**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

**Band:** 46 (1955)

**Heft:** 3

**Rubrik:** Energie-Erzeugung und -Verteilung : die Seiten des VSE

# Energie-Erzeugung und -Verteilung

**Die Seiten des VSE**

## Ermittlung der ohmschen Verlustarbeit mit Hilfe eines Polardiagrammes

von *W. Wacker*, St. Gallen

621.3.017 : 621.311.1

*Es wird ein einfaches graphisches Verfahren beschrieben, das erlaubt, die ohmische Verlustarbeit in einem Leitungsstrang auf Grund des Belastungsdiagrammes zu bestimmen, wobei das Quadrieren der Stromwerte umgangen wird.*

*L'auteur décrit une méthode graphique simple permettant de calculer les pertes ohmiques d'une ligne en partant du diagramme de charge de celle-ci, sans avoir besoin de passer par les carrés des valeurs du courant.*

Im Elektrizitätswerkbetrieb interessiert die in einem Leitungsstrang oder in der Wicklung einer Maschine oder eines Transformators während eines gewissen Zeitabschnittes aufgetretene Verlustleistung und Verlustarbeit. Ferner ist auch interessant, zu wissen, mit welcher *mittleren* Verlustleistung während des betrachteten Zeitabschnittes gerechnet werden kann.

Liegt der Belastungsverlauf in einem symmetrisch belasteten $m$-Phasensystem während eines solchen betrachteten Zeitabschnittes vor, z. B. als Belastungsstrom pro Phase, $I = f(t)$, und ist der ohmsche Widerstand pro Phase gleich $R$, so ist die in jedem Moment auftretende Verlustleistung bekanntlich $P_v = I^2 \cdot m \cdot R$.

Im Falle des üblicherweise vorhandenen Drehstromsystems wird $m = 3$, was den nachfolgenden Betrachtungen zu Grunde gelegt werden soll.

Die während einer Zeitdauer von $t_1 = 0$ bis $t_2 = T$ aufgetretene Verlustarbeit wird dann

$$W_v = \int_0^T P_v \, dt = \int_0^T I^2 \cdot 3\,R \, dt = 3\,R \int_0^T I^2 \, dt$$

Üblicherweise wird der Verlauf $I = f(t)$ in einem Belastungsdiagramm gemäss Fig. 1 dargestellt.

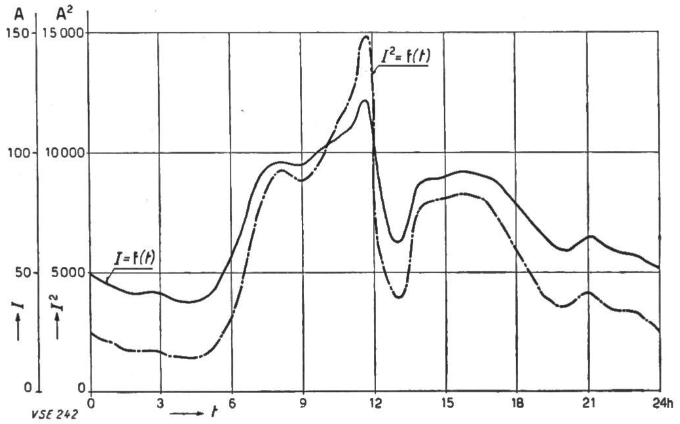


Fig. 1
**Täglicher Belastungsverlauf in einer Leitung**

Dieses Diagramm liesse sich für die Lösung der vorliegenden Aufgabe auch in Gestalt einer Dauerkurve nach Fig. 2 darstellen.

Die Quadrate aller vorliegenden Werte für $I$ ergeben dann eine neue Kurve

$$I^2 = f(t).$$

Die Verlustbarkeit $W_v$ wird nun wie oben

$$W_v = 3\,R \int_0^T I^2 \, dt$$

Der Ausdruck $\int_0^T I^2 \, dt$ wird durch die Fläche, welche die Kurve $I^2 = f(t)$ mit den Koordinatenachsen einschliesst, dargestellt.

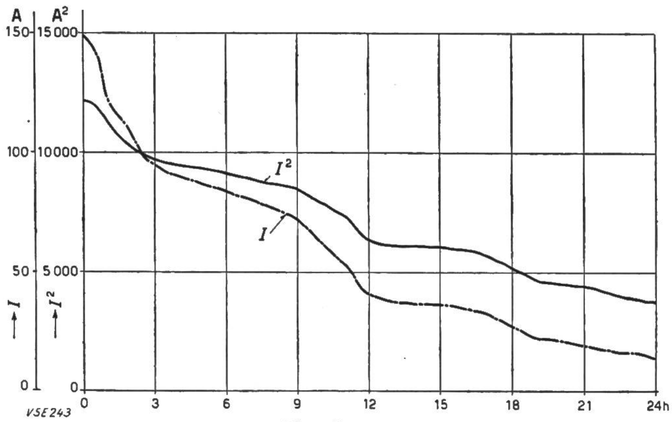


Fig. 2
**Dauerkurve der Belastung gemäss Fig. 1**

Dieses beschriebene Verfahren hat den Nachteil, dass die einzelnen Werte für $I$ quadriert werden müssen.

*Fleming* hat für die Bestimmung von Effektivwerten *nicht*-sinusförmiger Spannungen und Ströme ein sehr praktisches Verfahren entwickelt, welches mit Hilfe eines Polardiagrammes das Quadrieren der Momentanwerte erspart.

Das gleiche Verfahren lässt sich nun auch bei der vorliegenden Aufgabe anwenden.

Wählen wir als betrachteten Zeitabschnitt beispielsweise einen Tag (24 Stunden), so lässt sich das Belastungsdiagramm in Polarkoordinaten auftragen, wobei die Länge des Fahrstrahles in einem bestimmten Zeitmoment den Strom $I$ und der Winkel $\alpha$ die Zeit $t$ darstellt.

Das Diagramm nimmt dann die Gestalt von Fig. 3 an.

Für das schraffierte Flächenelement d$F$ gilt nun:

$$dF = I_\alpha \cdot I_{\alpha+d\alpha} \cdot \frac{d\alpha}{2} = I_\alpha \cdot \frac{d\alpha}{2} \cdot (I_\alpha + dI_\alpha)$$

$$dF = \frac{I_\alpha^2}{2} \cdot d\alpha + \frac{I_\alpha}{2} \cdot d\alpha \cdot dI_\alpha$$

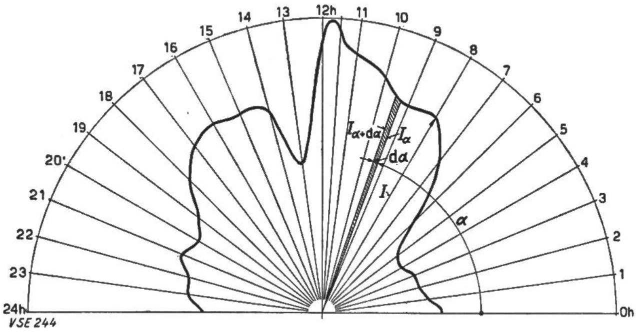


**Fig. 3**
**Polardiagramm des Stromes $I$**

wobei wir das 2. Glied als unendlich klein 2. Ordnung vernachlässigen dürfen. Es gilt somit:

$$dF = \frac{I^2}{2} \cdot d_\alpha$$

und

$$F = \frac{1}{2} \int_0^\pi I_\alpha^2 \cdot d\alpha \text{ oder } \int_0^\pi I_\alpha^2 d\alpha = 2F$$

Die Fläche $F$ kann durch Planimetrieren des Polardiagramms gefunden werden. Sie gibt somit ein Mass für den Ausdruck $\int_0^T I^2 dt$ und damit für die Verlustarbeit $W_v$. Auf diese Weise kann die bei Verwendung eines kartesischen Koordinatensystems notwendige, etwas langweilige Quadrierung der $I$-Werte umgangen werden. Über die praktische Durchführung des Verfahrens orientiert nachstehendes

*Beispiel.*

*Gegeben:*

Belastungsdiagramm für einen Tag $I = f(t)$ einer Drehstromleitung mit einem ohmschen Widerstand von 5,66 Ω/Phase.

*Gesucht:*

Verlustarbeit in der gegebenen Leitung während eines Tages, sowie die mittlere Strombelastung mit gleicher täglicher Verlustarbeit.

*Lösung:* mit den Maßstäben:

$$1 \text{ cm} \triangleq 10 \text{ A}$$

$$180° = \pi \triangleq 24 \text{ h}$$

hat ein Halbkreis mit dem Radius 1 cm eine Fläche von

$$\frac{\pi}{2} \text{cm}^2 \triangleq 100 \text{ A}^2 \cdot 24 \text{ h} \triangleq 2400 \text{ A}^2 \text{h}.$$

$$1 \text{ cm}^2 \triangleq \frac{2400 \text{ A}^2 \text{ h}}{\frac{\pi}{2}} \triangleq 1530 \text{ A}^2 \text{ h}.$$

Die Planimetrierung der Polardiagrammfläche ergibt $F = 86{,}2 \text{ cm}^2 = 131\,800 \text{ A}^2 \text{ h}$.

(Die vergleichsweise planimetrierte Fläche der Kurve $I^2 = f(t)$ im rechtwinkligen Koordinatensystem ergab 131 500 A² h [Abweichung ca. 0,5 %]).

Bei einem Widerstand $R$ von 5,66 Ω/Phase wird die im Verlauf von 24 Stunden aufgetretene Verlustarbeit $W_v = 3 \cdot 5{,}66 \cdot 131\,800$ Wh $=$ ***2240 kWh.***

Die mittlere Strombelastung für gleiche Verlustarbeit ist dann

$$I_m = \sqrt{\frac{W_v}{3 \cdot R \cdot 24}} = \sqrt{\frac{2240 \cdot 10^3}{3 \cdot 5{,}66 \cdot 24}} = 74 \text{ A}$$

Selbstverständlich kann an Stelle des Stromes auch die Leistung aufgetragen werden; es ist dies nur eine Frage des Maßstabes und des Leistungsfaktors.

