

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 30 (1939)
Heft: 15

Artikel: Der Verbrauch von Primärenergie thermoelektrischer Fahrzeuge gegenüber rein elektrischen Fahrzeugen
Autor: Kummer, W.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060838>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 25.04.2025

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

SCHWEIZERISCHER ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

REDAKTION:
 Generalsekretariat des Schweiz. Elektrotechn. Vereins und des
 Verbandes Schweiz. Elektrizitätswerke, Zürich 8, Seefeldstr. 301

ADMINISTRATION:
 Zürich, Stauffacherquai 36 ♦ Telephon 5 17 42
 Postcheck-Konto VIII 8481

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

XXX. Jahrgang

N^o 15

Mittwoch, 19. Juli 1939

Der Verbrauch von Primärenergie thermoelektrischer Fahrzeuge gegenüber rein elektrischen Fahrzeugen.

Von W. Kummer, Zürich.

621.335

Der Verbrauch von Primärenergie thermoelektrischer Fahrzeuge ist gegenüber jenem rein elektrischer, d. h. von Fahrleitungen gespeister Fahrzeuge kleiner, solange nur eine geringe Zahl von Fahrzeugen benutzt wird, weil dann noch kein erheblicher Belastungsausgleich in der Energieversorgung der rein elektrischen Fahrzeuge möglich ist. Bei wachsender Zahl benützter Fahrzeuge macht sich dann der Belastungsausgleich der rein elektrischen Fahrzeuge derart geltend, dass der Verbrauch an Primärenergie dieser Fahrzeuge relativ kleiner und kleiner wird, bzw. mehr und mehr unter jenem der thermoelektrischen Fahrzeuge bleibt.

La consommation d'énergie primaire des véhicules thermo-électriques est plus petite que celle des véhicules purement électriques, c. à d. alimentés par une ligne de contact, aussi longtemps qu'un petit nombre seulement de véhicules entre en ligne de compte, parce qu'alors une égalisation appréciable de la charge dans l'alimentation des véhicules purement électriques n'est pas possible. En revanche, dès que le nombre de véhicules augmente, cette égalisation de charge prend une importance croissante, de sorte que la consommation d'énergie primaire des véhicules purement électriques diminue de plus en plus et descend ainsi au-dessous de celle des véhicules thermo-électriques.

Eine allgemeine Gegenüberstellung der rein elektrischen, d. h. der von Fahrleitungen gespeisten Zugförderung und der Zugförderung durch Wärmekraft-Triebfahrzeuge muss natürlich nach einer ganzen Reihe von Gesichtspunkten durchgeführt werden. Den Gesichtspunkt der Gewichtsbeziehungen der Zugsbildung haben wir vor Jahresfrist im Bull. SEV v. 17. August 1938, S. 458, gewürdigt, wobei wir den Bahnbetrieb mit Wärmekraft-Triebfahrzeugen ganz allgemein als den «nichtelektrischen» bezeichneten, also in diese Kategorie auch den Betrieb mittels thermoelektrischer Fahrzeuge einbezogen.

In der vorliegenden Untersuchung wird nun der Energieverbrauch der thermoelektrischen Fahrzeuge, als der modernsten Art der Wärmekraft-Triebfahrzeuge, dem Kraftwerks-Energieverbrauch der rein elektrischen, d. h. der von Fahrleitungen gespeisten Triebfahrzeuge gegenübergestellt. Es sei ein Bahnbetrieb vorausgesetzt, der durch die Zahl von Z Triebfahrzeugen einheitlicher Ausbildung und einheitlicher Ausrüstung mit elektrischen Achsentriebmotoren, die wir von nun an als «Sekundärmotoren» bezeichnen, bedient wird; im Fall der thermoelektrischen Ausbildung enthalten die Fahrzeuge auch die thermischen Primärmotoren, sowie die Brennstoffe. Im Fall der rein elektrischen Ausbildung sind die Fahrzeuge mittels der Fahrleitung versorgt aus stationären Anlagen, die die thermischen oder auch hydraulischen Primärmotoren enthalten. In beiden Fällen soll der Bahnbetrieb je genau dieselbe Jahresarbeit W , in kWh, gemessen an den Klemmen der Sekundärmotoren der benutzten Z Triebfahrzeuge erfordern. Es kann dann auch in beiden Fällen W in der Form:

