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

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 71 (1980)

Heft: 3

Artikel: Ein Tarifapparat zur kontinuierlichen Bewertung der beanspruchten elektrischen Leistung

Autor: Spälti, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-905221

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: 08.08.2025

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

Ein Tarifapparat zur kontinuierlichen Bewertung der beanspruchten elektrischen Leistung

Von A. Spälti

621.317.78

Es wird ein Tarifzähler beschrieben, dessen Einsatz insbesondere bei stark elektrifizierten Haushaltungen, in der Landwirtschaft und im Kleingewerbe gesehen wird. Unter Verwendung eines Mikroprozessors wird ein Leistungsmittelwert bestimmt, welcher das Verbrauchsverhalten über die ganze Verrechnungsperiode berücksichtigt. Dieser Leistungsmittelwert steht in direkter Beziehung zum Formfaktor und zum Effektivwert des Leistungs-Zeit-Diagramms. An einem konkreten Beispiel wurde er neben der konventionellen Maximalleistung in Funktion verschiedener Parameter ermittelt.

Description d'un compteur dont l'emploi est prévu surtout pour des ménages très électrifiés, en agriculture et dans de petites entreprises. Un microprocesseur permet de déterminer une valeur moyenne de la puissance, tenant compte du mode de consommation durant toute la période de décompte. Cette moyenne est en relation directe avec le facteur de forme et la valeur effective du diagramme puissance/temps. Dans un cas concret, elle a été déterminée à côté de la puissance maximale conventionnelle en fonction de divers paramètres.

1. Einleitung

Die Rechnung für elektrische Energie an Gross- und Mittelverbraucher setzt sich in der Regel aus den beiden Komponenten Energie und Leistung zusammen. Damit versucht das Elektrizitätswerk (EW), seiner Kostenstruktur möglichst Rechnung zu tragen. Am unteren Ende der Verbrauchsskala befinden sich die nicht voll elektrifizierten Haushaltungen. Dazwischen liegt die Gruppe von Kleingewerbe, Landwirtschaft und vollelektrifizierten Haushaltungen, von denen auch heute zum grossen Teil nur der Verbrauch gemessen wird. Die Verbrauchsgewohnheiten dieser Kundenkategorie sind aber von grosser Bedeutung für die Elektrizitätswirtschaft. Die EW haben deshalb Interesse an einem einfachen Tarifapparat, der es ermöglicht, die Energieverrechnung auch von dieser Verbrauchergruppe besser an die Kostenstruktur anzupassen. Im folgenden wird ein unter Verwendung modernster elektronischer Technologien gebauter Tarifapparat vorgestellt, der diese Lücke ausfüllen kann. Dabei kommt eine neue Leistungsgrösse – Mittelwert statt Maximalwert – zur Anwendung [1].

2. Problemstellung

Die Tarifgestaltung hat u.a. zum Ziel, die Energieverbraucher zu einer zeitlich konstanten Leistungsbeanspruchung anzuhalten. Dies geschieht heute entweder mit zeitabhängigen Energiepreisen (Doppel- und Dreifachtarif) oder mit direkter Verrechnung der Leistungsbeanspruchung (Maximum- und Überverbrauchtarif).

Für die Beurteilung des Lastverhaltens und der Wirksamkeit von tariflichen Massnahmen ist von der Lastkurve $P = f(t)$ auszugehen (z.B. Fig. 5). Aus der Gesamtheit der täglichen Belastungsdiagramme während einer Verrechnungsperiode (z.B. einem Monat) wird zweckmässigerweise die Leistungsdauerlinie gebildet, indem man die Leistungen in festen, relativ kurzen Zeitabständen feststellt und anschliessend in der Reihenfolge ihrer Grösse in einem neuen Leistungs-Zeit-Diagramm aufträgt (Fig. 1). Das Leistungs-Zeit-Integral, welches den Energieverbrauch darstellt, ist in beiden Darstellungen identisch.

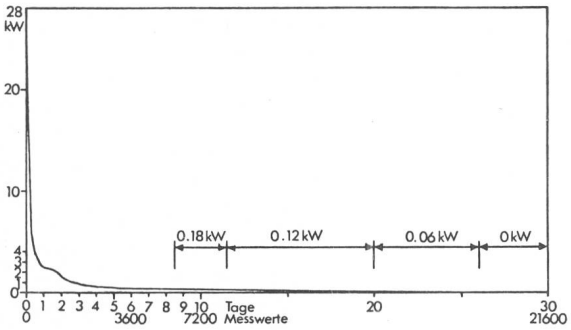

Fig. 1 Leistungsdauerlinie
Beispiel von Abschnitt 9: 2-min-Integrationsperiode

2.1 Heute übliche Leistungstarife

Im Vordergrund steht der Maximumzähler. Er misst die Energie über eine feste Integrationsperiode, z.B. 15 min. Der über eine Verrechnungsperiode festgestellte Höchstwert wird festgehalten und dient zur Rechnungstellung. Damit sind folgende Probleme verbunden:

– Der Leistungshöchstwert muss am Ende der Verrechnungsperiode entweder von Hand oder durch einen Kumuliervorgang zurückgestellt werden. Mit dem Ablesezeitpunkt ist das EW nicht mehr frei wie beim Ablesen des kWh-Zählwerkes. Eine gewisse Erleichterung bringt das Kumulativ-Maximumzählwerk, jedoch mit zusätzlichem Aufwand.

