Berechnung von Blockfundamenten für Schwachstrom-Tragwerke

Autor(en): **Häusler, W.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Technische Mitteilungen / Schweizerische Telegraphen- und Telephonverwaltung = Bulletin technique / Administration des télégraphes et des téléphones suisses = Bollettino tecnico / Amministrazione dei telegrafi e dei telefoni svizzeri**

Band (Jahr): **2 (1924)**

Heft 3

PDF erstellt am: **20.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-873938

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Jahrgang / Année / Anno II

№ 3

Bern, den / Berne, le / Berna, il 1. VI. 1924

Technische Mitteilungen

der schweizerischen Telegraphen- und Telephon-Verwaltung

Bulletin Technique Bollettino Tecnico

de l'Administration des Télégraphes et des Téléphones suisses

dell' Amministrazione dei Telegrafi e dei Telefoni svizzeri

Herausgegeben im Auftrage der Obertelegraphendirektion

Publié par ordre de la Direction Générale des Télégraphes

Pubblicato per ordine della Direzione Generale dei Telegrafi

Berechnung von Blockfundamenten für Schwachstrom-Tragwerke.

(Aus einem Bericht an die Obertelegraphendirektion erstattet von W. Häusler, Bern.)

In den neuen Starkstrom-Vorschriften soll die Forderung berücksichtigt werden, dass das Fundament sich bei gegebener Belastung eines Tragwerkes im Boden nicht über ein gewisses Mass schiefstellen darf. Es gibt zwei Wege, diese Bedingung zu erfüllen. Entweder stellt man eine Formel zur Berechnung der Schiefstellung auf, oder man gibt höchstzulässige spezifische Bodenpressungen an, von welchen man weiss, dass bei ihrer Erreichung das zulässige Mass der Verdrehung noch nicht überschritten wird. Im ersten Fall ist die genaue Kenntnis des absoluten Wertes der Baugrundziffern erforderlich, im zweiten Fall muss nur das Verhältnis derselben bekannt sein.

Es ist einleuchtend, dass der Mastspitzenverschiebung für Schwachstrom-Tragwerke, mit meistens geringen Höhen über Boden und kurzen Spannweiten, nicht die gleiche Bedeutung zukommt wie derjenigen bei Gittermasten von Hochspannungsleitungen. Sie kann deshalb in den Schwachstromvorschriften nicht berücksichtigt werden. Anderseits zeigen die Versuche wie die Berechnungen, dass die Baugrundziffer für das gleiche Material keine konstante Grösse ist, sondern sich hauptsächlich mit der vom Biegungsmoment abhängigen spezifischen Pressung ändert und noch von einer ganzen Reihe nicht abgeklärter Faktoren beeinflusst wird. Wollte man die Mastspitzenverschiebung eines Fundaments bei verschiedenen Zugkräften zum voraus berechnen, so müssten die den jeweiligen Biegungsmomenten entsprechenden verschiedenen Baugrundziffern bekannt sein. Es ist aber vorläufig unmöglich, allgemein gültige Werte für Baugrundziffern und somit auch eine annähernd genaue Berechnung der Verschiebung anzugeben.

Dies sind die Gründe, warum ich für die Schwachstrom-Vorschriften einen vereinfachten Berechnungsgang für Fundamente vorschlagen möchte. Eine absolut genaue Kenntnis der Baugrundziffern wäre hierbei nicht erforderlich, weil sie in den Endformeln verschwinden; es wäre nur der Nachweis zu erbringen, dass die schon oben erwähnten zulässigen spezifischen Bodenpressungen nicht überschritten werden. Dies ist auf verhältnismässig einfachem Wege zu erreichen. Sollte es für einen wichtigen Fall notwendig erscheinen, die Fundament-Verdrehung im voraus zu kennen, so hätte dies gestützt auf die vorliegenden Versuchsergebnisse zu geschehen, indem man versuchen würde, die zu gebrauchende Baugrundziffer zu bestimmen; gegebenenfalls müsste dieselbe durch Versuche ermittelt werden.