Solche und ähnliche Aufgaben lassen sich mit den im Handel erhältlichen Polardiagrammblättern leicht lösen.

Adresse des Autors:
*W. Wacker*, dipl. Ing. ETH, Vize-Direktor der St. Gallisch-Appenzellischen Kraftwerke A.-G., St. Gallen.

# Statistische Näherungsmethoden zur Lösung einiger speziellen Probleme der Energieversorgung

Von *F. Dommann*, Luzern 519.24 : 621.311

[Nach *R. B. Rowson:* Electricity supply — a statistical approach to some particular problems. Proc". Instn. Electr. Engr". Part II, Bd. 99(1952), Nr. 68, S. 151 und Part II, Bd. 101(1954), Nr. 79, S. 55]

*Der hier im Auszug wiedergegebene Artikel bezweckt, die Elektrizitätswerke und ihre Fachleute auf die grossen Möglichkeiten hinzuweisen, die die statistischen Näherungsmethoden zur Lösung technischer und wirtschaftlicher Probleme der Energieversorgung bieten.*

*L'article dont il est question ici a pour but d'attirer l'attention des entreprises électriques et de leurs spécialistes sur les multiples possibilités qu'offrent les méthodes statistiques pour la solution des problèmes d'ordre technique et économique que pose l'exploitation.*

## 1. Einleitung

Die mathematische Statistik hat in fast alle Wissensgebiete Eingang gefunden und wird als Hilfsmittel, um in komplexe Probleme Einblick zu gewinnen, allgemein geschätzt. Es ist für die mathematische Statistik charakteristisch, dass sie sich mit kleineren oder grösseren Kollektivitäten, und nicht mit einzelnen Individuen oder Erscheinungen befasst. Sie ermöglicht es, durch Erfahrung gesammelte Resultate systematisch auszuwerten, zu prüfen und bei inneren Zusammenhängen aufzudecken, ob diese wesentlich oder rein zufällig sind. Die statistische Methode gibt auch die Möglichkeit, bei der Prüfung von Fabrikerzeugnissen mit den einfachsten Mitteln auf Grund von Stichproben allgemeingültige Schlüsse über die Qualität der Gesamtheit des Produktes zu ziehen, was besonders wertvoll ist, wenn die zu prüfenden Produkte bei der Prüfung zerstört werden müssen.

## 2. Grundlegende Theorie

Wir verzichten im Rahmen dieses Auszuges darauf, die grundlegende Theorie darzustellen und verweisen diesbezüglich auf die Aufsätze von A. Linder und Ch. Morel im SEV-Bulletin[1]), sowie auf die dort angegebene Literatur. Es sei hier nur daran erinnert, dass es verschiedene theoretische Häufigkeitsverteilungen einer Gesamtheit gibt, z. B. die binomische, die Poissonsche und die hypergeometrische und die normale Verteilung, und dass eine Verteilung in der Regel durch den Durchschnitt und die Streuung bzw. Standard-Abweichung umschrieben werden kann. Es gibt in der Fachliteratur eine Menge von Tabellen und Kurven, die diese theoretischen Verteilungen und die zugehörigen Wahrscheinlichkeiten zahlen- und bildmässig wiedergeben.

Wir beschränken uns im folgenden auf eine kurze Zusammenfassung der Anwendungsmöglichkeiten auf dem Gebiet der Energieversorgung.

## 3. Anwendungen

a) *Energieerzeugung.* Auf dem Gebiet der Energieerzeugung findet die mathematische Statistik weitgehend Anwendung. Als erstes sei das Problem der Betriebssicherheit genannt. Dieses besonders in Amerika weitgehend untersuchte Gebiet beschäftigt sich damit, festzustellen, wie stark die Betriebssicherheit der Produktionsanlagen gesteigert werden kann durch Vermehrung der Anzahl Generatoren, die ein Netz speisen. Die Wahrscheinlichkeit, dass von $n$ Generatoren gleichzeitig $x$ ausfallen wird dargestellt durch eine binomische Verteilung der Form $\varphi(x) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}$, wobei $p$, die Elemantarwahrscheinlichkeit, gleich dem Verhältnis der festgestellten jährlichen Ausfallstunden zur Gesamtstundenzahl des Jahres (8760) ist. Fig. 1 gibt eine solche Verteilung für $n = 240$ und $p = 0{,}02$ wieder. Wenn $p$ sehr klein ist, so gibt die einfacher zu berechnende Poissonsche Verteilung eine sehr gute Annäherung. Ebenso kann mit Hilfe statistischer Verteilungen die wahrscheinliche Dauer von Betriebsunterbrüchen berechnet werden.

Eine gute Anwendung der statistischen Methode ist bei der Relaiseinstellung möglich. Die Ansprechzeiten von gleichen und gleich eingestellten Relais streuen um einen Durchschnittswert nach einer normalen Verteilung. Auf Grund der Streuung und der Einstellzeit kann z. B. die Möglichkeit von Fehlauslösungen bei Störungen auf zweiseitig geschützten Leitungen, abgeschätzt werden. Hier ein Beispiel dafür:

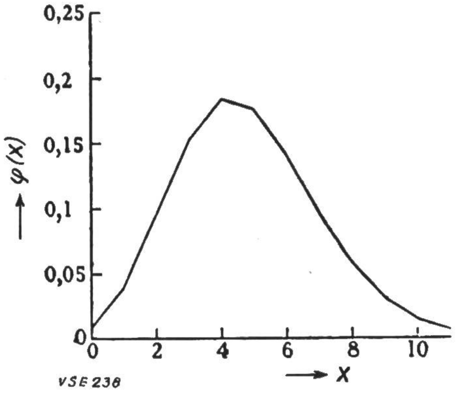


Fig. 1
**Binomische Wahrscheinlichkeitsverteilung**
$n = 240$; $p = 0{,}02$; $\varphi(x)$: Wahrscheinlichkeit für den gleichzeitigen Ausfall von $x$ Generatoren

Fig. 2 zeigt schematisch eine Leitung mit zwei Schaltern in A und B. Das Relais des Schalters A ist auf 2,2 s eingestellt, mit einer auf Grund von Versuchen an 100 Stücken ermittelten Streuung $s_A = 0{,}08$. Für das Relais des Schalters B sind die Daten 1,5 s und $s_B = 0{,}06$. Es erfolgt nun ein Kurzschluss in P. Weil die Auslösezeiten der Relais gemäss Fig. 3 variieren können, besteht die Möglichkeit, dass der Schalter A zuerst auslöst, wenn zufällig das Relais A etwas schneller und das Relais B etwas langsamer arbeiten als ihr Sollwert. Es ist nun zu ermitteln, wie weit mit diesen Einstellungen die Selektivität gewährt ist. Dies kann mit Hilfe der Verteilung aller möglichen Unterschiede zwischen den Auslösezeiten beider Relais erfolgen. Diese Verteilung ist normal mit Durchschnitt $\bar{x} = 2{,}2 - 1{,}5 = 0{,}7$ s und Streuung $s = \sqrt{s_A^2 + s_B^2} = \sqrt{0{,}08^2 + 0{,}06^2} = 0{,}1$ (Fig. 4). Bei Annahme einer Mindestdifferenz von 0,5 s, ist die Wahrscheinlichkeit dafür, dass diese Differenz oder eine kleinere auftritt, gleich

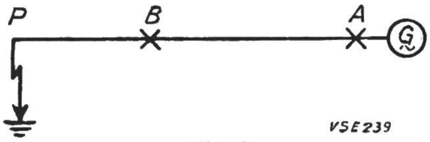


Fig. 2
**Schematische Darstellung einer Leitung**
*A* und *B*: Schalter; *P*: Kurzschluss-Stelle

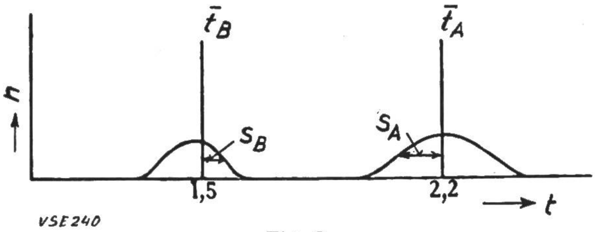


Fig. 3
**Verteilung der Auslösezeiten der Relais *A* und *B***
*n*: Anzahl Relais; *t*: Auslösezeit

[1]) Bull. SEV Bd. 38(1947), Nr. 6, S. 141, Bd. 39(1948), Nr. 6, S. 161, Bd. 43(1952), Nr. 17, S. 681, sowie Bd. 45(1954), Nr. 16, S. 667 und Nr. 17, S. 710.

dem Verhältnis der schraffierten zur ganzen Fläche der Kurve. Zur Errechnung dieses Verhältnisses bedient man sich der Standard-Verteilung $\varphi(u)$ mit $\bar{u} = 0$ und $s_u = 1$. Dem Wert $x = 0{,}5$ entspricht in dieser Verteilung der Wert $u = (\bar{x} - x)/s = (0{,}7 - 0{,}5)/0{,}1 = 2$. Einer Tafel entnimmt man die Wahrscheinlichkeit $P$ für $u \geq 2$ den Wert 0,023. Das heisst, dass in 2,3 Fällen von 100 die Selektivität nicht funktionieren wird.