– Bei 15minütiger Integrationsperiode und monatlicher Rückstellung sind 2880 Messwerte zu ermitteln. Von diesen wird nur einer, nämlich der höchste, für die Verrechnung verwendet; alle anderen bleiben unberücksichtigt. Der Maximumtarif hat sicher eine Berechtigung für grössere Verbraucher, welche in der Regel einen eigenen Speisetransformator und eine eigene Zuleitung haben, deren technische Daten eben durch die Spitzenleistung weitgehend bestimmt wird. Von den mittleren Verbrauchern ist hingegen eine ganze Anzahl an einen gemeinsamen Verteiltransformator angeschlossen, dessen Grösse durch den Gleichzeitigkeitsfaktor der Teilbelastungen gegeben ist. Die Verrechnung der Spitzenleistung erscheint deshalb dem Verbraucher ungerecht und ist auch für das EW unbefriedigend. Wie Fig. 2 zeigt, haben Verbraucher mit gänzlich unterschiedlichem Verhalten den gleichen Rechnungsbetrag zu begleichen, sofern die Spitzenleistung und der Energieverbrauch identisch sind. Beim Maximumtarif sucht man gelegentlich die Härte des Zufalls, der in der Verwendung einer einzigen Integrationsperiode stecken mag, zu dämpfen, indem zur Verrechnung der Mittelwert der Maxima über mehrere Ableseperioden herangezogen wird.

Neuerdings werden auch Leistungstarife auf Festmengenbasis gebildet, wobei die mittlere Leistung aus der Zeit berechnet wird, innerhalb welcher eine Energiefestmenge verbraucht

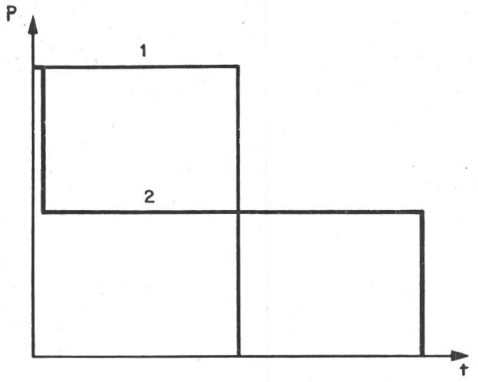

Fig. 2 Maximumtarif
Gleiche Kosten bei stark verschiedener Verbrauchsstruktur
1 und 2

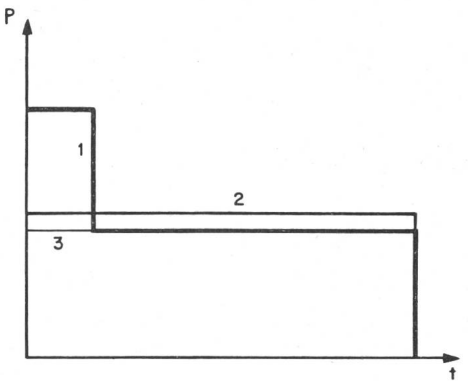

Fig. 3 Überverbrauchtarif
Verbraucher 1 und 2 werden gleich fakturiert
3 Überverbrauchsgrenze

wird. Die oben erwähnten Probleme bleiben aber bestehen [2...5].

Beim Überverbrauchtarif wird die Energie auf zwei Zählwerken registriert, wovon das eine den Gesamtverbrauch anzeigt und das andere nur diejenige Energie, die über einer bestimmten Leistungsgrenze bezogen worden ist. Dieser Tarif bietet bezüglich Ableseintervall jede Freiheit, weil er keine Rückstelloperation verlangt. Er hat aber andere Nachteile:

Die Registriergrenze wird durch Vereinbarung zwischen Abnehmer und Lieferant festgelegt. Bei Änderung der tariflichen Ansätze oder der Verbrauchsgewohnheiten kann der Verbraucher eine Änderung dieser Leistungsgrenze fordern. Das erfordert für das EW einen relativ aufwendigen Eingriff in den Zähler. Zudem werden auch hier Verbraucher mit ganz verschiedenen Verbrauchsgewohnheiten, die sich für das EW sehr unterschiedlich auswirken können, finanziell gleich behandelt, sofern ihr Gesamtverbrauch und Überverbrauch identisch sind (Fig. 3).

2.2 Zielvorstellungen für einen verbesserten Leistungstarif

Zur Vermeidung der genannten Nachteile und Erhaltung des Hauptzieles, nämlich den Verbraucher zum Energiebezug bei konstanter Leistung zu veranlassen, sind an einen verbesserten Leistungstarifapparat folgende Forderungen zu stellen:

2.2.1 Der Verbraucher erhält dann den niedrigsten Energiepreis je kWh, wenn er seine Energie bei konstanter Leistung bezieht.

2.2.2 Die Rechnungstellung soll nicht vom Verhalten während einer im Vergleich zur ganzen Berechnungsdauer sehr kleinen Zeitperiode oder vom Überschreiten einer festen Grenze abhängig sein; es ist hierfür das Verhalten während der ganzen Benutzungsdauer heranzuziehen.

2.2.3 Der Tarif soll keine festen Ableseperioden erfordern. Ähnlich wie beim kWh-Zählwerk soll auch das «Leistungszählwerk» eine Ablesung zu jedem beliebigen Zeitpunkt ermöglichen.

2.2.4 Die Rückstell- und Plombieroperation sowie das Einstellen von Grenzen sind zu vermeiden.

2.2.5 Die Erfassung des Leistungsverhaltens soll zeitweise abschaltbar sein, um dem Verbraucher einen Anreiz zur Lastverschiebung in Schwachlastzeiten zu geben.

Für das EW brächte ein derartiger Tarif den Vorteil, dass die Ermittlung der Leistungsinformation (kW) auf die gleiche Weise geschieht wie die Ermittlung der Energieinformation (kWh): durch Ablesung eines stets aufaddierenden Zählwerks. Insbesondere wäre keine Spezialausbildung des Personals für die Bedienung komplizierter Apparate erforderlich.

3. Grundgedanke zur Problemlösung

Ausgangspunkt bildet ein Sendezähler nach Fig. 4. Neben dem bekannten kWh-Zählwerk Z_1 enthält das Gerät einen Mikroprozessor, welcher mit dem Sendekontakt verbunden ist, an dessen Ausgang über eine Leistungsstufe ein mechanisches Zählwerk Z_2 betätigt wird.

