

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 29 (1938)
Heft: 4

Artikel: Leistungsfaktor-Verbesserungen im Hochspannungsnetzbetrieb der Nordostschweiz. Kraftwerke A.-G. in Baden (NOK)
Autor: Hauser, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059364>

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: 28.04.2025

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 ♦ Telefon 51.742
Postcheck-Konto VIII 8481

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

XXIX. Jahrgang

N^o 4

Mittwoch, 16. Februar 1938

Leistungsfaktor-Verbesserung im Hochspannungsnetzbetrieb der Nordostschweiz. Kraftwerke A.-G. in Baden (NOK).

Von A. Hauser, Baden.

621.316.727

Das Netz der Nordostschweizerischen Kraftwerke A.-G. (NOK), das die Netze von 5 Kantonswerken speist, litt unter übermässiger Blindleistungsbelastung. Die angeschlossenen Kantonswerke boten Hand zu einer durchgreifenden Sanierung, indem sie sich u. a. einer «cos- φ -Klausel» in den Tarifen unterzogen und in der Folge weitgehend statische Kondensatoren einbauten. Im ganzen wurden mindestens 17 000 kVAr Kapazität in Form von Kondensatoren angeschlossen. Dazu kamen ca. 27 000 kVAr in Form von rotierenden Maschinen; später wirkte der Bau von bedeutenden 150-kV-Leitungen im gleichen Sinn. Heute sind die Blindleistungsverhältnisse im NOK-Netz so gut, dass eine weitere Verbesserung weder wirtschaftlich noch betriebstechnisch nötig und nützlich wäre.

Le réseau des Forces Motrices du Nord-Est Suisse (NOK), qui alimente les réseaux de 5 entreprises cantonales, était affecté d'une trop forte charge réactive. Ces centrales cantonales décidèrent d'entreprendre un assainissement rationnel, en admettant en particulier dans les tarifs une clause relative au cos φ et en installant un grand nombre de condensateurs statiques, d'une capacité totale de plus de 17 000 kVAr, à laquelle vinrent s'ajouter près de 27 000 kVAr fournis par des machines rotatives. Par la suite, la construction d'importantes lignes à 150 kV contribua à améliorer encore le facteur de puissance. Le régime de la puissance réactive dans le réseau des NOK est maintenant satisfaisant de telle sorte, qu'il n'est plus nécessaire, ni économique, de poursuivre l'amélioration du facteur de puissance.

Einleitung.

Beim Betriebe von ausgedehnten Wechselstrom-Hochspannungsverteilnetzen war im Laufe der Entwicklungszeit die Frage des Leistungsfaktors, bzw. der Beherrschung und Beschaffung der erforderlichen Blindleistung ein ernstes Problem geworden. Der Bedarf an Blindleistung wurde mit der Zeit zufolge der vorherrschend gewordenen motorischen Belastung der Verteilanlagen und der ständigen Zunahme des Anschlusswertes von Transformatoren bedeutend grösser als dem seinerzeit erfolgten Ausbau der Generatorenanlage zugrunde lag. Die Entwicklung des Energieabsatzes machte daher mit der Zeit eine Verbesserung des Leistungsfaktors zur zwingenden Notwendigkeit. Wenn auch die im Zusammenhang damit getroffenen Massnahmen schon vor einer Reihe von Jahren zur Durchführung gelangten, dürfte es gleichwohl jetzt noch ein gewisses Interesse bieten, eine kurz gefasste Darstellung der Verhältnisse im Netz der Nordostschweizerischen Kraftwerke A.-G., Baden (NOK), zu geben. Dabei muss darauf hingewiesen werden, dass als bedeutsamste Abnehmer der NOK die kantonalen Elektrizitätsunternehmungen der Kantone Zürich, Aargau, Thurgau, Schaffhausen sowie die St.-Gallisch-Appenzellischen Kraftwerke A.-G. in Betracht fallen. Zweckmässigerweise konnte eine Verbesserung der Verhältnisse nur unter Mitwirkung dieser Unternehmungen erfolgen.

A. Verhältnisse vor der Verbesserung.

1. In den Jahren 1925/26 stellte sich der Wert des mittleren Jahresleistungsfaktors im Gesamtnetz

der NOK, ab den Erzeugungstellen, bzw. Uebernahmestellen der Fremdenergie gerechnet, entsprechend der Beziehung:

$$\cos \varphi_m = \frac{\sum \text{kWh}}{\sqrt{(\sum \text{kWh})^2 + (\sum \text{kVArh})^2}}$$

auf 0,66; in der gleichen Zeit betrug dieser Mittelwert an den Abgabestellen für die kantonalen Elektrizitätsversorgungen 0,65.

