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

Herausgeber: Schweizerische Telegraphen- und Telephonverwaltung

Band: 3 (1925)

Heft: 3

Artikel: Zur Berechnung der Freileitungen auf Festigkeit

Autor: Nather, Eugen

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-873903

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: 16.07.2025

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

aux disponibilités de A pour pouvoir desservir ce surplus. Il est nécessaire de prolonger le câble à 40×2 fils de C en D en supprimant le pylône D ou en y laissant une amorce (voir croquis a_2).

Avec le câble aérien, toutes ces opérations tombent et on peut utiliser l'installation sous II sans y apporter de changements essentiels. Les avantages sautent aux yeux. Avec le nouveau procédé, nous avons une ligne à poteaux simples, peu de fils aériens et, partant, un entretien réduit et une exploitation sûre, tandis qu'avec la méthode en usage nous avons, sur le même parcours, une conduite souterraine accompagnée d'une forte ligne aérienne en grande partie en poteaux doubles.

Au lieu d'épissures en parallèle (amorces), comme le prévoient les figures I—III, on peut aussi faire usage d'armoires multiplex.

Il est incontestable que pour les lignes d'abonnés, l'administration aurait, dans bien des cas, avantage à adopter ce procédé. En sera-t-il de même pour les lignes interurbaines? En Amérique, p. ex., l'installation de lignes en câbles aériens est à l'ordre du jour. Il suffit de citer le câble aérien posé en 1922 entre New York et Chicago avec 220 circuits. Il convient cependant de dire qu'en Amérique les sociétés privées ne peuvent pas disposer gratuitement des routes et voies de communications, mais doivent au contraire payer des locations assez élevées. Il est en outre établi que ces câbles, exposés aux variations de température, modifient leurs conditions électriques, ce qui remet en question le bon fonctionnement des amplificateurs sans emploi de dispositifs coûteux. Ce dernier facteur est à tel point important pour une exploitation régulière, qu'il annulle pour ainsi dire à lui seul tous les avantages qui pourraient résulter d'un tel système. —

Les fonctionnaires préposés au service de construction ont maintenant l'occasion de faire entendre leur voix et de prendre position pour ou contre l'idée émise. D'autres idées, en corrélation avec la mise sous câble des lignes aériennes, peuvent naturellement être développées.

La rédaction du Bulletin se fera un devoir de recueillir tous les avis émis à ce sujet et de publier le résultat de l'enquête dans un des prochains numéros. *M.*

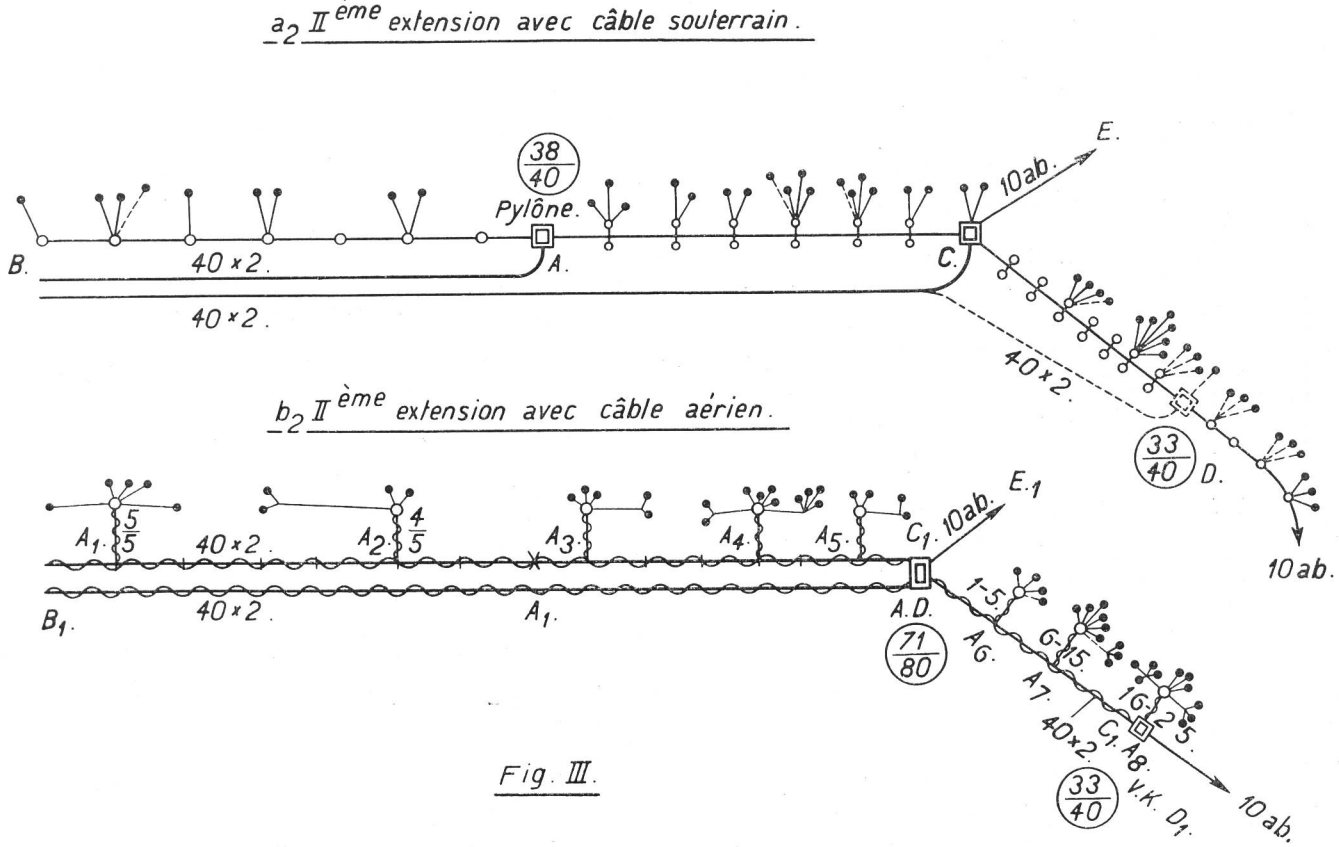

Fig. III.

Zur Berechnung der Freileitungen auf Festigkeit.

Von Ing. Dr. Eugen Nather, Wien.

I. Festwerte.

Als solche kommen in Betracht das spezifische Leitergewicht δ und die Koeffizienten für Wärmedehnung und elastische Dehnung, nämlich die lineare Wärmedehnungszahl ϑ und der Elastizitätsmodul E.

Das spezifische Gewicht der Leiter wird in der Praxis noch immer vielfach zu niedrig angesetzt.

Für Hartkupferseile wird in Oesterreich zum Teil mit dem spezifischen Gewicht 8,95 gerechnet, allermeist jedoch nur mit dem Wert 8,9. Berücksichtigt

man, dass sich schon für Kabeladern (Weichkupfer) diese beiden Ziffern ergeben, und dass einerseits das Kupfermaterial für Freileitungen durch Hartziehen verdichtet ist und anderseits ein aus dem Leitungsseil herausgeschnittenes Meterstück zufolge des Dralles besonders in den äusseren Lagen stärkerer Seile etwas längere Drahtstücke aufweist als 1 m, so sind für Hartkupferseile höhere Werte zu erwarten als für Weichkupferdrähte.

Die Firma „Felten & Guilleaume, Wien" war so entgegenkommend, diesbezüglich genaue Seilkonstruktions- und Gewichtsangaben zur Verfügung zu stellen, welche als Beleg dafür dienen sollen, dass man die Seilgewichte einheitlich etwas höher ansetzen sollte.

Für Telegraphenbronzedraht von 50 kg/mm²
Bruchfestigkeit . . . . . $\delta = 8{,}9$
Für Aluminiumseile . . . . . $\delta = 2{,}8$
Für Eisenseile . . . . . $\delta = 7{,}8$
Für Stahlseile . . . . . $\delta = 8$

Wird das spezifische Gewicht in der Praxis gewöhnlich zu niedrig veranschlagt, so finden sich in der Regel zu hohe Ziffern für den Elastizitätsmodul. Die österreichische Praxis rechnet zumeist mit

$E = 13\,000$ kg/mm² für Hartkupferseile*)
$= 12\,000$ kg/mm² für Bronzeseile
$= 7\,100$ kg/mm² für Aluminiumseile
$= 19\,000$ kg/mm² für Eisenseile
$= 19\,000$ bis $21\,500$ kg/mm² für Stahlseile.

Leitungsseile mit zentralem Kerndraht (nach Felten & Guilleaume, Wien).

Seil-Φ mm	Zahl und Durchmesser der Einzeldrähte	Seilquerschnitt mm²		Gewicht in $\frac{\text{Gramm}}{\text{Meter}}$	
		Nennwert	Ist-wert	für Hartkupfer	für Aluminium
4,1	1 × 1,39 mm + 6 × 1,35 mm	10	10,106	91	28,5
5,2	1 × 1,75 mm + 6 × 1,7 mm	16	16,024	144	45,2
6,5	1 × 2,19 mm + 6 × 2,12 mm	25	24,946	224,5	70,4
7,7	1 × 2,59 mm + 6 × 2,51 mm	35	34,957	315	98,6
9,2	1 × 1,88 mm + 18 × 1,83 mm	50	50,1195	451	141,4
10,9	1 × 2,22 mm + 18 × 2,16 mm	70	69,829	628,5	197,0
12,7	1 × 2,6 mm + 18 × 2,52 mm	95	95,086	856	268,1
14,3	1 × 2,9 mm + 18 × 2,83 mm	120	119,829	1078	337,9
16	1 × 2,34 mm + 36 × 2,27 mm	150	149,996	1350	423,0
17,8	1 × 2,6 mm + 36 × 2,52 mm	185	184,863	1664	521,4

Nach dieser Tabelle ist es sowohl einfacher als auch richtiger, für Hartkupfer-Freileitungsseile mit einem spezifischen Gewicht = 9 zu rechnen.

Bei Aluminiumleitungen wird vielfach mit einem spezifischen Gewicht = 2,75 gerechnet. Statt dessen wird nach vorstehender Tabelle besser mit dem runden Wert 2,8 gerechnet.

