Zur Festigkeitsberechnung von Freileitungen

Autor(en): **Nather, Eugen**

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): **5 (1927)**

Heft 3

PDF erstellt am: **31.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-873824

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

Bern, den / Berne, le / Berna, il } 1. VI. 1927 | № 3 | Jahrgang / Année / Anno } V

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

Publié par ordre de la Direction Générale des Télégraphes

Herausgegeben im Auftrage der Obertelegraphendirektion

Pubblicato per ordine della Direzione Generale dei Telegrafi

Zur Festigkeitsberechnung von Freileitungen.

Von Ing. Dr. *Eugen Nather*, Wien. *)

Bei der Ermittlung des Durchhanges von Freileitungen findet man in der Praxis die verschiedensten Ziffern für die Festwerte der Baustoffe, das Eigengewicht, die Wärmedehnungszahl sowie den Elastizitätsmodul; und zwar selbst bei Werkstoffen, welche schon mit recht gleichmässigen Eigenschaften hergestellt werden, wie Hartkupfer und die gewöhnlichen Freileitungsbronzesorten. Nicht selten wird dem Eigengewicht der Seile (je cm³) bis auf 3 Stellen genau Rechnung getragen und — im geraden Gegensatz hiezu — als Elatizitätsmodul E_s des Seiles dann einfach der für die Einzeldrähte geltende Wert E_d angesetzt. Dabei ist gerade der Elastizitätsmodul jener Wert, der unter den Grössen δ, ϑ, E noch den erheblichsten Abstufungen unterliegt. Nicht nur dass er — wie bei Stahl — sehr von der Bruchfestigkeit abhängt, welche bei der Fabrikation angestrebt wird, sondern es wird — auch bei einem in der Qualität so gleichmässig gelieferten Baustoff wie Hartkupfer — der Elastizitätsmodul bekanntlich durch den Seilaufbau wesentlich beeinflusst. Nach den bisherigen Versuchen sind insbesondere für Seile, die aus verhältnismässig zahlreichen, dünnen Drähten bestehen, ziemlich niedrige Werte für den Elastizitätsmodul zu erwarten, soweit es sich wenigstens um gewöhnliches Hartkupfer handelt[1]); bei Bronzeseilen ist es wahrscheinlich, dass sich bei Versuchen ähnliche Verhältnisse wie für Stahl ergeben werden; wählt man hier die Einzeldrähte besonders dünn und gleichzeitig mit der dann erzielbaren höheren Bruchfestigkeit (70 bis 80 kg je mm² des Einzeldrahtes), dann dürften sich die Einflüsse der erhöhten Litzenzahl und der gleichzeitig erhöhten Drahtfestigkeit auf den Elastizitätsmodul zum Teil kompensieren.

In den gewöhnlichen Fällen der Praxis ist es allerdings nicht nötig, feinere Unterschiede bei diesen Festwerten zu machen. In vereinzelten Fällen aber ergibt sich doch die Notwendigkeit einer genaueren Ermittlung; denn bei wichtigen Spannfeldern, wie Flussüberquerungen, Kreuzungen von Bahn- und Fernmeldelinien, wird seitens der Behörden mitunter doch gefordert, dass Durchhangsmessungen bei bestimmten Temperaturen durchgeführt werden, um die Einhaltung eines gewissen Höhenabstandes der Leiter von einem bestimmten Niveau (wie Hochwasserspiegel etc.) zu kontrollieren.

Soll die Durchhangsermittlung mit Hilfe von Kurventafeln vorgenommen werden, z. B. nach dem Verfahren von Singer, so empfiehlt es sich, nicht nur für die einzelnen Baustoffe gesonderte Tafeln anzufertigen, sondern man wird im Interesse einer genauen Ermittlung auch verschiedene Zeichnungsmassstäbe benützen, je nachdem man es mit kleineren oder grösseren Spannweiten zu tun hat.

Bei den Verschiedenheiten im elastischen Verhalten empfiehlt sich auch in diesem Punkte eine Sonderung. Um nun hiebei doch mit einer möglichst geringen Anzahl Tafeln auszukommen, wird man jene Unterschiede, welche weniger ausschlaggebend sind, wie die kleinen Differenzen im Eigengewicht zwischen Kupfer- und Bronzeseilen und wohl auch den Unterschied in den Wärmedehnungszahlen für Kupfer und Bronze zweckmässig ausser acht lassen und bloss der Veränderlichkeit des Elastizitätsmoduls Rechnung tragen. Das Eigengewicht $\delta = 9$ Gramm je m und mm² kann als guter Mittelwert für Kupfer- sowie auch für Bronzeseile verwendet werden und ebenso kann man wohl für beide Baustoffe mit einem Wärmedehnungskoeffizienten $\vartheta = 17.10^{-6}$ rechnen. Der Elastizitätsmodul der gewöhnlichen Hartkupferseile ist nach den Veröffentlichungen von Bürklin[2]) mit ungefähr E = 10 000 bis 11 000 kg/mm² zu veranschlagen, welcher Wert wohl auch für Seile aus gewöhnlicher Freileitungsbronze annähernd noch Geltung haben dürfte. Eine solche Tafel wäre dann für die gewöhnlichen Kupfer- und Bronze-Seile gleichmässig verwendbar. In gleicher Weise könnte für Drähte aus Hartkupfer und aus gewöhnlicher Freileitungsbronze gemeinsam mit einem Eigengewicht $\delta = 8{,}9$ Gramm je m und mm² und mit E = 13 000 kg/mm² bezw. mit $\vartheta = 17.10^{-6}$ gerechnet werden.

Bei der österreichischen Telegraphenverwaltung sind die Durchhangstafeln nach diesen Gesichtspunkten entworfen worden und zwar mit dem runden Mit-

*) Bei der Schriftleitung eingelangt anfangs Dezember 1926.

[1]) Vergl. E. T. Z. 1924, S. 1143, bezw. Elektrotechnik und Maschinenbau (E. und M.) 1925, S. 72.

[2]) E. T. Z. 1924, S. 1144.

telwert E=10 000 kg/mm² für Kupfer- und Bronzeseile; die entsprechenden Durchhänge sind als Mindestwerte anzusehen; denn wesentlich kleiner als 10 000 kg/mm² wird der Elastizitätsmodul höchstens dann sein, wenn ausnahmsweise hohe Seilquerschnitte (etwa 150 mm² und darüber) zur Verwendung kommen.

Im folgenden soll an 2 Ziffernbeispielen gezeigt werden, welche rechnungsmässigen Unterschiede sich ergeben, wenn der Veränderlichkeit des Elastizitätsmoduls E_s bei Seilen (gegenüber dem E_d der Einzeldrähte) Rechnung getragen wird.

I. Beispiel: Wagrechtes Spannfeld an Stützisolatoren, 200 m Spannweite.

Die Ermittlung von Durchhang und Spannung nach dem Verfahren von Singer wird als bekannt vorausgesetzt[3]).

Die Ablesung wird am bequemsten sein und am genauesten ausfallen, wenn die zu schätzenden Linienabschnitte in der Zeichnung horizontal angeordnet sind. Es sind darum in Abb. 1 die Abszissen- und die Ordinatenachse des Singer-Diagramms gegeneinander vertauscht[4]).

Von den Temperaturlinien des Singer-Diagramms ist nur die Ausgangslinie beibehalten worden (für T=O, wobei die Singer'sche Konstante C=O angenommen ist[5]).

Die Ablesung erfolgt mit Hilfe eines durchsichtigen Dreieckes, welches leicht mit Skala und einer Markierungsgeraden versehen werden kann (Zentimeter-Skala, bezw. Doppel- oder halbe Zentimeter[6]). Immer ist die mit Skala versehene Dreieckseite (Abb. 2) auf der Wagrechten anzulegen, welche der Spannweite entspricht; die Spannweiten sind in der Richtung vertikal nach aufwärts aufgetragen (Abb. 1).

Für das folgende Beispiel ist eine Tafel mit Zentimeterskala als Temperaturmassstab verwendet worden.

Wir legen eine Leitung aus Hartkupfer zugrunde, welche hinsichtlich der Zusatzlasten den Schweizer Vorschriften entsprechen soll. Die Schweizer Bestimmungen über normale und erhöhte Eislast erscheinen nämlich auch für österreichische Verhältnisse, speziell das Ostalpen- bezw. Voralpengebiet, ganz besonders beachtenswert[7]).

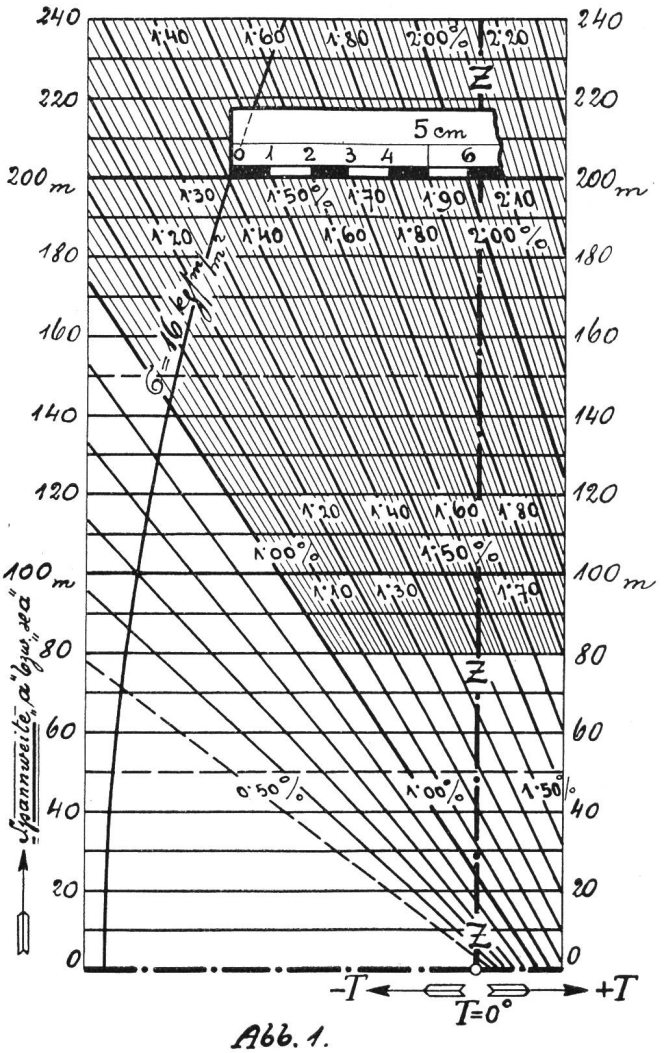


Abb. 1.

[3]) E. und M. 1920, S. 525.

[4]) Vergl. E. und M. 1920, S. 526, Abb. 2.

[5]) T bedeutet die in der Singertafel angegebenen Tafeltemperaturziffern, die mit den wirklichen Temperaturen t keineswegs identisch sind (nur die Differenzen sind identisch: $\Delta T = \Delta t$).

[6]) Doppelzentimeter für kleine Spannweiten (um 50 m), halbe Zentimeter für ausnahmsweise lange Spannfelder (Talüberquerungen etc.).