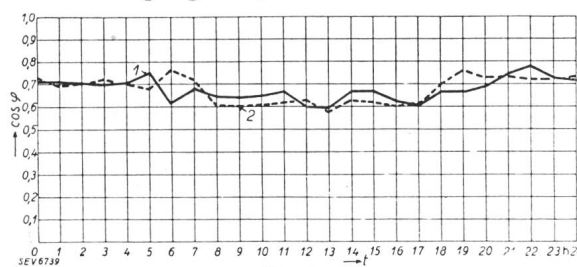


Fig. 1.

Verlauf des cos φ im Netz der NOK, gemessen in Erzeugungs- bzw. Fremdbezugsstelle im Jahre 1926.

- 1 an einem Sommertag (4. August 1926).
2 an einem Wintertag (17. Februar 1926).

In der Fig. 1 ist der Verlauf des Leistungsfaktors an einem Sommer-, bzw. Wintertag des Jahres 1926 eingetragen. Man erkennt, dass der Leistungsfaktor während der Zeit der grossen Industriebelastung zufolge des starken Blindleistungsbedarfes der Motoren kleiner ist als während der Nachtzeit, wo der grösste Teil des Industriebedarfes wegfällt.

In Fig. 2 sind für ein Kantonswerk die Werte des mittleren Monatsleistungsfaktors für die Zeit vom 1. Oktober 1925 bis 30. September 1926 dargestellt,

und zwar für jede der Abnahmestellen einzeln, ferner der Mittelwert für alle Abnahmestellen gesamt, alles bezogen auf die Tageszeit. Als Tageszeit gilt hierbei die Zeit von 6.00 bis 20.00 h im Winter (Oktober-März) und von 6.00 bis 18.00 h im Sommer (April-September). Der Leistungsfaktor weist

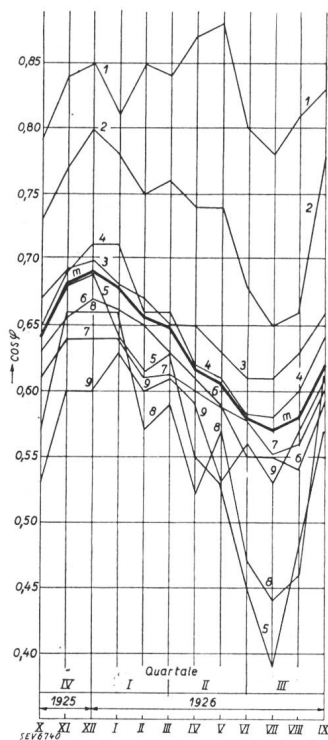


Fig. 2.
Tagesleistungsfaktoren ($\cos \varphi$) beim Kantonswerk A an den 9 verschiedenen Abnahmestellen (1 bis 9).
Der Mittelwert aller Messstellen (m) ist dick ausgezogen.

bei den einzelnen Abnahmestellen z. T. ganz erhebliche Abweichungen auf. Beachtenswert ist, dass z. B. bei einer allerdings nicht sehr bedeutsamen Abnahmestelle der mittlere Leistungsfaktor tagsüber im Monat Juli 1926 nicht einmal den Wert von 0,40 erreicht.

Die geringen Leistungsfaktorwerte hatten ihre Ursache u. a. im starken Anteil der motorischen Belastung, in der Wahl zu grosser und daher schlecht ausgenützter Motoren und Transformatoren. Für ein Grosskraftnetz kam hinzu, dass die im Parallelbetrieb stehenden, kleineren Generatorenanlagen dritter Unternehmungen ebenfalls viel zu knapp auf die Lieferung von Blindleistung bemessen waren; bei Vorhanden-

sein von genügend Wasser für die Turbinen wurden die Generatoren mit einem Leistungsfaktor annähernd 1 belastet, wobei die erforderliche Blindleistung dem Grosskraftnetz entnommen wurde.

2. In Kürze soll im folgenden auf die hauptsächlichsten Nachteile eines geringen Netzleistungsfaktors hingewiesen werden.

a) In erster Linie bedingt der geringe Leistungsfaktor vom Erzeugungsgenerator bis zum Verbraucher hohe ohmsche Mehrverluste hinsichtlich Leistung und Arbeit. Werden zum Beispiel die Verluste bei $\cos \varphi = 0,8$ gleich 100 % gesetzt, so steigen sie bei einem $\cos \varphi = 0,65$ schon auf $100 \cdot \left(\frac{0,80}{0,65}\right)^2 = 152 \%$, bei im übrigen gleichen Netzverhältnissen.

