

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 18 (1927)
Heft: 4

Artikel: Vereinfachte Darstellung des Blindverbrauches
Autor: Boder, E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060450>

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: 16.01.2026

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

wäre es, wenn ein spezielles Institut für Starkstrompathologie (oder ähnlicher Name) gegründet würde; und wenn die Kommission nach reiflicher Prüfung diesen Wunsch ausspricht, dann würden sich gewiss auch führende Männer aus der Elektroindustrie der Schweiz finden, die dieses Ziel unterstützen.

Das Institut würde im Rahmen einer schweizerischen Universität errichtet und der Leitung eines physikalisch und chemisch durchgebildeten Physiologen unterstellt, dem eine genügende Zahl von Assistenten bewilligt werden müsste, so dass gleichzeitig einige grosse Experimentalarbeiten durchgeführt werden könnten. Wahrscheinlich würden sich dazu noch freiwillige Mitarbeiter, Aerzte und Biologen finden.

Bis dieser Vorschlag ausgeführt werden wird, dürfte noch einige Zeit vergehen, und manches Opfer der Elektrizität wird zu Grabe getragen werden, das durch verbesserte Rettungsmethoden vielleicht am Leben hätte erhalten werden können. Dies ist einer der Gründe, weshalb ich mit der Veröffentlichung des Aufsatzes „Probleme“ nicht mehr zögern wollte. Der eine oder andere Leser des Bulletins ist vielleicht in der Lage, einen Arzt zur Experimentalarbeit im Gebiete der Elektrobiologie zu ermuntern und ihm über die technischen Schwierigkeiten hinwegzuhelfen. Vielleicht können wir so auf wertvolle Publikationen hoffen. Wer nicht gerade ein ihm zusagendes Problem aufstellen kann, findet in meiner kleinen Publikation wenn auch nicht ein Programm, so doch der Vorschläge genug.

Elektrizitätswerksbetrieb. — Exploitation de centrales d'électricité.

Vereinfachte Darstellung des Blindverbrauches.

Von E. Boder, Betriebsleiter, Olten.

Den von den Elektrizitätswerken angewandten Tarifmassnahmen, mit welchen sie eine Verbesserung der Phasenverschiebung in ihren Netzen herbeiführen wollen, wird von den Abnehmern oft einiger Widerstand entgegengesetzt. Es ist deshalb für die Werke wichtig, durch möglichst einfache, leichtverständliche Erklärungen des Problems der Phasenverschiebung und der sich daraus ergebenden Nachteile, die Berechtigung der Mehrbelastung der Energie bei schlechten $\cos \varphi$ zu begründen. Der Zweck der vorliegenden Arbeit ist es, den Werken dafür eine Unterlage zu geben.
Die Red.

Die zweckmässige Ausnützung von Anlagen für die Erzeugung, Fortleitung und Anwendung elektrischer Energie erfordert unter anderem Massnahmen, welche die Phasenverschiebung auf ein Mindestmass herabsetzen¹⁾. Elektrizitätswerke und Konstruktionsfirmen bemühen sich seit Jahrzehnten um die Verbesserung dieses fast durchwegs auch heute noch ganz unbefriedigenden Zustandes. Ohne Mitwirkung der stromverbrauchenden Industrie ist das gesteckte Ziel praktisch nicht erreichbar, denn es setzt die Anwendung von in elektrischer Hinsicht vorzüglichen Fabrikaten und *eine gute Belastung* derselben voraus, sofern nicht kostspielige Einrichtungen eingebaut werden sollen. Um die Stromkonsumenten zu veranlassen, eine Verbesserung der Verhältnisse anzustreben, haben viele Elektrizitätswerke des In- und Auslandes im letzten Jahrzehnt und namentlich in der Nachkriegszeit Bestimmungen in ihre Energielieferungsverträge aufgenommen, welche eine finanzielle Mehrbelastung vorsehen, falls die Phasenverschiebung beim Abonnenten einen bestimmten Wert überschreitet²⁾.

Der Konsument hat ein Anrecht darauf, bei Vertragsabschlüssen über den Zweck und die Notwendigkeit solcher nicht ohne weiteres verständlicher Massnahmen orientiert zu werden, andernfalls werden letztere als versteckte Energiepreiserhöhungen aufgefasst. Im Nachfolgenden wird versucht, eine Erklärung zu geben, um jenen mitinteressierten Kreisen Einblick in das Wesen der Blindverbraucher zu ermöglichen.

