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: 79 (1988)

Heft: 10

Artikel: Derzeitige Methoden der Energieprognose

Autor: Spreng, D.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904034

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

Derzeitige Methoden der Energieprognose

D. Spreng

Die Sicherstellung der Energieversorgung bedarf der langfristigen Planung. Der Beitrag erläutert die derzeit verfügbaren Methoden der Energieprognose und geht unter anderem speziell auf verschiedene methodische Aspekte der jüngsten Prognosen auf dem Gebiet der Elektrizitätswirtschaft ein.

Un approvisionnement en énergie sûr demande une planification à long terme. L'article présente les méthodes de prévisions d'énergie actuellement disponibles et étudie spécialement, entre autres, certains aspects méthodiques des dernières prévisions faites à propos de l'économie électrique.

Leicht überarbeitete Fassung eines Vortrages, gehalten am 8. Dezember 1987 im Kolloquium «Aktuelle Probleme der Energietechnik» an der ETH Zürich.

Adresse des Autors

Dr. *Daniel Spreng*, Forschungsgruppe Energieanalysen, Institut für elektrische Energieübertragung und Hochspannungstechnik, ETH Zürich, 8092 Zürich.

1. Prognosen und Szenarien

Kraftwerke und Energieverteilsysteme können nicht von heute auf morgen gebaut werden, und auch die unzähligen mit Energie gespiesenen Apparate, Maschinen und Einrichtungen können nicht alle auf ein Mal ersetzt oder verändert werden. Prognosen über die Entwicklung der Energienachfrage sind unverzichtbare Grundlagen sowohl für die Energiewirtschaft als auch für die Energiepolitik.

Die zukünftige Entwicklung der Energienachfrage ergibt sich aus den Wechselwirkungen technischer, wirtschaftlicher, gesellschaftlicher und politischer Entwicklungen. Die Bestimmung dieser Wechselwirkungen ist sowohl eine entscheidende Aufgabe bei der Erarbeitung einer Prognose als auch beim Entwurf eines Szenarios. Die Figuren 1 und 2 stellen schematisch diese Wechselwirkungen dar und weisen gleichzeitig auf Unterschiede zwischen einem Szenario und einer Prognose hin.

Bei einer *Prognose* geht es zunächst darum, die Entwicklungen aller relevanten Grössen inklusive ihrer wechselseitigen Beeinflussung möglichst genau zu bestimmen. Sodann legt man sich allenfalls auf die als wahrscheinlich erachteten zukünftigen Entwicklungen einiger Schlüsselgrössen fest (man spricht dann von einer bedingten Prognose), andernfalls werden die entsprechenden Entwicklungen rechnerisch aus der Vergangenheit in die Zukunft fortgesetzt. Und schliesslich wird durch das in die Zukunft fortgesetzte Spielenlassen der Wechselwirkungen die wahrscheinliche zukünftige Entwicklung der einen, besonders interessierenden Grösse bestimmt, eben z.B. die zukünftige Entwicklung der Energienachfrage.

Bei einem *Szenario* ist es sehr ähnlich. Man geht auch von den heutigen Entwicklungen und ihren Wechselwirkungen aus, macht Annahmen über die zukünftige Entwicklung einer oder mehrerer Schlüsselgrössen und schätzt die Auswirkung dieser Szenario-Annahmen auf die zukünftige Entwicklung der übrigen Grössen. Die im zweiten Schritt getroffenen Szenario-Annahmen brauchen aber keineswegs wahrscheinlich zu sein, sondern es sind frei wählbare, hypothetische Annahmen, und es geht im dritten Schritt um die Bestimmung von «Wenn..., dann...» und nicht um die als wahrscheinlich erachtete Entwicklung. Dabei ist meistens nicht nur ein Aspekt von Interesse, sondern neben der zukünftigen Entwicklung von Energieangebot und -nachfrage z.B. auch der zukünftige Wirtschaftsgang oder gar der zukünftige Wirtschaftsstil. Man versucht, sich ein Gesamtbild zu machen, oder besser noch eine Bildfolge. Daher der Theater-Ausdruck Szenario (deutsch eigentlich Szenarium), «eine Übersicht der Szenenfolge mit Bemerkungen zur szenischen Ausstattung» (Duden). Wie beim Theater ist das Wichtige eines Szenarios nicht die Prognosegenauigkeit, sondern die innere Logik, d.h. die Wechselwirkung der verschiedenen Entwicklungen muss in plausibler Weise berücksichtigt sein.

Ein Beispiel einer Prognose ist der siebente Zehn-Werke-Bericht mit dem Titel «Vorschau auf die Elektrizitätsversorgung der Schweiz» [1], der im September 1987 vom Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke herausgegeben wurde. Ein Bündel von Szenarien, die von veränderten Annahmen über die Verfügbarkeit der Kernenergie und gleichzeitig veränderten wirtschaftlichen, politischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen ausgehen, ist von der Expertengruppe Energieszenarien (EGES) erarbeitet worden [2]. Die methodischen Unterschiede dieser beiden Ar-

beiten sind nicht gross. Es geht in beiden Fällen um die Quantifizierung der wichtigsten Wechselwirkungen mit der Energienachfrage. In starker Wechselwirkung mit der Energienachfrage stehen insbesondere die wirtschaftliche Entwicklung und die technischen Entwicklungen der mit Energie betriebenen Einrichtungen.

2. Ökonometrie

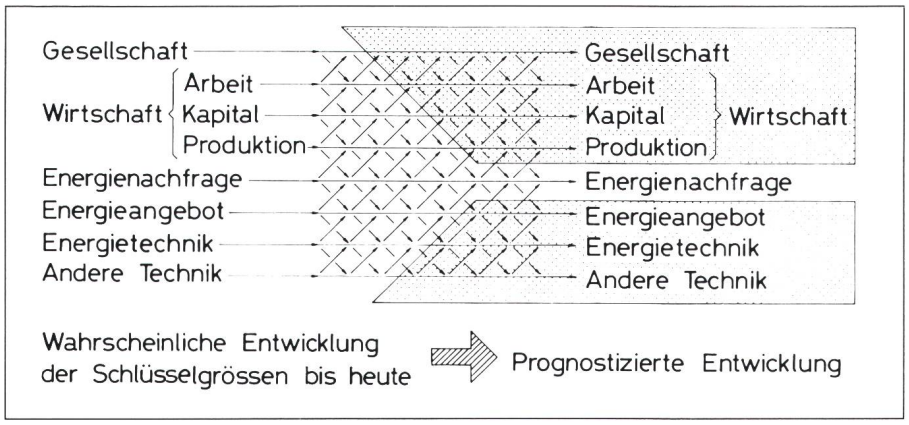
Die Wechselwirkung von Energienachfrage und wirtschaftlicher Entwicklung ist ein Forschungsgegenstand der Ökonomie. Die dabei angewandte Methode ist meist die Ökonometrie. In der Ökonometrie geht man von modellmässigen Vorstellungen der Wechselwirkung aus und testet und quantifiziert diese anhand statistischer Analysen von Zeitreihen verschiedener Grössen, wie der Nachfrage nach einem oder nach mehreren Energieträgern (insgesamt oder in einzelnen Wirtschaftssektoren), der Energiepreise, des Bruttoinlandprodukts, des Indexes der industriellen Produktion, eventuell anderer Indikatoren der wirtschaftlichen Entwicklung und weiterer Faktoren wie der Anzahl Heizgradtage. Stützt die statistische Analyse das zu testende Modell, so liefert sie auch sogenannte Elastizitäten, d.h. Proportionalitätsfaktoren, die das Wachstum einer Grösse (z.B. der Energienachfrage) mit dem Wachstum der andern Grösse (z.B. Bruttoinlandprodukt) verknüpfen.