Die Bedeutung der Anzeige von Z_2 und deren Herleitung soll mit Fig. 5 erklärt werden. Zur Zeit t_1, $t_2 ... t_i ... t_n$, immer dann, wenn wieder eine Energie-Festmenge E_0 bezogen worden ist, erfolgt eine Impulsgabe durch den Sendekontakt an den Mikroprozessor. Dieser entnimmt der Netzfrequenz die Zeitinformation und misst die Zeit $\Delta t_i = (t_i - t_{i-1})$ zwischen zwei Impulsen. Damit lässt sich die mittlere Leistung im Zeitintervall berechnen:

$$P_i = E_0/\Delta t_i \qquad (1)$$

Im Mikroprozessor wird der Reziprokwert von Δt_i gebildet und mit E_0 multipliziert. Das Resultat ist P_i; das Zählwerk Z_2 wird mit einem Schrittmotor um einen proportionalen Betrag vorgeschoben.

Von diesen Leistungswerten P_i bildet man am Ende der Verrechnungsperiode das arithmetische Mittel P_E.

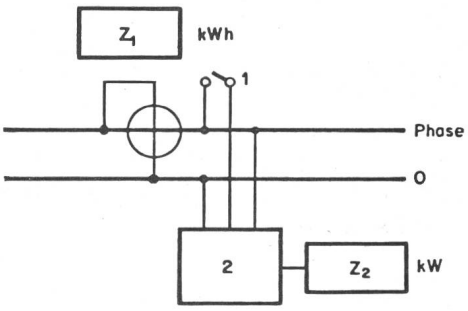

Fig. 4 Blockschema des Tarifgerätes
1 Sendekontakt
2 Mikroprozessor
Z_1 kWh-Zählwerk
Z_2 kW-Zählwerk

$$P_E = \frac{\text{Summe der mittleren Leistungen pro Energiefestmenge}}{\text{Anzahl Energiefestmengen}}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i}{n} \tag{2}$$

Die Anzahl n der Energie-Festmengen pro Verrechnungsperiode ist gegeben durch

$$n = E_T/E_0 \tag{3}$$

Durch Einsetzen von Gl. (3) in Gl. (2) folgt

$$P_E = \frac{E_0 \sum_{i=1}^{n} P_i}{E_T} \tag{4}$$

Zähler und Nenner von Gl. (4) beinhalten physikalische Grössen, die allgemein als Produkt der beiden Faktoren «Zahlenwert» und «Einheit» darstellbar sind [6].

$$E_0 \sum_{i=1}^{n} P_i = Z_2\,\text{kW}^2\text{h} \tag{4a}$$

$$E_T = Z_1\,\text{kWh} \tag{4b}$$

Nachdem die Einheit kWh sowohl im Zähler wie im Nenner von Gl. (4) erscheint, kann sie gekürzt werden, und es wird

$$P_E = Z_2/Z_1\,\text{kW} \tag{5}$$

Der Einfachheit halber spricht man hier von den Zählwerkanzeigen Z_1 und Z_2; gemeint sind dabei die Zählwerkvorschübe zwischen Beginn und Ende der Verrechnungsperiode.

Setzt man in Gl. (5) für $Z_1 = 1$ (Verbrauch von 1 kWh), so wird die entsprechende Leistung $P_E = Z_2$ kW. P_E lässt sich in Worten also wie folgt erklären:

Für jede verbrauchte Kilowattstunde wird die zugehörige Leistung in kW bestimmt und in kleinen Schritten auf das Zählwerk Z_2 übertragen. Zur Verrechnung gelangt der Durchschnittswert P_E, welcher dadurch erhalten wird, dass man den Vorschub von Z_2 durch die Anzahl der verbrauchten Kilowattstunden, d.h. den Vorschub von Z_1, dividiert.

Diese Erklärung basiert auf den bekannten Grössen kWh, kW und dem Begriff «Durchschnitt». Sie sollte einem grösseren Kreis von Energieverbrauchern verständlich gemacht werden können.

4. Mathematische Zusammenhänge

4.1 Die Integralform von P_E

Durch Einsetzen von (1) in (4) erhält man

$$P_E = \frac{1}{E_T} \sum_{i=1}^{n} P_i^2\,\Delta t_i \approx \frac{1}{E_T} \int_0^T P^2\,dt \tag{6}$$

$$\text{Mit } E_T = \int_0^T P\,dt \tag{7}$$

kann sodann geschrieben werden:

$$P_E = \frac{\int_0^T P^2\,dt}{\int_0^T P\,dt} \tag{8}$$

was sich mit den in der Statistik gebräuchlichen Begriffen ausdrücken lässt als

$$P_E = \frac{\text{2. statistisches Moment von } P(t)}{\text{1. statistisches Moment von } P(t)}$$

Über die Genauigkeit der Annäherung der Summe an das Integral in (6) orientiert folgende Überlegung: Es handle sich z.B. um die Messung eines Haushalts mit einem Monatsverbrauch von 500 kWh und einem Zähler 3 × 220/380 V, 10(60) A. Die Festmenge betrage 0,01 kWh, was ca. 1 Rotorumdrehung pro Impuls bedeutet. Damit setzt sich die Summe aus 50000 Summanden zusammen, so dass eine gute Annäherung des Summenwertes an den Integralwert erwartet werden darf.

4.2 Leistungs-Energie- und Leistungs-Zeit-Mittelwert

Aus den Formeln (7) und (8) erhält man durch Substitution von T

$$P_E = \frac{\int_0^{E_T} P\,dE}{E_T} \tag{9}$$

P_E ist also die über die Energie gemittelte Leistung der Funktion $P = f(E)$. Diese Interpretation ist auf Grund von Fig. 6 leicht zu verstehen, wo gegenüber Fig. 5 die Abszisse derart gedehnt bzw. komprimiert ist, dass gleichen Energiemengen gleiche Abszissenabschnitte zugeordnet sind. Die Abszisse erhält damit die Dimension Energie.