Eingehende Rechnungen ergaben, dass beim Jahreskonsum von rund 500 Millionen kWh und bei den Netzverhältnissen der NOK von 1925/26 die Erhöhung des Tagesleistungsfaktors von 0,65 auf 0,80 eine Verringerung der Arbeitsverluste von rund 16 Millionen kWh/Jahr zur Folge hat. Nicht eingeschlossen sind hierbei die allfälligen Minderverluste in den Transformatoren und Uebertragungsleitungen der Kantonswerke.

b) Bedeutsam ist der Leistungsfaktor auf die Bemessung, bzw. Ausnützung von Transformatoren

und Generatoren. Einige der Löntschwerk-Generatoren sind für eine Leistung von 5250 kVA bei $\cos \varphi = 0,80$ ausgelegt und können so 4200 kW leisten. Bei einem Leistungsfaktor von 0,65 kann jedoch ein Generator nur noch eine Leistung von rund 3400 kW abgeben. Der geringe Leistungsfaktor kann also direkt zu einem Leistungsverlust in den Erzeugungsanlagen führen, wenn es nicht gelingt, die Blindleistung auf andere Weise zu erzeugen. Da nun die Belastungsverhältnisse in manchen Fällen den vollen Einsatz der Vollast-Wirkleistung nicht nur der Flusswerke, sondern auch des Löntschwerkes bedingten, musste vielmals die Generatoren-

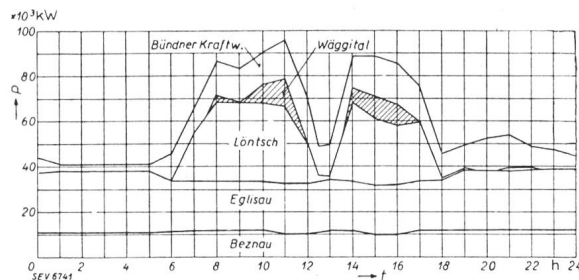


Fig. 3.
Verlauf der Wirkleistung des NOK-Netzes und deren Aufteilung auf die einzelnen Kraftwerke am Dienstag, 31. Juli 1928.

anlage des Wäggitalwerkes in ausserordentlichem Masse, namentlich zur Sommerszeit, für die Lieferung von Blindleistung herangezogen werden. So kam es in extremen Fällen vor, dass bis vier Generatoren mit insgesamt 66 000 kVA lediglich für Lieferung von Blindleistung, also ohne Wirkleistung, belastet werden mussten. Glücklicherweise waren die Verhältnisse zur Winterszeit insoweit günstiger, als der Netzleistungsfaktor etwas besser und die Flusswerke bei Niederwasser mit entsprechend kleiner Wirkleistung in vermehrtem Masse Blindleistung abgeben konnten.

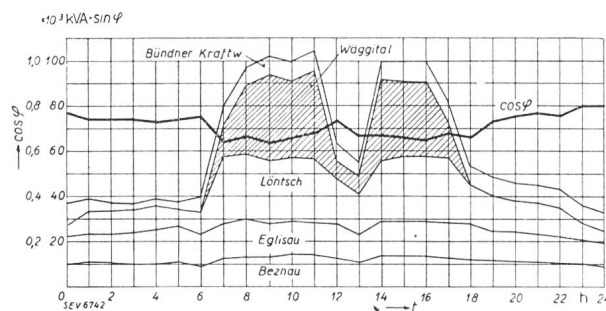


Fig. 4.
Verlauf der Blindleistung des NOK-Netzes und deren Aufteilung auf die einzelnen Kraftwerke am Dienstag, 31. Juli 1928. Der dick ausgezogene Linienzug zeigt den Verlauf des $\cos \varphi$ der Netzbelastung.

Fig. 3 und 4 zeigen die Aufteilung der Wirk-, bzw. Blindlast für einen Sommertag des Jahres 1928, woraus die starke Teilnahme des Wäggitalwerkes an der Blindleistungslieferung hervorgeht.