[7]) Für die engere und weitere Umgebung Wiens hat Oberbaurat Ing. Menschiga von der österreichischen Telegraphenverwaltung genaues Beobachtungsmaterial über Aneisungen gesammelt. Zusatzlasten von der Grössenordnung der Schweizer 800-Grammwalze treten danach auch in niedrigen Lagen (rund 200 m Seehöhe) und bis in die nähere Umgebung von Wien auf. So wurde am 31. Januar 1926 an 2 mm Bronzedraht eine Zusatzlast von 950 Gramm je Meter (bei einer Dichte = 0,75, entsprechend rund 4 cm Walzendurchmesser) festgestellt (und zwar bei Felixdorf, 30 km südwärts von Wien). Nach Menschiga ist es, soweit wenigstens die bisherigen Beobachtungen in Niederösterreich reichen, noch ganz unmöglich, eine gesetzmässige Abhängigkeit zwischen den heute üblichen, noch relativ geringen Leiterdurchmessern und dem Anraumgewicht festzulegen (Vergleiche über eine solche Abhängigkeit auch „Techn. Mitt. T. T. 1926, Seite 97). Ob es zutreffend ist, für die ganz bedeutenden Seildurchmesser, die man künftighin ausführen wird (wie z. B. die geplanten Hohlseile), wesentlich andere Zusatzlasten anzunehmen als für die gewöhnlich verwendeten, im Durchmesser doch recht wenig differierenden Seile, darüber sind lehrreiche Aufschlüsse durch die von Professor Mathias geleiteten, auf vollständig exakte Messungen durch Registrierinstrumente basierten Versuche der Studiengesellschaft für Höchstspannungsanlagen (in Berlin) zu erwarten.

Ueber ältere Beobachtungen extremstarker Aneisungen aus früher österreichischen Gebieten (Adriagebiet, Bukowina) sind nähere Angaben in E. und M. 1918, S. 487 enthalten. Sie stehen im Einklang mit der neuen Feststellung Häuslers, wonach auf Schweizer Gebiet schon 5 kg je m und mehr beobachtet worden sind (Techn. Mitt. T. T. 1926, S. 97).

Bei der aus der Bukowina berichteten starken Aneisung wurden auch bemerkenswerte Beobachtungen über die Zeitdauer gemacht, die zur Bildung der aussergewöhnlichen Eiskruste erforderlich war. Die darauf bezüglichen, am angegebenen Orte angeführten Mitteilungen verdanke ich meinem Kollegen Min. R. Ing. Appel. Es dürfte übrigens, was die Zeitdauer anbelangt, der Mechanismus der verschiedenartigen Anraumbildungen auch in diesem Punkte sehr verschieden sein. Während bei dem aus der Bukowina mitgeteilten Falle mehrere Tage zur Ausbildung der Eiskruste erforderlich waren, sind im Kriegsjahr 1917 in einem österreichischen Gefangenenlager (bei Sigmundsherberg, im niederösterreichischen, durch seine Aneisungen berüchtigten Waldviertel) im kurzen Zeitraum von einer halben Stunde sowohl die Fernmeldedrähte wie die gesamten Licht- und Kraftleitungen bis zum vollständigen Zusammenbruch angeeist, darunter Eisenseile von 50 und 70 mm² Querschnitt bei 40 m Spannweite. Leider hat es sich bei den stärkeren Leitungen um Kriegsmaterial von zum Teil fragwürdiger Qualität gehandelt; auch die Montage dürfte eine dementsprechende gewesen sein; die Voraussetzungen waren also nicht gegeben, um aus einer Nachrechnung dieses einzigartigen Falles wenigstens Rückschlüsse abzuleiten, nachdem die Anstellung direkter Messungen im ungemein raschen Verlauf der Katastrophe verabsäumt worden war.

a) Ermittlung der Durchhangswerte für die Annahmen $E = 10\,000$ und $E = 13\,000$ kg/mm².

Gegeben:

Spannweite a = 200 m

Hartkupferseilquerschnitt $q^1 = 50$ mm² (19 Litzen, tatsächlich vorhandener Querschnitt $q = 48{,}35$ mm²),

zulässige Beanspruchung $\sigma_{max} = 16$ kg/mm²

Wärmedehnungszahl $\vartheta = 17 \cdot 10^{-6}$

Gewicht der Leitung ohne Zusatzlast $\delta = 9$ g/mm²/m

Gewicht der Leitung einschliesslich Zusatzlast $\bar{\delta} = 25{,}6$ g/mm²/m

sogenanntes Aneisungsverhältnis $\varkappa = \frac{\bar{\delta}}{\delta} = 2{,}84$

Den Ausgangspunkt bildet die Ermittlung der Kritischen Spannweite (a_{kr}). [8])

Für unser Beispiel ist

$$a_{kr} = 6{,}93\,\sigma_{max}\sqrt{\frac{10^7\,\vartheta}{\delta^2-\bar{\delta}^2}} = 6{,}93 \cdot 16\sqrt{\frac{170}{655-81}} = 60{,}3 < a$$

Demnach ist bekanntlich die ideelle Spannweite $\varkappa a = 569$ m zu bestimmen. Wo die Wagrechte im Abstand $\varkappa a$ über der Abszissenachse (Abb. 2) mit der Spannungsparabel σ_{max} zusammentrifft, dort ist jetzt der Ausgangspunkt S für die Ermittlung. Das Anlegedreieck ist wiederum mit der Temperaturskala auf der Wagrechten a = 200 m anzulegen und zwar derart, dass der Ausgangspunkt S in die auf dem Dreieck markierte Lotrechte $L_{zus.}$ (Linie für Zusatzlasttemperatur) fällt. Bei dieser Lage des Dreiecks können die prozentuellen Durchhänge für -20^0, -10^0 u. s. f. bis $+40^0$ an der Skala abgelesen werden. Wenn also der Elastizitätsmodul unseres Seiles zu $E = 10\,000$ kg/mm² angenommen werden darf, welcher E-Wert der Tafel zugrundeliegt, dann folgen die prozentuellen Durchhänge:

$$\begin{aligned}
\varphi_{-20^0} &= 3{,}35\\
\varphi_{-10^0} &= 3{,}435\\
\varphi_{0^0} &= 3{,}52\\
\varphi_{+10^0} &= 3{,}6\\
\varphi_{+20^0} &= 3{,}685\\
\varphi_{+30^0} &= 3{,}76\\
\varphi_{+40^0} &= 3{,}84
\end{aligned}$$

Die Durchhänge ohne Zusatzlast $\left(f = \frac{\varphi\,a}{100}\right)$ schwanken zwischen $f_{-20^0} = 6{,}70$ m und $f_{+40^0} = 7{,}68$ m. [9])

Dagegen ist — nach Singer — folgendermassen vorzugehen, wenn der Elastizitätsmodul E_n des Seiles ein anderer ist als der der Tafel zugrundegelegte E-Wert. Für einen solchen Fall ist in der Tafel nicht mehr von der Parabel $\sigma = 16$ kg/mm² auszugehen; die Ausgangsspannung ist vielmehr erst zu berechnen bezw. zu markieren gemäss:

$$\sigma_M = \sigma\sqrt[3]{\frac{E}{E_n}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1.)$$

d. h. während man sonst (wenn $E_{des\ Seiles} = E_{der\ Tafel}$) auszugehen hat von $\sigma = 16$ kg/mm², ist jetzt auszugehen von einem neu zu markierenden Wert σ_M u. zw.:

$$\sigma_M = 16\sqrt[3]{\frac{10\,000}{13\,000}} = 16 \cdot 0{,}9163 = 14{,}66 \text{ kg/mm}^2.\text{[10])}$$

Dem früheren $\sigma = 16$ kg/mm² hat in der Tafel entsprochen der Abstand 157 mm des Ausgangspunktes A (für $t = t_{z's} = O^0$) von der Temperaturzähllinie Z. Da 1 mm in der Tafel gleich 1° Temperaturunterschied, so hat dem Punkte A der Tafeltemperaturwert $T_{t=0^0} = 157^0$ entsprochen (Abb. 2).

Jetzt — für $\sigma_M = 14{,}66$ kg/mm² — messen wir von der Temperaturzähllinie Z bis zum neu zu markierenden Punkt A_M den Abstand von 212½ mm[11]). Also ist $T_{M,t=0^0} = 212\frac{1}{2}^0$.

Dieser zu markierenden Temperatur entspricht der neue Temperaturwert T_n (der nämlich in einer für E_n neu zu entwerfenden Tafel aufscheinen würde). Gemäss

$$T_n = T_M\sqrt[3]{\left(\frac{E}{E_n}\right)^2} \text{ ist:}$$

$$T_{n,t=0^0} = T_{M,t=0^0}\sqrt[3]{\left(\frac{E}{E_n}\right)^2} = 212{,}5 \cdot 0{,}8395 = 178\tfrac{1}{2}^0;$$

dem neuen Elastizitätsmodul (E_n) würden in einer für E_n neu zu zeichnenden Tafel die neuen Temperaturwerte T_n entsprechen:

$$\begin{aligned}
T_{n,t=-20^0} &= 178\tfrac{1}{2}^0 - 20^0 = 158\tfrac{1}{2}^0\\
T_{n,t=-10^0} &= 178\tfrac{1}{2}^0 - 10^0 = 168\tfrac{1}{2}^0\\
T_{n,t=0^0} &= 178\tfrac{1}{2}^0\\
T_{n,t=+10^0} &= 188\tfrac{1}{2}^0\\
T_{n,t=+20^0} &= 198\tfrac{1}{2}^0\\
T_{n,t=+30^0} &= 208\tfrac{1}{2}^0\\
T_{n,t=+40^0} &= 218\tfrac{1}{2}^0
\end{aligned}$$

Demgemäss sind zu messen bzw. in der Tafel durch Marken zu bezeichnen die Temperaturwerte T_M:

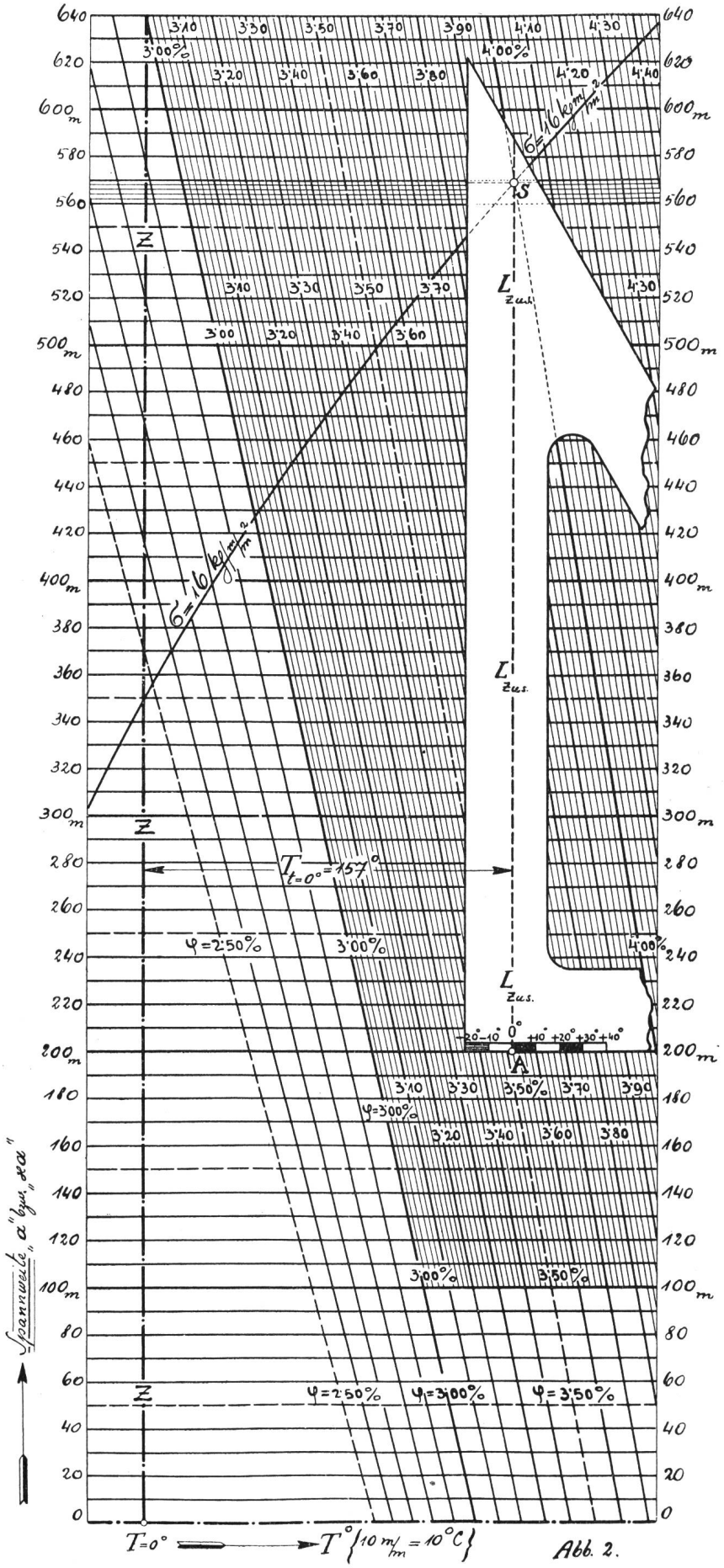
$$T_{M,t=-20^0} = 158\tfrac{1}{2}\sqrt[3]{\left(\frac{E_n}{E}\right)^2} = \frac{158{,}5}{0{,}8395} = 158{,}5 \cdot 1{,}1912 = 188\tfrac{3}{4}^0$$

