

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 62 (1971)  
**Heft:** 10

**Artikel:** Zu den Prognosen des Energiebedarfes : ihre Zwecke und Glaubwürdigkeit  
**Autor:** Kroms, A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-915822>

### **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:** 10.01.2026

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

# Zu den Prognosen des Energiebedarfes

## Ihre Zwecke und Glaubwürdigkeit

Von A. Kroms, Boston, USA

620.9.002.614: «313»

Der Energiebedarf der Welt ist im Laufe der letzten 30...40 Jahre ausserordentlich angestiegen. Es ist anzunehmen, dass dieser Anstieg während der kommenden Jahrzehnte sich in einem ungefähr gleichen Tempo fortsetzen und damit hohe Forderungen an die Energieversorgung stellen wird. Es ist hierbei von Wichtigkeit den voraussehbaren Verlauf der zukünftigen Bedarfsentwicklung für eine bemessene Zeitperiode zu bewerten, weil die Planung der Energieversorgung von dem zu erwartenden Bedarf ausgehen muss. Die Energieversorgung muss auf lange Sicht geplant werden, weil Energieanlagen kapitalintensiv sind und lange Bauzeiten beanspruchen. Je genauer der zu erwartende Anstieg des Energiebedarfes im voraus geschätzt wird, umso wirkungsvoller kann der erforderliche Kapitaleinsatz verwertet werden. Aus diesem Grund wird den Entwicklungsprognosen des Energiebedarfes grosse Bedeutung zugemessen.

### 1. Ursachen und Kennwerte des Bedarfsanstiegs

Energiebedürfnisse können mittels verschiedener Energieformen und Energieträger gedeckt werden. Deshalb müssen bei den Schätzungen des Energiebedarfes nicht bloss die Energiemengen, sondern auch ihre Zusammensetzung nach Energieformen angegeben werden. Die elektrische Energie bildet da einen wichtigen Sektor der allgemeinen Energiewirtschaft, der beständig an Bedeutung zunimmt; die nachfolgende Abhandlung ist vorwiegend diesem Sektor gewidmet.

Die Haupttendenzen der Energieversorgung sind:

a) Der Energiebedarf nimmt ununterbrochen zu, wodurch die Energieversorgung ein so wichtiges wirtschaftliches Problem geworden ist, dass der Ausbau der Energiewirtschaft und die Sicherung einer genügenden Primärenergiegrundlage zu den lebenswichtigen nationalpolitischen Aufgaben jedes Landes gehört.

b) Die Struktur der Energiebilanz verändert sich mit der Entwicklung der Energietechnik; dabei nimmt die Rolle der elektrischen Energie beständig zu, weil elektrische Energie die bequemste Form der Gebrauchsenergie ist.

Diesem Anstieg des Energiebedarfs liegen zwei Ursachen zugrunde:

- a) Die Vermehrung der Bevölkerung;
- b) Die Zunahme des spezifischen Energieverbrauches pro Einwohner.

Die Bevölkerung der Erde übertrifft 3,5 Milliarden Menschen; sie nimmt jährlich um ca. 2 % zu, dem eine Verdoppelung der Bevölkerungszahl in 35 Jahren entspricht. Falls der Bevölkerungsanstieg sich in diesem Tempo fortsetzen wird, dann wird die Einwohnerzahl am Ende des Jahrhunderts 6...7 Milliarden erreichen. Wenn man auch der begrenzten Naturgegebenheiten wegen mit einer Verlangsamung der Bevölkerungszunahme rechnen muss, ist es doch kaum möglich, das Eintreten einer merklichen Verlangsamung und die danach zu erwartenden Zuwachssätze zu bewerten.

Der Anstieg des Energiebedarfes pro Einwohner erfolgt sowohl im Produktions- wie auch im Wohnsektor:

1. Im Fertigungssektor nimmt der Energiebedarf aus mehreren Gründen zu:

- a) Die Ausbeute an Gütern pro Person wird vergrössert;
- b) Die Fertigungsvorgänge werden immer vollständiger mechanisiert, um den Menschen von den physikalischen Anstrengungen zu befreien und die Produktivität der Fertigungsanlagen zu steigern;
- c) Die Rohstoffreserven der Welt werden intensiver abgebaut, wodurch die energieintensiven Produktionszweige (elektrochemische u. a. Anlagen) mehr in den Vordergrund treten.

2. Bei einem beständig zunehmenden Wohlstand der Bevölkerung wird immer mehr Energie für Lebensbequemlichkeiten verbraucht, so dass der Haushaltsbedarf in mehreren Ländern die gleiche Gröszenordnung wie der Industrieverbrauch erreicht hat. Da die Energietechnik billige Energie in grossen Mengen anbietet, kommen für Energie immer neue Verwendungszwecke (Klima-Anlagen, Haushaltsgeräte u. a.) hinzu.

Bei energietechnischen Berechnungen werden verschiedene Einheiten und Kennwerte benutzt:

a) Man drückt die Energiemengen entweder in Energieeinheiten — Tcal, TWh, MWd, BTU u.a., oder in Mengen der Energieträger — t, m<sup>3</sup> usw. aus.

In der amerikanischen Literatur verwendet man für sehr grosse Energiemengen die Einheit  $1Q = 10^{18} \text{ BTU} \approx 0,25 \cdot 10^9 \text{ Tcal}$ . Eine internationale Vereinbarung bezüglich der Energiemessung wäre dringend nötig, um die aus verschiedenen Quellen stammenden Angaben ohne Umrechnung verwenden und miteinander vergleichen zu können.

b) Der Bedarfsanstieg wird mittels der exponentialen Beziehungen

$$W = W_0 q_e^t \quad \text{oder} \quad k_t = W/W_0 = q_e^t$$

berechnet, wobei  $W_0$  den Anfangsbedarf,  $q_e$  den Jahreszuwachs-faktor,  $t$  die Anzahl der Jahre und  $k_t$  den Zuwachsfaktor innerhalb von  $t$  Jahren bedeuten.

Da der Jahreszuwachs  $q_e$  von Jahr zu Jahr erheblichen Konjunkturschwankungen unterworfen ist, benutzt man in Energieprognosen zwei abgeleitete Kennwerte, die eine längere Zeitspanne umfassen und daher stabiler als der Jahresfaktor sind (Fig. 1):

1. Der Zehnjahreszuwachs-faktor gibt den Verbrauchsanstieg während einer Dekade an:

$$k_{10} = W/W_0 = q_e^{10}$$

2. Die Verdoppelungszeit ist die Zeitspanne, in welcher der Verbrauchsanstieg den Wert  $k_t = W/W_0 = 2$  erreicht:

$$t_0 = \frac{\lg(W/W_0)}{\lg q_e} = \frac{\lg 2}{\lg q_e} = 10 \frac{\lg 2}{\lg k_{10}}$$

Der Energiebedarf verdoppelt sich in 10 Jahren, wenn der Jahresfaktor  $q_e = 1,072$  (Fig. 1); dies entspricht ungefähr dem bestehenden durchschnittlichen Bedarfszuwachs der elektrischen Energie. Der Weltaufwand an Primärenergie nimmt dagegen jährlich nur um 3...4 % zu ( $q_e = 1,03...1,04$ ); bei  $q_e = 1,03$  ergibt sich ein Zehnjahresfaktor  $k_{10} = 1,35$  und eine Verdoppelungszeit von  $t_0 = 20...25$  Jahre. Der elektrische Energiebedarf nimmt also ungefähr zweimal so schnell als der gesamte Aufwand an Primärenergie zu. Dem liegen mehrere Ursachen zu Grunde:



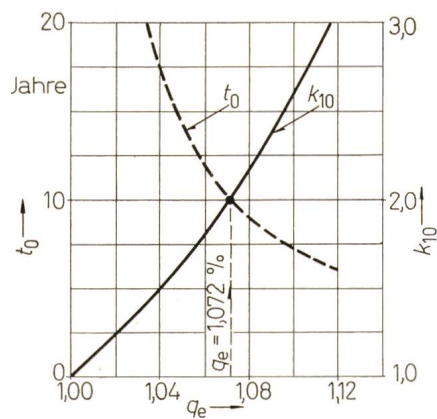


Fig. 1  
Kennwerte der Energiebedarfszunahme

$k_{10}$  Zehnjahreszuwachs faktor;  $q_e = 1 + 0,01 i$  Jahreszuwachs faktor ( $i$  = der prozentuelle Jahresanstieg);  $t_0$  Verdoppelungszeit

a) Der Energiebedarf steigt in den Verbrauchssektoren, die mit elektrischer Energie bedient werden, schneller als in anderen Bedarfszweigen;

b) Es eröffnen sich neue Anwendungsgebiete für elektrische Energie;

c) Erheblichen Einfluss übt der Substitutionsprozess der Energiearten aus, in dem die elektrische Energie andere Energieformen verdrängt.

d) Eine beständige Verbesserung des Wirkungsgrads der Energieanlagen führt dazu, dass der Aufwand an Primärenergie langsamer als der gesamte Nutzenergieverbrauch zunimmt.

Die Bewertung der Rolle einzelner Energieformen in der Energiebilanz wird dadurch kompliziert, dass man die Energiemengen, welche sich in unterschiedlichen Phasen der Energieumwandlungskette befinden, nicht unmittelbar vergleichen kann. So wird der Energieaufwand zahlreicher Wärmeprozesse mit den Mengen der aufgebrachten Primärenergie angegeben, wogegen die elektrifizierten Vorgänge eine veredelte, schon umgewandelte Energieform verbrauchen, die in den eigentlichen Verbrauchsvorgängen mit einem guten Wirkungsgrad in die jeweils benötigte Endenergie (Kraft, Wärme, Licht u. a.) umgesetzt werden kann. In der Energiebilanz muss der Energieaufwand aller Verbrauchssektoren auf die gleiche Phase der Energieversorgung bezogen werden. Hierzu könnte entweder die Endstufe «Nutzenergie», oder die Ausgangsstufe «Primärenergie» benutzt werden. Obgleich nur die Endstufe den tatsächlichen Energiebedarf angeben kann, begegnet man hier grossen Schwierigkeiten, weil die Berechnungen der Nutzenergiemengen nicht bloss die Kenntnis der Wirkungsgrade der Energieumwandlung voraussetzen, sondern man sich auch auf verschiedene Definitionen bezüglich der Begriffe «Nutz-» oder «Endenergie» stützen muss [1; 2; 3; 4]<sup>1)</sup>. Daher wird der gesamte Energieaufwand in der Regel mit Mengen der eingesetzten Primärenergie oder sogar der Primärenergieträger ausgedrückt. Obwohl diese Methode die tatsächliche Nutzwirkung des Energieaufwandes nicht angibt, kann doch die Bilanz einfach aufgestellt werden, ohne verschiedene Annahmen bezüglich des Wirkungsgrades einzuführen.

Der erwähnten Gründe wegen werden für elektrische Energie zwei Angaben benutzt:

a) Die Mengen der erzeugten oder der verbrauchten (den Verbrauchern abgegebenen) elektrischen Energie (z. B. kWh).

b) Die Mengen der zur Elektrizitätserzeugung aufgewandten Primärenergie (z. B. Tcal).

Die Angaben der elektrischen Energieausbeute dienen zur Bewertung des Umfanges der elektrischen Energiewirtschaft,

die Mengen der von Kraftwerken verbrauchten Primärenergie dagegen zur Beurteilung der Rolle der elektrischen Energie in der gesamten Energiebilanz. Wenn die Primärenergiebilanz aus thermischer und hydraulischer Energie besteht, dann muss Wasserenergie in eine gleichwertige Menge der thermischen Primärenergie umgerechnet werden; dies wird nach verschiedenen Auffassungen vorgenommen, weshalb auch hier Meinungsunterschiede entstehen.

Der Jahresverbrauch der elektrischen Energie pro Einwohner

$$E = W/B \text{ (kWh/a und pro Kopf)}$$

worin  $B$  die Bevölkerungszahl bedeutet, kennzeichnet die Entwicklung der Energieversorgung und deutet gewissermassen auch den wirtschaftlichen Entwicklungsstand des Landes an. Der relative Anstieg des spezifischen Bedarfes

$$e_t = E/E_0$$

wird bedingt durch die Zuwachsfaktoren

$$\text{des Energiebedarfs } k_t = W/W_0 = q_e^t$$

$$\text{und der Bevölkerung } b_t = B/B_0 = q_b^t$$

woraus

$$e_t = \frac{E}{E_0} = \frac{W}{W_0} \cdot \frac{B_0}{B} = \frac{k_t}{b_t} = \left(\frac{q_e}{q_b}\right)^t$$

Bei  $q_b > 1,0$ , d. h. bei einer steigenden Einwohnerzahl, ist  $e_t < k_t$ ; so ist bei einer zehnjährigen Bevölkerungszunahme von 10 % ( $b_{10} = 1,10$ ) ein Jahreszuwachs faktor der Energie  $q_e = 1,082$  nötig um den spezifischen Verbrauch innerhalb von 10 Jahren zu verdoppeln, d. h.  $e_{10} = 2$  erreichen zu können (Fig. 2) [5].

Die  $k$ -,  $E$ - und  $e$ -Werte sind in einzelnen Ländern sehr verschieden. In den Industrieländern erreicht der spezifische Bedarf der elektrischen Energie 2000...6000 kWh/a und pro Kopf, wogegen der Mittelwert der Welt ungefähr 1100 kWh/a beträgt [6; 7; 8]. Die Bedarfszahlen werden von der wirtschaftlichen Entwicklungsstufe und auch von einer Reihe örtlicher Umstände, welche die Struktur der Energiebilanz bedingen, beeinflusst.

Den ungefähren Verlauf des Bedarfsanstieges je nach der Höhe der erreichten Bedarfswerte zeigt Fig. 3. In den wirtschaftlich rückständigen Ländern nimmt der Energiebedarf nur langsam zu, weil es hier an technischen und finanziellen Mitteln zum Ausbau der Produktionsanlagen mangelt. Im Laufe der später eintretenden wirtschaftlichen Anlaufzeit fängt der Energiebedarf an schneller zuzunehmen, und da die absoluten Bedarfswerte noch gering sind, verdoppelt sich der Energieverbrauch innerhalb von 5...7 Jahren; in dieser Phase befinden sich zur Zeit zahlreiche Entwicklungsländer. Die nächste Phase

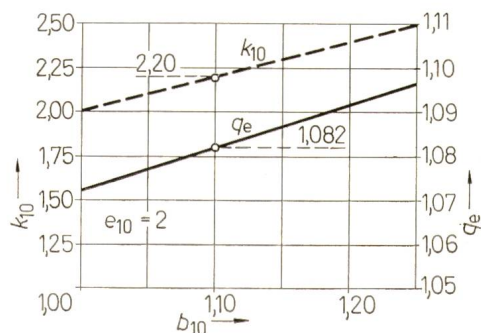


Fig. 2  
Beziehung zwischen den Zuwachsfaktoren  $b_{10}$ ,  $q_e$  und  $k_{10}$  bei zehnjähriger Verdoppelung des spezifischen Energieverbrauches ( $e_{10} = 2$ )

Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 1

<sup>2)</sup> Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.



tritt dann ein, wenn die Industrie sich wesentlich erweitert und der materielle Wohlstand der Einwohner zugenommen hat. Der spezifische Energieverbrauch beträgt bei diesem Entwicklungsstand 2000...5000 kWh/a, d. h. er übertrifft 2...4mal den Durchschnittswert der Welt. Die relative Bedarfszunahme in dieser Phase entspricht ungefähr der zehnjährigen Verdoppelung, und da die absoluten Bedarfszahlen schon hoch liegen, muss die Energieversorgung jährlich einen grossen zusätzlichen Bedarf aufnehmen, was hohe Anforderungen an die Energiewirtschaft stellt. Auf dieser Entwicklungsstufe befinden sich die meisten Industrieländer, welche ungefähr 80 % der erzeugten Elektrizität der Welt verbrauchen.

