

Zeitschrift:	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber:	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band:	47 (1956)
Heft:	1
Rubrik:	Energie-Erzeugung und -Verteilung : die Seiten des VSE

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: 15.01.2026

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

Energie-Erzeugung und -Verteilung

Die Seiten des VSE

Vom Einfluss der Waschmaschinen auf die Netzelastung

Von *W. Pfahler*, Winterthur und *Ch. Morel*, Zürich

621.311.153 : 648.23

Die elektrischen Waschmaschinen weisen hinsichtlich der Netzelastung einige Eigentümlichkeiten auf. Die modernen statistischen Methoden bilden diesbezüglich ein wertvolles Untersuchungswerzeug. Von der beobachteten Verteilung der Belastung kann auf denjenigen Wert der Totalbelastung geschlossen werden, der mit einer gegebenen Wahrscheinlichkeit nicht überschritten wird, sei es ganz allgemein oder zu einer bestimmten Tageszeit. Im ersten Teil dieser Studie wird der Fall der Waschmaschinen in Einfamilienhäusern untersucht. Die mutmassliche Waschmaschinenspitze wird ermittelt und ihr Zusammenhang mit der Netzspritze gezeigt. Schliesslich wird die Abhängigkeit des Spitzenanteils von der Anzahl angeschlossener Waschmaschinen erörtert. Der zweite Teil befasst sich mit den gemeinsam benutzten Waschmaschinen von Mehrfamilienhäusern. Entsprechend der höheren Benutzung ist auch der Spitzenanteil dieser Maschinen höher.

Der erste Teil dieser Studie war Gegenstand eines Berichtes am Kongress der «Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie Electrique» in London, 1955.

Einleitung

Die Waschmaschinen sind eine der Elektrizitätsanwendungen, die, wenigstens in der Schweiz, im Begriffe sind, sich stark zu verbreiten. Diese Entwicklung kann für den Betriebsinhaber, der auf einen möglichst ausgeglichenen Verlauf seiner Belastung achten muss, nicht unbemerkt bleiben. Die Waschmaschinen besitzen einen ziemlich hohen Anschlusswert — 5...10 kW für die Haushaltmaschinen und mehr für die gewerblichen Anlagen — und die Gewohnheiten der Benutzer sind innerhalb eines Netzes weitgehend identisch. Es ergeben sich daraus ansehnliche Belastungsspitzen, die unangenehm werden können, besonders wenn sie mit der allgemeinen Netzspritze zusammenfallen, abgesehen von den benötigten hohen Querschnitten in den Zuleitungen und den in den örtlichen Transformatorenstationen bereitzustellenden Leistungen.

Es ist also unerlässlich, nicht nur sich vor der zu erwartenden Belastung Rechenschaft zu geben, sondern auch etwas über die Struktur dieser Belastung in Verbindung mit der allgemeinen Netzelastung zu erfahren.

Das Problem stellt sich unterschiedlich, je nach der Art der betrachteten Maschinen. Die gewerblichen Anlagen werden ziemlich regelmässig benutzt. Ihre Belastung ist weitgehend von den äussern Umständen unabhängig und sie verteilt sich recht gleichmässig über die werktäglichen Arbeitsstunden; sie kann einer industriellen Belastung gleichgestellt werden.

Die Benutzung der Waschmaschinen in Miethäusern ist nicht so regelmässig, obwohl hier ein Turnus eingehalten werden muss. Jeder Mieter kann periodisch während zwei oder drei Tagen über die gemeinsame Waschmaschine verfügen. Schon bei dieser Art Maschinen kann ein Einfluss der Witterung festgestellt werden; dieser ist jedoch sehr schwach, denn es muss gewaschen werden, wann die

Les machines à laver le linge ont certaines particularités quant à la charge qu'elles provoquent dans les réseaux. Les méthodes statistiques modernes fournissent à ce propos un moyen d'investigation extrêmement fructueux. De la distribution observée des charges, on peut déduire la valeur que la charge totale ne dépassera pas avec une probabilité donnée, que ce soit de façon générale ou pour un moment déterminé de la journée. La présente étude traite tout d'abord des machines à laver dans les maisons familiales. Les auteurs calculent la responsabilité probable des machines à laver à la pointe du réseau. Ils montrent dans quelle mesure la responsabilité à la pointe diminue lorsque le nombre d'appareils raccordé augmente. Ils examinent enfin le cas des machines à laver dans des maisons locatives, pour lesquelles la responsabilité à la pointe est plus élevée, par suite d'une utilisation plus intensive.

La première partie de cette étude a fait l'objet d'un rapport au Congrès de Londres de 1955 de l'Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie Electrique.

Maschine verfügbar ist. Ausserdem ist die Benutzung relativ hoch, da die Maschine je nach Umständen wöchentlich zwei- oder dreimal in Betrieb steht.

Anders verhält es sich bei den Einfamilienhäusern, wo der Besitzer der Maschine über sie frei verfügen kann. Die Hausfrau wird für ihre Wäsche einen schönen Tag auswählen, wenn sie nicht einem festgelegten Brauch folgt, wonach z. B. immer am Montag gewaschen wird.

Vorliegende Studie beginnt mit diesem letzteren Falle, dem einfachsten zu behandeln, um sich nachher dem zweiten zuzuwenden.

A. Waschmaschinen in Einfamilienhäusern

1. Ausgangslage

Diese Untersuchung betrifft eine mit Ausnahme der Raumheizung vollelektrifizierte Vorortsiedlung. In dieser Siedlung sind u. a. 17 gleiche Waschmaschinen installiert, von je 5,5 kW Anschlusswert. Während zweier Monate, vom 26. April bis zum 26. Juni 1954, wurde mittels Registrierwattmeter das tägliche Belastungsdiagramm der speisenden Transformatorenstation aufgenommen. Da die Heizkörper der Maschinen nicht unterteilt sind, können die fortwährenden Ein- und Ausschaltungen mühelos aus den Wattmeterstreifen herausgelesen werden. Die sorgfältige Auswertung dieser Streifen führte zum Belastungsdiagramm der Waschmaschinen allein, wovon ein Ausschnitt in Fig. 1 wiedergegeben ist. Aus Gründen der Einfachheit diene als Ordinate nicht die Leistung, sondern die Zahl n der eingeschalteten Maschinen.

Was die allgemeine Netzelastung betrifft, wurde festgestellt, dass im Laufe der letzten 16 Jahre, von den 64 (4 pro Jahr) für den Energieankauf massgeblichen Maxima (das Werk hat keine Eigenerzeugung), 62 morgens zwischen 07.00 Uhr und 08.30 Uhr aufgetreten sind.

Tabelle I

Zahl der gleichzeitig eingeschalteten Maschinen	0	1	2	3	4	5	6
Total Dauer der Einschaltung (Anzahl Intervalle zu je 3 Minuten)	6152	3680	1620	510	166	83	29

Die Frage, die sich stellt, ist eine doppelte: wie gross ist die mutmassliche Belastung der Waschmaschinen und deren Spitzenanteil?

2. Untersuchung der Belastung

Die Auswertung des Diagrammes der Waschmaschinen (Fig. 1) führt zu folgenden Feststellungen:

a) Nach Abzug der Sonn- und Feiertage umfasst die Untersuchung 51 Werkstage. Sie bestreicht das Intervall zwischen 06.00 und 18.00 Uhr; somit sind es 12 Stunden pro Tag oder im ganzen $51 \times 12 = 612$ mögliche Betriebsstunden.

b) Der gesamte Energieverbrauch der 17 Maschinen erreichte 2668 kWh oder im Durchschnitt rund 80 kWh pro Maschine und Monat. Dies entspricht einer mittleren Belastung von 0,793 Maschine oder 4,36 kW während des erfassten Zeitintervales (werktag von 6 bis 18 Uhr).

c) Bildet man für jede einzelne Halbstunde die mittlere Belastung, so erhält man die in Fig. 2 gezeigte mittlere Tagesbelastung. Aus dieser Kurve geht hervor, dass die Waschmaschinenspitze in der Regel am Vormittag zwischen 7 und 8 Uhr auftritt. Nach 8 Uhr nimmt die Belastung ab, mit zwei kurzen Wiederanstiegen vor 12 und vor 18 Uhr. Dies gilt aber nur im Durchschnitt und die nähere Betrachtung des Diagramms (Fig. 1) zeigt, dass auch nachmittags hohe Belastungen auftreten können, z. B. wenn nach mehreren Regentagen die Sonne plötzlich durchbricht.

3. Verteilung der Belastung

Die Zerlegung des Diagramms (Fig. 1) mit einem Intervall von 3 Minuten als Zeiteinheit, führt zu der in Tabelle I wiedergegebenen Verteilung der gleichzeitigen Einschaltungen von Waschmaschinen.

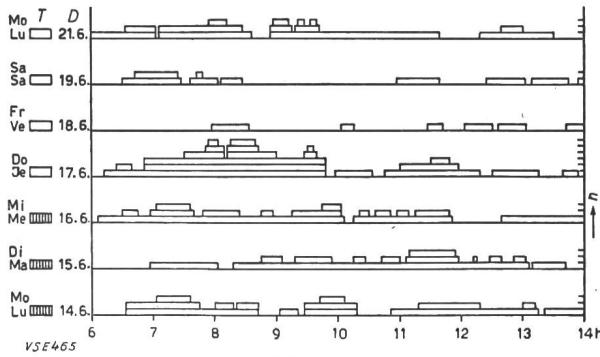


Fig. 1
Teil des Belastungsdiagramms von 17 Waschmaschinen in Einfamilienhäusern

- hell
- bedeckt
- regnerisch
- T Wetter
- D Datum
- n Anzahl der in Betrieb stehenden Waschmaschinen

Der Durchschnitt μ dieser Verteilung beträgt, wie bereits erwähnt, 0,793 Maschine.