Die Aussagekraft der Ökonometrie ist durch das verfügbare Datenmaterial beschränkt, und zwar in verschiedener Hinsicht. Zum einen existieren selbstverständlich nur Datenreihen aus der Vergangenheit, die bloss Information darüber enthalten, wie stark die zu untersuchende Wechselwirkung in der Vergangenheit war. Zweitens existiert nicht immer eine genügend grosse Anzahl relevanter und brauchbarer Zeitreihen, so dass oft schon von der Statistik her nur wenige Elastizitäten bestimmt werden können. Und drittens ist es kaum möglich, technische Entwicklungen aus den Daten herauszufiltern, was dazu führt, dass eine Fortschreibung der geschätzten Elastizitäten in die Zukunft immer mit einer beträchtlichen Unsicherheit behaftet bleibt.

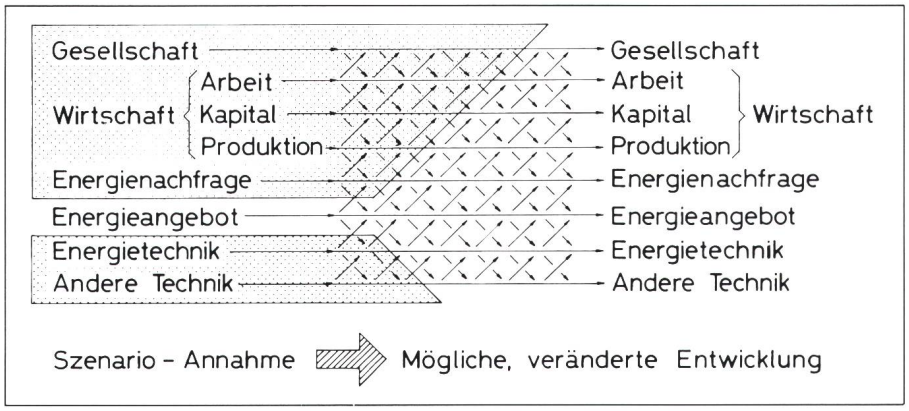
Als besonders gravierender Mangel der verfügbaren Datenbasis erweist sich in der Schweiz das Fehlen von Zeitreihen der in den verschiedenen Kategorien von Ausrüstungsgütern getätigten Investitionen. Energie kann ja nicht ohne eine dazu geeignete Einrichtung konsumiert werden, und es ist zu erwarten, dass der Zusammenhang zwischen der Anzahl in Betrieb stehenden Einrichtungen und der Energienachfrage besonders eng ist. Da wir aber keine Angaben zur Anzahl der in Betrieb stehenden Einrichtungen haben, ist es nicht möglich, diesen Zusammenhang direkt nachzuweisen und zu quantifizieren.

Carlevaro und Spierer von der Universität Genf [3] ist es aber gelungen, diesen Zusammenhang indirekt zu bestimmen. In der Tat haben das Bruttoinlandprodukt und seine sektoriellen Komponenten einen deutlichen Einfluss auf die gesamte und die sektorielle Energienachfrage. Dabei ist der Zusammenhang kurzfristig deutlich weniger ausgeprägt als längerfristig: Die Wertschöpfung hat also wie erwartet einen grossen Einfluss auf Menge und/oder Art der neu angeschafften energiekonsumierenden Einrichtungen. Dies ist die stärkste Wechselwirkung zwischen wirtschaftlichen Entwicklungen und der Energienachfrage.

Ebenso kann der Einfluss der Energie- und Elektrizitätspreise auf die Nachfrage der einzelnen Energieträger nachgewiesen und quantifiziert werden. Allerdings setzt dies voraus, dass sich die Preise tatsächlich deutlich und ungleichförmig verändert haben. Dies war in den letzten Jahren bei der Elektrizität in der Schweiz kaum der Fall. Trotzdem kann man auch aufgrund ausländischer Arbeiten [4], die sich meist auf umfangreiches Datenmaterial abstützen, sagen, dass die Energiepreise und auch die Elektrizitätspreise in allen Sektoren der Wirtschaft deut-



Figur 1 Energieverbrauchs-Prognosen gehen von einem Bündel wahrscheinlicher Entwicklungen aus und leiten, meist unter Berücksichtigung der wichtigsten Wechselwirkungen, daraus die wahrscheinlichste Entwicklung des Energieverbrauchs ab.



Figur 2 Szenarien gehen von frei wählbaren Annahmen bestimmter Entwicklungen aus (z.B. eines veränderten Energieangebotes) und leiten daraus, unter Berücksichtigung der wichtigsten Wechselwirkungen, die veränderte Entwicklung der interessierenden Grössen ab.

liche Auswirkungen auf die Energienachfrage haben und dass die Auswirkungen längerfristig im allgemeinen grösser sind als kurzfristig, z.B. von Semester zu Semester. Auch Veränderungen relativer Energiepreise verschiedener Energieträger, die die Elektrizitätsnachfrage in quantifizierbarer, statistisch gesicherter Weise mitbestimmt haben, gibt es in der Schweiz infolge fehlender Preissprünge kaum. Eine Ausnahme ist das Preisverhältnis von Gas zu Elektrizität, das die Stromnachfrage in der Industrie deutlich beeinflusst hat.

Die wichtige Frage des Einflusses von Strompreisen auf die Stromnachfrage kann zum heutigen Zeitpunkt in der Schweiz mit ökonometrischen Methoden nicht exakt beantwortet werden. Aufgrund persönlicher Beobachtungen und betriebswirtschaftlicher Überlegungen wird dann manchmal gefolgert, der Einfluss existiere nicht. Dies ist jedoch absolut falsch. Die längerfristigen Auswirkungen einer Preisveränderung auf volkswirtschaftlicher Ebene, via Gerätehersteller, Forschung und Entwicklung, Strukturwandel, Modetrends, Einkommensverhältnisse usw., sind durch betriebswirtschaftliche Beobachtung nicht erfassbar. Und wie die entsprechenden ökonometrischen Studien im Ausland deutlich machen, wird die Stromnachfrage durch den Strompreis eben vor allem infolge dieser indirekten, längerfristig wirkenden Mechanismen verändert.