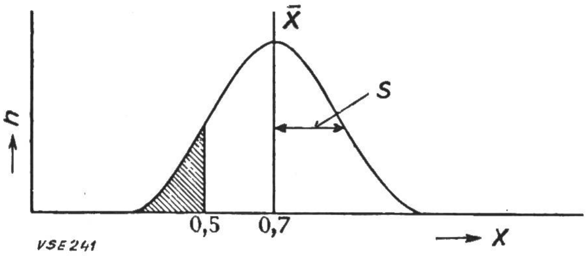


Fig. 4
**Verteilung der Differenzen der Auslösezeiten der Relais $A$ und $B$**
$n$: Anzahl Relais
$x = t_A - t_B$: Differenz der Auslösezeiten

Von grosser Wichtigkeit für die Aufstellung der Energieproduktionsprogramme ist die Kenntnis des Einflusses der Witterung und der Temperatur auf den Energiekonsum, und, für die Planung auf lange Sicht, die zu erwartende mittlere jährliche Zunahme des Energieverbrauches. Es wurde anhand statistischer Untersuchungen festgestellt, dass im langjährigen Mittel der jährliche Energieverbrauch um einen ungefähr konstanten Prozentsatz des Verbrauches im Vorjahr zunimmt. (Diese Zunahme beträgt je nach Land zwischen 4 und 10%.) Die mathematische Statistik gibt auch über die Abhängigkeit der Energienachfrage und der Belastung von der Temperatur und der Witterung Aufschluss; diese Einflüsse sind jedoch für genaue Berechnungen nicht leicht zu erfassen.

Mit Hilfe der Statistik ist es auch möglich zu beurteilen, ob der Energieverbrauch in einem bestimmten Monat, verglichen mit dem gleichen Monat des Vorjahres, normal gewesen ist oder ob zufällige Ereignisse den Konsum auf die eine oder andere Seite beeinflusst haben.

Als weitere Probleme, die mit Hilfe der mathematischen Statistik erfolgreich bearbeitet werden können, seien genannt: die Berechnung der Wirbelstromverluste von Generatoren, die Prüfung von Rotor- und Statorspulen, die Aufstellung des Fahrplanes für den wirtschaftlichsten Einsatz der Generatoren und der Kraftwerke zur Deckung des Energiebedarfes u. a. m.

b) *Energieübertragung und -verteilung.* Bei der Energieübertragung und -verteilung kann die Theorie der Stichproben besonders häufig und nutzbringend angewandt werden, da es sich hier meist um ausgedehnte und vielgestaltige Gebilde handelt. Es sei hier darauf hingewiesen, dass die Stichprobengrösse einen wesentlichen Einfluss auf die Genauigkeit der gewonnenen Resultate hat und dass diese nicht nur von der Grösse der Stichprobe, sondern auch von der Streuung abhängig ist.

Als erstes Beispiel der Anwendung der statistischen Methode auf dem Gebiet der Übertragung sei die Ermittlung der Häufigkeit von Isolatordefekten genannt. Die Häufigkeit der Defekte an Hochspannungsisolatoren scheint einer Poissonschen Verteilung zu folgen. Es kann damit die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Defekten z. B. auf einer bestimmten Leitung berechnet werden und es lässt sich auf Grund dieser Methode feststellen, ob die Zahl der aufgetretenen Defekte normal ist, oder ob irgendwelche aussergewöhnliche Einflüsse im Spiel sind. Wenn z. B. bei einem bestimmten Typ von einsträngigen Drehstrom-Leitungen, mit 10 Stützpunkten pro km und Isolatorketten zu je 4 Gliedern, also mit $3 \times 10 \times 4 = 120$ Isolatoren pro km, die mittlere Anzahl Defekte 6 pro km und Jahr beträgt, so ist die Wahrscheinlichkeit dafür, dass ein Isolator während des Jahres defekt wird, gleich $6/120 = 1/20 = 0{,}05$. Wenn nun eine Kette als eine Stichprobe zu 4 Individuen betrachtet wird, so beträgt die mittlere Anzahl Defekte pro Stichprobe $0{,}05 \cdot 4 = 0{,}2$. Wir haben hier mit einer Poissonschen Verteilung zu tun. Diese schreibt sich

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

wobei $\lambda = 0{,}2$. Die Ausrechnung ergibt: die Wahrscheinlichkeit $P$, dass pro Kette an 1 Isolator oder mehr pro Jahr ein Defekt auftritt, ist gleich 0,18. Die entsprechende Wahrscheinlichkeit für 2 Defekte oder mehr pro Kette ist 0,016. Da aber das Defektwerden eines Isolators gewöhnlich die ganze Kette ausser Betrieb setzt, erübrigt es sich, die Rechnung weiter fortzusetzen.

Ein weiteres Gebiet der Anwendung der mathematischen Statistik ist die Untersuchung der Blitzeinschläge in Leitungen und der Blitzschutzeinrichtungen. Die Stromstärken von Blitzen folgen einer Poissonschen Verteilung. Mit Hilfe der statistischen Methode kann die Wirksamkeit von Blitzschutzapparateanordnungen beurteilt werden. Es sei hier auf die zahlreichen Veröffentlichungen von Prof. Dr. K. Berger hingewiesen.

Das Ausserbetriebfallen von Leitungen und Stationen ist ein weiteres Anwendungsgebiet. Es wurden z. B. die Betriebsstörungen auf Telephonleitungen eines bestimmten Konstruktionstyps untersucht und dabei festgestellt, dass deren Häufigkeit einer Poissonschen Verteilung folgt. So konnte abgeschätzt werden, ob die während einer bestimmten Periode aufgetretenen Störungen zufällig oder normalen Umständen entsprechen. Wenn z. B. pro Monat im Durchschnitt 2,5 Störungen auf eine Leitung fallen, dann können 5 oder mehr Störungen pro Monat einmal in 10 Jahren auftreten, 9 oder mehr Störungen sogar einmal in 53 Jahren, ohne dass ausserordentliche Umstände vorliegen.

Man muss unterscheiden zwischen Serie- und Parallelstörungen. Bei Speisung eines Netzes über eine Leitung und einen Transformator fällt das Netz aus, wenn die Störung auf der Leitung oder am Transformator auftritt. Wenn z. B. die Wahrscheinlichkeit für die Störung an der Leitung 0,1, für die Störung am Transformator 0,03 beträgt, dann errechnet sich die Wahrscheinlichkeit für das Ausserbetriebfallen des Netzes wie folgt: Die Wahrscheinlichkeit für das Funktionieren der Leitung (Gegenwahrscheinlichkeit) $q_1$ ist gleich $1 - 0{,}1 = 0{,}9$, diejenige für den Transformator $q_2 = 1 - 0{,}03 = 0{,}97$. Die Wahrscheinlichkeit, dass sowohl die Leitung als der Transformator in Betrieb bleibt ist gleich dem Produkt $q_1 \cdot q_2 = 0{,}873$. Die gesuchte Wahrscheinlichkeit für einen Betriebsunterbruch (Leitung *oder* Transformator) ist dann gleich $1 - 0{,}873 = 0{,}127$. Wird eine zweite Leitung und ein zweiter Transformator parallelgeschaltet, wobei diese zweite Garnitur die gleichen Einzelwahrscheinlichkeiten der Störung aufweist, dann beträgt die Wahrscheinlichkeit des Ausserbetriebfallens des Netzes nur noch $0{,}127 \times 0{,}127 = 0{,}016$ oder $^1/_{13}$ des früheren Zustandes.

Die Statistik kann auch herangezogen werden zur Projektierung von Niederspannungsleitungen mit Rücksicht auf die Belastung. Die in einer Leitung total auftretende Belastung ist kleiner als die Summe der installierten Leistungen aller an dieser Leitung angeschlossenen Verbraucher. Das Verhältnis der Belastung in der Leitung zur total installierten Leistung ist bekanntlich, bei gleichartigen Verbrauchern, um so kleiner, je grösser die Anzahl dieser Verbraucher ist. Die Gesetzmässigkeit dieses Verhältnisses lässt sich auch aus einer statistischen Verteilung ableiten. Interessant ist auch der Vergleich zwischen ein- und mehrphasigen Leitungen. Bei einer gegebenen Anzahl Verbraucher ist die Gleichzeitigkeit bei einem Einphasensystem kleiner als bei einem Dreiphasensystem, weil sich beim Dreiphasensystem die Verbraucher auf 3 Stromkreise verteilen. Die praktische Belastbarkeit einer Dreiphasenleitung für z. B. 48 Verbraucher ist nicht 6 mal grösser als bei einer Einphasenleitung mit gleichen Drahtquerschnitten, was eigentlich zu erwarten wäre, sondern infolge der grösseren Gleichzeitigkeit nur 5 mal so gross.

c) *Gesetzliche Vorschriften und öffentliche Meinung.* In verschiedenen Ländern gibt es gesetzliche Vorschriften bezüglich der Lieferung elektrischer Energie und der Sicherheit der Anlagen.

Eine wichtige Bestimmung in England z. B. betrifft die Spannungsschwankungen. Die Spannung an den Verbraucherklemmen darf nur in gewissen bestimmten Grenzen schwanken. Nimmt man an, dass die Spannungsschwankungen sich um den Durchschnitt (Nennspannung) annähernd normal verteilen — was durch praktische Untersuchungen bestätigt wurde —, und wird ferner die Spannung so reguliert, dass praktisch kein Verbraucher grössere Schwankungen als $\pm$ 6 % auf sich nehmen muss, (entsprechen dem Bereich innerhalb der dreifachen Streuung), so ergibt sich, dass bei 68 % der Verbraucher die Spannungsschwankungen nicht grösser als $\pm$ 2 % (einfache Streuung) und bei 95 % der Konsumenten nicht grösser als $\pm$ 4 % (doppelte Streuung) sein werden, was einem sehr hohen Grad der Genauigkeit entspricht.

Die statistische Methode wurde auch zur Beurteilung der Zuverlässigkeit verschiedener Erdungssysteme angewandt. Ebenso hilft die Statistik mit, z. B. durch Häufigkeitsvergleiche die Unfälle in elektrischen Anlagen zu analysieren.

Weiter kann die statistische Methode der Stichprobe zur Prüfung der Zähler angewandt werden. Sie gibt die Möglichkeit um festzusetzen, wieviele Zähler einer von der Herstellerfirma bereits geprüften Lieferung nachgeprüft werden müssen, und wie die Prüfresultate ausfallen müssen, damit die Zähler als gut abgenommen werden können[2]).