Ganz natürlich stellt die Energiewirtschaft hier die Frage, wie sich die weitere Entwicklung entfalten wird. Trotz gewisser Meinungsunterschiede bezüglich des zukünftigen Entwicklungstempos, erwartet man, dass die Produktionskräfte der wirtschaftlich entwickelten Länder einmal einen Sättigungszustand erreichen werden, so dass nachdem der spezifische Elektrizitätsverbrauch ca. 10000 kWh/a überschritten hat, der weitere Verbrauchsanstieg auf einen Jahreszuwachsfaktor von etwa  $q_e = 1,03...1,05$  sinken wird. Dem entspricht eine Ver-

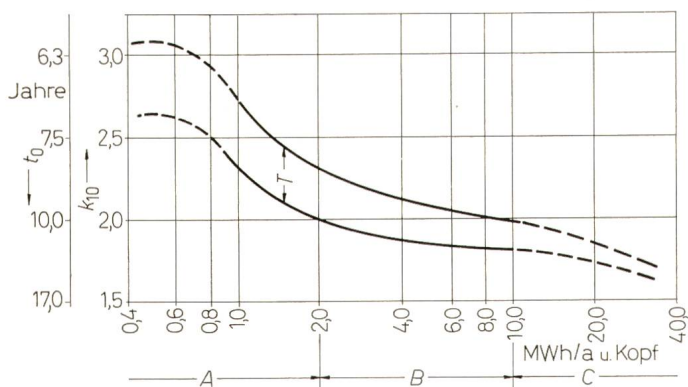


Fig. 3

Der grundsätzliche Verlauf des Bedarfsanstieges

A Anlauf; B wirtschaftliche Entwicklung; C Sättigungszustand;  
T Trendkorridor

Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 1

doppelungszeit von  $t_0 \approx 25$  Jahren. Dieser Zustand könnte ungefähr am Ende unseres Jahrhunderts in mehreren Ländern eintreten. Die in den USA zu erwartende Entwicklung ist in Fig. 4 dargestellt [7; 9].

Der beschriebene Entwicklungsverlauf stellt nur eine grobe Annäherung der Durchschnittswerte dar. Die Zusammenhänge zwischen dem Stand des Wirtschaftslebens und dem elektrischen Energiebedarf werden in einzelnen Ländern von zahlreichen örtlichen Faktoren — den vorhandenen Primärenergiequellen, der Rohstoffgrundlage u. a. — beeinflusst. Es kommt dabei nicht bloss auf die Höhe und den Anstieg des Energiebedarfes, sondern auch auf die Struktur der Energiebilanz, d. h. auf die Arten der verbrauchten Energien an. Da der Elektrizitätsverbrauch schneller als der Bedarf anderer Energieformen zunimmt, verändert sich die Energiebilanz fast überall zu Gunsten der elektrischen Energie. Diese Strukturveränderungen gehen aus folgenden ungefähren Schätzungen hervor [7; 8; 10]:

| USA                          | Jahr        | 1970  | 2000   |
|------------------------------|-------------|-------|--------|
| Bevölkerung                  | Mill.       | 205   | 285    |
| Elektrizitätsbedarf          | TWh         | 1 500 | 9 000  |
|                              | kWh/Kopf    | 7 400 | 31 000 |
| Gesamter Energiebedarf       | $10^6$ Tcal | 15    | 43     |
| Anteil des Kraftwerkbedarfes | %           | 24    | 48     |

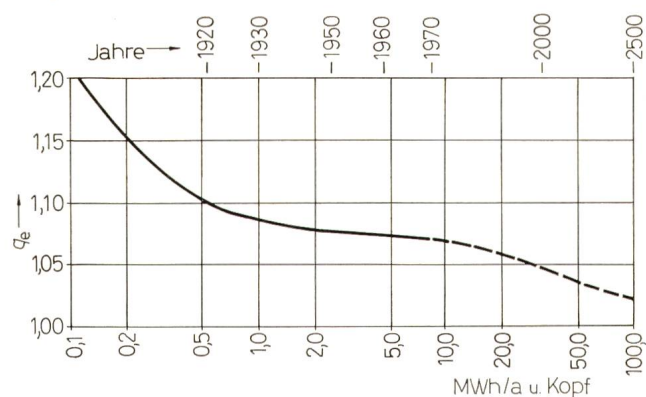


Fig. 4

Bedarfszuwachs in den USA

Die angegebenen Jahre deuten an, wann die entsprechenden Bedarfs-  
werte erreicht wurden, und wie es voraussichtlich aussehen wird

Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 1

Welt

|                              |             |       |        |
|------------------------------|-------------|-------|--------|
| Bevölkerung                  | Mill.       | 3 880 | 6 000  |
| Elektrizitätsbedarf          | TWh         | 4 400 | 25 000 |
|                              | kWh/Kopf    | 1 130 | 4 200  |
| Gesamter Energiebedarf       | $10^6$ Tcal | 40    | 120    |
| Anteil des Kraftwerkbedarfes | %           | 25    | 45     |

Der spezifische Elektrizitätsbedarf in einigen Ländern ist in Tabelle I und Fig. 5 angegeben [6; 7].

Fig. 5 zeigt deutlich, dass in der Welt noch sehr grosse Möglichkeiten einer weiteren Entwicklung des elektrischen Energieverbrauchs vorhanden sind, so dass im Weltmaßstab vorläufig noch keine Rede über eine baldige Sättigung des Energiebedarfes sein kann.

Der spezifische Elektrizitätsbedarf ist kein endgültiger Massstab für den Lebensstandard der betreffenden Länder, weil die Elektrifizierung der Energieversorgung von den örtlichen Faktoren — den verfügbaren Energiequellen, der Verbrauchsstruktur (Industrie, Haushalt), der Rolle der energieintensiven Industriezweige, den klimatischen Umständen usw. — beeinflusst wird. So kommen z. B. hohe Bedarfszahlen in den Wasserkraftländern vor, weil da die Energiebedürfnisse in grossem Masse mittels der elektrischen Energie gedeckt werden.

Da Energie ein Produktionsfaktor ist, versucht man den Energiebedarf mit wirtschaftlichen Kennwerten zu koordinieren. Trotz zahlreicher Bemühungen ist es aber nicht gelungen,

Spezifischer Elektrizitätsbedarf (1967)

Tabelle I

| Land              | Nr. | Gesamt-<br>bedarf<br>TWh | Spez. Bedarf<br>kWh/Kopf | Kraftwerkbedarf<br>an Primärener-<br>gie<br>% |
|-------------------|-----|--------------------------|--------------------------|---|
| Australien        | 1   | 43                       | 3 630                    | 27,5  |
| Deutschland — BRD | 2   | 192                      | 3 210                    | 27,7  |
| Deutschland — DDR | 3   | 60                       | 3 490                    | 23,7  |
| Finnland          | 4   | 17                       | 3 590                    | 43,1  |
| Grossbritannien   | 5   | 209                      | 3 800                    | 27,4  |
| Kanada            | 6   | 166                      | 8 110                    | 36,5  |
| Neuseeland        | 7   | 12                       | 4 300                    | 59,8  |
| Norwegen          | 8   | 51                       | 13 570                   | 1)  |
| Schweden          | 9   | 53                       | 6 760                    | 51,0  |
| Schweiz           | 10  | 28                       | 4 660                    | 55,8  |
| USA               | 11  | 1317                     | 6 610                    | 24,4  |
| Die Welt          | 12  | 3856                     | 1 130                    | 24,9  |

1) Nicht angegeben.



eine einwandfreie mathematische Beziehung zwischen dem Energieverbrauch und dem Nationalprodukt oder der industriellen Produktion aufzustellen. Diese Versuche scheitern daran, dass der Energiebedarf verschiedener Produktionszweige pro Fertigungseinheit nicht gleich ist, und sich aus technologischen Gründen verschieden entwickelt. Fig. 6 zeigt den Zusammenhang zwischen dem elektrischen Energieverbrauch und dem Brutto-Sozialprodukt [7]. Der sehr weite Streubereich bestätigt den grossen Einfluss der unterschiedlichen Wirtschaftsstruktur einzelner Länder.