Ökonometrische Untersuchungen befassen sich mit der Wechselwirkung wirtschaftlicher Entwicklungen mit der Energienachfrage auf der Ebene der Volkswirtschaft. Sie deuten aber darauf hin, dass die *Menge* und *Art* der eingesetzten Energie konsumierenden Einrichtungen von entscheidender Bedeutung ist. Welcher Art die Einrichtungen sind, ist einerseits durch den Mix der gekauften Einrichtungen bestimmt; es ist beispielsweise nicht gleichgültig, ob das Geld eher für Violinen oder schnelle Motorboote ausgegeben wird. Anderseits ist auch die technische Ausführung der auf dem Markt erfolgreichen Produkte wichtig. Untersuchungen über den Einfluss technischer Entwicklungen auf den Energiebedarf bilden eine zweite Gruppe von Forschungsarbeiten, die in den letzten Jahren in grösserem Umfang durchgeführt wurden. Diese technischen Analysen sind aber von der volkswirtschaftlichen Ebene weit entfernt und konzentrieren sich meist auf wenige Gruppen technischer Einrichtungen.

3. Technische Untersuchungen

Analysen der technischen Entwicklung sind im allgemeinen methodisch unproblematisch. Auch hier sind die Untersuchungen meist so gut wie die Verfügbarkeit repräsentativer Daten. Das grosse Problem ist jedoch die «Hochrechnung» solcher Analysen von der Ebene einzelner Einrichtungen und Anlagen auf die Ebene der Volkswirtschaft. In einem einzigen Fall ist bisher diese Hochrechnung in befriedigender Weise gelungen: bei der Raumwärme.

Die umfangreichen Arbeiten zur Erhebung von sogenannten Energiekennzahlen, d.h. des Heizöl-, Gas- und Elektrizitätsverbrauchs pro Energiebezugsfläche, haben eine repräsentative Datenbasis geschaffen. Daraus konnte mit befriedigender Zuverlässigkeit der spezifische (auf den Quadratmeter bezogene) Energieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser, z.T. auch für Raumlüftung und -kühlung, für Ein- und Mehrfamilienhäuser und für mehrere Gebäudekategorien des Dienstleistungssektors bestimmt werden.

Die Kenntnis des spezifischen Energieverbrauchs ist aber nicht die einzige Voraussetzung für eine zuverlässige Hochrechnung. Bei der Raumwärme ist auch die Bezugsgrösse, die Energiebezugsfläche, die dem beheizten Teil der Bruttogeschossfläche entspricht, bekannt. Es gibt zudem recht präzise Vorstellungen darüber, wie sich die Energiebezugsfläche in Zukunft entwickeln wird, und Prognosen zur Entwicklung des mittleren spezifischen Energieverbrauchs für die Raumwärme führen direkt zu Prognosen des Energieverbrauchs für Raumwärme im ganzen Land.

Warum ist ein solches Vorgehen hier möglich und anderswo so schwierig? Dafür gibt es drei Gründe:

- Energiekennzahlen werden pro Gebäude erhoben, gleichzeitig sind es aber auch Angaben zu jeweils einer Heizungsanlage und einer Gebäudehülle. Technische Überlegungen, die die Veränderung des Heizenergiebedarfs und des Jahreswirkungsgrads betreffen, wirken sich direkt auf die Energiekennzahl aus. Ein mühsamer Schritt von der Ebene der Anlagen zur Ebene des Betriebes erübrigt sich.
- Es gibt nur sehr wenige Techniken zur Erzeugung von Raumwärme. Ihre Entwicklung ist überblickbar und der Erfolg, den technische Massnahmen im Routinebetrieb zeitigen, ist bekannt. Im Gegensatz dazu ist die Vielfalt der z.B. im Gewerbe angewandten Prozesse so gross, dass deren vollständige energetische Analyse einer Sisyphusarbeit gleichkäme.
- Der Wunsch nach Raumwärme ist beschränkt, ein überheizter Raum ist im allgemeinen nicht erwünscht. Wenn also die Entwicklung der Bruttogeschossfläche vorgegeben ist, und zwar durch Überlegungen, die mit Energiepolitik wenig zu tun haben, so wird dadurch auch die Entwicklung der Energiedienstleistung Raumwärme vorgezeichnet.
  Macht man sich anderseits Gedanken zur Entwicklung des zukünftigen Warmwasserbedarfs, so liegen hiezu keine Überlegungen vor, die ausserhalb der Energieprognosen und -szenarien gemacht wurden. Man hat schon Mühe, heutige Durchschnittswerte zu bestimmen, und unmöglich ist es gar, zuverlässig zukünftige Entwicklungen vorauszusagen: Wie oft am Tag wird man im nächsten Jahrhundert duschen, wird z.B. ein warmes Bad ständig bereit stehen, oder wird jedermann zuhause ein Sprudelbad haben?

In vielen Fällen dürften diese Fragen, die die Entwicklung der Nachfrage betreffen, auch von der technischen Entwicklung abhängig sein. In einem Haus, das mit Energiesparlampen ausgerüstet ist, wird man u.U. weniger Hemmung haben, das Licht brennen zu lassen, als in einem anderen Haus.

Solche schwer abzuschätzenden Veränderungen spielen bei der Raumwärme, die sowohl in Bezug auf das Bedürfnis nach hoher Raumtemperatur als auch von den möglichen Entwicklungen der Bruttogeschossfläche her beschränkt ist, eine geringe Rolle. Die Kombination der quantitativen Angaben zum Istzustand mit Erfahrungswerten über repräsentative erzielte Einsparungen und Entwicklungsprognosen der Bruttogeschossfläche führen also zu Energieverbrauchsprognosen für die Raumwärme, die einigermassen zuverlässig sein dürften [5].

Die Hochrechnung spezifischer Energieverbrauchswerte von der Ebene einzelner Anlagen und Einrichtungen auf die Ebene der Volkswirtschaft

wird aber auch in vielen andern, problematischeren Fällen gewagt. So werden sowohl im Zehn-Werke-Bericht als auch in den EGES-Szenarien für den Stromverbrauch elektrischer Haushaltapparate Hochrechnungen gemacht. Die Tabellen I und II zeigen die Resultate dieser Schätzungen, wie sie im Zehn-Werke-Bericht publiziert wurden. Entsprechende, sehr detaillierte Arbeiten wurden von Giovannini und Mitarbeitern u.a. im Auftrag der EGES gemacht [6].