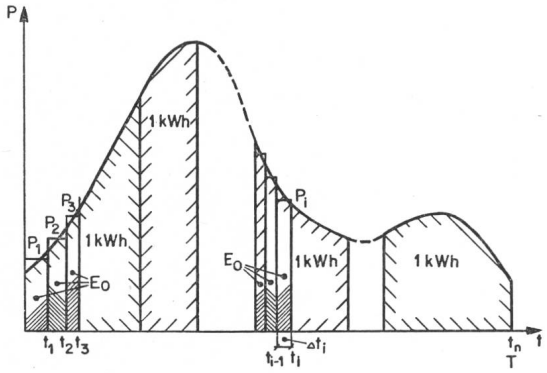

Fig. 5 Leistungs-Zeit-Diagramm eines Verbrauchers

P Leistung
t Zeit
T Ableseperiode (Verrechnungsperiode)
E_0 Energiefestmenge in kWh
E_T Energieverbrauch während der Verrechnungsperiode
n Anzahl Energiefestmengen pro Verrechnungsperiode

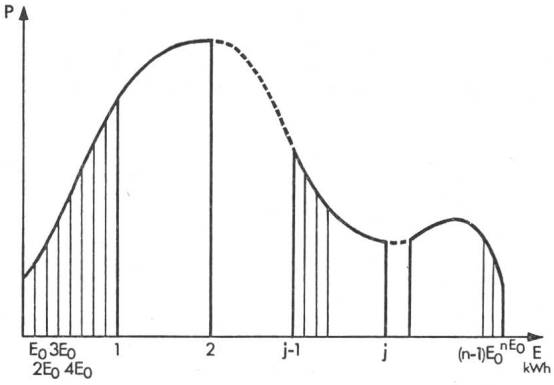

Fig. 6 Leistungs-Energie-Diagramm eines Verbrauchers
Bezeichnungen wie in Fig. 5

Für die Umschreibung von P_E erscheinen folgende Ausdrücke sinnvoll:

- über die Energie gemittelte Leistung
- Energiemittelwert der Leistung
- Leistungs/Energie-Mittelwert
- Leistungsmittelwert P_E

Als Analogon ergibt sich die über die Zeit gemittelte Leistung aus Gl. (7):

$$P_T = E_T/T \tag{10}$$

- über die Zeit gemittelte Leistung
- zeitlicher Mittelwert der Leistung
- Leistungs/Zeit-Mittelwert
- Leistungsmittelwert P_T

4.3 Formfaktor der Leistungs-Zeit-Funktion und Effektivwert der Leistung

Durch Quotientenbildung von Gl. (8) und (10) folgt:

$$P_E/P_T = T \frac{\int_0^T P^2 \, dt}{\left[\int_0^T P \, dt\right]^2} = K_F^2 \tag{11}$$

K_F ist der von anderen Wechselstromgrössen her bekannte Formfaktor (Effektivwert zu Mittelwert) der Lastkurve und ist immer $\geqq 1$.

Aus Gl. (8) lässt sich auch der Effektivwert der Leistung über die Verrechnungsperiode berechnen zu

$$P_{eff} = \sqrt{P_E \cdot P_T} \tag{12}$$

Anstelle von P_E könnte als Kriterium für den Leistungsbeitrag in der Tarifformel (18) auch P_{eff} herangezogen werden, was ebenfalls zu sinnvollen Ergebnissen führt und die Zielvorstellungen in ähnlicher Weise erfüllt.

Bezeichnet man mit P_{max} den Höchstwert der Funktion $P = f(t)$, so ist ganz allgemein:

$$P_{max} > P_E > P_{eff} > P_T \tag{13}$$

4.4 P_E-Ermittlung nach der Integrationsperioden-Methode

Aus Gl. (8) lässt sich ableiten:

$$P_E \approx \frac{\sum_1^T P_t^2 \, \Delta t}{E_T} = \frac{\Delta t}{E_T} \sum_1^T P_t^2 \tag{14}$$

Dies bedeutet, dass der Leistungs-Zeit-Mittelwert von P über die konstante Integrationszeit Δt zu bestimmen ist, wie beim Maximumzähler. Der Mikroprozessor muss diesen Wert quadrieren und die Ergebnisse aufaddieren.

Eine eingehendere Untersuchung sowie praktische Messungen (vgl. Abschnitt 9) zeigen, dass zur Erreichung einer befriedigenden Annäherung an den Integralwert nach Gl. (8) mit sehr kurzen Integrationsperioden und hohen Impulsfrequenzen des Sendezählers gearbeitet werden muss. Die eingangs beschriebene Festmengenmethode ist deshalb zweckmässiger.

5. Vorschlag für eine Tarifformel

Die Tarifformel soll der Kostenstruktur der Energielieferung möglichst gerecht werden. Demzufolge sollte sie die folgenden drei Komponenten K_1, K_2 und K_3 aufweisen:

$$K_1 = aT \tag{15}$$

K_1 ist der Fixanteil der Energierechnung, a ein Proportionalitätsfaktor und T die Ableseperiode. Dieser Anteil soll die Verzinsung der Anschlusskosten (u.a. Zählermiete) und einen Anteil an die übrigen Anlagekosten des EW abdecken.

$$K_2 = bE_T = bTP_T \tag{16}$$

K_2 ist der Verbrauchsanteil der Energierechnung, b ein Proportionalitätsfaktor, E_T der Energieverbrauch in kWh und P_T die mittlere Leistung, berechnet nach Gl. (10). Dieser Anteil deckt beispielsweise die Brennstoffkosten eines thermischen Kraftwerkes.

$$K_3 = cTP_E \tag{17}$$

K_3 ist der Leistungsanteil der Energierechnung, c ein Proportionalitätsfaktor und P_E der Leistungs-Energie-Mittelwert nach Gl. (4).

Damit ergeben sich für die Gesamtkosten

$$K_{Tot} = K_1 + K_2 + K_3 = aT + bE_T + cTP_E \tag{18}$$

Unter Verwendung der Zählwerkablesungen Z_1 und Z_2 sowie Gl. (4b) und (5) lautet diese Gleichung:

$$K_{Tot} = aT + b(Z_1 \, \text{kWh}) + cT\left(\frac{Z_2}{Z_1} \, \text{kW}\right) \tag{19}$$

Diese Formel ist im Prinzip gleich aufgebaut wie diejenige, welche heute für den Maximumtarif zur Anwendung gelangt. Sicher können unter Verwendung der neu eingeführten Grösse P_E noch andere Tarifformeln gebildet werden. Dabei ist aber darauf zu achten, dass die Transparenz und die Einfachheit erhalten bleiben.