¹⁾ Siehe Bulletin S. E. V. 1923, Seite 269 und 1924, Seite 433.

²⁾ Siehe auch Bulletin S. E. V. 1921, Seite 406.

Einfluss der Phasenverschiebung auf die Höhe des Stromes bei gleichbleibender Leistungsentnahme beim Abnehmer.

In Wechselstromkreisen mit induktionsfreier Belastung (Beleuchtung, induktionsfreie Wärmeapparate und dergl.) fällt der Stromvektor i mit dem Spannungsvektor e zeitlich zusammen. Die Phasenverschiebung ist Null, d. h. der vom Strom- und Spannungsvektor eingeschlossene Winkel φ ist gleich Null. Das Produkt aus Strom und Spannung ($i e$) stellt die wirkliche Leistung dieses Wechselstromes dar. Der Strom i ist für die betreffende Leistung ein Minimum.

Schaltet man an Stelle der vorgenannten induktionsfreien Belastung, *induktive* Stromverbraucher ein, d. h. solche mit Drahtspulen (mit oder ohne Eisenkern), wie Motoren, Transformatoren, Elektromagnete u. s. w., so erzeugen die in denselben hervorgerufenen elektromagnetischen Felder gegenelektromotorische Kräfte (Selbstinduktion), welche eine Phasenverschiebung zwischen der Spannung e und dem Strom i bewirken. Die Stromstärke i und die Spannung e sind mit Ampère- und Voltmeter messbar.

Der Strom i eines Einphasenwechselstromes kann nach Fig. 1 in zwei Komponenten zerlegt werden, wovon die eine in die Richtung der Spannung fällt und den Wert $i \cos \varphi$ annimmt. Dieser Strom $i \cos \varphi$ mit der Spannung e multipliziert stellt die effektive, die wirkliche Leistung des Wechselstromes dar. $i \cos \varphi$ die *Wattkomponente* des Wechselstromes wird deshalb auch *Wirkstrom* genannt.

Damit die Leistung gleich gross ist, wie bei induktionsfreier Belastung ($i e$), muss hier der Strom i um so viel grösser sein, als seine Wattkomponente durch die Multiplikation mit $\cos \varphi$ verkleinert wird.

$i \sin \varphi$, die zweite Komponente des messbaren Stromes i steht auf der Spannungskomponente senkrecht, der eingeschlossene Winkel φ beträgt 90° ; sein \cos wird null und das Produkt $e i \sin \varphi$ wird ebenfalls null. $i \sin \varphi$ wird deshalb die *wattlose Komponente* des Wechselstromes (*Blindstrom*) genannt.

Mit zunehmender Phasenverschiebung nimmt der Strom i für konstante Leistung immer grössere Werte an und erhöht sich, wie aus Fig. 2 hervorgeht, gegenüber induktionsfreier Belastung um den Betrag:

$$i - i \cos \varphi.$$

In der Tabelle 1 sind die Werte von i , $i \cos \varphi$ und $i \sin \varphi$ dargestellt für eine konstante *Wattkomponente* (Wirkstrom) von $i \cos \varphi = 1$ Amp.

Tabelle 1.

$i \cos \varphi$	$\cos \varphi$	i	φ	$\sin \varphi$	$i \sin \varphi$
1,00	1,00	1,00	0,00°	0,000	0,000
1,00	0,95	1,05	18° 12'	0,312	0,328
1,00	0,90	1,11	25° 51'	0,436	0,484
1,00	0,85	1,18	31° 47'	0,527	0,620
1,00	0,80	1,25	36° 52'	0,600	0,750
1,00	0,75	1,33	41° 25'	0,662	0,880
1,00	0,70	1,43	45° 34'	0,714	1,021
1,00	0,65	1,54	49° 27'	0,760	1,170
1,00	0,60	1,67	53° 8'	0,800	1,333
1,00	0,55	1,82	56° 38'	0,835	1,520
1,00	0,50	2,00	60° 00'	0,866	1,732

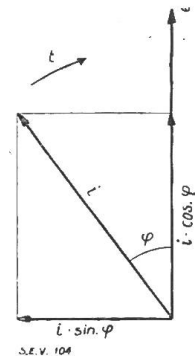


Fig. 1.