Wie steht es mit der Zuverlässigkeit dieser Tabellen, wie gut ist das methodische Vorgehen dem Problem angepasst? Betrachtet man irgend eines der in Tabelle I aufgeführten Geräte, so kann einleuchten, dass Aussagen über die wahrscheinliche Entwicklung des spezifischen Stromverbrauchs möglich sind. Man kennt ja ungefähr die Geschwindigkeit der bisherigen technischen Entwicklung und man kann diese Entwicklung fortschreiben, oder man kennt auch schon, was sich im Forschungs- und im Entwicklungslabor tut und was somit in einigen Jahren auf uns zukommt. Obwohl auch hier einige Überraschungen durchaus möglich wären, z.B. Staubsauger, die automatisch arbeiten und deshalb wesentlich mehr Strom benötigen, oder Waschmaschinen, die Kleider ohne Wasser reinigen und wesentlich weniger Strom brauchen.

Unsicher ist man aber mit der Bezugsgrösse: Wie oft und wie lange werden die Geräte eingesetzt sein? Wird irgend jemand noch einen Kochherd brauchen oder werden nur noch die sparsameren Mikrowellengeräte verwendet werden? Wird der automatische Staubsauger täglich auf die Tour geschickt werden, oder wird die Putzwut erlahmen? Anhaltspunkte zur Beantwortung von Fragen dieser Art gibt es kaum. Wenn es hoch kommt, gibt es Schätzungen zur Anzahl Geräte, die in Betrieb stehen. Aber Angaben darüber, wie stark sie im Mittel genutzt werden, sind spärlich. Es existieren auch keine Daten darüber, wie sich die Nutzung der Geräte in der Vergangenheit entwickelt hat.

Und wie steht es mit Geräten, die es bis heute noch gar nicht gibt? In Tabelle II sind neueste Geräte, wie Personal-Computer, in der Gruppe «Sonstige Verwendung» enthalten. Man kann hier nicht viel anderes machen als eine Schätzung, vielleicht aufgrund der Daten der letzten paar Jahre. Die Gruppe «Sonstige Verwendung» stellt aber eher eine unerklärte Restgrösse dar als die Summe der restlichen und neuen Geräte.

	1980	1995	2005
Elektroherd (inkl. Backofen)	1150	968	907
Kühlschrank	320	263	225
Tiefkühltruhe	360	266	214
Geschirrspüler	540	288	238
Waschmaschine privat	370	260	227
Waschmaschine kollektiv	370	268	239
Wäschetrockner	580	460	420
Farbfernseher	130	85	70
Schwarzweiss-Fernseher	90	70	70
Videogerät	20	20	20
Phono, Radio, sonstige	30	30	30
Bügeleisen	50	50	50
Staubsauger	25	25	25
Kaffeemaschine	60	60	60
Toaster	25	25	25
Klimageräte	900	850	800
Fön	15	15	15
Luftbefeuchter	150	150	150
Kleinheizgeräte	260	240	240
Dunstabzugshaube	75	75	75
Beleuchtung	440	520	520

Tabelle I Entwicklung des spezifischen Stromverbrauchs von elektrischen Haushaltgeräten in kWh pro Gerät und Jahr [1].

	1980	1985	1995	2005
Haushaltgeräte, Licht	7 000	8 034	8 316	8 126
Raumwärme	948	1 490	2 356	3 420
Warmwasserbereitung	1 728	1 792	1 854	1 901
Sonstige Verwendung (u.a. Personal Computer, Kleingeräte)	399	465	588	706
Haushalte total	10 075	11 781	13 113	14 152
Zuwachsrate pro Jahr	+3,2%	+1,1%	+0,8%	

Tabelle II Unbeeinflusster Elektrizitäts-Endverbrauch der Verbraucherkategorie «Haushalte» in GWh [1].

Die Unsicherheit der Hochrechnung für den Stromverbrauch von Haushaltgeräten hält sich in Grenzen, solange der Prognosehorizont kurz genug ist, sich die Verbrauchergewohnheiten nicht stark ändern und neue Geräte einen kleinen Teil des Strombedarfs ausmachen. Da hat es der Zehn-Werke-Bericht, der 20 Jahre in die Zukunft schaut, leichter als die EGES-Szenarien mit einem Zeithorizont von 40 Jahren.

Hochrechnungen, die besonders auch Überlegungen zur Entwicklung der Bezugsgrössen enthalten – dies ist in der beschriebenen Hochrechnung für den Stromverbrauch der elektrischen Haushaltsgeräte nur rudimentär der Fall – nennt man auch «bottom-up»-Modelle. Ein typisches Beispiel eines solchen «bottom-up»-Modells ist ein Prognosemodell für die Entwicklung des industriellen Stromverbrauchs der BRD [7]. Dabei wird von der Ebene der Branchen ausgegangen und auf die volkswirtschaftliche Ebene hochgerechnet.

Mit grossem Arbeitsaufwand wurde für etwa 75 typische Produkte und Branchen der heutige spezifische Stromverbrauch (in Kilowattstunden pro Tonne Produkt) ermittelt. Sodann wurde aufgrund technischer Überle-

gungen zu den Produktionsprozessen, oft auch aufgrund von Diskussionen mit Spezialisten aus den Branchen, die Entwicklung des spezifischen Stromverbrauchs geschätzt und drittens wurde, zuweilen auch in Zusammenarbeit mit Branchenkennern, die Entwicklung der Produktionsmenge vorausgesagt. Da sich einerseits Techniker intensiv Gedanken über die Entwicklung der angewandten Prozesse machen und anderseits das kaufmännisch orientierte Kader sich ein Gefühl für die mögliche Entwicklung der Produktionsmengen aneignet, dürften die Resultate eines solchen «bottom-up»-Modells zuverlässiger sein, als wenn man die Entwicklung des Strombedarfs direkt schätzen würde. In Tabelle III ist das Resultat der Studie dargestellt. Jede Zeile der Tabelle entspricht der Zusammenfassung mehrerer Branchen, für die alle einzeln Berechnungen durchgeführt und Schätzungen vorgenommen wurden.

Ein nicht unwesentlicher Teil der gross angelegten Studie «Energy in a Finite World» des International Institute of Applied Systems Analysis [8] ist das «bottom-up»-Modell MEDEE-2 von B. Chateau und B. Lapillonne von der Universität Grenoble. Aber auch hier bleiben indirekte Wechselwirkungen zwischen technischem Fortschritt und der Energienachfrage unberücksichtigt.

Neben den ökonometrischen Methoden und den technischen Analysen sind auch andere Methoden der Energieprognose möglich, die im Folgenden charakterisiert werden sollen.

