Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 45 (1954)
Heft: 18

Artikel: Zur Berechnung prismatischer Einspannfundamente von Freileitungen
Autor: Kohler, K.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1058830

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: 09.12.2025

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

gefährden könnte. Da auch die Wandler unbelasteter Abzweige eine hohe Impedanz aufweisen, so stören solche das gute Funktionieren des Schutzes in keiner Weise. Damit ferner auch Gleichspannungen, von Ausgleichsvorgängen bei Kurzschlüssen herrührend, keine überflüssigen Auslösungen verursachen können, ist das Relais durch Kondensatoren für Gleichströme gesperrt.

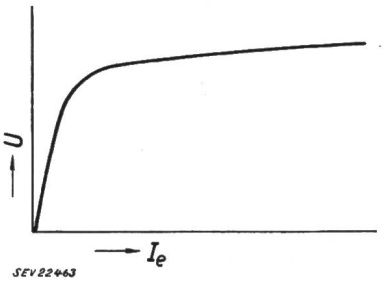


Fig. 3
Leerlaufmagnetisierungskurve eines Stromwandlers
U Spannung am offenen Wandler; I_e Magnetisierungsstrom

Der minimale und der maximale Sammelschienen-Kurzschlußstrom, zwischen denen der Schutz richtig arbeitet, sind somit durch die Leerlauferregerkurve und den sekundären Ohmschen Widerstand der Stromwandler gegeben. Oder mit andern Worten, das Verhältnis von minimalem Ansprech- zu maximal erfassbarem Kurzschlußstrom ist durch das Verhältnis von Ohmschem Widerstand zur Leerlaufimpedanz, sekundärseitig am Stromwandler gemessen, gegeben. Dieses Verhältnis liegt bei den gebräuchlichen Stromwandlern bald einmal bei 1 : 75 und mehr. Beträgt also der minimale Ansprechstrom beispielsweise 400 A, dann arbeitet der Schutz richtig bis 30 000 A, ein Bereich, der praktisch vollauf genügt.

Bedeuten U die Spannung am Relais, I_r den Relaisstrom, Z_r die Relaisimpedanz, so gilt

$$U = I_r Z_r$$

oder

$$I_r = \frac{U}{Z_r}$$

Bezeichnen wir ferner die sekundärseitigen Wandlerströme mit I_s, so gilt:

$$I_r = \Sigma I_s$$

Solange an der Sammelschiene die Summe der zufliessenden Ströme gleich der Summe der abfliessenden Ströme ist und solange die Wandler proportional und winkelgetreu übersetzen, ist:

$$\Sigma I_s = 0$$

Sind pro Phase n Wandler vorhanden, so kann man auch schreiben

$$I_r = n I_s$$

oder

$$\frac{U}{Z_r} = n I_s$$

Führt man noch die Erregerströme gemäss Fig. 4 ein und überträgt auf die Primärseite, so wird:

$$I_p = \ddot{u} \left(\frac{U_a}{Z_r} + n I_e \right)$$

In dieser Gleichung bedeuten:

I_p minimaler Ansprechstrom bei innen liegendem, also bei Sammelschienenkurzschluss;
$\ddot{u}$ Stromwandlerübersetzung;
U_a am Spannungsdifferentialrelais eingestellte Ansprechspannung;
Z_r Impedanz im Relaispfad;
n Anzahl der Stromwandler pro Phase, oder Anzahl Sammelschienenabzweige;
I_e Erregerstrom pro Wandler für die Ansprechspannung U_a.

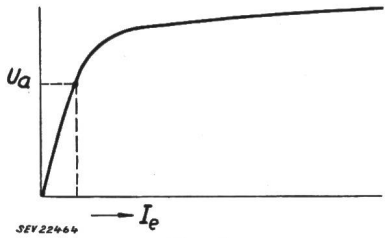


Fig. 4
Leerlaufmagnetisierungskurve eines Stromwandlers
I_e Erregerstrom; U_a am Spannungsdifferential-Relais eingestellte Ansprechspannung

U_a wird dabei aus Sicherheitsgründen etwa doppelt so hoch eingestellt wie diejenige Spannung, welche bei ausserhalb des Schutzbereiches liegendem Fehler durch übersättigte Wandler hervorgerufen wird.

Es mag noch von Interesse sein, dass in den vergangenen 3 Jahren in den USA rund 600 Anlagen mit diesem Sammelschienschutz ausgerüstet und dass damit bis heute gute Erfahrungen gemacht wurden.

Adresse des Autors:
F. Schär, Schöngrundstrasse 63, Olten (SO).

Zur Berechnung prismatischer Einspannfundamente von Freileitungen

Von *K. Kohler*, Karlsruhe

621.315.66.002.73

Die Hauptbeziehungen einer Theorie des Gleichgewichts an prismatischen Einspannfundamenten werden wiedergegeben, um dann für die wichtigsten Zusammenhänge leicht zu handhabende Näherungslösungen bzw. Rechentafeln zu entwickeln. Ferner werden iterative Verfahren zur Bestimmung der erforderlichen Einspannlängen dargestellt und anhand von Beispielen der grosse Einfluss verschiedener Bodenarten nachgewiesen.