Betrachten wir nun die graphischen Darstellungen der gemessenen Bodenelastizität lotrechter Grubenwände (Fig. 1), so erkennen wir, dass der Verlauf der Baugrundziffern für einigermassen gesetzte Erdschüttungen und gewachsenen Boden durch eine den Nullpunkt schneidende Gerade dargestellt werden kann. Die Baugrundziffern verhalten sich somit bei den erwähnten Erdarten wie ihre Tiefen. Durch diese Annahme, mit den gemessenen Werten der Bodenelastizität begründet, werden die Höhenlage des Drehpunktes und die Spannungskurve im Boden rechnerisch bestimmt, wie wir noch sehen werden. Dies ist die ganze Vereinfachung; sie ergibt eine einfache Endformel, die ohne Kenntnis der Baugrundziffern erlaubt, die auftretenden spezifischen Bodenpressungen zu bestimmen. Nehmen wir an, die noch unbekannte Form der Spannungen im Boden, die doch irgend eine Form haben müssen, sei durch die beliebige Kurve in Fig. 2 dargestellt.

Damit Gleichgewicht herrscht, muss die Summe der wagrechten und lotrechten Kräfte und die Summe der Momente gleich Null sein. Betrachten wir vorläufig nur die Wirkung der seitlichen Einspannung, so können diese Bedingungen auch geschrieben werden

$$\int_0^t \sigma \, dx = 0 \quad \text{und} \quad M - \int_0^t \sigma \, x \, dx = 0 \qquad \text{(I)}$$

Das Verhältnis der Baugrundziffern lautet:

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{t_1}{t_2} \qquad \text{(II)}$$

Die Fundamentverschiebungen in den Tiefen t_1 und t_2 betragen

$$\Delta_1 = \frac{\sigma_1}{a_1} \text{ und } \Delta_2 = \frac{\sigma_2}{a_2}, \text{ so dass } \frac{\Delta_1}{\Delta_2} = \frac{\sigma_1 \, a_2}{\sigma_2 \, a_1} \text{ ist.} \qquad \text{(III)}$$

