gegenüber anderen Brennstoffen oder Energieträgern in vielen Fällen eine klare Vorzugsstellung einräumen [3].

Das Wachstum des Elektrizitätsverbrauchs wird aus einer grossen Zahl von Quellen gespeist, und es ist deshalb kaum möglich, die Kräfte, die hinter diesem Wachstum stehen, anhand von Einzeldaten sichtbar zu machen. Es bedarf dazu der Aggregation dieser Daten und ihrer Aufbereitung mit Hilfe geeigneter statistischer Methoden. In verdienstvoller Weise hat sich die schweizerische Elektrizitätswirtschaft vor allem in ihrer letzten Vorausschau, dem «Zehn-Werke-Bericht» vom Juni 1979 [4], um eine statistische Analyse der Zusammenhänge zwischen dem Elektrizitätsverbrauch und den massgebenden wirtschaftlichen Bestimmungsgrössen dieses Verbrauchs bemüht. Im vorliegenden Beitrag werden einige weitere Berechnungen zur Frage des statistischen Zusammenhangs zwischen dem Elektrizitätsverbrauch und einigen ihn (gemäss Annahme) «verursachenden» Grössen vorgestellt.

Der gewählte statistische Ansatz beruht auf der Methode der multiplen Regression, wobei jeweils eine wirtschaftliche Schlüsselgrösse und die Zeit als «erklärende» Variable des Verbrauchs angenommen wurden. Das rechnerische Vorgehen ist also weder neu noch originell. Das Besondere am gewählten Verfahren besteht lediglich darin, dass der Einfluss der erklärenden Variablen auf den Verbrauch in anschaulicher Weise direkt deutlich gemacht wird. Die Koeffizienten der Regressionsgleichungen werden mathematisch so definiert, dass sie als Elastizitätskoeffizienten bzw. als exponentielle Wachstumsraten des Verbrauchs interpretiert werden können.

2. Der methodische Ansatz

Der im folgenden verwendete methodische Ansatz [5] beruht auf der Formel vom Typ

$$\hat{Y}_1 = a_0 \cdot Y_2^{k_2} \cdot 10^{k_3 \cdot X_3} \qquad (1)$$

Dabei stellt $\hat{Y}_1$ den Näherungswert des Elektrizitätsverbrauchs dar, Y_2 ist die jeweils verwendete wirtschaftliche Erklärungsvariable (in unserem Beispiel das Bruttoinlandsprodukt bzw. das persönliche verfügbare Einkommen), während X_3 den zeitlichen Trend in der Form einer Zeitreihe (fortlaufende Zahlenfolge) repräsentiert. a_0, k_2 und k_3 sind Gleichungskonstanten.

Durch Logarithmieren bringen wir Gleichung (1) auf die lineare Form:

$$\hat{X}_1 = k_0 + k_2 \cdot X_2 + k_3 \cdot X_3 \qquad (2)$$

In dieser Gleichung ist X_1 der Logarithmus des Elektrizitätsverbrauchs, X_2 der Logarithmus der wirtschaftlichen Variablen Y_2, und X_3 die nach wie vor in absoluten Werten ausgedrückte Zeitvariable. Die Formeln der linearen multiplen Regressionsrechnung können auf Gleichung (2) unmittelbar angewandt werden. Wir brauchen zur Ermittlung der Parameter k_0, k_2 und k_3 lediglich die Werte der Variablen Y_1 und Y_2 durch ihre Logarithmen (im vorliegenden Fall die Zehnerlogarithmen) zu ersetzen.

Der Parameter k_2 stellt nun nichts anderes dar als die Elastizität des Elektrizitätsverbrauchs in bezug auf die in die Rechnung einbezogene wirtschaftliche Variable Y_2. Steht Y_2 beispielsweise für das Bruttosozialprodukt, so gibt k_2 an, um welchen Prozentsatz sich der Elektrizitätsverbrauch erhöht oder vermindert, wenn das Bruttosozialprodukt eine Änderung um 1% erfährt.*)