L'auteur rappelle les principales relations d'une théorie de l'équilibre de fondations prismatiques, puis en tire des solutions approchées et des tables à calcul d'un emploi commode dans les principaux cas. Il expose également des procédés itératifs pour la détermination des longueurs d'encastrement nécessaires et montre, à l'aide d'exemples, la grande influence qu'exercent des sols de différentes natures.

Die Unsicherheit der üblichen Darstellungen des Gleichgewichts an Einspannfundamenten hätte nicht besser aufgezeigt werden können, als durch die von *Fayoux* [1][1]) veranlasste Gegenüberstellung der Ergebnisse verschiedener Rechenverfahren. Die

[1]) siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

dargelegten Abweichungen haben verschiedene Ursachen.

In gewissem Gegensatz zu dem in der Naturwissenschaft üblichen Wege gehen alle von Fayoux erfassten Beschreibungen von willkürlich gewählten, nicht aus Naturgesetzen oder umfassenden systematischen Reihenuntersuchungen begründeten Modellvorstellungen für den Gesamtvorgang aus. Dabei erfolgt dann eine Bestätigung durch wenige Grossversuche im allgemeinen unter den verschiedenartigsten Voraussetzungen über Fundamentformen und Bodenarten. Bedenkt man die Zahl der Einflussgrössen, dann wird sofort offenbar, dass auf diese Weise kaum eine Gesamteinsicht zu erlangen ist. Aussichtsreicher ist der meist beschrittene Weg der Einführung und experimentellen Begründung einer Kleinstzahl von Grundgrössen, mit deren Hilfe schwierigere Zusammenhänge aus gültigen Gesetzen abgeleitet werden. Es ist hier naheliegend, die für die Coulombsche Deutung der mechanischen Bodeneigenschaften notwendigen Grundbegriffe (Bodendichte, Reibungs- und Kohäsionsbeiwerte) zu verwenden. Die Ergebnisse der einschlägigen Grundlagenforschung dürften jedoch noch sehr problematisch sein [2] und noch gewisser Ergänzungen in Abstimmung auf Belastungsversuche unter natürlichen Voraussetzungen bedürfen. Für die Behandlung von Aufgaben steht dann das Hamiltonsche Prinzip der Variation zur Verfügung, welches von *Coulomb* in seiner Darstellung des Erddrucks an einer Stützmauer genial einfach ausgelegt wurde [3].

Experimentell wenig klar sind viel verwendete Begriffe wie Reaktionsmoment, Kippmoment usw. Versteht man hierunter dasjenige Moment, bzw. die zugehörige Last, welche zur vollständigen Umlegung einer Gründung erforderlich ist, so dürfte in der Annahme, derartige Grössen einfach berechnen zu können, eine Überschätzung der Darstellungsmöglichkeiten liegen, ganz abgesehen davon, dass bezweifelt werden kann, ob diese Versuchsergebnisse überhaupt reproduzierbar sind. Sicherlich sind die Vorgänge im Erdreich beim völligen Umbruch einer Gründung in einem wesentlichen Teil des Ablaufs turbulent und damit einer Berechnung kaum zugänglich. Bereits früher konnte gezeigt werden [3], dass in der Zug-Neigungskurve eines gezogenen Einspannfundaments ein ausgeprägter Knickpunkt auftritt, der die Stabilität der Gründung im Sinne des «Grenzfalls des Gleichgewichts» beschränkt. In Fig. 1 sind z. B. die Ergebnisse für das Fröhlichsche Versuchsfundament Nr. 9 mit einem Knickpunkt bei einer Zugkraft von $Z = 2400$ kg wiedergegeben. Es erscheint richtiger, ein Fundament nach diesem im Versuch klar erkennbaren Grenzfallspitzenzug zu kennzeichnen und mit demselben die Zuverlässigkeit einer theoretischen Darstellung zu überprüfen.

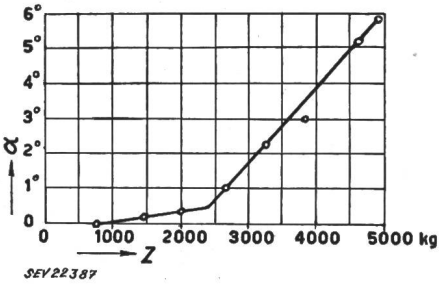


Fig. 1
Zug-Neigungskurve des Fröhlichschen Versuchsfundamentes Nr. 9
α Blockneigungswinkel; Z Spitzenzug