Grundsätzlich handelt es sich hier um eine Binomialverteilung der Form:

$$\varphi(x) = \binom{m}{x} p^x (1-p)^{m-x}$$

wobei p die Einzelwahrscheinlichkeit einer Einschaltung und m die höchstmögliche Zahl gleichzeitiger Einschaltungen bedeuten. Im vorliegenden Fall ist

$$p = \mu : m = 0,793 : 17 = 0,0466.$$

Mit diesen Elementen wäre es möglich, die theoretische Verteilung (Verteilung der Grundgesamtheit) zu berechnen und sie mit der beobachteten Verteilung der Stichprobe zu vergleichen. Die binomische Verteilung ist aber umständlich zu berechnen, so dass man ihr in der Regel die Poissonsche Verteilung vorzieht, deren Rekursionsformel einfacher ist, und die in diesem Falle annähernd gleich genaue Ergebnisse liefert.

Diese Verteilung schreibt sich:

$$\varphi(x) = \frac{\lambda^x}{x!} e^{-\lambda}$$

und ihre Rekursionsformel:

$$\varphi(x+1) = \varphi(x) \frac{\lambda}{x+1}$$

In dieser Formel bedeutet λ den Durchschnitt der beobachteten Reihe (0,793) und $\varphi(x)$ die Wahrscheinlichkeit der gleichzeitigen Einschaltung von x Maschinen.

Die statistische Prüfung, ob die beobachtete Verteilung mit der theoretischen Verteilung gleichen Durchschnittes übereinstimmt, erfolgt mit Hilfe der χ^2 -Verteilung. Der Rechnungsgang geht aus Tabelle II hervor.

Tabelle II

x	Beobachtete Häufigkeit o	Berechnete Häufigkeit c	$o - c$	$(o - c)^2$	$\frac{(o - c)^2}{c}$
0	6152	5539	613	375 769	67,9
1	3680	4392	-712	506 944	86,6
2	1620	1741	-121	14 641	8,4
3	510	460	50	2 500	5,4
4	166	91	75	5 625	61,8
5	83	15	68	9 025	532,0
6	29	2	27	—	—
Total	12 240	12 240	—	—	762,1

Die Summe der letzten Kolonne S $\frac{(o - c)^2}{c} = 762,1$

ist der gesuchte χ^2 -Wert, für welchen den Tafeln zu entnehmen ist, dass die Wahrscheinlichkeit der Übereinstimmung kleiner als 0,001 ist. Die beobachtete Verteilung weicht also wesentlich von der entsprechenden theoretischen Verteilung ab, ob-

wohl sie ihr in der Form sehr ähnlich scheint. Welches sind nun die Ursachen dieser Abweichung? Starke Divergenzen kommen an beiden Enden der Verteilung vor, für Werte von x gleich 0, 1, 4, 5 und 6.

Es scheint in erster Linie, dass die Verwendung der Waschmaschinen nicht ganz frei ist von äusseren Einflüssen. Eine nähere Betrachtung der Aufzeichnungen zeigt, dass das Wetter eine wesentliche Rolle spielt. Die Hausfrauen waschen bei schönem Wetter, und wenn es regnet, ruhen die Waschmaschinen. Wenn aber das trübe Wetter einige Tage anhält, wird trotzdem gewaschen, denn die Hausfrauen können nicht allzu lange warten, besonders wenn die Familie Kleinkinder zählt. Das ist einer der Gründe für die festgestellte Verschiebung der Häufigkeiten nach den Enden der Kurve, zu Lasten der mittleren Werte.

Sodann ist eine Massierung der Einschaltungen in den ersten Tagesstunden festzustellen. Dies ist an sich nicht verwunderlich, denn die Wäsche muss vor dem Abend trocknen können, aber es fälscht auch das Spiel des Zufalles, auf welchem die theoretische Verteilung beruht, und zwar zugunsten der hohen x -Werte.

Auf Grund dieser Feststellungen kann die allgemeine Verteilung verlassen werden, um eine nähere Untersuchung der Belastung zu den verschiedenen Tagesstunden vorzunehmen. Wählt man z. B. die stärkstbelastete Halbstunde des Tages, so ist der Einfluss der fremden Faktoren viel weniger ausgeprägt. Die beobachtete Verteilung wird sich also viel eher der entsprechenden theoretischen Verteilung nähern. Diese Halbstunde ist ausserdem die interessanteste, weil sie die Waschmaschinenspitze liefert.

4. Untersuchung der stärkstbelasteten Halbstunde

Nach dem Diagramm von Fig. 2 ist die stärkstbelastete Halbstunde diejenige zwischen 07.30 und 08.00 Uhr. Die mittlere Belastung beträgt zu dieser Zeit 1,5804 Maschinen oder 8,70 kW.

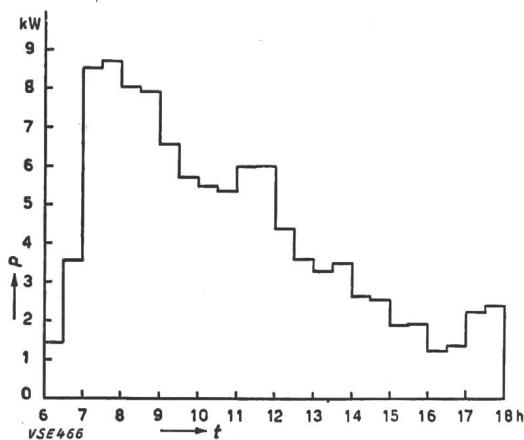


Fig. 2
Mittlere Tagesbelastung von 17 Waschmaschinen in Einfamilienhäusern

P halbstündliche Leistung
 t Zeit

Interessant für diese Halbstunde ist einerseits die einfache Wahrscheinlichkeit $P_s(x)$ für die gleichzeitige Einschaltung von 0, 1, 2... x Maschinen und

andererseits die Wahrscheinlichkeit $P_c(x)$ dafür, dass x Maschinen oder weniger gleichzeitig eingeschaltet sind (Wahrscheinlichkeit für die Nicht-überschreitung dieser Belastung). Da die zweite Wahrscheinlichkeit auf der Alternative beruht, entweder keine oder eine, oder zwei ... oder x Maschinen, ist sie gleich der Summe der Einzelwahrscheinlichkeiten von 0 bis x .

Die Häufigkeitsverteilung und die Prüfung, ob sie mit der Poissonschen Verteilung übereinstimmt, gehen aus Tabelle III hervor.

Tabelle III

x	Beobachtete Häufigkeit o	Theoretische Häufigkeit c	$o - c$	$(o - c)^2$	$\frac{(o - c)^2}{c}$
0	96	105	-9	81	0,771
1	186	166	20	400	2,410
2	113	131	-18	324	2,470
3	73	69	4	16	0,232
4	37	27			
5	3	9			
6	2	3			
Total	510	510	—	—	6,114

$$\chi^2 = 6,114 \quad \text{für } \chi^2 = 6,251 \quad P = 0,10 \\ n = 3 \quad \text{für } \chi^2 = 4,642 \quad P = 0,20$$

Die Übereinstimmung ist zulässig, da die Wahrscheinlichkeit hiefür leicht grösser ist als 0,10. Die berechneten Wahrscheinlichkeiten gehen aus Tabelle IV hervor.

Lässt man zu, dass in einem Fall von Tausend eine bestimmte Belastung überschritten werden darf, was einer sehr hohen Sicherheit entspricht, so kann man sagen, dass zwischen 07.30 und 08.00 Uhr praktisch nie mehr als 6 Maschinen gleichzeitig in Betrieb sein werden (nach Tabelle IV ist für $x = 6$ $P_d(x) = 0,00094 \cong 0,001$).

Tabelle IV

x	Wahrscheinlichkeit für die gleichzeitige Einschaltung von		
	x Maschinen $P_s(x)$	x Maschinen oder weniger $P_c(x)$	mehr als x Maschinen $P_d(x)$
0	0,20589	0,20589	0,79411
1	0,32539	0,53128	0,46872
2	0,25712	0,78840	0,21160
3	0,13576	0,92416	0,07584
4	0,05358	0,97768	0,02232
5	0,01692	0,99460	0,00540
6	0,00446	0,99906	0,00094

Die Untersuchung wäre, ohne noch so summarische Angaben über die übrigen Tagesstunden, unvollständig. Eine Wiederholung der Berechnungen für jede Halbstunde wäre aber sehr umständlich und zeitraubend. Einer solchen Berechnung ist ein graphisches Verfahren vorzuziehen, das genau genug ist, wenn an Stelle des gewöhnlichen Dezimalmaßstabes das sogenannte Wahrscheinlichkeitsnetz verwendet wird. Dieses Netz wird durch Umwandlung der Summenhäufigkeitskurve der Normalverteilung (S-Kurve) in eine Gerade erhalten.

Eine erste Kurvenschar (Fig. 3) gibt für verschiedene Parameter x die Werte der einfachen Wahrscheinlichkeit $P_s(x)$ in Funktion des Durchschnittes λ wieder. Die zweite (Fig. 4) betrifft die zusammengesetzten Wahrscheinlichkeiten $P_c(x)$, gleichsam in Funktion von λ . Die dritte, aus der

zweiten hervorgegangene Kurvenschar zeigt, für verschiedene besonders ausgewählte Wahrscheinlichkeiten $P_c(x)$ als Parameter, die Belastung (in Maschineneinheiten ausgedrückt), die nicht überschritten wird, und zwar in Funktion des Durchschnittes λ (Fig. 5).