[8]) Würde auf den vorliegenden Fall die Bedingung «Spannweite (a = 200 m) kleiner als die kritische Spannweite (a_{kr})» zutreffen, dann wäre die Ablesung der Durchhänge die denkbar einfachste. Man hätte in Abb. 1 die Ordinate a = 200 m aufzusuchen; wo die Wagrechte durch a = 200 m mit der Spannungsparabel $\sigma_{max} = 16$ kg/mm² zusammentrifft, dort ist die 90°-Ecke des Anlegedreiecks, allenfalls auch ein gewöhnlicher Zentimetermassstab aufzulegen; die Kathete mit der Temperaturskala (oder richtiger «Temperaturdifferenzskala») ist wagrecht zu richten, also auf die Horizontale a = 200 m zu bringen; damit könnten schon die prozentuellen Durchhänge «φ» der Reihe nach für —20°, —10°, 0°, + 10° u. s. f. bis +40° unmittelbar abgelesen werden: 1,405, 1,495, 1,59, 1,69, 1,795, 1,9, 2,0 (Abb. 1). Dies wäre hier z. B. dann zutreffend, wenn Vorkehrungen zum Ausheizen der Drähte getroffen sind, so dass man auf Aneisungen nicht Rücksicht zu nehmen braucht.

[9]) Für Zusatzlast ist (weil dem Punkt S ein $\varphi_{Zus} = \bar{\varphi} = 4{,}00$ entspricht): $f_{Zus} = \bar{f} = \frac{\bar{\varphi}\,a}{100} = 8$ m.

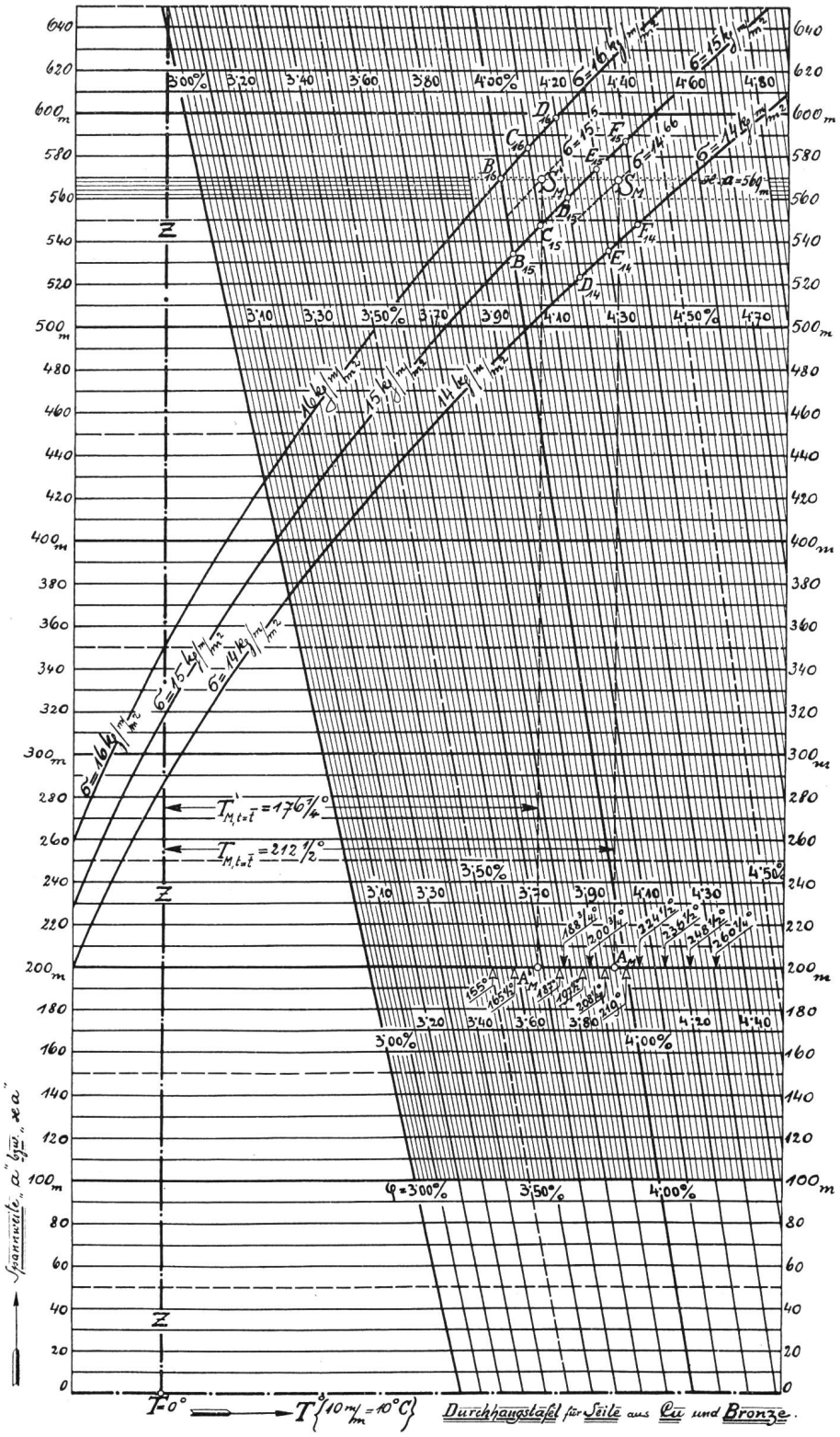
[10]) Wie Parabelstück 14,66 kg/mm² einzuzeichnen ist, darüber vergleiche entweder die Abhandlung von Singer oder die Fussnote 32 auf Seite 90.

[11]) Wenn wir den neu zu markierenden Schnittpunkt S_M (zwischen der Parabel $\sigma_M = 14{,}66$ kg/mm² und der Wagrechten $\bar{a} = \varkappa a$ herunterloten bis A_M (Abb. 3).



Spannweite „a" bzw. „x a"
T=0°
T° {10 m/m = 10°C}
Z
S
A
L zus.
T t=0° = 157°
φ = 2·50%
φ = 3·00%
φ = 3·50%
σ = 16 kg/m²

Abb. 2.



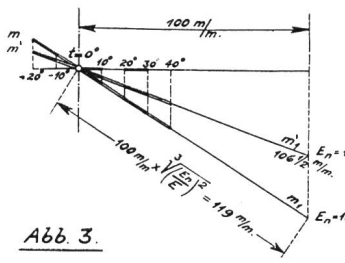


Abb. 3.

angenommene Festwerte:
- Eigengewicht ..... $\delta = 9\ g/cm^3$
- Wärmedehnungszahl ..... $\vartheta = 17 \cdot 10^{-6}$
- Elastizitätsmodul ..... $E = 10000\ kg/m/m^2$

Seilquerschnitt „q" in m/m² *	15·9	24·25	34·36	48·35	65·81
	16	25	35	50	70
Seil ϕ „d" in m/m.	5·5	6·3	7·5	9	10·5
$a^2 = \frac{[q'd + Zusatzl.^{x)}]}{\frac{q'}{\delta}} = \frac{\bar{\delta}}{\delta}$	6·59	4·66	3·62	2·84	2·35

* q' ist der tatsächlich vorhandene Querschnitt, die beigefügte {rechteckig umzogene} Ziffer ist der sogenannte Nennquerschnitt.

x) Zusatzlast = 800 Gramm-Walze (je m).

$T_{M,t=-10^0} = 168{,}5 \cdot 1{,}1912 = 200\frac{3}{4}^0$
$T_{M,t=0^0} = 212\frac{1}{2}^0$
$T_{M,t=+10^0} = 224\frac{1}{2}^0$
$T_{M,t=+20^0} = 236\frac{1}{2}^0$
$T_{M,t=+30^0} = 248\frac{1}{4}^0$
$T_{M,t=+40^0} = 260^0$. [12])

Wird diese Skala in der Tafel markiert, dann werden als zugehörige φ_M-Werte folgende Ziffern abgelesen:

$\varphi_{M,t=-20^0} = 3{,}775$
$\varphi_{M,t=-10^0} = 3{,}87$
$\varphi_{M,t=0^0} = 3{,}96$
$\varphi_{M,t=+10^0} = 4{,}045$
$\varphi_{M,t=+20^0} = 4{,}135$
$\varphi_{M,t=+30^0} = 4{,}22$
$\varphi_{M,t=+40^0} = 4{,}31$

Daraus erhält man durch Umrechnung gemäss:

$$\varphi_n = \varphi_M \sqrt[3]{\frac{E}{E_n}} = \varphi_M \cdot 0{,}9163$$

die dem neuen Elastizitätsmodul (E_n) entsprechenden neuen prozentuellen Durchhänge φ_n: [13])

$\varphi_{n,t=-20^0} = 3{,}775 \cdot 0{,}9163 = 3{,}46$
$\varphi_{n,t=-10^0} = 3{,}87 \cdot 0{,}9163 = 3{,}55$
$\varphi_{n,t=0^0} = 3{,}63$
$\varphi_{n,t=+10^0} = 3{,}71$
$\varphi_{n,t=+20^0} = 3{,}79$
$\varphi_{n,t=+30^0} = 3{,}87$
$\varphi_{n,t=+40^0} = 3{,}95$

Die Durchhänge $\left(f = \frac{\varphi_n\, a}{100}\right)$ schwanken jetzt — für $E = 13\,000$ kg/mm² — zwischen $f_{-20^0} = 6{,}92$ m und $f_{+40^0} = 7{,}90$ m (gegen 6,70 m und 7,68 m für $E = 10\,000$ kg/mm²). [14])

In der Masthöhe kommt der Unterschied der Elastizitätszahlen hier nicht zur Auswirkung, denn es ist die (kritische) Temperatur, welche ohne Zusatzlast einen gleich grossen Durchhang hervorruft wie die Zusatzlast (bei Zusatzlasttemperatur $t_{Zus} = \bar{t} = 0^0$):

$$t_{f=\bar{f}} = \sigma_{max} \cdot \frac{\bar{\delta} - \delta}{\bar{\delta}} = \frac{1}{\vartheta E} = 16 \cdot \frac{25{,}6 - 9}{25{,}6} \left(\frac{1}{\vartheta E}\right) = \frac{11}{\vartheta E},$$ woraus folgt:

für $E = 10\,000$ kg/mm², $t_{f=\bar{f}} = \frac{11}{0{,}17} = +\ 65^0$

für $E = 13\,000$ kg/mm², $t_{f=\bar{f}} = \frac{11}{0{,}221} = +\ 50^0$

Da sich hier stets $t_{f=\bar{f}} > 40^0$ ergibt, ist für den grössten Durchhang in beiden Fällen der Zustand „0° plus Zusatzlast" massgebend.