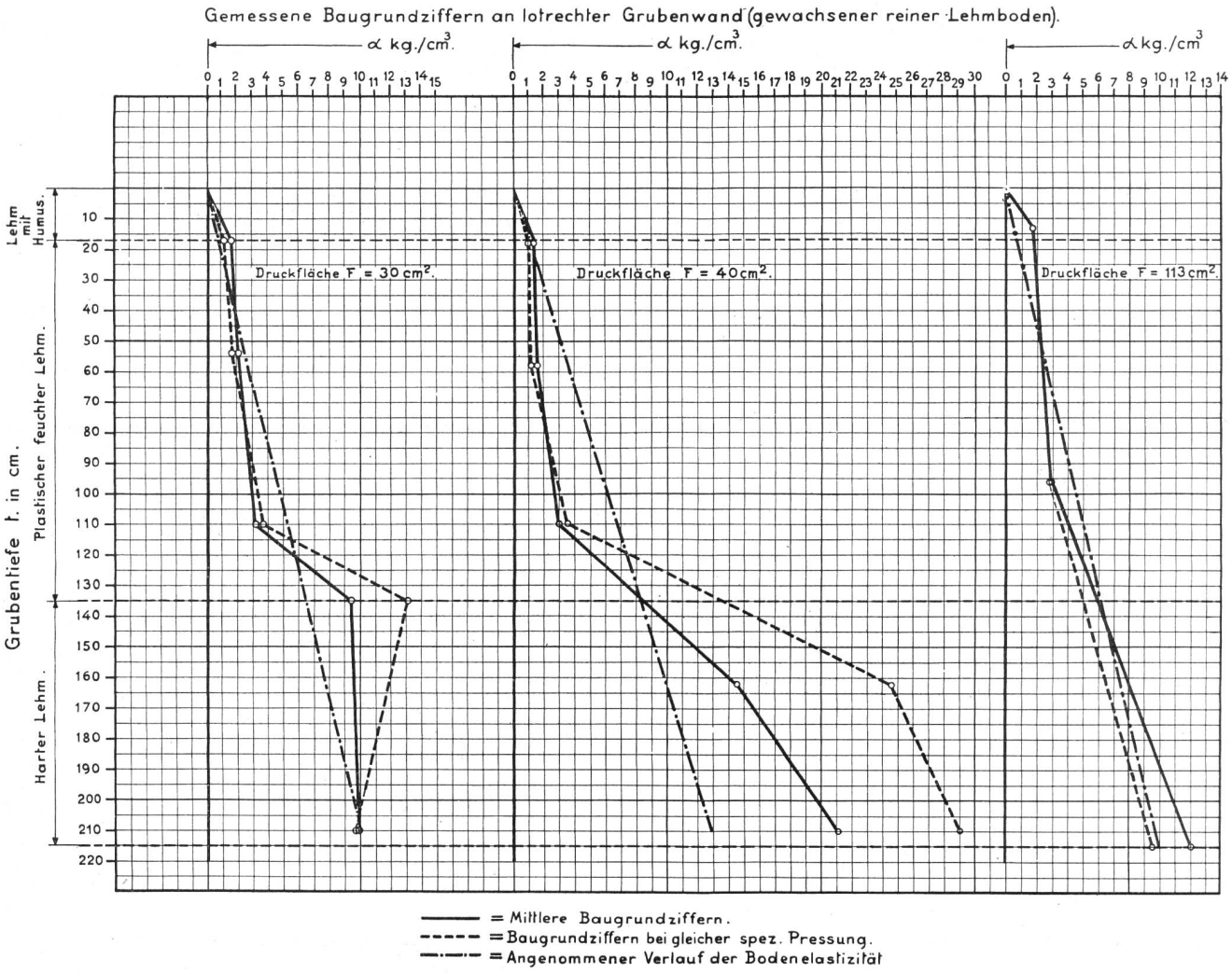

Fig. 1.

Nach Fig. 1 verhalten sich die Verschiebungen wie ihre Abstände vom Drehpunkt, somit

$$\frac{\Delta_1}{\Delta_2} = \frac{t_0 - t_1}{t_0 - t_2} \qquad \text{(IV)}$$

Aus den Gleichungen III und IV folgt

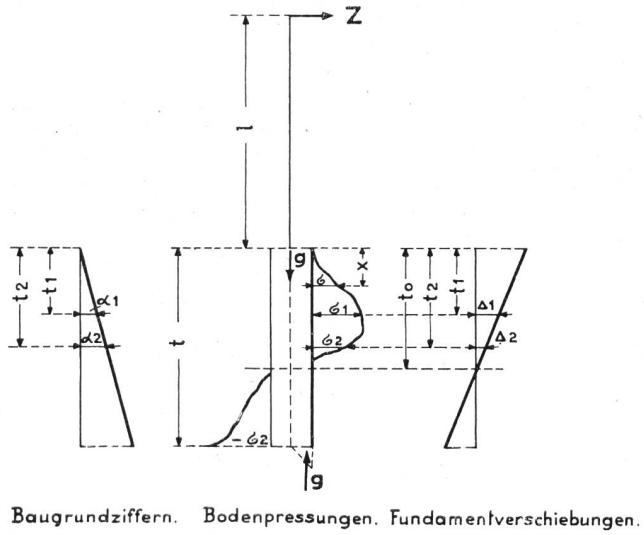

Fig. 2.

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2}\,\frac{a_2}{a_1} = \frac{t_0 - t_1}{t_0 - t_2},$$

oder wenn für $\frac{a_2}{a_1}$ der Wert aus II eingesetzt wird,

so ergibt sich $\frac{t_0 - t_1}{t_0 - t_2} = \frac{\sigma_1\, t_2}{\sigma_2\, t_1}$

Bedeutet nun $-\sigma_2$ die Pressung zu unterst am Fundament, so ist für t_2 der Wert t einzusetzen, und wenn für σ_1 der Wert σ im Abstande x eingeführt wird, so ändert die Gleichung in

$$\frac{t_0 - x}{t_0 - t} = \frac{t\,\sigma}{-\sigma_2\, x}$$

oder

$$\sigma = \frac{\sigma_2}{(t_0 - t)\,t}\left(-t_0 + x\right) x \qquad \text{(V)}$$

Setzen wir nun σ in Gleichung I_1 ein, so können wir t_0, d. h. die Höhenlage der Drehachse, bestimmen, bei welcher die Gleichgewichtsbestimmung erfüllt ist.

$$\frac{\sigma_2}{(t_0 - t)\,t}\int_0^t (-t_0 + x)x\,dx = 0 \text{ oder}$$

$$\frac{\sigma_2}{(t_0 - t)\,t}\left(-t_0\frac{t^2}{2} + \frac{t^3}{3}\right) = 0 \text{ und daraus } t_0 = \frac{2}{3}\,t$$

Dieser berechnete Wert stimmt mit dem aus den Versuchen ermittelten überein für gewachsenen Boden und gesetzte Erdschüttungen. Die Annahme, dass sich die Bettungsziffern verhalten wie ihre Tiefen, dürfte also der Wirklichkeit entsprechen oder ihr wenigstens sehr nahe kommen. Setzt man nun den Wert für t_0 in Gleichung V ein, so wird für gewachsenen Boden

$$\sigma = \frac{\sigma_2}{t^2}\left(2\,t - 3\,x\right) x$$

Dies ist die Gleichung einer quadratischen Parabel. Deren Scheitelabszisse bestimmt sich aus $\frac{d\sigma}{dx} = 0$ und ergibt sich zu $\frac{t}{3}$. Die Spannungskurve nimmt daher die in Fig. 3 angegebene Form an. Berechnen wir nun das bestimmte Integral in Gleichung I_2, so erhalten wir

