

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 26 (1935)  
**Heft:** 16

**Artikel:** Beitrag zur Frage der wirtschaftlichen Beleuchtung  
**Autor:** Matanovi, Drago  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1058466>

### **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:** 18.01.2025

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

# ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

# BULLETIN

RÉDACTION:  
Secrétariat général de l'Association Suisse des Electriciens  
et de l'Union des Centrales Suisses d'électricité, Zurich 8

EDITEUR ET ADMINISTRATION:  
S. A. Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei, Zurich 4  
Stauffacherquai 36/40

Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et sans indication des sources

XXVI<sup>e</sup> Année

N<sup>o</sup> 16

Vendredi, 2 Août 1935

## Beitrag zur Frage der wirtschaftlichen Beleuchtung.

Von Drago Matanović, Ljubljana.

628,33

*Der Autor bespricht einige Fragen der wirtschaftlichen Beleuchtung, und zwar insbesondere die Verwendung teurerer und billigerer Leuchten, weiters die zweckmässigen Intervalle der Reinigung und untersucht schliesslich die Wirtschaftlichkeit einer Beleuchtungsanlage, bei welcher die Nennspannung der Glühlampen von der Betriebsspannung abweicht.*

*L'auteur expose quelques questions touchant au côté économique de l'éclairage, en particulier l'utilisation de luminaires plus ou moins chers, la fréquence des nettoyages réguliers, et étudie finalement le rendement économique d'une installation d'éclairage dans laquelle la tension nominale des lampes à incandescence est différente de la tension d'exploitation.*

Noch nicht lange ist es her, seit man erkannte, wie eine gute und zweckmässige Beleuchtung beschaffen sein muss. Heute wird im allgemeinen der Grossteil der Beleuchtungsanlagen gut und lichttechnisch einwandfrei ausgeführt. Oft jedoch stellt sich im Betrieb eine Unwirtschaftlichkeit der Anlage heraus, die sich durch hohe Energierechnungen bemerkbar macht. Bald stellt der Bauherr die Forderung nach einer Aenderung auf, um den Energieverbrauch zu verringern. Zweckmässig muss bei der Projektierung jeder Beleuchtungsanlage die Wirtschaftlichkeit berücksichtigt werden.

Beleuchtungsanlagen berechnet man meistens nach der Wirkungsgradmethode unter Annahme einer mittleren horizontalen Beleuchtungsstärke und Schätzung des zu erwartenden Wirkungsgrades. Zur Kontrolle der Wirtschaftlichkeit ist es zweckmässig, noch die spezifische Leistungsaufnahme, die wir als Gütezahl  $\psi$  bezeichnen wollen, zu berechnen:

$$\psi = \frac{p}{\eta} \quad \text{W/Lx} \cdot \text{m}^2$$

wobei  $p$  den spezifischen Verbrauch der Glühlampe (W/Lm) und  $\eta$  den mittleren horizontalen Wirkungsgrad der Beleuchtung darstellt. Bei  $n$  Glühlampen ist die Gütezahl gegeben durch

$$\psi = \frac{\sum_1^n (P)}{\sum_1^n \left( \frac{P}{p} \right) \cdot \eta} \quad \text{W/Lx} \cdot \text{m}^2$$

wobei  $P$  (W) der Verbrauch einer Glühlampe ist.

Eine Beleuchtungsanlage arbeitet um so wirtschaftlicher, je kleiner die Gütezahl ist. Es ist daher ein kleiner spezifischer Verbrauch der Glühlampen und ein grosser Wirkungsgrad zu erstreben.

Das erste wird erreicht, indem vorwiegend grosse Glühlampen verwendet werden. Um einen hohen Wirkungsgrad zu erreichen, ist gar manches zu beachten. Vor allem ist es wichtig, dass der von den Glühlampen erzeugte Lichtstrom in möglichst hohem Masse ausgenützt wird. Vollkommen ausgenützt kann der Lichtstrom nicht werden. In jeder guten und blendungsfreien Beleuchtungsanlage müssen Absorptionsverluste vorhanden sein.