[12]) Ueber die zeichnerische Ermittlung dieser Werte vergleiche Fussnote 39 auf Seite 92.

[13]) welche auf einer für E_n gezeichneten Tafel unmittelbar abzulesen wären.

[14]) Es ist wieder (da für Punkt S_M ein $\bar{\varphi}_M = 4{,}37\,\%$ gemessen wird): $\bar{f} = \frac{\bar{\varphi}\, a}{100} = \frac{0{,}9163\ \bar{\varphi}_M \cdot 200}{100} = 8$ m.

b) Durchhangsermittlung für die Annahme $E = 11\,000$ kg/mm².

Gemäss Gl. 1.) ist:

$$\sigma_M = \sigma \sqrt[3]{\frac{E}{E_n}} = 16 \sqrt[3]{\frac{10\,000}{11\,000}} = 16 \cdot 0{,}9688 =$$
$= 15{,}5$ kg/mm².

Hiefür messen wir von der Temperaturzähllinie Z bis zum neu zu markierenden Ausgangspunkt A'_M (wenn Schnittpunkt S'_M zwischen Parabel $\sigma = 15{,}5$ und $\varkappa a = 569$ m herab gelotet wird) einen Abstand $= 176\frac{1}{4}^0$ d. i. $T_{M,t=0^0} = 176\frac{1}{4}^0$.

Dieser zu markierenden Temperatur entspricht der neue Temperaturwert:

$$T_n = T_M \sqrt[3]{\left(\frac{E}{E_n}\right)^2} = T_M \cdot 0{,}9384 = 165\frac{1}{3}^0.$$

Dem neuen E_n entsprechen also die Temperaturen: $165\frac{1}{3} - 20^0 = 145\frac{1}{3}^0$, $155\frac{1}{3}^0$, $165\frac{1}{3}^0$, $175\frac{1}{3}^0$, $185\frac{1}{3}^0$, $195\frac{1}{3}^0$, $205\frac{1}{3}^0$ für die Temperaturstufen -20^0, -10^0, 0^0, $+10^0$, $+20^0$, $+30^0$, $+40^0$.

Also sind zu messen bzw. durch Marken zu bezeichnen die Temperaturwerte T_M (gemäss

$$T_M = T_n \sqrt[3]{\left(\frac{E_n}{E}\right)^2} = \frac{T_n}{0{,}9384} = T_n \cdot 1{,}0656):$$

155^0, $165\frac{1}{2}^0$, $176\frac{1}{4}^0$, 187^0, $197\frac{1}{2}^0$, $208\frac{1}{4}^0$, 219^0.

Wird diese Skala in der Tafel markiert, so liest man als zugehörige φ_M = Werte folgende Ziffern ab: 3,505, 3,59, 3,68, 3,76, 3,845, 3,93, 4,0.

Daraus folgen mit $\varphi_n = \varphi_M \sqrt[3]{\frac{E}{E_n}} = \varphi_M \cdot 0{,}9688$ die neuen prozentuellen Durchhänge φ_n:

3,395, 3,48, 3,56, 3,64, 3,72, 3,805, 3,88.

Die Durchhänge ohne Zusatzlast schwanken also zwischen $f_{-20^0} = 6{,}79$ m und $f_{+40^0} = 7{,}76$ m ($\bar{f}$ ist wieder $= 8$ m).

c) Ermittlung der Zusatzlasten Q_E bzw. Q_B, bei welchen die Leitung bis zur Elastizitätsgrenze bzw. rechnungsmässig [15]) *bis zur Bruchfestigkeit beansprucht wird.*

Es bezeichne:

σ_E = Beanspruchung, bei welcher die Elastizitätsgrenze erreicht wird = 24 kg/mm², [16])
σ_B = Bruchfestigkeit = 40 kg/mm²,
δ_E = Gewicht des Leiters einschliesslich Q_E (je m und mm²)
δ_B = Gewicht des Leiters einschliesslich Q_B (je m und mm²)

a) $E = 10\,000$ kg/mm²

für $a > a_{kr}$ kann man bekanntlich schreiben: [17])

[15]) Auf die wirklichen Bruchlasten wird eingegangen von Häusler (Techn. Mitt. T. T. 1926, S. 97), und zwar beziehen sich diese Angaben auf Telephondrähte. Dementsprechende Verhältniszahlen für die gewöhnlichen Seile aus Hartkupfer sind, soviel dem Verfasser bekannt geworden ist, noch nicht veröffentlicht worden. Die Praxis bezieht sich derzeit, beim Vergleich der Festigkeit von Leitungen, noch allgemein auf die rechnungsmässigen Bruchlasten.

[16]) Vergleiche über diese Ziffer die Angaben von Kallir in E. und M. 1923, S. 596.

[17]) Vergleiche die analog gebauten Formeln (5) und (6) in Techn. Mitt. T. T. 1925, S. 87.

$$\delta_E = \sigma_E \sqrt{\left(\frac{\bar{\delta}}{\delta}\right)^2 + \frac{\sigma_E - \bar{\sigma}}{\frac{E}{2400}\left(\frac{a}{100}\right)^2}} =$$

$$= 24 \sqrt{\left(\frac{25{,}6}{9}\right)^2 + \frac{24 - 16}{4{,}17 \cdot 4}} = 41{,}8 \text{ g/cm}^3$$

$Q_E = q\ (\delta_E - \delta) = 50 \cdot (41{,}8 - 9)$ g/m $= 1{,}64$ kg/m

ebenso folgt:

β) $E = 11\,000$ kg/mm², $\delta_E = 41{,}6$ g/cm³, $Q_E = 1{,}63$ kg/m

γ) $E = 13\,000$ kg/mm², $\delta_E = 41$ g/cm³, $Q_E = 1{,}60$ kg/m

Obwohl mit der Beanspruchung nicht bis an die bei sorgfältiger Ausführung noch praktisch angewandte Grenze gegangen worden ist, wird der Schweizer Vorschrift (Beanspruchung bis zur Elastizitätsgrenze bei erhöhter Eislast, das ist bei 2 kg je Meter) infolge zu grosser Spannfeldlänge doch nicht entsprochen; dies wäre für die gewählte Beanspruchung erst dann der Fall, wenn für das Seil Bronze statt Hartkupfer verwendet wird. Die geringste Festigkeit für Freileitungsbronze ist in der Regel $\sigma_B = 50$ kg/mm²; hiefür folgt, wenn die Elastizitätsgrenze mit $0{,}6\ \sigma_B = 30$ kg/mm² eingeschätzt wird[18]):

$E = 10\,000$ kg/mm², $\delta_E = 55{,}5$ g/cm³, $Q_E = 2{,}325$ kg/m
$= 11\,000$ „ $= 54{,}75$ „ $= 2{,}29$ „
$= 13\,000$ „ $= 53{,}6$ „ $= 2{,}23$ „

Die Bruchlasten stellen sich, wenn ein Hartkupferseil verwendet wird, wie folgt:

$E = 10\,000$ kg/mm², $\delta_B = 80$ g/cm³, $Q_B = 3{,}55$ kg/m
$= 11\,000$ „ $= 78$ „ $= 3{,}45$ „
$= 13\,000$ „ $= 76{,}5$ „ $= 3{,}375$ „

dagegen, wenn ein Bronzeseil mit $\sigma_B = 50$ kg/mm² verwendet wird:

$E = 10\,000$ kg/mm², $\delta_B = 107$ g/cm³, $Q_B = 4{,}9$ kg/m
$= 11\,000$ „ $= 105$ „ $= 4{,}8$ „
$= 13\,000$ „ $= 101{,}5$ „ $= 4{,}65$ „

Die drei letzten Ziffern stimmen der Grössenordnung nach überein mit den Bruchlasten, die bisher für Bundestelegraphenkreuzungen in Oesterreich verlangt wurden, also für Sonderspannfelder, wo Sicherheitsrücksichten gegenüber der sonst den Ausschlag gebenden Rentabilitätsfrage in den Vordergrund treten. Was die kurrente Strecke von Hochspannungsfreileitungen anbelangt, so wurden in österreichischen Rauhreifgegenden (zu welchen auch das oberösterreichische Mühlviertel gehört) schon 5 kg/m Bruchlast zur Anwendung gebracht. Etwas geringere Werte entsprechen der durch die Gemeinde Wien erbauten 95 mm² Cu-Leitung „Gresten Wien" (110 000 V). Die Daten dieser Strecke — welche in ihrem ganzen Verlaufe nirgends durch Rauhreifgebiet führt — sind:

Gesamtstreckenlänge $L = 120$ km
Spannfelderanzahl $z = 640$
Mittlere Spannfeldlänge $a_m = \frac{L}{z} = 188$ m
Grösste Spannfeldlänge a_{max}[19]) $= 216$ m

Diese Leitung bietet demnach — mit der zu Unrecht, aber doch weit verbreiteten Rechnungsannahme $E = 13\,000$ kg/mm² — das folgende Bild:

[18]) Nach Edler könnte dieser Wert noch wesentlich höher angesetzt werden (E. und M. 1923, S. 305).

Im Mittel ist die rechnungsmässige Bruchlast der Spannfelder gleich $4\frac{3}{4}$ kg/m[20]); den schwächsten Punkten der ganzen Strecke, wo man mit der Spannweite bis auf 216 m gehen musste, entspricht noch eine rechnungsmässige Bruchlast von $4\frac{1}{3}$ kg/m[21]) und, damit die Elastizitätsgrenze erreicht wird, eine Zusatzlast von 1,7 kg/m.

II. Beispiel: Ansteigendes Spannfeld an Abspannketten. Spannweite = 149,5 m[22]).

Die Zustandsgleichung soll nach dem Verfahren von Guerndt bestimmt werden, das als bekannt vorausgesetzt wird; nur folgendes sei darüber vorausgeschickt:

Wir denken uns in Abb. 4 die Längeneinheit l_1 vom Gewicht g_1 (bezw. g je mm² Querschnitt) aus dem Seile herausgeschnitten; vom Einheitsgewicht g wirkt dann die Komponente $g \cos \alpha$ normal zu l_1, also genau so wie das ganze Eigengewicht bei wagrechten Spannfeldern; dagegen werden durch die Komponente $g \sin \alpha$ die an Punkt O angrenzenden Punkte der Seillinie im Sinne des gefiederten Pfeiles der Verbindungslinie OU genähert; die an Punkt U angrenzende Seillinienpartie wird in der Richtung des strichlierten Pfeiles von U entfernt. Diese Verschiebungen der Seillinie bei O und U haben entgegengesetzte Vorzeichen und gehen allmählich ineinander über; die Seilpartie in der Mitte behält unter der Einwirkung von $g \sin \alpha$ ihren Abstand von OU, d. h. ihren von $g \cos \alpha$ allein (ohne Rücksicht auf $g \sin \alpha$) hervorgerufenen Durchhang praktisch bei[23]).

