

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 18 (1927)
Heft: 12

Artikel: Bestimmung des Durchhanges von Freileitungen bei beliebiger Temperatur und bei gegebenem Spannungszustand mittels Nomogrammen
Autor: Egli, Al.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060486>

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: 17.05.2025

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

Bestimmung des Durchhanges von Freileitungen bei beliebiger Temperatur und bei gegebenem Spannungszustand mittels Nomogrammen.

Von *Al. Egli*, Basel.

Der Autor zeigt, wie an Hand der bekannten Formeln Nomogramme zur raschen Ermittlung des Durchhanges von Freileitungen aufgestellt werden können, und gibt zwei solche Nomogramme an.

621.319.22 (004)

L'auteur montre comment on peut établir des nomogrammes pour déterminer rapidement la flèche de lignes aériennes, en partant des formules connues, puis il donne deux nomogrammes de ce genre.

Im Bulletin S.E.V. 1919, No. 6 und 7 zeigte A. Jobin, wie bei gegebenen Leiter-Abmessungen und gegebener Masten-Distanz die Leiter vorschriftsmässig gespannt werden sollen und wie gross der Durchhang für die vorgeschriebenen Grenzzustände (tiefste Ortstemperatur bzw. 0° mit Schneelast) sein muss.

Es ist nun von Wichtigkeit, nicht nur den Spannungszustand oder den Durchhang für den Grenzzustand zu kennen, sondern bei Verlegung einer neuen Leitung ist es vor allem wichtig zu wissen, wie gross der Durchhang bei der vorhandenen Tagestemperatur eingestellt werden muss, damit dann bei den auftretenden Grenzzuständen die Leitung nach den Vorschriften nicht überbeansprucht wird.

Es soll nun im folgenden auf Grund der von A. Jobin abgeleiteten Formeln ein Nomogramm entwickelt werden, das uns gestattet, den Zusammenhang zwischen den Koeffizienten der kubischen Gleichung für die Leiterbeanspruchung bzw. für den Durchhang und dem Durchhang selbst direkt abzulesen, so dass es nur notwendig ist, die Koeffizienten aus dem Mastabstand a , der Temperaturdifferenz $(t - t_0)$, der Grenzspannung p_0 , den spez. Gewichten γ und γ_0 , sowie aus dem Elastizitätsmodul E und dem Wärmeausdehnungskoeffizienten α zu bestimmen.

Die von A. Jobin gegebene Gleichung für die Leiterspannung p bei gleich hohen Aufhängungspunkten lautet:

$$p^3 + p^2 \left[\frac{\gamma_0^2 a^2 E}{24 p_0^2} + (t - t_0) \alpha E - p_0 \right] = \frac{\gamma^2 a^2 E}{24}. \quad (1)$$

Hat man aus dieser Gleichung p , sei es nach den Cardanischen Formeln, sei es durch probieren, ermittelt, so ergibt sich weiter nach der Beziehung:

$$f = \frac{\gamma a^2}{8 p} \quad (2)$$

der Durchhang f .

Für unsere nomographische Darstellung benötigen wir eine direkte Gleichung für f , welche sich durch einsetzen des aus Gl. (2) ermittelten Ausdrucks für p :

$$p = \frac{\gamma a^2}{8 f}$$

in die Gl. (1) ergibt. Wir erhalten so nach Multiplikation mit $\frac{24 f^3}{\gamma^2 a^2 E}$:

$$\begin{aligned} \frac{3}{64} \frac{\gamma a^4}{E} + \frac{3 a^2}{8 E} \left[\frac{\gamma_0^2 a^2 E}{24 p_0^2} + (t - t_0) \alpha E - p_0 \right] f &= f^3, \text{ oder} \\ \frac{3}{64} \frac{\gamma a^4}{E} + \left[\frac{\gamma_0^2 a^4}{64 p_0^2} + (t - t_0) \frac{3 a a^2}{8} - \frac{3 p_0 a^2}{8 E} \right] f &= f^3. \end{aligned} \quad (3)$$