Die Absorption verschiedener Leuchten ist sehr verschieden, was von den Eigenschaften der verwendeten lichttechnischen Baustoffe abhängt. Der Unterschied kann bei einzelnen zweckähnlichen Leuchten bis zu 20 und auch 40 % betragen. Die schlechteren Sorten sind allerdings billiger bei der Anschaffung; im Betrieb sind sie jedoch bedeutend teurer. Eine einfache Rechnung zeigt, welcher Preis bei einer verlustärmeren Leuchte eben noch berechtigt ist.  $D_1$  und  $D_2$  sind die Preise zweier Leuchten, die den Wirkungsgrad  $\eta_1$  und  $\eta_2$  haben, wobei  $D_2 > D_1$  und  $\eta_2 > \eta_1$  seien. Bei einer jährlichen Betriebszeit von  $t$  (h) sowie bei einem Energiepreis von  $B$  (Fr./kWh) und dem Amortisierungsfaktor  $a$  (%) verursacht eine Glühlampe mit dem Verbrauch  $P$  (kW) und dem Preis  $A$  (Fr.) in der Leuchte mit dem Preis  $D_1$  (Fr.) folgende Kosten:

$$S_1 = P \cdot B + \frac{\left( D_1 + A \frac{t}{H} \right) \cdot a}{100 t} \quad \text{Fr./h.}$$

da für  $t$  Betriebsstunden  $\frac{t}{H}$  Glühlampen nötig sind, deren mittlere Lebensdauer  $H$  Stunden beträgt.

Bei Verwendung der Leuchte mit dem Preis  $D_2$  betragen die Kosten  $S_2$ :

$$S_2 = \left( P \cdot B + \frac{(D_2 + A \frac{t}{H}) \cdot a}{100 t} \right) \cdot \frac{\eta_1}{\eta_2} \text{ Fr./h,}$$

da im Verhältnis  $\eta_1 : \eta_2$  weniger Leuchten genügen. Es rentiert sich, die teurere Leuchte mit dem höheren Wirkungsgrad zu wählen, solange die Kosten hierbei kleiner sind, solange

$$S_2 < S_1$$

oder

$$\left( P \cdot B + \frac{(D_2 + A \frac{t}{H}) \cdot a}{100 t} \right) \frac{\eta_1}{\eta_2} < P \cdot B + \frac{(D_1 + A \frac{t}{H}) \cdot a}{100 t}$$

ist, woraus

$$D_2 < D_1 \frac{\eta_2}{\eta_1} + \frac{A t}{H} \left( \frac{\eta_2}{\eta_1} - 1 \right) + \frac{100 P B t}{a} \left( \frac{\eta_2}{\eta_1} - 1 \right)$$

oder auch

$$D_2 < D_1 \frac{E_2}{E_1} + \frac{A t}{H} \left( \frac{E_2}{E_1} - 1 \right) + \frac{100 P B t}{a} \left( \frac{E_2}{E_1} - 1 \right)$$

da die Beleuchtungsstärke  $E$ , gemessen am selben Ort, dem Wirkungsgrad der jeweiligen Leuchte proportional ist, insofern derselbe Lichtstrom erzeugt wurde und die Leuchten gleiche Lichtverteilungskurven besitzen.

Hiermit ist der obere Grenzpreis der teureren Leuchten mit dem grösseren Wirkungsgrad gegeben. In den meisten Fällen wird es sich herausstellen, dass die teuersten Leuchten mit dem grössten Wirkungsgrad im Betrieb die billigsten sind.

Die ausgeführte Rechnung gilt allgemein. Wohl kann bei einer kleinen Anzahl von Leuchten die installierte Leistung mitunter wegen der grossen Abstufungen der Glühlampen nicht geändert werden; doch ist in solchen Fällen eine stärkere Beleuchtung erzielbar, die ebenfalls gewertet werden muss. Es ist daher stets darauf zu achten, dass lichttechnisch günstige Materialien verwendet werden, deren Lichtdurchlässigkeit, bzw. Reflexionsvermögen gross ist. Unnötige Absorptionsverluste sind unbedingt zu vermeiden.

Eine zeitweilige Verschlechterung der Beleuchtung tritt wegen der Verschmutzung und Verstaubung der Leuchten ein. Ein häufiges Reinigen ist unerlässlich. Wenn  $E_1$  die Beleuchtungsstärke bei gereinigter Anlage ist, so wird sie infolge der fortschreitenden Verstaubung ständig abnehmen und nach einer Zeit  $t$  Stunden, gemessen am selben Ort, den Wert  $E_2$  besitzen. Der Verstaubungsgrad ist hierbei gegeben durch

$$\vartheta = \frac{E_1 - E_2}{E_1}$$

wobei pro Stunde für die Energie, die durch die Verstaubung absorbiert wurde,

$$s = \frac{E_1 - E_2}{E_1} \Sigma (P) \cdot B \text{ Fr./h}$$

zu bezahlen sind, wenn  $\Sigma (P)$  die Leitungsaufnahme aller Glühlampen in kW darstellt. Wenn eine ein-