	Stromverbrauch 1985 [TWh]	2000 [TWh]	Änderung 1985–2000 [TWh]
Industrie Steine und Erden	6,21	6,20	-0,01
Eisenschaffende Industrie	19,10	16,23	-2,87
Eisen-, Stahl und Tempergiessereien	1,98	2,28	0,30
Ziehereien und Kaltwalzwerke	1,04	1,13	0,09
NE-Metallindustrie	17,72	16,50	-1,22
Chemische Industrie	42,88	41,59	-1,29
Zellstoff-, Papier- und Pappeerzeugung	9,30	9,50	0,20
Gummiverarbeitung	1,76	2,03	0,27
Übriges Grundstoffgewerbe	1,35	1,39	0,04
Grundstoff- und Produktionsgüterindustrie	**101,34**	**96,85**	**-4,49**
Maschinenbau	6,08	8,47	2,39
Strassen-, Luft- und Raumfahrzeugbau	10,30	12,60	2,30
Elektrotechnik, Feinmechanik, Optik	7,68	11,75	4,07
EBM-Industrie	4,38	5,50	1,12
Übriges Investitionsgütergewerbe	1,02	1,10	0,08
Investitionsgüterindustrie	**29,46**	**39,42**	**9,96**
Glas und Feinkeramik	3,01	3,46	0,45
Kunststoffverarbeitung	4,37	5,13	0,76
Textilgewerbe	4,20	4,50	0,30
Übriges Verbrauchsgütergewerbe	5,11	5,95	0,84
Verbrauchsgüterindustrie	**16,69**	**19,04**	**2,35**
Nahrungs- und Genussmittelindustrie	**8,08**	**8,27**	**0,19**
Übriger Bergbau	**1,20**	**1,20**	**0,00**
Industrie gesamt	**156,77**	**164,78**	**8,01**

Tabelle III Entwicklung des Stromverbrauchs in der Industrie der BRD aufgrund der Abschätzung der Entwicklung in einzelnen Branchen [7].

4. Übersicht über die Analysemethoden

Die Untersuchungen der Wechselwirkungen von technischen und wirtschaftlichen Entwicklungen mit der Entwicklung der Energienachfrage lassen sich nach drei Kriterien einteilen. Man kann fragen,

- ob es sich um eine technische oder eine wirtschaftliche Analyse handelt oder eine Untersuchung, die beide Disziplinen miteinschliesst,
- ob die Untersuchung sich auf Daten aus der Vergangenheit abstützt, sich auf die Gegenwart oder auf die Zukunft konzentriert
- und ob die Untersuchung auf der Ebene einzelner Apparate und Einrichtungen, auf der Ebene von Betrieben (oder Branchen) oder auf der Ebene der Volkswirtschaft durchgeführt wird.

Insgesamt ergeben sich dadurch drei mal drei mögliche Typen der Untersuchung. Dies lässt sich durch einen grossen Würfel, der neun kleinere Würfel enthält (Figur 3), darstellen. Was uns bei Energiebedarfsprognosen am meisten interessiert, sind Resultate von Untersuchungen im obersten, hintersten Würfel, d.h. von Analysen des gesamten zukünftigen Energiebedarfs aufgrund technischer und wirtschaftlicher Entwicklungen. Leider ist es nicht möglich, quantitative Analysen direkt in diesem Würfel durchzuführen, dazu fehlen sowohl die Daten als auch die Methoden. Man muss sich auf dem Weg über die anderen Würfel an diesen einen, besonders interessanten Würfel heranarbeiten.

Bei den Bereichen der neun kleineren Würfel handelt es sich um sehr verschiedene Arbeitsgebiete; für Spezialisten des einen Gebietes ist es ausserordentlich schwierig, in ein anderes Gebiet vorzustossen oder mit Spezialisten eines anderen Gebietes zusammenzuarbeiten. Es handelt sich nicht nur um Arbeitsgebiete verschiedener Disziplinen (Ingenieure, Betriebswirtschaftler und Volkswirtschaftler), sondern auch um verschiedene Interessenslagen: Wunsch nach historischer Erkenntnis, Interesse der Optimierung des Hier und Jetzt und spekulative Interessen (vielleicht gepaart mit einem Schuss pädagogischer Neigung).

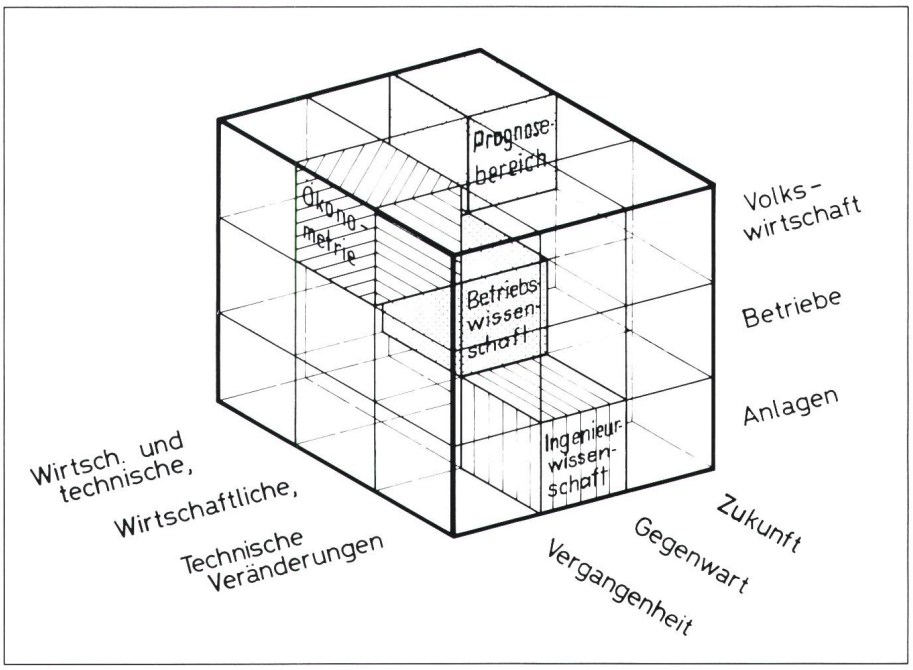
Die erläuterten Methoden der Ökonometrie und der technischen Analyse sind klar je einem dieser Bereiche zuzuordnen. Die Ökonometrie geht von historischen Zahlen aus, untersucht Wechselwirkungen mit wirtschaftlichen Entwicklungen und bewegt sich auf der Ebene der Volkswirtschaft. Die Ökonometrie wird zwar oft benutzt, um zukünftige Entwicklungen zu beschreiben, doch sie selbst beschäftigt sich mit der Schätzung von Elastizitä-

ten aufgrund historischer Daten. Technische Analysen bewegen sich auf der Ebene der Apparate und Einrichtungen, schliessen selten wirtschaftliche Aspekte ein und kümmern sich im allgemeinen auch nicht um historische oder längerfristige, zukünftige Entwicklungen.