6. Ergebniskontrolle: Vergleich mit den Zielvorstellungen

Es soll nun überprüft werden, inwieweit die in Abschnitt 2 genannten Ziele erreicht worden sind. Die folgenden Überlegungen zeigen, dass mit Ausnahme der beliebigen Ableseperioden alle Forderungen erfüllt sind.

Zu 2.2.1 Energiepreis je kWh: Nachdem K_1 (Gl. 15) unabhängig vom Energiebezug ist, kann es hier weggelassen werden. Es gilt:

$$K_2 + K_3 = bE_T + cTP_E = bE_T(1 + cP_E/bP_T) \tag{20}$$

Der Energiepreis steigt also mit zunehmendem Formfaktor K_F. Dieser wächst mit der Unregelmässigkeit der Lastkurve. Den Minimalwert von 1 erreicht er nur bei konstanter Last.

Zu 2.2.2 Zeitintervall und Grenzen: Der Wert P_E wird kontinuierlich durch den Energiebezug während der ganzen Verrechnungsperiode beeinflusst. Der Begriff Grenzen wird gar nicht gebraucht.

Zu 2.2.3 Ableseperioden: Der Grundpreis nach Gl. (15) und die Arbeitsgebühr nach Gl. (16) können bekanntlich unabhängig vom Zeitpunkt der Zählerablesung korrekt verrechnet werden. Es stellt sich die Frage, ob für den Leistungsbeitrag (17) allgemein geschrieben werden darf

$$T \cdot P_E = T_1 P_{E1} + T_2 P_{E2} \tag{21}$$

Dabei ist $T = (T_1 + T_2)$, P_{E1} der Leistungsmittelwert über die Periode T_1 und P_{E2} über T_2. Unter Verwendung der Gl. (7) und (8) folgt aus (21):

$$\frac{T}{E_T} \int_0^T P^2 \, dt = \frac{T_1}{E_{T1}} \int_0^{T_1} P^2 \, dt + \frac{T_2}{E_{T2}} \int_{T_1}^T P^2 \, dt \tag{22}$$

Fig. 7 Drehstrom-Vierleiterzähler mit Tarifgerät EKC1

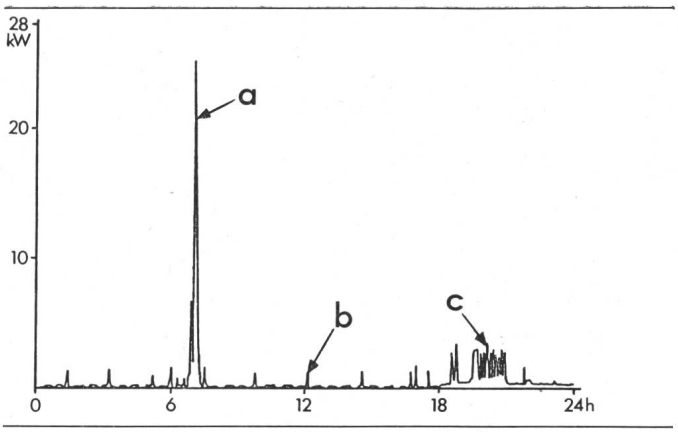

Fig. 8 Lastkurve mit typischen Verbrauchern
a Durchlauferhitzer 10,5/21 kW
b Kleinspeicher 2 kW
c Backofen 26 kW
Weitere Geräte: Direktheizgeräte 4×2 kW, Kochplatten 2 kW, 2,5 kW, Geschirrspülmaschine 3,3 kW

mit E_{T1} dem Energieverbrauch während T_1 und E_{T2} während T_2. Diese Gleichung ist nur dann erfüllt, wenn $T/E_T = T_1/E_{T1} = T_2/E_{T2}$ oder mit Gl. (10)

$$P_T = P_{T1} = P_{T2} \tag{23}$$

Der Leistungsbeitrag ist also nur dann unabhängig von der Verrechnungsperiode, wenn der Leistungs-Zeit-Mittelwert während den einzelnen Teilperioden gleich gross ist.

Wenn auch sprunghafte Änderungen der Verbrauchsgewohnheiten nicht die Regel sind, so verlangt die vorgeschlagene Tarifformel doch praktisch feste Ableseperioden. Der Wunsch nach Freiheit im Ableserhythmus ist aber wohl derjenige, der von den Wunschzielen aus der Sicht der EW am wenigsten Gewicht hat. Von Verbraucherseite wird ohnehin eine Fakturierung in regelmässigen Zeitabständen gewünscht.

Zu 2.2.4 Rückstellung: Eine Rückstellung, Plombierung oder Grenzeneinstellung ist nicht erforderlich.

Zu 2.2.5 Abschaltbarkeit während Schwachlast: Durch einen Zusatzkontakt in Serie zum Sendekontakt (Fig. 4) kann die Tariffunktion zeitlich unterbrochen werden. Beim Doppeltarif würde zweckmässigerweise die ganze Speisung der Tarifeinrichtung mit dem Doppeltarif-Umschaltelement parallelgeschaltet werden.

7. Ausführung der ersten Apparateserie

Dem Konzept der ersten Apparateserie, von welcher Prototypen an der Ineltec 1979 gezeigt worden sind, wurden folgende Kriterien zugrunde gelegt:

– Da es sich um eine vollständig neue Tarifform handelt, mit welcher noch keine praktischen Erfahrungen vorliegen, ist zu erwarten, dass die EW vorerst mit einer beschränkten Zahl von Apparaten einen Versuchsbetrieb durchführen wollen. Die rasche Bereitstellung solcher Apparate unter Verwendung bekannter und bewährter Komponenten hat deshalb Priorität vor einer durchrationalisierten Seriefertigung.

– Der Mikroprozessor soll in einem auf dem Klemmendeckel montierten Zusatzgehäuse untergebracht werden, so dass der eigentliche Zähler praktisch unverändert bleibt. Die bisherigen Gepflogenheiten bzw. gesetzlichen Vorschriften betreffend Revisionsintervalle lassen sich somit unverändert weiter anwenden. Der bezüglich Lebensdauer noch unbekannte Elektronikteil lässt sich im Störungsfall leicht ersetzen und macht keine neue Beglaubigung des Zählers erforderlich.