malige Reinigung  $G$  (Fr.) kostet, die Reinigung nach  $t$  (h) erfolgt, wobei  $\xi \cdot t$  Betriebsstunden vorhanden sind, so entfallen auf eine Betriebsstunde  $G : \xi t$  Fr./h. Bis zum Zeitpunkt  $t$  wird durch die Verstaubung folgender Betrag absorbiert:

$$s = \frac{E_1 - E_2}{E_1} \Sigma (P) \frac{B t \xi}{b} \text{ Fr.}$$

wobei  $b$  ein Faktor ist, der den Zeitverlauf der Verstaubung berücksichtigt und mit 1,6 angenommen

werden kann. Eine Reinigung ist am Platze, sobald die Reinigungsspesen kleiner sind als die Verlustkosten durch die Verstaubung:

$$G < \frac{E_1 - E_2}{E_1} \Sigma (P) \frac{B t \xi}{b}$$

oder

$$t > \frac{G b}{\Sigma (P) B \xi} \cdot \frac{E_1}{E_1 - E_2} \text{ h.}$$

Dies ist eine individuelle Methode, verwendbar in jedem Falle. Sie setzt häufigere Messungen der Beleuchtungsstärke voraus. Falls wir uns mit Mittelwerten begnügen wollen, so können wir Erfahrungswerte benutzen<sup>1)</sup>.

Der Verstaubungsgrad, der stets kleiner ist als 1, ist auch mit folgendem Ausdruck gegeben:

$$\vartheta = \frac{\Phi_t}{\Phi} < 1$$

worin  $\Phi$  den die gereinigte Leuchte verlassenden Lichtstrom-  $\Phi_t$  den nach der Zeit  $t$  kleineren Lichtstrom bedeutet. Den Verstaubungsgrad kann man mathematisch folgendermassen ausdrücken:

$$\vartheta = \frac{c}{t + d} + e$$

Die Konstanten  $c$ ,  $d$  und  $e$  hängen von der Beleuchtungsart und den Betriebsverhältnissen ab. Als Mittelwert kann man für direkte Beleuchtung

$$\vartheta = \frac{1318}{t + 4360} + 0,7$$

für halbindirekte:

$$\vartheta = \frac{1318}{t + 2180} + 0,4$$

und für indirekte Beleuchtung:

$$\vartheta = \frac{1190}{t + 1700} + 0,3$$

wählen.

Die Gesamtkosten für Reinigung der Anlage sowie für die durch Verstaubung absorbierte Energie betragen pro Betriebsstunde:

<sup>1)</sup> Bausenwein, Lichttechnik 1933, Nr. 6.

$$S = \frac{G}{t \cdot \xi} + \frac{\Sigma(P) B}{t} \int_0^t (1 - \vartheta) dt \text{ Fr./h}$$

$$= \frac{G}{t \cdot \xi} + \frac{\Sigma(P) B}{t} \int_0^t \left( f - \frac{c}{t+d} \right) dt \text{ Fr./h}$$

wenn  $f = 1 - e$  ist.

Um die Zeit  $t$  zu bestimmen, nach welcher eine Reinigung der Anlage stattfinden soll, wobei die Gesamtkosten die kleinsten werden sollen, bestimmen wir zweckmässig die Mittelwerte

$$\varrho = \frac{1}{t} \int_0^t (1 - \vartheta) dt = f - \frac{c}{t} \ln \left( \frac{t+d}{d} \right)$$

und können dann auf Grund der so erhaltenen Werte  $\varrho$  in Abhängigkeit von  $t$  folgendermassen ausdrücken:

$$\varrho = \frac{g}{t+h} + i$$

wobei die Konstanten  $g$ ,  $h$  und  $i$  wieder von der Beleuchtungsart und den Betriebsverhältnissen abhängen. Als Mittelwerte kann man bei direkter Beleuchtung

$$\varrho = \frac{520}{t+3500} + 0,85$$

für halbindirekte:

$$\varrho = \frac{960}{t+2400} + 0,60$$

und für indirekte Beleuchtung

$$\varrho = \frac{1600}{t+2965} + 0,44$$

setzen.