Da f die gesuchte Grösse darstellt, so handelt es sich auch hier um die Auflösung einer Gleichung vom dritten Grade, aus welcher wir f wieder mittels der Cardanischen Formeln oder durch probieren erhalten. Wie aus der Form der Gleichung ersichtlich ist, hängt f direkt nur von den beiden Koeffizienten:

$$\frac{3 \gamma a^4}{64 E} \text{ und } \left[\frac{\gamma_0^2 a^4}{64 p_0^2} + (t - t_0) \frac{3 a a^2}{8} - \frac{3 p_0 a^2}{8 E} \right]$$

ab, welche wir im folgenden mit A und B bezeichnen wollen, so dass die Gleichung übersichtlicher lautet:

$$A + B f = f^3. \quad (3a)$$

Es ist daher eine Darstellung von f möglich, in der sich f als Schnittpunkt einer Verbindungslinie zweier Skalen für A und B mit einer Kurve K , welche die Skala für f trägt, ergibt (siehe Fig. 1). Die Koordinaten x und y des Schnittpunktes S ergeben sich aus den Skalen-Abschnitten u und v wie folgt:

$$\begin{aligned} y &= y_1 + y_2 \\ y_1 &= \frac{d-x}{d} u \\ y_2 &= \frac{x}{d} v, \text{ somit} \\ y &= \frac{d-x}{d} u + \frac{x}{d} v \end{aligned}$$

oder nach Division mit $\frac{d-x}{d}$:

$$u + v \frac{x}{d-x} = y \frac{d}{d-x}. \quad (4)$$

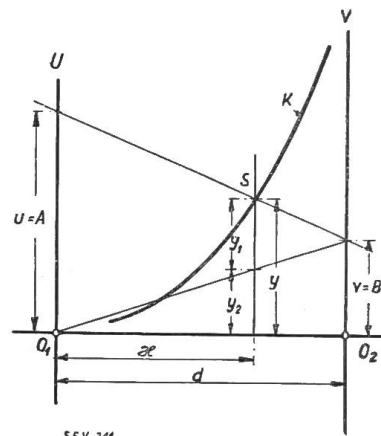


Fig. 1.

Aus dem Vergleich der Gl. (3) bzw. (3a) mit (4) geht hervor, dass wenn wir auf der U -Achse den Koeffizienten A , und auf der V -Achse den Koeffizienten B auftragen, wir die Kurve K so einstellen müssen, dass zur Befriedigung der Gl. (3a):

$$\frac{x}{d-x} = f \text{ und } y \frac{d}{d-x} = f^3$$

sein muss. Das ist aber nur dann möglich, wenn:

$$x = d \frac{f}{1+f} \quad (5)$$

$$y = \frac{f^3}{1+f} \quad (6)$$

gemacht wird.

Da sowohl x wie y in eindeutiger Weise nur von f allein abhängig sind, entspricht jeder Punkt der Kurve K nur einem Wert f . Wir können somit diejenigen Punkte der Kurve, welche runden Werten von f , z. B. $f = 1, 2, 3, 4, 5$ m Durchhang entsprechen, mit Skalenstrichen versehen und den Wert von f dazuschreiben. Verbinden wir nun einen gegebenen Wert A mit einem gegebenen Wert B , so schneidet die Verbindungslinie die Kurve K stets zwischen zwei Skalenstrichen, so dass wir das zugehörige f interpolieren können.

Um diese Kurve zu ermitteln, können wir zwei Wege einschlagen. Wir können x und y aus Gl. (5) und (6) ausrechnen und die Punkte f durch einen Kurvenzug verbinden. Bedeutend sicherer, besonders bei verschiedenen Maßstäben von A und B , führt aber der zweite Weg zum Ziel. Wir fassen in Gl. (3a) zwei verschiedene praktisch vorkommende und etwas weit auseinanderliegende Werte von B ins Auge und berechnen für verschiedene f nach Gl. (3a) die zugehörigen Werte A aus. Sodann ziehen wir von den beiden Punkten B Strahlen nach den errech-

neten Punkten A . Da zu einem bestimmten f immer zwei sich kreuzende Strahlen gehören, ist im Schnittpunkt der Kurvenpunkt S , denn der Kurvenpunkt S mit den Koordinaten x und y muss ja die Gl. (3a) bei festem f für alle Werte von A und B erfüllen.

Da der Mastabstand a im Koeffizienten A vom vierten Grade ist, so schwankt A bei einem Abstandsbereich von 40—200 m im Verhältnis $1:5^4 = 1:625$, so dass die Skala für A entweder unmögliche Dimensionen annehmen müsste, oder aber für die kleineren Mastabstände in der Nähe von 40 m völlig unablesbar würde.

Aus diesem Grunde ist es geboten, zwei verschiedene Nomogramme, eines für grossen und eines für kleinen Mastabstand herzustellen. Da jeder Skalen-träger zwei Seiten hat, kann aussen die Skala für grossen, innen die Skala für kleinen Mastabstand angebracht werden (siehe Fig. 2a und 2b).

