

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 25 (1934)  
**Heft:** 15

**Artikel:** Wirkungsgrade und Wirkungsgradkurven elektrischer Maschinen  
**Autor:** Vidmar, Milan  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1060164>

### **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:** 16.02.2026

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

ser Quanten beträgt  $2,65 \cdot 10^6$  eVolt. Die Geschwindigkeiten der beiden entstehenden Elektronen wurden durch ihre Ablenkung in einem Magnetfeld gemessen, und ergaben, dass die kinetische Energie des positiven und des negativen Elektrons zusammen  $1,6 \cdot 10^6$  eVolt beträgt. Der fehlende Betrag von  $1 \cdot 10^6$  eVolt ist gerade die Energiemenge, welche nötig ist, um die beiden Elektronen zu erzeugen.

Auch bei der Absorption der kosmischen Strahlung treten Positronen und Elektronen auf, oft in ganzen Schwärmen (showers), bis zu vierzig Paaren auf einmal (Fig. 17).

9. Man kann aber auch den Vorgang der Paarerzeugung umkehren. Wenn man nämlich ein Positron auf Materie schiesst, so wird es gebremst. Es kommt zur Ruhe und findet dann bald ein negatives Elektron, mit dem es sich vereinigt. Die beiden Teilchen werden vernichtet und es entstehen zwei Lichtquanten von je  $0,5 \cdot 10^6$  eVolt Energie ( $\lambda = 20$  XE) (Fig. 18). Der Grund, warum zwei Lichtquanten auftreten und nicht nur eines, liegt darin, dass jedes Lichtquant den Impuls  $\frac{h \cdot \nu}{c}$  besitzt. Fliegen nun die beiden Lichtquanten in entgegengesetzten Richtungen fort, so ist ihr Gesamtimpuls null und der Satz der Erhaltung des Gesamtimpulses bleibt bewahrt. Allerdings kommt es unter besonderen Umständen vor, dass bei dieser

Vernichtung (annihilation) nur ein Lichtquant auftritt, das aber dementsprechend die Energie von  $1 \cdot 10^6$  eVolt besitzt. Der Rückstoss wird dann von einem Atomkern aufgenommen.

Weil wir heute Teilchen und Licht ineinander umwandeln können, müssen wir die Frage nach den Elementarteilchen, aus denen sich die Materie aufbaut, ganz anders ansehen. Wenn z. B. ein Elektron aus einem radioaktiven Kern herausfliegt ( $\beta$ -Zerfall), so dürfen wir nicht mehr behaupten, das Elektron sei schon vorher im Kern gewesen; es kann ebensogut erst beim Zerfallsprozess selbst erzeugt worden sein. Das gleiche gilt für die Emission von  $\gamma$ -Quanten. Wir wissen nicht einmal, ob nicht die Photonen überhaupt nur Elektronenpaare sind, welche miteinander fliegen und dadurch dieses neutrale Lichtquant vortäuschen.

Zusammenfassend können wir sagen, dass jede Strahlung, je nach der experimentellen Anordnung, die eine oder die andere Seite ihres Wesens zeigt, sich manchmal als Welle und manchmal als Korpuskel äussert. Die eklatanteste Bestätigung dieser Einheit beider Gesichtspunkte ist die Erzeugung von Elektronen aus  $\gamma$ -Strahlen und umgekehrt. Durch die Kernreaktionen, die heute in grosser Zahl ausgeführt werden können, ist die Physik im Begriffe, einen weiteren Schritt vorwärts zu tun, und es ist wohl sicher, dass das kommende Jahr eine Fülle von neuen grossen Entdeckungen bringen wird.

## Wirkungsgrade und Wirkungsgradkurven elektrischer Maschinen.

Von Milan Vidmar, Ljubljana.