Der Parameter k_3 bzw. der Ausdruck $10^{k_3 \cdot X_3}$ ist ebenfalls direkt als ökonomische Grösse interpretierbar. Da es sich bei X_3 um die Zeitvariable handelt, ergibt die Ausrechnung von $10^{k_3 \cdot X_3}$ jenen Bestandteil des Verbrauchswachstums, welcher nicht durch die wirtschaftliche Variable Y_2 erklärt werden kann. Mathematisch kann dieser Ausdruck als «exponentieller Wachstumsfaktor», analog beispielsweise zum «Zinsfaktor» in der Finanzmathematik, betrachtet werden. Ökonomisch gesehen repräsentiert er alles, was nicht im einzelnen in der Regressionsgleichung berücksichtigt ist: Interne Strukturänderungen der Wirtschaft, technologische Veränderungen und all jene Faktoren, die unter dem Sammelbegriff «zeitlicher Entwicklungstrend» zusammengefasst werden können. Dazu gehören insbesondere auch jene Verhaltensweisen der Konsumenten, die einen Mehrverbrauch an elektrischer Energie verursachen, die aber nicht auf eine klar erkennbare Ursache wie z. B. auf ein höheres Einkommen zurückzuführen sind. In der Theorie des wirtschaftlichen Wachstums wird der Beitrag dieser Faktoren oft auch als «autonomes Wachstum» bezeichnet.

*) Dies lässt sich durch einfache mathematische Umformung der Gleichung (1) nachweisen: Man bildet die partielle Ableitung von Y_1 nach Y_2, isoliert aus der so erhaltenen Gleichung den Parameter k_2 und multipliziert den betreffenden Bruch im Zähler und im Nenner mit Y_2. Das Resultat ist $k_2 = (dY_1/Y_1) : (dY_2/Y_2)$, d. h. die Elastizität.

3. Die verwendeten Ausgangsdaten

Das verwendete Datenmaterial wurde dem bereits erwähnten «Zehn-Werke-Bericht», Tabellen Anhang 1 und Anhang 3, und verschiedenen neueren Nummern des Bull. SEV/VSE (Jahrgänge 1979–1982) sowie der Zeitschrift «Die Volkswirtschaft» [6] entnommen. Die verwendeten Zeitreihen umfassen die Periode von 1960 bis 1981, insgesamt also 22 Jahre.

Da das kontinuierliche Wachstum der Produktion, der Einkommen und des Elektrizitätsverbrauchs 1973 infolge der damals aufgetretenen Ölkrise einen Unterbruch erfuhr, wurden zusätzlich noch separate Berechnungen für die Teilperiode 1970 bis 1981 durchgeführt, um zu ermitteln, ob die Resultate für diese Teilperiode von den entsprechenden Resultaten für den gesamten Beobachtungszeitraum wesentlich abweichen. Diese zusätzlichen Berechnungen für die allerdings nur 12 Jahre umfassende Teilperiode sind auch in methodischer Hinsicht von Bedeutung. Denn wegen des in dieser Teilperiode weitgehend stagnierenden und teilweise sogar rückläufigen Bruttoinlandsprodukts (BIP) kann von einer «linearen Abhängigkeit» der BIP-Reihe und der Zeitvariablen kaum gesprochen werden, und die möglichen Einwände gegen die Verwendung der gewählten statistischen Methode sind deshalb hier weit weniger stichhaltig (vgl. hierzu auch die Ausführungen in Abschnitt 6).

Für die Zeitvariable X_3 wurden den Berechnungen zwecks Vereinfachung nicht die Kalenderjahre, sondern die Folge der Zahlen 1 bis 22 bzw. für die erwähnte Teilperiode die Folge der Zahlen 1 bis 12 zugrunde gelegt. Eine Übersicht über das gesamte verwendete Zahlenmaterial und die verwendeten Bezeichnungen der ausgewählten Variablen gibt die Tabelle I. Weggelassen wurde in Tabelle I lediglich die Zeitvariable X_3 für die Berechnungen zur Teilperiode 1970 bis 1981 (Zahlenfolge 1 bis 12 anstelle der aufgeführten Werte 11 bis 22).