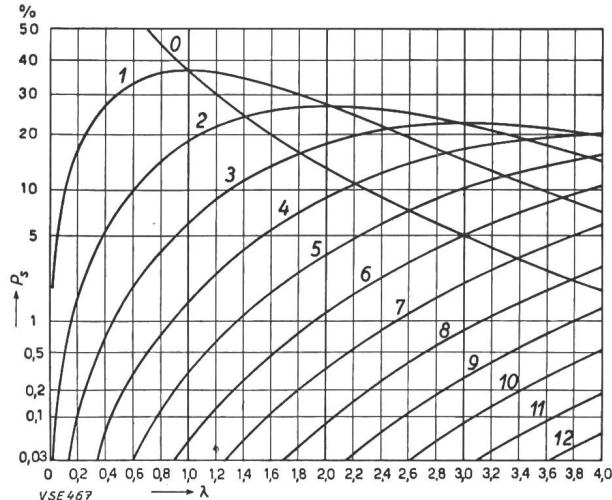


Fig. 3

Einfache Wahrscheinlichkeit P_s für die gleichzeitige Einschaltung von x Waschmaschinen

Die x -Werte sind neben den entsprechenden Kurven angegeben

λ Durchschnitt

Mit Hilfe dieser Kurventafeln lässt sich bequem die Tabelle V aufstellen, die für jede Halbstunde des Tages die entsprechenden Wahrscheinlichkeiten enthält.

Es versteht sich von selbst, dass diese Resultate nur für die betrachtete Gruppe von 17 Maschinen streng gelten. Sie dürfen nicht auf ein ganzes Netz übertragen werden ohne Berücksichtigung der bekannten Erscheinung der Gleichzeitigkeit (oder Verschachtelung der Belastung). Nach der Erfahrung trägt diese Erscheinung dazu bei, den Anteil

jeder Maschine an der Belastungsspitze in dem Masse zu verkleinern, wie die Zahl der angeschlos-

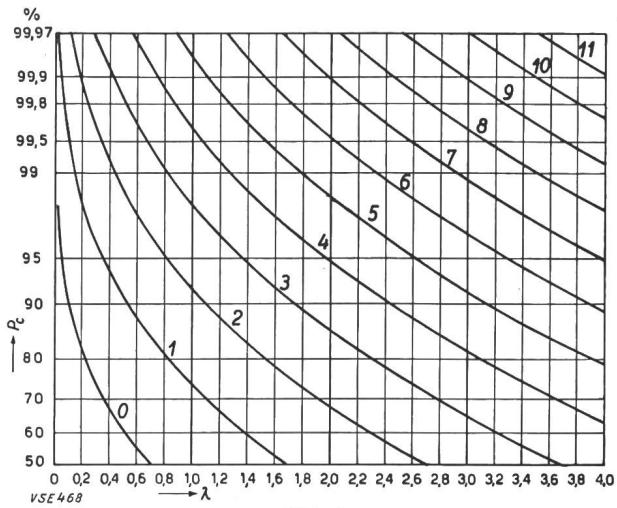


Fig. 4

Zusammengesetzte Wahrscheinlichkeit P_c für die gleichzeitige Einschaltung von x Waschmaschinen oder weniger

Die x -Werte sind neben den entsprechenden Kurven angegeben

λ Durchschnitt

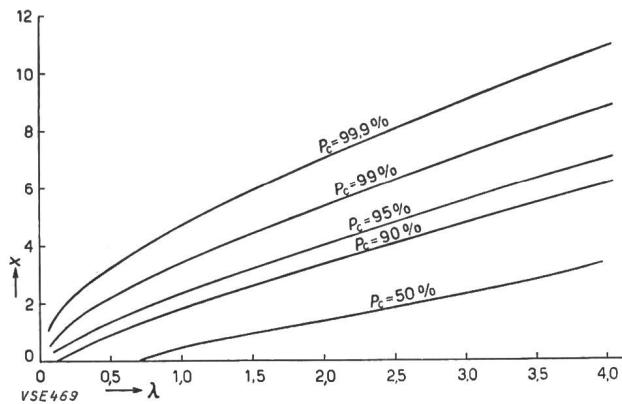


Fig. 5

Maximale Anzahl x der gleichzeitig in Betrieb stehenden Waschmaschinen in Abhängigkeit des Durchschnittes λ und für verschiedene Wahrscheinlichkeiten P_c als Parameter

Tabelle V

Halbstunde endend um	Durchschnitt λ	Einfache Wahrscheinlichkeit $P_s(x)$ für $x =$							Zusammengesetzte Wahrscheinlichkeit $P_c(x)$ für $x =$						
		0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6
6.30	0,26	0,777	0,197	0,024	0,002	—	—	—	0,777	0,974	0,998	—	—	—	—
7	0,64	0,530	0,335	0,107	0,023	0,004	0,001	—	0,530	0,865	0,972	0,995	0,999	—	—
7.30	1,55	0,214	0,330	0,255	0,132	0,050	0,015	0,004	0,214	0,543	0,798	0,930	0,980	0,995	0,999
8	1,58	0,206	0,325	0,257	0,136	0,054	0,017	0,004	0,206	0,531	0,788	0,924	0,978	0,995	0,999
8.30	1,46	0,231	0,339	0,250	0,120	0,043	0,013	0,003	0,231	0,570	0,820	0,940	0,983	0,996	0,999
9	1,44	0,237	0,340	0,245	0,120	0,042	0,012	0,003	0,237	0,577	0,822	0,942	0,984	0,996	0,999
9.30	1,21	0,296	0,364	0,219	0,087	0,026	0,006	0,002	0,296	0,660	0,879	0,966	0,992	0,998	—
10	1,07	0,340	0,368	0,196	0,071	0,020	0,004	0,001	0,340	0,708	0,904	0,975	0,995	0,999	—
10.30	1,00	0,368	0,368	0,184	0,061	0,015	0,003	0,001	0,368	0,736	0,920	0,981	0,996	0,999	—
11	0,98	0,375	0,368	0,181	0,059	0,014	0,003	—	0,375	0,743	0,924	0,983	0,997	—	—
11.30	1,09	0,333	0,367	0,200	0,074	0,020	0,005	0,001	0,333	0,700	0,900	0,974	0,994	0,999	—
12	1,09	0,333	0,367	0,200	0,074	0,020	0,005	0,001	0,333	0,700	0,900	0,974	0,994	0,999	—
12.30	0,80	0,450	0,358	0,146	0,038	0,007	0,001	—	0,450	0,808	0,954	0,992	0,999	—	—
13	0,66	0,520	0,338	0,112	0,025	0,004	0,001	—	0,520	0,858	0,970	0,995	0,999	—	—
13.30	0,60	0,550	0,328	0,099	0,020	0,003	0,001	—	0,550	0,878	0,977	0,997	0,999	—	—
14	0,64	0,530	0,335	0,107	0,023	0,004	0,001	—	0,530	0,865	0,972	0,995	0,999	—	—
14.30	0,48	0,620	0,295	0,072	0,012	0,001	—	—	0,620	0,915	0,987	0,999	—	—	—
15	0,47	0,619	0,298	0,071	0,011	0,001	—	—	0,619	0,917	0,988	0,999	—	—	—
15.30	0,35	0,700	0,250	0,044	0,005	0,001	—	—	0,700	0,950	0,994	0,999	—	—	—
16	0,35	0,700	0,250	0,044	0,005	0,001	—	—	0,700	0,950	0,994	0,999	—	—	—
16.30	0,23	0,786	0,190	0,022	0,002	—	—	—	0,786	0,976	0,998	—	—	—	—
17	0,25	0,779	0,195	0,024	0,002	—	—	—	0,779	0,974	0,998	—	—	—	—
17.30	0,41	0,668	0,270	0,054	0,007	0,001	—	—	0,668	0,938	0,992	0,999	—	—	—
18	0,44	0,646	0,284	0,060	0,009	0,001	—	—	0,646	0,930	0,990	0,999	—	—	—

senen Maschinen grösser wird. Eine Möglichkeit zur Annäherung dieses Problems soll weiter unten erörtert werden.

Die Möglichkeit, die Poissonsche Verteilung anzuwenden, lässt die Verwirklichung eines einfachen Experimentes offen. Es würde genügen, z. B. durch Unterzähler, wo es direkt nicht geht, den Verbrauch einiger hundert Waschmaschinen zu registrieren. Aus diesem Verbrauch liesse sich die mittlere Belastung errechnen, denn die mögliche Benutzungsdauer ist bekannt (etwa 12 Stunden pro Werktag). Durch unterschiedliche Gruppierung der Verbrauchs-zahlen, etwa durch Bildung immer grösserer Gruppen, sollten genügend Angaben erhältlich gemacht werden, um das Gesetz der Verschachtelung zu ermitteln. Vielleicht findet diese Anregung ein günstiges Echo und bewegt einen Forscher dazu, seine Untersuchungen nach dieser Richtung zu orientieren.

5. Der Anteil der Waschmaschinen an der Netzspitze

Die Frage, die sich nun stellt, ist diejenige des mutmasslichen Anteils der Waschmaschinen an der Netzbelaustung und im besondern an der Netzspitze. Es war bereits die Rede von der durch die Waschmaschine verursachten Belastung sowie von der Wahrscheinlichkeit für das Auftreten dieser Belastung. Es wurde auch schon festgehalten, dass die Netzspitze am Vormittag zwischen 07.00 und 08.30 Uhr auftritt, mit einer Wahrscheinlichkeit $P_r = 62 : 64 = 0,96875$. Es handelt sich dabei um die mittlere Belastung einer Stunde, deren Beginn je nach dem Tag leicht variieren kann, jedoch immer auf die Zeit zwischen 07.00 und 07.30 fällt. Um absolut korrekt zu sein, müsste auch diese Variationsmöglichkeit berücksichtigt und für die Waschmaschinen ebenfalls eine einstündige Periode gewählt werden. Es wurde jedoch von dieser Komplikation Umgang genommen, um so mehr, als für die Waschmaschinen die Wahl eines einstündigen Intervales im vorliegenden Falle nicht zu wesentlich andern Ergebnissen führen würde. Für die weiteren Betrachtungen soll also die mittlere Halbstunde, das ist diejenige zwischen 07.30 und 08.00 Uhr, die zufällig auch die stärkstbelastete für die Waschmaschinen ist, festgehalten werden.