Bronzeseile gewöhnlicher Festigkeit (bis ungefähr 60 kg/mm² Bruchfestigkeit) sind beinahe genau so schwer wie Hartkupferseile. Für Siliziumbronzedrähte mit Bruchfestigkeiten von 50 bis 70 kg/mm² ist mindestens mit einem spezifischen Gewicht 8,95 zu rechnen.

Für die Prelldrähte bei Fernmeldeleitungskreuzungen wird in Oesterreich häufig 4 mm-Telegraphenbronzedraht (von 50 kg/mm² Bruchfestigkeit) verwendet. Für diese Drahtsorte ist das spezifische Gewicht = 8,9.

Der nachstehenden Leitergewichtstabelle liegen folgende spezifische Gewichte zugrunde:

Für Seile aus Kupfer von rund 40 kg/mm²
Bruchfestigkeit und Seile aus Bronze
bis rund 60 kg/mm² Bruchfestigkeit . $\delta = 9$
Für Seile aus Bronze von rund 70 kg/mm²
Bruchfestigkeit . . . . . $\delta = 8{,}95$

Es wäre sehr wünschenswert, durch Dehnungsversuche u. zw. an vorgerecktem Seilmaterial, wie es tatsächlich zum Einbau kommt, festzustellen, ob es nicht sicherer ist, mit niedrigeren Werten (etwa 80 bis 90 % der vorstehenden Ziffern) zu rechnen. Da abgeschlossene Versuche hierüber derzeit nicht vorliegen, wird im folgenden noch von den oben angeführten Elastizitätszahlen Gebrauch gemacht.

Als Wärmedehnungsziffern werden nachstehende Werte verwendet:

$\vartheta = 17 \cdot 10^{-6}$ für Hartkupfer
$= 18 \cdot 10^{-6}$ für Bronze
$= 23 \cdot 10^{-6}$ für Aluminium
$= 12 \cdot 10^{-6}$ für Eisen
$= 12 \cdot 10^{-6}$ für Stahl

II. Hilfswerte.

In der Zustandsgleichung für an Stützisolatoren abgespannte Leitungen

*) Dieser Wert erscheint besonders unzuverlässig; nichtsdestoweniger wird die derzeitige Berechnungspraxis von ihm fast vollständig beherrscht.

$$\frac{E}{24} l^2 \left\{ \frac{\left(\frac{\delta}{1000}\right)^2}{\sigma^2} - \frac{\left(\frac{\delta_A}{1000}\right)^2}{\sigma^2{}_A} \right\} = \vartheta E (t - t_A) + (\sigma - \sigma_A)$$

bedeutet:

l .... Spannweite in m

δ .... Gewicht des Leiters in g/cm³, bezogen auf 1 m Länge und 1 mm² Querschnitt für einen beliebigen Zustand.

σ .... Beanspruchung des Leitermaterials (kg/mm²) für einen beliebigen Zustand

t .... Temperatur für einen beliebigen Zustand.

Durch den Index A soll der Ausgangszustand charakterisiert werden; δ_A bedeutet also das spezifische Gewicht des Leiters für den Ausgangszustand, als welcher bekanntlich in Betracht kommt: — 25° C, wenn die Spannweite l kleiner ist als die kritische Spannweite l_{Kr}, — 5° und Zusatzlast, wenn $l > l_{Kr}$. Wenn $l < l_{Kr}$, dann ist $\delta_A = \delta$, wenn $l > l_{Kr}$, dann folgt das scheinbare spezifische Gewicht des Leiters δ_A aus $\delta_A = \frac{\delta . q + \text{Zusatzlast}}{q}$ (worin q der Leiterquerschnitt in mm², die Zusatzlast in g/m). Der Zustand — 5° C und normale Zusatzlast soll im folgenden durch einen Horizontalstrich über dem Zeichen charakterisiert werden, also $\bar{\delta} = \frac{\delta q + \text{Zusatzlast}}{q}$.

Für die normale Eislast 180 $\sqrt{d}$ (g/m) ist das scheinbare spezifische Gewicht $\bar{\delta}$ in nebenstehender Leitergewichtstabelle für die gebräuchlichsten Leiterbaustoffe zusammengestellt.

III. Anwendung auf die Berechnung wagrechter Spannfelder bei Verwendung von Stützisolatoren und von schweren Abspannketten.

Für grosse Spannweiten, welche heute die Regel bilden, ergibt sich bequemes Zifferrechnen, wenn die bekannte Zustandsgleichung in der folgenden Form geschrieben wird:

$$\frac{E}{2400} \left(\frac{l}{100}\right)^2 \left[\frac{\delta^2}{\sigma^2} - \frac{\delta_A{}^2}{\sigma_A{}^2}\right] = \vartheta E (t - t_A) + (\sigma - \sigma_A) \quad ..(1)$$

Danach ergibt sich für Seile aus den gebräuchlichsten Leiterbaustoffen:

a) Hartkupfer:

$$5{,}4 \left(\frac{l}{100}\right)^2 \left\{\frac{\delta^2}{\sigma^2} - \frac{\delta_A{}^2}{\sigma_A{}^2}\right\} = 0{,}22 (t - t_A) + (\sigma - \sigma_A) \quad ..(\mathrm{I})$$

b) Bronze:

$$5 \left(\frac{l}{100}\right)^2 \left\{\frac{\delta^2}{\sigma^2} - \frac{\delta_A{}^2}{\sigma_A{}^2}\right\} = 0{,}22 (t - t_A) + (\sigma - \sigma_A) \quad ..(\mathrm{II})$$

c) Aluminium:

$$2{,}95 \left(\frac{l}{100}\right)^2 \left\{\frac{\delta^2}{\sigma^2} - \frac{\delta_A{}^2}{\sigma_A{}^2}\right\} = 0{,}16 (t - t_A) + (\sigma - \sigma_A) \quad (\mathrm{III})$$

d) Eisen:

$$8 \left(\frac{l}{100}\right)^2 \left\{\frac{\delta^2}{\sigma^2} - \frac{\delta_A{}^2}{\sigma_A{}^2}\right\} = 0{,}23 (t - t_A) + (\sigma - \sigma_A) \quad ..(\mathrm{IV})$$

Leitergewichtstabelle.

Links oben (in Klammer): Leitergewicht G auf den Laufmeter (ohne Zusatzlast) in Gramm. Rechts unten: Leitergewicht plus normale Eislast (180 $\sqrt{d}$), bezogen auf 1 mm² des tatsächlich vorhandenen Leiterquerschnittes,

$$\bar{\delta} = \frac{G + \bar{G}}{q^1} \text{ in } \frac{\text{Gramm}}{\text{cm}^3}$$

Leiterdurchmesser d	Leiterquerschnitt q bzw. (q¹)		Normale Eislast $\bar{G} = 180 \sqrt{d}$ auf den Laufmeter		**Kupfer** (Bruchfestigkeit σ_B = rund 40 kg/mm², spezifisches Gewicht $\delta = 9$), **Bronze** (σ_B = rund 60 kg/mm², $\delta = 9$)	**Bronze** (σ_B = rund 70 kg/mm², $\delta = 8{,}95$)		**Telegraphenbronzedraht** (σ_B=50 kg/mm², $\delta = 8{,}9$)		**Aluminium** $\delta = 2{,}8$		**Eisen** $\delta = 7{,}8$		**Stahl** $\delta = 8$	
	des massiven Drahtes	des Seiles *	im ganzen	bezogen auf 1 mm² des tatsächlich vorhandenen Leiterquerschnittes q¹	(Gramm/Meter)	(g/m)	g/cm³	(g/m)	g/cm³	(g/m)	g/cm³	(g/m)	g/cm³	(g/m)	g/cm³
mm	mm²	mm²	g/m	g/cm³	g/cm³	(g/m)	g/cm³	(g/m)	g/cm³	(g/m)	g/cm³	(g/m)	g/cm³	(g/m)	g/cm³
4	12,57	—	360	28,6	—	—	—	(112)	37,5	—	—	—	—	—	—
5,1	—	16 (15,89)	406	25,6	(143)	34,6	(142)	34,5	—	(45)	28,4	(124)	33,4	(127)	33,6
6,3	—	25 (24,25)	452	18,6	(218)	27,6	(216)	27,5	—	(68)	21,4	(189)	26,4	(194)	26,6
7,5	—	35 (34,36)	493	14,3	(309)	23,3	(306)	23,2	—	(96)	17,1	(268)	22,1	(275)	22,3
9	—	50 (48,35)	540	11,2	(435)	20,2	(430)	20.1	—	(135)	14,0	(377)	19,0	(387)	19,2
10,5	—	70 (65,81)	583	8,87	(592)	17,9	(586)	17,8	—	(184)	11,7	(513)	16,7	(526)	16,9
12,5	—	95 (93,27)	636	6,82	(839)	15,8	(830)	15,7	—	(265)	9,62	(728)	14,6	(746)	14,8

*) Die Ziffer links oben bezeichnet den Nennquerschnitt q, die rechts (in Klammer) beigesetzte Ziffer den tatsächlich vorhandenen Querschnitt q¹.

e) Stahl (σ_B = rund 90 kg/mm²):

$$8{,}8\left(\frac{l}{100}\right)^2\left\{\frac{\delta^2}{\sigma^2}-\frac{\delta_A^2}{\sigma_A^2}\right\}=0{,}25\,(t-t_A)+(\sigma-\sigma_A)\quad ..(V)$$

f) Stahl (σ_B = rund 130 kg/mm²):

$$9\left(\frac{l}{100}\right)^2\left\{\frac{\delta^2}{\sigma^2}-\frac{\delta_A^2}{\sigma_A^2}\right\}=0{,}26\,(t-t_A)+(\sigma-\sigma_A)\quad ..(VI)$$

Erfolgt die Abspannung nicht an Stützisolatoren, sondern an schweren Abspannketten, so lassen sich dieselben Formeln mit geringen Abänderungen verwenden.

Auch hier ist vor allem die kritische Spannweite zu bestimmen.