Eine weitere Erhöhung der Bequemlichkeit ist nun noch dadurch möglich, dass man anstelle der Werte von A , welche ja für ein und dasselbe Leitermaterial nur noch vom Mastabstand abhängig sind, direkt die ihnen entsprechenden Mastabstände in m hinschreibt. Eine analoge Vereinfachung ist allerdings für den viel komplizierter gebauten Koeffizienten B nicht denkbar. Ist allerdings der Mastabstand a einmal fest, so kommt als Variable nur noch die in der ersten Potenz auftretende Temperaturdifferenz $(t-t_0)$ in Betracht.

Ausser dem Durchhang f interessiert uns noch die dabei auftretende Spannung p . Diese hätten wir durch ein analoges Nomogramm direkt aus Gl. (1) erhalten können. Andererseits ist es aber auch möglich, diese Grösse in Fig. 2a und 2b unterzubringen wie folgt. Wie aus Gl. (2) hervorgeht ist:

$$p = \frac{\gamma a^2}{8f} \quad \text{oder} \quad p^2 = \frac{\gamma^2 a^4}{64 f^2} = \frac{3\gamma a^4}{64 E} \frac{\gamma E}{f^2} = \frac{A}{f^2} \frac{\gamma E}{3} \quad (7)$$

$$p^2 = \frac{A}{f^2} \frac{\gamma E}{3}.$$

Wie nun aus Fig. 3 hervorgeht, ist:

$$u:v = x:(d-x) \quad \text{oder} \quad \frac{x}{d-x} = \frac{u}{v}$$

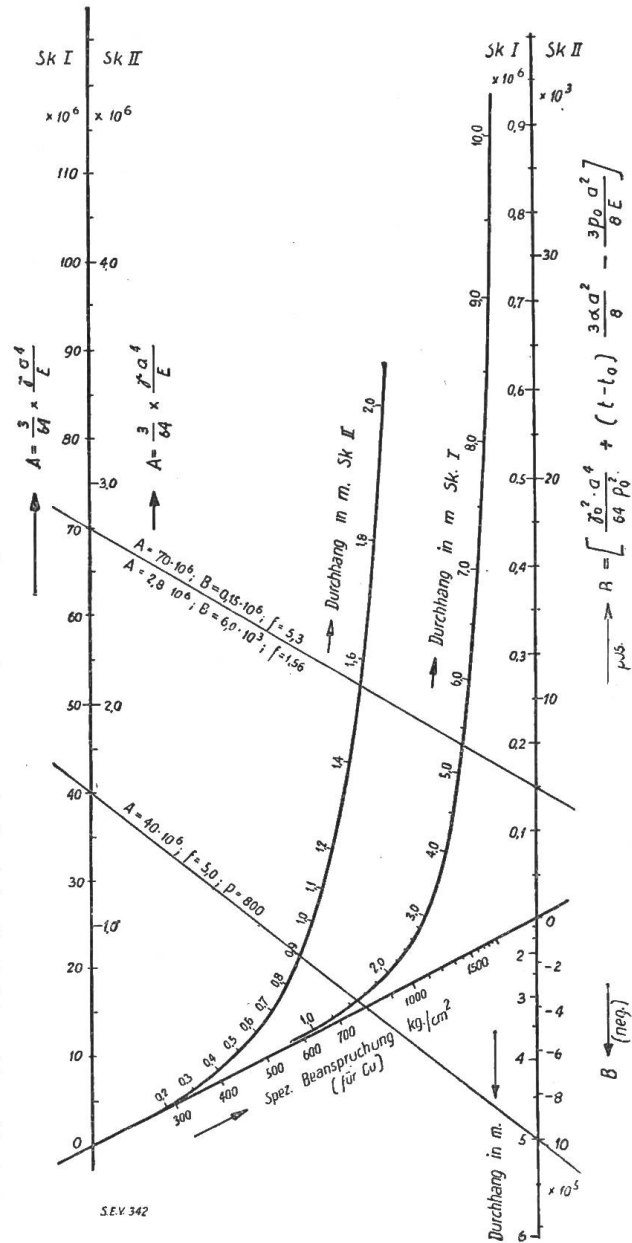


Fig. 2a und b.

somit:

$$x = d \frac{\frac{u}{v}}{1 + \frac{u}{v}}$$

nur eine Funktion der beiden Abschnitte u und v .