Die Kosten der Energie, die durch Verstaubung absorbiert wird und die durch die Reinigungsarbeiten bedingt sind, können wir nun folgendermassen berechnen:

$$S = \frac{G}{t \xi} + \Sigma(P) B (1 - \varrho)$$

$$= \frac{G}{t \xi} + \Sigma(P) B \left( 1 - i - \frac{g}{t+h} \right) \text{ Fr./h}$$

Wir berechnen, in welchen Zeitabständen  $t$  (h) eine Reinigung erfolgen soll:

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{G}{t^2 \xi} + \Sigma(P) B \frac{g}{(t+h)^2} = 0$$

woraus:

$$t = \frac{h}{\sqrt{\frac{\Sigma(P) B g \xi}{G} - 1}} \text{ h}$$

beziehungsweise bei direkter Beleuchtung:

$$t = \frac{3500}{\sqrt{\frac{520 \cdot \Sigma(P) B \xi}{G} - 1}} \text{ h}$$

bei halbindirekter:

$$t = \frac{2400}{\sqrt{\frac{960 \cdot \Sigma(P) B \xi}{G} - 1}} \text{ h}$$

und bei indirekter:

$$t = \frac{2965}{\sqrt{\frac{1600 \cdot \Sigma(P) B \xi}{G} - 1}} \text{ h}$$

Die so erhaltenen Werte sind, wie erwähnt, Mittelwerte, die der Verstaubung vorhandener Anlagen entsprechen. Gegebenenfalls kann man den mathematischen Ausdruck des Verstaubungsvorganges einer Anlage bestimmen und mit diesem rechnen.

Bemerkenswert ist, dass uns der erhaltene Ausdruck für die günstigsten Reinigungsintervalle angibt, dass es sich, theoretisch genommen, oft überhaupt nicht lohnt, eine Reinigung vorzunehmen, und es am billigsten ist, sich mit der verstaubten Anlage zu begnügen. Dieser Fall kann zum Beispiel bei Korridorleuchten eintreten, die nur selten im Betrieb sind. Wenn der Nenner im obigen Ausdruck gleich Null ist, so wird die Zeit unendlich — eine Reinigung ist zu teuer. Wenn die Reinigungskosten einen Höchstwert

$$G \geq \Sigma(P) B g \cdot \xi$$

erreichen, so ist eine Reinigung theoretisch nicht erforderlich. Praktisch wird man solche Leuchten beim Austausch der Glühlampen wohl reinigen.

Wir haben den Zeitabstand zwischen zwei Reinigungen hierbei unter der Annahme bestimmt, dass die Verluste infolge der Verstaubung direkte Kosten verursachen. Diese Voraussetzung ist richtig, obwohl die Kosten ja konstant sind und nur die Beleuchtungsstärke abnimmt. Die Verluste müssen wir stets bezahlen, und es ist durchaus nicht gleichgültig, wie hoch sie sind. Wird die Reinigung einer Beleuchtungsanlage vernachlässigt, so ist die zeitlich und räumlich mittlere horizontale Beleuchtungsstärke eben kleiner, und oft ist es billiger, die installierte Leistung herabzusetzen und regelmässige Reinigungen vorzunehmen.

Eine weitere wichtige Forderung der wirtschaftlichen Beleuchtung ist die richtige Auswahl der Glühlampen. Zu klären wäre vor allem folgende Frage: Ist es richtig, wenn man in jedem Falle Glühlampen verwendet, deren Nennspannung genau der Betriebsspannung entspricht? Dies ist zu untersuchen, wobei wir vorerst annehmen wollen, dass die Betriebsspannung schwankungslos stets dieselbe Höhe besitzt.

Die Kosten einer Beleuchtung betragen pro Stunde:

$$s = \frac{A}{H} + B P \text{ Fr./h}$$

wenn  $A$  der Preis einer Glühlampe (Fr.),  $H$  die Lebensdauer der Glühlampe (h),  $P$  die Leistungsaufnahme (kW) und  $B$  der Energiepreis (Fr./kWh) ist.

Die normale mittlere Lebensdauer einer Glühlampe kann mit 1000 Stunden angenommen werden. Die Glühlampenerzeuger geben diesen Wert an, obwohl sie bei manchen Typen ziemlich abweicht. Diese Lebensdauer gilt bei Nennspannung. Wenn die Glühlampe an eine andere Spannung angeschlossen wird, so ändert sich die Lebensdauer sehr bedeutend. Beträgt zum Beispiel die Betriebsspannung 105 % der Glühlampenspannung, so fällt die mittlere Lebensdauer auf ca. 55 %, beträgt sie nur 95 %, so

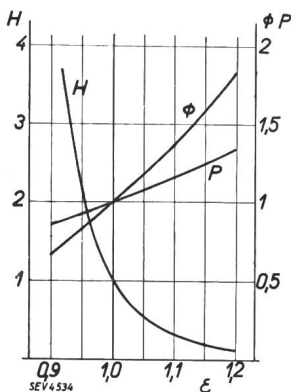


Fig. 1.