Sollte die Netzspitze zu einer andern Tageszeit auftreten, so wäre einfach von derjenigen Halbstunde auszugehen, die eben mit der Netzspitze zusammenfällt.

Die Wahrscheinlichkeit für das Zusammentreffen zweier Ereignisse, wovon jedes mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit auftreten kann, ist gleich dem Produkt dieser beiden Wahrscheinlichkeiten.

Die zwei Wahrscheinlichkeiten, die hier im Spiele stehen, sind einerseits diejenige der Netzspitze, die 0,96875 beträgt und anderseits diejenige für das gleichzeitige Einschalten von x Maschinen oder weniger. Die gesuchte Wahrscheinlichkeit ist also $0,96875 \times 0,99906$ oder 0,96784. Die Belastung der Waschmaschinen, die im Augenblicke der Netzspitze praktisch nicht wird überschritten werden, beziffert sich demnach auf $0,96784 \times 6 \times 5,5 \text{ kW} = 31,9 \text{ kW}$ oder auf **1,88 kW** pro angeschlossene Maschine, oder noch auf 0,342 kW pro kW Anschlusswert.

6. Verschachtelung der Belastung

Zum Schluss soll noch untersucht werden, was voraussichtlich passieren wird, wenn die Zahl der angeschlossenen Waschmaschinen zunimmt.

Die theoretische Verteilung ist die binomische; für die Berechnungen wurde die einfache Poissonsche Verteilung verwendet. Nun soll die Normalverteilung herangezogen werden, die, wie die Erfahrung zeigt, an Stelle der beiden ersten treten kann, sobald der Durchschnitt λ höhere Werte annimmt, und die noch einfacher zu handhaben ist, weil für ihre Standard-Form Tafeln vorliegen.

Die für das Zeitintervall 07.30 bis 08.00 Uhr beobachtete Verteilung soll nun durch eine Normalverteilung gleichen Durchschnittes \bar{x} und gleicher Streuung s ersetzt werden. Es gilt somit: $N = 17$ und $\bar{x} = pN = 1,5804$, woraus $p = 1,5805 : 17 = 0,09296$. Die Streuung berechnet sich zu $s = \sqrt{Np(1-p)} = \sqrt{17 \times 0,092965 \times 0,907035} = 1,1984$. Der Übergang der beobachteten Verteilung zur Standard-Verteilung erfolgt mit Hilfe der Formel

$$u = \frac{x - \bar{x}}{s}$$

In den Tafeln findet man für die Nichtüberschreitungswahrscheinlichkeit 0,999 einen Wert $u = 3,09$. Unter Annahme, dass die Verteilung aller Stichproben, unabhängig von ihrem Umfang, normal sei, und dass die mit 17 Maschinen ermittelte Einzelwahrscheinlichkeit für alle Stichproben gilt, kann leicht der Wert x obiger Formel in Funktion von N ermittelt werden. Diese Berechnung ist für einige Werte von N in Tabelle VI zusammengefasst.

Tabelle VI

N	$pN = \bar{x}$	$s = \sqrt{Np(1-p)}$	us	$x = \bar{x} + us$	$x : N$
10	0,9296	0,9183	2,8376	3,7672	0,377
17	1,5804	1,1984	3,6998	5,2802	0,311
100	9,2965	2,9040	8,9733	18,2698	0,183
1 000	92,965	9,1832	28,376	121,341	0,121
10 000	929,65	29,040	89,733	1 019,38	0,102

Das Verhältnis $x : N$ ist gleich der Belastung (in Maschineneinheiten ausgedrückt) pro Besitzer einer Maschine, die nur in einem Falle von Tausend überschritten werden kann, mit andern Worten, dem relativen Spitzenanteil. Man sieht, dass dieser Anteil mit steigendem N zunächst rasch abnimmt, um sich nach und nach einem asymptotischen Wert zu nähern.

Für 17 Maschinen ergibt die Poissonsche Verteilung einen etwas höheren Wert, 0,360. Dies bestätigt, dass die Normalverteilung für schwache Werte von N zu wenig präzis ist und vor allem zu kleine Werte liefert.

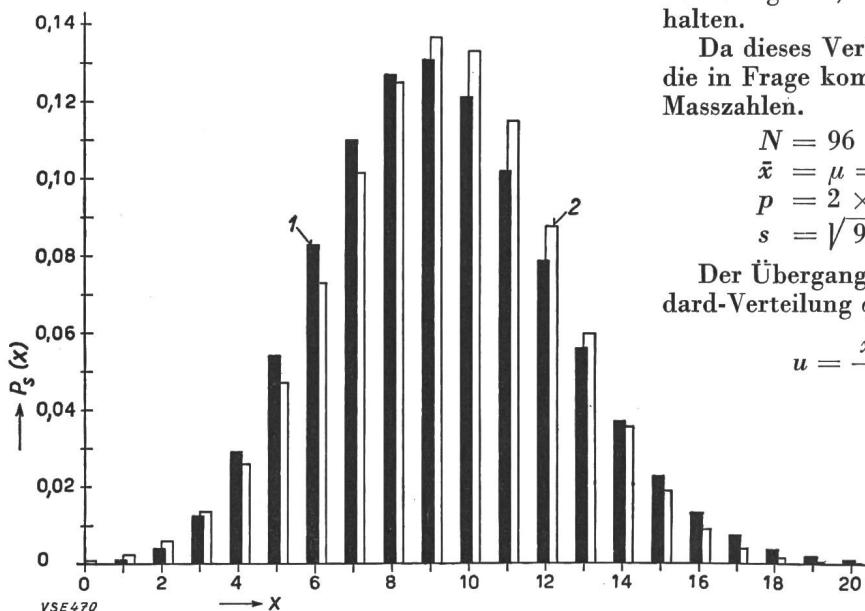
B. Waschmaschinen in Miethäusern

1. Ausgangslage

Diese zweite Studie betrifft eine Gruppe von 96 Miethäusern mit je einer Waschmaschine von 9,5 kW, also im Total 720 kW. In diesen Häusern wohnen 766 Haushaltungen, wovon 591 die Waschmaschinen regelmässig benützen. Der Gesamt-

verbrauch dieser Apparate betrug 250144 kWh im Jahre 1954. Dies entspricht einem mittleren Verbrauch von 2605 kWh je Maschine und Jahr oder 35,3 kWh je Haushaltung und Monat. Die mittlere effektive Benutzungsdauer erreicht 347,4 h, während die mögliche Benutzungsdauer 3600 h (300 Werkstage zu je 12 h) beträgt. Die mittlere Belastung beziffert sich auf 69,4 kW oder 9,26 Maschinen oder noch 0,723 kW pro angeschlossene Maschine.

Da keine Aufzeichnungen des Belastungsverlaufes vorliegen, sondern nur die monatlichen Verbrauchs- zahlen verfügbar sind, ist es nicht möglich, die Verteilung der Belastung zu untersuchen. Immerhin kann in Analogie zum Fall A verfahren werden, in der Annahme, dass die gleichen Gesetze gelten. Das Ergebnis wird mit einer gewissen Unsicherheit behaftet sein; es wird aber gleichwohl gestatten, einige Schlüsse zu ziehen.



2. Wahl der Verteilung

Wie das Problem vorliegt, handelt es sich wiederum um eine binomische Verteilung, deren Parameter die folgenden sind:

Höchstmögliche Zahl gleichzeitiger Einschaltungen $N = 96$
 Durchschnitt der gleichzeitigen Einschaltungen $\mu = 9,26$
 Einzelwahrscheinlichkeit $p = \mu : N = 0,0965$

Streuung $s = \sqrt{Np(1-p)} = 2,8928$

Für die Berechnung wird sie aber durch die Poissonsche Verteilung gleichen Durchschnittes $\lambda = 9,26$ ersetzt, die in Fig. 6 veranschaulicht ist.

Dem Aussehen nach nähert sich diese Verteilung schon weitgehend einer Normalverteilung, deren Durchschnitt rund 9 betragen würde. Es wird also kein grosser Fehler begangen, wenn für die nachfolgenden Betrachtungen die Poissonsche durch die entsprechende Normalverteilung ersetzt wird. Dadurch wird die Berechnung einfacher.

Eine längere Untersuchung, die hier nicht wiederholt werden soll, hat übrigens gezeigt, dass der so

begangene Fehler von der Grössenordnung von höchstens 5 % ist.

3. Schätzung der mutmasslichen Spitze

Es scheint hier zulässig, für diese Berechnung die Ergebnisse der unter A erwähnten Studie über 17 Waschmaschinen heranzuziehen. Es kann ange nommen werden, dass das für diese 17 Maschinen ermittelte Verhältnis zwischen dem Durchschnitt der generellen Verteilung und demjenigen der stärkstbelasteten Halbstunde auch für die 96 Ma schinen der vorliegenden Studie gilt. Es handelt sich ja um die gleiche hauswirtschaftliche Verrichtung und es ist sogar möglich, dass angesichts der kurzen Zeit für die jede Haushaltung über die Wasch maschine verfügen kann, die Konzentration auf die ersten Morgenstunden noch ausgeprägter sein wird, als bei den Einfamilienhäusern. Es dürfte jedoch vorsichtig sein, sich an das ermittelte Verhältnis zu halten.