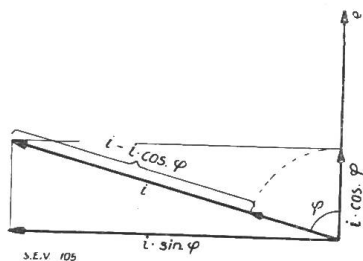


Fig. 2.

Für induktionsfreie Belastung (Beleuchtung, Kochapparate, Heizapparate mit angenähertem $\cos \varphi = 1$) wird der Strom für eine bestimmte Belastung ein Minimum, $i = 100\%$. Für beliebige Werte von $\cos \varphi$ wird dieser mit einem Ampèremeter messbare Strom:

$$i = \frac{100}{\cos \varphi} \% .$$

Aus der graphischen Darstellung Fig. 3 sind in Tabelle 2 einige typische Werte hervorgehoben:

Tabelle 2.

$\cos \varphi$	Wirkstrom $i \cos \varphi$	messbarer Strom i	Blindstrom $i \sin \varphi$
1,00	100 %	100 %	0 %
0,707	100 %	142 %	100 %
0,577	100 %	172 %	142 %
0,500	100 %	200 %	172 %

Aus dieser Zusammenstellung geht hervor, dass durch die Phasenverschiebung zwischen dem Strome i und der Spannung e die Generatoren im Kraftwerk, die Transformatoren und die Uebertragungsleitungen mit höheren Strömen belastet werden, als bei $\cos \varphi = 1$, und zwar um 42 % bei $\cos \varphi = 0,707$, um 72 % bei $\cos \varphi = 0,577$ und um volle 100 % bei $\cos \varphi = 0,5$ des Wirkstromes. Diese grössern Ströme erhöhen die Stromwärmeverluste in genannten Anlageteilen und verhindern dadurch eine rationelle Ausnützung derselben.

Leistungsmessungen.

Die Leistung eines Drehstromes P berechnet sich bei einer Stromstärke i , einer Spannung e und einer Phasenverschiebung φ zwischen Strom und Spannung nach der Formel:

$$\text{Wirkleistung } P = \sqrt{3} \ e \ i \cos \varphi .$$

Nach dem Leistungsdiagramm Fig. 4 wird die scheinbare Leistung des nämlichen Drehstromes:

$$\text{Scheinleistung} = \sqrt{3} \ e \ i$$

und die wattlose oder Blindleistung:

$$\text{Blindleistung} = \sqrt{3} \ e \ i \sin \varphi .$$

Es ist demnach:

$$\underbrace{\sqrt{3} \ e \ i \cos \varphi}_{\substack{\text{(messbar mit} \\ \text{Wattmeter)}}} = \text{Voltampère } \cos \varphi = \text{Watt} = \text{Wirkleistung (a in Fig. 4),}$$

$$\underbrace{\sqrt{3} \ e \ i}_{\substack{\text{(messbar m. Volt-} \\ \text{u. Ampèremeter)}}} = \text{Voltampère (VA)} = \text{Scheinleistung (b in Fig. 4),}$$

$$\sqrt{3} \ e \ i \sin \varphi = \text{Voltampère } \sin \varphi = \text{Blindleistung (c in Fig. 4).}$$

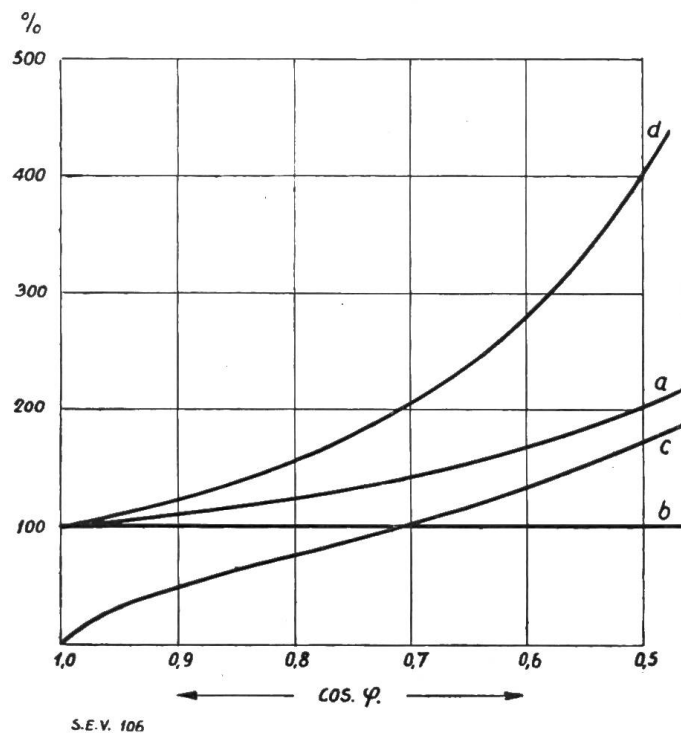
In der Fig. 5 sind die konstante Wirkleistung, sowie die Scheinleistung und Blindleistung für verschiedene Werte von $\cos \varphi$ graphisch aufgetragen. Ferner stellt die