Aenderung der Lebensdauer, des Lichtstroms und der Leistungsaufnahme einer Glühlampe in Abhängigkeit von der relativen Betriebsspannung.

steigt die Lebensdauer auf ca. 210 %. Mit der Betriebsspannung ändert sich auch die Leistungsaufnahme der Glühlampe und der erzeugte Lichtstrom. In Fig. 1 sind die Aenderungen nach Angaben der Glühlampenfabriken dargestellt.

Wenn unsere Glühlampe nicht an ihre Nennspannung, sondern an eine von dieser verschiedenen Spannung angeschlossen wird, so sind die stündlichen Betriebskosten:

$$s' = \frac{A}{H'} + B P' \quad \text{Fr./h}$$

wobei  $H'$  und  $P'$  Werte sind, die für die tatsächliche Betriebsspannung gelten.

Um unsere Untersuchung fortführen zu können, ist es nötig, die sich in Abhängigkeit von der Aenderung der Betriebsspannung ändernden Glühlampewerte mathematisch auszudrücken. Wir begnügen uns hierbei mit einfachen Ausdrücken, die wohl nicht ganz genau, jedoch für unsere Zwecke hinreichend sind und einen guten Ueberblick gewähren. Wenn wir mit  $U_n$  die Nennspannung der Glühlampe bezeichnen, bei welcher die Lebensdauer  $H_n$  Stunden beträgt, so ist die Lebensdauer  $H'$  bei einer beliebigen Betriebsspannung  $U'$ :

$$H' = \left(\frac{U'}{U_n}\right)^{-13} H = H_n \cdot \epsilon^{-13} \text{ Stunden.}$$

Der bei der Spannung  $U'$  erzeugte Lichtstrom  $\Phi'$  ist gegeben durch

$$\Phi' = \Phi_n \cdot \epsilon^{3,8}$$

Die Leistungsaufnahme der Glühlampe steigt nicht mit dem Quadrat der relativen Spannung, sondern in kleinerem Masse, da bei hohen Temperaturen des Leuchtdrahtes dessen Widerstand rasch zunimmt. Wir können schreiben:

$$P' = P_n \cdot \epsilon^{1,6}$$

Bei einer beliebigen Betriebsspannung betragen nun die Kosten:

$$s' = \frac{A}{H_n} \epsilon^{13} + B P_n \epsilon^{1,6} \quad \text{Fr./h.}$$

Mit der Aenderung der Betriebsspannung hat sich jedoch auch der erzeugte Lichtstrom geändert. Unsere Glühlampe gibt jetzt einen Lichtstrom  $\Phi' = \Phi_n \cdot \epsilon^{3,8}$ . Wir benötigen daher im Verhältnis  $\Phi' : \Phi_n$  weniger Glühlampen, die nun folgende Kosten verursachen:

$$S = \frac{A}{H_n} \epsilon^{9,2} + \frac{B P_n}{\epsilon^{2,2}} \quad \text{Fr./h.}$$

Wir berechnen die relative Betriebsspannung, bei welcher die kleinsten Kosten auftreten:

$$\frac{dS}{d\epsilon} = 9,2 \frac{A}{H_n} \epsilon^{8,2} - 2,2 \frac{B P_n}{\epsilon^{3,2}} = 0,$$

woraus

$$\epsilon^{11,4} = \frac{B P_n H_n}{4,2 A},$$

oder genügend genau:

$$\epsilon \cong \sqrt[12]{\frac{B P_n H_n}{4,2 A}}$$

Hiermit ist uns die Spannung gegeben, mit welcher die Glühlampe zweckmässig arbeiten soll. Da  $U'$  die Betriebsspannung ist, so soll die Nennspannung der Glühlampe

$$U_n = \sqrt[12]{\frac{B P_n H_n}{4,2 A}} \quad \text{V}$$

sein.