Tragen wir deshalb auf der U -Achse A , auf der V -Achse nach unten f^2 ab, so erhalten wir den Schnittpunkt T im Abstand

$$d \frac{\frac{A}{f^2}}{1 + \frac{A}{f^2}},$$

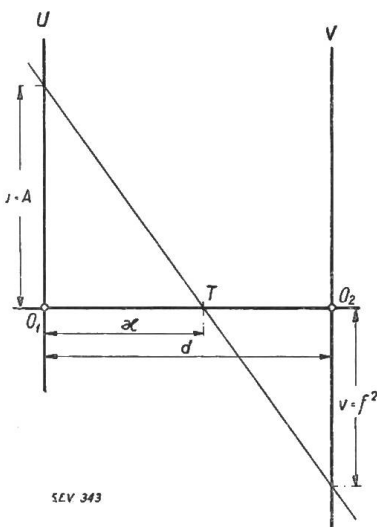
der somit nur eine Funktion von $\frac{A}{f^2} = \frac{3}{\gamma E} p^2$ ist. Da E und γ für ein gegebenes Leitermaterial konstant ist, ist also die Lage von T direkt eine Funktion der Lei-

terspannung p allein und wir können auf der Geraden $O_1 - O_2$ eine Skala mit den runden Werten für p , z. B.: $p = 500, 600, 700 \dots \text{kg/cm}^2$ so anbringen, dass

$$x = d \frac{\frac{p^2 3}{\gamma E}}{1 + \frac{p^2 3}{\gamma E}}$$

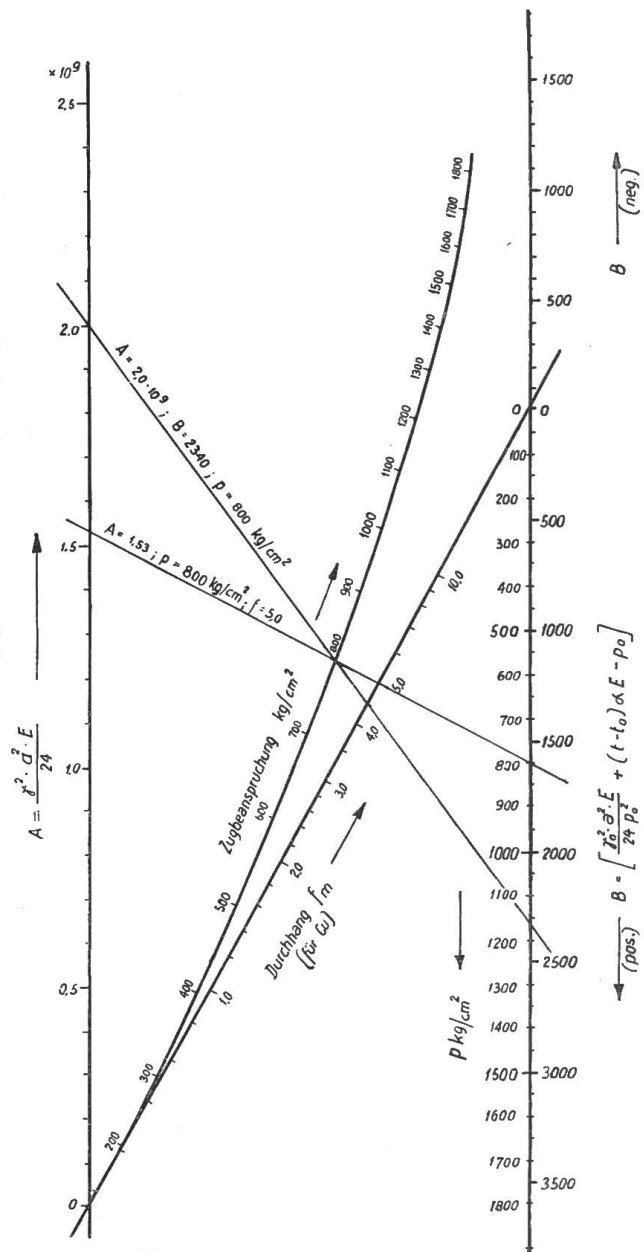
ist, wobei der Bequemlichkeit halber wieder die Skalenstriche nicht mit x oder mit $\frac{3p^2}{\gamma E}$, sondern mit p selbst angeschrieben werden.

Da wir im Nomogramm Fig. 2a (und 2b) die Skala für A schon auf der U -Achse angebracht haben, so ist nur noch notwendig, auf der negativen V -Achse die Werte für f^2 anzubringen, womit wir ohne weiteres, sobald wir den Durch-



S.E.V. 343

Fig. 3.