Kurve $3 i^2 r$ die *Erhöhung der Verluste an Leistung* dar (Stromwärmeverluste), welche zufolge Phasenverschiebung in den Erzeugungs-Transformations- und Uebertragungsanlagen entstehen. r bedeutet darin den ohmschen Widerstand der erwähnten Anlagenteile, in einheitlichem Masstabe gemessen.

Die prozentuale Erhöhung dieser Stromwärmeverluste beträgt z. B.:

für $\cos \varphi = 1,00 = 0\%$ für $\cos \varphi = 0,577 = 200\%$
für $\cos \varphi = 0,707 = 100\%$ für $\cos \varphi = 0,500 = 300\%$

Die Phasenverschiebung hat ausser den höhern Stromwärmeverlusten noch den *Nachteil der Erhöhung des Spannungsverlustes* in den Uebertragungs- und Transformationsanlagen und beeinträchtigt dadurch namentlich die Beleuchtung. Bei induktionsfreier Belastung ist der ohmsche Spannungsabfall $\sqrt{3} i r$ für eine bestimmte Belastung konstant und beträgt somit 100 %. Für die nämliche Belastung



S.E.V. 106

Fig. 3 gleich Fig. 5.

Fig. 3.

a: i = Stromstärke (e nacheilend um φ)
b: $i \cos \varphi$ = Wirkstrom (in Phase mit e)
c: $i \sin \varphi$ = Blindstrom (e um 90° nacheilend)
d: $i^2 r$ = Stromwärmeverluste (e = Spannung).

Fig. 5.

a: $\sqrt{3} e i$ = Scheinleistung
b: $\sqrt{3} e i \cos \varphi$ = Wirkleistung ($3 i^2 r$ für $\cos \varphi = 1$)
c: $\sqrt{3} e i \sin \varphi$ = Blindleistung
d: $3 i^2 r$ (für $\cos \varphi$ kleiner als 1).

durch induktive Verbrauchskörper wächst der Spannungsabfall proportional dem Strome i . Die Kurve der Scheinleistung (bezw. des Stromes i in Fig. 3) gibt auch den Masstab für die prozentuale Erhöhung des Spannungsabfalles.

Messung der elektr. Arbeit.

Der Winkel φ ist in Wechselstromnetzen keine konstante Grösse. Er ändert sich fortwährend zufolge der Belastungsschwankungen und der Induktivität der einzelnen Anschlüsse.

Die Elektrizitätswerke bauen nun in den letzten Jahren zur *Feststellung des mittleren $\cos \varphi$ während einer bestimmten Zeit* (Quartal, Jahr, Tagesenergie und Nachtenergie, getrennt oder gemeinsam gemessen) Messinstrumente für die Blindarbeit ein und stellen, bei Unterschreitung eines bestimmten Wertes des mittleren $\cos \varphi$, teils Zuschläge auf der Blindarbeit, teils Verrechnung einer höhern Anzahl Kilowattstunden, als mit dem Kilowattstundenzähler gemessenen, in Aussicht. Mit Hilfe eines

solchen Instrumentes kann wohl die Scheinarbeit in Kilovoltampèrestunden für den betreffenden Zeitabschnitt ermittelt werden; hingegen lassen sich damit die Leistungsverluste im Zeitpunkt der Höchstbelastung, für welche die Generatoren im Werk, die Transformatoren und Uebertragungsleitungen bemessen sein müssen, nicht feststellen. Der Zusammenhang und die Bedeutung der Ausdrücke Wirkarbeit (a), Blindarbeit (b) und Scheinarbeit (c) gehen aus dem Arbeitsdreieck Fig. 4 hervor.