$$W = Z \cdot P_a \cdot T_a$$

gegeben werden, wo der Index a auf die «Abnehmer» von Energie, d. h. die Fahrzeuge, hinweist, die je P_a als sog. Anschlussleistung in kW, und T_a als sog. Benützungsdauer, in h/Jahr, in der üblichen Terminologie des elektrischen Energievertriebs, aufweisen. In Fig. 1 stellen wir über einer Zeitaxe die Arbeit W der Z Fahrzeuge als Rechteck dar,

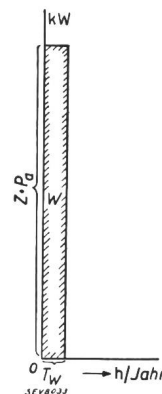
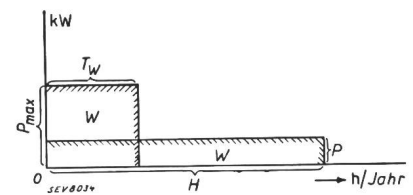


Fig. 1 (links).
 Fahrzeugs-Sekundärarbeit W .

Fig. 2 (unten).
 Belastungsausgleich der Sekundärarbeit W .



dessen eine Seite T_a unten an der Zeitaxe und dessen andere Seite $Z \cdot P_a$ links an einer Effektaxe liegen. Diese Figur genügt gleichzeitig dem Fall thermoelektrischer und jenem rein elektrischer Fahrzeuge. Im zweiten Fall kann jedoch für W auch die durch den Belastungsausgleich beeinflusste Darstellungsart im elektrischen Kraftwerk gegeben werden. In Fig. 2 ist W demgemäss durch zwei Rechteckbilder gegeben worden, die durch die Gleichung:

$$W = P_{max} \cdot T_w = P \cdot H$$

bestimmt erscheinen. Dabei bedeuten P_{max} die Maximalleistung und P die Durchschnittsleistung, die, zunächst frei von Zwischenverlusten, an den Wellen

der Primärmotoren des Kraftwerks auftreten; der Rechteckseite P_{max} ist zugeordnet die Rechteckseite T_w , die die sog. Werkbenutzungsdauer darstellt; der Rechteckseite P ist andererseits zugeordnet die Rechteckseite H , die die die sog. mögliche Gebrauchszeit darstellt. Es werden P_{max} und P wieder gemessen in kW, während für T_w und H die Masseinheit wieder in h/Jahr erscheint. Die Bedeutung des Belastungsausgleichs liegt bekanntlich darin, dass P_{max} kleiner ist als $Z \cdot P_a$; es ist daher ohne weiteres auch ein wesentlicher Unterschied in der Bemessung der Gesamtleistung der Primärmotoren im Fall des thermoelektrischen gegenüber dem Fall des rein elektrischen Betriebsdienstes der Fahrzeuge begründet, der seine Rückwirkung auf die Primärenergie hat. Bedeuten η_m' und η_m'' Wirkungsgrade bei Maximallast in den beiden Betriebsfällen, je zwischen den Klemmen der Sekundärmotoren und den Wellen der Primärmotoren verstanden, dann stellt

$$\frac{1}{\eta_m'} \cdot Z \cdot P_a$$

die Gesamtleistung der Primärmotoren aller Z thermoelektrischen Fahrzeuge fest, während

$$\frac{1}{\eta_m''} \cdot P_{max}$$

die Gesamtleistung der Primärmotoren im Kraftwerk für den Betrieb der Z rein elektrischen Fahrzeuge bedeutet. Obwohl, wegen der Uebertragungsverluste,

$$\eta_m' > \eta_m''$$

sein muss, wird schon bei mässig grossen Werten der Fahrzeugszahl Z gelten:

$$\frac{1}{\eta_m'} \cdot Z \cdot P_a > \frac{1}{\eta_m''} \cdot P_{max}$$

Die Ermittlung von P_{max} ist zufolge des den Belastungsausgleich kennzeichnenden gesetzmässigen Verlaufs a priori möglich. Die Leser des Bull. SEV kennen unsere bezügliche Methode, die wir letztmalig in einer Arbeit im Jahrgang 1936 verwertet haben (S. 124 bis 127, am 4. März 1936). Wie daselbst nachgelesen werden kann, ist das Gesetz des Belastungsausgleichs in Kurven:

$$b = f(y)$$

ausgedrückt, wobei die Mittelwertgrösse y durch

$$y = \frac{P}{P_a}$$

und der Belastungsfaktor b durch

$$b = \frac{P}{P_{max}}$$

gegeben sind. In Fig. 3 ist das 1936 gegebene Kurvenbild wiederholt, aus dem wir heute nur die für den Jahresbetrieb gültige Kurve

$$b = f(y)$$

verwenden. Die sowohl in y , als auch in b vorkommende Grösse P ergibt sich aus den Grundlagen des heutigen Problems gemäss der Beziehung

$$P = \frac{W}{H}$$

Mit dem entsprechenden y gibt die Kurve das entsprechende b , mittels welchen Wertes dann sofort der gewünschte Zahlenwert von P_{max} erhältlich ist.

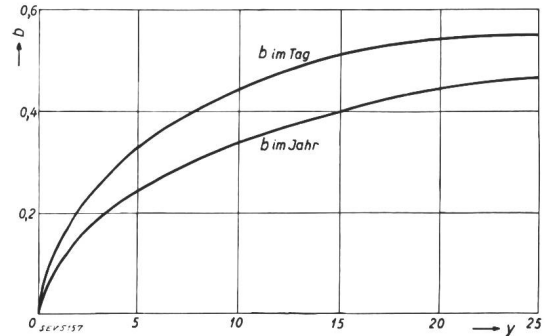


Fig. 3. Belastungsfaktor über der Mittelwertgrösse.

Zwischen den Primärmotorwellen und den Sekundärmotorklemmen liegen nun die Jahres-Verlustrarbeiten, W_v' beim Betrieb mit thermoelektrischen, und W_v'' beim Betrieb mit rein elektrischen Fahrzeugen. Mit der Bestimmung dieser Werte ergeben sich dann die von unserer Untersuchung zu liefernden Primärarbeiten:

$$W_{pr}' = W + W_v' \text{ sowie } W_{pr}'' = W + W_v''$$

Zur Ermittlung der Verlustrarbeit muss nun zunächst die Sekundärarbeit W in neuen Formen gegeben werden. Hierzu werden die Fig. 1 und 2 derart umgezeichnet, dass man die ihnen zugrunde lie-

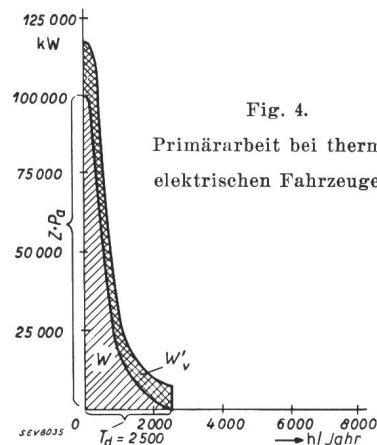


Fig. 4. Primärarbeit bei thermoelektrischen Fahrzeugen.

genden, als verwirklicht angenommenen Belastungskurven in geordneter Gestalt zeichnet, wie in den Fig. 4 und 5 ersichtlich ist, deren Masszahlen sich bereits schon auf das im folgenden gegebene Zahlenbeispiel beziehen. Solche nach fallenden Leistungen geordnete Belastungskurven weisen immer denselben typischen Verlauf auf, so dass man sie stets auch a priori annehmen darf. An die so gezeichneten Belastungsdiagramme vom Flächenin-

halt W müssen nun die Verlustflächen W'_v in Fig. 4 und W''_v in Fig. 5 angefügt werden. Dazu ist eine Trennung der Verluste in Teilverluste, die von der Belastung unabhängig sind, und in Teilverluste, die von ihr abhängig sind, vorzunehmen. Die Teilverluste, die von der Belastung unabhängig sind, kön-