Die für wagrechte Spannfelder gültige Durchhangsformel $f = \frac{a^2}{8} \cdot \frac{g}{\sigma}$ gilt nach Kuusinen auch für schiefe Spannfelder, wenn gemäss Abb. 4 der Durchhang des ansteigenden Spannfeldes rechtwinklig zur Stützpunktverbindungslinie gemessen wird.[24]) Wie für wagrechte Spannfelder gilt: Seillänge $L = a + \frac{8}{3}\frac{f^2}{a}$, so gilt für ansteigende Spannfelder $L = l + \frac{8}{3}\frac{f^2}{l}$, wenn l nach Abb. 4 eingesetzt wird.[25])

[19]) welche noch mit dem 95 mm² Cu-Seil (beansprucht mit 16 kg/mm² bei $180\sqrt{d}$ Zusatzlast) gebaut worden ist. Einzelne Sonderfelder (z. B. eine Talüberquerung von 454 m Spannweite, sowie Kreuzungen von Bahn- und Fernmeldelinien) wurden mit Spezialbronzezeilen ausgeführt; letzterer Umstand ist bei obiger Schätzung der Einfachheit halber nicht berücksichtigt worden.

[20])
$$\delta_B = 40 \sqrt{\left(\frac{15{,}8}{16}\right)^2 + \frac{40 - 16}{5{,}42 \cdot 1{,}88^2}} = 69{,}2,$$
$$Q_B = 60{,}2 \cdot 93{,}3 \text{ mm}^2 = 4\tfrac{3}{4} \text{ kg/m}.$$

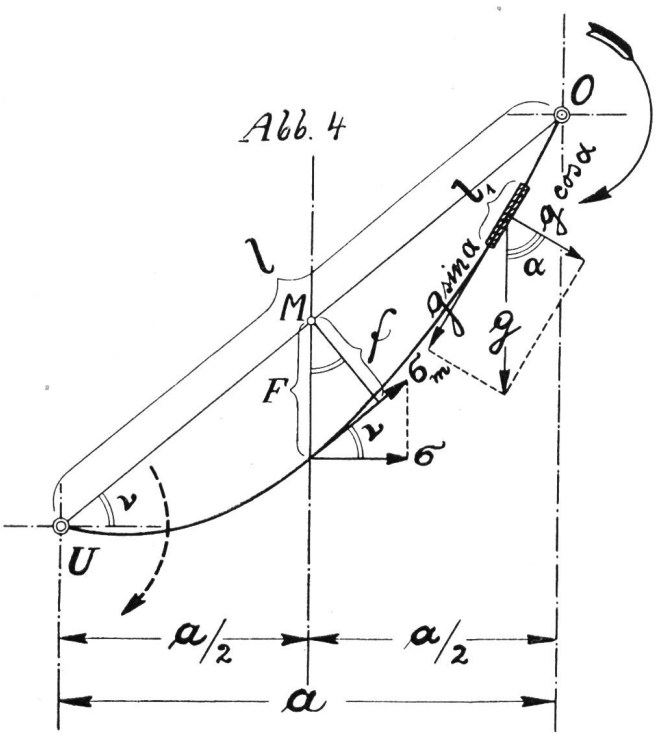
[21])
$$\delta_B = 40 \sqrt{0{,}975 + \frac{24}{5{,}42 \cdot 2{,}16^2}} = 59{,}6,$$
$$Q_B = 50{,}6 \cdot 93{,}3 \text{ mm}^2 = 4\tfrac{1}{3} \text{ kg/m}.$$

[22]) in der Wagrechten gemessen (Höhenunterschied der Stützpunkte = 11,3 m).

[23]) Vergl. den Artikel von A. Still in Electrical Review, Chicago, 1918, No. 23, und E. und M. 1924, S. 504.

[24]) σ = Konstante Horizontalspannung der Seillinie (d. i. nur dann = Spannung in der Feldmitte, wenn das Spannfeld wagrecht ist). Vergl. E. T. Z. 1925, S. 991.

[25]) E. T. Z. 1925, S. 991.



Man kann statt letzterer Gleichung auch schreiben:

$$L = l + \frac{1}{24}\,\frac{a^4\,g^2}{\sigma_h^2\,l} = l + \frac{1}{24}\,\frac{a^4\,g^2}{(\sigma_m\cos\nu)^2\,l} =$$

$$= l + \frac{1}{24}\,\frac{a^4\,g^2}{\sigma_m^2\,\frac{a^2}{l^2}\,l} = l + \frac{a^2\,l\,g^2}{24\,\sigma_m^2},$$ wenn die Spannungen gemäss Abb. 5 bezeichnet werden.

Während für wagrechte Spannfelder die Seillänge $L = a + \frac{8\,f^2}{3\,a}$ ist und damit die Länge der entspannten Seillinie $L_0 = a + \frac{a^3\,g^2}{24\,\sigma^2} - \frac{\sigma\,a}{E} - \vartheta\,t\,a$ (wobei σ = Spannung in der Seilmitte), [26]) ist für ansteigende Spannfelder die Seillänge des entspannten Seiles:

$$L_0 = l + \frac{1}{24}\cdot\frac{a^2\,l\,g^2}{\sigma_m^2} - \frac{\sigma_m\,l}{E} - \vartheta\,t\,l.$$

Diese Gleichung tritt in der Guerndt'schen Ableitung an die Stelle der dortigen Gleichungen (1a bzw. 2a).

An die Stelle der Einheitsgewichte von Leitung und Kette $\left(g \text{ und } \frac{G_k}{q\,l_k}\right)$ treten die Komponenten $g\cos\nu$ für das Seil und $\frac{G_k}{q\,l_k}\cos\nu = \gamma\cos\nu$ für die Abspannkette (Abb. 5).

Damit nehmen die Formeln (3 und (5 der Guerndt'schen Entwicklung in unserer Schreibweise die Form 3[1]) und 5[1]) an: [27])

$$2\,P - \frac{(g\cos\nu)^2\,(l'-2\,P)^3}{24\,\sigma_m^2} + \frac{\sigma_m\,(l'-2\,P)}{E} +$$

$$+\,\vartheta\,t\,(l'-2\,P) = 2\,P_A - \frac{(g_A\cos\nu)^2\,(l'-2\,P_A)^3}{24\,\sigma_{mA}^2} +$$

$$+\,\frac{\sigma_{mA}\,(l'-2\,P_A)}{E} + \vartheta\,t_A\,(l'-2\,P_A) \quad \ldots\ldots\ 3^1)$$

$$P = l_K - \frac{(g\cos\nu)^2\,l'^2\,l_K}{8\,\sigma_m^2} - \frac{(g\cos\nu)\,l'\,(\gamma\cos\nu)\,l_K^2}{4\,\sigma_m^2} -$$

$$-\,\frac{(\gamma\cos\nu)^2\,l_K^3}{6\,\sigma_m^2} + \frac{\sigma_m\,l_K}{E} + \vartheta\,t\,l_K \quad \ldots\ldots\ 5^1)$$

Damit folgt die Zustandsgleichung:

$$\frac{(g\cos\nu)l'\,(\gamma\cos\nu)\,l_K^2}{2\,\sigma_m^2} + \frac{(\gamma\cos\nu)^2\,l_K^3}{3\,\sigma_m^2} + \frac{(g\cos\nu)^2\,l'^3}{24\,\sigma_m^2} +$$

$$+\left[\frac{(g\cos\nu)\,l'\,l_K^2}{2\,\sigma_m^2} - \frac{(g\cos\nu)^2\,l_K^3}{3\,\sigma_m^2}\right] - \frac{\sigma_m\,l'}{E} - \vartheta\,t\,l' =$$

$$= \frac{(g_A\cos\nu)\,l'\,(\gamma_A\cos\nu)\,l_K^2}{2\,\sigma_{mA}^2} + \frac{(\gamma_A\cos\nu)^2\,l_K^3}{3\,\sigma_{mA}^2} +$$

$$+\,\frac{(g_A\cos\nu)^2\,l'^3}{24\,\sigma_{mA}^2} + \left[\frac{(g_A\cos\nu)^2\,l'\,l_K^2}{24\,\sigma_{mA}^2} - \frac{(g_A\cos\nu)^2\,l_K^3}{3\,\sigma_{mA}^2}\right] -$$

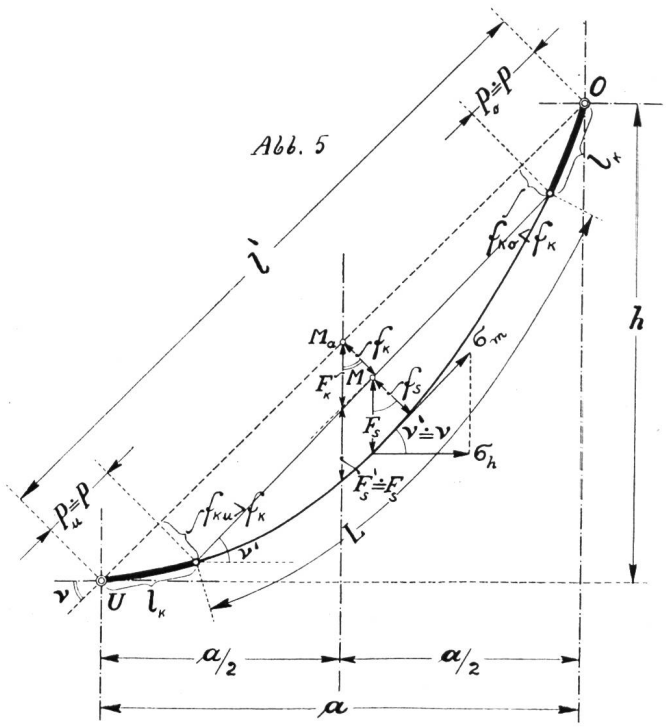
$$-\,\frac{\sigma_{mA}\,l'}{E} - \vartheta\,t_A\,l'$$

unter Vernachlässigung der Glieder in eckiger Klammer folgt:

$$\cos^2\nu\left\{\frac{g\,\gamma\,l_K^2}{2\,\sigma_m^2} + \frac{\gamma^2\,l_K^3}{3\,\sigma_m^2\,l'} + \frac{g^2\,l'^2}{24\,\sigma_m^2}\right\} - \frac{\sigma_m}{E} - \vartheta\,t =$$

$$= \cos^2\nu\left\{\frac{g_A\,\gamma_A\,l_K^2}{2\,\sigma_{mA}^2} + \frac{\gamma_A^2\,l_K^3}{3\,\sigma_{mA}^2\,l'} + \frac{g_A^2\,l'^2}{24\,\sigma_{mA}^2}\right\} - \frac{\sigma_{mA}}{E} - \vartheta\,t_A$$

oder mit $\gamma = \frac{G_K}{q\,l_K}$ bzw. $\gamma_A = \frac{G_{KA}}{q\,l_K}$:



[26]) E. T. Z. 1922, S. 139, Formel (1a.