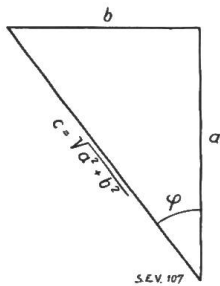


Fig. 4.

Die Arbeit erhält man durch Multiplikation der Leistung (= Arbeit/sec) mit der Zeiteinheit 1 Stunde. Ihre Messung erfolgt durch Zähler, welche so geeicht sind, dass die Veränderung der Spannung e , der Stromstärke i , und der Phasenverschiebung φ fortwährend berücksichtigt werden. Die Messinstrumente zeigen dabei nicht die Momentanwerte e und i , sondern Mittelwerte E und I an. Bei Zählern wird meistens der tausendfache Wert der Einheit registriert: Kilowattstunden (kWh) für die Wirkarbeit und kVAh $\sin \varphi$ für Blindarbeit.

Aus den Leistungsmessungen berechnet sich das Verhältnis ($\cos \varphi$) der wirklichen Leistung zur scheinbaren Leistung:

$$\cos \varphi = \frac{\text{Watt} (= \sqrt{3} E I \cos)}{\sqrt{3} E I}$$

Auf ähnliche Weise findet man den gesuchten mittleren $\cos \varphi$ aus der gemessenen Arbeit (siehe Fig. 4):

$$\text{Mittlerer } \cos \varphi = \frac{\text{kWh}}{\sqrt{\text{kVAh}^2 + (\text{kVA} \sin \varphi)^2}}$$

Berechnet man den mittleren $\cos \varphi$ auf Grund des Konsums an kWh und an kVAh $\sin \varphi$ nach der erwähnten Formel, so kann man aus den Fig. 3 und 5 die prozentuale Erhöhung der Stromstärke und der Leistungsverluste an Kilowatt ablesen. Diese Werte haben nur Gültigkeit für die während der betrachteten Zeitperiode aufgetretene Durchschnittsbelastung eines Abonnenten (zwischen Anfangs- und Endstand der betreffenden Zeitperiode liegend).

Liegt $\cos \varphi$ zur Zeit der Höchstbelastung unter diesem mittleren $\cos \varphi$, so sind die Leistungsverluste höher; liegt $\cos \varphi$ über diesem Mittelwert, so fallen die Leistungsverluste entsprechend niedriger aus. In Anlagen mit ausgeprägt industriellen Anschlüssen liegt der mittlere $\cos \varphi$ meist wesentlich höher, als während den Stunden der Höchstbelastung, da die Hauptbeleuchtung und die Aufheizung von Boilern, sowie die Aushilfeheizung in Wohn- und Schlafräumen im Winter zum weitaus grössten Teil ausserhalb der normalen Fabrikzeit auftritt.

Wenn ein Elektrizitätswerk beispielsweise einen mittleren $\cos \varphi$ von 0,75 ohne Berechnung eines Zuschlages zulässt, so kann man der Fig. 5 (welche bei Zugrundelegung des mittleren $\cos \varphi$ und der Zeit h in Stunden auch für Arbeitsmessungen Gültigkeit hat) entnehmen, dass das betreffende Werk 33 % höhere Stromwärmeverluste auf sich nimmt, als sich bei $\cos \varphi = 1,0$ ergeben würden. Bei Tarifen mit Grund- und Konsumtaxen fallen überdies die höhern Verluste an Leistung in Kilowatt (Fig. 5) zu Lasten des Werkes, falls die vorstehend genannten zusätzlichen Verluste an Scheinarbeit mit den nämlichen (oder kleinern) Konsumtaxen belastet werden, wie die Kilowattstunden.

Zum Schlusse folgt in Tabelle 3 eine Zusammenstellung der Werte von $\cos \varphi$ für Asynchronmotoren verschiedener Grösse und für verschiedene Belastungszustände der einzelnen Typen. (Alle diese Motoren von mittlerer Grösse an, weisen auch bei schwacher Belastung, $\frac{1}{4}$ – $\frac{1}{2}$ Last, einen sehr guten Wirkungsgrad auf). Es geht daraus deutlich hervor, dass ein Abonnent durch Anschaffung nicht zu grosser Motortypen mit Bestimmtheit einen guten mittleren $\cos \varphi$ erreichen wird. Laufen

die Motoren durchschnittlich mit einer relativ niedern Belastung (z. B. mit Halblast), so wandert $\cos \varphi$ dem Wert 0 zu (in Fig. 5 nach rechts) und es entstehen dadurch die genannten hohen „Blindstromverluste“.