Die vorhin erwähnte, unerwünschte Konzentration der Blindleistungserzeugung hatte eine verminderte Stabilität des Betriebes zur Folge, was sich in manchen Betriebsstörungen sehr ungünstig auswirkte.

c) Die Spannungsabfälle in Transformatoren und Leitungen erhöhen sich bei fallendem Leistungsfaktor. Bekanntlich gilt angenähert die Beziehung:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi)$$

Nun ist zu beachten, dass für die gleiche zu übertragende Leistung der Strom I um so grösser ist, je kleiner der $\cos \varphi$ ausfällt, was allein schon eine namhafte Vergrösserung des Abfalles bewirkt. Hinzu kommt, dass in Fällen, wo der induktive Widerstand X gegenüber dem ohmschen Widerstand überwiegt, der Klammerausdruck mit fallendem $\cos \varphi$ steigt, so dass eine weitere Erhöhung des Spannungsabfalles bedingt ist. Es liegt ohne weiteres auf der Hand, dass die Spannungshaltung bei geringerem Leistungsfaktor erschwert wird. Genügen die Erzeugungsanlagen zur Beschaffung der erforderlichen Blindleistung nicht vollständig, so muss notwendigerweise die Spannung zu gering ausfallen.

B. Massnahmen zur Verbesserung des Leistungsfaktors.

Die Bestrebungen zur Verbesserung des ungünstigen Leistungsfaktors setzten angesichts dessen nachteiligen Einflusses schon früh ein. Leider waren diese Bestrebungen lange nicht vom gewünschten Erfolg begleitet. Nach eingehenden Studien kamen als Lösung der Leistungsfaktorfrage in Betracht:

a) Grosskompensation durch Blindleistungsmaschinen.

Diese Lösung sah vor, in einigen Hauptverteilungspunkten des Netzes Blindleistungsmaschinen in der Grössenordnung von 3000...5000...10 000 kVAr im Gesamtumfang von ca. 40 000...50 000 kVAr aufzustellen. Ein Vorteil dieser Variante bestand darin, dass die im Zusammenhang damit stehenden Massnahmen in der Hauptsache von den NOK allein, also ohne Abmachungen mit Dritten, hätten zur Durchführung gebracht werden können und dass daher ein rascheres Ergebnis gesichert gewesen wäre. Indessen wäre der grosse Nachteil geblieben, dass die Verteilungsanlagen der beteiligten Kantonswerke weiterhin in übermässiger Weise mit Blindstrom belastet geblieben wären. Man wählte daher nach umfangreichen Berechnungen und Verhandlungen die folgende Lösung.

b) Phasenkompensationen im kleinen, bei den Kantonswerken und deren Unterabonnenten.

Diese Variante hatte den Vorteil, dass auch die Uebertragungseinrichtungen der Kantonswerke in namhafter Weise von Blindstrom entlastet wurden, und bot in wirtschaftlicher Hinsicht im gesamten genommen die meisten Vorzüge. Die Energielieferung an die Kantonswerke erfolgte bisher auf Grund eines Zweigliedertarifes mit Grund- und Konsumtaxen ohne Berücksichtigung des Leistungsfaktors. Es war selbstverständlich, dass den Kantonswerken für die ihnen erwachsenden Auslagen für die zu treffenden Massnahmen in irgendwelcher Form eine Kompensation geboten werden musste. Es geschah dies in der Weise, dass den Kantonswerken vertraglich eine

Entschädigung pro minderbezogene kVArh zukommt, ausgehend von einem bestimmten Grundleistungsfaktor. (Nebenbei bemerkt, macht bei den derzeitigen Umsätzen diese Entschädigung rund 500 000 Fr. pro Jahr aus.) Dafür verpflichteten sich die Kantonswerke, dafür zu sorgen, dass im Rechnungsjahr 1929/30 der mittlere Jahresleistungsfaktor $\cos \varphi$ ihres Normalbezuges während den Hochbelastungsstunden von 6.00 bis 20.00 h im Winterhalbjahr und von 6.00 bis 18.00 h im Sommerhalbjahr, mit Ausnahme der Samstagnachmittage und der Sonntage, nicht weniger als 0,70, im Rechnungsjahr 1930/31 nicht weniger als 0,75 und in den folgenden Rechnungsjahren nicht weniger als 0,80 beträgt, wobei die genannten mittleren Leistungsfaktoren möglichst auch an jeder einzelnen Abnahmestelle erzielt werden sollen. Nur eines der damals in Betracht fallenden Kantonswerke glaubte im Hinblick auf seine besonderen Verhältnisse diese Verpflichtungen nicht eingehen zu können. Auf Grund einer besondern Abmachung haben dann die NOK in zwei Unterstationen dieses Kantonswerkes je eine Blindleistungsmaschine von 3000 kVAr aufgestellt.