Nach Guerndt[1]) lautet die Zustandsgleichung (Abb. 1)[2]):

$$\frac{E}{2400}\left(\frac{l'}{100}\right)^2\left[\frac{\delta^2}{\sigma^2}+\frac{l_K\,G_K}{\sigma^2\left(\frac{l'}{100}\right)^2 q}\left\{1{,}2\,\delta+\frac{800\,G_K}{l'\,q}\right\}\right]-$$

$$-\frac{E}{2400}\left(\frac{l'}{100}\right)^2\left[\frac{\delta_A^2}{\sigma_A^2}+\frac{l_K\,G_K}{\sigma_A^2\left(\frac{l'}{100}\right)q}\left\{1{,}2\,\delta_A+\frac{800\,G_{KA}}{l'\,q}\right\}\right]=$$

$$=\vartheta\,E\,(t-t_A)+(\sigma-\sigma_A)$$

Setzen wir zur Abkürzung:

$$\frac{l_K\,G_K}{\left(\frac{l'}{100}\right)^2 q}\left\{1{,}2\,\delta+\frac{800\,G_K}{l'q}\right\}=C$$

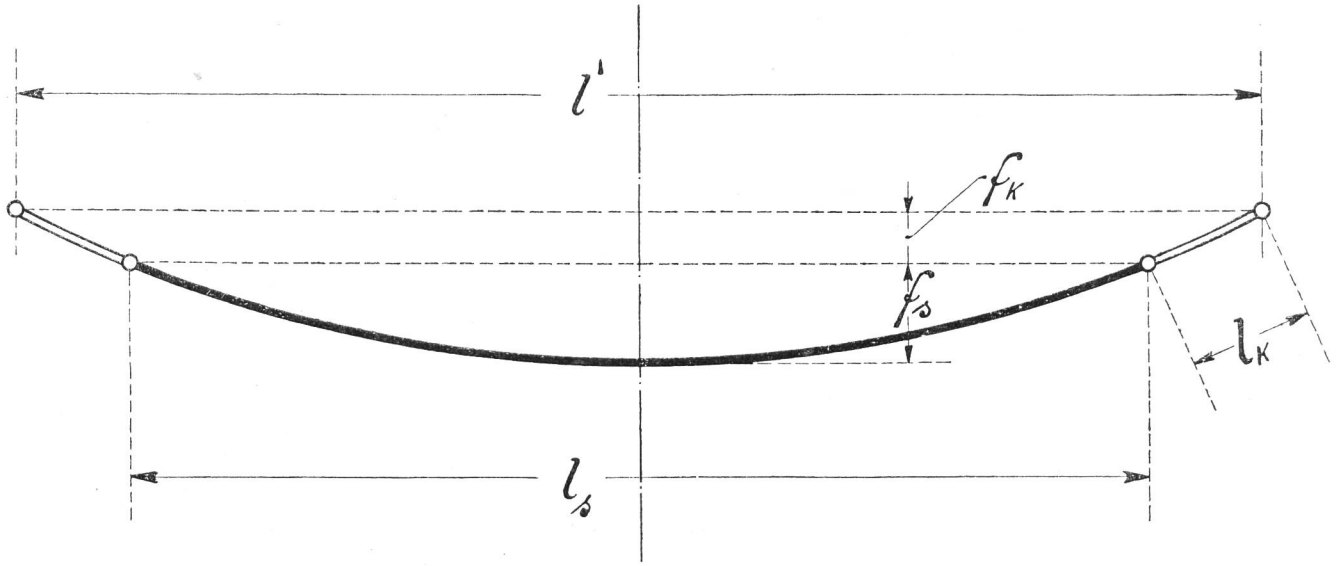

Fig. 1.

$$\left[\frac{l'^2\left(\frac{\delta}{1000}\right)^2}{24\,\sigma^2}+\frac{\left(\frac{\delta}{1000}\right)l_K\,G_K}{2\,\sigma^2\,q}+\frac{l_K\,G_K^2}{3\,l'\,\sigma^2 q^2}\right]-\left[\frac{l'^2\left(\frac{\delta_A}{1000}\right)^2}{24\,\sigma_A^2\,q}+\right.$$

$$\left.+\frac{\left(\frac{\delta_A}{1000}\right)l_K\,G_{KA}}{2\,\sigma_A^2\,q}+\frac{l_K\,G^2{}_{KA}}{3\,l'\,\sigma_A^2\,q^2}\right]=\vartheta\,(t-t_A)+\frac{\sigma-\sigma_A}{E}$$

oder:

$$\frac{E}{2400}\left(\frac{l'}{100}\right)^2\left[\frac{\delta^2}{\sigma^2}+\frac{1}{\sigma^2\left(\frac{l'}{100}\right)^2}\left\{\frac{\left(\frac{\delta}{1000}\right)l_K\,G_K\cdot 2400}{2\,q}+\right.\right.$$

$$\left.\left.+\frac{l_K\,G_K^2\cdot 2400}{3\,l'\,q^2}\right\}\right]-\frac{E}{2400}\left(\frac{l'}{100}\right)^2\left[\frac{\delta_A^2}{\sigma_A^2}-\right.$$

$$\left.-\frac{1}{\sigma_A^2\left(\frac{l'}{100}\right)^2}\left\{\frac{\left(\frac{\delta}{1000}\right)l_K\,G_K\cdot 2400}{2\,q}+\frac{l_K\,G^2{}_{KA}\cdot 2400}{3\,l'\,q^2}\right\}\right]=$$

$$=\vartheta\,E\,(t-t_A)+(\sigma-\sigma_A)$$

[1]) Vergl. E. T. Z. 1922, S. 137.

[2]) Die Längen der Abb. 1 (l', l_s, f_K, f_s, l_K) verstehen sich in m, q ist der Leiterquerschnitt in mm², G_{KA} ist (gemäss dem früheren) das Gewicht der Abspannkette für den Ausgangszustand; G_K ist das Gewicht der Abspannkette für einen beliebigen neuen Zustand.

$$\frac{l_K\,G_{KA}}{\left(\frac{l'}{100}\right)^2 q}\left\{1'2\,\delta_A=\frac{800\,G_{KA}}{l'\,q}\right\}=C_A$$

so folgt:

$$\frac{E}{2400}\left(\frac{l'}{100}\right)^2\left[\frac{\delta^2+C}{\sigma^2}-\frac{\delta_A^2+C_A}{\sigma_A^2}\right]=$$

$$=\vartheta\,E\,(t-t_A)+(\sigma-\sigma_A)\qquad(1a)$$

Die Zustandsgleichung für Leitungen an schweren Abspannketten stimmt demnach in der Form überein mit der für Leitungen an Stützisolatoren gültigen Formel (1). An Stelle des scheinbaren spezifischen Gewichtes für den Ausgangszustand δ_A tritt bei Kettenabspannung das scheinbare spezifische Gewicht $\sqrt{\delta_A^2+C_A}$; an Stelle von δ für einen beliebigen neuen Zustand tritt $\sqrt{\delta^2+C}$.

Für Leitungen an Stützisolatoren folgt die kritische Spannweite l_{kr} bekanntlich aus (1) mit:

$$\left.\begin{array}{l} t_A=-5^\circ\,C\\ \sigma_A=\bar{\sigma}=\sigma_{max}\\ \delta_A=\bar{\delta}\end{array}\right\}\text{ für den Ausgangszustand } (-5^\circ\,C \text{ bei Zusatzlast})$$

$$\left.\begin{array}{l} t = t_{\min} \\ \sigma = \sigma_{\max} \end{array}\right\} \text{ für den neuen Zustand (Tiefsttemperatur ohne Zusatzlast)}$$

$$\frac{E}{2400}\left(\frac{l_{kr}}{100}\right)^2\left\{\frac{\delta^2}{\sigma_{\max}^2} - \frac{\bar{\delta}^2}{\sigma_{\max}^2}\right\} = \vartheta\, E\,(t_{\min} + 5) \quad \ldots (2)$$

$$\left(\frac{l_{kr}}{100}\right)^2 = \frac{2400\,\vartheta\,(t_{\min} + 5)}{\delta^2 - \bar{\delta}^2} \cdot \sigma_{\max}^2 =$$

$$= \frac{2400\,\vartheta\,(-5 - t_{\min})}{\bar{\delta}^2 - \delta^2} \cdot \sigma_{\max}^2$$

$$l_{kr} = \sigma_{\max}\sqrt{\frac{24.10^7\,\vartheta\,(-5 - t_{\min})}{\bar{\delta}^2 - \delta^2}}$$

mit $t_{\min} = -25°$ C folgt:

$$l_{kr} = 6{,}93\,\sigma_{\max}\sqrt{\frac{10^7\,\vartheta}{\bar{\delta}^2 - \delta^2}} \quad \ldots\ldots (3)$$

Analog wie wir Gleichung (3) für Stützisolatoren aus Gl. (1) erhalten haben, ergibt sich für schwere Abspannketten aus Gl. (1a) die folgende Gleichung (2 a):

$$\frac{l_K\,G_K}{\left(\frac{l'_{kr}}{100}\right)^2 q}\left\{1{,}2\,\delta + \frac{800\,G_K}{l'_{kr}\,q}\right\} = C_{kr}$$

$$\frac{l_K\,\bar{G}_K}{\left(\frac{l'_{kr}}{100}\right)^2 q}\left\{1{,}2\,\bar{\delta} + \frac{800\,\bar{G}_K}{l'_{kr}\,q}\right\} = \bar{C}_{kr}$$

$$\frac{E}{2400}\left(\frac{l'_{kr}}{100}\right)^2\left[\frac{\delta^2 + C_{kr}}{\sigma_{\max}^2} - \frac{\bar{\delta}^2 + \bar{C}_{kr}}{\sigma_{\max}^2}\right] =$$

$$= \vartheta\, E\,(t_{\min} + 5) \quad \ldots\ldots\ldots (2a)$$

oder:

$$l'_{kr} = 6{,}93\,\sigma_{\max}\sqrt{\frac{10^7\,\vartheta}{\bar{\delta}^2 + \bar{C}_{kr} - \delta^2 - C_{kr}}}$$

und mit $\bar{C}_{kr} - C_{kr} = D$

$$l'_{kr} = 6{,}93\,\sigma_{\max}\sqrt{\frac{10^7\,\vartheta}{\bar{\delta}^2 - \delta^2 + D}} \quad \ldots (4a)$$

Man ersieht, dass die Differenz „D" erst dann genau bestimmt werden kann, wenn das gesuchte l'_{Kr} bereits bekannt ist.