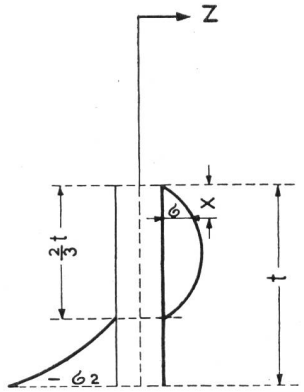

Fig. 3.

$$\int_0^t \frac{\sigma_2}{t^2}\,(2\,t - 3\,x)\,x^2\,dx = -\frac{\sigma_2\,t^2}{12}$$

Das äussere Moment, auf 1 cm Breite bezogen, lautet $\frac{M}{b}$, folglich

$$\frac{M}{b} + \frac{\sigma_2\,t^2}{12} = 0 \quad \text{und daraus} \quad -\sigma_2 = \frac{12\,M}{b\,t^2}\ ^{1)}.$$

[1]) Siehe auch Uhlmann, Beton und Eisen 1909, S. 18.

Würde man die Baugrundziffer oben und unten gleich annehmen, so ergäbe sich für $t_0 = \frac{1}{2}\,t$, was einem gleichmässigen druckfesten Boden, z. B. losem Flussgeröll, entsprechen würde. Ein in solchem Boden ausgeführter Versuch führt zum gleichen Resultat. Die Gleichung für die Pressungen ergäbe sich zu

$$\sigma = \frac{2\,\sigma_2\,x}{t} - \sigma_2.$$

Dies ist die Gleichung einer Geraden. Für $x = 0$ wird $\sigma = -\sigma_2$, und für $x = t$ ist $\sigma = \sigma_2$; wird $x = \frac{t}{2}$, so ist $\sigma = 0$. Die Formel für σ_2 lautet:

$$\sigma_2 = \frac{6\,M}{b\,t^2}$$

Das sind die beiden extremen Möglichkeiten. Wäre der Verlauf der Bodenelastizität z. B. wie bei Nr. 2 in Fig. 4, so läge der Drehpunkt zwischen $\frac{t}{2}$ und $\frac{2}{3}\,t$, je nachdem sich c der Grenze ∞ oder 0 nähert. Wir erhalten also bei den verschiedenen Annahmen des Verlaufes der Baugrundziffern die in Fig. 4 dargestellten Pressungskurven. Für die praktischen Bedürfnisse dürfte es genügen, nur die Fälle 1 und 4 zu berücksichtigen.

Es ist nun noch der geringe Einfluss des Mast- und Sockelgewichts festzustellen. Nach den Versuchen wird der Fundamentdrehpunkt durch die Bodenreaktion an der Fundamentsohle nur seitlich verschoben und auch das nur bei Erdreich mit nach unten zunehmender Baugrundziffer. Der seitliche Abstand des Drehpunktes von der Schwerachse des Fundamentes beträgt zirka $\frac{b}{4}$.

Die Nullinie des durch das Gewicht und das Biegungsmoment erzeugten Spannungskeiles liegt in der Schnittlinie der durch die Drehachse gehenden und zur Sockelseitenfläche parallelen Ebene mit der Grundfläche. Der Inhalt des Spannungskeiles muss gleich dem Gewicht G sein, und dieses wirkt in seiner lotrechten Schwerachse. Die Gewichtsreaktion, die dem äussern Moment entgegenwirkt, beträgt also für