In welcher Weise nun die Leistungsfaktorverbesserung zur Durchführung gelangte, geht am besten aus folgender Aufstellung hervor:

Zum Einbau gelangten:

Statische Kondensatoren für Hoch- und Niederspannung	17 100 kVAr
Rotierende Maschinen, die nur Blindleistung abgeben (inkl. 10 000 kVAr in Beznau) . .	21 700 kVAr
Rotierende Maschinen, welche zur Abgabe von Blindleistung bestimmt sind und zugleich mechanische oder elektrische Leistung abgeben	5 500 kVAr
Total	44 300 kVAr

Diese Aufstellung dürfte nicht vollständig sein, da bei Unterabonnenten der Kantonswerke in manchen Fällen namentlich statische Kondensatoren zum Einbau gelangten, ohne dass das Kantonswerk hiervon Kenntnis erhielt.

c) Einfluss des Ausbaus der Kraftwerke und des Höchstspannungsnetzes.

Mit dem Ausbau, bzw. Umbau von Erzeugungsanlagen und der Ausgestaltung des 150-kV-Netzes

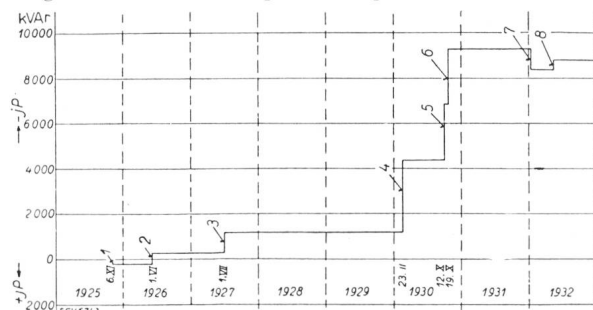


Fig. 5.

Änderung der Blindleistung im NOK-Netz bei der Inbetriebnahme der Höchstspannungsleitungen und zugehörigen Transformatoren von 1925 bis 1933.

- 1 Siebnen - Töss und 2 Transformatoren in Töss.
- 2 Beznau - Mülhausen und 1 Transformator in Beznau.
- 3 Töss - Beznau B und 1 Transformator in Beznau.
- 4 Beznau - Mülhausen.
- 5 Zeinigen - Grynau und Töss - Beznau A.
- 6 Netstal - Grynau - Töss B u. 1 Transformator im Löntschwerk.
- 7 Grynau - Winkeln und 2 Transformatoren in Winkeln.
- 8 Netstal - Grynau A und 1 Transformator im Löntschwerk.

wurde inzwischen in bedeutendem Umfang weitere Blindleistung für den Netzbetrieb verfügbar.

Durch den Einbau neuer Generatoren im Kraftwerk Beznau, welche in besonderem Masse für grosse Scheinleistung bemessen sind, ist eine Blindleistung von mindestens 17 500 kVar vorhanden, so dass die vorübergehend aufgestellten Blindleistungsmaschinen wieder ausser Betrieb gesetzt werden konnten.

Das 150-kV-Netz brachte im Laufe der Entwicklung nach Abzug der gegenläufigen induktiven Komponenten für die 50/150-kV-Transformatoren eine weitere Blindleistung von rund 9000 kVar. In Fig. 5 ist die Entwicklung in dieser Hinsicht dargestellt.

C. Erreichte Verbesserung des Leistungsfaktors.

Die Erfahrung zeigte, dass das vorgesehene Programm für die Verbesserung des Leistungsfaktors ohne Schwierigkeiten eingehalten werden konnte. Es ist selbstverständlich, dass damit viel Kleinarbeit verbunden war. Bedeutsam war hierbei, dass von Anfang an betriebstüchtige statische Kondensatoren erhältlich waren. Zu Beginn der Verbesserungsaktion waren die Kondensatoren allerdings noch ziemlich teuer; der Preis pro kVar sank dann aber in wenigen Jahren um mehr als die Hälfte, so dass auch in finanzieller Hinsicht sich die Verhältnisse günstiger entwickelten, als vorauszusehen war.