621.3.017.8

*Für die Wirtschaftlichkeit einer Maschine ist nicht nur der Anschaffungspreis, sondern auch der Jahreswirkungsgrad massgebend. Der Jahreswirkungsgrad ist dann gut, wenn der momentane Wirkungsgrad bei kleinen und grossen Belastungen nicht wesentlich verschieden ist. Es wird gezeigt, wie beim Transformator ein solcher günstiger Verlauf der Wirkungsgradkurve erreicht werden kann. Beim Turbogenerator sind die Schwierigkeiten bedeutend grösser als beim Transformator. Einige Möglichkeiten zur Behebung dieser Schwierigkeiten werden angegeben, wobei besonders auf die Ideen von Blathy hingewiesen wird.*

*L'économie d'une machine ne se mesure pas seulement au prix d'acquisition, mais aussi au rendement annuel. Celui-ci est bon lorsque le rendement momentané n'est pas sensiblement différent aux faibles et aux fortes charges. L'auteur montre comment on peut réaliser pour le transformateur une courbe de rendement présentant cette allure favorable. Pour le turbo-alternateur, des difficultés sérieuses s'y opposent et l'auteur indique quelques moyens d'y parer, en se référant spécialement aux idées de Blathy.*

### I.

Die Wirkungsgrade elektrischer Maschinen waren von allem Anfang an so überraschend hoch, dass die Elektrotechnik durch Jahrzehnte bemüht sein konnte, sie zu verschlechtern. Dies tat sie natürlich nicht aus Uebermut. Sie wollte billige Maschinen bauen. Sie erhöhte mehr und mehr die Stromdichten im Kupfer und die Liniendichten im Eisen, um mit weniger Kupfer und Eisen auszukommen. Dabei kämpfte sie lange nur mit den selbst immer wieder heraufbeschworenen Schwierigkeiten der Wärmeabfuhr.

Allmählich dämmerte die Erkenntnis, dass das merkwürdige Spiel nicht unbegrenzt fortgesetzt werden könne. Man wurde mit der Zeit der Tatsache gewahr, dass die Anschaffung einer Maschine

noch nicht sämtliche Geldopfer beinhalte, dass die Betriebsverluste auch Geld kosten, und kam schliesslich zur Feststellung, dass Anschaffungspreis und Wirkungsgrad den Wert einer Maschine gemeinsam kennzeichnen.

Nichts kann für den reifen Elektromaschinenbau bezeichnender sein als der Kampf, der in den letzten Jahren um den Wirkungsgrad grosser Turbogeneratoren geführt wird. Als Ziel dieses Kampfes bezeichnete der bekannte Grossmeister des Elektromaschinenbaues, O. T. Bláthy, dem Verfasser gesprächsweise 99 % Wirkungsgrad. Mit gewaltigen konstruktiven Mitteln kommt er selbst in der Tat diesem Ziel schon sehr nahe. Auf der letzten internationalen Hochspannungskonferenz in Paris wurde über einen neuen Bláthy-Turbogenerator

berichtet, der mit seiner Energie sparenden Kühlung ausserordentlich überrascht.

Der hohe Wirkungsgrad bei Vollast ist indessen nur ein Teilziel des neuzeitigen Grossmaschinenbaues. Wenn man schon eingesehen hat, dass es nicht darauf ankommt, dass die Maschine billig ist, sondern darauf, dass sie billig arbeitet, darf man nicht oberflächlich sein. Der Wirkungsgrad bei Vollast ist nämlich für den wirklichen Betrieb nicht massgebend. Die Maschine, der grosse Turbogenerator, der grosse Transformator, laufen nicht immer, ja sogar selten, unter Vollast. Die Belastung schwankt von Stunde zu Stunde, von Tag zu Tag, von Monat zu Monat. In der Bilanz steht der Wert der im Jahre aufgelaufenen Verlustarbeit. Diese Verlustarbeit hat nun mit dem Vollastwirkungsgrad wenig zu tun.

In alten Zeiten teilte man bei Transformatoren die Gesamtverluste zu gleichen Teilen auf das Eisen und auf das Kupfer auf, weil man bei vorgeschriebenen Gesamtverlusten mit dieser Aufteilung die höchste Leistung aus einer gegebenen Konstruktion herausholte, weil man, mit anderen Worten, damit den höchsten Vollastwirkungsgrad erreichte. Heute verlegt man den Grossteil der Transformatorverluste, der Vollastverluste natürlich, ins Kupfer, weil man berücksichtigt, dass der Transformator oft schwach belastet ist, weil man die Jahresverluste zu gleichen Teilen dem Eisen und dem Kupfer zuschieben will, um möglichst viel aus der Maschine herauszuholen, um einen möglichst günstigen *Jahreswirkungsgrad* zu erreichen.