Nehmen wir ein praktisches Beispiel: Wenn der Verbrauch einer Glühlampe  $P_n = 0,1$  kW, der Preis dieser Glühlampe  $A = \text{Fr. } 2.-$  und der Energiepreis  $B = 0,20$  Fr./kWh ist, wobei man als mittlere Lebensdauer der Glühlampe bei Nennspannung  $H_n = 1000$  h annehmen kann, so ist

$$\epsilon = \sqrt[12]{\frac{0,2 \cdot 0,1 \cdot 1000}{4,2 \cdot 2}} = 1,075$$

Wenn die Betriebsspannung 220 V beträgt, so muss die Nennspannung der Glühlampe

$$U_n = \frac{220}{1,075} = 205 \text{ V}$$

betragen.

In Fig. 2 sind die günstigsten relativen Betriebsspannungen einer 100-W-Glühlampe bei gegebenem

Anschaffungspreis und verschiedenen Energiepreisen niedergestellt. Wir sehen, dass die Betriebskosten bei niedrigem Energiepreis dann die geringsten sind, wenn die Betriebsspannung kleiner ist als die Glühlampennennspannung, während bei hohen Energiekosten die Betriebsspannung höher sein muss als die

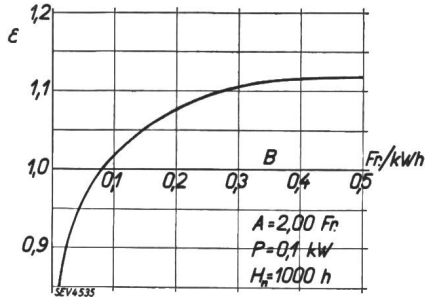


Fig. 2. Günstigste relative Betriebsspannungen bei gegebenem Preis der Glühlampe und verschiedenen Energiepreisen.

Nennspannung der Glühlampe. Dies ist vollkommen verständlich, denn bei relativ hohem Energiepreis fallen die Energiekosten mehr ins Gewicht und bei Ueberspannung ist der spezifische Energieverbrauch der Glühlampen eben kleiner.

In Fig. 3 sind die günstigsten relativen Betriebsspannungen einer Glühlampe in Abhängigkeit vom Lampenpreis dargestellt. Man sieht, dass die günstigste Betriebsspannung um so kleiner ist, je höher der Glühlampenpreis ist. Wichtig ist hierbei zu erwähnen, dass nicht nur der Marktpreis der Glühlampe in Rechnung zu stellen ist, sondern dass diesem Preis alle Spesen hinzuzufügen sind, wobei die Austauschkosten nicht unberücksichtigt bleiben dürfen. Und eben diese Austauschkosten sind häufig sehr hoch, zum Beispiel bei einer Strassenüberspannung, wobei sie unter Umständen bedeutend höher sein können als der Glühlampenpreis selbst.

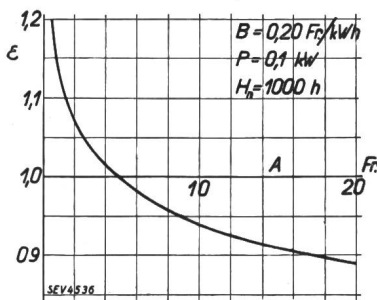


Fig. 3. Günstigste relative Betriebsspannungen bei gegebenem Energiepreis und verschiedenen Glühlampenpreisen.

Es kommen auch Fälle vor, in welchen die mittlere Lebensdauer, bezogen auf die Glühlampennennspannung, infolge besonderer Umstände bedeutend verschieden, meistens kleiner ist als die erwartete mittlere Brenndauer von 1000 Stunden. Dies kann besonders bei Speziallampen der Fall sein. In solchen Fällen ist es besonders wichtig, die zweckmässige relative Betriebsspannung zu bestimmen.

Wir wollen nun noch untersuchen, welche Bedingungen erfüllt sein müssen, damit eine Glühlampe bei Nennspannung am günstigsten arbeitet. In diesem Falle ist

$$\epsilon = 1 \text{ oder } \frac{B P_n H_n}{A} = 4,2.$$

Da als Mittelwert der Lebensdauer heute 1000 Stunden genannt werden, so müsste in diesem Falle

$$A = 240 B P_n$$

sein.