Für die Fälle der Praxis genügt folgende Näherung: D ist stets positiv, wie man aus der Entwicklung ersieht:

$$D = \frac{l_K}{\left(\frac{l'_{Kr}}{100}\right)^2 \cdot q}\left[1{,}2\,(\bar{G}_K\,\bar{\delta} - G_K\,\delta) + \right.$$

$$\left. + \frac{800}{l'_{Kr}\,q}\left(\bar{G}_K^{\,2} - G_K^{\,2}\right)\right]$$

Wir erhalten demnach für die kritische Spannweite einen zu reichlichen Wert, wenn wir D vernachlässigen und die kritische Spannweite für die Kettenabspannung genau so berechnen wie für Stützisolatorenabspannung. Zumeist wird l' wesentlich grösser sein als die auf diese Weise gerechnete kritische Spannweite; eine genauere Ermittlung ist dann praktisch ohne weiteres Interesse. Nur dann, wenn bei dieser Rechnung l'_{kr} von l' wenig abweicht, wird mit diesem l'_{kr} die Differenz D bestimmt und mit diesem Wert von D wird in die Gleichung (4a) eingegangen.

Nehmen wir zuerst den Fall $l' < l'_{kr}$: Dann kommt für die Zustände ohne Zusatzlast nur der Ausdruck $\sqrt{\delta^2 + C}$ in Betracht. Bei Abspannung an Stützisolatoren lautet für diesen Fall ($l < l_{Kr}$) die Zustandsgleichung:

$$\frac{E}{2400}\left(\frac{l}{100}\right)^2\left[\frac{\delta^2}{\sigma^2} - \frac{\delta^2}{\sigma_{\max}^2}\right] = \vartheta\, E\,(t + 25) + (\sigma - \sigma_{\max})$$

Für den Ausgangszustand (— 25° C) ist dasselbe Leitereigengewicht vorhanden wie für die anderen Zustände ohne Zusatzlast, an die Stelle von δ_A in Gleichung (1) tritt δ. Analog tritt bei Abspannung an schweren Ketten in Gleichung (1a) an Stelle von $\sqrt{\delta_A^2 + C_A}$ der Wert $\sqrt{\delta^2 + C}$:

$$\frac{E}{2400}\left(\frac{l'}{100}\right)^2\left[\frac{\delta^2 + C}{\sigma^2} - \frac{\delta^2 + C}{\sigma_{\max}^2}\right] =$$

$$= \vartheta\, E\,(t + 25) + (\sigma - \sigma_{\max})$$

Mit $\sqrt{\delta^2 + C} = v\,\delta$ folgt:

$$\frac{E}{2400}\left(\frac{v\,l'}{100}\right)^2\left[\frac{\delta^2}{\sigma^2} - \frac{\delta^2}{\sigma_{\max}^2}\right] =$$

$$= \vartheta\, E\,(t + 25) + (\sigma - \sigma_{\max})$$

Man kann also eine Leitung an schweren Abspannketten vom Aussenabstand l' (vergl. Abb. 1) so berechnen wie eine Leitung von gleichem spezifischen Gewicht zwischen Stützisolatoren vom grösseren Abstand (vl') *). Für Zusatzlast ergibt sich dann die Beanspruchung folgendermassen:

Bei Stützisolatoren gilt hier:

$$\frac{E}{2400}\left(\frac{l}{100}\right)^2\left[\frac{\bar{\delta}^2}{\bar{\sigma}^2} - \frac{\delta^2}{\sigma_{\max}^2}\right] =$$

$$= \vartheta\, E\,(-5 - t_{\min}) + (\bar{\sigma} - \sigma_{\max})$$

Die Gleichung für Abspannung zwischen schweren Ketten lautet analog:

$$\frac{E}{2400}\left(\frac{l'}{100}\right)^2\left[\frac{\bar{\delta} + \bar{C}}{\bar{\sigma}^2} - \frac{\delta^2 + C}{\sigma_{\max}^2}\right] =$$

$$= \vartheta\, E\,(-5 - t_{\min}) + (\bar{\sigma} - \sigma_{\max})$$

Mit $\sqrt{\delta^2 + C} = v\,\delta$ folgt:

$$\frac{E}{2400}\,(v\,l')^2\left[\frac{\left(\frac{\sqrt{\bar{\delta}^2 + \bar{C}}}{v}\right)^2}{\bar{\sigma}^2} - \frac{\delta^2}{\sigma_{\max}^2}\right] =$$

$$= \vartheta\, E\,(-5 - t_{\min}) + (\bar{\sigma} - \sigma_{\max})$$

Danach bestimmt sich die Beanspruchung für Zusatzlast bei Kettenabspannung gerade so wie für die Leitung gleicher Anfangsdichte aber v-mal grösserer Spannweite zwischen Stützisolatoren, wenn letztere

*) ($v\,l'$) entspricht der Rechnungsspannweite 1 bei Guerndt (E. T. Z. 1922, S. 139).

Leitung bei Zusatzlast die gleichwertige Scheindichte $\frac{\sqrt{\bar{\delta}^2 + \bar{C}}}{v}$ annimmt.[1])

Gehen wir nun über auf den Fall $l' > l'_{kr}$: hierfür lautet die Zustandsgleichung (bei Stützisolatoren):

$$\frac{E}{2400}\left(\frac{l}{100}\right)^2 \left[\frac{\delta^2}{\sigma^2} - \frac{\bar{\delta}^2}{\bar{\sigma}^2}\right] = \vartheta\, E\,(t+5) + (\sigma - \bar{\sigma}) \quad \ldots\ldots (1^1)$$

die Zustandsgleichung (bei Abspannketten) lautet:

$$\frac{E}{2400}\left(\frac{l'}{100}\right)^2 \left[\frac{\delta^2 + C}{\sigma^2} - \frac{\bar{\delta}^2 + \bar{C}}{\bar{\sigma}^2}\right] = \vartheta\, E\,(t+5) + (\sigma - \bar{\sigma})$$

Wie nämlich in Gleichung (1) δ und $\bar{\sigma}$ an die Stelle von δ_A und σ_A treten, so werden in Gleich. (1a) die Werte $(\delta^2_A + C_A)$ und σ_A ersetzt durch $(\bar{\delta}^2 + \bar{C})$ und $\bar{\sigma}$.

Analog wie früher folgt mit $\sqrt{\delta^2 + C} = v\,\delta$:

$$\frac{E}{2400}\left(\frac{v l'}{100}\right)^2 \left[\frac{\delta^2}{\sigma^2} - \frac{\left(\frac{\sqrt{\bar{\delta}^2 + \bar{C}}}{v}\right)^2}{\bar{\sigma}^2}\right] = \vartheta\, E\,(t+5) + (\sigma - \bar{\sigma}) \quad \ldots\ldots (1a^1)$$

Auch hier zeigt der übereinstimmende Bau von (1^1) und $(1a^1)$: man kann die Leitung an schweren Abspannketten vom Aussenabstand l' so berechnen wie eine Leitung gleicher Dichte zwischen Stützisolatoren vom grösseren Abstand (vl'); bei Zusatzlast kommt der zwischen Stützisolatoren gedachten Leitung die gleichwertige Scheindichte $\frac{\sqrt{\bar{\delta}^2 + \bar{C}}}{v}$ zu.

Der ganze Rechnungsgang soll an je einem Beispiel für $l' < l'_{kr}$ und $l' > l'_{kr}$ durchgeführt werden.

I. Fall: $l' > l'_{kr}$

$l' = 173$ m
$q = 95$ mm² (d = 7,5 mm ϕ, Hartkupfer)
$l_K = 1{,}46$ m
$G_K = 100$ kg
$\bar{G}_K = 127$ kg bei Normaleis $\left(180\sqrt{d}\ \frac{\text{Gramm}}{\text{Meter}}\right)$
$\delta = 9$
$\bar{\delta} = 15{,}8$ (vergl. Leitergewichtstabelle)
$\sigma_{max} = 12$ kg/mm²
$\vartheta = 0{,}000017$
$E = 13\,000$

$$C = \frac{l_K G_K}{q\left(\frac{l'}{100}\right)^2}\left(1{,}2\,\delta + \frac{800\,G_K}{l'\,q}\right) = 8{,}04$$

$$\bar{C} = \frac{l_K \bar{G}_K}{q\left(\frac{l'}{100}\right)^2}\left(1{,}2\,\bar{\delta} + \frac{800\bar{G}_K}{l'\,q}\right) = 16{,}4$$

in erster Annäherung gilt:

$$l'_{Kr} = 6{,}93\ \sigma_{max}\sqrt{\frac{10^7\,\vartheta}{\bar{\delta}^2 - \delta^2}} = 83{,}2 \text{ m}$$

Da $l' > 83'2$, so kommt als Ausgangszustand jedenfalls — 5° C plus Zusatzlast in Betracht.

$$v = \frac{\sqrt{\delta^2 + C}}{\delta} = 1{,}048$$

$$\frac{\sqrt{\bar{\delta}^2 + \bar{C}}}{v} = 15{,}5$$

Es lässt sich also die 95 mm² Hartkupferleitung zwischen Abspannketten mit Aussenabstand $l' = 173$ m gerade so berechnen wie die gleiche Leitung zwischen Stützisolatoren, deren Abstand um 4,8 % grösser ist (173 · 1,048 = 181,3 m), und welche bei Aneisung eine um 2 % geringere Scheindichte (15,5) aufweist. Demnach ergibt sich die Zustandsgleichung aus Gleichung (I) mit $l = 181{,}3$, $\bar{\delta} = 15{,}5$:

$$5{,}4\left(\frac{181{,}3}{100}\right)^2\left\{\frac{9^2}{\sigma^2} - \frac{15{,}5^2}{12^2}\right\} = 0{,}22\,(t+5) + (\sigma - 12)$$

$$\frac{1440}{\sigma^2} = 0{,}22\,(t+5) + \sigma + 17{,}7$$

Der Seildurchhang (ohne Zusatzlast) ist bekanntlich:

$$f_s = \frac{(l' - 2\,l_k)^2}{8000}\cdot\frac{\delta}{\sigma} = \frac{32{,}5}{\sigma}$$