Was ist nun eigentlich der Jahreswirkungsgrad, der heute den Vollastwirkungsgrad zu verdrängen droht? Offenbar ein Durchschnittswirkungsgrad. Bei verschiedenen Belastungen ist bekanntlich der Wirkungsgrad einer Maschine verschieden hoch. Ist nun der Wirkungsgrad bei einer mittleren Belastung schon der Jahreswirkungsgrad? Keineswegs. Es kommt zweifellos noch sehr darauf an, wie lange die verschiedenen Belastungen dauern. Aus der Wirkungsgradkurve einer Maschine wird man im allgemeinen ihren Jahreswirkungsgrad nicht verlässlich ermitteln können, ohne die Belastungskurve für das ganze Jahr zu kennen.

Es gibt aber doch einen Weg, der um die ungewissen Belastungszeitabschnitte herumführt. Wenn nämlich der Sekundenwirkungsgrad innerhalb der vorauszusehenden Belastungsspanne, sagen wir zwischen Vollast und Halblast, konstant bleibt, spielt die einzelne Belastungsdauer keine Rolle mehr. Der konstante Sekundenwirkungsgrad fällt dann offenbar mit dem erwarteten Jahreswirkungsgrad zusammen.

Die richtige Form der Wirkungsgradkurve musste nach all dem das zweite Teilziel des neuzeitigen Grossmaschinenbaues werden. Es lautet: zwischen Vollast und Halblast, oder, zwischen Vollast und Drittelast gleichbleibender, wenigstens praktisch gleichbleibender Wirkungsgrad. Wie man ihn erreicht, soll die nachfolgende Untersuchung zeigen.

## II.

Besonders durchsichtig liegen die Verhältnisse beim Transformator, deshalb soll seine Wirkungsgradkurve an erster Stelle untersucht werden. Allerdings sind auch bei diesem einfachsten Problem noch Vernachlässigungen nötig. Die Stromwärme des Magnetisierungsstromes soll unberücksichtigt bleiben. Ferner sollen die Verluste im Eisen mit jener Höhe als konstant eingesetzt werden, die sie im wirklichen Leerlauf erreichen.

Mit diesen Einschränkungen seien:

- $U$  die Primärspannung
- $I$  der Primärstrom
- $P$  die konstanten Verluste im Eisen
- $pI^2$  die Verluste im Kupfer
- $\varphi$  der Belastungsphasenwinkel
- $c$  eine Konstante.

Der Wirkungsgrad des Transformators kann mit diesen Bezeichnungen folgendermassen ausgedrückt werden:

$$\eta = \frac{c U I \cos \varphi}{c U I \cos \varphi + P + p I^2} \quad (1)$$

Er erreicht, wie man leicht feststellen kann, seinen Höchstwert bei:

$$p I^2 = P, \quad (2)$$

d. h. beim Belastungsstrom:

$$I = \sqrt{\frac{P}{p}} \quad (2a)$$

und zwar den Wert:

$$\eta_{\max} = \frac{c U \cos \varphi \sqrt{\frac{P}{p}}}{c U \cos \varphi \sqrt{\frac{P}{p}} + 2 P} \quad (3)$$

Ist nun  $I_o$  der Vollaststrom und  $\eta$  nach Gl. (1) der Vollastwirkungsgrad, so gibt es vielleicht einen kleineren Belastungsstrom, z. B.:

$$\frac{I_o}{\varepsilon}$$

bei dem sich ein gleich hoher Wirkungsgrad einstellt wie bei Vollast. Aus:

$$\frac{c U I_o \cos \varphi}{c U I_o \cos \varphi + P + p I_o^2} = \frac{c U \frac{I_o}{\varepsilon} \cos \varphi}{c U \frac{I_o}{\varepsilon} \cos \varphi + P + p \frac{I_o^2}{\varepsilon^2}}$$

erhält man hiefür die Bedingungsgleichung:

$$p I_o^2 = P \cdot \varepsilon \quad (4)$$

$$\text{bzw.} \quad I_o = \sqrt{\frac{P \varepsilon}{p}} \quad (5)$$

$$\text{und} \quad \frac{I_o}{\varepsilon} = \sqrt{\frac{P}{p \varepsilon}} \quad (5a)$$