Ähnlich verhält es sich bei der Stichprobenprüfung von Hochspannungsisolatoren und Sicherungen, nur ist hier die Anwendung der statistischen Methode noch viel wichtiger, weil die Prüflinge durch die Prüfung zerstört werden, und deshalb die Stichprobe möglichst klein sein und doch möglichst genaue Resultate zeitigen soll.

Ähnliche Methoden werden auch gebraucht, um die zulässigen Grenzen der Radiostörungen zu bestimmen, die ein Apparat verursachen darf, um noch als radiostörfrei bezeichnet werden zu können.

d) *Verbrauch.* Von noch grösserer Wichtigkeit als bei der Übertragung und Verteilung ist die Anwendung von Stichprobenuntersuchungen im Verbrauchssektor. Infolge der grossen Mannigfaltigkeit und der zahlenmässigen Grösse des Untersuchungsgebietes, ist es ganz ausgeschlossen, ohne Stichproben irgendwelche Untersuchungen mit vernünftigem Aufwand durchführen zu können. Es ist praktisch nicht möglich, alle Verbraucher gleichzeitig zu kontrollieren, jedoch ist es relativ einfach, eine kleine Stichprobe zu untersuchen und deren Resultate auszuwerten. Mit Hilfe der Stichprobe können auch sonst nicht erfassbare Dinge abgeschätzt werden, wie etwa die Reaktion der Verbraucher auf die Propaganda, weil die Stichprobe vorgenommen werden kann, solange die Eindrücke noch frisch sind. Die Genauigkeit der Resultate kann auf Grund der Stichprobenanordnung stets geschätzt werden.

Stichproben wurden zum Teil im grossen Stile aufgezogen, um die Entwicklung des Verbrauches zu analysieren. So wurde unter anderem festgestellt, was für Apparate im Haushalt verwendet werden, welche Belastung sie verursachen, wie gross ihre Gebrauchsdauer ist usw. Auf diese Weise war es möglich, durch jährliche Wiederholung der Umfrage, sich über die Wandlung der Struktur des Verbrauches in der Zeit ein genaues Bild zu machen.

Die Tariffragen stehen heute besonders im Vordergrund des Interesses, indem vielerorts ein Ruf nach Vereinfachung und Vereinheitlichung hörbar wird. Die Elektrizitätswerke haben sich im voraus zu vergewissern, wie sich die Tarifänderungen auswirken werden und nachher zu kontrollieren, ob die erwarteten Auswirkungen auch eingetreten sind. Diesbezügliche Veröffentlichungen sind erfolgt[3]). Aber auch für die Berechnung von Tarifen wurden statistische Methoden angewandt, z. B. um die Korrelation zwischen Lichtverbrauch und Grössen wie Zimmerzahl, Bodenfläche, Anschlusswert usw. zu ermitteln.

[2]) Eine solche Methode ist natürlich nur in Ländern anwendbar, wo keine gesetzliche Vorschriften über die Eichung der Zähler bestehen (Red.).

[3]) S. z. B. Bull. SEV Bd. 45(1954), Nr. 16, S. 667.

Ein wichtiges Problem bei den Verbrauchern ist die Gleichzeitigkeit. Den Elektrizitätswerken gereicht es zum Vorteil, dass die Verbraucher nicht alle zur gleichen Zeit ihre Spitzenbelastung aufweisen und dass damit die totale Spitze kleiner ist als die Summe der Spitzenbelastungen aller einzelnen Verbraucher. Mit statistischen Methoden wurde versucht, die Gleichzeitigkeit festzustellen, z. B. für bestimmte Klassen von Verbrauchern, wie Heisswasserbereiter u. a. m. Es ist vor allem wichtig zu wissen, wieviele von einer gegebenen Anzahl Apparate mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit höchstens gleichzeitig in Betrieb sein können. Es gibt für diese Gleichzeitigkeitsprobleme verschiedene Methoden und graphische Lösungen, doch bietet sich gerade hier ein grosses Gebiet für die statistische Forschung[4]).

Als Beispiel sei hier eine Untersuchung über ungesperrte Heisswasserspeicher von 2 kW Anschlusswert, mit einem mittleren Jahresverbrauch von 2000 kWh bzw. einer Gebrauchsdauer von 1000 h pro Apparat. Die Einzelwahrscheinlichkeit $p$ beträgt $1000/8760 = 0{,}115$. Für eine Gesamtzahl von $N$ Apparaten ist die mathematische Hoffnung $E$, dies ist die zu erwartende mittlere Anzahl gleichzeitig eingeschalteter Apparate, gleich $pN$. Für die Gleichzeitigkeit ist es aber wichtig zu wissen, wieviele Apparate höchstens gleichzeitig in Betrieb sein können. Genau genommen handelt es sich um eine binomische Verteilung. Doch kann hier mit genügender Genauigkeit die binomische durch eine normale Verteilung gleicher Streuung ersetzt werden. Wenn $N = 1000$, so ist $pN = 115$ und $\sigma = \sqrt{Npq} \approx 10$. Die Wahrscheinlichkeit $P$ dafür, dass z. B. 130 Apparate oder mehr gleichzeitig eingeschaltet sind, errechnet sich zu rund 7 % ($u = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} = \frac{130 - 115}{10} = 1{,}5$ entsprechend einem $P$ von 0,067). Für 90 oder mehr gleichzeitig eingeschaltete Apparate steigt $P$ auf 0,99 an. Mit andern Worten: während 99 % der Zeit sind 90 oder mehr Apparate in Betrieb.

Einen sehr kleinen Wert für $P$ liefert eine Periode von 30 Minuten. In diesem Fall ist $P = 0{,}5/8760 = 0{,}000057$. Von diesem Wert ausgehend lässt sich für verschiedene $N$ die Mindestzahl $c$ von Apparaten ausrechnen, die während einer halben Stunde gleichzeitig in Betrieb sind. Das Ergebnis ist in Tabelle I zusammengefasst.

Der Quotient $c/N$ stellt für die Wahrscheinlichkeit $P = 0{,}000057$ die Mindestanzahl gleichzeitig eingeschalteter Apparate pro Abonnent dar. Tabelle I zeigt klar, dass dieser Wert mit zunehmender

[4]) S. z. B. Schweiz. Bauztg. Bd. 68 (1950), Nr. 13, S. 161.

Tabelle I

| $N$ | $pN = \bar{x}$ | $c$ für $P = 0{,}000057$ | $c/N$ |
|---|---|---|---|
| 10 | 1,15 | 8 | 0,80 |
| 100 | 11,5 | 25 | 0,25 |
| 1000 | 115 | 160 | 0,16 |

Abonnentenzahl kleiner wird, und in welchem Mass.

Weitere Untersuchungen über Gleichzeitigkeit wurden z. B. mit Schweissmaschinen gemacht, wobei die Dauer der Gleichzeitigkeit und die Wahrscheinlichkeit, dass mehrere Maschinen miteinander arbeiten, berechnet wurden.

Viele Apparate werden nur zu bestimmten Tageszeiten verwendet, z. B. Kochherde. Statistische Methoden helfen auch hier, die Gleichzeitigkeit und die wahrscheinliche Totalbelastung zu berechnen.

Eine weitere Anwendung der statistischen Methoden wurde bei der Strassenbeleuchtung gemacht. Die Lampen werden für eine Brenndauer von 1000 Stunden hergestellt[5]). Die wirkliche Häufigkeit der Brenndauer folgt einer normalen Verteilung. Man kann nun zwei Arten des Glühlampenersatzes vorsehen: erstens den Ersatz jeder einzelnen Glühlampe, sobald sie durchgebrannt ist und zweitens den Ersatz sämtlicher Lampen nach einer gewissen Brenndauer.

Die erste Art ist mit grossen Arbeitskosten verbunden, nützt dafür die Brenndauer aller Lampen vollständig aus. Statistische Untersuchungen haben ergeben, dass für eine kleinere Anzahl niederwattiger Lampen die Gesamtauswechslung z. B. nach 800 Brennstunden wirtschaftlicher ist, während für eine grosse Anzahl hochwattiger Lampen der Einzelersatz vorteilhafter ist.

## 4. Schluss

Die Möglichkeiten der Anwendung der statistischen Methoden sind ausserordentlich mannigfaltig. Die obigen Beispiele sind ein kleiner Ausschnitt aus dem Spektrum der Anwendungen auf dem Gebiet der Energieversorgung. Bewusst wurde darauf verzichtet, Theorien und ausführliche Berechnungen hier festzuhalten, weil mit diesem kurzen Abriss nur gezeigt werden soll, wie sich diese Näherungsmethoden anwenden lassen. Es ist zu hoffen, dass diese sehr praktische Technik weiter ausgebaut, und von den Ingenieuren in weiterem Masse als bisher angewandt wird.

Für die Literatur sei vor allem auf die sehr ausführliche Liste am Schlusse des Originalaufsatzes hingewiesen.

Adresse des Autors:
*F. Domman*, dipl. Ing. ETH, Hirschmattstr. 44, Luzern.

[5]) In der Schweiz sind es normalerweise 2500 h für Strassenlampen.