Allein unter Beachtung obiger Hinweise lässt sich dann das Gleichgewicht an Einspannfundamenten beschreiben [3]. Bezeichnet γ das spezifische Gewicht des Bodens, μ den inneren Reibungskoeffizienten, μ_1 den Koeffizienten der Reibung zwischen Fundamentwand und Boden und k_s den Kohäsionskoeffizienten, dann sind bei dieser Darstellung noch die weiteren Bodenhilfswerte

$$\bar{\varepsilon} = 2\,\mu\left(\mu + \sqrt{1+\mu^2}\right) \tag{1}$$

$$\bar{\mu}_1 = \frac{\mu_1\left(\mu + \sqrt{1+\mu^2}\right)}{\mu + \sqrt{\mu^2 - \mu_1^2}} \tag{2}$$

und

$$T_0 = \frac{k_s}{\gamma\,\mu} \tag{3}$$

einzuführen; $\bar{\mu}_1$ kann dem Nomogramm der Fig. 2 und $\bar{\varepsilon}$ der Doppelleiter derselben Fluchtentafel entnommen werden. Die Bezeichnungen der geometrischen Systemgrössen ergeben sich aus Fig. 3.

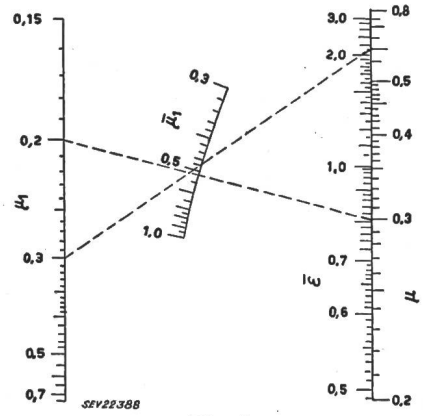


Fig. 2
Nomogramm zur Bestimmung des besonderen Gleitwinkelkoeffizienten $\bar{\mu}_1$

Der Einfluss des Querschnitts des Fundamentes lässt sich dann durch Formfaktoren erfassen. Für die besonders wichtigen Querschnitte sind Gleichungen für diese Werte in Tabelle I zusammengestellt; diese Grös-

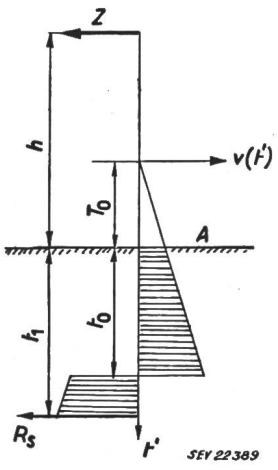
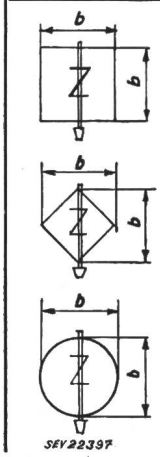


Fig. 3
Erklärung der Masszeichnungen und Erddruckverteilung längs der Einspannung
A Erdoberfläche
Weitere Bezeichnungen siehe im Text

sen selbst lassen sich den Kurven der Fig. 4 entnehmen.

Gleichungen für die Formfaktoren verschiedener Querschnitte

Tabelle I

Querschnitt und Orientierung des Spitzenzugs Z	Formfaktor α
	$\alpha_1 = \frac{(1+\bar{\mu}_1)^2}{1+\bar{\mu}_1^2}$
	$\alpha_2 = \frac{1+\bar{\mu}_1}{1+\bar{\mu}_1^2}$
	$\alpha_3 = \frac{1+\mu_1\sqrt{1+\bar{\mu}_1^2}}{1+\bar{\mu}_1^2}$

In der allgemeinen Lösung ist dann der Grenzfallspitzenzug Z für Fundamente in bindigem Boden

$$Z = k_z\, Q' \tag{4}$$

mit

$$Q' = \frac{1}{2}\,\alpha\,\bar{\varepsilon}\,\gamma\, b\,(T_0 + t_1)^2 \tag{5}$$

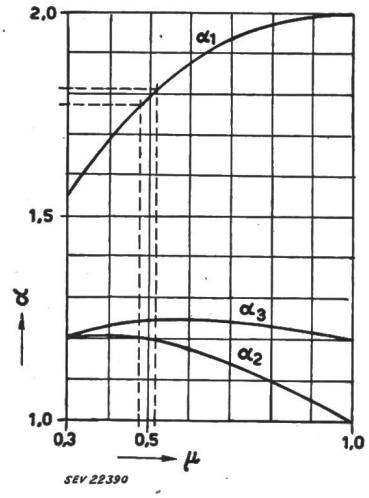


Fig. 4
Formfaktoren wichtiger Querschnitte in Abhängigkeit vom Gleitwinkelkoeffizienten $\bar{\mu}_1$

$$n' = \frac{1{,}5\,\kappa\, v' + 1 - \frac{\sqrt{2}}{2}\,(1 + v' + k_z)^{3/2}}{1{,}5\, k_z} \tag{6}$$