Die Aufteilung des elektrischen Energieverbrauches auf die Abnehmergruppen verändert sich mit dem Verbrauchsanstieg. Der grösste Energieverbraucher, welcher in verschiedenen Ländern 45...75 % der elektrischen Energie abnimmt, ist seit langem die Industrie gewesen. Die allmähliche Zunahme des materiellen Wohlstands führt aber dazu, dass in den wirtschaftlich entwickelten Ländern eine andere Abnehmergruppe — der Haushalt — an Bedeutung ständig zunimmt, wodurch die prozentuale Rolle der Industrie sinkt. Diese Änderungen in der elektrischen Energiebilanz können mit Angaben der USA illustriert werden [10]:

| Jahre                                    |   | 1960 | 1970 | 1980 |
|--|---|------|------|------|
| Anteil der Industrie                     | % | 50   | 42   | 40   |
| Anteil des Haushalts                     | % | 29   | 32   | 34   |
| Anteil der Restverbraucher <sup>2)</sup> | % | 21   | 26   | 26   |
| Total                                    | % | 100  | 100  | 100  |

Für die elektrische Energie können sich in Zukunft neue Anwendungsgebiete — elektrischer Autoantrieb, Entsalzung des Meerwassers, elektrische Stoffumwandlung u. a. — eröffnen; sie werden sowohl die Bedarfsstruktur, als auch das Tempo des Bedarfsanstiegs beeinflussen. Diese im voraus schwer bewertbaren Faktoren bringen ein Element der Unbestimmtheit in die langfristigen Energieprognosen.

## 2. Prognosen und Tendenzkurven

Die Baupläne der Energieversorgung müssen für eine genügend lange Zeit, ungefähr für 10 Jahre, ausgearbeitet werden, wozu der voraussehbare Energiebedarf festgestellt werden muss. Dies stellt ein schwieriges Problem dar, weil man hier mit zahlreichen Einflüssen zu tun hat, deren Auswirkungen nur in grober Annäherung bewertet werden können. Hierzu werden verschiedene Prognosemethoden angewandt, die aber alle das gleiche Ziel verfolgen — die Trendkurven des bisherigen Verbrauchs in die Zukunft zu verlängern. Da diese Extrapolierung

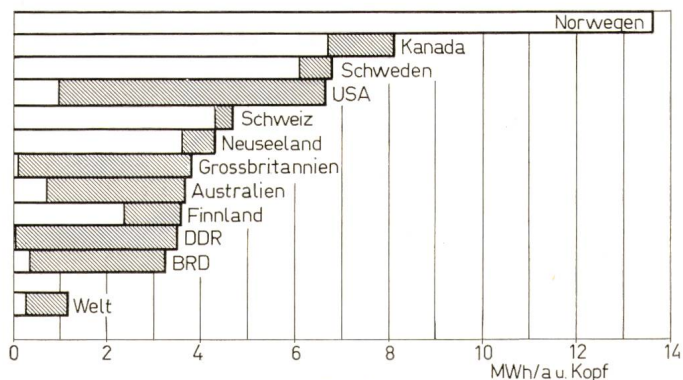


Fig. 5  
Spezifischer Elektrizitätsbedarf in einigen Ländern (1967)  
Schraffiert ist die thermisch erzeugte Energie

<sup>2)</sup> Enthält auch den Handels- und Gewerbebedarf.

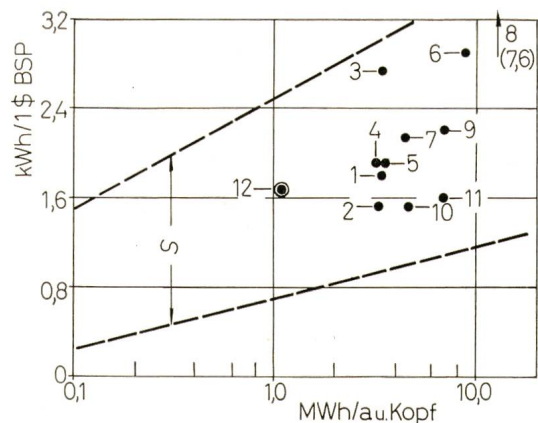


Fig. 6  
Beziehung zwischen dem Brutto-Sozialprodukt und dem spezifischen Elektrizitätsbedarf (1967)

Die numerierten Punkte entsprechen den Ländern gemäss Tabelle I  
S Streuungszone

sich auf einige Annahmen stützen muss, entstehen hier Meinungsunterschiede bezüglich des Tempos der zu erwartenden Bedarfsentwicklung. Wenn man auch bezweifelt, dass es überhaupt möglich ist einigermaßen genaue Schätzungen für 15...20 Jahre im voraus aufzustellen, ist es für die Energiewirtschaft doch vorteilhafter, sogar ungenaue Schätzungen zu haben, als ohne jegliche Richtwerte zu arbeiten. Man erwartet ja von langfristigen Prognosen auch keine genauen Angaben; sie sollen nur die allgemeine Tendenz andeuten und die Gröszenordnung der zu erwartenden Bedarfszahlen angeben.

Um einigermaßen glaubwürdige Prognosen aufstellen zu können, müssen die Verbrauchsangaben einer längeren Zeitperiode bekannt sein. Die Situation verbessert sich diesbezüglich allmählich, weil mit der Zeit immer ausführlichere Angaben verfügbar sind. Mit den Schätzungen des zukünftigen Energiebedarfes beschäftigen sich zahlreiche Organisationen, Institute, Staatsbehörden u. a. Dazu wurden verschiedene, manchmal ziemlich komplizierte Bewertungsmethoden ausgearbeitet, die in der technischen Literatur ausführlich behandelt sind. Es ist jedoch zweifelhaft, ob die komplizierten Prognosemethoden, in denen der Energiebedarf auf Grund verschiedener Bezugsgrössen — dem Bruttosozialprodukt, der Industrieproduktion u. a. — bestimmt wird, zuverlässigere Ergebnisse als eine unmittelbare Verlängerung der Zeitkurven des bisherigen Verbrauchs  $W = f(t)$  ergeben können.

Sichere Voraussagen können nur für solche Erscheinungen gemacht werden, deren Verlauf unabänderlich vorausbestimmt ist; hierher gehören zahlreiche Grundsätze der Naturvorgänge. Im Bereich der menschlichen Tätigkeit dagegen sind ähnliche sichere Voraussagen nicht möglich; man muss hier mit einem Unsicherheitsfaktor rechnen, so dass jede Prognose nur eine gewisse Wahrscheinlichkeit der zukünftigen Ereignisse andeutet. Und doch gibt es auch im Ablauf der wirtschaftlichen Prozesse gewisse Regelmässigkeiten, welche die Festsetzung ungefährender Entwicklungstendenzen und die Aufstellung entsprechender Tendenzen oder Trendkurven ermöglichen [11; 12; 5].