Ein ungemein wichtiger Einblick in den Aufbau der Wirkungsgradkurve ist damit gewonnen (Fig. 1). Der Transformator hat beim  $\varepsilon$ -ten Teil der Vollast noch den Vollastwirkungsgrad, wenn er seinen höchsten Wirkungsgrad bei einer dazwischen liegenden Belastung erreicht, und zwar muss diese günstigste Belastung  $\sqrt{\varepsilon}$ -mal kleiner sein als die Vollast.

Will man beispielsweise bei Halblast noch den Vollastwirkungsgrad haben, so muss der Höchstwirkungsgrad bei rund 71 % der Vollast eintreten. Bei Drittellast hat der Transformator immer noch den Vollastwirkungsgrad, wenn er seinen Höchstwirkungsgrad bei rund 58 % der Vollast erreicht.

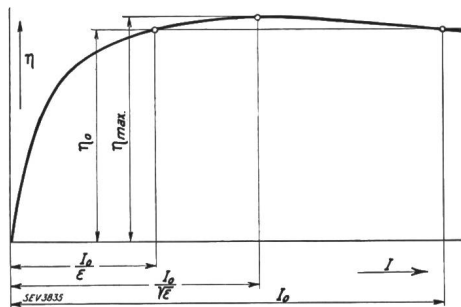


Fig. 1.

Ein merkwürdiger Zusammenhang wird aus den Gleichungen der durchgeführten Untersuchung noch sichtbar. Gleicher Wirkungsgrad bei Halblast und Vollast setzt nämlich bei Vollast Verluste im Kupfer voraus, die die doppelte Höhe der Verluste im Eisen erreichen. Drittellast und Vollast mit gleichem Wirkungsgrad sind mit dreifachen Vollastverlusten im Kupfer gegenüber den Verlusten im Eisen zu haben. Kurz, die Verlustaufteilung bei Vollast ist gleich wie die Lastaufteilung beim Vollastwirkungsgrad. Neuzeitige Transformatoren haben, wenn sie nicht zu gross sind, bei Vollast sehr oft ein Teilverlustverhältnis 4 : 1. Sie haben deshalb auch bei Viertellast immer noch den Vollastwirkungsgrad.

In der Sorge um das wirtschaftliche Arbeiten des Transformators ist die Technik zwei Wege gegangen. Sie hat bei Vollast dem Kupfer den überwiegenden Teil der Verluste zugeschoben, um die Jahresverlustarbeit des Eisens jener des Kupfers möglichst gleich zu machen. Andererseits versuchte sie, den Wirkungsgrad in einem weiten Belastungsbereich möglichst auf gleicher Höhe zu halten. Beide Wege führen, wie man sieht, tatsächlich zum selben Ziel.

Die Tatsache, dass der Höchstwirkungsgrad im Belastungsbereich, an dessen beiden Grenzen der Vollastwirkungsgrad steht, liegen muss, bürgt dafür, dass im ganzen Belastungsbereich der Vollastwirkungsgrad überschritten wird. Arbeitet demnach der Transformator nur in dem abgesteckten Leistungsbereich, für den er entworfen worden ist, so wird sein Jahreswirkungsgrad sogar günstiger werden als der Vollastwirkungsgrad.