# Wirtschaftliche Überlegungen zu den Sammeltarifen für die elektrische Energie

Von *M. F. Girtanner*, Rüschlikon

658.8.03.003

*Im nachfolgenden gibt der Verfasser einige Überlegungen bezüglich Sammeltarifen für die Energieabgabe am Letztverbraucher bekannt. Er kommt zum Schlusse, dass wenigstens bei bestimmten Abnehmerkategorien wohl eine Zusammenfassung der Licht- und Kraftstromkreise in einem Zähler angezeigt, die Aufstellung eines zweiten Messkreises für die Wärmeanwendungen jedoch zu empfehlen ist.*

*Ohne zu diesen Äusserungen, die zu konkreten Lösungen führten, Stellung zu nehmen, geben wir sie hier als einen Beitrag zur Diskussion über das aktuelle Problem: «Gemeinsame oder getrennte Messung verschiedener Anwendungen», das für den Haushalt bereits eine weitgehende Klärung erfahren hat.*

*L'auteur fait part de quelques réflexions relatives aux tarifs «tous usages» pour livraisons d'énergie électrique aux derniers consommateurs. Il conclut que, s'il convient de réunir, du moins pour certaines catégories de consommateurs, les circuits lumière et force motrice en un seul circuit de mesure, on doit toutefois conseiller l'emploi d'un deuxième circuit de mesure pour les applications thermiques.*

*Sans prendre aucunement position vis-à-vis de ces considérations, qui conduisirent à des solutions concrètes, nous les reproduisons ici en tant que contribution à la discussion relative au problème très actuel qui a nom: «Faut-il mesurer ensemble ou séparément les consommations relatives aux diverses applications?», problème qui a déjà pratiquement trouvé une réponse en ce qui concerne les applications domestiques.*

---

Für die Lieferung und Verrechnung grösserer elektrischer Energiebezüge werden gelegentlich Sammeltarife angewendet. Als wesentlicher Vorteil dieser Sammeltarife werden die Zusammenfassung der Licht-, Kraft- und Wärme-Stromkreise und die damit erzielte Vereinfachung der Innenverteilanlagen und der Energieverrechnung hervorgehoben.

Es soll nachstehend untersucht werden, in welchen Fällen sich Sammeltarife für elektrische Energie rechtfertigen. Gleichzeitig sind die Bedingungen abzuklären, die Lieferanten und Bezügern elektrischer Energie eine wirtschaftlich zu verantwortende Preisgestaltung sichern.

## 1. *Wirtschaftliche Überlegungen*

a) Ein Gut ist alles, was sich eignet, menschliche Bedürfnisse zu befriedigen. Produktivgüter dienen nur mittelbar der Bedürfnisbefriedigung. Sie finden zur Herstellung von Genussgütern Verwendung. In der Wirtschaft ist die Arbeit das wichtigste Produktionsgut. Der Mensch begehrt dieses Produktionsgut. Es steht ihm jedoch nicht unbegrenzt, wie z. B. die Luft, sondern nur in beschränktem Ausmasse zur Verfügung. Durch ihre Knappheit wird die Arbeit zum wirtschaftlichen Gut. Die Arbeit ist der wertvollste, elementare Faktor in der Volkswirtschaft. Sie kann an ihren Träger, den Menschen oder technische Arbeitserzeugungsanlagen, gebunden sein. In letzterem Falle trifft es sich häufig, dass die Arbeitserzeugungsanlage nicht am Ort der Arbeitsverwendung steht. Die Arbeit muss im physikalischen Sinne nach dem Arbeitsort transportiert werden. Als Arbeitsträger über grosse und kleine Entfernungen dienen heute hauptsächlich Gas und Elektrizität. Die elektrische Arbeit ist nach vorstehenden Ausführungen ein wirtschaftliches Gut.

b) Der wirtschaftliche Wert eines Gutes ergibt sich aus seiner Stellung im Bewusstsein der Menschen. Ein Gut, das einen Nutzen für den Menschen hat, der es begehrt, besitzt einen Gebrauchswert. Die Bedeutung, welche wir einem Gut zur Befriedigung unserer Bedürfnisse zuerkennen, bestimmt seinen Gebrauchswert. Diese Bewertung wird beim einzelnen Menschen durch seine Lebensumwelt und durch seine Lebensgewohnheiten mitbestimmt. Die Wertschätzung eines Gutes ist in unserer Zeit nicht Ausdruck eines Einzelnen, sondern von diesem als Bestandteil eines Volkes, dessen Lebensgewohnheiten die Verbrauchsgewohnheiten und damit den Gebrauchswert beeinflussen. Deshalb ist es verständlich, wenn für das gleiche Gut in verschiedenen Ländern eine andere Wertschätzung beobachtet werden kann.

Obwohl die elektrische Energie an sich ein wirtschaftliches Gut darstellt, wird ihr Gebrauchswert bzw. ihre Wertschätzung je nach Anwendungszweck von den Menschen verschiedenartig beurteilt. Gegenüber dem Talg- oder dem Petroleumlicht wird der elektrischen Beleuchtung ein höherer Gebrauchswert zugebilligt. Die Wertschätzung der elektrischen Wärmeanwendungen gegenüber Gas oder festen und flüssigen Brennstoffen zeigt im allgemeinen nicht sehr grosse Unterschiede. Der Gebrauchswert der elektrischen Energie für Kraft ist vielerorts durch Wasserantriebe, Öl- und Gasmotoren oder neuzeitliche Dampfanlagen stark beeinflusst.

Das wirtschaftliche Gut «elektrische Arbeit» kann auf Seite seiner Erzeugung als einheitliches Produktionsgut betrachtet werden. Von den Menschen, die es anbegehren zur Befriedigung ihrer Bedürfnisse, wird diesem Gut je nach seinem Nutzen eine andere Wertschätzung beigelegt. Die elektrische Arbeit ist für den Menschen Produktionsgut, sie kann aber auch ein Genussgut sein. Schon diese beiden grundsätzlichen Unterschiede zeigen deutlich, dass, wirtschaftlich gesehen, eine elektrische Arbeitseinheit nicht für jede Anwendung den gleichen Wert haben kann.

c) Für ein wirtschaftliches Gut wird unterschieden zwischen

> den *Herstellungskosten,* das sind die Preise seiner Kostengüter,
> und
> dem *Preise,* der durch die Bedürfnisse der Menschen und die Knappheit des Gutes mitbeeinflusst wird.

Die «Herstellungskosten» elektrischer Energie weisen als Hauptbestandteil den Preis des Kosten-Hauptgutes, den Kapitalzins, auf. Diese während eines Jahres meistens unverändert bleibenden Kosten sind von der Menge der erzeugten elektrischen Energie unabhängig. Sie werden deshalb feste Kosten genannt. Andere Kosten, wie solche für Brennstoffe, Schmiermittel, Reparaturmaterial, Löhne usw., sind veränderlich und richten sich nach der Menge der gelieferten Energie.

Durch einfache Divisionen können die mittleren Jahresenergiekosten je Arbeitseinheit und Hauptkostenstelle ermittelt und die festen Kosten durch das Spitzenanteilverfahren auf die einzelnen Verbrauchergruppen aufgeteilt werden. Auf diese Weise ist es möglich, zuverlässige Kostenunterlagen für Tarifstudien und -überprüfungen zu erhalten.

Es wäre ein Irrtum zu glauben, dass nur die historische Entwicklung der Elektrizitätsanwendungen (Licht, Kraft, Wärme) für die heutige Preisdifferenzierung elektrischer Energie verantwortlich sei. Es sind die Kostengestaltung und die aus der Befriedigung menschlicher Bedürfnisse resultierende Wertschätzung der Energie, also wirtschaftliche Begebenheiten, welche in allen Ländern zu den bekannten Preisunterschieden der drei Wirtschaftsgüter, der Licht-, der Kraft- und der Wärmeenergie, geführt haben.

Hier soll darauf hingewiesen werden, dass in der Marktwirtschaft für Güter, die frei erhältlich sind, der Preis sich nicht nach der Wertschätzung des «einzelnen Verbrauchers» oder nach der Wertschätzung für die «verschiedenen Verwendungszwecke» richtet, sondern nach der Wertschätzung des «letzten Verbrauchers» und des «letzten Verwendungszweckes». Wollte man die elektrische Energie nach demselben Prinzip, das heisst zu einem einheitlichen Preise unabhängig vom Verwendungszweck verkaufen, müsste hiefür der mittlere Selbstkostenpreis je Arbeitseinheit massgebend sein. Der Selbstkostenpreis setzt sich aber bekanntlich aus den festen und den veränderlichen Kosten zusammen. Erstere sind bei Kraftwerk-, Übertragungs- und Verteilanlagen durch die ausgebaute Leistung bestimmt. Die verschiedenen Verbrauchergruppen beanspruchen die ausgebaute Leistung der einzelnen elektrischen Anlageteile unterschiedlich, so dass ihr Anteil an den festen Kosten je nach Beanspruchung und Zeitpunkt dieser Beanspruchung verschieden ist. Die festen Kosten müssen also dem Bezüger als Leistungskosten im Verhältnis der von ihm beanspruchten Anlagenleistung belastet werden. Dementsprechend müssen die veränderlichen Kosten dem Abnehmer pro rata seines Energiebezuges angerechnet werden. Der Preis elektrischer Energie besteht nun grundsätzlich aus einem Anteil zur Deckung der festen Kosten (Leistungskosten) und aus einem zweiten Teil, den veränderlichen Kosten (Arbeitspreis). Der für alle Bezüger einheitliche Jahresmittelpreis je Arbeitseinheit müsste einzelne Verbrauchergruppen zu stark, andere zu gering belasten. Der einzelne Energiebezüger hat nicht nur die gelieferte elektrische Arbeit zu bezahlen, sondern er muss seinen Lieferanten für die von diesem gemachten Aufwendungen für die elektrische Leistung entschädigen (anteilige feste Kosten). Da sich nun diese Entschädigung nach der Beanspruchung der Leistung richtet, und letztere für die verschiedenen Energieanwendungen und Bezüger unterschiedlich ist, ergibt sich, dass die Preisdifferenzierung für elektrische Arbeit auch von der Kostenseite her gerechtfertigt ist.

In der Praxis bestimmen heute die Selbstkosten und die Wertschätzung den Preis der elektrischen Energie.