[27]) Durch Index A wird im folgenden der Ausgangs-Zustand angedeutet.
(Vergl. hinsichtlich der Bezeichnungsweise auch „Techn. Mitt. T. T. 1925, S. 81 u. ff.)

$$\cos^2\nu\left\{\frac{g\,G_K\,l_K}{2\,q\,\sigma_m^2}+\frac{G_K^2\,l_K}{3\,q^2\,l'\,\sigma_m^2}+\frac{g^2\,l'^2}{24\,\sigma_m^2}\right\}-\frac{\sigma_m}{E}-\vartheta\,t=$$

$$=\cos^2\nu\left\{\frac{g_A\,G_{KA}\,l_K}{2\,q\,\sigma_{mA}^2}+\frac{G_{KA}^2\,l_K}{3\,q^2\,l'\,\sigma_{mA}^2}+\frac{g_A^2\,l'^2}{24\,\sigma_{mA}^2}\right\}-$$

$$-\frac{\sigma_{mA}}{E}-\vartheta\,t_A$$

der letzteren Gleichung entspricht *Gl.* (6 bei Guerndt; wir können auch schreiben:

$$\cos^2\nu\left\{\frac{l'^2\,g^2}{24\,\sigma_m^2}+\frac{g\,l_K\,G_K}{2\,\sigma_m^2\,q}+\frac{l_K\,G_K^2}{3\,l'\,\sigma_m^2\,q^2}\right\}-$$

$$-\cos^2\nu\left\{\frac{l'^2\,g_A^2}{24\,\sigma_{mA}^2}+\frac{g_A\,l_K\,G_{KA}}{2\,\sigma_{mA}^2\,q}+\frac{l_K\,G_{KA}^2}{3\,l'\,\sigma_{mA}^2\,q^2}\right\}=$$

$$=\vartheta\,(t-t_A)+\frac{\sigma_m-\sigma_{mA}}{E}$$

oder mit $\gamma=\delta\cdot 10^{-3}$:

$$\frac{E}{2400}\cos^2\nu\left(\frac{l'}{100}\right)^2\times$$

$$\times\left\{\frac{\delta^2}{\sigma_m^2}+\frac{1}{\sigma_m^2\left(\frac{l'}{100}\right)^2}\left(\frac{\delta\cdot 10^{-3}\cdot l_K\,G_K\cdot 2400}{2\,q}+\frac{l_K\,G_K^2\cdot 2400}{3\,l'\,q^2}\right)\right\}-$$

$$-\frac{E}{2400}\cos^2\nu\left(\frac{l'}{100}\right)^2\times$$

$$\times\left\{\frac{\delta_A^2}{\sigma_{mA}^2}+\frac{1}{\sigma_{mA}^2\left(\frac{l'}{100}\right)^2}\left(\frac{\delta_A\cdot 10^{-3}\cdot l_K\,G_{KA}\cdot 2400}{2\,q}+\frac{l_K\,G_{KA}^2\cdot 2400}{3\,l'\,q^2}\right)\right\}=$$

$$=\vartheta\,E\,(t-t_A)+\sigma_m-\sigma_{mA}$$

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

$$-\frac{E}{2400}\left(\frac{a}{100}\right)^2\left\{\frac{\delta_A^2}{\sigma_{mA}^2}+\frac{l_K\,G_{KA}}{\sigma_{mA}^2\left(\frac{l'}{100}\right)^2 q^2}\left(1{,}2\,\delta_A+\frac{800\,G_{KA}}{l'\,q}\right)\right\}=$$

$$=\vartheta\,E\,(t-t_A)+\sigma_m-\sigma_{mA}$$

setzt man:

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

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

dann folgt die Zustandsgleichung:

$$\frac{E}{2400}\left(\frac{a}{100}\right)^2\left\{\frac{\delta^2+C}{\sigma_m^2}+\frac{\delta_A^2+C_A}{\sigma_{MA}^2}\right\}=$$

$$=\vartheta\,E\,(t-t_A)+\sigma_m-\sigma_{mA}\quad\ldots\ldots\ (\mathrm{I})$$

Die Durchhänge sind im Sinne der Guerndt'schen Ableitung: für das Seil:

$$f_s=\frac{(l'-2\,l_K)^2}{8000}\cdot\frac{\delta\cos\nu}{\sigma_m}\ \text{(vergl. Abb. 5)}$$

anstatt f_s senkrecht zur Stützpunktverbindungslinie *OU* aufzutragen, kann man auch von Punkt *M* (Seilbogensehnenmittel) in der Richtung des freifallenden Lotes $F_s=\frac{f_s}{\cos\nu}$ auftragen:

$$F_s=\frac{(l'-2\,l_K)^2}{8000}\cdot\frac{\delta}{\sigma_m}\quad\ldots\ldots\ (\mathrm{I}')$$

analog für die Kette:

$$f_K=\frac{l_K}{2}\left(\frac{G_K\cos\nu}{q}+\frac{l'\,\delta\cos\nu}{1000}\right)\frac{1}{\sigma_m}=\frac{l_K}{2}\left(\frac{G_K}{q}+\frac{l'\,\delta}{1000}\right)\frac{\cos\nu}{\sigma_m}$$

$$F_K=\frac{f_K}{\cos\nu}=\frac{l_K}{2}\left(\frac{G_K}{q}+\frac{l'\,\delta}{1000}\right)\frac{1}{\sigma_m}\quad\ldots\ldots\ (\mathrm{II}')$$

bzw. für den Ausgangszustand:

$$F_{sA}=\frac{(l'-2\,l_K)^2}{8000}\cdot\frac{\delta_A}{\sigma_{mA}}\quad\ldots\ldots\ (\mathrm{I}'')$$

$$F_{KA}=\frac{l_K}{2}\left(\frac{G_{KA}}{q}+\frac{l'\,\delta_A}{1000}\right)\frac{1}{\sigma_{mA}}\quad\ldots\ldots\ (\mathrm{II}'')$$

Auf dieser Grundlage soll ein Hartkupferseil von 50 mm² Querschnitt gerechnet werden u. zw. unter Zugrundelegung der österreichischen Aneisungsvorschriften.

a) Ermittlung der Durchhangswerte für die Annahmen $E=10\,000$ und $\bar{E}=13\,000$ kg/mm².

Gegeben:

Wagrechter Abstand der Stützpunkte . . . . $a=149{,}5$ m
Höhenunterschied der Stützpunkte . . . . $h=11{,}3$ m
Spannfeldlänge (schief gemessen) $l'=\sqrt{a^2+h^2}=150$ m
Länge der Abspannkette $l_k=0{,}97$ m
Kettengewicht ohne Zusatzlast . . . . . $G_k=50$ kg
Kettengewicht einschliesslich Zusatzlast . . . $\bar{G}_k=55$ kg
Hartkupferseilquerschnitt $q=50$ mm² ($\Phi=9{,}2$ mm)
Leitergewicht ohne Zusatzlast . . . . . $\delta=9$ g/m, mm²
Leitergewicht einschliesslich Zusatzlast . . . $\bar{\delta}=19{,}9$ g/m, mm² [28])
Zulässige Seilbeanspruchung . . . . . $\sigma_{max}=16$ kg/mm² (bei $-5°$ C und Zusatzlast).

Es soll in diesem Falle auch darauf Rücksicht genommen werden, dass das σ_{max} erst am oberen Aufhängepunkt erreicht wird und demgemäss σ_m (Beanspruchung im Spannfeldmittel) geringer anzusetzen ist: $\sigma_m<\sigma_{max}$. Das σ_m ergibt sich unmittelbar aus dem Seilpolygon:

[28]) Zusatzlast $=180\sqrt{d}$ mm $=180\sqrt{9{,}2}=546$ g/m

$$\bar{\delta}=\frac{q\delta+546}{q}=\frac{50\cdot 9+546}{50}=19{,}9\ \text{g/m, mm}^2.$$

Das Seilgewicht ist mit praktisch ausreichender Annäherung: [29])

$$G_s = q\,\delta\,l' = \frac{50 \cdot 9 \cdot 150}{1000} = 67{,}5 \text{ kg ohne Zusatzlast,}$$

$$\bar{G}_s = q\,\bar{\delta}\,l' = \frac{50 \cdot 19{,}9 \cdot 150}{1000} = 149{,}25 \text{ einschliesslich Zusatzlast.}$$

Aus dem Kräftedreieck mit $\sigma'_m = 16$ kg/mm² (in der Neigung ν gegen die Wagrechte) und $\frac{\bar{G}_s}{2q} = 1{,}4925$ kg/mm² (in der Lotrechten) folgt, dass die Seilspannung am oberen Aufhängepunkt 16,2 kg/mm² betragen würde. Zieht man in Abb. 6 die Gerade PP parallel zu σ'_m und zeichnet man $OB = \sigma_{max} = 16$ kg/mm², so ist ersichtlich, dass σ_m bloss gleich 15,8 kg/mm² gewählt werden darf, falls $\sigma_{max} = 16$ kg/mm² am oberen Aufhängepunkt nicht überschritten werden soll.

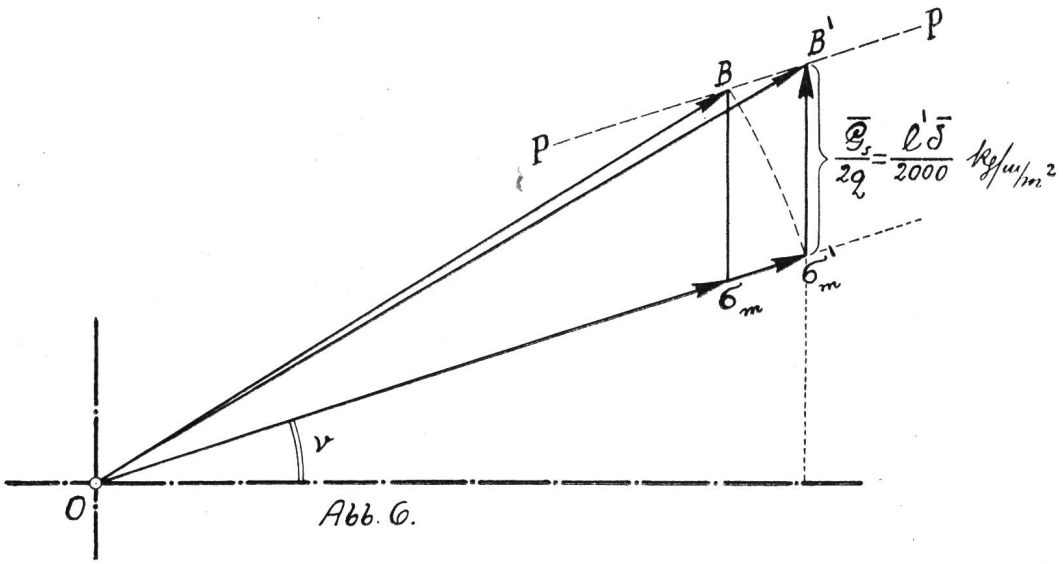


Abb. 6.

Mit der Ausgangsspannung $\sigma_A = 15{,}8$ ergibt sich die kritische Spannweite wie folgt:

$$a_{kr} > \sigma_A \sqrt{\frac{480\,(10^6\vartheta)}{\bar{\delta}^2 - \delta^2}} > 80 \text{ m.}^{30})$$

Also ist auszugehen vom Zustand $-5°$ C und Zusatzlast. Wir erhalten:

Gemäss Gl. 2): $C = 6{,}95$

„ „ 2[1]): $\bar{C} = 14{,}1$

$$\upsilon = \frac{\sqrt{\delta^2 + C}}{\delta} = 1{,}042 \;^{31})$$

$$a_R = a\upsilon = 149{,}5 \cdot 1{,}042 = 155{,}8 \text{ m}$$

(Rechnungsspannweite)

$$\bar{\delta}_R = \frac{\sqrt{\bar{\delta}^2 + \bar{C}}}{\upsilon} = \frac{\sqrt{19{,}9^2 + 14{,}1}}{1{,}042} = 19{,}4$$

(Rechnungsscheindichte).

Sonach ist unser ansteigendes Spannfeld mit Abspannketten ebenso zu rechnen wie ein wagrechtes Spannfeld (mit Stützisolatoren), dem eine Spannweite $a_R = 155{,}8$ m zukommt und das von der Dichte $\delta = 9$ g/cm³ aneist auf die Rechnungsscheindichte $\bar{\delta}_R = 19{,}4$ g/cm³ (Aneisungsverhältnis $\frac{\bar{\delta}_R}{\delta} = \frac{19{,}4}{9} = \varkappa_R = 2{,}155$).