Da dieses Verhältnis gleich 2 ist, erhält man für die in Frage kommende Normalverteilung folgende Masszahlen.

$$\begin{aligned} N &= 96 \\ \bar{x} &= \mu = 2 \times 9,2635 = 18,527 = 18,53 \\ p &= 2 \times 0,0965 = 0,193 \\ s &= \sqrt{96 \times 0,193 \times 0,807} = 3,85 \end{aligned}$$

Der Übergang dieser Verteilung $\varphi(x)$ zur Standard-Verteilung $\varphi(u)$ erfolgt mit Hilfe der Formel

$$u = \frac{x - \bar{x}}{s} \quad \text{oder} \quad x = us + \bar{x}$$

Fig. 6
 Theoretische Häufigkeitskurven $P_s(x)$
 für die gleichzeitige Einschaltung von
 x Waschmaschinen in Miethäusern
 1 Poisson'sche Verteilung $\lambda = 9,26$
 2 Normalverteilung $\bar{x} = 9,26$
 $s = 2,8928$

Den Tafeln ist zu entnehmen, dass für eine Wahrscheinlichkeit $P_c(u) = 0,999$ der Nichtüberschreitung des Wertes u , der Wert von u 3,09 beträgt. In die genannte Formel eingesetzt, ergibt dieser Wert

$$x = 3,09 \times 3,89 + 18,53 = 30,42$$

Das heisst, dass in einem Falle von Tausend die Belastung 30,42 oder rund 31 Maschinen überschreiten wird. Mit anden Worten, beträgt die mutmassliche Spitze 31 Maschinen.

Die Wiederholung dieser Rechnung für verschiedene, ausgewählte Werte von N , bei Annahme gleichbleibender Einzelwahrscheinlichkeit p , führt zu den Zahlen von Tabelle VII:

Tabelle VII

N	$pN = \bar{x}$	$s = \sqrt{Np(1-p)}$	us	$x = \bar{x} + us$	$x : N$
10	1,93	1,25	3,86	5,79	0,579
96	18,53	3,85	11,89	30,42	0,317
100	19,3	3,94	12,18	31,5	0,315
1 000	193	12,48	38,58	231,6	0,232
10 000	1930	39,40	121,8	2052	0,205

Das in der letzten Kolonne enthaltene Verhältnis $x : N$ ist nichts anderes als der relative Anteil jeder

Maschine an der Spitze. Auch in diesem Falle wird dieser Anteil bei zunehmender Zahl der angeschlossenen Maschinen kleiner.

C. Schlussfolgerungen

Beim Vergleich der Ergebnisse beider Studien fällt zunächst auf, wie zu erwarten war, dass die Benutzung der Waschmaschinen in Miethäusern wesentlich stärker ist als in Einfamilienhäusern. Wenn für jene die mittlere Belastung etwa 10 % des Anschlusswertes beträgt, so erreicht sie bei diesen knapp 5 %. In Miethäusern beträgt der mittlere monatliche Verbrauch pro Haushalt 35,3 kWh; in Einfamilienhäusern steigt diese Zahl auf rund 80 kWh an. Der mittlere monatliche Verbrauch pro Maschine ist dagegen in den Miethäusern höher: 217 kWh.

Für 1000 angeschlossene Waschmaschinen jeder Art ist der Spaltenanteil von der Größenordnung 12 % bei Einfamilienhäusern und 23 % bei Miethäusern.

Dieser Spaltenanteil ist aber nur dann identisch mit der Beteiligung der Waschmaschinen an der Netzspritze, wenn beide Spitzen zeitlich zusammenfallen. Andernfalls muss der Anteil der Waschmaschinen für diejenige Halbstunde ermittelt werden, in die auch die Netzspritze fällt.

Es liegt nicht im Sinne dieser Studie, andere Schlussfolgerungen zu ziehen, z. B. bezüglich der Anwendung der Ergebnisse in tariflicher Hinsicht. Zweck dieser Untersuchungen war, zu zeigen, wie die modernen statistischen Methoden für die Abklärung von Problemen aus dem Betriebe mit Nutzen herangezogen werden können. Es ist klar, dass auch andere Probleme als die behandelten auf ähnlichen Weise angepackt werden können: Bemessung der Transformatoren und Speiseleitungen, Tariffragen u. a. m.

Adresse der Autoren:

W. Pfaehler, dipl. el. Ing. ETH, Direktor des Elektrizitätswerkes der Stadt Winterthur, Winterthur.
Ch. Morel, dipl. el. Ing. ETH, Sekretariat des VSE, Seefeldstrasse 301, Zürich 8.

Die Kernenergie in der europäischen Energiebilanz der Zukunft

621.311.25 : 621.039.4(4)

Der Ausschuss für elektrische Energie der Europäischen Wirtschaftskommission der Vereinigten Nationen (CEE)¹⁾ hat beschlossen, im Verlaufe seiner nächsten Sitzung die Frage zu prüfen, ob eine Betätigung auf dem Gebiete der Kernenergie auf europäischer Ebene zu seinen Obliegenheiten gehören. Zu diesem Zwecke hat das Sekretariat der

CEE einen Bericht²⁾ verfasst. Dieser Bericht umfasst einerseits die von den verschiedenen Ländern der internationalen Konferenz zur Verwendung der Atomenergie zu friedlichen Zwecken (Konferenz von Genf) unterbreiteten Angaben über ihre Energiequellen und ihren Energiebedarf, anderseits die durch diese Konferenz beigebrachten Auskünfte

¹⁾ Commission Economique pour l'Europe.

²⁾ Dokument E/ECE/EP/174

Scheinbarer Bruttoverbrauch aus kommerziellen und nichtkommerziellen Energiequellen für das Jahr 1952

Tabelle I

Land	Feste Brennstoffe	Flüssige Brennstoffe	Erdgas	Hydro- elektrische Energie ¹⁾	Total der kommerziel- len Energie- quellen	Nicht- kommerzielle Energie- quellen	Total aller Energie- quellen	Pro Kopf der Bevölkerung
	10 ⁹ kWh	10 ⁹ kWh	10 ⁹ kWh	10 ⁹ kWh	10 ⁹ kWh	10 ⁹ kWh	10 ⁹ kWh	10 ⁹ kWh
Türkei	40,0	9,0	—	0,1	49,1	37,5	86,6	3,9
Griechenland	3,0	13,8	—	?	16,8	13,2	30,1	3,9
Portugal	7,2	9,0	—	1,2	17,4	16,0	33,5	3,9
Bulgarien	?	?	?	?	?	?	30,0 ³⁾	4,0
Jugoslawien	40,1	4,4	0,1	1,4	46,1	26,0	72,1	4,3
Rumänien	?	?	?	?	?	?	80,0 ³⁾	5,0
Italien	84,3	67,8	15,2	28,9	196,2	61,1	257,3	5,5
Spanien	107,0	16,6	—	7,8	131,4	37,7	169,0	6,1
Ungarn	?	?	?	?	?	?	110,0 ³⁾	11,0
Schweiz	21,8	14,4	—	11,9	48,2	5,6	53,8	11,1
Österreich	59,1	9,9	2,1 ³⁾	5,4	76,5	11,3	87,8	12,7
Irland	15,5	8,0	—	0,5	24,0	17,1	41,1	13,9
Niederlande	135,1	35,1	0,2	0,2	170,6	4,4	175,0	16,9
Dänemark	49,9	19,8	—	0,2	70,0	8,3	78,2	17,9
Polen	?	?	?	?	?	?	450,0 ³⁾	18,0
Finnland	20,6	7,3	—	4,1	32,0	44,4	76,4	18,7
Frankreich und Saarland	621,6	122,4	2,9	22,5	769,4	48,2	817,6	18,8
Norwegen	14,5	19,9	—	18,7	53,1	11,2	64,3	19,3
Ostdeutschland	?	?	?	?	?	?	420,0 ³⁾	23,0
Schweden	60,8	57,6	—	20,6	138,9	31,4	170,3	23,9
Westdeutschland	1109,3	53,6	2,1	11,0	1175,9	51,2	1227,1	25,3
Tschechoslowakei	?	?	?	?	?	?	370,0 ³⁾	29,0
Belgien-Luxemburg	242,0	30,2	—	0,2	272,3	1,8	274,1	30,4
Grossbritannien	1669,7	179,5	—	1,7	1850,9	5,7	1856,5	36,6
Total ²⁾	4301,5	678,3	22,6	136,4	5138,8	432,1	5570,9	16,8

¹⁾ Inklusive Netto-Importe elektrischer Energie.

²⁾ Exklusive Bulgarien, Tschechoslowakei, Ostdeutschland, Ungarn, Polen und Rumänien.

³⁾ Schätzungen des Sekretariates der CEE.

über Gestehungskosten der Reaktoren und der erzeugten Energie. Aus diesen Angaben und Auskünften versucht nun das Sekretariat der CEE die entsprechenden Schlüsse zu ziehen über den Platz, den die Kernenergie in der zukünftigen europäischen Energiebilanz einnehmen wird.

Bilanz des Energiebedarfs und des Energiedargebotes

Die Tabelle I gibt den Rohenergieaufwand der verschiedenen europäischen Länder für das Jahr 1952 an. Dieser Energieaufwand wurde aufgeteilt nach kommerziellen Energiequellen (feste und flüssige Brennstoffe, Erdgas und hydro-elektrische Energie) einerseits, und nach nicht kommerziellen anderseits (Brennholz, Sägereiabfälle und andere pflanzliche Brennstoffe). Die in der Tabelle für die Brennstoffe angeführten Zahlenwerte entsprechen dem Elektrizitätsäquivalent für den totalen Heizwert.