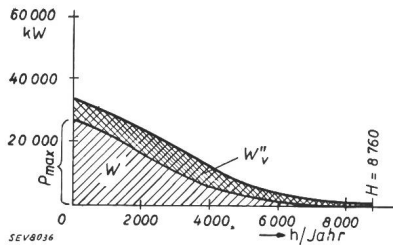


Fig. 5. Primärarbeit bei rein elektrischen Fahrzeugen.

nen durch einen geeigneten Teilwirkungsgrad, der je mit η'_o und mit η''_o leicht angebar ist, gekennzeichnet werden. Dann gibt es für den Betrieb mit thermoelektrischen Fahrzeugen einen konstanten Effektverlust:

$$\frac{1 - \eta'_o}{\eta'_o} \cdot Z \cdot P_a,$$

und für den Betrieb mit rein elektrischen Fahrzeugen analog:

$$\frac{1 - \eta''_o}{\eta''_o} \cdot P_{max}.$$

Für die mit der Belastung veränderlichen Verluste benutzt man eine geeignete Annahme über die Änderung dieser Verluste über der Belastung, die deshalb leicht zu machen ist, weil ja von den bereits benutzten Werten η'_m und η''_m ausgegangen werden kann. Dann sind je für jeden Belastungsgrad die entsprechenden, mit der Belastung variablen Teilverluste an Effekt, im ersten Fall abzuleiten aus ihrem Höchstwert

$$\left(\frac{1 - \eta'_m}{\eta'_m} - \frac{1 - \eta'_o}{\eta'_o} \right) \cdot Z \cdot P_a,$$

und im zweiten Fall analog aus

$$\left(\frac{1 - \eta''_m}{\eta''_m} - \frac{1 - \eta''_o}{\eta''_o} \right) \cdot P_{max}.$$

Damit können nun die Bilder von W'_v und W''_v gegeben werden, wie in Fig. 4 und 5 ersichtlich ist. Die Arbeitsflächen erstrecken sich in Fig. 4 über eine Zeit T_d , die der Jahresdienstzeit des einzelnen Fahrzeuges entspricht, in Fig. 5 über eine Zeit, die mit der möglichen Gebrauchszeit H identisch ist.

Das in der Folge gegebene Zahlenbeispiel ist so gewählt, dass die Verlustarbeiten W'_v und W''_v einander gerade gleich sind, obwohl sie aus sehr ungleichen Teilverlusten aufgebaut erscheinen. Trotzdem ist bei diesem Beispiel die kleinere Primärenergie letzten Endes auf Seiten des rein elektrischen Betriebes. Rechnungsmässig wurde die Ermittlung der Primärenergie nur bis an die Wellen der Primärmotorwellen verfolgt. Indem man

aber die Untersuchung bis in den Wärmeverrat von Brennstoffen, bzw. bis an die Energie der Lage verwendeter Wasserkraft ausdehnt, wird man für die Verhältnisse des Zahlenbeispiels ohne weiteres die Primärenergie letzten Endes für den Betrieb mit rein elektrischen Fahrzeugen kleiner als für den Betrieb mit thermoelektrischen Fahrzeugen feststellen. Wenn wir die genauere Verlustbetrachtung, ausgehend von den Klemmen der Sekundärmotoren, nur bis an die Wellen der Primärmotoren durchführten, so geschah dies vor allem im Hinblick auf die grössere Uebersichtlichkeit der Darstellung, die dabei herauskam.

Unserem Zahlenbeispiel legen wir die Annahme je eines Betriebes mit 100 thermoelektrischen, bzw. mit 100 rein elektrischen Lokomotiven zugrunde, die je eine Anschlussleistung von 1000 kW, gemessen an den Klemmen der Sekundärmotoren, haben sollen; weiter seien

$$T_a = 730 \text{ h/Jahr}, T_d = 2500 \text{ h/Jahr}, H = 8760 \text{ h/Jahr}.$$