S.E.V. 344

Fig. 4.

hang f bestimmt haben, durch die zweite Verbindungslinie von A nach f^2 auf der negativen V -Achse, die zugehörige Spannung p auf der Skala O_1-O_2 ablesen können.

In Fig. 4 ist schliesslich die Spannung p direkt ablesbar, indem Gl. (1) durch eine kleine Umformung durch ein Nomogramm dargestellt wurde. Wir können nämlich schreiben:

$$\frac{\gamma^2 a^2 E}{24} + \left[p_0 - (t-t_0) a E - \frac{\gamma_0^2 a^2 E}{24 p_0^2} \right] p^2 = p^3, \quad (8)$$

oder analog wie oben: $A' + B' p^2 = p^3$ (8a)

Tragen wir wieder A' und B' als Skalen auf die U - und V -Achse, so ergibt sich analog wie früher, Gl. (5) und (6):

$$x = d \frac{p^2}{1+p^2}$$

$$y = \frac{p^3}{1+p^2}$$

wobei wir aber auch hier p durch sich kreuzende Geraden von B nach zugehörigen Punkten A bestimmen können. Ebenso lässt sich hier f durch eine zweite Operation als Skala auf der Geraden O_1-O_2 darstellen.

Da im allgemeinen in erster Linie f interessiert, wird das Nomogramm Fig. 2a oder 2b den Vorzug erhalten. Immerhin hat aber das Nomogramm, Fig. 4, den Vorzug, dass 1. A nur quadratisch mit dem Mastabstand zusammenhängt und daher genauer wird und 2. dass auch der Koeffizient B , wenn auch nicht direkt durch seine Komponenten a und t darstellbar, so doch bedeutend einfacher gebaut ist und die Bedeutung einer spez. Beanspruchung pro cm^2 erhält.

Dieses Nomogramm eignet sich auch ebensogut zur Auflösung der allgemeinen Zustandsgleichung (19 in Bulletin S.E.V. 1919, Heft 7):

$$p^3 \left(1 + \frac{h^2}{2a^2} \right) + p^2 \left[\frac{\gamma_0^2 a^2 E}{24 p_0^2} \cos \psi + (t-t_0) a E - p_0 \left(1 + \frac{h^2}{2a^2} \right) \right] = \frac{\gamma^2 a^2 E}{24} \cos \psi, \quad (9)$$

aus welcher wir nach Division mit $\left(1 + \frac{h^2}{2a^2} \right)$ und Umstellung erhalten:

$$\underbrace{\frac{\gamma^2 a^2 E}{24} \frac{\cos \psi}{1 + \frac{h^2}{2a^2}}}_{A'} + \underbrace{\frac{p_0 \left(1 + \frac{h^2}{2a^2} \right) - (t-t_0) a E - \frac{\gamma_0^2 a^2 E \cos \psi}{24 p_0^2}}{1 + \frac{h^2}{2a^2}}}_{B'} p^2 = p^3. \quad (10)$$

und aus der wir ohne weiteres erkennen, dass die Koeffizienten A' und B' zwar eine andere Form haben, sonst aber bei gleichen Werten auch zu gleichen Werten von p führen müssen. Es handelt sich also auch bei verschieden hoher Aufhängung der beiden Leiterendpunkte nur darum, nach Gl. (10) die Koeffizienten zu bestimmen und sodann mit den erhaltenen A' und B' aus dem Nomogramm Fig. 4 die Spannung p abzulesen. Hingegen ist nun mit dem Rechenschieber f nach Gl. (2) zu bestimmen, da A' in diesem Falle nicht mehr verwendet werden kann, um mit p zusammen nomographisch (auf der Skala O_1-O_2) f zu bestimmen.

Handelt es sich um eine erheblich grössere Genauigkeit, als sie das Nomogramm zu bieten vermag, ist eine genauere Nachrechnung notwendig. In diesem Falle kommt uns immerhin das Nomogramm für den Durchhang oder die Spannung insofern zu statten, dass wir nun wenigstens über die Grössenordnung von f oder p im klaren sind. Man rechnet nun mit dem gefundenen Wert für f Gl. (3) nochmals nach, wobei dann anstelle von

$$A + Bf = f^3$$

für f^3 ein grösserer oder kleinerer Betrag herauskommt und nun daraus f wie folgt neu bestimmt wird. Nehmen wir an, wir hätten auf Grund der folgenden Daten:

$$a = 200 \text{ m} = 2 \cdot 10^4 \text{ cm}, p_0 = 800 \text{ kg/cm}^2, \gamma = \gamma_0 = 8,9 \cdot 10^{-3} \text{ kg/cm}^3, \\ E = 1,3 \cdot 10^6, \alpha = 1,7 \cdot 10^{-5},$$

somit $A = 51,3 \cdot 10^6$ und $B = 305 \cdot 10^3$

gefunden: $f = 550 \text{ cm} = 5,5 \text{ m}$,

so ist $51,3 \cdot 10^6 + 305 \cdot 10^3 \cdot 5,5 \cdot 10^2 = 219 \cdot 10^6$, somit der neue Durchhang:

$$f = \sqrt[3]{219 \cdot 10} = 602 \text{ cm} = 6,02 \text{ m}, \text{ eine weitere Nachrechnung ergibt:} \\ f = 617 \text{ cm} = 6,17 \text{ m}.$$

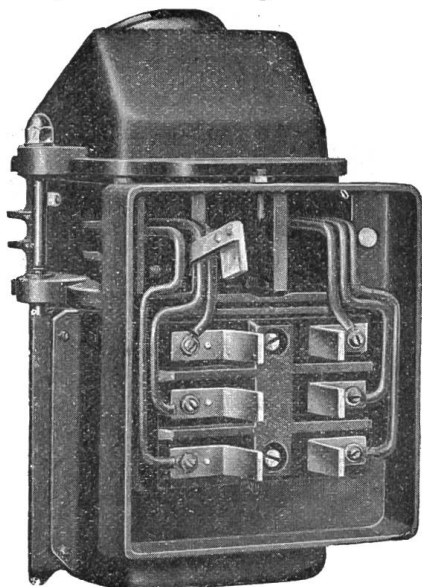
Technische Mitteilungen. – Communications de nature technique.

Der Steckschaltwart. 621.317.31

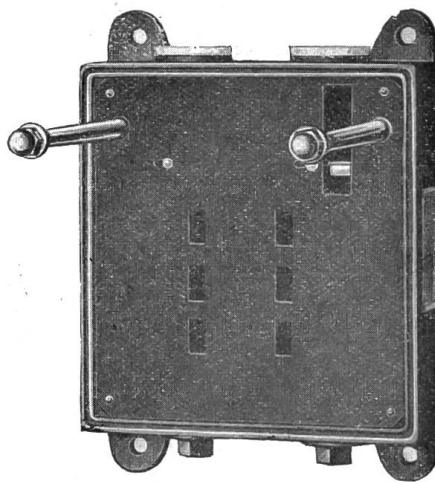
Unter dem Namen «Sbik» hat in der letzten Zeit ein Schalter grosse Verbreitung erlangt. Es handelt sich hierbei um einen Motorschutzschalter nach dem thermischen Prinzip. Der Schalter dient hauptsächlich für kleinere und mittlere Drehstrommotoren. In allerletzter Zeit ist er um eine recht zweckmässige Einrichtung noch bereichert worden, und zwar liegt dieser die

Herausfahren in einem Schlitten ruht. Ist der Schalthebel in die Ausschaltstellung umgelegt, so brauchen nur noch zwei Befestigungsmuttern gelöst zu werden, und der Schalter kann herausgenommen werden, ohne dass andere Anlage-teile in Mitleidenschaft gezogen werden.

Genau so verhält es sich bei dem neuen Steckschaltwart. Auch er besteht aus zwei Hauptteilen, nämlich dem eigentlichen Schalter mit den



Konstruktion eines Oelschaltkastens der Voigt & Haeffner A.-G. in Frankfurt a. M. zugrunde. Die besondere Eigenart dieses Oelschaltkastens besteht in der leichten Abtrennbarkeit des eigentlichen Oelschalters von einem Gehäuse, das z. B. in Verteilungen die Sammelschienen aufnimmt. Dieses Gehäuse ist also ein fester Anschlusskasten mit Kontaktfedern, während der Schalter selbst mit Trennmessern versehen ist und zum



Kontaktmessern und einem Anschlusskasten mit sechs auf einer Isolierplatte montierten Kontaktfedern, die natürlich so in die Platte eingelassen sind, dass sie einer zufälligen Berührung entzogen sind. Der Schaltteil wird auf Führungstangen geschoben, und eine in einer Ecke befindliche mechanische Verriegelung verhindert das Herausziehen des Schalters in eingeschaltetem Zustande. Die ganze Steckvorrichtung hat