Wie bereits erwähnt, sind unsere bisherigen Untersuchungen auf der Annahme einer konstanten, schwankungslosen Betriebsspannung gemacht. Zu untersuchen wäre daher noch der Einfluss der Schwankungen der Betriebsspannung. Oben haben wir die Lebensdauer  $H'$  bei verschiedenen relativen Betriebsspannungen folgendermassen ausgedrückt:

$$H' = H_n \cdot \epsilon^{-13}$$

In jeder Zeiteinheit wird eine Alterung der Glühlampe erfolgen, die dem reziproken Wert der Lebensdauer bei der betreffenden relativen Spannung entspricht. Wir bestimmen den Mittelwert der Alterung, aus welchem wir die mittlere Lebensdauer  $H_p'$  bestimmen, die bei einer Schwankung von  $\pm p\%$  um den relativen Betriebsspannungswert  $\epsilon$  eintritt:

$$\frac{H_n}{H_p'} = \frac{1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} \int_{\epsilon_1}^{\epsilon_2} \epsilon^{13} d\epsilon = \frac{\epsilon_2^{14} - \epsilon_1^{14}}{14(\epsilon_2 - \epsilon_1)}$$

oder

$$H_p' = 14 H_n \frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{\epsilon_2^{14} - \epsilon_1^{14}} = \frac{0,28 p H_n}{\left(\epsilon + \frac{p}{100}\right)^{14} - \left(\epsilon - \frac{p}{100}\right)^{14}}$$

Zur weiteren Rechnung genügt uns folgender Ausdruck:

$$H_p' \cong k H_n$$

wobei bei  $p = 5\%$  . . .  $k = 0,94$   
 und bei  $p = 2,5\%$  . . .  $k = 0,985$   
 ist.

Der Ansatz für die stündlichen Kosten der Beleuchtungsanlage lautet nun:

$$S = \frac{A}{H_n k} \epsilon^{9,2} + \frac{B P_n}{\epsilon^{2,2}}$$

woraus die günstigste relative Betriebsspannung:

$$\epsilon \cong \sqrt[12]{k \frac{B P_n H_n}{4,2 A}}$$

Wenn wir nun noch berücksichtigen wollen, dass der erzeugte Lichtstrom einer Glühlampe bei derselben Betriebsspannung wegen der eintretenden Schwärzung stetig abnimmt, so erkennen wir vor allem, dass diese Erscheinung praktisch nur bei einer sehr langen Lebensdauer von Bedeutung ist. Es gilt nicht mehr der frühere Ausdruck  $\Phi' = \Phi_n \epsilon^{3,8}$ , sondern wir können den mittleren Lichtstrom einer Glühlampe während ihrer ganzen Lebensdauer folgendermassen ausdrücken:

$$\Phi' = 0,95 \cdot \Phi_n \cdot \epsilon^4$$

Bei einer kleinen Anzahl von Glühlampen in einer Anlage wird der von allen Lampen erzeugte Licht-

strom infolge des Alterns der Glühlampen Aenderungen unterworfen sein. Bei einer genügend grossen Zahl von Glühlampen ist das Alter der einzelnen Glühlampen verschieden und Lichtstromänderungen werden nicht merklich sein.

Die stündlichen Kosten betragen:

$$S = \frac{A}{0,95 H_n} \varepsilon^9 + \frac{B P_n}{0,95 \varepsilon^{2,4}}$$

Wir berechnen wieder die günstigste relative Betriebsspannung:

$$\varepsilon \cong \sqrt[12]{\frac{B P_n H_n}{3,75 A}}$$

Wir setzen noch den Faktor  $k$  ein, die Schwankungen der Betriebsspannungen berücksichtigend, und erhalten:

$$\varepsilon = \sqrt[12]{k \frac{B P_n H_n}{3,75 A}}$$

Aus den zuletzt erhaltenen Ergebnissen sehen wir, dass es zweckmässig ist, in jeder Beleuchtungsanlage die günstigste relative Betriebsspannung, bzw. die günstigste Glühlampennennspannung zu ermitteln. Hierbei zeigt sich, dass in den meisten Fällen die Glühlampennennspannung von der Be-