und den weiteren Kürzungen

$$n' = \frac{h - T_0}{t_1 + T_0} \tag{7}$$

$$\kappa = \frac{\frac{2}{3}\,T_0 + \left(t_1 + \frac{T_0}{3}\right)\frac{R_s}{R_s + Q_0}}{t_1 + T_0} \tag{8}$$

und

$$v' = \frac{R_s + Q_0}{Q'} \tag{9}$$

hierbei bedeuten R_s die Sohlenreibung und Q_0 eine fiktive Pressung nach

$$R_s = \mu_1\, G \tag{10}$$

und

$$Q_0 = \frac{1}{2}\,\alpha\,\bar{\varepsilon}\,\gamma\, b\, T_0^2 \tag{11}$$

(G = Gesamtgewicht der Gründung mit Mast und Ausrüstung.)

Die Behandlung von Beispielen bereitet insbesondere wegen der Bestimmung von k_z aus einer Gleichung 6. Grades einige Schwierigkeiten, weshalb weitere Hilfsmittel zur Bestimmung des Grenzfallspitzenzugs bereitgestellt werden sollen. Zunächst

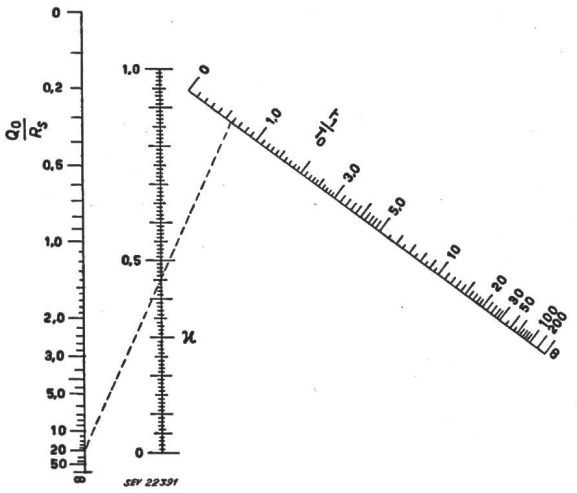


Fig. 5
Nomogramm zur Ermittlung der Hilfsgrösse κ

ist in Fig. 5 das Verhältnis κ als Funktion der Quotienten (t_1/T_0) und (Q_0/R_s) mittels eines Nomogrammes dargestellt.

Gl. (6) lautet auch

$$1{,}5\, n'\, k_z = 1{,}5\,\kappa\, v' + 1 - \sqrt{2\,(1 + v')^{3/2}} \cdot \{1 + [k_z/(1 + v')]\}^{3/2}/2$$

Ist nun wie im Freileitungsbau üblich $k_z/(1 + v')$ genügend klein gegenüber 1, so ergibt sich durch Entwicklung einer Binomialreihe nach dieser Grösse und Abbruch nach dem zweiten Glied als gute Näherung

$$k_z = \frac{2\,[3\,\kappa\, v' + 2 - (1 + v')\sqrt{2\,(1 + v')}]}{3\,[2\, n' + \sqrt{2\,(1 + v')}]} \tag{12}$$

Anstelle des Grenzfallspitzenzugs lässt sich auch das auf die Erdoberfläche bezogene Moment von Z einführen; es ist

$$M_{gr} = h\, Z = k_m\,(t_1 + T_0)\, Q' \tag{13}$$

wenn man als Momentenkennziffer

$$k_m = \frac{h\, k_z}{t_1 + T_0} \tag{14}$$

definiert. Dieses Grenzfallmoment wird theoretisch für $h = \infty$ zu einem freien Moment M_n (Nenn-

moment), wobei der zugehörige Wert $k_{m\infty}$ mit einem Grenzübergang aus Gl. (12) zu gewinnen ist. Da h für genügend grosse Werte auch gleich $(h - T_0)$ ist, ergibt sich hierbei mit

$$k_{m\infty} = \kappa\, v' + \frac{2}{3} - \frac{1}{3}(1 + v')\sqrt{2\,(1 + v')} \qquad (15)$$

eine Gleichung, die in Fig. 6 als Nomogramm dargestellt ist. Damit wird das Nennmoment