Es ist sehr schwierig, den zukünftigen Energiebedarf abzuschätzen. Vier Berichte, die sich mit dieser Frage auf interkontinentaler Ebene befassen, sind der Konferenz von Genf vorgelegt worden. Die vorgesehenen Ansätze für eine durchschnittliche, jährliche Bedarfszunahme schwanken zwischen 2 und 3,5 %. Die von den einzelnen Ländern für den mittleren jährlichen Bedarfswuchs geschätzten Ansätze sind sehr verschieden. Diese Schätzungen sind abhängig von den Prognosen über Bevölkerungswuchs, Entwicklung der wirtschaftlichen Tätigkeit und über die Steigerung des Wirkungs-

grades bei der Überführung von Rohenergie in Nutzenergie. Sie sind also einer grossen Anzahl Zufälligkeiten unterworfen.

Die Tabelle II gibt für die Gesamtheit der europäischen Länder die zurzeit gültigen Schätzungen des *Dargebotes an konventioneller Energie*, ausgedrückt in kWh, um den Vergleich mit dem Energiebedarf zu erleichtern. Um dem Unterschied zwischen den erschöpflichen Bodenschätzungen und den Wasserkräften Rechnung zu tragen, wurden die letztern vor ihrer Einverleibung ins Total mit 1000 multipliziert. Dies geschah zum Zwecke, eine Schätzung der Energievorräte pro Kopf der Bevölkerung zu gestatten, und um ihre ungleichmässige Dichte zu unterstreichen.

Was die festen Brennstoffe anbelangt, darf nicht ausser acht gelassen werden, dass die Kohlenmenge, die pro Jahr gefördert werden kann, schliesslich begrenzt ist. In der Tat wird der Fortschritt, der sich durch neuere Förderungsmethoden erzielen lässt, nur allzu oft wettgemacht durch die Tatsache, dass man zu immer tiefen Kohlenschichten hinabsteigen muss, und dass die für die Minen zur Verfügung stehenden Arbeitskräfte seltener zu werden beginnen. Daneben zeigen die Kohlenpreise steigende Tendenzen.

Über die Weltvorräte an Erdöl herrscht beträchtliche Unsicherheit. Die Schätzung der wahrscheinlichen Reserven beträgt etwa das Fünffache der nachgewiesenen. Kürzlich in einer grossen Anzahl europäischer Länder vorgenommene Sondie-

Vorräte an Kohlen, Erdöl, Erdgas und hydraulischer Energie, ausgedrückt in kWh

Tabelle II

Land	Total der festen Brennstoffe (Kohle und Braunkohle) 10 ⁹ kWh	Nachgewiesene Vorräte an Erdöl 10 ⁹ kWh	Vorräte an Erdgas in den in Aus- beutung befind- lichen Schichten 10 ⁹ kWh	Hydraulische Energie (wirt- schaftliches Jahrespotential) 10 ⁹ kWh	Totalenergie ¹⁾ 10 ⁹ kWh	Total der Energie- vorräte pro Kopf der Bevölkerung (Volks- zählung v. 1. Juli 1953) 10 ⁹ kWh
Dänemark	125	—	—	—	125	28
Ungarn	4 160	62	39	2	6 261	652
Griechenland	2 500	?	—	5	7 500	962
Italien	6 768	8	742	55	62 518	1 300
Bulgarien	4 620	?	?	6	10 620	1 416
Portugal	307	?	?	13	13 307	1 547
Rumänien	7 481	644	2 608	27	37 733	2 287
Albanien	?	36	?	3	3 036	2 530
Irland	7 120 ³⁾	—	—	1	8 120	2 800
Niederlande	32 020	173	?	—	32 193	3 066
Spanien	67 750	?	?	32	99 750	3 500
Frankreich	97 050	60	64	60	158 674	3 699
Türkei	12 695	44	?	90	102 739	4 566
Finnland	2 400 ³⁾	—	—	17 ⁴⁾	19 400	4 732
Belgien-Luxemburg	47 904	—	—	1	48 904	5 374
Schweiz	—	—	—	30 ⁴⁾	30 000	6 122
Österreich	6 019	354	?	40	46 373	6 721
Ostdeutschland	124 300	?	?	2	126 300	6 902
Jugoslawien	53 130 ³⁾	90 ⁴⁾	29 ⁴⁾	67	120 249	7 073
Tschechoslowakei	79 250	12	0,3	12	91 262	7 420
Schweden	2 400 ³⁾	—	—	80	104 720	14 544
Grossbritannien	1 369 200	6	—	9	1 379 022	27 093
Westdeutschland	1 949 500	593	?	16	1 966 093	38 400
Polen	1 112 325	32	?	6	1 118 357	42 202
Norwegen	64 000 ²⁾	—	—	100	164 000	49 697
Saarland	64 000	?	?	—	64 000	64 000
URSS	10 447 732	16 284	10 261	464	11 045 677	53 358

¹⁾ Inklusive hydraulische Energie (Zahlen der vorhergehenden Kolonne mit 1000 multipliziert) sowie ein Spielraum, um dem Vorkommen von bituminösem Schiefer in Frankreich, Schweden, in Grossbritannien und in der URSS Rechnung zu tragen.

²⁾ Vorräte von Spitzbergen.

³⁾ Geschätztes Elektrizitätsäquivalent der ausbeutbaren Torfschichten.

⁴⁾ Schätzungen des Sekretariates der CEE.

rungen haben neue wichtige Erdölvorkommen zu-tage gefördert. Dasselbe gilt auch für Erdgas.

Die genaue Abschätzung der vorhandenen *Vorräte an Wasserkräften* ist äusserst schwierig. Mit einer gewissen Genauigkeit feststellbar ist einzig ihre theoretische Begrenzung nach oben. Als die heikelste Aufgabe erweist es sich jedoch, herauszufinden, welche Wasserkräfte sich technisch und vor allem wirtschaftlich ausbeuten lassen. Auf Grund einer früheren Untersuchung der CEE beträgt das technische und das wirtschaftliche Potential je etwa 30 und 20 % des theoretischen Potentials. Es handelt sich hierbei jedoch lediglich um die Grössenordnung; denn die Bestimmung des wirtschaftlichen Potentials hängt je nach dem Land von der Anzahl der durchgeföhrten Vorstudien, vom technischen Fortschritt, vom Stand der bereits verwirklichten Kraftwerke, von den Bedürfnissen des Konsums und schliesslich vom Vorhandensein anderer konkurrenzender Energiequellen ab. Der jährliche Ausbau dieses hydraulischen Potentials ist ebenfalls beschränkt, hauptsächlich durch das bedeutende Erfordernis an Kapital und Arbeitszeit für den Bau eines jeden hydroelektrischen Kraftwerkes.

Energiebedarf und Energiequellen sind nicht nur ungleichmässig über die Erdoberfläche verteilt, sondern der Ausgleich zwischen Dargebot und Bedarf ist schwach. Für Europa zeigt sich dieser Mangel an Korrelation deutlich, wenn man die Tabellen I und II miteinander vergleicht. Es müsste a priori den Anschein erwecken, als ob sowohl der Transport von Energie als auch die Umwandlung einer Energieform in die andere diese Differenzen verringern und zu einem besseren Gleichgewicht beitragen würden. Nun ist aber in Wirklichkeit die Bedeutung dieser beiden Faktoren relativ gering.

Betrachten wir z. B. die *Kohle* im Tauschverkehr der europäischen Länder (mit Ausnahme der URSS), so stellen wir fest, dass das Total der Importe im Jahre 1952 bloss 12 % der europäischen Produktion ausmachte. Von relativ grösserer Bedeutung ist der Transport von *Erdöl*, da ja Europa für seine diesbezügliche Versorgung vom Ausland abhängig ist. Der Verbrauch an Erdöl figurierte jedoch im Jahre 1952 bloss mit 13 % im gesamten kommerziellen Energieverbrauch. Der Austausch von *elektrischer Energie* ist gleichfalls sehr schwach. Der prozentuale Anteil der Exporte aus den Ursprungsländern bewegte sich in den Jahren 1937 bis 1954 zwischen 1,3 und 1,6 %. Worin liegt nun der Grund hierfür? Vor allem wären die Umstände zu erwähnen, die im Transport selber liegen; z. B. technische Schwierigkeiten bei der Übertragung von elektrischer Energie und hohe Transportkosten ganz allgemein. Die Transportkosten für z. B. 150 MW *hydro-elektrischer Energie* auf 400 km betragen etwa die Hälfte der Erstellungskosten eines thermischen Kraftwerkes gleicher Leistung. Bei der *Kohle* machen die Transportkosten im Mittel ca. 12 % des Konsumentenpreises aus. Die Frachtspesen für die aus dem Rohöl des Mittlern Ostens gewonnenen Produkte schliesslich bilden 25 % des Preises ab Raffinerie. Weitere Gründe betreffen die Anwendung der Energie. Während die Gewinnung

von Kohle, Erdgas und Erdöl weitgehend regelmässig ist, so gilt dies nicht in gleichem Masse von ihrer Verwendung, die zum Teil saisonbedingt ist. Eine Speicherung aber erweist sich — abgesehen von den zusätzlichen Spesen, die sie nach sich zieht — meistens als schwierig. Die Speicherung von hydroelektrischer Energie ist nur möglich durch Stauung des Wassers in künstlichen Seen. Das Speicher-vermögen der Stauseen erreichte im Jahre 1953 in Europa ungefähr 10 % der jährlich erzeugbaren Energiemenge, während im Dezember desselben Jahres das Verhältnis von der Nachtleistung zur Spitzenleistung 1 : 2 betrug. Schliesslich ist der Energieaustausch noch bis zu einem gewissen Grad durch die *politischen Grenzen* eingeschränkt. Es ist einleuchtend, dass durch die Einführung der Atomenergie sich diese Verhältnisse weitgehend ändern werden, da in diesem Falle nicht nur die Transportspesen für den Brennstoff kaum mehr ins Gewicht fallen werden, sondern auch ohne weiteres die Kraftwerke in die Nähe der Verbraucherzentren aufgestellt werden können, unabhängig von der Lage der natürlichen Energiequellen.