Es ist nun nicht überflüssig, nachzusehen, um wieviel sich der Höchstwirkungsgrad über den Vollastwirkungsgrad erhebt. Der Unterschied ist für die unvermeidliche Ungleichmässigkeit des Wirkungsgrades im vorgesehenen Belastungsbereich bezeichnend. Die Gleichungen (1), (3) und (5) gestatten eine rasche Beantwortung der gestellten Frage. Es ist:

$$\eta_{\max} - \eta_0 = \frac{c U \cos \varphi \sqrt{\frac{P}{p}}}{c U \cos \varphi \sqrt{\frac{P}{p}} + 2P} - \frac{c U \cos \varphi \sqrt{\frac{P \varepsilon}{p}}}{c U \cos \varphi \sqrt{\frac{P \varepsilon}{p}} + P + \varepsilon P}$$

Nun sind aber:

$$v_0 = \frac{P}{c U \cos \varphi \sqrt{\frac{P \varepsilon}{p}}} \quad (6)$$

die auf die Volleistung bezogenen Leerlaufverluste. Führt man sie ein, so kann man mit genügender Genauigkeit schreiben:

$$\eta_{\max} - \eta_0 = (\sqrt{\varepsilon} - 1)^2 v_0 \quad (7)$$

Ein 100 kVA-Transformator hat heute etwa 600 W Leerlaufverluste. Bei induktionsfreier Vollast hätte er somit ein:  $v_0 = 0,6 \cdot 10^{-2}$ . Setzt man seine Vollastverluste im Kupfer auf 1800 W an, was einem  $\varepsilon = 3$  entsprechen und bei Drittellast immer noch den Vollastwirkungsgrad versprechen würde, so wäre:

$$\eta_{\max} - \eta_0 = (\sqrt{3} - 1)^2 \cdot 0,6 \cdot 10^{-2} = 0,32 \cdot 10^{-2}$$

d. h. zwischen Vollast und Drittellast gäbe es nur ein Drittel Prozent Wirkungsgradschwankung.

Wird der Transformator auch induktiv belastet, so wächst der Unterschied zwischen dem höchsten und dem Vollastwirkungsgrad. Aus Gl. (6) ersieht man, dass der Unterschied dem Leistungsfaktor umgekehrt proportional ist.

Ein eigenartiger neuer Einblick in die Entwurfsgeheimnisse des Transformators ist mit der durchgeführten Untersuchung gewonnen. Er befreit uns von alten Vorurteilen, führt uns aber andererseits zu alten Entwurfsgesetzen zurück. Wir wissen schon lange, dass wir nicht für die Leistung konstruieren, sondern für die Verluste; der lange Kampf mit den Erwärmungsschwierigkeiten hat uns gezeigt, dass die Verluste die Abmessungen der Maschine bestimmen.

Nun sehen wir, dass es für den Entwurf vor allem wichtig ist, zwischen welcher höchsten und welcher niedrigsten Leistung der Transformator voraussichtlich arbeiten wird. Sind diese beiden Grenzleistungen, nennen wir sie  $P'_0$  und  $\frac{P'_0}{\varepsilon}$ , bestimmt, so kann der Entwurf nach alten Gesetzen für die Leistung

$$P' = \frac{P'_0}{\sqrt{\varepsilon}}$$

aufgebaut werden. Nach diesen alten Gesetzen haben dann Eisen und Kupfer gleich grosse Verluste zu übernehmen. Sie übernehmen auf dieser Grundlage bekanntlich auch je die halben Baukosten. Der Kühlapparat allerdings muss für die voraussichtliche Höchstleistung eingerichtet werden. Bei der Höchstleistung stellt sich von selbst das neuzeitige Missverhältnis zwischen den Verlusten im Kupfer und im Eisen ein.

### III.

Bei Transformatoren, auch bei den grössten, ist das Problem der Wirkungsgradkurve nicht schwierig. Die Sorge um den Magnetisierungsstrom setzt der Liniendichte im Eisen unübersteigbare Grenzen. Der billigste Entwurf verlangt andererseits ungefähr gleichen Aufwand für Eisen und Kupfer. Bei Vollast müssen also die Verluste im Kupfer die Leerlaufverluste mehrfach übersteigen. Die Wirkungsgradkurve des neuzeitigen Transformators streckt sich von selbst innerhalb eines weiten Arbeitsbereiches. Der Höchstwirkungsgrad erhebt sich infolge der geringen Leerlaufverluste sehr wenig über den Vollastwirkungsgrad.