Bei der Ermittlung ist auszugehen von der Ausgangsspannung, die zu $\sigma_A = 15{,}8$ kg/mm² bestimmt wurde[32]). Parabel $\sigma = 15{,}8$ kg/mm² gibt mit der Wagrechten $\bar{a}_R = a_R \cdot \varkappa_R = 336$ m den Schnittpunkt S; wird dann das Dreieck mit der Lotrechten für Zusatzlast (L_{Zus}) derart aufgelegt, dass S in die Gerade L_{Zus} fällt, während die horizontale Skalenkathete an der Wagrechten $a_R = 155{,}8$ m anliegt, dann werden (für die Wärmestufen $-25°$, $-15°$, $-5°$, $0°$, $10°$, $20°$, $30°$, $40°$) folgende prozentuelle Durchhänge φ abgelesen:

1,61, 1,725, 1,84, 1,895, 2,005, 2,12, 2,23, 2,34[33]).

Dem entsprechen folgende Beanspruchungen σ bezw. folgende Durchhänge F_K (für die Kette), F_S (für das Seil), F_Σ (im ganzen):

[29]) Man könnte das Seilgewicht von vornherein wesentlich genauer bestimmen; die Rechnung ergibt indessen, dass der Einfluss auf das Endergebnis äusserst geringfügig ist.

Auch in der Guerndt'schen Entwicklung kann das Seilgewicht genauer eingeführt werden. Die Zustandsgleichung fällt damit nur wenig komplizierter aus; doch ist der so erzielte Gewinn an Genauigkeit für die gewöhnlichen praktischen Fälle derart belanglos, dass darauf am besten verzichtet wird.

[30]) Vergl. „Techn. Mitt. T. T." 1925, S. 85. Nur in seltenen Fällen, bei ausnahmsweise kurzen Spannfeldern (an Abspannketten) wird es nötig sein, genauer zu rechnen; man kann dann statt obiger Ungleichung schreiben (vgl. E. u. M. 1924, S. 56):

$$\frac{\delta^2 - \bar{\delta}^2 + C - \bar{C}}{24 \cdot 10^6\,\vartheta}\left(\frac{a_R}{\sigma_m^2}\right) + t_{zus.} \begin{cases} < t_{min}, & \text{wenn } a_R > a_{Kr} \\ = t_{min}, & \text{„ } a_R = a_{Kr} \\ > t_{min}, & \text{„ } a_R < a_{Kr} \end{cases}$$

worin bedeutet:

$t_{zus.}$ .... die bei Zusatzlast vorausgesetzte Temperatur (im Beispiel $= -5°$ C)

t_{min} .... die vorausgesetzte Tiefsttemperatur (im Beispiel $= -25°$ C).

[31]) Vergl. „Techn. Mitt. T. T." 1925, S. 86.

[32]) Im Singerdiagramm lässt sich das Parabelstück, welches der Ausgangsspannung $\sigma = 15{,}8$ kg/mm² entspricht, bequem und sehr genau bestimmen; man hat die Strecken B_{16} B_{15}, C_{16} C_{15}, D_{16} D_{15} abzumessen, mit 0,8 zu multiplizieren und die drei Teilpunkte mittels Kurvenlineals zu verbinden (Abb. 7).

[33]) Der Ausgangspunkt A (entsprechend $t = -5°$ und $\varphi_{-5°} = 1{,}84$) kann — wenn die Tafel nicht bis $a_R \cdot \varkappa_R$ hinaufreicht — auch rechnerisch bestimmt werden: die Tafeltemperatur für $t = -5°$ d. h. der Abstand des Punktes A von Z ist:

$$T_{t=-5°} = \frac{1}{24(10^6\vartheta)}\left(\frac{a_R \cdot \bar{\delta}_R}{\bar{\sigma}_m}\right)^2 - \frac{\bar{\sigma}_m}{\vartheta_E} = \left(\frac{149{,}6}{\bar{\sigma}_m}\right)^2 - 5{,}88\,\bar{\sigma}_m =$$

$= 89{,}65 - 92{,}9 = -3{,}25° = -6\frac{1}{2}$ mm (2 mm in der Tafel ist $= 1°$ C.)

$E = 10\,000$ kg/mm² $t =$	$-25°$	$-15°$	$-5°$ ohne Zusatzlast	$-5°$ plus Zusatzlast	$0°$	$+10°$	$+20°$	$+30°$	$+40°$
$\sigma = \frac{a_R \cdot \delta}{80\varphi} = \frac{17{,}53}{\varphi} =$	10,89	10,17	9,53	$\sigma_A = \sigma_m =$ $= 15{,}8$	9,25	8,74	8,27	7,85	7,49
$F_k = \frac{l_k}{2}\left(\frac{G_k}{q} + \frac{l'\delta}{1000}\right) \cdot \frac{1}{\sigma} = \frac{1{,}14}{\sigma} =$	0,105	0,112	0,12	0,125 [34])	0,123	0,13	0,14	0,145	0,152
$F_s = \frac{(l' - 2l_k)^2}{8000} \cdot \frac{\delta}{\sigma} = \frac{24{,}68}{\sigma} =$	2,266	2,43	2,59	3,453 [35])	2,667	2,82	2,98	3,144	3,294
$F_y = F_k + F_s =$ [36])	2,37 m	2,54 m	2,70 m	3,58 m	2,79 m	2,95 m	3,12 m	3,29 m	3,45 m

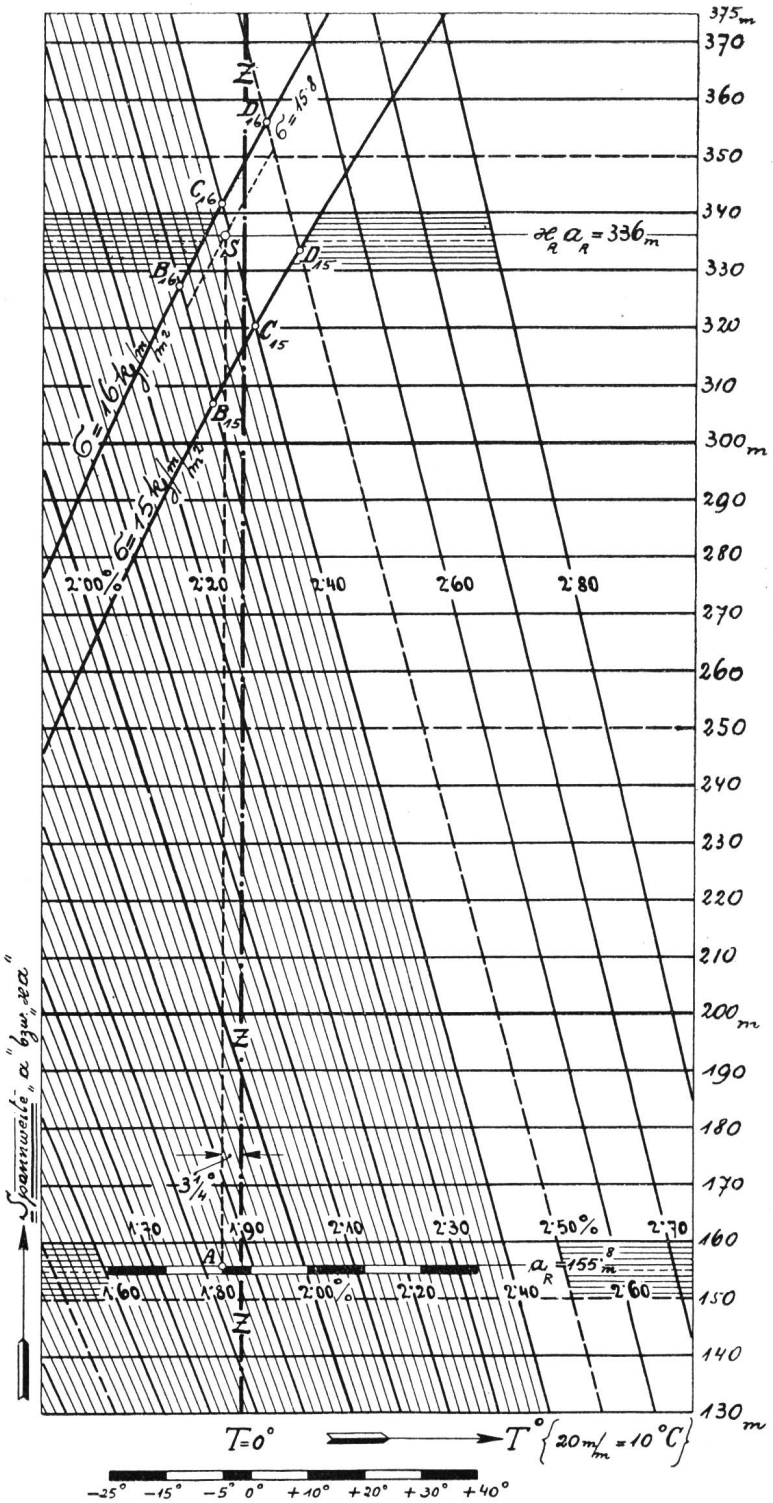


Abb. 7.

[34]) Vergl. Seite 94, Fussnote 44.

[35]) Vergl. Seite 94, Fussnote 45.

[36]) Die für wagrechte Spannfelder streng richtige Summierung ist hier näherungsweise noch zulässig; denn für die üblichen flachen Seilbögen liegen der mittlere Kettendurchhang f_K sowie der mittlere Seildurchhang f_S (nebst den zugehörigen Sehnenmitteln M_a und M) fast in ein und derselben Geraden und ist der Unterschied der Neigungen v und v' praktisch gleich Null d. h. es kann — solange es sich nur um Bestimmung des mittleren Durchhanges handelt — die ganze in Abb. 5 angedeutete unsymmetrische Lage der Seillinie gegenüber OU praktisch vernachlässigt werden.

Der für die Mastlänge massgebende grösste Durchhang ergibt sich für -5^0 plus Zusatzlast und zwar mit 3,58 m; der Durchhang für Höchsttemperatur ist fast $1\frac{1}{2}$ dm kleiner. Für die Annahme E_n = 13 000 kg/mm² ergibt sich wie früher: Gemäss Gl. 1)

$$\sigma_M = \sigma \sqrt{\frac{10000}{13000}} = 15{,}8 \cdot 0{,}9163 = 14{,}48 \text{ kg/mm}^2.$$

Dem früheren σ = 15,8 kg/mm² hat in der Tafel entsprochen der Abstand $-6\frac{1}{2}$ mm = $-3\frac{1}{4}^\circ$ des Ausgangspunktes A von der Temperaturzähllinie Z (für $t = -5^\circ$).

Jetzt — für σ_M = 14,48 kg/mm² — messen wir von der Temperaturzähllinie Z bis zum neu zu markierenden Ausgangspunkt A_M den Abstand 43 mm, wenn wir den neu zu markierenden Schnittpunkt S (zwischen der Parabel σ_M = 14,48 kg/mm² und der Wagrechten $\bar{a}_R = a_R \cdot z_R$) herunterloten bis A_M (Abb. 8). Also ist

$$T_{M,\,t=-5^0} = 21\tfrac{1}{2}^\circ. \text{ [37]}$$

Dieser zu markierenden Temperatur würde in einer neuen Tafel, wenn man sie für E_n zeichnen wollte, der neue Temperaturwert $T_{n,\,t=-5^0}$ entsprechen; gemäss $T_n = T_M \sqrt[3]{\left(\frac{E}{E_n}\right)^2}$ ist

$$T_{n,\,t=-5^0} = T_{M,\,t=-5^0} \sqrt[3]{\left(\frac{E}{E_n}\right)^2} = 21{,}5 \cdot 0{,}8395 =$$

= 18°; dem neuen Elastizitätsmodul E_n würden — in einer für E_n neu zu zeichnenden Tafel — die neuen Temperaturwerte T_n entsprechen:

$$-2^\circ,\ 8^\circ,\ 18^\circ,\ 23^\circ,\ 33^\circ,\ 43^\circ,\ 53^\circ,\ 63^\circ. \text{ [38]}$$

Demgemäss sind (für die erwähnten Wärmestufen) zu messen bzw. in der Tafel durch Marken zu bezeichnen die Temperaturwerte T_M:

$$-2\tfrac{1}{3}^\circ,\ 9\tfrac{1}{2}^\circ,\ 21\tfrac{1}{2}^\circ,\ 27\tfrac{1}{2}^\circ,\ 39\tfrac{1}{3}^\circ,\ 51\tfrac{1}{4}^\circ,\ 63^\circ,\ 75^\circ. \text{ [39]}$$

Die so markierte Temperaturskala lässt als zugehörige φ_M = Werte folgende Ziffern ablesen:

1,85, 1,983, 2,116, 2,182, 2,315, 2,443, 2,565, 2,69.