## 2. *Allgemeines über Sammeltarife*

In einem Sammeltarif können z. B. zwei wirtschaftliche Güter mit verschiedener Wertschätzung zusammengelegt werden. Es entsteht ein Mischgut, dessen Mischpreis sich aus den Einzelpreisen der beiden Güter nach Massgabe der jeweiligen Anteile ergibt. Das Mischverhältnis z. B. von elektrischer Energie für Beleuchtung und für Motoren kann von Bezüger zu Bezüger verschieden sein. Infolgedessen wird der Mischpreis einen grossen Streuungsbereich aufweisen, was für die Bezüger stark auseinanderfallende mittlere Energiepreise zur Folge hat. Ein Sammeltarif, als Preisrahmen für eine grössere Zahl ähnlicher Wirtschaftsvorgänge, hat ein mittleres Mischverhältnis zur Grundlage. Damit ist die Preisstreuung in den beiden Endzonen des Mischbereiches bestimmt. Die Unterteilung des Gesamtbereiches eines Mischverhältnisses in verschiedene Sektoren ermöglicht es, die Streuung in tragbaren Grenzen zu halten.

Sammeltarife werden meistens als Zweiglied- oder Grundpreistarife aufgebaut, wodurch eine befriedigende Preisanpassung an die Kostengestaltung erreicht wird.

Die Grösse des Energiebezuges rechtfertigt die Aufstellung eines etwas teureren Messgerätes, des Zählers mit Leistungsmaximumzeiger.

Der Grundpreistarif lässt sich durch folgenden Ausdruck darstellen:

$$H = P \cdot a + W \cdot b \tag{1}$$

Bedeutet $P$ die beanspruchte Leistung und $a$ den Grundpreisansatz, so stellt ihr Produkt den Grundpreis dar. Die bezogene Energie $W$ muss mit dem Arbeitspreisansatz $b$ multipliziert werden, um den Arbeitspreis zu erhalten. Die Summe beider Produkte ist der Rechnungsbetrag $H$.

Sollen durch einen Sammeltarif zwei Wirtschaftsgüter, also im vorliegenden Falle die Energie für zwei verschiedene Anwendungen, vereinigt werden, so hat der Sammeltarif ihren beiden Preisgleichungen zu genügen. Diese lauten:

$$H_1 = P_1 \cdot a_1 + W_1 \cdot b_1 \tag{2}$$

$$H_2 = P_2 \cdot a_2 + W_2 \cdot b_2 \tag{3}$$

Durch die Zusammenfassung von (2) und (3) ergibt sich, wenn $a_1 = a_2 = a$ angenommen wird:

$$H_{12} = (P_1 + P_2)\, a + (W_1 + W_2) \frac{(W_1 \cdot b_1) + (W_2 \cdot b_2)}{W_1 + W_2} \tag{4}$$

Das erste Glied der rechten Gleichungsseite stellt wieder den Grundpreis dar. Der für beide Energieanwendungen gemeinsame Grundpreisansatz $a$ setzt voraus, dass die beanspruchten Maximalleistungen $P_1$ und $P_2$ während derselben Messperiode (z. B. von 15 Minuten Dauer) auftreten. Ist dies nicht der Fall, so wird ihre Summe entsprechend kleiner.

Im zweiten Glied werden $W_1$ und $W_2$ vom gleichen Zähler gemessen und das Messergebnis mit dem im Sammeltarif festgelegten Misch-Arbeitspreisansatz multipliziert. Durch eine zweckmässige Unterteilung der Bezüge nach dem Mischverhältnis und die Zusammenlegung preislich benachbarter Energieanwendungen lassen sich für die Mehrzahl der Bezüger und den Lieferanten tragbare Arbeitspreisabweichungen erzielen.

Es stellt sich im weiteren die Frage, wie sich die Preisverhältnisse gestalten, wenn drei Energieanwendungen in einem Sammeltarif zusammengefasst werden sollen. Der neue, erweiterte Sammeltarif hat nicht nur die Gleichung (4), sondern noch zusätzlich die Preisbedingungen der dritten Energieanwendung zu erfüllen.

$$H_3 = P_3 \cdot a_3 + W_3 \cdot b_3 \tag{5}$$

Unter der Voraussetzung eines gleichen Grundpreisansatzes $a$ folgt aus der Zusammenfassung von (4) und (5):

$$H_{123} = (P_1+P_2+P_3)\, a + (W_1+W_2+W_3) \cdot \cdot \frac{(W_1 \cdot b_1)+(W_2 \cdot b_2)+(W_3 \cdot b_3)}{W_1+W_2+W_3} \tag{6}$$

Die Richtigkeit des neuen Grundpreises in (6) ist nur gewährleistet, wenn $P_1$, $P_2$ und $P_3$ zeitlich zusammenfallen.

Wenn es auch möglich ist, für die Errechnung des Arbeitspreises die bezogene Energie $W_1$, $W_2$ und $W_3$ am gleichen oder an örtlich verteilten Zählern genau zu ermitteln, so bietet die Festlegung des dreifachen Mischarbeitspreisansatzes erhebliche Schwierigkeiten. Es zeigen sich gegenüber der getrennten Messung und Fakturierung Differenzen von 140 % bis über 500 %, und das dreifache Mischverhältnis der in Betracht kommenden Güter verursacht erhebliche Preisstreuungen gegenüber dem Sammeltarif-Mittelwert. Für den Lieferanten ist dies von Wichtigkeit. Er kann bei der verhältnismässig geringen Anzahl von Sammeltarif-Bezügern nicht mit dem inneren Streuungsausgleich rechnen, wie er z. B. bei der Vielzahl von Haushaltabonnenten zu beobachten ist. Die gelegentlich vorgeschlagene, an das Wärmeenergiepreisniveau angepasste Arbeitspreis-Staffelung vermag die grosse Preisstreuung nicht genügend zu beheben.

Unter der Voraussetzung zeitlich gleichgelagerter Leistungsmaxima lassen sich die Streuungsverhältnisse durch getrennte Messung und Verrechnung von $W_3 \cdot b_3$ erheblich verbessern. Ist aber die Bedingung der Gleichzeitigkeit der Leistungsmaxima $P_1$, $P_2$ und $P_3$ nicht erfüllt, so muss $P_3$ gesondert gemessen werden, wenn man aus besonderen Gründen nicht vorzieht, die dritte Energieanwendung von $H_{12}$ (4) getrennt zu messen und zu verrechnen. Die beiden letztgenannten Fälle erfordern für die dritte Energieanwendung gesonderte Innenverteilleitungen.

### 3. *Sammeltarif für Licht und Kraft*

Für grössere Energiebezüge in städtischen Verhältnissen zeigt sich, dass die Zusammenlegung der Licht- und Kraft-Bezüge in einen Sammeltarif (4) zu befriedigenden Preisverhältnissen führen kann. Unterteilt man die Licht- und Kraftbezüger in drei Gruppen (z. B. Handelsbetriebe, Kollektivhaushaltungen und industrielle, gewerbliche Betriebe), so werden die Streuungsverhältnisse für den Einzelabonnenten gegenüber der bisherigen getrennten Tarifierung tragbar. Jedenfalls ist der Einfluss der Benutzungsdauer der beanspruchten Leistung, wie er im Grundpreistarif gegenüber den bisherigen, reinen Arbeitspreistarifen zum Ausdruck kommt, wesentlich.

Es hat sich als zulässig erwiesen, in den drei vorgenannten Bezügergruppen die Licht- und Kraft-Anwendungen nach Gleichung (4) zusammenzulegen. Die Forderung der Gleichzeitigkeit der Leistungsmaxima $P_1$ und $P_2$ ist befriedigend erfüllt. Bei Bezügern, welche ihre Energie für Licht und Kraft in verschiedenen Spannungen zugeführt erhalten, werden $W$ und $P$ durch eichbare Doppelzähler mit mechanisch gekuppeltem Summierwerk und Maximumzeiger ermittelt.

### 4. *Sammeltarif für Licht, Kraft und Wärme*

Auf die Unzulänglichkeiten eines dreifachen Sammeltarifes nach Gleichung (6) wurde in Abschnitt 2 hingewiesen.

Für die Bezügergruppe der industriellen, gewerblichen Betriebe mit stark überwiegendem Kraftanteil gegenüber dem Lichtbedarf eignet sich nachstehende Lösung:

$$H_{123} = (P_1+P_2+P_3)\, a + (W_1+W_2) \cdot \cdot \frac{(W_1 \cdot b_1)+(W_2 \cdot b_2)}{W_1+W_2} + W_3 \cdot b_3 \tag{7}$$

In den eben erwähnten Betrieben fallen die drei Leistungsmaxima erfahrungsgemäss zeitlich befriedigend zusammen. Durch die gesonderte Messung der bezogenen Wärmeenergie ($W_3$) wird es möglich, die Preisstreuungen für $W_1$ und $W_2$ in tragbaren Grenzen zu halten.

Die Gruppen der Handelsbetriebe und der Kollektiv-Haushaltungen sind nicht nur durch ihren grossen Anteil an Lichtenergie ($W_1$), sondern auch durch das zeitlich verschobene Auftreten des Leistungsmaximums der Wärme $P_3$ gegenüber jenem des Lichtes ($P_1$) und der Kraft ($P_2$) charakterisiert.

In diesem Falle wird man zweckmässig zur getrennten Messung und Verrechnung der Wärmeenergie greifen müssen, sollen erhebliche Einnahmeverluste vermieden werden. Es werden die Gleichungen (4) und (5) in Betracht kommen, wobei letztere durch einen einfachen Arbeitspreistarif ersetzt werden kann, wenn dem Bezüger für seine Wärmeleistungsbeanspruchung zeitlich keine Einschränkung auferlegt wird.

Für schweizerische Verhältnisse scheint es unter Berücksichtigung des bestehenden fast gänzlichen Mangels an einheimischen festen und flüssigen

Brennstoffen angezeigt, gerade jener Energieverwendung eine besondere Aufmerksamkeit zu schenken, die nicht nur in der Zukunft eine starke Umsatzsteigerung verspricht, sondern heute schon einer scharfen Konkurrenz ausgesetzt ist. Die Sammeltarife sind in der Schweiz auch von diesem Standpunkt aus zu beurteilen.