Viel schwieriger ist das Problem des Wirkungsgrades und der Wirkungsgradkurve bei Turbogeneratoren. Hier werden die Leerlaufverluste durch den mechanischen Beitrag wirksam erhöht. Die Stromwärme der Erregerwicklung folgt ferner nicht mehr dem Quadrat der Belastung und darf nicht mehr vernachlässigt werden. Endlich verursacht noch die Lüftung ganz bedeutende Energieverluste, die man keineswegs mit den Verlusten im Ständerkupfer in eine Reihe stellen kann.

In der Untersuchung, die wir für den Turbogenerator durchführen müssen, soll wie beim Transformator der Einfluss des eigentlichen Spannungsabfalls auf die Stärke des Gesamtkraftflusses der Maschine und damit auf die Höhe der Verluste im Eisen unberücksichtigt bleiben. Er ist bestimmt nicht ohne weiteres vernachlässigbar. Die Vernachlässigung unterstützt aber die Klärung des vorliegenden Problems wirksam.

Die Untersuchung beginnt am besten mit der Stromwärme der Erregerwicklung, weil sich dabei am raschesten die Unterschiede zwischen Transformator und Turbogenerator, zwischen Strom- und Spannungswandler, soweit sie für das Problem des Wirkungsgrades und der Wirkungsgradkurve bestehen, zeigen.

Nehmen wir an, der Turbogenerator hätte nach der Leerlaufkurve den Erregerstrom  $I_0$ . Arbeitet er nun mit einem Phasenwinkel  $\varphi$  und mit einem Belastungsstrom  $I$ , so muss nach Fig. 2 die Stromwärme seiner Erregerwicklung:

$$I_2^2 = I_0^2 + a I^2 + 2 a I I_0 \sin \varphi$$

proportional werden, wobei  $a$  eine leicht bestimmbare Konstante ist.

Man sieht sofort: Zum Teil ist die Stromwärme des Läufers von der Belastung unabhängig, zum

Teil ändert sie sich wie das Quadrat der Belastung. Neu ist, dass ein Teil der Erregerverluste sogar proportional der Belastung bleibt.

Der Lüfter des Turbogenerators verbraucht sehr viel Arbeit. Er braucht aber eigentlich nicht immer mit voller Leistung zu arbeiten. Bei kleinen

Belastungen kann er gedrosselt werden. Seine Leistung könnte teils dem Quadrat, teils der ersten Potenz der

Maschinenbelastung proportional gesetzt werden, wenn man auf einen wenig veränderlichen Wirkungsgrad des Turbogenerators

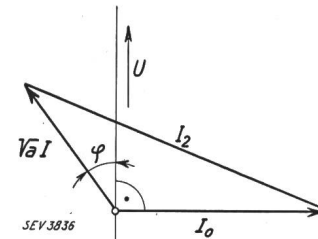


Fig. 2.

rechnen könnte. Jedenfalls muss mit einer Konstanten  $b$  beim Turbogenerator der Ausdruck für den Wirkungsgrad folgendermassen angesetzt werden:

$$\eta = \frac{c U I \cos \varphi}{c U I \cos \varphi + P + b I + p I^2} \quad (8)$$

Er erreicht seinen Höchstwert, wenn  $P = p I^2$  wird, bei jener Belastung also, bei der die unveränderlichen Verluste jenen gleich werden, die mit dem Quadrat der Belastung steigen und fallen.

Für den Turbogenerator gilt also noch immer das Wirkungsgradgesetz, das wir für den Transformator aufgestellt haben. Jene Teilverluste, die der Leistung proportional sind, erscheinen in der Rechnung wie ein Teil der Leistung. Sie beeinflussen offenbar die Ergebnisse sehr wenig. Sobald dies klar erkannt ist, kann man die bereits gesicherten Ergebnisse der Wirkungsgradtheorie unmittelbar verwerten. Vor allem entsteht natürlich die Frage, ob es auch beim Turbogenerator möglich ist, den Höchstwirkungsgrad weit unterhalb der Vollast zu erreichen. Für die Streckung der Wirkungsgradkurve auf die, wenigstens praktisch, gleiche Höhe innerhalb des erwarteten Belastungsbereiches ist die Antwort auf die gestellte Frage sehr wichtig.