Der Elektrizitätsverbrauch wird durch die Zeitreihen Y_1, Y_4 und Y_6 repräsentiert. Der Verbrauch in Elektrokesseln sowie elektrischen Raumheizungen wurde, soweit dies aufgrund der verfügbaren Daten möglich war, aus diesen Zahlen eliminiert. Denn gerade im Elektrizitätsverbrauch für Heizungszwecke kommt auch die Preisentwicklung für andere Energieträger und insbesondere für Heizöl zum Ausdruck, die in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt wurde. Das Ziel der Berechnungen bestand, wie gesagt, darin, neben den Produktions- und Einkommenselastizitäten vor allem den Trend «ohne Ölsubstitution» herauszuarbeiten, und aus diesem Grunde wurden nur Verbrauchszahlen «ohne Elektroheizung» zugrunde gelegt. Die Nachfrage nach elektrischer Energie für die Ölsubstitution lässt sich bis zu einem gewissen Grade positiv oder negativ beeinflussen. Beim langfristigen Trend in dem hier definierten Sinne ist eine solche Einflussnahme jedoch wesentlich schwieriger, und es ist nicht zuletzt dieser Trend, der in der Beurteilung der zukünftigen Bedarfsentwicklung eine wichtige Rolle spielt.

4. Die angenommenen statistischen Zusammenhänge

Es wurde angenommen, dass die vermuteten statistischen Zusammenhänge durch die nachstehend aufgeführten rechnerischen Beziehungen ausgedrückt werden können. Die Variablen X_i (i = 1, 2, 4, 5 und 6) sind dabei jeweils die Logarithmen der Variablen Y_i gemäss Tabelle I. Untersucht wurden drei verschiedene Beziehungen, wobei, wie erwähnt, die Perioden 1960 bis 1981 und 1970 bis 1981 separat betrachtet wurden. Es ergaben sich also insgesamt sechs verschiedene Regressionsgleichungen. Die Gleichungen (3), (5) und (7) beziehen sich auf den gesamten Beobachtungszeitraum 1960 bis 1981. Die Gleichungen (4), (6) und (8) gelten für den Teilzeit-

Ausgangsdaten Tabelle I

Jahr	Gesamter Elektrizitätsverbrauch ohne Elektroheizung, Elektrokessel und Verluste GWh	Bruttoinlandprodukt in konstanten Preisen Mio Fr.	Zeit Jahre	Elektrizitätsverbrauch des Sektors «Haushaltungen / Gewerbe / Landwirtschaft / Dienstleistungen (ohne Elektroheizung) GWh	Persönliches verfügbares Einkommen in konstanten Preisen Mio Fr.	Elektrizitätsverbrauch des Sektors «Industrie und Verkehr» GWh
	Y_1	Y_2	X_3	Y_4	Y_5	Y_6
1960	15 430	57 165	1	7 471	35 143	7 959
1961	16 304	61 800	2	7 846	38 457	8 458
1962	17 445	64 760	3	8 479	40 183	8 966
1963	18 167	67 920	4	8 883	42 949	9 284
1964	19 203	71 490	5	9 462	45 683	9 741
1965	20 064	73 765	6	9 981	47 877	10 083
1966	20 453	75 580	7	10 195	48 753	10 258
1967	21 264	77 890	8	10 615	50 753	10 649
1968	22 277	80 685	9	11 237	51 932	11 040
1969	23 538	85 230	10	11 987	54 504	11 551
1970	24 915	90 665	11	12 674	58 509	12 241
1971	26 046	94 360	12	13 507	63 170	12 539
1972	26 960	97 380	13	14 258	65 491	12 702
1973	28 499	100 350	14	15 300	67 288	13 199
1974	29 200	101 810	15	15 895	66 686	13 305
1975	28 374	94 245	16	16 154	63 275	12 220
1976	29 311	92 270	17	16 837	62 711	12 474
1977	30 549	95 140	18	17 646	63 965	12 903
1978	31 582	95 725	19	18 480	65 225	13 102
1979	32 700	98 110	20	19 175	65 454	13 525
1980	33 966	102 625	21	20 068	66 886	13 898
1981	34 646	104 615	22	20 566	67 913	14 080

Quellen: Die Werte der Variablen Y_i für die Jahre 1960 bis 1977 sind der Vorschau auf die Elektrizitätsversorgung der Schweiz 1979–1990, Sechster Zehn-Werke-Bericht, Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE), Juni 1979, Seiten 22 und 23, entnommen. Für die Periode 1978 bis 1981 wurden diese Angaben durch die seither erschienenen Statistiken des BEW (Bulletin SEV/VSE, Jahrgänge 1979 bis 1982) sowie des Bundesamtes für Statistik («Die Volkswirtschaft», Heft 11, September 1982) ergänzt.

raum 1970 bis 1981. Die Numerierung der Gleichungsparameter ist fortlaufend, nimmt also auf die Indizes der Variablen keine Rücksicht.