$$M_n = k_{m\infty}\,(t_1 + T_0)\,Q' \qquad (16)$$

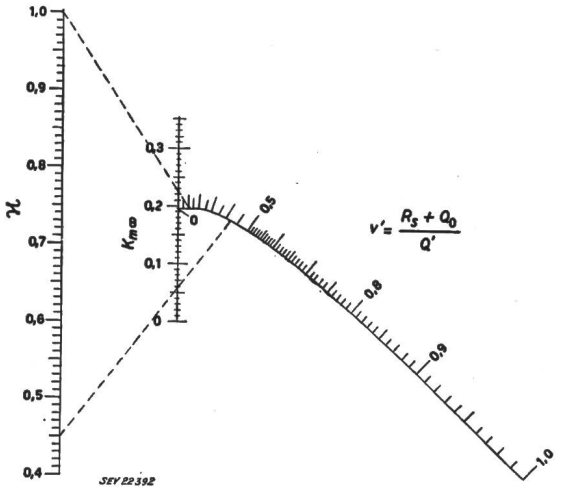


Fig. 6
Nomogramm zur Ermittlung der Momentenkennziffer $K_{m\infty}$

Diese Lösung ist wegen $k_z = 0$ exakt. Es lässt sich dann zeigen, dass der Grenzfallspitzenzug Z aus M_n in bekannter Weise berechnet werden kann, wenn man als Bezugspunkt nicht denjenigen der Erdoberfläche, sondern den Fundamentdrehpunkt in der Tiefe verwendet:

$$t_0 = \frac{\sqrt{2}}{2}\sqrt{1 + v'}\,(T_0 + t_1) - T_0 \qquad (17)$$

Dieser Wert lässt sich mit dem Nomogramm in Fig. 7 bestimmen. Für die Zulässigkeit der Lösung

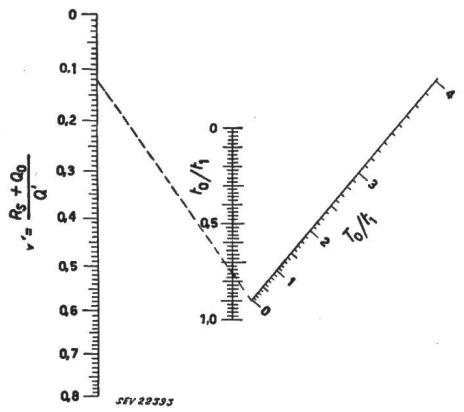


Fig. 7
Nomogramm zur Bestimmung des Drehpunktverhältnisses t_0/t_1

wird $t_0/t_1 \leqq 1$ gefordert; dieses Kriterium kann mit derselben Figur überprüft werden.

Bei endlichem h ist dann das Grenzfallmoment

$$M_{gr} = \frac{h}{h + t_0}\,M_n = \frac{h}{h + t_0}\,k_{m\infty}\,(t_1 + T_0)\,Q' \qquad (18)$$

Das aufnehmbare Moment ist also umso grösser, je höher die Querkraft liegt.

Als Beispiel möge das Fayouxfundament mit 2×2 m Querschnitt und $t_1 = 3$ m bei einem Gewicht von $G = 26{,}4$ t berechnet werden. Der Boden sei kohärent mit den Koeffizienten $\gamma = 2{,}6$ t/m³, $\mu = 0{,}3$, $\mu_1 = 0{,}2$ und $k_s = 0{,}4$ kg/cm². Es ist dann $T_0 = 5{,}13$ m (Gl. 3), $\bar{\varepsilon} = 0{,}807$ (Fig. 2), $\bar{\mu}_1 = 0{,}515$ (Fig. 2), $\alpha_1 = 1{,}81$ (Fig. 4), $Q_0 = 100$ t (Gl. 11), $R_s = 5{,}28$ t (Gl. 10) und $Q' = 252$ t (Gl. 5). Damit erhält man wegen $t_1/T_0 = 0{,}584$ $\kappa = 0{,}45$ (Fig. 5) und $v' = 0{,}42$ (Gl. 9). Fig. 6 liefert dann $k_{m\infty} = 0{,}06$, so dass nach Gl. 16 $M_n = 123$ t wird. Für weitere Einspannlängen sind in gleicher Weise die in Fig. 8 wiedergegebenen Momente ermittelt worden; hierbei ist beachtlich, dass die für Lehm ermittelte Kurve etwa mit der in [1], Fig. 4, wiedergegebenen Kurve 4 (französische Methode) übereinstimmt.

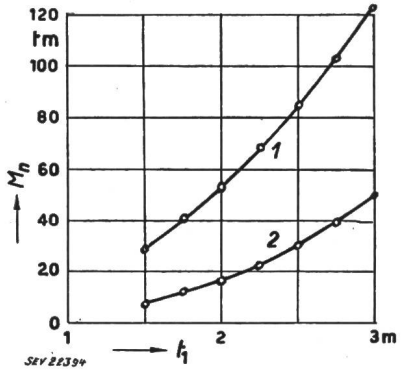


Fig. 8
Nennmomente M_n von Fundamenten gleichen quadratischen Querschnittes für verschiedene Einspannlängen t_1
1 in Lehm; *2* in Sand