Der Bezüger hat an einer wirtschaftlich korrekten Preisgestaltung grösstes Interesse. Wenn diese ihm vielleicht auch Mehrkosten für seine Innenverteilanlage auferlegt, so hat er doch die Gewissheit, dass diese einmaligen Mehrkosten durch eine jahrelange gerechte Preisgestaltung mehr als aufgewogen werden.

Es sei noch darauf hingewiesen, dass Sammeltarife für Mittel- und Niederspannung sich grundsätzlich nur durch die Preisdifferenz unterscheiden, welche aus den Transformatorenverlusten bzw. den Jahreskosten der Transformatorenstation und den Verteilverlusten resultieren.

Adresse des Autors:
*M. F. Girtanner*, Ing., Alpenstrasse 9, Rüschlikon (ZH)

# Die Bewertung der einzelnen Wochentage beim statistischen Vergleich von Zahlenreihen

[nach dem gleichnamigen Aufsatz von *Fr. Weissert*, El. Wirtsch. Bd. 54(1955), Nr. 1, S. 1...4]

519.24 : 621.311

Bei statistischen Untersuchungen, z. B. über die Entwicklung des Energieverbrauches, werden oft Zahlenwerte für eine bestimmte Zeitperiode, z. B. für eine Woche oder einen Monat, der entsprechenden Periode des Vorjahres oder früherer Jahre gegenübergestellt, um die relative Zu- oder Abnahme zu ermitteln oder noch andere Schlüsse zu ziehen. Oft werden auch periodische Ergebnisse, vor allem monatliche oder wöchentliche, aneinandergereiht, um die zeitliche Entwicklung darzustellen. Während im ersten Falle die Ergebnisse vor allem durch die Verlagerung der beweglichen Feiertage (z. B. Ostern, Pfingsten) oder durch das Zusammentreffen fester Feiertage mit verschiedenen Wochentagen (z. B. Weihnachten, Neujahr) entstellt werden können, so wirken sich im zweiten Falle in erster Linie die ungleichen Monatslängen und die unterschiedliche Zusammensetzung der Monate entstellend aus. Es erscheint daher für eine brauchbare Untersuchung unumgänglich, jeden Tag mit dem Gewicht in die Berechnung aufzunehmen, das ihm auf Grund seiner Merkmale zukommt.

## Allgemeines über periodische Schwankungen

Unter dem Oberbegriff der periodischen Schwankungen unterscheidet *Wagemann* in seinem «Narrenspiegel der Statistik»

a) rhythmisch gebundene Schwankungen,
b) rhythmisch freie Schwankungen.

Von diesen Schwankungen sind nur die rhythmisch gebundenen eindeutig abgegrenzt, da es sich um solche handelt, deren Periodizität festliegt. So setzen sich die jahreszeitlichen Schwankungen aus 12 Phasen (Monatswerten) zusammen. Liegen Tageswerte vor, dann bestehen die Wochenschwankungen aus 7 Phasen usw. Die zahlenmässige Erfassung der rhythmisch freien Schwankungen (Konjunktur) scheitert daran, dass die Anzahl der Phasen je Periode nicht einwandfrei ermittelt werden kann.

## Verfahren zur Ermittlung periodischer Schwankungen

Hier kann man grundsätzlich zwei Gruppen bilden, die sich hinsichtlich der Wahl des ersten Berechnungsschrittes unterscheiden. Der eine Teil der Verfahren benutzt die Ausgangswerte und ihre Veränderungen zueinander, um aus diesen zur typischen Saison-Figur zu kommen. Der zweite Teil der Verfahren benutzt als Ausgangspunkt den Trend (ermittelt nach dem Verfahren des gleitenden Phasendurchschnittes oder dem der kleinsten Quadrate) und berechnet aus den Abweichungen der Grundkurvenwerte von ihren zugehörigen Trendwerten die Saison-Figur. Ueber die Einzelheiten der Verfahren berichten die im Originalartikel angegebenen Quellen. Hier geht es darum, für die Ermittlung von «Wochen-Saisonschwankungen» ein brauchbares Verfahren darzustellen.

## Angewandte Verfahren

Zuerst muss festgestellt werden, welche Besonderheiten den einzelnen Wochen anhaften. Eine gewöhnliche Woche aus 7 Tagen (Sonntag und 6 Arbeitstagen), die keine arbeitsfreien Tage zwischen Montag und Samstag enthält, sei eine «Normalwoche» genannt. Ausser diesen Normalwochen, deren Zahl pro Jahr knapp über 40 liegt, gibt es die verschiedensten Kombinationen. So scheiden alle Verfahren aus, die von der Trendberechnung abhängen oder auf der Verhältnisbildung jeweils zweier aufeinanderfolgender Werte beruhen. Da weiter die einzelnen Tageswerte trendbehaftet sind, entfallen für die Berechnung der Bewertungsziffern alle Verfahren, die bei Anwesenheit von Trend keine brauchbaren Ergebnisse liefern. So ist nur das Periodogrammverfahren ein adäquates Mittel. Für die Tagesbewertungsziffern stellt der Wochendurchschnitt als Bezugsgrösse eine rein mathematische Abstraktion ohne anschaulichen Sinn dar. Ihm ist derjenige Tageswert vorzuziehen, auf den der grösste Anteil des wöchentlichen Energiekonsums bzw. der wöchentlichen Erzeugung entfällt. Deshalb wurde für die vorliegende Untersuchung der jeweilige Mittwochwert = 1 gesetzt.

## Urmaterial

Die für die Untersuchung benötigten Tageswerte mussten durch eine Sondererhebung beschafft werden. Um ohne allzu grossen Arbeitsaufwand von den Unternehmungen zuverlässige Zahlen zu erhalten, wurde von der Brutto-Energieerzeugung ausgegangen. Es wurden 35 Unternehmungen mit Eigenerzeugung erfasst, die rund 90 % des täglichen Konsums des Bundesgebietes liefern. Die Aufgliederung dieser Erzeugung nach den Energieträgern entspricht nahezu derjenigen der Gesamtheit. Als hinreichende Berichtsperiode wurden die beiden Jahre 1951 und 1952 festgelegt. Ausserdem wurden die Befragten gebeten, die regionalen Feiertage, an denen im Versorgungsgebiete nicht gearbeitet wird, mit einem Kreuz zu kennzeichnen, damit auch diese Feiertage erfasst werden können.

Die Tageswerte jeder «Normalwoche» wurden auf den Mittwoch der gleichen Woche bezogen, und so ihr Anteil an den Bezugstag ermittelt. Fiel bei einer «Feiertagswoche» der Feiertag auf einen Montag, Freitag oder Samstag, so galt ebenfalls der Mittwoch als Bezugsgrösse. Lag dagegen der Feiertag auf einem Dienstag, Mittwoch oder Donnerstag, so wurden alle Tageswerte der Woche auf den Durchschnitt aus den Mittwochangaben der vorhergehenden und der nachfolgenden Woche bezogen.

Die Einzelwerte waren in MWh (1000 kWh) erhoben worden, um bei den mehrmaligen Rechenoperationen über eine genügende Stellenzahl zu verfügen — ein Gesichtspunkt, dem im allgemeinen zu wenig Beachtung geschenkt wird. Die Daten wurden in übersichtliche Rechenblätter eingetragen.

Die Berechnung für die Normalwochen erfolgte in folgenden 4 Schritten, nach der abgewandelten Form des Periodogrammverfahrens:

1. Für jede Woche wurde ein Blatt angelegt, in das für jeden Tag die Angaben der 35 Unternehmungen einzutragen waren.
2. Summenbildung für jede Tagesart innerhalb jeder Woche (tägliche Bundesgebietszahlen). Letzte Stelle aufgerundet.
3. Errechnung des Anteils der einzelnen Tagesarten an ihrem Mittwoch, für jede Woche getrennt (auf 4 Stellen).
4. Durchschnittsbildung der Anteile einer Tagesart an ihren Mittwochen (auf 3 Stellen). Die Endergebnisse auf 2 geltende Stellen gerundet.

Die Berechnung der «Feiertagswochen» erfolgte nach dem gleichen Schema, nur bei der Anteilsberechnung wurde die oben genannte Besonderheit eingeführt.

Bei diesem Vorgehen sind der Trend, die Konjunktur und der Zufall weitgehend ausgeschaltet, so dass die eigentlichen Saisonschwankungen mit guter Genauigkeit ermittelt werden können.

## Ergebnisse

### *1. Bewertungsziffern für «normale» Wochen*

Für 1951 standen 41, für 1952 standen 42 «normale» Wochen zur Verfügung.

Die Untersuchung ergab, dass der Mittwoch der Tag mit der höchsten Erzeugung ist, der Donnerstag ihm aber praktisch kaum nachsteht, während der Dienstag und der Freitag bei der notwendigen Rundung auf die vertretbare Stellenzahl den Mittwochwert gerade noch erreichen (Tabelle I).

### *2. Bewertungsziffern für Feiertagswochen*

Von den 104 Wochen der Jahre 1951 und 1952 verbleiben für diese Gruppe insgesamt 21 Wochen.

*Bewertungsziffern für «normale» Wochen*

Tabelle I

| Wochentag | 1951 | 1952 | Durchschnitt 1951/52 |
|---|---|---|---|
| Montag | 0,95 | 0,95 | 0,95 |
| Dienstag | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Mittwoch | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Donnerstag | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Freitag | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Samstag | 0,89 | 0,90 | 0,89 |
| Sonntag | 0,65 | 0,65 | 0,65 |

Da noch verschiedene Kombinationen vorkommen, kann dem Ergebnis nicht die gleiche Sicherheit zukommen, wie für die «Normalwochen». Immerhin lässt sich folgendes sagen. Es sind zu bewerten:

*Als Sonntag* der Karfreitag, der 1. Mai und die Auffahrt;

*als Montag* alle Tage nach gesetzlichen Feiertagen, die im ganzen Bundesgebiet gelten, ferner Peter und Paul, Mariä Himmelfahrt und Gründonnerstag;

*mit 0,57 (Hochfeiertag)* Ostersonntag und -Montag, Pfingstsonntag und -Montag, Weihnachtstag, Stephanstag und Neujahr;

*mit 0,75 (Regionalfeiertag)* Buss- und Bettag, Fronleichnam, Allerheiligen (ausser wenn auf Sonntag fallend), Heilige Drei Könige (ausser wenn auf Sonntag fallend), Karsamstag, sowie der 24. und der 31. Dezember (ausser wenn auf Sonntag fallend).