Anderseits kann man feststellen, dass natürliche Tendenzen bestehen, die sich der Bildung eines Gleichgewichts durch den Ersatz einer Energieform durch die andere widersetzen. So kommt es, dass man nach Massgabe der fortschreitenden Industrialisierung eines Landes beobachten kann, dass die nichtkommerzielle Energie immer mehr durch kommerzielle ersetzt werden muss. Ebenfalls zeigt der Kohlenverbrauch ein stationäres Verhalten, während der Verbrauch von Erdgas und Erdöl sich beträchtlich entwickelt und der Anstieg des elektrischen Energieverbrauchs im Verhältnis zum Gesamtverbrauch besonders rapid ist.

Es wurde versucht, eine *Energiebilanz für die Zukunft*, insbesondere für die elektrische Energie, aufzustellen. Effektiv wird einer der wichtigsten Verwendungszwecke der Atomenergie in der Erzeugung von elektrischer Energie bestehen. Die Tabelle III zeigt den Ausnutzungsgrad des hydroelektrischen Potentials am 1. Januar 1955 in Europa. Wenn man die *Länder* betrachtet, deren *Vorräte an Wasserkräften* den wesentlichsten Teil ihrer Energiequellen ausmachen, so gelangt man zur Feststellung, dass einige unter ihnen, wie Spanien, Finnland, Italien, Schweden und die Schweiz aller Wahrscheinlichkeit nach ihr gesamtes Potential innerhalb einer Periode von 20 Jahren nutzbar gemacht haben werden, wenn man ihre hinsichtlich der Entwicklung des Bedarfs aufgestellten Prognosen als Grundlage nimmt. Nach Ablauf dieser Periode werden einzig noch Österreich, Norwegen, Portugal, Rumänien, die Türkei und Jugoslawien über ein gewisses hydraulisches Potential verfügen.

Andere Länder besitzen nicht nur Wasserkräfte, sondern auch Bodenschätze. Das hydraulische Potential Frankreichs wird ebenfalls im Verlauf der nächsten 20 Jahre voll ausgenutzt sein. Dieses Land wird also immer mehr darauf angewiesen sein, seine Reserven an Bodenschätzen beizuziehen, deren Jahresproduktion zur Deckung des Eigenbedarfes heute schon nicht mehr genügt. Diejenigen Bul-

Ausnützungsgrad des hydro-elektrischen Potentials von Europa am 1. Januar 1955

Tabelle III

Land	Noch nicht ausgebautes wirtschaftliches Jahrespotential 10 ⁸ kWh	Mittlere hydro-elektrische Produktion im Jahre 1954		Zeitdauer, innert der die Wasserkräfte in der Lage sein dürften, dem Anstieg des Konsums zu genügen ¹⁾	
		in Prozent des Gesamt-vorrats an Wasser-kräften	in Prozent der Gesamtproduktion elektrischer Energie im Jahre 1954	Anzahl Jahre	Ja'hr, in dem das Potential ausgebaut sein wird
Niederlande	—	—	—	—	—
Saarland	—	80	1	—	—
Irland	300	71	51	5	1959
Dänemark	20	60	1	7	1961
Westdeutschland	6 150	62	15	7	1961
Italien	24 200	56	87	9	1963
Frankreich	35 590	40	53	13	1967
Finnland	12 000	31	92	13	1967
Schweden	56 400	30	99	19	1973
Ostdeutschland	1 480	26 ²⁾	2 ²⁾	19	1973
Schweiz	15 200	49	112	20	1974
Spanien	23 650	25 ²⁾	83 ²⁾	20	1974
Grossbritannien	7 160	24	3	21	1975
Norwegen	78 110	22	100	22	1976
Portugal	11 550	11	87	24	1978
Belgien	395	28	1	25	1979
Polen	4 600	16 ²⁾	6 ²⁾	26	1980
Tschechoslowakei	10 700	14 ²⁾	13 ²⁾	28	1982
Bulgarien	5 150	14 ²⁾	47 ²⁾	28	1982
Österreich	33 000	18	73	33	1987
Luxemburg	60	6	—	40	1994
Griechenland	5 070	1	3	46	2000
Ungarn	1 450	3 ²⁾	1 ²⁾	49	2003
Jugoslawien	64 690	3	53	54	2008
Rumänen	26 670	1 ²⁾	9 ²⁾	63	2017
Türkei	89 900	—	6	101	2055
Total	513 495	23	38	21	1975
URSS	439 ²⁾	5 ²⁾	17 ²⁾	42	1996

¹⁾ Den von einigen Ländern (in kursiver Schrift) angegebenen Werten für den Zuwachs wurde Rechnung getragen. Bei den übrigen Ländern wurde angenommen, dass sich ihre hydro-elektrische Produktion innert 10 Jahren verdoppeln wird.

²⁾ Schätzungen des Sekretariates der CEE.

gariens, Griechenlands und Ungarns werden wahrscheinlich innert dieser Zeitspanne von 20 Jahren noch nicht erschöpft sein; hingegen besteht die Gefahr, dass die Annahmen, die ihrer Berechnung zugrunde liegen, infolge des gegenwärtigen, geringen Verbrauchs in diesen Ländern unrichtig sind.

Die Länder schliesslich, bei denen die fossilen Energiequellen überwiegen und theoretisch imstande sind, eine zunehmende Steigerung des Energieaufwandes auf lange Jahre hinaus sicherzustellen, werden sich wegen der Grenzen, die der Ausbeutung gesetzt sind, rasch gezwungen sehen, sich neue Energiequellen zu sichern. Diese Notwendigkeit ist in gewissen Staaten, wie z. B. Grossbritannien, schon unmittelbar zu spüren. Andere Länder (Belgien, Tschechoslowakei) werden innert kurzer Zeit, d. h. in 10 bis 15 Jahren, vor den gleichen Schwierigkeiten stehen.

Der Einfluss der Kosten

Die Gestehungskosten der hydro-elektrischen Energie zeigen die Tendenz, in dem Masse zu wachsen, in dem der Ausbau der Wasserkräfte fortschreitet. Jedenfalls ist dieses aber eine reichlich komplexe Frage, vor allem wenn man in Betracht zieht, dass die Qualität der Energie variiert, je nachdem sie in Laufkraftwerken oder in Speicherwerken gewonnen wird. Ganz allgemein gilt jedoch, dass während einer beträchtlichen Zeitdauer der

Anstieg kaum merkbar ist, da er durch den Einfluss des technischen Fortschrittes kompensiert wird. Anderseits wirkt auch die wachsende Konzentration im Kraftwerkbau dem Rückgang der Rendite entgegen. Von einem gewissen Ausbauzustand der Wasserkräfte an, nicht weit entfernt von der Grenze, die noch als wirtschaftlich angesehen werden darf, steigen die Kosten rapid an.

Bei den thermischen Kraftwerken vermindert sich der spezifische Kohlenkonsum pro erzeugte kWh konstant infolge der Verwendung von immer höheren Temperaturen und Drücken sowie durch die Herstellung von Einheiten immer grösserer Leistung. Dagegen weisen die Kohlenpreise steigende Tendenzen auf, zumal der Anteil der Abfallkohle schliesslich begrenzt ist und die thermischen Kraftwerke gezwungen werden, in vermehrtem Masse hochwertige Kohle zu verwenden.

Der Zusammenschluss der Netze und die Konzentration der Produktion, die eine Verminderung der Produktionskosten mit sich gebracht haben, sind ebenfalls dazu angetan, die Gestehungskosten zu senken; aber auch ihre Weiterentwicklung ist beschränkt. Der Fortschritt scheint also nicht imstande zu sein, jene Elemente zu kompensieren, die die Kosten der aus den konventionellen Quellen gewonnenen elektrischen Energie in die Höhe treiben. Dieser Kostenanstieg tritt hauptsächlich bei Industriestaaten in Erscheinung.

Erstellungskosten einiger Atomkraftwerke und Gestehungskosten der darin erzeugten Energie

Tabelle IV

Land	Quelle ¹⁾	Reaktortyp	Elektrische Leistung	Erstellungs-kosten pro kW	Kapital-last	Ausnüt-zungs-faktor	Gestehungskosten pro kWh				Möglicher Abzug pro kWh für den Verkauf von Spaltproduktien	Prozentualer Anteil der Brennstoffkosten an den Gestehungskosten	Vergleich Atomkraftwerk/ thermisches Kraftwerk	
							MW	\$	%	mill	Betriebs-kosten	Brennstoff-kosten	Total	mill
Grossbritannien	P/390	Kühlmedium: CO ₂ Moderator: Graphit	150	350 ²⁾ 450 ³⁾	6,6	80	3,7	0,7	3,95	8,35	2...4	47,0	2,0	1,2
Kanada	P/11	Kühlmedium: D ₂ O Moderator: D ₂ O	200	200...500	10,5	80	3...7,5	0,5...1,4	0,5...1,5	4...10,4	—	44,5	2,5	1,3
Vereinigte Staaten	P/493	Kühlmedium: Natrium Moderator: Graphit	75 100 125	300 265 ⁷⁾ 200 ⁷⁾	15,0	80 80 80	6,5 5,5 4,0	2,0 1,5 1,0	2...3,2 1,5...2,5 1...2	10,5...11,7 8,5...9,5 6...7	—	19...27 17,5...26 16,7...29	1,5 ⁶⁾ 1,3 1,0	1,5...1,75 1,2...1,4 0,9...1,0
Vereinigte Staaten	P/494	Kühlmedium: Natrium Moderator: Graphit Brennstoff: Uran Lösung in Wismut	210	238	16,0	80	5,7	0,7	1,4	7,8	—	18	1,5 ⁸⁾	1,2
Vereinigte Staaten	P/501	«fast-breeder» Fall I ⁹⁾ Fall II	20	300	10	80	4,28 4,28	1,0 1,0	4,53 4,89	9,81 10,17	1,04 2,08	46 47	1,9	1,0...1,2 ¹⁰⁾
Vereinigte Staaten	P/495	«boiling water» Kühlmedium und Moderator	D ₂ O D ₂ O D ₂ O H ₂ O H ₂ O	248,0 62,0 62,0 62,5 61,0	250 450 450 400 425	80 80 80 80 80	5,0 8,8 8,6...8,7 9,9...11,0 8,8...9,5	0,9 2,3 2,3 2,3 2,3	1,8 2,8...3,4 3,5...4,3 3,2...4,4 3,6...5	7,7 13,9...14,6 14,4...15,3 15,4...17,7 14,7...16,8	— — — — —	23,5 20...23 24...28 21...25 25...30	1,8 2,3 2,3 2,0 2,2	1,2 2,0...2,1 2,1...2,2 2,2...2,5 2,1...2,4
Vereinigte Staaten	P/492	Kühlmedium: H ₂ O Moderator: Graphit	223,0	290	—	?	—	—	—	7,0	—	—	2,1	< 1,1
Vereinigte Staaten	P/497	«boiling water»	4,5 9,0	890 533	15	80 80	19,1 11,4	8,5 4,2	5,1...6,6 4,2...6,8	32,7...34,2 20,4...21,8	— —	15,6...19,3 21...31	4 2,5	2,8...3,0 ¹¹⁾ 1,8...2,0 ¹¹⁾