Die zentrale Aussage des vorliegenden Aufsatzes ist folgende:

1. Beim Überschreiten der Grenzen zwischen den Bereichen sind sowohl die grössten Fehler als auch die interessantesten Erkenntnisse zu erwarten.
2. Um fundierte Energieprognosen zu machen, sind Untersuchungen in allen Bereichen nützlich.

Diese beiden Thesen sollen im Folgenden weiter erläutert werden.



Figur 3 Wechselwirkungen zwischen technischen und wirtschaftlichen Entwicklungen einerseits und der Energienachfrage anderseits können in sehr verschiedenen Bereichen untersucht werden.

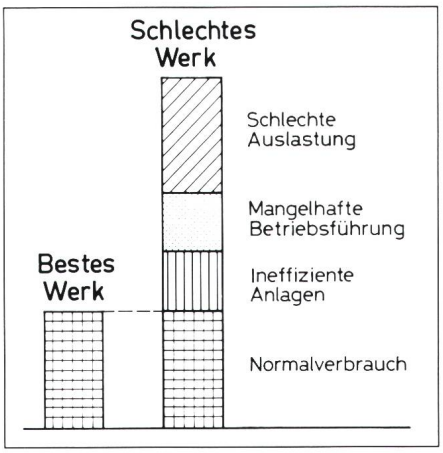
5. Beispiele von grenzüberschreitenden Arbeiten

Als Beispiele von grenzüberschreitenden Arbeiten seien zwei Untersuchungen des industriellen Energieverbrauchs kurz dargestellt. Es handelt sich um Arbeiten, bei denen die Grenzüberschreitung ganz bewusst getan wurde. Die oben besprochenen «bottom-up»-Modelle gehören selbstverständlich auch zu diesen Grenzüberschreitungen von den tiefer liegenden Ebenen der Apparate und Einrichtungen, Betriebe oder Branchen hinauf auf die höhere Ebene der Volkswirtschaft. Bei den oben zitierten Arbeiten kommt aber der grundverschiedene Charakter der einzelnen Ebenen nicht immer genügend zur Geltung.

Eine sorgfältige Hochrechnung des industriellen Energieverbrauchs von der Ebene der Branchen auf die Ebene der US-Volkswirtschaft hat Marlay [9] rückblickend für die Jahre 1947 bis 1982 gemacht. Die Hauptarbeit dabei war nicht die Hochrechnung, sondern die Sammlung von Daten: Für 472 Industriebranchen wurden Energieverbrauch (21 verschiedene Energieformen), andere Produktionsfaktoren (Arbeitsstunden, Investitionen, Roh- und Hilfsstoffe) und Produktionszahlen (Mengen und Umsatz) zusammengetragen. Aus dieser Datenmenge liessen sich nun Energieproduktivitäten nicht nur auf der Ebene der Branchen, sondern auch auf der Ebene der Volkswirtschaft ableiten. Insbesondere liess sich bestimmen, zu welchen Teilen der markante Trendbruch von 1973 im industriellen Energieverbrauch der USA auf drei ursächliche Faktoren zurückgeführt werden kann: Wieviel reduziertes Wachstum, wieviel eine Beschleunigung der Wirkungsgradverbesserungen und wieviel weniger energieintensive Produktion – alles im Vergleich zum Trend vor 1973 – beigetragen hat.

Die allmähliche Entwicklung weg von der Herstellung energieintensiver Produkte ab 1973, einer Entwicklung auf der Ebene der Volkswirtschaft (ungleiches Wachstum verschiedener Branchen) und auf der Ebene von Betrieben und Branchen (veränderte Produktionsanteile verschiedener Produkte), darf nicht mit Wirkungsgradverbesserungen in einzelnen Prozessen verwechselt werden. Auch hat der spezifische Energieverbrauch (Endenergieverbrauch pro Produktionsmenge) in den verschiedenen Branchen natürlich schon vor 1973 ständig abgenommen; Fisher [10] schätzt im Mittel um 1% im Jahr. Nach 1973, und dies ist das interessante Resultat, sind aber die entsprechenden Wirkungsgrade im Mittel um jeweils zusätzliche 1,2% im Jahr verbessert worden.

Figur 4 zeigt das Resultat einer Studie [11], in welcher besonders auf diejenigen Einflussfaktoren geachtet wurde, die auf der Ebene der Apparate und Einrichtungen und auf der Ebene der Betriebe unterschiedlich sind. Grosse Differenzen im spezifischen Energieverbrauch für die Produktion von Aluminiumprofilen in sehr ähnlich ausgerüsteten Presswerken sind nur zu einem Viertel auf anlagetechnische Faktoren zurückzuführen; ein weiteres Viertel macht die Betriebsführung aus, und die Hälfte rührt von unterschiedlicher Auslastung her. Beim anlagebedingten Energiemehrverbrauch der weniger effizient arbeiten-



Figur 4 Faktoren auf der Ebene der Betriebe, die zu erhöhtem Energieverbrauch führen können [11].

den Betriebe handelt es sich sowohl um Brennstoffe als auch um Elektrizität. Um auf dieses Resultat zu kommen, mussten viele Hunderte von monatlichen Energieverbrauchszahlen und Produktionszahlen analysiert und statistisch ausgewertet werden.

6. Sparmassnahmen und wirtschaftliche Entwicklung

Bei der Abschätzung zukünftiger Sparpotentiale können sich zwei grobe Fehler einschleichen. Der eine Fehler, der aber in den letzten Jahren kaum noch gemacht wird, ist die Vernachlässigung des in der vergangenen Energieverbrauchsentwicklung enthaltenen technischen Fortschritts. Weder der Zehn-Werke-Bericht noch die EGES-Szenarien vernachlässigen diesen wichtigen Faktor, der oft als «natürliches Sparen» bezeichnet wird. Schipper [12] stellte sich sogar die anspruchsvolle Aufgabe, aus den Daten von mehreren Ländern das natürliche Sparen und die durch Energiepolitik bedingten Sparerfolge separat herauszulesen.

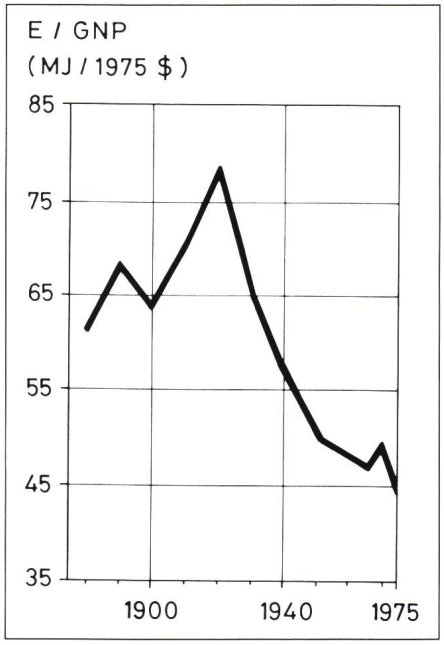
Der zweite Fehler, der notgedrungener Weise fast immer gemacht wird, ist die Vernachlässigung der Wechselwirkung von technischen Veränderungen, z.B. von technischen Sparmassnahmen, mit der wirtschaftlichen Entwicklung. Über diesen oft sehr wichtigen Effekt ist in den wenigsten Fällen etwas bekannt. Seine Vernachlässigung ist besonders dann problematisch, wenn wie in mehreren EGES-Szenarien mit grossen Sparpotentialen gerechnet wird.