Besonders wichtig ist die Bestimmung der Einspannlänge bei sonst gegebenen Abmessungen der Gründungen und bei bekannter Bodenart und Belastung. Eine erste und im allgemeinen schon brauchbare Näherung erhält man durch Vernachlässigung der Sohlenreibung. Für $R_s = 0$ ist zunächst

$$\kappa = 2\,[T_0/(t_1 + T_0)]/3$$

und

$$v' = [T_0/(t_1 + T_0)]^2$$

Mit den Kürzungen

$$L = \frac{2\,M_n}{\alpha\,\bar{\varepsilon}\,\gamma\,T_0^3} \qquad (19)$$

und

$$F\,(t_1/T_0) = \frac{1}{3}\left\{2 + (1 + t_1/T_0)^3 - \sqrt{2}\,\sqrt{[1 + (1 + t_1/T_0)^2]^3}\right\}$$

geht Gl. (16) über in

$$b\,F\,(t_1/T_0) = L$$

und führt nach Logarithmieren leicht zum Nomo-

gramm der Fig. 9, in welchem das erforderliche Verhältnis (t_1/T_0) abgelesen werden kann, wenn die Breite b und L bekannt sind; der letzte Wert lässt sich angenähert bei nicht allzu kleinen Angriffshöhen der Querkräfte nach Gl. (19) berechnen, indem man für M_n das auf Erdoberfläche bezogene

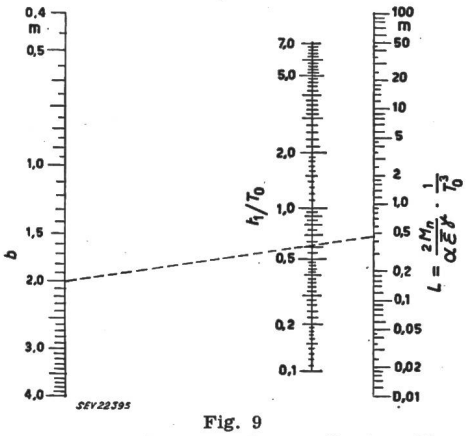


Fig. 9
Nomogramm zur Bestimmung des genäherten Einspannverhältnisses t_1/T_0 bei bindigem Boden

Moment des Spitzenzuges verwendet. Für das in Näherung nun bekannte Fundament lassen sich dann aus den Fig. 5, 6 und 7 die Grössen κ, t_0 und $k_{m\infty}$ bestimmen; ferner kann aus dem bekannten Spitzenzug das Nennmoment mit $M_n = (h + t_0)\, Z$ genauer berechnet werden. Aus Gl. (16) folgt dann für die zweite und jede weitere Näherung

$$\frac{t_1}{T_0} = \sqrt[3]{\frac{L}{b\, k_{m\infty}}} - 1 \qquad (20)$$

wenn man nur aus dem zuvor gefundenen Verhältnis (t_1/T_0) die Werte κ, t_0, $k_{m\infty}$ und M_n neu bestimmt hat.

Im obigen Beispiel ist $L_1 = 0{,}48$ m (Gl. 19). Fig. 9 liefert dann für $b = 2$ m ein erforderliches Verhältnis von $(t_1/T_0)_1$ von 0,605 bzw. eine Einspannlänge von $t_{11} = 3{,}1$ m. Für diesen Wert ist $Q' = 258$ t (Gl. 5), $G = 27{,}2$ t, $R_s = 5{,}44$ t (Gl. 10) und $v' = 0{,}41$ (Gl. 9). In zweiter Näherung ist dann $(t_1/T_0)_2 = 0{,}587$ bzw. $t_{12} = 3{,}01$ m.

Für Fundamente in *nicht bindigem Boden* vereinfachen sich die Gleichungen. Mit $k_s = 0$ ist $T_0 = 0$ und $\kappa = 1$. Ferner ist

$$Q' = Q = \frac{1}{2}\, \alpha\, \bar{\varepsilon}\, \gamma\, b\, t_1^2 \qquad (5\text{a})$$

$$n' = n = \frac{h}{t_1} \qquad (7\text{a})$$

$$v' = v = \frac{R_s}{Q} \qquad (9\text{a})$$

Gl. (12) geht dann über in

$$k_z = \frac{2\,[3\,v + 2 - (1 + v)\sqrt{2\,(1 + v)}]}{3\,[2\,n + \sqrt{2\,(1 + v)}]} \qquad (12\text{a})$$

und lässt sich gemäss Fig. 10 als Nomogramm wiedergeben. Der Grenzfallspitzenzug selbst wird dann

$$Z = k_z\, Q = \frac{2}{3}\, \frac{(R_s + Q)\left[3 - \sqrt{2\left(1 + \frac{R_s}{Q}\right)}\right] - Q}{2\,\frac{h}{t_1} + \sqrt{2\left(1 + \frac{R_s}{Q}\right)}} \qquad (21)$$

Der Momentenkennwert $k_{m\infty}$ ergibt sich auch hier mit $\kappa = 1$ und $v' = v = R_s/Q$ aus Gl. 15 bzw. Fig. 6. Ferner folgt aus Gl. 16

$$M_n = k_{m\infty}\, t_1\, Q =$$

$$= \frac{1}{3}\, t_1 \left\{(R_s + Q)\left[3 - \sqrt{2\left(1 + \frac{R_s}{Q}\right)}\right] - Q\right\} \qquad (22)$$

und aus Gl.

$$M_{gr} = \frac{h}{h + t_0}\, k_{m\infty}\, t_1\, Q \qquad (18\text{a})$$

wobei t_0 auch hier der Fig. 7 entnommen werden kann.