Die Tendenzkurven sind für Prognosezwecke sehr wertvoll, weil ihre Verlängerung in die Zukunft die Voraussagen der zukünftigen Entwicklung zulässt. Wenn auch die Prognosen verschieden durchgeführt werden, beruhen doch alle grundsätzlich auf die Extrapolation der bestehenden Trendkurven oder Trendfunktionen. Dabei zeigen die Trendkurven nur die



Grundrichtung an, wogegen die wirklichen Einzelwerte eine Streuungszone beiderseits der Trendkurve decken.

Alle Prognosemethoden beruhen auf statistischen Zeitreihen:

$$W/W_0 = f(p_1, p_2, \dots, t)$$

worin  $p$  die Entwicklungsparameter und  $t$  die Zeit bedeuten. Die Trendgleichungen und Kurven können nur deshalb extrapoliert werden, weil die wirtschaftlichen Ereignisse einer Trägheit unterliegen, so dass die Änderung der Einflussfaktoren eine gewisse Zeit in Anspruch nimmt. Innerhalb dieser Trägheitspanne können die Trendkurven verlängert werden, wobei man aber mit Vorbehalt vorgehen muss. Wenn die Abweichungen der tatsächlichen Resultate von der extrapolierten Trendkurve sich anhäufen und eine Strukturwandlung andeuten, dann muss die vermutete Kurve entsprechend berichtigt und den neuen Umständen angepasst werden.

Man klassifiziert die Prognosetypen nach dem von ihnen gedeckten Zeitraum, nach ihrem Umfang und den Verfahren ihrer Aufstellung. Die kurzfristigen Prognosen, welche 5...10 Jahre decken, dienen zur Entscheidung über unmittelbare Kraftwerk- oder Netzbauten. Die Mittelfristprognosen (10...20 Jahre) liefern Unterlagen zur Planung der Energiesysteme, zum Abschluss der Energielieferungsverträge u. a. Die langfristigen Prognosen umfassen 30...50 Jahre oder sogar eine längere Zeitperiode. Ihre Aufgabe ist es, eine Grundlage für weitreichende energiewirtschaftliche Entscheidungen zu vermitteln; sie geben Anhaltspunkte für die Energiepolitik, die planmäßige Ausbeutung der verfügbaren Energiequellen und den Ausbau von ausgedehnten Energiesystemen. Sie müssen sich auf gewisse Annahmen bezüglich der allgemeinen Entwicklung des Wirtschaftslebens stützen. Vom energiewirtschaftlichen Standpunkt aus sind gerade die langfristigen Prognosen von grösstem Interesse.

Nach dem Umfang unterscheidet man allgemeine und sektionale Prognosen. Die Ersteren können auf Grundlage der sektionalen Prognosen solcher Teilgebiete, welche eine vorherrschende Stellung in der Energiewirtschaft einnehmen, zusammengestellt und geprüft werden; als solche Hilfsprognosen werden, z. B., die Voraussagen des Industriebedarfs benutzt.

Es gibt grundsätzlich zwei Verfahren zur Aufstellung der Prognosen: die mittelbaren und unmittelbaren Voraussagen der Bedarfsentwicklung. Bei der ersten Methode wird der zu erwartende Bedarf auf Grund der bestehenden Entwicklungstendenz laut der Beziehung

$$W = W_0 f(p, t)$$

unmittelbar geschätzt. Nach der zweiten Methode dagegen wird die Bedarfsentwicklung mit Hilfe verschiedener Einflussfaktoren — des Sozialprodukts, der industriellen Produktion o. a. — berechnet. Dazu müssen Hilfsfunktionen eingeführt werden, welche die ausgewählten Einflussgrößen mit dem Energiebedarf verbinden. Dabei wird folgendes ausgewählt oder bewertet:

- Ausgangs- oder Einflussfaktoren —  $n_1, n_2 \dots$ ;
- Hilfsfunktion  $W = f(n_1, n_2 \dots)$ ;
- Entwicklung der Ausgangsfaktoren:  $n_1 = f_1(t)$ ,  $n_2 = f_2(t) \dots$ ;
- Zeitfunktion  $W = F(t)$ .

Jede Prognosemethode ist mit gewissen Vor- und Nachteilen behaftet, so dass ihre Auswahl je nach Zwecksetzung der Prognose und den jeweiligen Umständen getroffen wird. Die unmittelbaren Prognosen sind einfacher und übersichtlicher, weil sie keine Zwischenfaktoren benutzen. Da die Bedarfs-

entwicklung sich über Jahrzehnte ziemlich gleichmässig fortgesetzt hat, ist es möglich, die Bedarfskurven  $W = f(t)$  zu extrapolieren, ohne jegliche Zwischengrößen einzuführen. Es ist daher fraglich, ob bei der Schätzung des allgemeinen Energiebedarfes die mittelbaren Methoden glaubwürdigere Resultate als die einfache Verlängerung der Trendkurven ergeben können. Dies trifft besonders auf die kurzfristigen Prognosen zu, weil hier die Extrapolierung der Zeitkurven genügend richtige Ergebnisse für die unmittelbar bevorstehende Zeitperiode ergeben können.

Wenn man die Tendenzkurven über eine längere Zeitspanne extrapoliert, dann müssen allerdings die vermutbaren Änderungen in den Bedingungen des Energieverbrauches in Kauf genommen werden. So kann sich z. B., die Verdoppelung des Verbrauchs jede 10 Jahre ( $k_{10} = 2$ ) auf die Dauer nicht fortsetzen, denn schon nach 4...5 Jahrzehnten würde sie zu Verbrauchswerten führen, die weder von der Verbrauchs- noch von der Versorgungsseite als praktisch möglich bewertet werden können. Man nimmt deshalb an, dass nach einer gewissen Zeitperiode der Bedarfsanstieg sich verlangsamen wird. Die Frage, wann der Übergang auf die wesentlich geringeren Zuwachsraten eintreten wird, ist sehr schwierig zu beantworten, weil hier allzu viele Einflussfaktoren mitwirken. Obgleich in einigen Ländern, welche hohe Werte des spezifischen Energieverbrauchs schon erreicht haben, der Bedarfsanstieg sich bereits einigermaßen verlangsamt hat, setzt sich doch der durchschnittliche Bedarfszuwachs der Welt noch in unvermindertem Tempo fort. Man nimmt an, dass vor einer wesentlichen Verlangsamung des Bedarfsanstiegs die Werte des spezifischen Energieverbrauchs der Welt die zurzeit bestehenden Verbrauchszahlen noch erheblich übertreffen werden.

Da der Energiebedarf von zahlreichen Einflussfaktoren bedingt ist, werden die Gesetze der Bedarfsentwicklung auf empirischem Wege bestimmt. Die Auswahl der Beziehungen hängt von der Art der Prognose, den verfügbaren Angaben und der angestrebten Genauigkeit ab. Die gebräuchlichste Beziehung für die unmittelbaren Prognosen ist die Exponentialfunktion:

$$W = W_0 q_e^t \text{ oder } k_t = W/W_0 = q_e^t$$

die in logarithmischer Form

$$\lg W = \lg W_0 + t \lg q_e = a + bt$$

bei  $q_e = \text{const.}$  eine lineare Trendkurve ergibt (Fig. 7). Diese Beziehung entspricht der Entwicklung des Elektrizitätsbedarfs in vielen Industrieländern, wobei der Jahreszuwachs meistens sich zwischen 6...9 % befindet. Bei einem Jahreszuwachs von 7,2 % ( $q_e = 1,072$ ) ist  $k_{10} = 2$ , d. h., der Bedarf verdoppelt sich in 10 Jahren. Wenn der Jahreszuwachsfaktor  $q_e$  sich mit der