Im folgenden wird anhand von zwei Arbeiten gezeigt, dass insbesonders dann, wenn die technischen Sparmassnahmen im Zusammenhang mit einer Basisinnovation stehen, diese Wechselwirkung keinesfalls vernachlässigt werden darf. Die eine Arbeit betrifft die Einführung des Elektromotors in der amerikanischen Industrie um 1920, die andere die allgemeine Anwendung mikroelektronischer Bauteile im industriellen Alltag der kommenden Jahre.

Die Arbeit von Devine [13] ist in einem der Bereiche der Figur 3 angesiedelt, in welchem es noch viel zu wenig Untersuchungen gibt. Es ist eine wirtschaftlich-technische Untersuchung historischer energierelevanter Zusammenhänge.

Das Verhältnis von Energieverbrauch zu Bruttosozialprodukt (Figur 5) hat in den USA 1920 ein ausgeprägtes Maximum erreicht [14]. Davor wurde durch den erhöhten Einsatz von Energie (insbesondere Kohle) und auch den erhöhten Einsatz von Kapital (energieverschlingende Maschinen) menschliche Arbeitskraft ersetzt. Ab 1920 geschah etwas Eigenartiges: Sowohl der Einsatz von Arbeitskraft als auch der von Kapital und Energie nahmen im Vergleich zur schnell wachsenden Produktion deutlich ab.

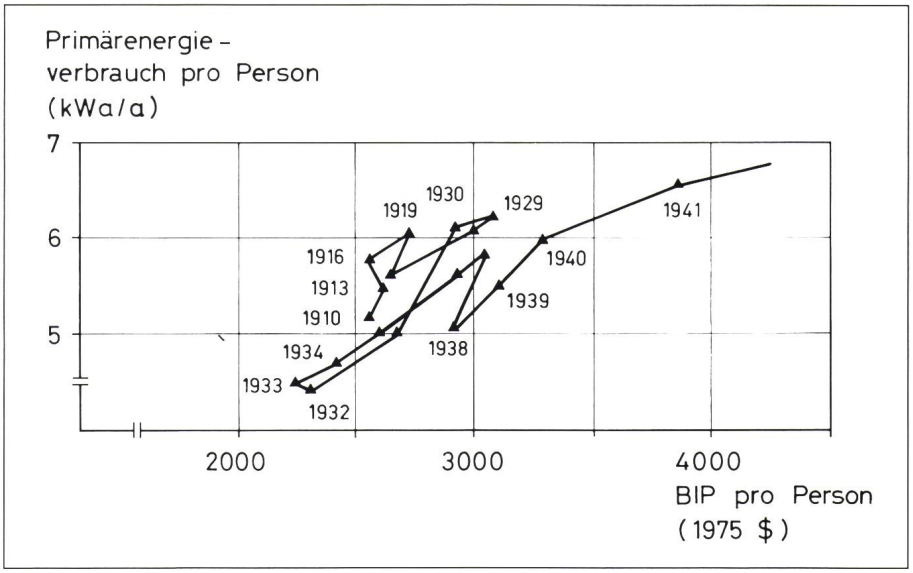
Was war geschehen? Devine zeigt sehr deutlich, wie diese Trendwende durch die Einführung des Elektromotors in der Industrie zustande kam. Sobald elektrische Motoren für den Antrieb von Maschinen eingesetzt wurden, konnten Fabrikationsbetriebe entsprechend den Arbeitsabläufen eingerichtet werden. Zuvor konnte nicht jede Maschine individuell angetrieben werden, sondern alle Maschinen waren einem Riemensystem angehängt, und die räumliche Organisation der Betriebe erfolgte aufgrund der Erfordernisse dieses Antriebssystems. Die Lösung dieser Fessel hatte sowohl eine Explosion der Produktivität als auch eine Verbesserung des energetischen Wirkungsgrades der Produktion zur Folge. Es war nicht so sehr der Wirkungsgrad im Vollbetrieb, der sich verbesserte, sondern der über die Zeit gemittelte Gesamtwirkungsgrad. Dieser war vorher schlecht, weil das ganze Antriebssystem mit allen Reibungsverlusten in Gang gesetzt werden musste, auch wenn nur eine einzige Maschine anzutreiben war.



Figur 5 Energieverbrauch pro Bruttosozialprodukt in den USA [14].

Die Einführung des Elektromotors war eine Energiesparmassnahme par excellence, doch hat sie die Produktivität dermassen positiv beeinflusst, dass der Energieverbrauch ab 1920 zwar weniger schnell, aber trotzdem weiter wuchs (vgl. Figur 6).

Ein ähnlicher Effekt scheint heute mit der Einführung neuer Informationstechniken verbunden zu sein [15]. Dies konnte in einem Nationalfonds-Projekt mittels der Analyse einiger



Figur 6 Energieverbrauch pro Person in Funktion des Brutto-Inlandprodukts pro Person in den USA [8].

Fallbeispiele gezeigt werden. Es sind zwar mit mikroelektronischen Steuerungen Prozessionnovationen möglich, die zu genauerer Prozessführung, kleinerem Materialeinsatz, höherer Qualität, genauer und individueller spezifizierten Produkten und deshalb zu einem kleineren spezifischen Energieverbrauch führen, doch all diese Innovationen beleben auch den Wirtschaftsgang. Als Gesamteffekt resultiert eine breitere Auswahl von möglichen Energieverbrauchsentwicklungen: Die neuen Informationstechniken können vornehmlich für die erwähnten Prozess- und Produkteverbesserungen eingesetzt werden, aber der Wachstumsimpuls kann auch in Form ausgedehnterer, automatisierter Massenproduktion und verkürzter Modezyklen mit erhöhtem Energiebedarf, insbesondere stark erhöhtem Elektrizitätsbedarf, erfolgen.