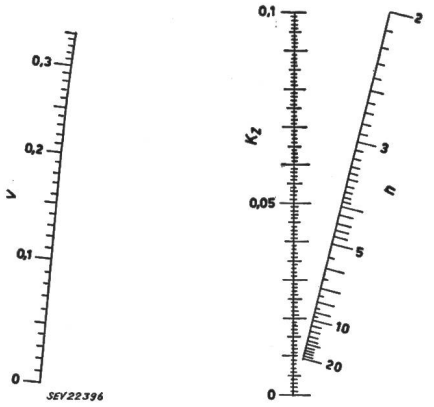


Fig. 10
Nomogramm zur Ermittlung der Kennziffer K_z des Spitzenzuges für Fundamente in nicht bindigem Boden

Für das Fayouxfundament mit 2×2 m² Querschnitt und $t_1 = 3$ m ($G = 26{,}4$ t) errechnet sich dann das Nennmoment für Sand mit den Koeffizienten $\mu = 0{,}6$, $\mu_1 = 0{,}3$, $\gamma = 2{,}18$ t/m³, $\bar{\varepsilon} = 2{,}12$ (Fig. 2), $\bar{\mu}_1 = 0{,}475$ (Fig. 2) und $\alpha_1 = 1{,}775$ (Fig. 4) wie folgt. Es ist $R_s = 7{,}92$ t (Gl. 10), $Q = 74{,}2$ t (Gl. 5a), $v = 0{,}108$ (Gl. 9a), $k_{m\infty} = 0{,}224$ (Fig. 6) und $M_n = 49{,}7$ t (Gl. 22). Ergebnisse für weitere Einspannlängen sind aus Fig. 8 ersichtlich, in welcher insbesondere die grosse Abhängigkeit der Nennmomente von der Bodenart auffällt.

Um die Einspannlänge bei sonst gegebenen Grössen zu bestimmen, ist Fig. 9 nicht mehr anwendbar. Aus Gl. (20) folgt jedoch nach Multiplikation beider Seiten mit T_0 und Vernachlässigung der von T_0 wesentlich abhängigen Teile mit

$$N = \frac{2\, M_n}{\alpha\, \bar{\varepsilon}\, \gamma} \qquad (19\text{a})$$

$$t_1 = \sqrt[3]{\frac{N}{b\, k_{m\infty}}} \qquad (20\text{a})$$

Für $R_s = 0$ bzw. $v = 0$ ist aber hier $k_{m\infty} = 0{,}195$; die erste Näherung wird daher sofort über diesen Wert mit Gl. (20a) erhalten. Im übrigen ist wie bei der allgemeinen Lösung zu verfahren.

Für das Fröhlichsche Versuchsfundament Nr. 9 (vgl. Fig. 1) möge die dem im Versuch festgestellten Grenzfallspitzenzug $Z = 2{,}4$ t entsprechende Einspannlänge ermittelt werden. Der am Versuch beteiligte Sand hatte die Bodenwerte des zuvor behandelten Beispiels. Ferner war $b = 1{,}35$ m, $h = 5{,}9$ m und das Gewicht der Mastkonstruktion 2,95 t. In erster Näherung ist dann $M_n = 14{,}15$ t, $N = 3{,}44$ m^4 und $t_{11} = 2{,}36$ m (Gl. 19a und 20a). Für diese Einspannlänge berechnet sich das Gewicht des Fundaments zu 9,45 t; dann ist das Gesamtgewicht $G = 12{,}4$ t und $R_s = 3{,}72$ t (Gl. 10). Ferner wird $Q = 31$ t (Gl. 5a), $v = 0{,}12$ (Gl. 9a), $t_0/t_1 = 0{,}76$ (Fig. 7), bzw. $t_0 = 1{,}8$ m und damit $M_n = 18{,}5$ tm, $N = 4{,}5$ m^4 (Gl. 19a), $k_{m\infty} = 0{,}25$ (Fig. 6) bzw. $t_{12} = 2{,}46$ m (Gl. 20a). Der nächste Schritt bringt lediglich noch eine Verbesserung um 1 cm. Bei der Erprobung war die tatsächliche Einspannlänge 2,5 m, stimmt also gut mit dem Ergebnis der Rechnung überein.

Literatur

[1] *Fayoux, P.:* Fondations des pylônes des lignes électriques à très haute tension; conception et essais. Bull. Soc. franç. Electr. 7. Serie, Bd. 2(1954), Nr. 15, S. 140...164.