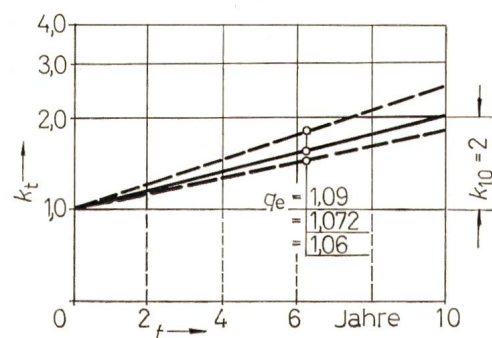


Fig. 7  
Bedarfszuwachsfaktor  $k_t = q_e^t$  im halblogarithmischen Koordinatensystem  
Bei  $q_e = 1,072$  ist der Zehnjahreszuwachsfaktor  $k_{10} = 2$



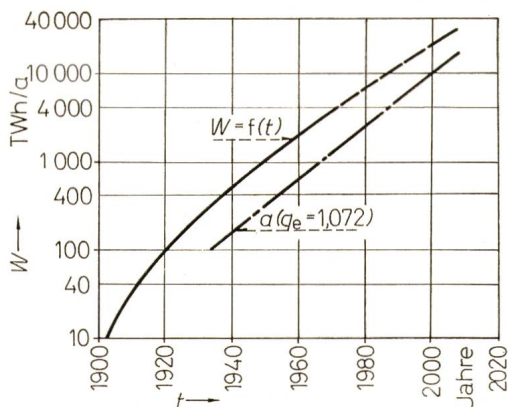


Fig. 8

### Weltverbrauch an elektrischer Energie im Laufe unseres Jahrhunderts

a Neigungslinie, welche dem Wert  $k_{10} = 2$  entspricht

Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 9 und 10

Zeit allmählich vermindert, dann geht die lineare Trendbeziehung in eine konvexe Kurve über. Die ungefähr voraussehbare Entwicklung des Weltverbrauches an elektrischer Energie bis zum Anfang des nächsten Jahrhunderts ist in Fig. 8 dargestellt [13]; die Kurvenstrecke innerhalb des letzten Viertels unseres Jahrhunderts entspricht einem durchschnittlichen Jahreszuwachs von 6,5...7 %.

Da sich der Bedarfszuwachs nicht unendlich in einem ungefähr gleichen Tempo fortsetzen kann, ist zu erwarten, dass im Laufe der Zeit die Form der empirischen Beziehung  $W = f(t)$  sich verändern wird. Die Aufgabe der Prognosen ist es diese Veränderungen sowohl zeit- als mengenmässig im voraus zu bewerten. Es wird dabei angenommen, dass der Energiebedarf allmählich einen gewissen Sättigungszustand erreichen wird, wodurch die erwähnte Exponentialkurve in eine S-Kurve (logistische Kurve) übergehen und sich einer Asymptote nähern wird (Fig. 9). Da man mit einem fortwährenden, wenn auch langsameren, Bedarfsanstieg auch nach der Erreichung der Sättigung rechnen muss, wird die Asymptote einen Neigungswinkel mit der Abszisse des Diagrammes bilden. Man versucht das zeitliche Eintreten des Sättigungszustandes und die voraussehbare Höhe der Asymptote festzusetzen, da aber diese Zustände mehrere Dekaden von uns entfernt sind, können diesbezüglich nur sehr angenäherte Schätzungen gegeben werden, die einen breiten Streuungskorridor bilden.

### 3. Voraussehbare Grenzwerte des Energiebedarfes

Die spezifischen Verbrauchswerte verändern sich mit der Zeit. Es muss untersucht werden, wie diese Entwicklung in Zukunft verlaufen wird und wie hoch die Grenzwerte des Energiebedarfes liegen können. Eine konsequente Anwendung der mathematisch-statistischen Methoden kann bei den langfristigen Schätzungen zu falschen Resultaten führen, falls die Verhältnisse in der Zukunft sich nicht wie in der Vergangenheit entwickeln. Dies trifft besonders dann zu, wenn grundlegende Umwälzungen in der Technik oder in der Wirtschaft erfolgen. Es hat daher keinen Sinn in den langfristigen Prognosen komplizierte mathematische Methoden anzuwenden, weil die hier benutzbaren Grundwerte grobe Annahmen darstellen, die mit vielen, nur sehr vagen Voraussetzungen verknüpft sind.

Die bisherigen Zuwachsraten des elektrischen Energiebedarfes der Welt übersteigen im Durchschnitt den Jahreswert 7,2 %, so dass die Verdoppelung des Bedarfes innerhalb einer Zeitspanne von weniger als 10 Jahren erfolgt (Tabelle II) [1; 8]:

### Elektrizitätsproduktion (TWh)

Tabelle II

| Land            | Jahreserzeugung |      | Jahreszuwachs % |
|-----------------|-----------------|------|-----------------|
|                 | 1955            | 1966 |                 |
| USA             | 631             | 1249 | 6,4             |
| Russland        | 170             | 516  | 10,6            |
| Japan           | 65              | 210  | 11,2            |
| Grossbritannien | 94              | 189  | 6,6             |
| BRD             | 77              | 166  | 7,3             |
| Kanada          | 80              | 157  | 6,4             |
| Frankreich      | 50              | 106  | 7,2             |
| Italien         | 38              | 87   | 7,8             |
| DDR             | 29              | 54   | 5,9             |
| Schweden        | 24              | 50   | 6,6             |
| Die Welt        | 1539            | 3513 | 7,8             |

Obwohl sich der Bedarfszuwachs in einigen Ländern bereits ein wenig verlangsamt hat, ist ein allgemeiner Rückgang der Jahreszuwachsrate noch nicht wahrnehmbar. Ganz im Gegenteil, die Zuwachsraten einiger Industrieländer haben sich in letzter Zeit sogar erhöht. So nahm der Elektrizitätsverbrauch in den USA während 1964...1970 im Durchschnitt jährlich um rd. 8 % zu, wobei die einzelnen Jahreswerte den Konjunkturschwankungen unterworfen sind [14]; der Jahreszuwachs z. B. in Kanada, Japan, Russland übertraf ebenfalls 8 %. Es ist aber kaum möglich, dass die 10jährige Verdoppelung des Energiebedarfes sich bis zum Ende des Jahrhunderts, oder noch darüber hinaus, erstrecken wird. Bezugnehmend auf die heutige Jahresproduktion der Welt von rd. 4000 TWh/a, sollte in diesem Falle die Jahresausbeute gegen Ende des Jahrhunderts 32000 TWh/a und der entsprechende Jahreszuwachs rd. 2300 TWh betragen. Da man solche Zahlen als praktisch unwahrscheinlich hält, wird ein allmähliches Vermindern der Jahreszuwachsrate erwartet. Man kommt dabei aber zu unterschiedlichen Schätzungen und Annahmen, die von der persönlichen Einstellung des Prognosenaufstellers gewissermassen beeinflusst werden. Dies führt zu optimistischen und pessimistischen Prognosen, die sich auf verschiedene Überlegungen hinsichtlich der voraussehbaren Entwicklung des menschlichen Lebens stützen.