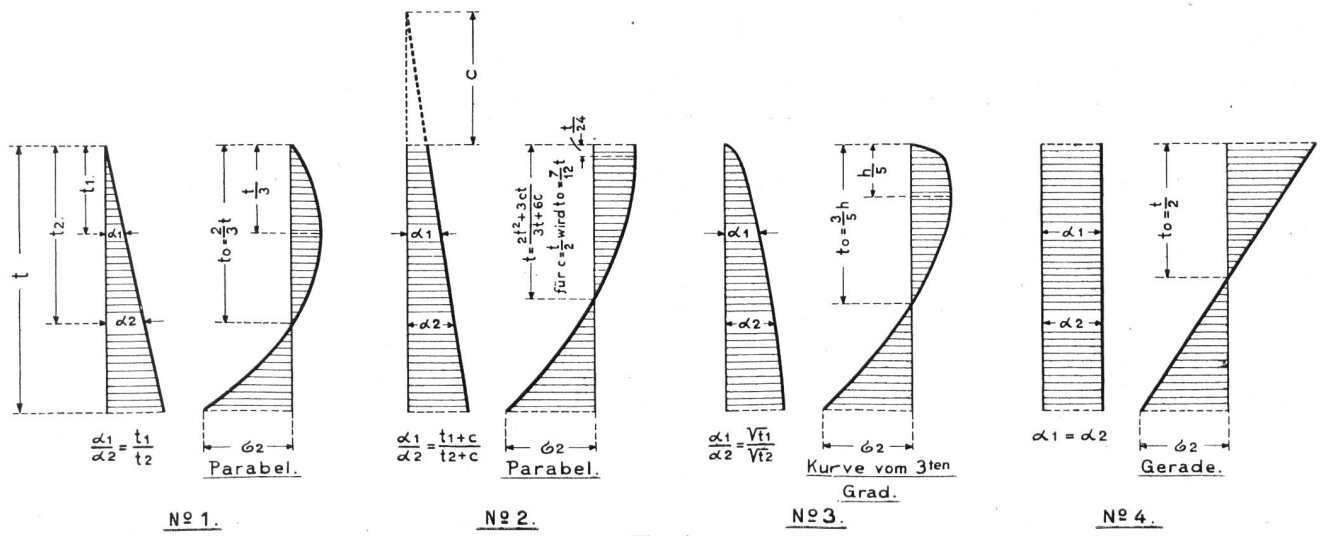

Fig. 4.

die beiden Fälle angenähert $\frac{G\,b}{6}$ und $\frac{G\,b}{3}$ und zeigt deren kleine Wirkung auf das Endresultat.

Die vereinfachten Schlussformeln, in welchen die Baugrundziffern eliminiert sind, würden also lauten:

I. Für gesetzte Erdschüttungen und gewachsenen Boden:

$$\sigma_2 = \frac{12\left(M - \frac{G\,b}{6}\right)}{b\,t^2} = \frac{12\,Z\left(1 + \frac{2}{3}t\right) - 2\,G\,b}{b\,t^2}$$

II. Für loses Geröll, Geschiebe, Sand:

$$\sigma_2 = \frac{6\left(M - \frac{G\,b}{3}\right)}{b\,t^2} = \frac{6\,Z\left(1 + \frac{t}{2}\right) - 2\,G\,b}{b\,t^2}$$

Es sind nun noch für die verschiedenen Bodenarten die höchstzulässigen σ_2 zu bestimmen, bei welchen das zulässige Mass der Verdrehung nicht überschritten wird. In Fig. 5 ist die bei den Versuchen gemessene Verschiebung (ohne Eigendurchbiegung) der 12 m über Boden liegenden Mastspitze in Funktion der Bodenpressungen der untern, 2 m