¹⁾ Bezeichnung der Berichte, die der internationalen Konferenz für die Verwendung von Atomenergie zu friedlichen Zwecken unterbreitet wurden.

²⁾ Ohne die Kosten der Anfangsladung an Uran.

³⁾ Mit den Kosten der Anfangsladung an Uran.

⁴⁾ Die Erstellungskosten einer entsprechenden thermischen Anlage sind auf 175 \$ pro kW angesetzt worden.

⁵⁾ Die Erstellungskosten einer entsprechenden thermischen Anlage sind auf 120 bis 180 \$ pro kW angesetzt worden.

⁶⁾ Die Erstellungskosten einer entsprechenden thermischen Anlage sind auf 200 \$ pro kW angesetzt worden.

⁷⁾ Verwendung von Thorium als Brennstoff.

⁸⁾ Die Erstellungskosten einer entsprechenden thermischen Anlage sind auf 140 \$ pro kW angesetzt worden.

⁹⁾ Der Fall I entspricht einem Plutoniumpreis von 15 \$ pro g; der Fall II einem Plutoniumpreis von 30 \$ pro g.

¹⁰⁾ Die mittleren Gestehungskosten für ein entsprechendes thermisches Werk sind auf 10 mills pro kWh angesetzt worden.

¹¹⁾ Die Erstellungskosten für ein entsprechendes thermisches Kraftwerk sind auf 210 bis 230 \$ pro kW und die Energiegestehungskosten auf 10 bis 12 mills pro kWh angesetzt worden.

Neben der relativen Notwendigkeit, der sich die verschiedenen Staaten gegenübergestellt sehen, das Defizit ihrer Energiebilanz durch Energieeinfuhr zu decken, ist es der *Schnittpunkt der Kurven für die Gestehungskosten* der aus konventionellen Quellen gewonnenen und der durch Atomkraftwerke erzeugten kWh, der das zweite bestimmende Element bildet für eine «Integration» der letzteren.

Wenn man von dem 5000-kW-Kraftwerk absieht, das in der URSS gebaut wurde, so gibt es kein Atomkraftwerk, das gegenwärtig auf kommerzieller Basis elektrische Energie erzeugt. Die Elemente, die für die Berechnung der Kosten zur Verfügung stehen, beruhen lediglich auf Schätzungen auf Grund von im Bau befindlichen Kraftwerken, und es empfiehlt sich, diese mit Vorsicht zu verwerten. Insbesonder die Lebensdauer der Elemente, aus denen der Reaktor besteht, ist noch nicht eindeutig bestimmbar. Des weiteren ist der Verkauf des im Reaktor gewonnenen Plutoniums leicht geeignet, die Endkosten pro kWh mehr oder weniger zu senken. Nun aber ist dieser Verkaufspreis zum Teil bedingt durch strategische Überlegungen, unabhängig von technischen oder wirtschaftlichen Gegebenheiten. Die Tabelle IV enthält einige charakteristische Elemente, aus denen sich die Gestehungskosten zusammensetzen für im Bau befindliche oder projektierte Kraftwerke in Grossbritannien, Kanada und in den Vereinigten Staaten. Man er sieht daraus unmittelbar, dass die Atomkraftwerke *bedeutende Investitionen* erfordern, die hauptsächlich auf die hohen Baukosten des Reaktors zurückzuführen sind. Man darf daraus schliessen, dass die Gestehungskosten ziemlich rasch zurückgehen werden, da ja der technische Fortschritt sich in erster Linie auf die Reduktion der Baukosten des Reaktors auswirken wird. Anderseits wird die Rentabilität der Atomkraftwerke eine Funktion ihrer Ausnützung sein. Die meisten Staaten rechnen mit einem Ausnützungsfaktor von 80 %. Die Gestehungskosten der erzeugten kWh werden schliesslich um so tiefer sein, je höher die installierte Leistung ist. Die Unterschiedlichkeit der Reaktortypen, der für die Kraftwerke vorgesehenen Leistungen, der Kosten der Anfangsladung an Brennstoff, und schliesslich der Kapitalkosten erschweren es enorm, einen Vergleich zu ziehen zwischen den jeweiligen Gestehungskosten, mit denen man heute zu rechnen hat. In Tat und Wahrheit liegen sie zwischen 4 und 15 mills pro kWh; dabei sind natürlich die Kosten

kleinerer Zentralen bedeutend höher. Obgleich der Augenblick vielleicht nahe ist, so scheint es doch nicht, dass man heute schon behaupten darf, die aus einer klassischen, thermischen Zentrale gewonnene elektrische Energie könnte wirksam konkurreniert werden durch den Preis der durch Kernreaktion erzeugten Energie.

Schlussfolgerungen

Die Mehrzahl der europäischen Staaten verfügt nicht über genügende natürliche Energiequellen, die es ihnen gestatten würden, ihren Eigenbedarf an Energie im Verlaufe der nächsten 20 Jahre zu decken. Sie werden also gezwungen sein, sich mit namhaften Importen zu behelfen, oder durch Bezug der Kernenergie ihr Defizit zu kompensieren. Dieses Bedürfnis ist progressiv, besitzt aber noch nur in wenigen Ländern dringlichen Charakter.

Im übrigen besteht eine grosse Ungewissheit hinsichtlich der Selbstkosten der in Atomkraftwerken erzeugten elektrischen Energie, und es wäre verfrüht, zu behaupten, dass diese jetzt schon in der Lage wäre, die in thermischen Anlagen gewonnene Energie zu konkurrenzieren.

Es wäre also am Platze, die Entwicklung der Verbindungsleitungen zwischen den europäischen Staaten im Auge zu behalten, sowie die Ausbaumöglichkeiten vorhandener Wasserkräfte einer strengen Prüfung zu unterziehen. Wo es sich um Laufwerkenergie handelt, werden die Gestehungskosten jedenfalls auf lange Zeit hinaus tiefer sein als diejenigen der Atomenergie. Zur Deckung des Spitzenbedarfs werden Speicherwerke immer notwendiger werden, nachdem anzunehmen ist, dass die Kernenergie die Grundbelastung bestreiten wird. Die Aussicht auf die Integration der Atomenergie dürfte namentlich nicht den Ausbau der Wasserkräfte in Ländern verzögern die noch über bedeutende Reserven verfügen, und die in der Lage wären, ihren Nachbarländern auszuholen, die für die nächste Zeit mit einem Energiedefizit zu rechnen haben.

Auf europäischer Ebene stellt die Atomenergie zahlreiche andere Probleme wirtschaftlicher Natur: ihre direkte Verwendung in Form von Wärme, Koordinierung der Investitionen zwischen bestimmten Staaten, namentlich hinsichtlich des Baus von Fabriken zur Herstellung von Isotopen oder von schwerem Wasser, Austausch von Erfahrungen u. a. m.

Sa./Br.

Verbandsmitteilungen

Meisterprüfung für Elektro-Installateure

In der Zeit zwischen April und Juli dieses Jahres findet eine Meisterprüfung für Elektro-Installateure statt. Ort und genauer Zeitpunkt werden später festgesetzt. Dauer der Prüfung: ca. 4 Tage. Anmeldeformulare sind beim Sekretariat des Verbandes Schweizerischer Elektro-Installationsfirmen, Splügenstrasse 6, Postfach Zürich 27, zu beziehen (Telephon (051) 27 44 14) und unter Beilage von Originalzeugnis-

sen, einem handgeschriebenen Lebenslauf und einem Leumundszeugnis neuesten Datums spätestens bis zum 4. Februar 1956 an obige Adresse einzureichen. Die Herbstprüfungen werden im Juli ausgeschrieben. Im übrigen verweisen wir auf die weiteren im Reglement festgelegten Zulassungs- und Prüfungsbestimmungen. Das Meisterprüfungsreglement, gültig ab 15. Dezember 1950, kann durch den obgenannten Verband bezogen werden.

Meisterprüfungskommission VSEI/VSE

Redaktion der «Seiten des VSE»: Sekretariat des Verbandes
Telephon (051) 34 12 12, Postcheckkonto VIII

Schweizerischer Elektrizitätswerke, Seefeldstrasse 301, Zürich 8,
4355, Telegrameadresse: Electrounion, Zürich.

Redaktor: Ch. Morel, Ingenieur.

Sonderabdrucke dieser Seiten können beim Sekretariat des VSE bezogen werden.