Man erhält zunächst folgende Berechnungsergebnisse:

$$\begin{aligned} Z \cdot P_a &= 100\,000 \text{ kW}, \\ W &= Z \cdot P_a \cdot T_a = 73\,000\,000 \text{ kWh/Jahr}, \\ P &= \frac{73\,000\,000}{8\,760} = 8\,330 \text{ kW}. \end{aligned}$$

Zur Benutzung der Fig. 3 ermitteln wir:

$$y = \frac{8330}{1000} = 8,33$$

und entnehmen der Fig. für diese Abszisse den Wert

$$b = \sim 0,31$$

für den Jahresbetrieb. Damit berechnen wir:

$$\begin{aligned} P_{max} &= \frac{8330}{0,31} = 26\,800 \text{ kW}, \\ T_w &= \frac{73\,000\,000}{26\,800} = 2720 \text{ h/Jahr}. \end{aligned}$$

Zur Verlust-Ermittlung seien die angenommenen Werte von Wirkungsgraden benützt:

$$\begin{aligned} \eta'_m &= \sim 0,85, & \eta'_o &= \sim 0,92, \\ \eta''_m &= \sim 0,80, & \eta''_o &= \sim 0,94. \end{aligned}$$

Dann bekommt man für den Betrieb mit thermoelektrischen Lokomotiven mittels Fig. 4:

$$W'_v = (21,7 + 4,8) \cdot 10^6 \text{ kWh/Jahr},$$

als Summe der von der Belastung unabhängigen und der von ihr abhängigen Verluste; für den Betrieb mit rein elektrischen Lokomotiven findet man analog mittels Fig. 5:

$$W''_v = (15,1 + 11,4) \cdot 10^6 \text{ kWh/Jahr}.$$

Es folgen also:

$$W'_v = W''_v = 26,5 \cdot 10^6 \text{ kWh/Jahr},$$

sowie:

$$W'_{pr} = W''_{pr} = 99,5 \cdot 10^6 \text{ kWh/Jahr}.$$

Das Zahlenbeispiel, das für die Ermittlung des Verbrauchs von Primärenergie gerade die Parität des Betriebs mit 100 thermo-elektrischen und des Betriebs mit 100 rein elektrischen Lokomotiven an den Wellen der Primärmotoren auswies, lässt ohne weiteres den Schluss zu, dass sich bei kleinerer Lokomotivzahl als 100 die Primärenergie des thermo-elektrischen Betriebes als die kleinere erweist, während sich bei grösserer Lokomotivzahl als 100 die

Primärenergie des rein elektrischen Betriebes als die kleinere erweist. Bei Ermittlung der Primärenergie unmittelbar an der Kraftquelle, d. h. im Brennstoff, bzw. in der Lagedisposition der Wasserkraft, ist die Paritätszahl der Fahrzeuge erheblich kleiner, jedoch von zufälligen Verhältnissen viel stärker abhängig, als bei Betrachtung an den Wellen der Primärmotoren.

Fourniture d'énergie aux ménages.

Extraits du rapport général de la Section C de la Conférence mondiale de l'énergie, Session partielle de Vienne 1938,

présenté par *J. Dollinger*, Sous-directeur des Wiener Städtische Gaswerke,
et *H. Schmid-Schmidfelden*, Inspecteur général des Wiener Städtische Elektrizitätswerke.

602.9 : 64

Remarque générale.

Les questions traitées dans les rapports sont réparties en deux groupes:

Groupe I: Combustibles solides, liquides et gazeux.
Groupe II: Electricité.

A. Extraits du contenu de différents rapports.

Rapport No. 7.

Distribution de chaleur dans les villes, par *F. Lösel* (Allemagne).

(II.) Le rapport donne sous forme de diagrammes les résultats des recherches et mesures entreprises sur une installation de chauffage à distance desservant une petite partie de Vienne. (Besoins thermiques, puissance électrique et production d'énergie en fonction de la température, rentabilité.)

Rapport No. 8.

Résistance du tarif binôme aux effets des crises économiques. Exemple du tarif pour usages domestiques de Dantzig, par le Sénat de la ville libre de Dantzig (Dantzig).