4.1 Annahme eines Zusammenhangs zwischen dem gesamten Elektrizitätsverbrauch, dem Bruttoinlandsprodukt und der Zeit

$$\hat{X}_1 = k_0 + k_2 \cdot X_2 + k_3 \cdot X_3 \quad (3)$$

$$\hat{X}_1 = k_4 + k_5 \cdot X_2 + k_6 \cdot X_3 \quad (4)$$

Diese Beziehung ergibt sich aufgrund der Annahme, dass das gesamte Verbrauchsniveau am besten durch eine gesamtwirtschaftliche Grösse sowie durch die Zeit «erklärt» werden kann. Das Bruttoinlandsprodukt erscheint deshalb geeignet, weil es ein Mass ist für das Niveau der gesamten inländischen wirtschaftlichen Aktivität unter Einschluss sowohl des Investitions- als auch des Konsumgüterbereichs. Auswirkungen auf den Stromverbrauch, die durch Verschiebungen in der Produktionsstruktur ausgelöst werden, können jedoch durch diese aggregierte Grösse nicht erfasst werden. Sie schlagen sich in dieser Gleichung im zeitlichen Trendfaktor nieder.

4.2 Annahme eines Zusammenhangs zwischen dem Elektrizitätsverbrauch im Sektor «Haushaltungen / Gewerbe / Landwirtschaft / Dienstleistungen», dem persönlichen verfügbaren Einkommen und der Zeit

$$\hat{X}_4 = k_7 + k_8 \cdot X_5 + k_9 \cdot X_3 \quad (5)$$

$$\hat{X}_4 = k_{10} + k_{11} \cdot X_5 + k_{12} \cdot X_3 \quad (6)$$

Die hier getroffene Annahme ist insofern problematisch, als nur ein Teil der verwendeten Verbrauchsgrösse, nämlich der Haushaltsverbrauch, direkt mit dem persönlich verfügbaren Einkommen in Zusammenhang gebracht werden kann. Der Verbrauch der Haushaltungen wird seit einiger Zeit separat ausgewiesen, so dass dieser Sektor auch allein mit dem Einkommen korreliert werden könnte, doch ist die Anzahl der verfügbaren Werte noch klein.

4.3 Annahme eines Zusammenhangs zwischen dem Elektrizitätsverbrauch im Sektor «Industrie und Verkehr», dem Bruttoinlandsprodukt und der Zeit

$$\hat{X}_6 = k_{13} + k_{14} \cdot X_2 + k_{15} \cdot X_3 \quad (7)$$

$$\hat{X}_6 = k_{16} + k_{17} \cdot X_2 + k_{18} \cdot X_3 \quad (8)$$

Ein geeigneteres Mass als das gesamte BIP zur «Erklärung» des Elektrizitätskonsums im Sektor Industrie und Verkehr wäre natürlich der Beitrag dieses Sektors zum BIP. Es darf aber trotzdem vorausgesetzt werden, dass der Elektrizitätsverbrauch in der Industrie ebenfalls eng mit der gesamtwirtschaftlichen Aktivität korreliert ist.

5. Die Berechnungsergebnisse

5.1 Gesamter Elektrizitätsverbrauch

Die Berechnung für die Gleichungen (3) und (4) ergab folgende Resultate:

$$\hat{X}_1 = 1{,}8049 + 0{,}4987 \cdot X_2 + 0{,}0108 \cdot X_3 \quad (9)$$

$$\hat{X}_1 = 1{,}7085 + 0{,}5400 \cdot X_2 + 0{,}0106 \cdot X_3 \quad (10)$$

Diese Ergebnisse sagen aus, dass sich der gesamte Elektrizitätskonsum (ohne Elektroheizung und Verluste) sowohl gemäss Gleichung (9) als auch gemäss Gleichung (10) um 0,5% erhöht, wenn das Bruttoinlandsprodukt ceteris paribus, d. h. bei Konstanz aller übrigen Einflussfaktoren, um 1% zunimmt.