Einige Sonderfälle (z. B. 1. Mai und Auffahrt in der gleichen Woche oder Weihnachten an einem Dienstag) seien hier nicht angeführt, da die Ergebnisse kaum als gesichert gelten dürften.

### *3. Bewertung der Monate in Normalarbeitstagen*

Schliesslich wurden auf Grund der gewonnenen Bewertungsziffern für die einzelnen Tage die Monate der Jahre 1949 bis 1954 in Normalarbeitstage (Mittwoch = 1) bewertet. Das Ergebnis ist aus Tabelle II ersichtlich.

*Anzahl der Normalarbeitstage der Jahre 1949...1954*

Tabelle II

| Monat | 1949 | 1950 | 1951 | 1952 | 1953 | 1954 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Januar | 27,9 | 28,2 | 28,3 | 28,5 | 28,2 | 27,6 |
| Februar | 26,0 | 26,0 | 26,0 | 27,0 | 26,0 | 26,0 |
| März | 29,0 | 29,0 | 27,8 | 28,5 | 28,6 | 28,9 |
| April | 26,8 | 26,5 | 27,6 | 26,9 | 26,9 | 26,9 |
| Mai | 28,2 | 27,6 | 27,4 | 28,0 | 27,2 | 27,8 |
| Juni | 27,2 | 27,7 | 27,8 | 26,8 | 27,7 | 27,2 |
| Juli | 28,5 | 28,5 | 28,6 | 29,0 | 29,0 | 28,8 |
| August | 28,9 | 28,9 | 28,9 | 28,5 | 28,5 | 28,6 |
| September | 28,0 | 27,8 | 27,5 | 27,9 | 28,0 | 28,0 |
| Oktober | 28,4 | 28,6 | 28,9 | 29,0 | 28,8 | 28,5 |
| November | 27,5 | 27,5 | 27,5 | 27,1 | 27,3 | 27,4 |
| Dezember | 27,7 | 26,4 | 26,9 | 27,3 | 27,7 | 27,7 |
| Jahr | 334,1 | 332,7 | 333,2 | 334,5 | 333,9 | 333,4 |

## Anwendungen

Wendet man die so gewonnenen Bewertungsziffern auf die monatliche Energieerzeugung der Jahre 1951, 1952 und 1953 an, dividiert man also die Erzeugung eines Monats durch die Anzahl seiner Normalarbeitstage, so wird die Bedeutung für die

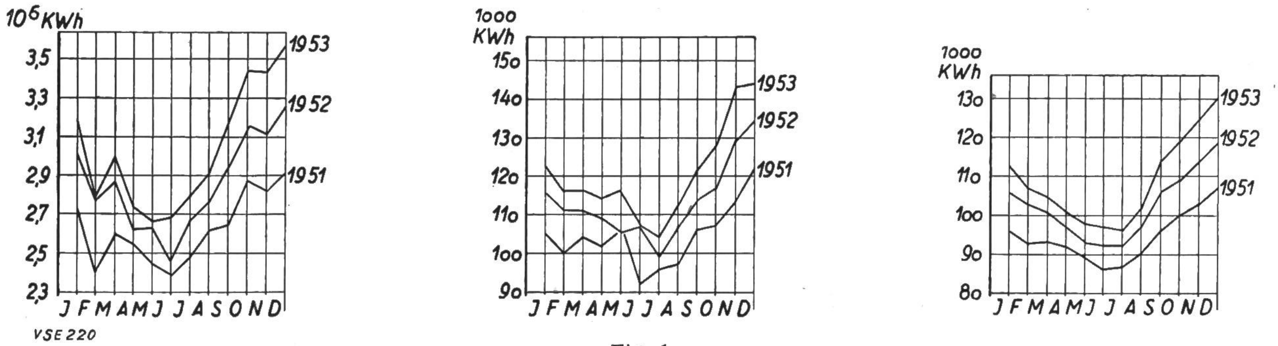


Fig. 1

**Wirkung der Anwendung von Bewertungsziffern auf den Saisonverlauf der Energieerzeugung im Bundesgebiet 1951 bis 1954**

*Links:* Monatliche Energieerzeugung; *Mitte:* Energieerzeugung pro Arbeitstag; *Rechts:* Energieerzeugung pro «Normalarbeitstag».

Praxis sofort klar, wenn man die vergleichende Darstellung von Fig. 1 betrachtet.

Die Stärke des Einflusses der verschiedenen Monatslängen und der Lage der Feiertage auf die monatliche Energieerzeugung veranschaulicht Tabelle III. Darin sind 3 Kolonnen enthalten:

Kolonne 1: Monatliche Zunahme der Energieerzeugung 1952 gegenüber 1951.

Kolonne 2: Zunahme der Energieerzeugung pro Arbeitstag für die einzelnen Monate 1952 gegenüber 1951 (Arbeitstage nach Statistischem Bundesamt).

Kolonne 3: Zunahme der Energieerzeugung pro «Normalarbeitstag» für die einzelnen Monate 1952 gegenüber 1951.

*Einfluss der Monatslängen und Feiertage auf die Stromerzeugung*

Tabelle III

| | Zunahme der Erzeugung 1952 gegenüber 1951 in % | | |
|---|---|---|---|
| | monatlich 1 | pro Arbeitstag 2 | pro «Normalarbeitstag» 3 |
| Januar | 10,4 | 10,4 | 9,8 |
| Februar | 15,3 | 10,8 | 11,0 |
| März | 10,9 | 6,6 | 8,6 |
| April | 2,9 | 7,3 | 9,2 |
| Mai | 7,3 | 1,1 | 4,8 |
| Juni | 2,9 | 16,3 | 6,8 |
| Juli | 7,5 | 3,5 | 6,0 |
| August | 6,0 | 10,1 | 7,6 |
| September | 11,6 | 7,4 | 10,0 |
| Oktober | 9,8 | 9,7 | 9,6 |
| November | 10,2 | 14,8 | 11,6 |
| Dezember | 11,6 | 7,2 | 11,0 |

Hier nur ein Beispiel zur Erläuterung:

Die Zunahme der Erzeugung im April 1952 gegenüber April 1951 beträgt nur 2,9 %, was im Vergleich zu den andern Monaten auffallend wenig ist. Tatsächlich enthielt aber der April 1952 die Kar- und Osterwoche, während diese Feiertage 1951 auf den Monat März fielen. Der korrigierte Wert von Kolonne 3 zeigt, dass die Zunahme im April sich in Wirklichkeit im Rahmen der übrigen Monate hielt.

Es ist klar, dass die hier gewonnenen Bewertungsziffern nur für das durch die Untersuchung erfasste Gebiet Geltung haben können. Für Teilgebiete oder für andere Länder mit andern Sitten und mit einer verschiedenen Struktur des Verbrauches müssen diese Ziffern stets neu ermittelt werden.

## Zuverlässigkeit von Stichproben

Untersuchungen im Umfang der vorliegenden sind langwierig und erfordern einen sehr hohen Arbeitsaufwand. Es ist darum naheliegend, zu ermitteln, wie hoch der Zeitbedarf gewesen wäre, wenn statt der ganzen Untersuchung eine Stichprobe beschränkten Umfanges durchgeführt worden wäre, und wie das Ergebnis dann ausgefallen wäre.

Der Verfasser hat diese Berechnung durchgeführt. Hat die Uruntersuchung zur Ermittlung der Tagesbewertungsziffern für normale Wochen die Durchführung von über 51 000 Arbeitsgängen erfordert, was bei einem achtstündigen Arbeitstag einem Gesamtaufwand von gut 50 Arbeitstagen gleichkommt, so waren für eine Stichprobe über 60 Tage nur rund 8500 Arbeitsgänge, entsprechend 10 Arbeitstage erforderlich. Dass dabei die 60 Tage nach dem Zufallsprinzip mit Hilfe einer Zufallszahlentabelle ausgewählt wurde, sei nur nebenbei erwähnt.

Das Ergebnis der Stichprobe ist in Tabelle IV enthalten, die jeden Kommentar überflüssig macht.

*Vergleich der Ergebnisse (Bewertungsziffern) bei der Untersuchung und bei einer Stichprobe*

Tabelle IV

| Wochentage | Uruntersuchung | Stichprobe |
|---|---|---|
| Montag | 0,95 | 0,95 |
| Dienstag bis Freitag | 1,00 | 1,00 |
| Samstag | 0,89 | 0,89 |
| Sonntag | 0,65 | 0,65 |

Angesichts dieser erheblichen Arbeitsersparnis bei gleichen Ergebnissen erscheint es einer ernsten Prüfung wert, ob sich nicht auch andere Probleme der Elektrizitätswerke unter Verwendung des Stichprobenverfahrens mit tragbarem Arbeits- und Geldaufwand lösen lassen.

Dieser Auffassung des Verfassers möchte sich der Referent anschliessen und sie kräftig unterstreichen.

*(Mo.)*

**Redaktion der «Seiten des VSE»:** Sekretariat des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke, Seefeldstrasse 301, Zürich 8, Telephon (051) 34 12 12, Postcheckkonto VIII 4355, Telegrammadresse: Electrunion, Zürich.
**Redaktor:** *Ch. Morel*, Ingenieur.
Sonderabdrucke dieser Seiten können beim Sekretariat des VSE einzeln und im Abonnement bezogen werden.