[2] *Kohler, K.:* Zur Problematik der Messung der Reibungs- und Kohäsionsbeiwerte des Bodens. Bautechnik Bd. 30 (1953), Nr. 2, S. 41...42.

[3] *Kohler, K.:* Die Erddruckverteilung an Freileitungs-Einspannfundamenten in natürlich gelagertem Boden und ihre Auswirkung auf die Standsicherheit. Dtsch. Wasserwirtschaft Bd. 34(1939), Nr. 1, S. 9...19; Nr. 2, S. 71...81; Nr. 3, S. 131...133.
Kohler, K.: Beitrag zur Berechnung von Einspannfundamenten für Freileitungen. Bull. SEV Bd. 37(1946), Nr. 25, S. 729...732.

Adresse des Autors:
Privatdozent Dr. *K. Kohler*, Putlitzstrasse 8, Karlsruhe/Baden (Deutschland).

Identifizierung einzelner unter mehreren beieinander verlaufender Stark- und Schwachstromkabel[1])

Von *J. Husi*, Zürich

621.315.2 : 621.396.650

Es wird ein Prüfverfahren beschrieben, durch welches einzelne Kabel unter mehreren, u. U. auch Spannung führenden Kabeln eindeutig identifiziert werden können.

Description d'un procédé permettant d'identifier certains câbles parmi d'autres, même sous tension.

Einleitung

Zur Identifizierung einzelner von mehreren nebeneinander verlegten Stark- oder Schwachstromkabeln kann die elektromagnetische Wirkung gut erkennbarer Impulse eines etwa 400-Hz-Wechselstromes auf ein Abhorchgerät benützt werden.

Der Generator, mit welchem solche tonfrequente Impulse automatisch gesendet werden können, ist an einem Ende des gesuchten, spannungslos gemachten Kabels an mindestens zwei Adern anzuschliessen. Am anderen Kabelende müssen diese Adern kurzgeschlossen sein. Das Abhorchgerät besteht aus zwei an einem U-förmig ausgebildeten Rückschlusseisen befestigten Elektromagneten und einem mit den Wicklungsenden verbundenen Kopfhörer. Die freien Elektromagnetpole des Abhorchgerätes werden an gewünschter Stelle des gesuchten Kabels angelegt und um seinen Umfang soweit verschoben, bis im Kopfhörer die mit dem Generator erzeugten Stromimpulse ertönen. An allen übrigen benachbarten Kabeln spricht das Abhorchgerät nicht an, da sie an der Meßstelle einzeln von den übrigen Kabeln mindestens um 30 cm abgehoben werden müssen.

Theoretische Grundlagen

Für eine rechteckige Stromschleife mit den Seitenlängen b und d (Fig. 1) kann für die Feldstärke H in der Mitte der Schleife gesetzt werden:

$$H = 4i \frac{\sqrt{b^2 + d^2}}{bd} \quad ^{2)}$$

Ist die Schleifenlänge viel grösser als ihre Breite d, gilt angenähert auch:

$$H = 4i \frac{b}{bd}$$

oder in elektromagnetischen Einheiten ausgedrückt:

$$H = 0{,}4\, I/d$$

darin bedeuten: H Feldstärke / cm²
I Stromstärke in A
d Achsabstand der Leiter in cm

Die Adern eines Zweileiterbleikabels ohne Eisenband- oder Flachdrahtarmierung seien zu einer solchen Schleife nach Fig. 1 geschaltet und mit dem

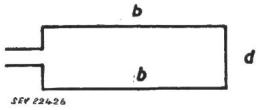


Fig. 1
Rechteckige Stromschleife
Bezeichnungen siehe im Text

Aderquerschnitt angepasster Stromstärke I belastet. Am Kabelumfang sind ausserdem nach Fig. 2 in der Wechselfeldachse A–A zwei Elektromagnete mit U-förmig ausgebildetem Rückschlusseisen angelegt. An solchen Kabeln besitzen der Bleimantel

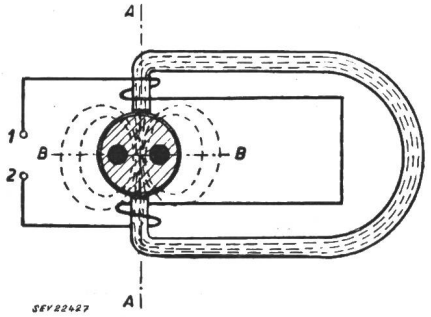


Fig. 2
Kraftlinienverteilung von Bleikabeln ohne Armierung bei angelegtem Elektromagnet
A—A, B—B Achsen des Wechselfeldes; *1, 2* Kopfhöreranschluss

[1]) Diese Arbeit wurde im 7. Wettbewerb der Denzler-Stiftung prämiert.

[2]) siehe *Benischke, G.:* Die wissenschaftlichen Grundlagen der Elektrotechnik, Abschnitt 81.