Das «autonome» Verbrauchswachstum errechnet sich aus den Koeffizienten von X_3. Durch Entlogarithmieren erhalten wir die «Wachstumsfaktoren» 1,0252 für Gleichung (9) bzw. 1,0248 für Gleichung (10). Führen wir die Gleichungen (9) und (10) wieder in die entlogarithmierte Form vom Gleichungstyp (1) zurück, so erkennen wir, dass es sich bei den Gliedern $1{,}0252^{X_3}$ bzw. $1{,}0248^{X_3}$ um den exponentiellen Trend handelt. Im Durchschnitt der beiden zugrunde liegenden Beobachtungsperioden hat sich also der Elektrizitätsverbrauch unabhängig vom Wachstum des Bruttoinlandsprodukts gemäss Gleichung (9) um rund 2,5% und gemäss Gleichung (10) ebenfalls um rund 2,5% jährlich erhöht.

Die Niveaukonstanten 1,8049 von Gleichung (9) bzw. 1,7085 von Gleichung (10) sind im vorliegenden Zusammenhang nicht von Interesse. Zur Ergänzung wurden im übrigen noch das Quadrat des multiplen Korrelationskoeffizienten sowie die statistischen Prüfgrössen für die Koeffizienten von X_2 und X_3 errechnet. Für Glei-

chung (9) ergibt sich ein statistisch gesicherter Korrelationskoeffizient von 0,999 und für Gleichung (10) von 0,982. Nahezu die gesamte Streuung der unabhängigen Variablen X_1 (Elektrizitätsverbrauch) kann also durch die Funktion X_1 (abhängig vom Bruttoinlandprodukt und vom exponentiellen Trend) erklärt werden. Die Prüfung der Koeffizienten der Variablen X_2 und X_3 mit Hilfe der sogenannten t-Verteilung (Students Test) ergab, dass beide Koeffizienten, allerdings nur bei stochastischer Unabhängigkeit der erklärenden Variablen, sowohl in Gleichung (9) als auch in Gleichung (10) als statistisch gesichert angesehen werden können.

5.2 Elektrizitätsverbrauch im Sektor «Haushaltungen / Gewerbe / Landwirtschaft und Dienstleistungen»

Das Resultat der Berechnungen für diesen Sektor ist:

$$\hat{X}_4 = 2{,}6885 + 0{,}2558 \cdot X_5 + 0{,}0181 \cdot X_3 \quad (11)$$

$$\hat{X}_4 = 2{,}0035 + 0{,}4369 \cdot X_5 + 0{,}0174 \cdot X_3 \quad (12)$$

Die Elastizität des Elektrizitätsverbrauchs im Sektor Haushaltungen / Gewerbe / Landwirtschaft / Dienstleistungen in bezug auf das persönliche verfügbare Einkommen beträgt 0,26 gemäss Gleichung (11) und 0,44 gemäss Gleichung (12). Im Vergleich mit diesen eher niedrigen Koeffizienten ist der exponentielle Trend stark ausgeprägt: Es ergibt sich in beiden Gleichungen ein jährliches «autonomes» Wachstum von über 4%. Dieses Ergebnis dürfte möglicherweise zum Teil mit den bereits erwähnten Mängeln der zugrunde liegenden statistischen Hypothese (Zuordnung des persönlichen verfügbaren Einkommens auf den Verbrauch von Haushalt und Gewerbe) zusammenhängen, könnte aber auch darauf hindeuten, dass die Einkommensentwicklung nicht die entscheidende Determinante des Verbrauchswachstums ist.

Das Quadrat des multiplen Korrelationskoeffizienten liegt nahe bei Eins in den beiden Gleichungen. Die Koeffizienten von X_5 sind im Gegensatz zu den Koeffizienten von X_3 (wiederum bei Annahme der stochastischen Unabhängigkeit dieser beiden Variablen) statistisch nicht gesichert.