Aus Fig. 6 kann für die einzelnen Kantonswerke das Ansteigen des mittleren Jahresleistungsfaktors erkannt werden. Der mittlere Gesamt-Leistungsfaktor für die Kantonswerke zusammen war in der Verbesserungsperiode stets grösser als der pflichtgemässe Betrag, selbst unter Berücksichtigung dessen, dass ein Kantonswerk an der Verbesserung vertragsmässig nicht teilzunehmen hatte. Das gesteckte Ziel der Leistungsfaktorverbesserung wurde zur Zufriedenheit aller Beteiligten erreicht. Vom Betriebsstandpunkt aus ist von besonderer Wichtigkeit, dass damit alle aufgeführten betrieblichen Nachteile ver-

schwunden sind. Eine weitere Verbesserung ist weder in wirtschaftlicher noch betriebstechnischer Hinsicht am Platze. Es sei noch angeführt, dass z. B. bei geringen Sonntagsbelastungen mit minimaler Last seitens motorischer Verbraucher die

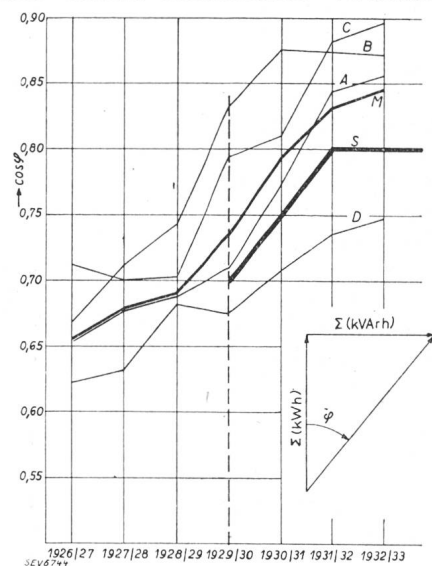


Fig. 6.

Tagesleistungsfaktoren, berechnet aus

$$\cos \varphi_m = \frac{\Sigma (\text{kWh})_{\text{Jahr}}}{\sqrt{(\Sigma \text{kWh})_{\text{Jahr}}^2 + (\Sigma \text{kVarh})_{\text{Jahr}}^2}}$$

während der Rechnungsjahre 1926/27 bis 1932/33.

A, B, C, D Verlauf bei den 4 Kantonswerken A, B, C und D.
M Mittelwert aller Kantonswerke.

S Vertraglicher Sollwert des $\cos \varphi$
1929/30: Vertragsbeginn betr. $\cos \varphi$ -Klausel.

Kraftwerksgeneratoren mit annähernd $\cos \varphi = 1$ arbeiten. Um für die Spannungsregulierung hierbei genügenden Erregerbereich zu erhalten, ohne die Generatoren untererregt arbeiten lassen zu müssen, wird es ausnahmsweise nötig, voreilende Blindleistung in Form leerlaufender Höchstspannungsleitungen abzuschalten.

Un générateur transportable pour 5000 V courant continu.

Par E. Foretay, Cossonay-Gare.

621.314.671

L'auteur décrit un appareil transportable pour essais de câbles, pouvant donner jusqu'à 5 kV et 100 mA courant continu, construit dans les laboratoires de la Câblerie de Cossonay et destiné à alimenter le pont de mesure à haute tension pour la localisation des défauts.

Der Autor beschreibt einen transportablen Apparat für Kabelprüfungen, der Gleichstrom von 100 mA bis 5000 V gibt. Der Apparat wurde von den Kabelwerken Cossonay gebaut und dient zur Speisung der Hochspannungsmessbrücke, die zur Ortsbestimmung von Kabeldefekten verwendet wird.

But. Données générales.

Lors de la localisation des défauts à la terre sur les câbles à haute tension, on est appelé à faire des mesures au pont à fil calibré à haute tension aux deux extrémités du tronçon défectueux. En général l'une d'elles se trouve dans une usine génératrice ou une station de transformation où il est facile de trouver la place nécessaire à l'installation du pont et du générateur à haute tension. Par contre l'autre extrémité du câble est souvent dans un endroit peu accessible, en pleine rue ou en haut d'un poteau,

départ d'une ligne aérienne. La difficulté d'installer les appareils dans ces conditions nous a conduit à créer un générateur spécial, facile à transporter par deux hommes et donnant les 50 à 100 milliampères sous quelques kilovolts nécessaires à l'alimentation du pont à haute tension. Une autre condition devait également être satisfaite, fournir un courant bien continu. En effet, avec un générateur à un kénotron tel que la station à 30 kV que nous utilisons à Cossonay, le courant en court-circuit, correspondant à la localisation d'un défaut, est un courant intermit-