(II.) Grâce au remplacement d'un ancien tarif au compteur par un tarif à tranches normales, puis enfin par un tarif binôme fonction de la grandeur de l'appartement, il a été possible, non seulement de neutraliser les effets de la hausse du coût de la vie consécutive à une dévaluation et de l'institution d'un impôt sur l'électricité, mais d'obtenir même une augmentation de consommation.

Rapport No. 29.

Fourniture d'énergie aux ménages en Lettonie, par *A. Zile* (Lettonie).

(I.) Le rapport relève l'importance du bois dont la consommation annuelle atteint par habitant 2,1 m³ dans les villes et 1,8 m³ en campagne. En outre la consommation annuelle de pétrole atteint dans les villes 1,5 kg par habitant.

(II.) Le développement de l'électricité en est à ses débuts. La vente d'électricité aux ménages s'opère sur la base d'un tarif du type à tranches normales; les tranches, dont les prix sont dans le rapport 4 : 2 : 1, sont déterminées d'après la grandeur de l'appartement. A part l'éclairage et les petits appareils il existe peu d'appareils gros consommateurs, en raison de la prépondérance du bois.

La consommation domestique atteint à Riga le 10 % de la consommation totale; elle est de 141 kWh par ménage.

Rapport No. 39.

Fourniture d'énergie aux ménages en Argentine, par *A. Niebuhr* (Argentine).

(I.) Le rapport signale l'existence dans les faubourgs de la capitale d'une distribution de gaz en bouteilles (mélange de propane et de butane). Dans les agglomérations voisines

des champs pétrolifères, l'emploi de gaz naturel débenziné est assez répandu. Le gouvernement cherche de nouveaux débouchés au gaz naturel.

(II.) La consommation totale d'électricité de l'Argentine est estimée à 1800 millions de kWh pour une population de 12,3 millions d'habitants; celle de Buenos-Aires 370 millions de kWh pour 3,5 millions d'habitants. La capitale est encore loin de l'électrification complète. La consommation domestique est certainement très inférieure à 100 kWh par ménage. La vente aux ménages s'effectue sur la base d'un tarif à tranches normales à deux échelons. Les tranches dépendaient jusqu'au début de 1938 de la puissance raccordée, alors qu'actuellement elles varient selon la grandeur de l'appartement. Les usages thermiques jouissent de tarifs spéciaux.

Rapport No. 45.

Nouvelles chaudières à bois pour le chauffage central, par *N. Telander* (Suède).

(I.) Parmi les mesures prises en Suède en faveur de l'économie forestière, l'une des plus importantes a consisté à développer de nouvelles chaudières à bois pour le chauffage central. Ces chaudières travaillant d'après le principe de la «combustion inversée» peuvent, moyennant des modifications minimes, être alimentées aussi au coke.

La puissance de la chaudière doit non seulement couvrir les besoins, mais elle doit être telle que la température des fumées soit assez élevée pour éviter des condensations. Pour la même raison les cheminées doivent être isolées thermiquement et divisées en deux ou plusieurs canaux utilisés selon le régime de marche.

Le rapport conclut, qu'en tablant sur un rendement moyen de la chaudière de 70 %, et avec les prix actuels des combustibles en Suède, le chauffage central au bois peut concurrencer celui au coke.

Rapport No. 47.

Possibilités et limites de l'analyse du marché comme base de la propagande pour les usages domestiques, l'artisanat et l'agriculture,

par *C. Körfer* et *Th. Ingens* (Allemagne).

(I. et II.) Des études récentes exécutées en Allemagne ont montré que la consommation domestique dépend de la grandeur de la famille et de l'appartement, ainsi que du genre de vie et du revenu, ce dernier facteur étant prépondérant. La consommation pour la cuisine et l'eau chaude dépend surtout du nombre de personnes, celle pour l'éclairage et les usages thermiques du nombre de pièces.

Dans l'artisanat, la consommation est influencée surtout par le degré d'occupation, mais elle l'est aussi par le progrès technique et la concurrence des autres formes d'énergie.

Dans l'agriculture la simplification du travail obtenue par l'emploi de l'électricité constitue un facteur important. Des essais pratiques dans certains villages ont permis de constater des accroissements de consommation jusqu'au décuple.