5.3 Elektrizitätsverbrauch im Sektor «Industrie und Verkehr»

Die postulierten Regressionsgleichungen lauten hier:

$$\hat{X}_6 = 0{,}1373 + 0{,}7914 \cdot X_2 + 0{,}0018 \cdot X_3 \quad (13)$$

$$\hat{X}_6 = 0{,}8131 + 0{,}6588 \cdot X_2 + 0{,}0023 \cdot X_3 \quad (14)$$

Der Elektrizitätsverbrauch des Sektors «Industrie und Verkehr» ist nach diesen Ergebnissen vorwiegend produktionsabhängig. Die auf das Bruttoinlandsprodukt bezogenen Elastizitäten, d. h., die Koeffizienten von X_2, liegen bei 0,8 und 0,7, lassen also auf einen starken Einfluss des Produktionswachstums auf den Anstieg des Elektrizitätsverbrauchs schliessen. Der exponentielle Trend ist demgegenüber schwach, da sich jährliche Wachstumsraten des autonomen Bedarfs von nur 0,4% in Gleichung (13) und 0,5% in Gleichung (14) ergeben.

Das Quadrat des multiplen Korrelationskoeffizienten ist wiederum hoch und liegt für Gleichung (13) bei 0,992 und für Gleichung (14) bei 0,889. Nur der Koeffizient von X_3 in Gleichung (14) ist (wieder bei Annahme der stochastischen Unabhängigkeit der erklärenden Variablen) statistisch nicht gesichert.

6. Fehlerquellen und methodische Probleme

Es versteht sich von selbst, dass die hier vorgestellten Resultate mit grosser Vorsicht interpretiert werden müssen. Weniger wichtig sind die in den errechneten Koeffizienten enthaltenen Ungenauigkeiten (durch Rundung usw.). Mögliche Fehlerquellen können schon in den Ausgangsdaten enthalten sein, deren Genauigkeit hier nicht in Frage gestellt wurde. Vorbehalte sind ferner angebracht, weil gerade bei Zeitreihen immer wieder die statistischen Phänomene der sogenannten Autokorrelation und Multikollinearität auftreten, die hier nicht näher untersucht wurden. Es ist also nicht sicher, ob die dargestellten Regressionsgleichungen wirklich zu Recht bestehen.

Der gewichtigste methodische Einwand ergibt sich durch mögliches Vorhandensein von Multikollinearität in den erklärenden Variablen. Diese ist dann gegeben, wenn eine erklärende Variable aus einer anderen durch lineare Umwandlung gewonnen werden kann, und in diesem Falle lassen sich die Koeffizienten der gesuchten multiplen Regressionsgleichung nicht mehr schätzen. Multikollinearität ist insbesondere dann anzunehmen, wenn die erklärenden Variablen einem zeitlichen Trend unterliegen, und dies ist beim verwendeten Zahlenmaterial für die Periode 1960 bis 1973 der Fall. Nicht zuletzt aus diesem Grunde wurde auch die Periode 1970 bis 1981 separat untersucht, da hier vor allem zwischen dem Bruttoinlandsprodukt und der Zeitvariablen keine parallele Entwicklung mehr festzustellen ist.

Bezüglich der Resultate von multiplen Regressionsgleichungen besteht von vorneherein dann Verdacht auf Multikollinearität, wenn die Koeffizienten der Gleichungen offensichtlich «unsinnig» sind, d. h. wenn sie von den untersuchten Zusammenhängen her nicht sinnvoll interpretiert werden können. Zumindest diese Hürde konnte bei den vorliegenden Resultaten übersprungen werden. Alle errechneten Parameter sind in hohem Masse ökonomisch interpretierbar und theoretisch «plausibel». Verdacht auf Multikollinearität besteht ferner, wenn die statistischen Vertrauensgrenzen der Koeffizienten extrem weit auseinander liegen, und auch dies ist hier nicht der Fall. Bemerkenswert ist aber insbesondere, dass die Resultate für die vom Entwicklungscharakter her unterschiedlichen Zeitreihen der langen (1960 bis 1981) und der kurzen Periode (1970 bis 1981) nahezu identisch sind, und ein gewisses Vertrauen in die erhaltenen Resultate scheint demnach gerechtfertigt zu sein. Es soll aber nicht verschwiegen werden, dass detailliertere Tests zur Widerlegung der Multikollinearität bei den vorliegenden Berechnungen grundsätzlich erforderlich wären, bevor weiterreichende Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen gezogen werden.