Der Kettendurchhang (ohne Zusatzlast) ist:

$$f_k = \frac{l_K}{2}\left(\frac{G_K}{q} + \frac{l'\,\delta}{1000}\right)\frac{1}{\sigma} = \frac{1{,}9}{\sigma}$$

für — 5° C und Zusatzlast folgt Seil- und Kettendurchhang aus:

$$\bar{f}_s = \frac{(l' - 2\,l_K)^2}{8000}\,\frac{\bar{\delta}}{\bar{\sigma}} = 4{,}78 \text{ m}$$

$$\bar{f}_K = \frac{l_K}{2}\left(\frac{\bar{G}_K}{q} + \frac{l'\bar{\delta}}{1000}\right)\frac{1}{\bar{\sigma}} = 0{,}247 \text{ m}$$

Zustand	σ kg/mm²	f_s m	f_k m	$f = f_s + f_k$ m
— 25° C	8,2	3,97	0,232	4,202
— 15° C	7,85	4,14	0,242	4,382
— 5° C	7,5	4,32	0,253	4,573
— 5° C (plus Normaleis)	12,0	4,78	0,247	5,027
∓ 0° C	7,4	4,4	0,257	4,657
+ 10° C	7,12	4,57	0,267	4,837
+ 20° C	6,9	4,71	0,276	4,986
+ 30° C	6,7	4,86	0,283	5,143
+ 40° C	6,5	5,0	0,294	5,294

[1]) Wenn das auf die Volumseinheit des Leiters bezogene Gewicht δ in G/cm³ ausgedrückt wird, so stimmt der Zahlenwert für δ mit dem Zahlenwert für die sogenannte „Dichte" des Leiters (Masse für 1 cm³, wobei die Masse von 1 cm³ Wasser = 1 gesetzt ist) überein. Wenn sich das auf 1 cm³ bezogene Gewicht des Leiters (spezifisches Gewicht) durch Hinzutreten der Zusatzlast ändert, nämlich in das auf 1 cm³ bezogene Gewicht von Leiter plus Zusatzlast (scheinbares spezifisches Gewicht), so ändert sich in gleichem Masse die Dichte des Leiters (ohne Zusatzlast) in die scheinbare Dichte des Leiters bei Zusatzlast (Masse von Leiter plus Zusatzlast bezogen auf 1 cm³).

Mit Rücksicht auf diese Uebereinstimmung der Zahlenwerte für das bezogene Gewicht und die Dichte soll — ungeachtet des hier bestehenden Dimensionsunterschiedes — doch der Kürze halber statt vom „spezifischen Gewicht des Leiters im Anfangszustand" von der „Anfangsdichte" des Leiters gesprochen werden und statt vom „scheinbaren spezifischen Gewicht" bei Zusatzlast von der „Scheindichte" bei Zusatzlast.

Es genügt nach den Erfahrungen der letzten Jahre nicht, das Verhalten einer Freileitung bloss gegenüber der normalen Eislast (180 $\sqrt{d}$ g/m) zu untersuchen. Ein massgebendes Kriterium bildet die sogenannte Eisreisslast. Sie entspricht jenem Zustand, in welchem die Leitung (durch Aneisung bei — 5° C ohne Wind) rechnungsmässig bis zur Bruchfestigkeit beansprucht wird. Dieser Zustand soll im folgenden durch den Index B charakterisiert werden. Für Leiter an Stützisolatoren ergibt sich die Eisreisslast aus der Zustandsgleichung wie folgt:

$$\frac{E}{2400}\left(\frac{l}{100}\right)^2\left\{\frac{\delta_B{}^2}{\sigma_B{}^2}-\frac{\bar{\delta}^2}{\bar{\sigma}^2}\right\}=$$
$$=\vartheta\, E\,(-5+5)+(\sigma_B-\bar{\sigma})$$

$$\frac{\delta_B{}^2}{\sigma_B{}^2}-\frac{\bar{\delta}^2}{\bar{\sigma}^2}=\frac{2400}{E}\left(\frac{100}{l}\right)^2(\sigma_B-\bar{\sigma})\quad\ldots\ldots\ (5)$$

für Hartkupfer ergibt sich:

$$\frac{\delta_B{}^2}{\sigma_B{}^2}-\frac{\bar{\delta}^2}{\bar{\sigma}^2}=\frac{1850}{l^2}(\sigma_B-\bar{\sigma})$$

$$\delta_B=\sigma_B\sqrt{(\sigma_B-\bar{\sigma})\left(\frac{43}{l}\right)^2+\frac{\bar{\delta}^2}{\bar{\sigma}^2}}\quad\ldots\ldots\ (6)$$

Analog folgt für Leitungen an schweren Abspannketten:

$$\frac{E}{2400}\left(\frac{l'}{100}\right)^2\left\{\frac{\delta_B{}^2+C_B}{\sigma_B{}^2}-\frac{\bar{\delta}^2+\bar{C}}{\bar{\sigma}^2}\right\}=\sigma_B-\bar{\sigma}$$

$$\frac{\delta_B{}^2+C_B}{\sigma_B{}^2}-\frac{\bar{\delta}^2+\bar{C}}{\bar{\sigma}^2}=\frac{2400}{E}\left(\frac{100}{l'}\right)(\sigma_B-\bar{\sigma})$$

für Hartkupfer:

$$\frac{\delta_B{}^2+C_B}{\sigma_B{}^2}-\frac{\bar{\delta}^2+\bar{C}}{\bar{\sigma}^2}=\frac{1850}{l'^2}(\sigma_B-\bar{\sigma})$$

$$\delta_B=\sqrt{\sigma_B{}^2\left[\left(\sigma_B-\bar{\sigma}\right)\left(\frac{43}{l'}\right)^2+\frac{\bar{\delta}^2+\bar{C}}{\bar{\sigma}^2}\right]-C_B}$$

$$C_B=\frac{l_k\,G_{kB}}{q\left(\frac{l'}{100}\right)^2}\left(1{,}2\,\delta_B+\frac{800\,G_{kB}}{l'q}\right)\quad\ldots\ (7)$$

für unser Ziffernbeispiel folgt:

$\sigma_B = 40$ kg/mm²

$\bar{\sigma} = 12$ kgmm/²

$\bar{C} = 16{,}4$

$$\delta_B=\sqrt{5720-C_B}\quad\ldots\ldots\ldots\ (8)$$

Der Wert δ_B ergibt sich in erster Annäherung, wenn C_B gegenüber 5720 vernachlässigt wird, zu:

$$\delta_B=\sqrt{5720}=75{,}6$$

Wenn mit diesem Wert in Gl. (7) eingegangen wird, so folgt:

$$C_B=\left(\frac{1{,}46}{95\cdot 1{,}73^2}\right)^2 G_{KB}\left(1{,}2\cdot 75{,}6+\frac{800}{173\cdot 95}\cdot G_{KB}\right)$$

oder

$$C_B=G_{KB}\,(0{,}466+0{,}00025\,G_{KB})\quad\ldots\ldots\ (9)$$

Für das Gewicht der Abspannkette bei Eisreisslast kann nichts als eine ganz grobe Schätzung in Betracht kommen, weil nach neueren Beobachtungen an stark vereisten Leitungen gleichartige Leitungsteile in unmittelbar benachbarten Spannfeldern oft ein auffallend verschiedenes Verhalten hinsichtlich der Annahme von Anraum zeigen.*) Wir wollen vorerst folgende Annahme machen: Wenn sich um die Leitung ein Eismantel von 1 cm Wandstärke legt, so sollen auch die einzelnen Teile der Abspannkette durchgängig eine Eisrinde gleicher Wandstärke annehmen. Wir wollen willkürlich voraussetzen, dass beim Fortschreiten der Aneisung bis zur Eisreisslast jedem cm Eisrindenstärke um die Leitung eine gleiche Eisrindenstärke um die Abspannkette entspricht.

Für unser Beispiel ergibt sich aus dieser Annahme:

Eisrindenstärke (in cm) =	1	2	3	4	5	6	7
Eisgewicht (in kg/m) am 95 mm²-Leitungsseil =	0,66	2,4	3,6	6	8,9	12,3	16,3
Gewicht der Abspannkette samt Aneisung (in kg) =	127	154	186	223	268	300	318

Dem Näherungswert $\delta_B = 75{,}6$ entspricht:

$\delta_B - \delta = 66{,}6$

$q\,(\delta_B - \delta) = 95 \cdot 66{,}6 = 6330$ g/m $= 6^1/_3$ kg Eisgewicht auf den Laufmeter Leitung.

Hiermit ergibt sich (durch Interpolation in vorstehender Tabelle) eine Eisrindenstärke (bei Eisreisslast) von ungefähr 4,1 cm, entsprechend einem Eiswalzendurchmesser $= (2.4{,}1+1{,}25) = 9\frac{1}{2}$ cm (um das Leitungsseil).

Nach der Tabelle ist das gleichzeitig vorhandene Gewicht der Abspannkette (samt Aneisung) mit ungefähr 228 kg anzunehmen; damit folgt aus Gleichung (9):

$$C_B = 228\,(0{,}466 + 0{,}00025.228) = 119{,}2$$

Wird dieser Wert in (8) eingesetzt, so folgt:

$\delta_B = 74{,}8$, welcher Wert nur wenig von der in erster Annäherung erhaltenen Ziffer (75,6) abweicht.