Würden die mit den neuen Informationstechniken möglichen Energieeinsparungen einfach hochgerechnet, so fände nur eine der vielen Auswirkungen Beachtung. Im erwähnten Nationalfonds-Projekt wurde im Bereich Industrie und Gewerbe versucht, die Auswirkungen der neuen Informationstechniken auf den Energieverbrauch anhand eines Investitionsmodells zu ermitteln. Interessant war das Resultat, dass bei erhöhtem Investitionsrhythmus, mit überproportional hohen Investitionen in neue Techniken, der industrielle Elektrizitätsverbrauch wenig höher, der industrielle Gesamtenergieverbrauch z.T. sogar tiefer war als bei langsamerem Investitionsrhytmus. Dieses kleine Investitionsmodell beansprucht keineswegs vollständig zu sein, sondern hat eng beschränkte Aussagekraft, es vernachlässigt die Möglichkeit veränderter Auslastungen und vieles mehr. Trotzdem wurde einerseits klar, dass es für die Entwicklung der Energienachfrage und in geringerem Mass auch für die Elektrizitätsnachfrage wichtiger ist zu wissen, wofür neue Informationstechnik eingesetzt wird, als in welchem Umfang sie Anwendung findet. Und anderseits wurde auch klar, dass ein gewisses Wirtschaftswachstum dem Energiesparen förderlich sein kann, denn bei höherem Wirtschaftswachstum können neue, sparsamere Einrichtungen schneller zur Anwendung kommen.

In Zusammenhang mit dem Thema dieses Beitrages ist es aber vor allem wichtig, folgendes zu erkennen: Hat eine Energiesparmassnahme, wie z.B. die Verbesserung einer Isolation, eine eng begrenzte Auswirkung, dürften Hochrechnungen, insbesondere wenn sie auf praxisnahen Daten beruhen, möglich und zulässig sein. Dies obwohl auch bei Energieeinsparungen, die keine allzu grossen Nebenwirkungen haben, Auswirkungen auf Kapitalströme und Arbeitsleistungen sowie indirekte Rückwirkungen auf den Energiekonsum nicht zu leugnen sind. Sparmassnahmen jedoch, die in Zusammenhang mit einer Basisinnovation stehen, dürfen keinesfalls unter Ausklammerung der andern Auswirkungen hochgerechnet werden. Die mehr oder weniger schnelle Einführung einer Basisinnovation verändert das gesamte Wirtschaftsgefüge nachhaltig, und die indirekten Auswirkungen auf den Energiebedarf können die direkten Auswirkungen weit übertreffen.

Diese Feststellung ist nicht so zu verstehen, dass quantitative Abschätzungen der energetischen Auswirkungen wichtiger technischer Veränderungen nicht gewagt werden dürfen. Aber bei der Interpretation entsprechender Versuche ist zweifellos grosse Sorgfalt am Platz.

7. Schlussfolgerungen

Trotz grosser Anstrengungen und Fortschritte in den vergangenen Jahren sind zutreffende Energieprognosen heute immer noch Glücksache. Die grössten und raffiniertesten Modelle gewährleisten oft keine höhere Zuverlässigkeit als einfache Extrapolationen. Der Stand der Methodik schränkt den Spielraum für willkürliche Einschätzungen nur ungenügend ein. *Eine vorsichtige Prognose* muss *das Sparpotential wesentlich kleiner einschätzen als Szenarien, von denen neue Impulse für die Energiepolitik erwartet werden.*

Handlungsrelevant sind im allgemeinen weniger die numerischen Werte der Energieverbrauchsprognosen als vielmehr ihre qualitativen Erkenntnisse über die einzelnen Wechselwirkungen, wie der Einfluss der

- Preise,
- Gesetze,
- wirtschaftlichen Entwicklungen und
- gesellschaftlichen Entwicklungen

auf den künftigen Energieverbrauch. Über diese Wechselwirkungen wissen wir heute ein klein wenig mehr als noch vor wenigen Jahren. Aber wir stehen erst am Anfang. Es gilt u.a. auch diese Phänomene aus Entwicklungen vergangener Jahre und aus weiter zurückliegenden Entwicklungen klar herauszuschälen und dabei die Ebenen der Apparate und Einrichtungen, der Betriebe, der Branchen und der Volkswirtschaft sorgfältig zu unterscheiden. In einer Zeit, in der umwelt- und energiegerechtes Handeln unumgänglich wird, ist ein tieferes Verständnis der Zusammenhänge von Energienachfrage mit technischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Entwicklungen dringend nötig.

Literatur

[1] Vorschau auf die Elektrizitätsversorgung der Schweiz bis 2005 - Siebenter Zehn-Werke-Bericht, Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke, Zürich, September 1987.

[2] Energieszenarien - Möglichkeiten, Voraussetzungen und Konsequenzen eines Ausstiegs der Schweiz aus der Kernenergie, Expertengruppe Energieszenarien, EDMZ Bern, demnächst.

[3] *Fabrizio Calevaro* et *Charles Spierer:* Modelisation économétrique et perspectives de la demande saisonnière d'électricité en Suisse, Fonds national suisse, Berne, Février 1987; siehe auch Ch. Spierer et al., Ökonometrische Energienachfrageperspektiven, EGES-Schriftenreihe Nr. 17, EDMZ Bern, demnächst.

[4] *William D. Nordhaus:* The Demand for Energy: An International Perspective, in International Studies of the Demand for Energy (W.D. Nordhaus, Ed.), North-Holland Publishing Company, 1977.

[5] *Conrad U. Brunner* und *Ernst A. Müller:* Strategie zum Energiesparen, Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 30/31, 1983.

[6] *Bernard Aebischer* et al.: Energienachfragemodelle und -perspektiven, EGES-Schriftenreihe Nr. 18, EDMZ Bern, demnächst.

[7] *Thomas Jobsky* und *Max Pohlmann:* Der industrielle Stromverbrauch im Jahre 2000, Bericht der Kernforschungsanlage Jülich, Jül-Spez-398, Mai 1987.

[8] *Wolf Häfele* et al: Energy in a Finite World, Ballinger Publishing Company, 1981.

[9] *Robert C. Marlay:* Trends in Industrial Use of Energy, Science, Vol. 226, p. 1277, 1984.

[10] *John C. Fisher:* Energy Crisis in Perspective, Wiley-Interscience, 1974.

[11] *Daniel Spreng:* Energiesparpotentiale in Industriebetrieben, SIASR St. Gallen, 1986.

[12] *Lee Shipper:* Energy conservation policies in the OECD: did they make a difference?, Energy Policy, Vol. 15, p. 538, Dec. 1987.

[13] *Warren D. Devine* et al.: Electrification and Productivity in Manufacturing: Historical Perspectives and Current Trends, in The Energy Industries in Transaction 1985 - 2000, Part 2, J.P. Weyant et al. Eds., Intern. Assoc. of Energy Economists, 1984.

[14] *Jae Edmonds* et al.: Global Energy - Assessing the Future, Oxford University Press, 1985.

[15] *Daniel Spreng* und *Werner Hediger:* Energiebedarf der Informationsgesellschaft, vdf Zürich, 1987.