7. Wichtigste Schlussfolgerungen

Schieben wir die im vorhergehenden Abschnitt bezüglich der Qualität der erhaltenen Resultate geäusserten Bedenken beiseite, dann können aus diesen Resultaten die folgenden wichtigsten Schlussfolgerungen abgeleitet werden:

- Das Wachstum des gesamten Elektrizitätsverbrauchs (ohne Elektroheizung und Verluste) im Zeitraum von 1960 bis 1981 kann nur teilweise durch das Wachstum der gesamtwirtschaftlichen Produktion erklärt werden. Ein erheblicher Teil dieses Wachstums ist auf «autonome» Entwicklungen zurückzuführen. Die Grössenordnung dieser Trendkomponente lag im Beobachtungs-

zeitraum bei etwa 2,5% im Jahresdurchschnitt.

- Das autonome, d. h. von der Einkommensentwicklung unabhängige Verbrauchswachstum ist im Sektor «Haushaltungen / Gewerbe / Landwirtschaft / Dienstleistungen» besonders ausgeprägt.
- Im Sektor «Industrie und Verkehr» ist die Ursache des Verbrauchswachstums hauptsächlich im Wachstum der industriellen Produktion zu suchen. Das autonome exponentielle Wachstum spielt in diesem Sektor eine untergeordnete Rolle.
- Die erwähnten Schlussfolgerungen sind im wesentlichen vom Charakter der jeweils zugrunde gelegten Beobachtungsperiode (d. h. mit oder ohne Einschluss der «Rezessionsperiode» seit Ende 1973) unabhängig.

Besonderes Interesse beanspruchen die erhaltenen Schätzwerte für den zeitlichen Entwicklungstrend des Elektrizitätsverbrauchs. Sie sind deshalb nochmals in der Tabelle II zusammengefasst.

Überraschend sind die niedrigen Trendfaktoren für den Bereich «Industrie und Verkehr», da Beobachtungen und Überlegungen, wie sie z. B. in [3] dargelegt werden, einen grösseren Einfluss autonomer Entwicklungen erwarten liessen. Anderseits kann aber auch ein kleiner Trendfaktor in der Industrie (z. B. über produktivitätstheoretische Überlegungen) ökonomisch ohne weiteres erklärt werden. Insbesondere scheinen die Ergebnisse jedoch für den gesamten Landesverbrauch mit anderen Beobachtungen zur allgemeinen Entwicklung des Elektrizitätskonsums übereinzustimmen. Viele Elektrizitätswerke stellen fest, dass der Verbrauch in ihrem Versorgungsgebiet auch in der Rezession, d. h. bei stagnierender oder sogar rückläufiger Produktions- und Einkommensentwicklung, jährlich weiter zunimmt, und zwar auch dann, wenn auf eine bewusste Förderung der elektrischen Raumheizung verzichtet wird. Dies ist beispielsweise im Kanton Basel-Stadt der Fall, wo im Zeitraum 1970 bis 1982 ein durchschnittliches Verbrauchswachstum von 2,5% p. a. und von 1973 bis 1982 ein Wachstum von 1,5% p. a. verzeichnet wurde. Diese Zuwachsraten lassen sich sicher zu einem wesentlichen Teil mit dem Trendfaktor in dem hier definierten Sinne identifizieren. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass zahlreiche industrielle oder gewerbliche Betriebe während dieser Periode ihren Produktionsstandort aus dem Stadtkanton in benachbarte Regionen anderer Kantone verlagert haben (was einen etwas höheren Trendfaktor ergäbe) und anderseits die Einkommensentwicklung nicht stillgestanden hat (was einem etwas niedrigeren Trendfaktor entspräche). Die vergleichsweise sehr niedrige Wachstumsrate im Kanton Basel-Stadt könnte auch als Hinweis verstanden werden, dass der Trendfaktor in Wirklichkeit etwas niedriger ist, als es in den obigen Berechnungsergebnissen zum Ausdruck kommt (wobei aber wieder der Einwand zu beachten ist, dass die Verhältnisse einer speziellen Region nicht auf das ganze Land übertragen werden dürfen). Immerhin scheinen solche Einzelbeobachtungen, wie sie für Basel-Stadt erwähnt wurden, mit den für die gesamte Schweiz gefundenen Tendenzen nicht in Widerspruch zu stehen, sondern die errechneten Resultate bis zu einem gewissen Grade zu bestätigen.