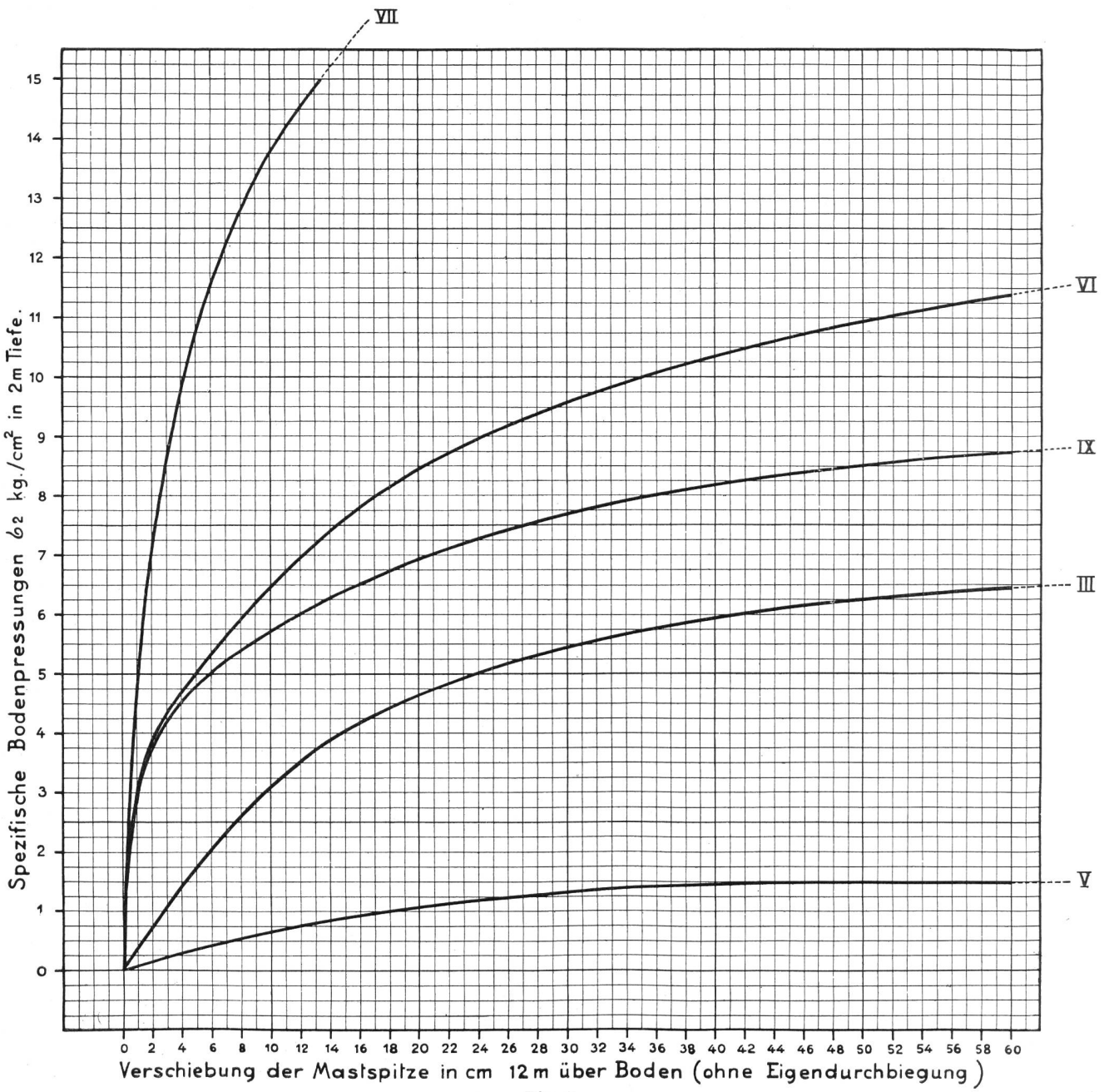

Fig. 5.

tief stehenden Fundamentkante aufgetragen. Die Pressungen wurden nach obigen Formeln berechnet unter Verwendung des der betreffenden Spitzenverschiebung entsprechenden Kraftmomentes. Erachtet man bei den anzunehmenden Belastungen für Schwachstrom-Tragwerke eine Spitzenverschiebung von 15 cm in 12 m oder von 10 cm in 8 m Höhe über Boden als zulässig, so ergeben sich für die verschiedenen Bodenarten folgende höchstzulässige spezifische Pressungen in 2 m Tiefe:

Bodenart	Zulässige Bodenpressung in 2 m Tiefe kg/cm²
Loses Geröll, Geschiebe. . . .	1,0
Erdschüttungen	4,0
Leichter Ackerboden	5,5
Schwerer Ackerboden.	6,5
Gewachsener Kiesboden . . .	13,0

Für eine andere Tiefe erhält man die zulässige Bodenpressung, wenn diejenige in 2 m Tiefe mit dem Verhältnis der Tiefen multipliziert wird. Es ergeben sich die in Fig. 6 eingetragenen Geraden, die erlauben, für eine beliebige Tiefe die zulässige Pressung abzulesen. Die oben erwähnten Ausbiegungen werden in Wirklichkeit bei den anzunehmenden Belastungen nicht erreicht, da infolge Nachgebens die Spannweiten verkleinert werden und somit die Zugspannung in den Leitern sinkt. Würden sie erreicht, so würden grössere Zusatzlasten auf die Drähte wirken als anzunehmen wäre. Es ist also genügend Sicherheit vorhanden.