Die Annahme, dass die Eisrinde um Seil und Kette in ganz gleichem Masse zunimmt, führt auf sehr hohe Werte für die Kettengewichte bei Bruchlast (G_{KB}) und erscheint als Ausnahmefall von ausserordentlicher Seltenheit. Wie schon angedeutet, zeigt das Mass der Aneisung gerade bei ungewöhnlichen Wetterkatastrophen auffallende Sprünge und Unregelmässigkeiten, für die vergebens nach einer Erklärung gesucht wird. Man wird darum in vielen Fällen den tatsächlichen Verhältnissen näher kommen, wenn man folgendes annimmt: Nur am Seil schreitet die Aneisung in der erwähnten Weise fort, bei der Kette aber kann der Wechsel in den Querschnitts-, den Oberflächen- und den Materialverhältnissen zur Folge haben, dass eine über die normale Ketteneislast erheblich hinausgehende Gewichtsvermehrung nicht eintritt. Wir wollen also annehmen: $G_{KB} = \bar{G}_K$. Dann schreiben sich die Gleichungen (7) und (9) wie folgt:

*) Vergleiche hierüber insbesondere die Ausführungen von C. Duval in Rev. Gén. de l'Electricité, Band XIII, Heft 13. 1923,

$$C_B = \frac{l_K \overline{G}_K}{q \left(\frac{l'}{100}\right)^2} \left(1{,}2\, \delta_B + \frac{800\, \overline{G}_K}{l'\, q}\right) \quad \ldots\ldots (7^1)$$

$$C_B = \overline{G}_k\,(0{,}466 + 0{,}00025\, \overline{G}_k) \quad . \quad . \quad .(9')$$

$$C_B = 127\ (0{,}466 + 0{,}00025 \cdot 127) = 63{,}2$$

Wird dieser Wert in (8) eingesetzt, so folgt:

$$\delta_B = \sqrt{5720 - 63} = 75{,}2$$

Der Unterschied in den Kettengewichten bei Bruchlast ist für die getroffenen Annahmen, 228 kg bzw. 127 kg, ziemlich bedeutend. Der Einfluss auf das Endergebnis aber ist verschwindend.

Es erscheint danach als eine zweckmässige Näherung, den Einfluss der Abspannkettengewichte hier überhaupt zu vernachlässigen und zu prüfen, ob sich eine ausreichende Genauigkeit aus der Anwendung der für Stützisolatoren geltenden Formel (6) ergibt.

Als unveränderliche Spannweite kommt dann näherungsweise in Betracht $l = l' - 2\, l_k = 173 - 2.1{,}46 = 170{,}08$ m und wir erhalten:

$$\delta_B = \sigma_B \sqrt{(\sigma_B - \bar{\sigma}) \left(\frac{43}{l}\right)^2 + \frac{\bar{\delta}^2}{\bar{\sigma}^2}} =$$

$$= 40 \sqrt{(40 - 12) \left(\frac{43}{170{,}08}\right)^2 + \frac{15{,}8^2}{12^2}} = 75{,}1$$

Aus der Annahme $G_K = \overline{G}_K$ haben wir fast denselben Wert ($\delta_B = 75{,}2$) erhalten.[1]) Für das vorliegende lange Abspannketten-Feld kommen wir also zu dem Schluss:

Die Ermittlung der Bruchlast kann mit praktisch vollkommen ausreichender Genauigkeit bei Kettenabspannung ebenso vorgenommen werden, als ob das Seil an den inneren Kettenendpunkten fix abgespannt wäre.

Zur Kontrolle soll das Beispiel noch nach dem Krzyzanowski'schen Verfahren durchgerechnet werden.[2]) Danach ergeben sich (in der Bezeichnungsweise von Krzyzanowski) die Beiwerte:

$$\begin{aligned} a &= 3{,}450551 \\ b &= 1{,}164562 \cdot 10^{-5} \\ c &= 0{,}045249 \\ d &= 58774{,}2 \end{aligned}$$

und hiermit die Zustandsgleichung:

$$t = 3{,}450551.100\, l_s + 1{,}164562.10^{-5}\, \frac{(100\, l_s)^3}{(100\, \sigma)^2} - 58774{,}2 - 0{,}045249.100\, \sigma \quad \ldots\ldots (10)$$

Aus dieser Gleichung folgen durch Einsetzen der Werte $\sigma = 8{,}2$; $7{,}5$; $6{,}9$; $6{,}5$ kg/mm² die zugehörigen Temperaturen zu $t = -26\frac{1}{2}°$, $-4{,}64°$, $+20{,}3°$, $+38\frac{1}{2}°$ C in hinreichender Uebereinstimmung mit den Werten $-25°$, $-5°$, $+20°$, $+40°$ C der Tabelle auf Seite 86.

[1]) Diese Abweichung ist kleiner als die Genauigkeit, welche nach der Auswertung mittelst des Rechenschiebers erwartet werden kann.

[2]) Vergl. den Aufsatz von Krzyzanowski: Ueber den Einfluss von Isolatorenketten auf die Beanspruchung und den Durchhang im Spannfelde (Elektrotechnik und Maschinenbau 1917, S. 489, 505).

Zur Nachprüfung der Bruchlast kann das der Krzyzanowski'schen Abb. 4[1]) zugrunde liegende Verfahren benützt werden. Danach ist, wenn das Spannungs-Temperaturdiagramm für eine gegebene Belastung δ vorliegt, das entsprechende Diagramm für eine neue Belastung dadurch leicht zu ermitteln, dass man den Ordinatenabstand beider Kurven für einige Punkte berechnet. Setzt man in Gleichung (10) $\sigma = \sigma_B = 40$ kg/mm², so folgt $t = -264{,}3$ C. Gleichung (10) gilt für $\delta = 9$. Dem Zustande δ_B entspricht im Sinne der Krzyzanowski'schen Entwicklung ein Spannungs-Temperaturdiagramm, das vom Ursprungsdiagramm den Ordinatenabstand

$$\triangle = a\,(z_{2B} - z_2) = (\rho^2{}_B - \rho^2)\, \frac{a\, z_2{}^3}{24\, p^2}$$

aufweist, das ist in unserer Schreibweise:

$$\triangle = a\,(100\, l_{sB} - 100\, l_s) + \left\{\left(\frac{\delta_B}{1000}\right)^2 - \left(\frac{\delta}{1000}\right)^2\right\} \times \frac{a\,(100\, l_s)^3}{24\,(100\, \sigma)^2} \quad \ldots\ldots (11);$$

in letzteren Formeln bedeutet l_{sB} (bzw. z_{2B}) die Seilspannweite zwischen den inneren Kettenendpunkten (bei Eisreisslast).[2])

Da der Bruchlast eine Temperatur $= -5°$ C entspricht, sollte die Distanz beider Kurven gleich $\triangle = 264{,}3° - 5° = 259{,}3°$ C sein.

Aus *Gl.* (11) folgt mit $\delta_B = 75{,}2$

$$\triangle = 3{,}4505\ (17012{,}43 - 17008{,}15) + \left\{\frac{75{,}2^2}{10^6} - \frac{9^2}{10^6}\right\} \frac{3{,}4505\,(100 \cdot 170{,}1)^3}{24\,(100 \cdot 40)^2} = 261{,}3°\ C,$$

welcher Wert mit der obigen Forderung (259,3° C) annähernd übereinstimmt.

II. Fall: $l' < l'_{kr}$

Gegenüber Fall I soll sich bloss die Spannfeldlänge ändern in: $l' = 70$ m; im übrigen gelten die Annahmen des Falles I;

In erster Annäherung folgt:

$$l'_{kr} = 6{,}93\ \sigma_{max} \sqrt{\frac{10^7\ \vartheta}{\bar{\delta}^2 - \delta^2}} = 83{,}2$$

mit $l'_{kr} = 83{,}2$ folgt:

$$C = \frac{1{,}46 \cdot 100}{95 \cdot 0{,}832^2} \left[1{,}2 \cdot 9 + \frac{800 \cdot 100}{83{,}2 \cdot 95}\right] = 46{,}4$$

$$\overline{C} = \frac{1{,}46 \cdot 127}{95 \cdot 0{,}832^2} \left[1{,}2 \cdot 15{,}8 + \frac{800 \cdot 127}{83{,}2 \cdot 95}\right] = 90$$

$$D = \overline{C} - C = 43{,}6$$

[1]) Elektrotechnik und Maschinenbau (E. u. M.) 1917, S. 507.

[2]) Genauer sollte es heissen:

$$\triangle = a\,(z_{2B} - z_2) + \left[\rho^2{}_B \cdot \frac{a\, z_{2B}{}^3}{24\, p^2} - \rho^2\, \frac{a\, z_2{}^3}{24\, p^2}\right]:$$

der geringe Unterschied zwischen z_{2B} und z_2 soll bloss im zweiten Glied (in eckiger Klammer) vernachlässigt werden; dann ergibt sich angenähert:

$$\triangle = a\,(z_{2B} - z_2) + (\rho^2{}_B - \rho^2)\, \frac{a\, z_2{}^3}{24\, p^2}$$

$$l'_{kr} = 6{,}93 \cdot 12 \sqrt{\frac{10^7 \cdot 17 \cdot 10^{-6}}{15{,}8^2 - 9^2 + 43{,}6}} = 72{,}5 \text{ m}$$

mit $l'_{kr} = 72{,}5$ folgt noch genauer:

$$C = \frac{1{,}46 \cdot 100}{95 \cdot 0{,}725^2} \left[1{,}2 \cdot 9 + \frac{800 \cdot 100}{72{,}5 \cdot 95}\right] = 65{,}5$$

$$\overline{C} = \frac{1{,}46 \cdot 127}{95 \cdot 0{,}725^2} \left[1{,}2 \cdot 15{,}8 + \frac{800 \cdot 127}{72{,}5 \cdot 95}\right] = 125$$

$$D = \overline{C} - C = 59{,}5$$

$$l'_{kr} = 6{,}93 \cdot 12 \sqrt{\frac{10^7 \cdot 17 \cdot 10^{-6}}{15{,}8^2 - 9^2 + 59{,}5}} = 71{,}5 \text{ m}$$

Demnach ist $l' < l'_{kr}$ und es ist auszugehen von der Temperatur — 25° C.

Die Konstanten für $l' = 70$ m sind:

$$C = \frac{1{,}46 \cdot 100}{95 \cdot 0{,}7^2} \left[1{,}2 \cdot 9 + \frac{800 \cdot 100}{70 \cdot 95}\right] = 70{,}8$$

$$\overline{C} = \frac{1{,}46 \cdot 127}{95 \cdot 0{,}7^2} \left[1{,}2 \cdot 15{,}8 + \frac{800 \cdot 127}{70 \cdot 95}\right] = 136$$

daraus folgt:

$$v = \frac{\sqrt{\delta^2 + C}}{\delta} = 1{,}37$$

Die Hartkupferleitung zwischen Abspannketten vom Aussenabstand l' ist zu berechnen wie eine Hartkupferleitung gleichen Querschnitts zwischen Stützisolatoren von einem um 37 % grösseren Abstand ($l = 1{,}37\ l' = 95{,}9$ m), die bei Aneisung nur die Scheindichte $\frac{\sqrt{\overline{\delta}^2 + \overline{C}}}{v} = 14{,}3$ annimmt, das ist rund 9 % weniger als die an Ketten abgespannte Leitung.