– Der Wartungsfreiheit ist grösstes Gewicht beizumessen; insbesondere ist auf die Verwendung einer Batterie zu verzichten. Zur Anzeige wird deshalb ein mechanisches Zählwerk verwendet. Damit ist auch die Informationsspeicherung bei Spannungsausfall gesichert.

Fig. 7 zeigt einen Drehstrom-Vierleiterzähler mit einem auf dem Klemmendeckel montierten Tarifgerät. Daneben ist dieses Tarifgerät ohne Gehäuse zu sehen.

Der Zählerableser hat nur den Stand der Zählwerke und das Datum festzuhalten. Alle übrigen Funktionen, wie Ermittlung der Zählwerk-Vorschübe und der Zeit seit der letzten Ablesung, werden der zentralen Datenverarbeitung des EW zugeordnet.

Nachdem Zähler in der Regel nach der von ihnen ausgeführten Funktion oder nach der von ihnen gemessenen Grösse benannt werden, kämen folgende Bezeichnungen in Frage: Leistungs-Energieintegrator oder Leistungssummenzähler oder auch Leistungssummierer. Der damit gebildete und beschriebene Tarif könnte Leistungsmittelwerttarif oder einfach Mittelwerttarif genannt werden.

8. Ermittlung der Tarifkoeffizienten vor der Einführung des neuen Tarifs

Während die EW aus ihrer Praxis über genügend Informationen für die Bemessung des Grundpreises und des Arbeitspreises verfügen, besteht vorerst Unklarheit über die zweckmässige Festsetzung des Koeffizienten c für die Leistungskomponente in der Tarifformel Gl. (19). Aus der Tatsache, dass P_E in der Regel kleiner ist als das konventionelle «Maximum» P_{max}, kann man schliessen, dass dieser Koeffizient (z.B. angegeben in Fr./kW und Monat) beim neuen Tarif grösser sein muss, um einen gleich grossen Leistungspreis zu erhalten wie beim Maximumtarif.

In den Fällen, wo über eine bestimmte Verbraucherkategorie bereits Erfahrungen mit dem Maximumtarif vorliegen und wo dieser durch den neuen Mittelwerttarif ersetzt werden soll, kann durch Serie-Parallelschaltung beider Apparate wäh-

rend einer gewissen Betriebszeit der richtige Koeffizient c aus den beiden Leistungsanzeigen ermittelt werden.

Für die Ermittlung der Belastungskurve bzw. der Leistungsdauerlinie können bestehende Apparate verwendet werden.

9. Auswertung der Belastungskurve eines stark elektrifizierten Haushaltes

Der erfasste Haushalt ist mit Kochherd, Geschirrspülmaschine, Direktheizgeräten (als Zusatz zu einer Fernwärmeversorgung) und Warmwassergeräten (Kleinspeicher und Durchlauferhitzer) ausgestattet (Fig. 8). Das Leistungsprofil stand als Messreihe von Leistungswerten mit 2-min-Integrationsperiode für den Monat September 1978 zur Verfügung. Pro Tag wurden 720 Leistungswerte (total 21 600 Leistungswerte) auf Datenfiles eines Computers übernommen. Fig. 1 zeigt die entsprechende Leistungsdauerlinie.

Es wurde die *Maximalleistung* P_{max} in Funktion der Integrationsperiode ermittelt (Fig. 9). Nachdem das Leistungsprofil ausgesprochen kurzzeitige Spitzen aufweist, ist es verständlich, dass P_{max} mit zunehmender Integrationsperiode stark absinkt.

P_E *in Funktion der Energie-Festmenge* E_0 ist in Fig. 10 mit logarithmischem Abszissenmaßstab dargestellt. Interessant ist

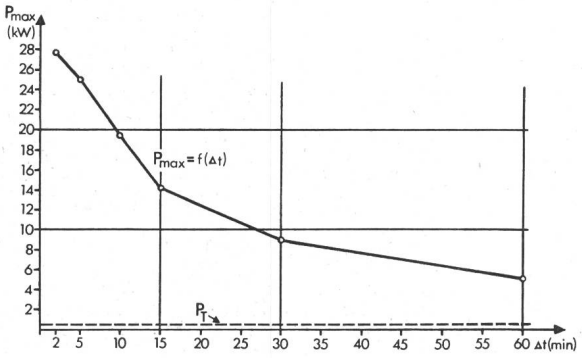

Fig. 9 **Abhängigkeit der maximalen Leistung P_{max} von der Integrationsperiode Δt**
P_T Leistungs-Zeit-Mittelwert

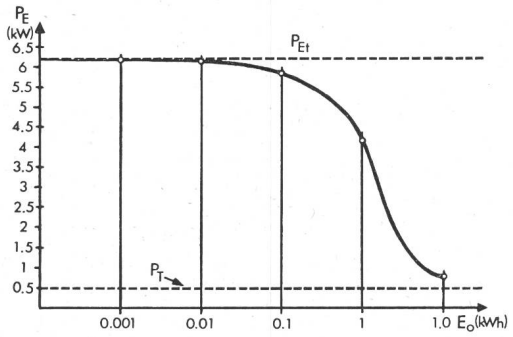

Fig. 10 **Abhängigkeit des Leistungsmittelwertes P_E von der Energiefestmenge E_0**
P_{Et} ist der theoretische Leistungs-Energie-Mittelwert für $\Delta t = 2$ min
P_T Leistungs-Zeit-Mittelwert

die Feststellung, dass bei diesem Belastungsprofil mit Festmengen unter 0,1 kWh der theoretische Wert P_{Et} (gegeben durch die 2-min-Integrationsintervalle) mit befriedigender Genauigkeit erreicht wird. Zur Orientierung sei festgehalten, dass man mit dem verwendeten r_3-Kontaktwerk und dem