Es hat sich herausgestellt, dass der zu erwartende Bedarfszuwachs früher allzu vorsichtig geschätzt worden war, so dass

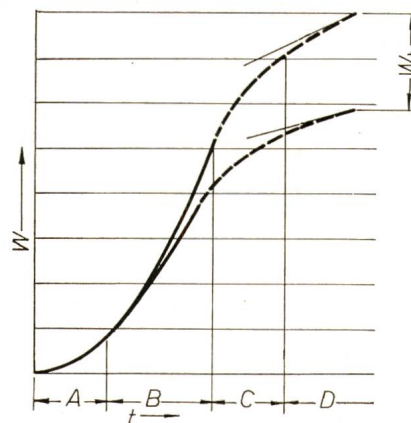


Fig. 9

### Langfristige Entwicklungskurve des elektrischen Energiebedarfes $W$

A Anlaufzone; B Anstiegzone; C Wendzone; D Sättigungsbereich;  
 $W_t$  Streuung des Sättigungsbedarfes



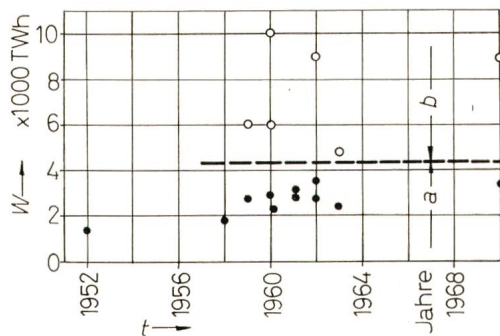


Fig. 10

Die in verschiedenen Jahren durchgeführten Schätzungen des Energiebedarfs der USA

a für das Jahr 1980

b für das Jahr 2000

t Aufstellungszeit der Prognosen

Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 9

die konservativ bewerteten Zahlen später nach oben berichtigt werden mussten. Der elektrische Energiebedarf hat nicht einmal in den industrialisierten Ländern einen merkbaren Sättigungszustand erreicht und da für die relativ billige elektrische Energie immer neue Verwendungsmöglichkeiten hinzukommen, ist es schwierig, die Entwicklung für eine längere Zeitspanne abzuschätzen. Es stimmen jedoch alle langfristigen Prognosen darin überein, dass die Verbrauchskurve in Zukunft eine Wendezone durchlaufen und in die S-Kurve übergehen wird. Hierbei muss die Lage der Kurvenasymptote, welche den wahrscheinlichen Sättigungswerten des Verbrauches entspricht, abgeschätzt werden. Die Ansichten über die Sättigungsgrenze unterscheiden sich erheblich [11; 15; 16; 17; 8]; die darüber früher angeführten Grenzzahlen von 15...40 MWh/a pro Kopf sind offensichtlich zu niedrig angenommen worden, weil der tatsächliche Verbrauch einiger Länder schon jetzt 8...14 MWh/a pro Kopf beträgt und noch fortwährend steigt. In späteren Prognosen rechnet man mit 100 MWh/a oder noch höheren Verbrauchswerten, wobei aber auch diese Zahlen grundsätzlich keine «Grenzwerte» darstellen. Da man annehmen muss, dass der Energiebedarf auch nach dem Erreichen eines Sättigungszustandes noch ansteigen wird, kann es hier überhaupt keine ganz bestimmten Grenzwerte geben. Die Wünsche des Menschen nach einer kürzeren Arbeitszeit, die Automatisierung der Produktionsvorgänge, der steigende materielle Wohlstand u. a. können nur dann erfüllt werden, wenn die dazu benötigten reichlichen Energiemengen zur Verfügung stehen. Dies wird den Bedarfsanstieg aufrecht erhalten, wobei technische Durchbrüche in der Energieerzeugung (Brutreaktoren, regelbare thermonukleare Reaktionen) zu dieser Entwicklung wesentlich beitragen können.

Die Differenz zwischen den hohen und niedrigen Schätzungen der zu erwartenden Sättigungswerte wird von Steiner «Elektrowärmebereich» benannt [11], weil der grösste Anstieg des Elektrizitätsverbrauches dann zu erwarten ist, wenn die elektrische Energie die anderen Energieträger aus dem Sektor des Wärmebedarfs verdrängen wird (s. Fig. 9) [11]. Wärmee Zwecke benötigen die grössten Energiemengen, die vorläufig zum überwiegenden Teil mit Brennstoffen unmittelbar gedeckt werden. Die Übernahme des Wärmebedarfes setzt allerdings eine Verminderung der elektrischen Energietarife voraus, was durch eine erfolgreiche Ausbeutung neuer, reichlich vorkommenden Energiequellen, z. B. Kernenergie, erreicht werden sollte.

Die erörterten Umstände seien an Hand einiger Prognosen der amerikanischen Elektrizitätswirtschaft illustriert.

Die Streuung der Resultate der in verschiedenen Jahren durchgeführten Schätzungen des Energiebedarfes der USA zeigt Fig. 10 [18]. Die Grenzwerte sind:

für das Jahr 1980 . . . . . 1 400...3 300 TWh/a  
für das Jahr 2000 . . . . . 4 800...10 000 TWh/a

Als die glaubwürdigsten Resultate können folgende Zahlenwerte angegeben werden:

für 1980 . . . . . 3 200 TWh/a  
für 2000 . . . . . 8 900 TWh/a

Die erwartete langfristige Entwicklung der Energieversorgung in den USA bis 2020 ist in Tabelle III und Fig. 11 angegeben [7; 10].

Die Tabelle III und Fig. 11 decken eine Hälfte des Jahrhunderts. Obwohl die für eine so lange Zeitperiode geschätzten Zahlen mit erheblicher Unsicherheit behaftet sind, deuten sie doch einige Umstände an, die in der Entwicklung des elektrischen Energiebedarfes zu erwarten sind:

- Der Bedarfsanstieg wird sich gegen Ende des Jahrhunderts einigermaßen verlangsamen, wenn auch ein ausgesprochener Sättigungszustand noch nicht erreicht sein wird.
- Die spezifischen Bedarfswerte werden 50...60 MWh/a und pro Kopf erreichen; es ist möglich, dass sie in unabsehbarer Zukunft sogar 100 MWh/a übersteigen werden. Dies wird durch eine breite Anwendung der elektrischen Energie in zahlreichen Lebenssektoren — Verkehr, Raumheizung, elektrochemischen Produktionsvorgängen u. a. — verursacht.
- Die Beteiligung der Elektrizitätswerke an Verbrauch von Primärenergie wird beständig zunehmen und Ende des Jahrhunderts

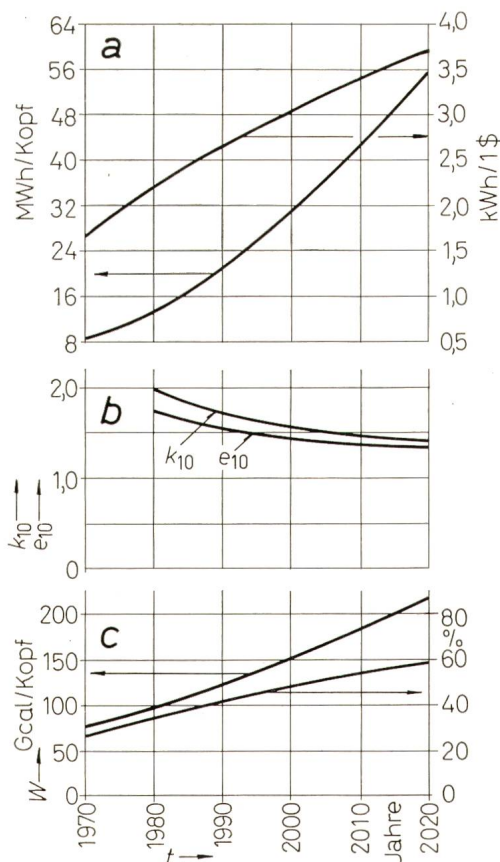


Fig. 11

Geschätzte Entwicklung der Energieversorgung der USA bis zum Ende des Jahrhunderts

a spezifischer Jahresbedarf (pro Kopf und pro 1 \$ BSP)