Berechnen wir nun zum Vergleich die Fundamente einer 8 m Kabelsäule für die verschiedenen

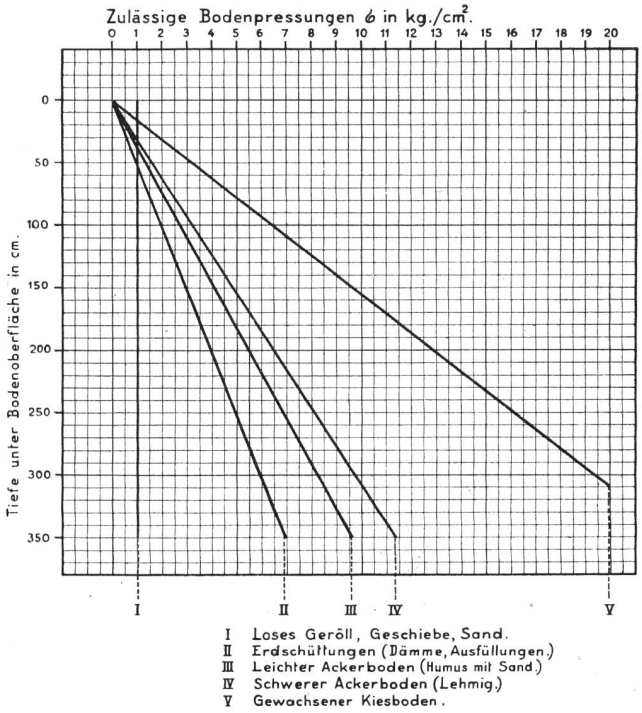

Fig. 6.

Bodenarten nach den vereinfachten Formeln. Die Resultate sind in folgender Tabelle eingetragen:

Bodenart	Nach Schwachstrom-Vorschriften vereinfachte Formeln				Beton-Vermehrung oder -Verminderung gegenüber den alten Vorschriften m³
	Fundamenttiefe t cm	Boden-Pressung σ_2 in kg/cm²	Fundamentbreite b cm	Beton in m³	
Loses Geröll, Geschiebe, Sand . . .	300	0,98	150	6,75	+ 1,75
Erdschüttungen, gesetzt	240	4,65	100	2,40	— 2,6
Leichter Ackerboden	215	5,7	100	2,15	— 2,85
Schwerer Ackerboden	200	6,5	100	2,00	— 3,0
Gewachsener Kiesboden	160	9,95	100	1,6	— 3,4
Leichter Torfboden	100	—	290/290	8,4	+ 3,4

Die vereinfachte Methode hat den grossen Vorteil, ohne Kenntnis der absoluten Grösse der Baugrundziffern zum Ziele zu führen. Gegenüber den alten Vorschriften ergeben die neuen Bestimmungen eine Betonersparnis von 54—68 % für gewachsenen Boden und eine Betonvermehrung für schlechten Baugrund (Geröll, Torfboden) von 35—68 %. Es ist als grosser Fortschritt zu betrachten, dass sich nun auch im Linienbau die Fundamente nach dem Erdreich zu richten haben. Wenn auch die Versuche das Verhalten der Fundamente im Boden nicht restlos abgeklärt haben, so ergeben sie doch Resultate, die der Wirklichkeit bedeutend näher kommen als diejenigen der alten Bestimmungen.

Gestützt auf vorliegende Darlegungen möchte ich nun beantragen, im Anhang der Schwachstrom-Vorschriften unter Berechnung der Fundamente folgende Ziffer 3 aufzunehmen:

3. Tragwerkfundamente mit guter Erdeinspannung (Blockfundamente, grosse Eingrabtiefe, guter Boden) sind nach folgenden Formeln zu berechnen:

a. Für loses Geröll, Geschiebe, Sand

$$\sigma = \frac{6\,Z\left(1 + \frac{t}{2}\right) - 2\,G\,b}{b\,t^2}$$

σ darf für alle Tiefen 1,0 kg pro cm² nicht überschreiten.

b. Für gewachsenen Boden und gesetzte Erdschüttungen

$$\sigma = \frac{12\,Z\left(1 + \frac{2}{3}\,t\right) - 2\,G\,b}{b\,t^2}$$

σ darf für die verschiedenen Bodenarten folgende Werte nicht überschreiten:

Bodenart	Zulässige Bodenpressung in Tiefe t in kg/cm²
Erdschüttungen (Dämme, Auffüllungen)	$\sigma = 0{,}020\ t$
Leichter Ackerboden (Humus mit Sand)	$\sigma = 0{,}027\ t$
Schwerer Ackerboden (lehmig) . . .	$\sigma = 0{,}032\ t$
Gewachsener Kiesboden	$\sigma = 0{,}065\ t$

Die Fundamenttiefe kann in erster Annäherung aus folgenden Formeln berechnet werden. Sie ergeben etwas zu kleine Werte (zirka 10 %).