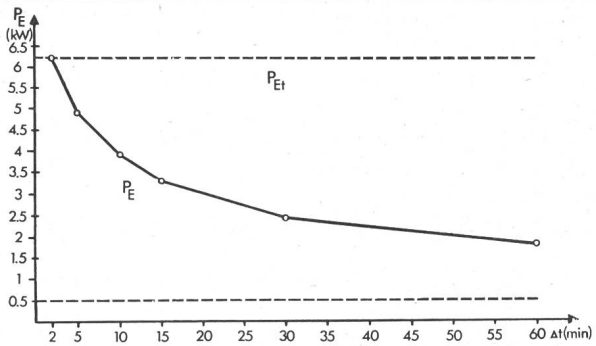

Fig. 11 **Abhängigkeit des Leistungsmittelwertes P_E von der Integrationsperiode Δt**
Bezeichnungen wie Fig. 10

Zähler 3×220/380 V, 10(60) A von Landis & Gyr einen Bereich von ca. 0,001...0,1 kWh pro Impuls überdecken kann, da einer Rotorumdrehung dieses Zählers eine Energie von ca. 0,01 kWh entspricht. Dagegen erlaubt ein kostengünstiger Zählwerkkontakt einen kleinsten Impulswert von 1 kWh. Damit ergäbe sich bereits eine erhebliche Abweichung gegenüber dem angestrebten Idealwert P_{Et}.

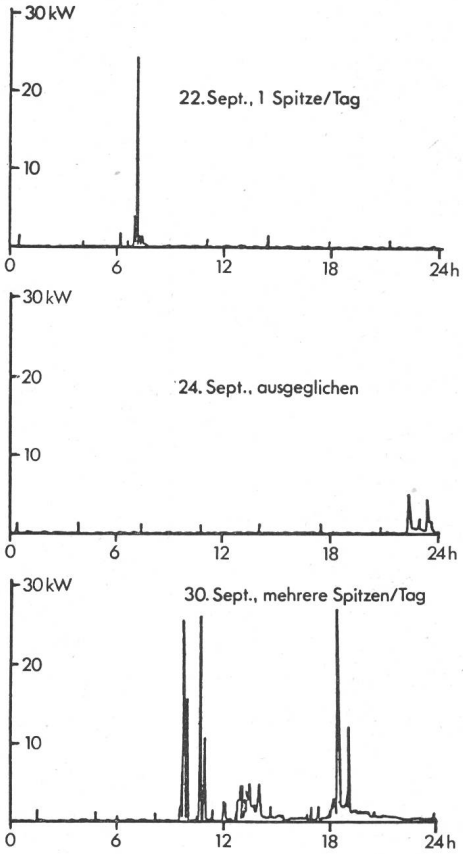

Fig. 12 **Vergleich der Energie- und Leistungsmittelwerte für einige typische Belastungsfälle**

	E_T kWh	P_E kW	P_T kW	P_E/P_T
Ganzer Monat September 1978	338,9	5,878	0,471	12,487
22. September 1978 (×30)	155,6	8,076	0,216	37,366
24. September 1978 (×30)	110,6	0,620	0,154	4,035
30. September 1978 (×30)	588,6	7,444	0,818	9,105

E_T Energieverbrauch
P_E Leistungs-Energie-Mittelwert
P_T Leistungs-Zeit-Mittelwert

Das Ergebnis der P_E-*Ermittlung nach Integrationsperioden-Methode* zeigt Fig. 11. Der ermittelte P_E-Wert sinkt rasch mit zunehmender Integrationsperiode. Wenn man den theoretischen Wert P_{Et} mit guter Annäherung erreichen will, muss man mit Integrationsperioden von $\Delta t < 3$ min arbeiten. Die Ermittlung der mittleren Leistung P während dieser kurzen Zeit stellt hohe Anforderungen an die Impulsfrequenz des Sendezählers (Impulse pro Rotorumdrehung). Die Integrationsperioden-Methode ist deshalb viel aufwendiger als die Festmengen-Methode.

In Fig. 12 sind einige charakteristische Belastungstage dargestellt. Dazu sind die interessierenden Grössen E_T, P_E, P_T und P_E/P_T aufgeführt. P_{max} kann den Diagrammen entnommen werden. Um den Tages-Energieverbrauch mit dem Monatsverbrauch besser vergleichen zu können, wurde ersterer mit 30 multipliziert. Bemerkenswert ist:

– P_E für den ganzen Monat ist in der Grösse vergleichbar mit P_{max} bei 60 min Integrationsperiode (Fig. 9).

– Am 22. und 24. September ist der Verbrauch E_T einigermassen vergleichbar. Die Tatsache, dass nur der 22. September eine ausgeprägte Spitze aufweist, äussert sich in einem grossen Unterschied der entsprechenden P_E-Werte. Das Verhältnis der beiden Werte von P_E/P_T gibt an, wie das Verhältnis von Energie- zu Leistungskosten ändert.

– Die Spitze des 22. September ist selbstverständlich im «ganzen Monat» auch vorhanden. Der kleinere P_E-Wert für den ganzen Monat zeigt, dass die «Bestrafung» für eine einmalige Spitze durch zusätzlichen Energieverbrauch auf niedrigerem Leistungsniveau gemildert wird. Diese Milderung wäre noch viel deutlicher ausgefallen, wenn während der übrigen Tage nicht ebenfalls hohe Leistungsspitzen aufgetreten wären.

– Der 30. September mit drei Spitzen über 25 kW weist einen geringfügig kleineren P_E-Wert auf als der 22. September mit einer einzigen solchen Spitze. Dies rührt im wesentlichen daher, dass am 30. September mehr als das Dreifache an Energie konsumiert worden ist. Der erwähnte Milderungseffekt wirkt sich dementsprechend aus.

Es ist zu vermuten, dass die P_E-Werte des untersuchten Haushaltes stark durch die Belastungsspitzen, hervorgerufen durch den Durchlauferhitzer, geprägt sind. Die Untersuchung anderer Verbraucherkategorien, welche ein grundsätzlich anderes Belastungsspektrum aufweisen, ist deshalb von Interesse und auch vorgesehen. Nachdem das Computerprogramm für die erwähnten Auswertungen erstellt ist, lässt es sich ohne grossen Aufwand auch auf andere Belastungsfälle anwenden. Voraussetzung ist allerdings, dass die Eingangsdaten in computer-kompatibler Form (Magnetband) vorliegen.