Nach Gleichung (I) gilt:

$$5{,}4 \cdot 0{,}959^2 \left[\frac{9^2}{\sigma^2} - \frac{9^2}{12^2}\right] = 0{,}22\,(t + 25) + \sigma - 12$$

$$\frac{400}{\sigma^2} - 2{,}78 = 0{,}22\,(t + 25) + \sigma - 12$$

$$\frac{400}{\sigma^2} = 0{,}22\,(t + 25) + \sigma - 9{,}22 \quad \ldots$$ Zustandsgleichung für verschiedene Temperaturen ohne Zusatzlast

$$\left.\begin{aligned} f_s &= \frac{(l' - 2\,l_K)^2}{8000} \cdot \frac{\delta}{\sigma} = \frac{5{,}085}{\sigma} \\ f_K &= \frac{l_K}{2}\left(\frac{G_K}{q} + \frac{l'\delta}{1000}\right)\frac{1}{\sigma} = \frac{1{,}22}{\sigma} \end{aligned}\right\} \text{ohne Zusatzlast}$$

für Zusatzlast gilt:

$$\frac{E}{2400}\left(\frac{l'\,v}{100}\right)^2 \left[\frac{\left(\frac{\sqrt{\overline{\delta}^2 + \overline{C}}}{v}\right)^2}{\overline{\sigma}^2} - \frac{\delta^2}{\sigma_{max}^2}\right] =$$

$$= \vartheta\, E\,(-5 - t\,\min) + (\overline{\sigma} - \sigma_{max})$$

$$5{,}4 \cdot 0{,}959^2 \left[\frac{\frac{15{,}8^2 + 136}{1{,}37^2}}{\overline{\sigma}^2} - \frac{81}{144}\right] =$$

$$= 0{,}22 \cdot 20 + \overline{\sigma} - 12$$

$$\frac{1015}{\overline{\sigma}^2} = \overline{\sigma} - 4{,}83$$

$$\overline{\sigma} = 11{,}95 \text{ kg/mm}^2$$

Der Durchhang bei Zusatzlast folgt aus:

$$\overline{f}_s = \frac{(l' - 2\,l_K)^2}{8000} \cdot \frac{\overline{\delta}}{\overline{\sigma}} = 0{,}748$$

$$\overline{f}_K = \frac{l_K}{2}\left(\frac{\overline{G}_K}{q} - \frac{l'\overline{\delta}}{1000}\right)\frac{1}{\overline{\sigma}} = 0{,}148 \text{ m}$$

Gesamtdurchhang $f = f_s + f_K$ . . . ohne Zusatzlast
bzw. $\overline{f} = \overline{f}_s + \overline{f}_K$ . . . mit „

Zustand	σ kg/mm²	f_s m	f_k m	$f = f_s + f_k$ m
— 25° C	12	0,422	0,102	0,524
— 15° C	10,6	0,48	0,115	0,595
— 5° C	9,37	0,542	0,13	0,672
— 5° C (plus Normaleis)	11,95	0,748	0,148	0,896
∓ 0° C	8,82	0,577	0,138	0,715
+ 10° C	7,91	0,642	0,154	0,796
+ 20° C	7,15	0,711	0,171	0,882
+ 30° C	6,5	0,781	0,188	0,969
+ 40° C	6,0	0,848	0,204	1,052

Die Eisreisslast ergibt sich, da jetzt als Ausgangszustand — 25° C (ohne Zusatzlast) in Betracht kommt, aus:

$$\frac{E}{2400}\left(\frac{l'}{100}\right)^2 \left\{\frac{\delta^2_B + C_B}{\sigma^2_B} - \frac{\delta^2 + C}{\sigma_{max}^2}\right\} =$$

$$= \vartheta\, E\,(-5 - t_{min}) + (\sigma_B - \sigma_{max})$$

für unser Ziffernbeispiel folgt:

$$5{,}4 \cdot 0{,}7^2 \left\{\frac{\delta_B{}^2 + C_B}{40^2} - \frac{\delta^2 + C}{12^2}\right\} =$$

$$= 0{,}22 \cdot 20 + 40 - 12$$

$$\delta_B = \sqrt{21280 - C_B}$$

$$C_B = \frac{1{,}46\, G_{KB}}{95 \cdot 0{,}7^2}\left(1{,}2\,\delta_B + \frac{800\, G_{KB}}{70 \cdot 95}\right)$$

in erster Annäherung erhalten wir:

$$\delta_B = \sqrt{21280} = 146$$

dies in den Ausdruck für C_B eingesetzt ergibt:

$$C_B = G_{KB}\,(0{,}0376\,\delta_B + 0{,}00376\, G_{KB})$$

$$= G_{KB}\,(5{,}49 + 0{,}00376\, G_{KB})$$

Dem Näherungswert $\delta_B = 146$ entspricht:

$$\delta_B - \delta = 137$$

$$q\,(\delta_B - \delta) = 95 \cdot 137 = 13000 \text{ g/m} =$$

= 13 kg Eisgewicht auf den Laufmeter Leitung.

Hiermit ergibt sich analog wie bei Fall I eine Eisrindenstärke (bei Eisreisslast) von ungefähr 6¼ cm, entsprechend einem Eiswalzendurchmesser = 13¼ cm (um das Leitungsseil).

Das gleichzeitig vorhandene Gewicht der Abspannkette (samt Aneisung) ist mit ungefähr 305 kg anzunehmen; damit folgt aus Gleichung (7):

$$C_B = 305\ (5{,}49 + 0{,}00376 . 305) = 2020$$

Hiermit folgt in zweiter Annäherung:

$$\delta_B = \sqrt{21280 - 2020} = 139$$

$$\delta_B - \delta = 130$$

$q\ (\delta_B - \delta) = 12400$ g/m $= 12{,}4$ kg Eisgewicht auf den Laufmeter Leitung.

Dem entspricht eine Eisrindenstärke (bei Eisreisslast) von ungefähr 6,1 cm bzw. ein Eiswalzendurchmesser = 13 cm.

Wenn wir auch hier wieder annehmen:

$G_{KB} = \overline{G}_K$, so erhalten wir:

$$C_B = \frac{1{,}46 \cdot 127}{95 \cdot 0{,}7^2}\left(1{,}2\ \delta_B + \frac{800 \cdot 127}{70 \cdot 95}\right)$$

$$= 127\ (0{,}0376\ \delta_B + 0{,}00376 \cdot 127) = 760$$

$$\delta_B = \sqrt{21280 - 760} = 143$$

$$\delta_B - \delta = 134$$

$$q\ (\delta_B - \delta) = 12{,}7 \text{ kg}$$

Auch bei der vorliegenden, schon ausnahmsweise kurzen Spannweite zeigt sich der Unterschied im Endresultat (für die beiden Annahmen $G_{KB} = 305$ kg bzw. 127 kg) als praktisch ganz belanglos.

Wird danach wieder vom Einfluss der Ketten abgesehen und so gerechnet, als ob Stützisolatoren vorhanden wären, so folgt mit $l = 70 - 2 . 1{,}46 = 67{,}1$ m:

$$\frac{E}{2400}\left(\frac{l}{100}\right)^2\left\{\frac{\delta^2_B}{\sigma^2_B} - \frac{\delta^2}{\sigma^2_{max}}\right\} =$$

$$= \vartheta\ E\ (-5 - t_{min}) + (\sigma_B - \sigma_{max})$$

$$\delta_B = \sigma_B \sqrt{(20\ \vartheta\ E + \sigma_B - \sigma_{max})\left(\frac{43}{l}\right)^2 + \frac{\delta^2}{\sigma^2_{max}}}$$

$$= 40 \sqrt{(20 \cdot 0{,}22 + 40 - 12)\left(\frac{43}{67{,}1}\right)^2 + \frac{9^2}{12^2}} = 149$$

Die Abweichung gegenüber 143 beträgt rund 4 %. Das ist ein geringfügiger Unterschied, wenn man bedenkt, dass die Rechnung nur unter der Voraussetzung zutreffend ist, dass die Belastung der Seillinie über die ganze Spannweite mathematisch gleichmässig verteilt ist. Bei so schweren Aneisungen, wie sie die Eisreisslasten darstellen, erscheint diese Gleichförmigkeit der Zusatzverteilung an sich unsicher, sodass für δ_B bloss eine grössenordnungsmässige Bestimmung in Betracht kommen kann.

Es ist sonach für die Fälle der Praxis allgemein angängig, die Eisreisslasten für Kettenabspannung einfach nach den für fixe Abspannung geltenden Formeln zu rechnen.