b Zehnjahreszuwachsfaktoren

c Primärenergieaufwand und der Anteil der Kraftwerke im Primärenergiebedarf

Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 1 und 9



| Jahr  |                 | 1970 | 1980   | 1990   | 2000   | 2010   | 2020   |
|---|-----------------|------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>1. Schätzungen:</b>                      |                 |      |        |        |        |        |        |
| Bevölkerung                                 | Mill.           | 205  | 236    | 260    | 285    | 305    | 320    |
| Kraftwerkleistung                           | GW              | 335  | 685    | 1 220  | 1 870  | 2 700  | 3 680  |
| Energieausbeute                             | TWh             | 1660 | 3 300  | 5 700  | 8 900  | 13 000 | 18 000 |
| Primärenergieaufwand 10 <sup>6</sup> Tcal   |                 | 15,6 | 23,2   | 32,7   | 43,5   | 55,5   | 69,5   |
| Sozialprodukt (BSP) <sup>1)</sup> , \$/Kopf |                 | 4840 | 6 390  | 8 320  | 10 300 | 12 600 | 15 000 |
| <b>2. Kennwerte:</b>                        |                 |      |        |        |        |        |        |
| <b>a) Elektrische Energie</b>               |                 |      |        |        |        |        |        |
| spez. Verbrauch                             | kWh/Kopf        | 8100 | 14 000 | 21 000 | 31 000 | 42 500 | 55 800 |
| spez. Verbrauch                             | kWh/1 \$ (BSP)  | 1,65 | 2,20   | 2,65   | 3,00   | 3,40   | 3,70   |
| Zehnjahresfaktor                            | k <sub>10</sub> |      | 1,98   | 1,73   | 1,56   | 1,46   | 1,38   |
| Zehnjahresfaktor                            | e <sub>10</sub> |      | 1,73   | 1,50   | 1,47   | 1,37   | 1,31   |
| <b>b) Primärenergie:</b>                    |                 |      |        |        |        |        |        |
| spez. Verbrauch                             | Gcal/Kopf       | 76   | 98     | 125    | 153    | 182    | 216    |
| Anteil des Kraftwerkverbrauchs              | %               | 24,8 | 33,2   | 40,5   | 47,5   | 53,0   | 59,0   |

1) Entsprechend dem Dollarwert von 1970

rund 50 % erreichen, wonach die Rolle der elektrischen Energie in der Primärenergiebilanz sich weiter erhöhen wird.

d) Der elektrische Energieverbrauch je 1 \$ des Brutto-Sozialprodukts wird mehr als auf das Doppelte ansteigen; dies ist auf die steigende Rolle der elektrischen Energie sowohl in allen Produktionszweigen, als auch in anderen Sektoren des menschlichen Lebens zurückzuführen.

#### 4. Schlussfolgerungen

Auf Grund der bisherigen Entwicklung des Energiebedarfes, der Bevölkerungszunahme, der Verbesserung des Lebensstandards u. a. kann man erwarten, dass der elektrische Energiebedarf in der nahen Zukunft noch in einem ungefähr gleichen Tempo wie bisher zunehmen wird. Alle Prognosen stimmen grundsätzlich darin überein, dass gegen Ende des Jahrhunderts der Energiebedarf die jetzigen Werte mehrfach übertreffen wird. Man erwartet aber, dass der spezifische Bedarf sich allmählich einem Sättigungszustand nähert, der Verlauf der Verbrauchskurve flacher als bisher wird. Der Übergang auf die flachere Strecke wird sich über eine längere Zeitperiode erstrecken, besonders weil die Energieversorgung in einzelnen Ländern sich in verschiedenen Entwicklungsphasen befindet.

Bezüglich der Sättigungswerte sind die Prognosen nicht einig. Die früheren, angeblich allzu niedrigen Schätzungen werden neuerdings nach oben berichtigt, wobei man die vorherigen Zahlen von 20...30 auf 60...100 MWh/a und pro Kopf erhöht. Es ist durchaus möglich, dass in fernerer Zukunft sogar diese Zahlen übertroffen werden können. Der Anstieg des elektrischen Energieverbrauches kann von einem technischen Durchbruch sowohl in der Erzeugung als auch im Verbrauch gefördert werden. Bei der Energieerzeugung könnte dies durch einen grosstechnischen Einsatz der Brutreaktoren oder später durch die Beherrschung der regelbaren thermonuklearen Reaktionen verursacht werden. Auf der Verbraucherseite könnte eine erfolgreiche Entwicklung des elektrischen Autos den Bedarf wesentlich erhöhen. Die Voraussetzung zu einem erheblichen Bedarfsanstieg ist ein relativ niedriger Preis der elektrischen Energie.

Mit der raschen Vermehrung der Erdbevölkerung und der beständigen Zunahme der Produktionskapazität erwerben die

Probleme bezüglich der Grenzen, welche von der Natur der technischen und wirtschaftlichen Entwicklung gezogen werden, immer mehr Beachtung. Die Erweiterung der Energieversorgung könnte durch Erschöpfung der ausnutzbaren Energiequellen oder durch übermäßige Belästigung der Umgebung mit den Restprodukten der Energieerzeugung (Rauchgase, Abwärme u. a.) begrenzt werden. Es ist aber schwierig vorauszusehen, wie die erwähnten Faktoren die möglichen Grenzwerte der Energieanwendung beeinflussen werden. Man muss daher die in den langfristigen Prognosen vermuteten Zahlenwerte des Energieverbrauches nur als sehr angenäherte Schätzungen ansehen. Die Entwicklung der Technik kann neue Möglichkeiten der Energieerzeugung mit sich bringen, welche für eine längere Zeitperiode nicht vorhergesehen werden können.

#### Literatur

- [1] Festlegung der Definitionen über den Nutzungsgrad in der Energiewirtschaft. Prakt. Energiekde. 11(1963)1, S. 3...5.
- [2] A. Kroms: Zum Begriff des Wirkungsgrades der Energieanlagen. Prakt. Energiekde. 16(1968)5/6, S. 89...97.
- [3] A. Kroms: Verluste: Von der Energiequelle bis zum Verbraucher. Bull. SEV 55(1964)15, S. 767...775.
- [4] A. Kroms: Zur Verringerung der Energieverluste. Energie 18(1966)10, S. 424...432 und Nr. 12, S. 528...533.
- [5] A. Kroms: Die Entwicklung des Verbrauchs elektrischer Energie. ETZ-B 17(1965)17, S. 563...568.
- [6] F. Felix: Annual growth rate on downward trend. Electr. Wld. 174(1970)1, p. 30...34.
- [7] A. Kroms: Stromversorgung der Welt. Elektrizitätswirtsch. 68(1969)11, S. 367...375.
- [8] 1970. Annual statistical report. Part 1 and 2. Electr. Wld. 173(1970)5, p. 45...64 and No. 9, p. 41...72.
- [9] A. Kroms: Prognosen der amerikanischen Elektrizitätswirtschaft. Elektrizitätswirtsch. 69(1970)5, S. 130...137.
- [10] H. Steiner: Energieprognosen in Theorie und Praxis. Elektrizitätswirtsch. 58(1959)17, S. 585...592.
- [11] F. Müller: Energiewirtschaftliche Bilanzen, Strukturen und Prognosen. Prakt. Energiekde. 16(1968)5/6, S. 99...123.
- [12] H. H. Frewer: Strukturwandel in der Elektrizitätswirtschaft durch den Einsatz von Kernkraftwerken. Atom und Strom 16(1970)3/4, S. 46...52.
- [13] W. D. Brown: 20th annual electrical industry forecast. Electr. Wld. 172(1969)11, p. 86...100.
- [14] W. Sieber: Die prognostische Entwicklung der Weltenergiewirtschaft bis zum Jahre 2000. Energietechnik 20(1970)5, S. 197...205.
- [15] A. Buch: Die Energiewirtschaft der Welt in ihrer künftigen Entwicklung. Energie 17(1965)9, S. 361...372.
- [16] H. Schäfer: Aspekte der künftigen Energieversorgung. Brennstoff/Wärme/Kraft 22(1970)5, S. 263...269.

#### Adresse des Autors:

A. Kroms, dipl. Ingenieur, 30 Rockland Ave., Malden, Ma. 02148, USA.