Ein niederschmetterndes Bild erhält man nun, wenn man die tatsächlich erzielten Verlustaufteilungen durchsieht. Der grosse Turbogenerator für 45 000 kVA und 3000 U/min, der in Laziska Gorne (Polen) arbeitet, hat z. B. folgende Teilverlustzusammenstellung bei  $\cos \varphi = 0,8$ :

	kW
Ständereisen . . . . .	225
Ständerkupfer . . . . .	90
Läuferkupfer . . . . .	85
Luftreibung des Läufers . .	230
Zusatzverluste . . . . .	180
Lüftung . . . . .	120
Lagerreibung . . . . .	115
Gesamtverluste	970

Die unveränderlichen, genauer gesagt, die schwach veränderlichen Teilverluste überwiegen in dieser Zusammenstellung gewaltig. Der Höchstwirkungsgrad liegt offenbar weit oberhalb der Vollast. Dadurch muss  $\sqrt{\varepsilon}$  in Gl. (7), die die Ungleichmäs-



sigkeit des Wirkungsgrades überwacht, unangenehm gross werden. Es entspricht ja dem Verhältnis der dem Höchstwirkungsgrad entsprechenden zu der erwarteten niedrigsten Belastung. Beim Turbogenerator muss man sich offenbar nur mit jenem Teil der Wirkungsgradkurve begnügen, der unterhalb der Höchstwirkungsgradleistung liegt. Der Transformator hat weit grössere Möglichkeiten.

Die Bestrebungen des neuzeitigen Turbogeneratorenbaues gehen den nun leicht verständlichen Weg, die schwach veränderlichen Teilverluste herunterzudrücken. Nichts spricht aber gegen die Erhöhung der Ständerkupferwärme.

Die Verluste im Ständereisen lassen sich mit hochlegiertem Blech wirksam bekämpfen, wenn dieses Blech nicht technologische Schwierigkeiten bringt. Ermässigungen der Liniendichte im Ständereisen kommen auch in Betracht.

Die Luftreibung des Läufers verdient bei Turbogeneratoren die höchste Aufmerksamkeit. Amerikanische Konstruktionen lassen den Läufer in Wasserstoff umlaufen statt in Luft. Die erzielten Erfolge sind nicht zu unterschätzen.

Die Lüftung endlich forderte den Konstrukteur am schärfsten heraus. In die Maschine selbst eingebaute Lüfter verursachten für jedes weggekühlte Kilowatt ein Viertel Kilowatt Eigenverbrauch. Man ging allmählich zum selbständigen Lüften über und richtete einen Luftstromkreis Maschine—Lüfter—Kühler ein. Bláthy verwarf endlich die schwerfällige Luftkühlung in allerjüngster Zeit vollkommen. Seine Idee ist, den Läufer mit Wasser, den Ständer mit Oel zu kühlen. Die Kühlungsverluste werden nach dieser Idee ausserordentlich klein.

Man kann in der Tat den Läufer gegen den Ständer abdichten, wenn man in den Luftspalt einen ölundurchlässigen Zylinder einschiebt. Der ganze Ständer kann dann unter Oel gesetzt werden wie ein Transformator, mit all den bekannten Vor-

teilen der Oelkühlung und -isolierung. Eine Oelpumpe kann die Oelkühlung wirksam verstärken.

Das Kühlwasser führt Bláthy seitlich in die Läuferwelle ein, die ausgebohrt wird. Es tritt dann in den Läuferkörper über und strömt durch Kühlrohre in den Zähnen. Aus dem anderen Wellenende tritt das Kühlwasser wieder aus.

Die neue Kühlungsart setzt nicht nur die Lüftungsverluste gewaltig herunter, sondern ermöglicht auch noch eine bedeutende Erhöhung der Stromdichten im Kupfer. Sie lässt sich vielleicht auch noch mit der Verwendung des Wasserstoffes verbinden, damit die Luftreibung des Läufers energisch heruntergedrückt wird.