triebsspannung verschieden sein sollte. Die erhaltenen Resultate bestätigt auch die Praxis, die auch bisher in einigen Fällen Glühlampen mit einer von der Betriebsspannung abweichenden Nennspannung verwendet hat. Allerdings bemerken wir, dass in den meisten Fällen die Glühlampen mit Ueberspannung brennen müssten. Die Industrie erzeugt nämlich heute Glühlampen mit einer durchschnittlichen Brenndauer von ca. 1000 Stunden, obwohl unsere Rechnung eine niedrigere Lebensdauer von etwa 500 Stunden empfiehlt. Vielleicht ist das Vorgehen der Industrie durch die Tradition bestimmt; wahrscheinlich hält sie es jedoch für zweckmässig, etwas langlebigere Glühlampen auf den Markt zu bringen. Der Durchschnittskäufer würde die häufigeren Anschaffungskosten zwecks Ersatz einer durchgebrannten Glühlampe und die mit dem Austausch verbundenen Arbeiten unangenehmer empfinden, als die ständig etwas höheren Stromrechnungen, besonders da die Ersparnis wahrscheinlich verborgen bleibt. Diese psychologische Ueberlegung kann die jetzt übliche mittlere Brenndauer von 1000 Stunden rechtfertigen, da ja auch die Kurve der Gesamtkosten in der Nähe ihres Minimums, wie alle ähnlichen Wirtschaftskurven, sehr flach verläuft. In grossen Anlagen ist jedoch sicherlich eine genaue Wirtschaftlichkeitsrechnung am Platze.

## Un nouveau type de câble électrique pour les hautes et très hautes tensions: le câble à huile imprégné après pose.

Par James Borel, Cortaillod.

621 315.21

*Les câbles imprégnés d'huile fluide supportent des contraintes électriques qui sont environ le triple de celles admises pour les câbles imprégnés de matière. Ils peuvent donc transporter l'énergie électrique jusqu'aux tensions les plus élevées qui sont utilisées actuellement. En raison des grandes puissances qu'ils sont appelés à transporter, et de l'importance de la régularité de fonctionnement des réseaux à haute tension, le coefficient de sécurité des câbles à huile doit être élevé et rester constant. Or la sécurité d'un câble ne dépend pas uniquement de la qualité du diélectrique mais aussi des qualités mécaniques de la gaine de plomb, qualités que l'on peut apprécier moins facilement. Pour qu'à la grande sécurité que présente le diélectrique d'un câble à huile corresponde une sécurité mécanique analogue de la gaine de plomb, un nouveau type de câble a été mis au point qui permet d'effectuer de sévères contrôles des propriétés mécaniques. Ce nouveau type de câble d'autre part ainsi que les accessoires qui ont été mis au point sont d'une réalisation qui rallie à la simplicité une grande sécurité d'exécution à laquelle correspond une grande sécurité électrique.*

*Die mit flüssigem Oel imprägnierten Kabel halten elektrische Beanspruchungen aus, die ungefähr dreimal so hoch sind wie die, welche für Massekabel zulässig sind. Sie sind deshalb geeignet, elektrische Energie bis zu den höchsten heute angewandten Spannungen zu übertragen. Im Hinblick auf die grossen zu übertragenden Leistungen und in Anbetracht der Bedeutung, die einem anstandlosen Betrieb eines Hochspannungsnetzes zukommt, muss der Sicherheitsgrad der Oelkabel sehr hoch und unveränderlich sein. Die Betriebssicherheit eines Kabels hängt aber nicht nur von der Qualität des Dielektrikums, sondern auch von den mechanischen Eigenschaften des Bleimantels, wurde eine neue Kabelkonstruktion entwickelt, die ermöglicht, eingehende Kontrollen der mechanischen Eigenschaften der Kabelhülle auszuführen. Dieser neue Kabeltyp sowie die nötigen Zubehörteile sind einfach aufgebaut, wodurch eine einwandfreie Ausführung der Anlage und damit eine hohe Sicherheit in elektrischer Hinsicht gewährleistet ist.*

### I. Comparaison des propriétés des câbles imprégnés de matière visqueuse et des câbles imprégnés d'huile fluide. 1)

Parmi les essais de contrôle de la qualité d'un câble, la détermination de la tension limite est celui qui, sans conteste possible, donne les résultats les plus certains.

Rappelons que l'on entend par tension limite, la tension la plus élevée que le câble peut supporter indéfiniment.

<sup>1)</sup> Dans la suite nous parlerons par abréviation de câble à matière et de câble à huile.

Pour la déterminer, des éprouvettes de câbles sont soumises à des tensions différentes et judicieusement choisies jusqu'à ce que la rupture de l'isolant s'ensuive. Si alors l'on porte dans un système d'axes coordonnées le temps en abscisses et la tension en ordonnées, la relation entre la tension et le temps nécessaire à la rupture de l'isolant, se traduit par une courbe dont l'asymptote parallèle à l'axe des temps est la tension limite (fig. 1).

Cette courbe qui a reçu le nom très expressif de courbe de vie du câble, dépend, cela va sans dire, des données constructives du câble, et par données constructives il faut en-