Literatur

[1] *A. Spälti:* Kontinuierlich bewertender Leistungsmesser – Eine Alternative zum Maximumzähler. Elektrizitätswirtsch. 78(1979)4, S. 109...115.

[2] *K. Seidel:* Elektrizitätszähler mit elektronischem Leistungstarifgerät. Ein Lösungsvorschlag für die Gestaltung zukünftiger Elektrizitätstarife. E und M 93(1976)10, S. 450...452.

[3] *C. Bergmann:* Kostengerechter Verkauf von elektrischer Energie nach dem Festmengenprinzip. Elektrizitätswirtsch. 75(1976)17, S. 510...517.

[4] *J. Mutzner* und *K. Ried:* Leistungsstufen-Anzeigegeräte als neue Tarifierungsinstrumente. Bull. SEV/VSE 68(1977)21, S. 1128...1133.

[5] *K. Gagel* u.a.: Leistungsmessung im Haushalt. Elektrizitätswirtsch. 76(1977)20, S. 682...695.

[6] *F. Kohlrausch:* Praktische Physik zum Gebrauch für Unterricht, Forschung und Technik. Band 1. 22. Auflage. Stuttgart, Teubner Verlag, 1968.

Adresse des Autors

Dr. sc. techn. *Alfred Spälti,* LGZ Landis & Gyr Zug AG, 6301 Zug.

Literatur – Bibliographie

DK: 621.362 : 621.472 : 620.92 SEV-Nr. A 755

Solar energy conversion: The solar cell. By *Richard C. Neville.* Studies in electrical and electronic engineering Vol. 1. Amsterdam/Oxford/New York, Elsevier Scientific Publishing Company, 1978; 8°, X/297 p., fig., tab. Price: cloth $ 55.50

Das Buch ist aus einer Universitätsvorlesung hervorgegangen und behandelt in 8 Kapiteln (mit rund 350 Literatur-Nachweisen) eine grosse Anzahl von Fragen, die mit der Physik, dem Aufbau, dem Betrieb und der Wirtschaftlichkeit von Sonnenzellen zusammenhängen.

Das erste Kapitel gibt eine Übersicht über die heutige Energieversorgungslage der Erde einschliesslich einer quantitativen Beurteilung der möglichen Auswege aus der sich abzeichnenden Energieknappheit. Nach Ansicht des Verfassers wird die unerschöpfliche Sonnenenergie und mit ihr die Sonnenzelle für direkte Elektrizitätserzeugung die Hauptrolle spielen. Im zweiten Kapitel werden das Sonnenlicht, dessen Strahlungs- und Energieanteile sowie die Lichtkonzentration mit Linsen und Spiegeln besprochen. Im dritten Kapitel werden mit Hilfe der Quantentheorie und der Festkörperphysik die Halbleiter im allgemeinen und die Einkristall-Sonnenzellen im besondern behandelt. Die gegenseitigen Einwirkungen zwischen Licht und Halbleitern (Absorption, Reflexion und Übertragung), einschliesslich der zugehörigen Optimierungsprobleme, bilden den Inhalt des vierten Kapitels. Dann folgt ein Überblick über die Herstellung von Sonnenzellen und über einige wesentliche Parameter. Anhand von 6 Beispielen verschiedener Halbleiter wird anschliessend das Verhalten von Sonnenzellen im Rahmen der durch die Technologie und die Materialeigenschaften gesteckten Grenzen dargestellt. Der Verfasser hofft, dass die heute noch vorhandenen Grenzen einen Ansporn für weitere Forschung und für die Weiterentwicklung von Sonnenzellen geben mögen.

Da die Sonneneinstrahlung auf der Erdoberfläche nur eine relativ geringe Energiedichte von rund 1 kW/m² hat und die Sonnenzellen diese Energie nur teilweise in elektrische Energie umwandeln, versucht man zur besseren Ausnützung der Zellen das Sonnenlicht mit Hilfe von Linsen und Spiegeln zu konzentrieren. Das 7. Kapitel gibt deshalb Auskunft über das Verhalten von Sonnenzellen bei Temperaturen über 300 °K und unter konzentriertem Sonnenlicht. Die dabei auftretenden Grenzen werden aufgezeigt und Kennwerte von bekannten Sonnenzellen mitgeteilt.

Im letzten Kapitel wird im Rahmen von wirtschaftlichen und technischen Überlegungen festgestellt, dass von Physikern und Ingenieuren noch viel Forschungs- und Entwicklungsarbeit zu leisten ist, bis die Sonnenzelle ein «Normalprodukt» wie z. B. ein statischer Gleichrichter wird und bis Sonnenzellenanlagen mit herkömmlichen Methoden der Elektrizitätserzeugung wirtschaftlich konkurrenzfähig sein werden. Trotz unbestrittener Erfolge als Stromquelle für Weltraumfahrzeuge ist die praktische Anwendung von Sonnenzellen auf der Erde noch sehr beschränkt, vor allem wegen der hohen Kosten (Grössenordnung 15 000 $ pro kW). Eine weitere Einschränkung für Sonnenzellen-Kraftwerke ist die Tatsache, dass die Sonne unter Berücksichtigung von Wolken und Nebel in Gebieten wie Europa und USA nur während etwa 1/4 oder 1/5 der Zeit scheint. Eine an sich schon sehr teure Anlage mit Sonnenzellen muss also durch eine zweite Energiequelle bzw. eine grosse Speicheranlage ergänzt werden. Der amerikanische Verfasser hält es für möglich, dass bei sehr starker Verbilligung der Sonnenzellen (auf 1/30 des heutigen Preises) und bei erheblicher Steigerung der Brennstoffkosten für thermische Kraftwerke die Elektrizitätserzeugung mit Sonnenzellen frühestens etwa um 1985 konkurrenzfähig werden könnte.

P. Troller