Die angegebenen neuzeitigen Hilfsmittel lassen es nicht als ausgeschlossen erscheinen, dass wir tatsächlich 99 % Wirkungsgrad bei grossen Turbogeneratoren erreichen werden. Ein Hundertstel Wirkungsgrad bedeutet für das Betriebsjahr ungefähr soviel wie der ganze Anschaffungspreis der Maschine. Der Weg von 98 bis 99 % Wirkungsgrad ist schwer aber lohnend.

Andererseits stellen die angegebenen Hilfsmittel eine wesentliche Verbesserung der Wirkungsgradkurve in Aussicht. Zwischen Halblast und Vollast wird der Turbogenerator wohl auch einen praktisch gleichbleibenden Wirkungsgrad bekommen, wenn sich die neuern Ideen bewähren.

Vor 20 Jahren überraschte Bláthy die Welt mit ausserordentlich ausgiebigen neuen Ideen im Turbogeneratorenbau. Sie wurden bald Gemeingut der Elektrotechnik. Zu seinem 50jährigen Arbeitsjubiläum beschenkt er die Elektrotechnik mit einer noch grösseren Ueberraschung im Turbogeneratorenbau. Sie steht ganz im Zeichen konstruktiv-wirtschaftlicher Probleme, mit denen der reife Elektromaschinenbau seine Entwicklung abschliessen wird.

## Nachträgliches zur Frage der Energieversorgung von Nidwalden.

621.311(494)

*In der letzten Nummer, S. 374, gaben wir einen kurzen Ueberblick über den heutigen Stand der Frage des Bannalpwerkes. Nachstehend veröffentlichen wir noch eine Aeusserung von Herrn Ing. Dr. J. Büchi, einem der regierungsrätlichen Experten, zur heutigen Lage, worin auch die Begutachtung des Projektes durch die vom Initiativkomitee bestellten Experten beleuchtet wird. Diese Aeusserung wird zweifellos alle Kreise der schweizerischen Energiewirtschaft interessieren.*

*Dans le dernier numéro du Bulletin (p. 374) nous avons donné un bref aperçu de la question de l'usine de Bannalp, telle qu'elle se présente actuellement. Nous publions ci-dessous à ce sujet une communication de M. J. Büchi, Dr. ing., l'un des experts gouvernementaux, où il est question aussi du rapport des experts désignés par le comité d'initiative. Nous ne doutons pas que cette communication intéressera tous les milieux s'occupant de l'économie de notre énergie en Suisse.*

Die Landsgemeinde des Kantons Nidwalden hat am 29. April dieses Jahres, wie aus der Tagespresse zu entnehmen war, mit starker Mehrheit den Gesetzesvorschlag des Initiativkomitees vom 14. Februar 1934 angenommen und den Bau eines Kraftwerkes am Bannalpbach und die Schaffung eines kantonalen Elektrizitätswerkes beschlossen. Vom Regierungsrat, der im Landrat bekanntlich geschlossen den Antrag auf Verwerfung des Gesetzes stellte und hiebei von der Mehrheit des Landrates unterstützt worden war, sind an der Landsgemeinde acht Mitglieder zurückgetreten, während zwei Mitglieder in der neuen Regierung verblieben sind, die durch Zuwahl von Freunden der Initiative weiter auf die

Zahl von elf Mitgliedern erhöht wurde. Seither hat der Landrat auf Antrag der neuen Regierung eine Baukommission für das Bannalpwerk und die Eigenversorgung gewählt, die aus 13 Mitgliedern besteht.

Damit sind die offiziellen Schritte zur Verwirklichung des Bannalpkraftwerkes und der Eigenversorgung des Kantons Nidwalden mit elektrischer Energie eingeleitet.

In sachlicher Beziehung habe ich dem Gutachten der regierungsrätlichen Experten vom 20. März 1934, das in dieser Zeitschrift publiziert wurde<sup>1)</sup>, nichts Neues beizufügen.

<sup>1)</sup> No. 7 d. J.