Bei Betriebsumstellungen lässt sich die Phasenverschiebung durch bessere Belastung vorhandener Motoren vielfach ohne wesentliche Mehrkosten bedeutend verbessern, und es können die genannten Verluste auf einfache Weise vermindert werden. Im Allgemeinen sind Zuschläge auf dem „Blindverbrauch“ nur vereinzelt in Anwendung. Aus den Erläuterungen ist aber deutlich ersichtlich, dass den Elektrizitätswerken bedeutende Mehrkosten an Anlagen und Uebertragungsverlusten entstehen durch ungenügend belastete Motoren und durch Fabrikate mit niederm $\cos \varphi$.

$\cos \varphi$ von 6poligen Drehstromasynchronmotoren.³⁾

Tabelle 3.

Motorleistung in Ps	$\frac{1}{4}$ Last $\cos \varphi$	$\frac{1}{2}$ Last $\cos \varphi$	$\frac{3}{4}$ Last $\cos \varphi$	$\frac{4}{4}$ Last $\cos \varphi$	$\frac{5}{4}$ Last $\cos \varphi$
3	0,35	0,55	0,68	0,75	0,76
4	0,37	0,57	0,71	0,77	0,78
5	0,42	0,62	0,74	0,80	0,805
8	0,50	0,70	0,79	0,84	0,84
13	0,53	0,72	0,81	0,85	0,85
20	0,59	0,78	0,85	0,87	0,88
25	0,59	0,78	0,85	0,87	0,88
34	0,59	0,78	0,85	0,87	0,88
40	0,59	0,78	0,85	0,87	0,88
50	0,59	0,78	0,85	0,87	0,88
60	0,59	0,78	0,85	0,87	0,88
70	0,59	0,78	0,85	0,87	0,88
85	0,59	0,78	0,85	0,87	0,88
100	0,59	0,78	0,85	0,87	0,88
125	0,59	0,78	0,85	0,87	0,88

³⁾ Die Angaben gelten für Maschinen mit 50 Perioden und 1000 Touren. Motoren mit niedrigerer Polzahl (750 Touren) haben einen etwas niedrigeren $\cos \varphi$ und solche mit höherer Polzahl (z. B. für 1500 Touren) haben einen etwas grösseren Wert von $\cos \varphi$ als in der Tabelle angegeben.

Technische Mitteilungen. – Communications de nature technique.

Ein neues Gerät zum Messen von Erdungswiderständen. Nach dem Entwurfe zu den neuen Starkstromvorschriften müssen sämtliche Erdelektroden in Hochspannungsnetzen regelmässig auf ihren Erdungswiderstand hin untersucht werden. Begründet ist diese Vorschrift darin, dass bei einer Zunahme des Erdungswiderstandes (durch Zurückgehen des Grundwassers, Zerstörung der Erdplatten durch Rost und dergl.) leicht unzulässig hohe Spannungen auftreten, die Menschen und Vieh gefährden können. Das am nächsten liegende Verfahren, den Widerstand aus Strom und Spannung zu bestimmen, ist zwar zuverlässig, erfordert aber leistungsfähige Energiequellen, so dass es nur in Sonderfällen zu Messungen in der Nähe ortsfester Energiequellen, dagegen nicht zu regelmässigen Prüfungen auf der Strecke zu benutzen ist. Auch den bisherigen Brückenmess-Verfahren

haftet manche Unvollkommenheit an: Die Messung ist abhängig von den Widerständen der Hilfelektroden, deren Grösse sich bei verschiedener Leitfähigkeit des Bodens ändert, die üblichen Stromquellen, Summer mit Trockenelementen, sind wenig zuverlässig, freiliegende Schneidenkontakte und Schleifdrähte sind leicht mechanischen Beschädigungen ausgesetzt, so dass sie ihren gezielten Widerstandswert verlieren, vor allem aber ist das Telephon als Nullinstrument wenig zuverlässig, da die Feststellung des Tonminimums selbst einem geübten Beobachter Schwierigkeiten bereitet, zumal die Messungen fast stets im Freien vorzunehmen sind. Wie unzuverlässig die meisten dieser Verfahren sind, geht daraus am besten hervor, dass man gelegentlich sogar natürlich unmögliche negative Widerstandswerte erhält! Diese entstehen einmal aus der Beeinflussung