Die Kontrolle nach dem Verfahren von Krzyzanowski ergibt:

$$a = 8{,}767336$$
$$b = 2{,}9589759 \cdot 10^{-5}$$
$$c = 0{,}04529$$
$$d = 58794{,}2$$

$$t = 8{,}767336 . 100\ l_s + 2{,}9589759 . 10^{-5}\ \frac{(100\ l_s)^3}{(100\ \sigma)^2} -$$

$$- 58794{,}2 - 0{,}04529 . 100\ \sigma \quad \ldots\ldots\ldots (12)$$

Durch Einsetzen von $\sigma = 12; 9{,}37; 7{,}15; 6$ in Gleichung (12) ergeben sich folgende zusammengehörige Werte:

$\sigma = 12$ kg/mm²	$\sigma = 9{,}37$ kg/mm²
$l_s = 67{,}0869$ m	$l_s = 67{,}09134$ m
$t = -24{,}95°$ C	$t = -5.1°$ C [1]
$\sigma = 7{,}15$ kg/mm²	$\sigma = 6$ kg/mm²
$l_s = 67{,}09933$ m	$l_s = 67{,}1074$ m
$t = +19{,}2°$ C [2]	$t = +38{,}8°$ C [3]

Ebenso wie bei Fall I ergibt sich:

a) für Normaleis:

Aus Gl. (12) folgt für $\sigma = \overline{\sigma} = 11{,}95$ kg/mm² (bei $\delta = 9$):

$$l_s = 67{,}087$$
$$t = -24{,}7° \text{ C}$$

$$\triangle = a\ (100\ \overline{l}_s - l_s) + \left\{\left(\frac{\overline{\delta}}{1000}\right)^2 - \left(\frac{\delta}{1000}\right)^2\right\}\frac{a\ (100\ l_s)^3}{24\,(100\,\sigma)^2} \quad \ldots\ldots (13)$$

Es sollte sein: $\triangle = 24{,}7° - 5° = 19{,}7°$ C

für $\delta = \overline{\delta} = 15{,}8$ folgt aus Gleich. (12):

$\overline{l}_s = 6709{,}46$ und hiemit aus Gleich. . (13):

$$\triangle = 8{,}7673\ (6709{,}46 - 6708{,}7) + \left\{\frac{15{,}8^2}{10^6} - \frac{9^2}{10^6}\right\} \times$$

$$\times \frac{8{,}767\ (100 . 67{,}1)^3}{24\ (100 . 11{,}95)^2} = 19{,}6° \text{ C}$$

b) für Eisreisslast:

Aus Gleich. (12) folgt für $\sigma = \sigma_B = 40$ kg/mm² (bei $\delta = 9$)

$$l_s = 67{,}08063$$
$$t = -163° \text{ C}$$

$$\triangle = a\ (100\ l_{sB} - 100\ l_s) +$$

$$+ \left\{\left(\frac{\delta_B}{1000}\right)^2 - \left(\frac{\delta}{1000}\right)^2\right\}\frac{a\ (100\ l_s)^3}{24\,(100\,\sigma)^2} \quad \ldots\ldots (14)$$

Es sollte sein: $\triangle = 163° - 5° = 158°$ C

für $\delta = \delta_B = 143$ folgt aus Gleich. (12):

$l_{sB} = 6710{,}687$ und hiemit aus Gleich. (14):

$$\triangle = 8{,}7673\ (6710{,}687 - 6708{,}063) +$$

$$+ \left\{\frac{144^2}{10^6} - \frac{81}{10^6}\right\}\frac{8{,}7673\ (100 \cdot 67{,}1)^3}{24\ (100 \cdot 40)^2} = 163{,}5° \text{ C}$$

Durch Probieren findet man, dass sich nach diesem Verfahren für die Eisreisslast (bei $-5°$ C) der genaue Wert $\delta_B = 140{,}5$ ergibt; hierfür folgt nämlich $l_{sB} = 67{,}1061$ m und aus Gl. (14) $\triangle = 158°$ C, wie es nach dem vorstehenden der Fall sein soll; dass die Eisreisslast hier merklich kleiner ausfällt als nach der Formel für Stützisolatoren, erklärt sich aus dem Vergleich der Seilspannweiten l_s für „$-5°$ ohne Zusatzlast" und für „$-5°$ bei Eisreisslast". Für „$-5°$ ohne Zusatzlast" war $l_s = 67{,}091$ m, dagegen hat sich für Eisreisslast (bei $\delta_B = 140{,}5$) das $l_{sB} = 67{,}1061$ m gefunden; das heisst die Seilspannweite, für welche bei Stützisolatoren genau

[1]) Gegenüber $-5°$ C in der Tabelle auf Seite 89.
[2]) Gegenüber $+20°$ C in der Tabelle auf Seite 89.
[3]) Gegenüber $+40°$ C in der Tabelle auf Seite 89.

genug die Konstante 67,1 m gesetzt werden kann, erfährt bei Kettenabspannung, wenn δ_B bei konstanter Temperatur vom Werte 9 auf $\delta_B = 140{,}5$ anwächst, eine Vergrösserung um 67,106 m — 67,091 m = 1,5 cm. Diese Ausspannung des Seiles zwischen den Ketten um 1½ cm macht erklärlich, dass sich unter der Voraussetzung von Stützisolatoren der grössere Wert $\delta_B = 149$ ergeben hat, dagegen bloss $\delta_B = 143$ nach dem ersten Verfahren (für $G_{KB} = \overline{G}_K$) und $\delta_B = 140{,}5$ nach dem Verfahren von Krzyzanowski.[1])

Für die praktische Leitungsberechnung sind die Abweichungen in den Ergebnissen, welche das Krzyzanowski'sche Verfahren liefert, auch für die vorliegende Spannweite, welche unter der kritischen gelegen ist, ohne Belang.

[1]) Für Fall I ($l' > l_{Kr}$) waren diese Unterschiede der δ_B-Werte geringer, sodass dort nicht weiter darauf eingegangen wurde; zum Vergleich mit dem obigen ist es aber vielleicht nicht überflüssig, hier nochmals auf Fall I zurückzugehen:

Für den Ausgangszustand „— 5° und Zusatzlast" war die Seilspannweite $\overline{l}_s = 170{,}12$ m. Bei Vernachlässigung der Ketten ergab sich für die Spannweite $l = 170{,}08$ (Stützisolatoren vorausgesetzt) ein $\delta_B = 75{,}1$. Nach dem Krzyzanowski'schen Verfahren stellte sich für $\delta_B = 75{,}2$ (was der Annahme $G_{KB} = \overline{G}_K$ bei Berücksichtigung der Ketten entspricht) die Differenz Δ auf 261,3° C, statt auf 259,3°, wie es, genau genommen, der Fall hätte sein sollen. Dieser genaue Wert $\Delta = 259{,}3°$ hätte sich für $\delta_B = 74{,}9$ ergeben. Der Unterschied von 74,9 gegenüber 75,1 ist äusserst gering; das war schon deshalb zu erwarten, weil sich für die grosse Spannweite (173 m) das Verhältnis $\frac{l}{l'}$ fast auf 1 stellte $\left(v = \frac{l}{l'} = 1{,}048\right)$; noch deutlicher erklären sich die geringen Unterschiede der δ_B-Werte des Falles I, wenn wir auch hier die Relativbewegungen der inneren Kettenenden betrachten; für $\delta_B = 74{,}9$ folgt $l_{sB} = 170{,}124$ m. Gegenüber dem Ausgangszustand ($\overline{l}_s = 170{,}12$ m) weichen die Seilenden (inneren Kettenenden) bloss um 170,124 m—170,12 m = 0,4 cm aus. Diese Ausweichung der Seilendpunkte ist verschwindend klein gegenüber der Seilspannweite von rund 170,1 m; damit steht im Einklang, dass sich das δ_B nach Krzyzanowski nur um sehr wenig kleiner ergibt als für die fixe Spannweite 170,1 m, nämlich mit 74,9 (gegenüber 75,1 für die Fixspannweite 170,1 m).

Zusammenfassung.

Im Interesse einer Vereinheitlichung der Leiterdurchhangsberechnungen werden die noch immer recht verschieden angesetzten Festwerte der Leiterbaustoffe auf ihre Genauigkeit untersucht; leider stehen umfassende Versuche, insbesondere hinsichtlich des *Elastizitätsmoduls der* Leitungs-*Seile* noch aus, sodass es derzeit noch nicht möglich ist, durchgehends einheitliche Ziffern für die Festwerte vorzuschlagen.

Es werden die Zustandsgleichungen für die gebräuchlichsten Leiterbaustoffe zusammengestellt; die Verwendung derselben zur Berechnung wagrechter Leitungen an schweren Abspannketten wird an zwei Ziffernbeispielen erläutert, und zwar unter besonderer Rücksichtsnahme auf die grösstmögliche Eislast.

La Centrale automatique de Genève.

Par R. Muller, Genève.

Installée dans les locaux de l'Hôtel des Postes de la rue du Mont-Blanc, sur le même étage que la centrale interurbaine décrite dans le Bulletin technique N° 2 de février 1924, la centrale automatique „Mont-Blanc" a été mise en service dans la nuit du 19 au 20 avril 1924. Du type Western Electric Co., elle est d'une capacité actuelle de 6000 abonnés, dont seulement 4800 sont complètement équipés; cette capacité de 6000 pourra être, au besoin, portée à 10,000 abonnés.

Nous supposons connus les principes généraux de l'automatique; aussi n'entrerons-nous pas dans les détails de fonctionnement de la centrale. Néanmoins, il nous semble nécessaire de donner ci-après une rapide description des divers organes chargés d'établir les communications ainsi que de la manière dont ils sont groupés entre eux.

Ces organes sont:

a) Les chercheurs de lignes,
b) les enregistreurs,
c) les sélecteurs.

En outre, chacune de ces machines est accompagnée d'un ou même de deux „combineurs", dont nous dirons plus loin quelques mots.

Les chercheurs de lignes selon fig. 1 (Clichés des figures 1, 2, 3, 4 et 8 obligeamment prêtés par la Bell Téléphone Mfg.) se divisent en premiers chercheurs de lignes, ou chercheurs primaires, et seconds chercheurs de lignes ou chercheurs secondaires.

Les chercheurs primaires sont composés:

1° D'un secteur cylindrique, ou arc, de 120° d'ouverture, à l'intérieur duquel arrivent, en trois niveaux de 20, les broches de contact de 60 abonnés, à raison de 4 broches superposées par abonné (fils A, B, C, D).

2° D'un chariot porte-balais (fig. 2) composé d'un axe vertical portant 3 jeux de balais calés à 120° et placés à des niveaux correspondant à ceux des broches. Ces trois jeux, comportant chacun 4 balais (fils A, B, C, D), sont reliés entre eux en multiple et, en plus, à un collecteur sur lequel frottent les extrémités d'une ligne auxiliaire.

Par le mouvement de rotation du chariot porte-balais, le premier jeu de balais frottera sur les 20 broches du premier niveau, le deuxième sur les 20 broches du deuxième niveau et le troisième sur les 20 broches du troisième niveau. La ligne auxiliaire peut donc être reliée à l'un quelconque des 60 abonnés.

3° D'un embrayage magnétique (visible sur fig. 1).

Le chariot porte-balais est muni d'un disque flexible en fer doux sous le bord duquel tourne, sans le toucher, une joue également en fer doux, calée sur un axe animé d'un mouvement de rotation continuel et formant le noyau d'un électro-aimant. Si on lance un courant dans ce dernier, la joue, qui forme armature, s'aimante, attire le disque flexible du chariot porte-balais, et l'entraîne dans son mouvement de rotation. Pour l'arrêt, il suffit de sup-