Der Trendfaktor im Wachstum des schweizerischen Stromverbrauchs Tabelle II

Verbrauchsbereich	Koeffizient der Zeitvariablen	Trendfaktor (% p.a.)
Landesverbrauch insgesamt[1])	0,0108	2,5
Landesverbrauch insgesamt[2])	0,0106	2,5
Haushalt / Gewerbe / Dienstl. / Landw.[1])	0,0181	4,3
Haushalt / Gewerbe / Dienstl. / Landw.[2])	0,0174	4,1
Industrie und Verkehr[1])	0,0018	0,4
Industrie und Verkehr[2])	0,0023	0,5

[1]) Periode 1960 bis 1981
[2]) Periode 1970 bis 1981

8. Schlussbemerkungen

Abschliessend sei nochmals die schon verschiedentlich ausgesprochene Warnung wiederholt, dass die Ergebnisse der hier vorgestellten Berechnungen nicht überbewertet werden sollten. Es ging vor allem darum, das statistische Konzept eines «Trendfaktors» bei der langfristigen Entwicklung des Elektrizitätsverbrauchs als solches wieder einmal in Erinnerung zu rufen und dieses Konzept in mathematisch anschaulicher Form darzulegen.

Besondere Vorbehalte sind angebracht, wenn die Absicht besteht, aus der Analyse der Vergangenheitsentwicklung Schlussfolgerungen für die Zukunft abzuleiten. Eine Gewähr, dass die für die Vergangenheit festgestellten Beziehungen auch für die Zukunft gelten, besteht nicht. Anderseits ist die elektrische Energie keine gewöhnliche Ware. Ihre universelle Verwendbarkeit als Energieträger und die saubere und problemlose Form ihrer Anwendung haben ohne Zweifel entscheidend zu ihrem stetigen Wachstum in den letzten hundert Jahren beigetragen. Es ist anzunehmen, dass die hinter diesem Wachstum stehenden Kräfte auch in den kommenden Jahren bestimmend sein werden.

Die hier durchgeführte Analyse müsste sicher noch in vieler Hinsicht ergänzt und vervollständigt werden. Erhebliches Interesse kommt beispielsweise auch der Frage zu, wie der Verbrauch elektrischer Energie in der Vergangenheit auf Änderungen der Elektrizitätstarife und der Preise anderer Energieträger reagiert hat. Auch zur Klärung dieser Frage könnte die hier verwendete statistische Methode benutzt werden.

Die weitere analytische Durchdringung der Zusammenhänge zwischen dem Verbrauch elektrischer Energie und den ihn verursachenden Grössen ist wünschenswert. Die wenigen Berechnungen, die in diesem Beitrag wiedergegeben wurden, geben Anlass zu der Vermutung, dass der Elektrizitätsverbrauch selbst dann mit einer Rate von etwa 2% jährlich zunimmt, wenn die Wirtschaft stagniert und wenn auf eine bewusste Förderung der elektrischen Raumheizung, d. h. auf Substitution fossiler Energieträger durch elektrische Energie, verzichtet wird. Diese Vermutung scheint auch im Lichte anderer ökonomischer Fakten und Erfahrungen berechtigt zu sein.

Literatur

[1] *J. A. Schumpeter:* Konjunkturzyklen, 1. Band, Göttingen 1961, S. 409 ff.

[2] *W. Fellner:* Trends and Cycles in Economic Activity, New York 1956, S. 354.

[3] Vgl. hierzu z. B. *H. Schäfer:* Influence of Electrical Energy on Industrial Production, in: New Energy Conservation Technologies and their Commercialization. IEA International Energy Agency, Berlin, Heidelberg, New York 1981, Bd. 1, S. 213 ff.

[4] Vorschau auf die Elektrizitätsversorgung der Schweiz 1979–1990. Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke, Zürich, Juni 1979.

[5] Vgl. *G. Tintner:* Handbuch der Ökonometrie, Berlin, Göttingen, Heidelberg 1960.

[6] Die Nationale Buchhaltung der Schweiz 1981, Die Volkswirtschaft, September 1982.