Bodenart	Näherungswert der Fundamenttiefe
Erdschüttungen	$t = 8{,}5 \sqrt[3]{\frac{Z\,l}{b}}$
Leichter Ackerboden	$t = 7{,}6 \sqrt[3]{\frac{Z\,l}{b}}$
Schwerer Ackerboden	$t = 7{,}2 \sqrt[3]{\frac{Z\,l}{b}}$
Gewachsener Kiesboden . . .	$t = 5{,}7 \sqrt[3]{\frac{Z\,l}{b}}$

Es bedeutet:

σ die vom Biegungsmoment erzeugte seitliche Bodenpressung an der untern Fundamentkante in der Tiefe t in kg per cm²,
Z die äussere, oben am Mast angreifende, nach Art. 34 zu bestimmende Zugkraft in kg,
l die Länge des Krafthebelarmes von Fundamentoberkante bis Angriffspunkte der Zugkraft in cm,
t die Fundamenttiefe in cm,
G das Gewicht des Sockels und Mastes in kg,
b die Fundamentbreite in cm.

Aussergewöhnliche Folgen einer Starkstromstörung.

In einem schweizerischen Dorfe ereignete sich kürzlich eine Starkstromstörung, welche durch das Zusammentreffen verschiedener Umstände von aussergewöhnlichen Folgen begleitet war, deren Ursachen und Begleiterscheinungen für Beamte und Monteure, die sich mit elektrischen Installationen zu befassen haben, von Interesse sind. Ein Auszug aus dem bezüglichen Berichte dürfte deshalb an dieser Stelle von Nutzen sein.

Bei einem Gewitter trat in der Transformatoren-Station der Ortschaft ein Defekt auf, welcher zu einem Uebertritt von hochgespanntem Strom von 10,000 Volt Spannung in das dortige Niederspannungsnetz führte. Um die kritische Zeit sass in einer benachbarten Wirtschaft ein Gast bei einem Glase Wein, während die 4 kleinen Kinder der Wirtin am Boden sassen und spielten. Die Wirtin selbst war in der Küche nebenan. Plötzlich trat längs der Wand der Gaststube eine starke Feuererscheinung auf, begleitet von einem heftigen Knall und kräftiger Rauchentwicklung. Die Feuererscheinung dauerte nur einen Augenblick. Eine Zeitung, die ein am Boden spielendes Kind in den Händen hielt, wurde zur Entzündung gebracht, auf den Tischen wurde verschiedenes Glasgeschirr zertrümmert und gleichzeitig wurden im Hause alle elektrischen Glühlampen und Sicherungs-Schmelzeinsätze demoliert. Die starke Feuererscheinung in der Gaststube trat längs der in Isolierrohr geführten Lichtleitung auf. Parallel zu dieser elektrischen Leitung ist die Erdleitung der eidg. Telephon-Installation geführt und es beträgt der Abstand zwischen dem

Conséquences extraordinaires d'un dérangement causé par du courant fort.

Il s'est produit récemment, dans un village suisse, un dérangement qui a été causé par du courant fort et qui, par suite de circonstances diverses, a eu des conséquences extraordinaires. Les causes de ce dérangement et la manière dont il s'est manifesté. présentant de l'intérêt pour les fonctionnaires et les monteurs qui s'occupent d'installations électriques, nous croyons utile de donner ci-après un extrait du rapport relatant l'événement.

Lors d'un orage, il se produisit dans le poste de transformation de la localité un défaut, qui provoqua le passage d'un courant de 10,000 volts dans le réseau local à basse tension. A ce moment-là, dans le restaurant voisin, un consommateur était attablé devant un verre de vin, cependant que les 4 petits enfants de la tenancière, assis sur le plancher, jouaient et s'amusaient. La tenancière, elle, se trouvait à la cuisine. Soudain apparut le long de la paroi de la salle à boire une lueur intense accompagnée d'une formidable détonation et d'un fort dégagement de fumée. Cette lueur ne dura qu'un instant. Un journal que tenait l'un des enfants prit feu, des verres qui étaient sur la table furent mis en pièces et toutes les lampes à incandescence de la maison ainsi que les fusibles des protecteurs furent démolis. La lueur dans la salle à boire apparaissait le long des conduites d'éclairage placées dans des tubes isolants. Le fil de terre de l'installation téléphonique de l'Etat suit parallèlement la conduite d'éclairage, et la distance entre l'enveloppe métallique du tube isolant et le fil de terre du téléphone est d'environ 10 mm. Le long du