Daraus erhält man durch Umrechnung gemäss $\varphi_n = \varphi_M \sqrt[3]{\frac{E}{E_n}} = \varphi_M \cdot 0{,}9163$ jene prozentuellen Durchhänge φ_n, welche in einer für E_n neu gezeichneten Tafel aufscheinen würden:

1,695, 1,817, 1,94, 2,00, 2,12, 2,24, 2,35, 2,465.

Dem entsprechen folgende Beanspruchungen σ, bzw. Ketten-, Seil- und Gesamtdurchhänge F_K, F_S, F_Σ:

---

[37]) Rechnerisch folgt:
$T_{t=-5^0} = \left(\frac{149{,}6}{\sigma_M}\right)^2 - 5{,}88\,\sigma_M = 106{,}7 - 85{,}1 = 21\tfrac{1}{2}^0.$

[38]) Für die Wärmestufen — 25⁰, — 15⁰, — 5⁰, 0⁰, 10⁰, 20⁰, 30⁰, 40⁰.

[39]) Gemäss $T_M = T_n \sqrt[3]{\left(\frac{E_n}{E}\right)^2} = \frac{T_n}{0{,}8395} = 1{,}191\,T_n$. Diese Umrechnung kann man ersparen, wenn ein Transversalmassstab für abgestufte E=Werte gezeichnet wird; für den vorliegenden Fall ist Temperaturdifferenz-Skala I (für E = 13000 kg/mm²) mit dem Anfangspunkt — 5⁰ in A_M wagrecht anzulegen (Abb. 8).

E = 13 000 kg/mm²	t =	— 25°	— 15°	—5⁰ ohne Zusatzlast	—5⁰ plus Zusatzlast	0°	+ 10°	+ 20°	+ 30°	+ 40°
	$\sigma = \frac{17{,}53}{\varphi} =$	10,34	9,648	9,036	—	8,765	8,27	7,826	7,46	7,11
	$F_k = \frac{1{,}14}{\sigma} =$	0,11	0,118	0,126	0,125 [40])	0,13	0,138	0,146	0,153	0,16
	$F_s = \frac{24{,}68}{\sigma} =$	2,387	2,676	2,731	3,453 [41])	2,816	2,984	3,154	3,308	3,47
	$F_\Sigma = F_k + F_s$	2,50 m	2,68 m	2,86 m	3,58 m	2,95 m	3,12 m	3,30 m	3,46 m	3,63 m

[40]) Vergl. Seite 94, Fussnote 44.

[41]) Vergl. Seite 94, Fussnote 45.

Der für die Mastlänge massgebende grösste Durchhang tritt hier bei der Höchsttemperatur auf (3,63 m); der Durchhang bei Zusatzlast ist rund $\frac{1}{2}$ dm kleiner als f_{+40^0}.

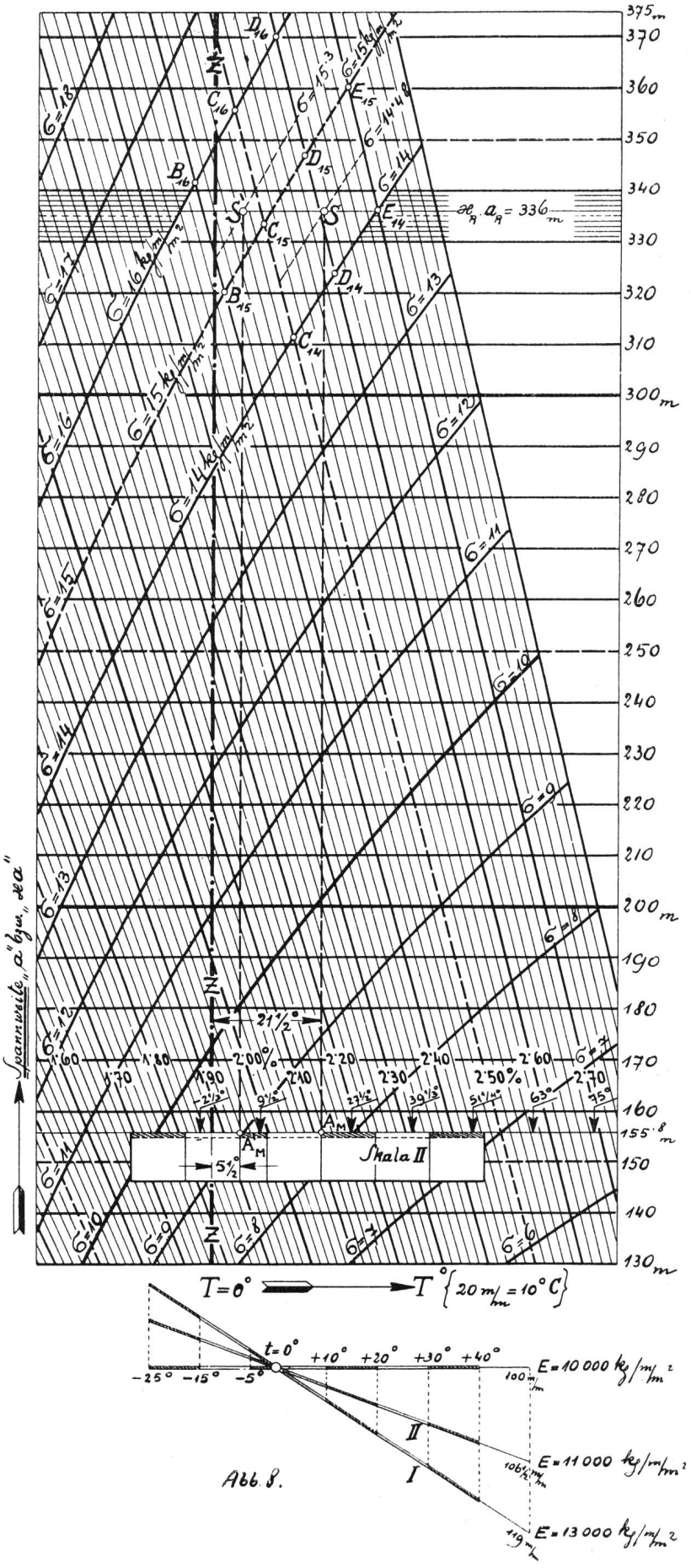

Spannweite „a" bzw. „ϰa"
Skala II
T=0°
T° {20 m/m = 10° C}
t=0°
E=10 000 kg/m/m²
E=11 000 kg/m/m²
E=13 000 kg/m/m²
ϰR aR = 336 m

Abb. 8.

b) Durchhangsermittlung für die Annahme $E = 11\,000$ kg/mm²:

Hiefür ergeben sich, tabellarisch zusammengestellt, die folgenden Werte:

Der vorhandenen Tafel entspricht: $E = 10\,000$ kg/mm²

Der neue Elastizitätsmodul ist: $E_n = 11\,000$ kg/mm²

Zulässige Beanspruchung $\bar{\sigma}_m = 15{,}8$ kg/mm² (in der Spannfeldmitte)

Zu suchen bzw. zu markieren ist der Schnittpunkt S'_M zwischen der Wagrechten $\bar{a}_R = x_R \cdot a_R$ und der Spannungsparabel $\sigma_M = \sigma \sqrt[3]{\frac{E}{E_n}} = 15{,}8 \sqrt[3]{\frac{10\,000}{11\,000}} = 15{,}8 \cdot 0{,}9688 = 15{,}3$; S'_M wird herabgelotet bis zum Schnittpunkt zwischen $L_{zus.}$ und $a_R = 155{,}8$ m, d. i. dem nunmehrigen, zu markierenden Ausgangspunkt A'_M (Abb. 8)

Abstand zwischen A'_M und Tafeltemperatur-Zähllinie „Z" ist 11 mm d. i. $T_{M,\,t=-5^0} = 5^1/_2{}^\circ$ [42])

Gemäss $T_n = T_M \sqrt[3]{\left(\frac{E}{E_n}\right)^2} = T_M \cdot 0{,}9381$ folgt: $T_{n,\,t=-5^0} = 0{,}9381 \cdot 5{,}5 = 5{,}2^\circ$

$t =$	-25^0	-15^0	-5^0 ohne Zusatzlast	-5^0 plus Zusatzlast	0^0	$+10^0$	$+20^0$	$+30^0$	$+40^0$
$T_n = T_{n,\,t=-5^0} + (t - t_{zus.}) =$	$-14{,}8^0$	$-4{,}8^0$	$5{,}2^0$	$5{,}2^0$	$10{,}2^0$	$20{,}2^0$	$30{,}2^0$	$40{,}2^0$	$50{,}2^0$
Es sind zu messen, bzw. durch Marken zu bezeichnen (gemäss $T_M = T_n \sqrt[3]{\left(\frac{E_n}{E}\right)^2} = \frac{T_n}{0{,}9344} = 1{,}0657\ T_n$) [43]) die Temperaturwerte T_M:	$-15^3/_4{}^0$	-5^0	$5^1/_2{}^0$	$5^1/_2{}^0$	$10^3/_4{}^0$	$21^1/_2{}^0$	$32^1/_4{}^0$	43^0	$53^1/_2{}^0$
Zu den markierten Temperaturen T_M gehören in der Tafel die Durchhänge φ_M:	1,69	1,815	1,935	—	2,00	2,115	2,235	2,35	2,465
Mit $\varphi_n = \varphi_M \sqrt[3]{\frac{E}{E_n}} = \varphi_M \cdot 0{,}9688$ erhält man die neuen prozentuellen Durchhänge φ_n:	1,637	1,758	1,875	—	1,938	2,049	2,165	2,277	2,388
Es folgen $\left(\text{aus } \sigma = \frac{a_R \cdot \delta}{80\varphi} = \frac{17{,}53}{\varphi_n}\right)$ die Beanspruchungen σ:	10,71	9,97	9,35	—	9,04	8,55	8,1	7,7	7,34
weiters $\left(\text{aus } F_k = \frac{l_k}{2}\left\{\frac{G_k}{2} + \frac{l'\,\delta}{1000}\right\}\frac{1}{\sigma} = \frac{1{,}14}{\sigma}\right)$ die Kettendurchhänge F_k:	0,104	0,114	0,12	0,125 [44])	0,124	0,13	0,14	0,148	0,155
bzw. $\left(\text{aus } F_s = \frac{(l' - 2\,l_k)^2}{8000} \cdot \frac{\delta}{\sigma} = \frac{24{,}68}{\sigma}\right)$ die Seildurchhänge F_s:	2,306	2,475	2,64	3,453 [45])	2,735	2,89	3,05	3,200	3,362
und (aus $F_\Sigma = F_k + F_s$) die Gesamtdurchhänge F_Σ:	2,41 m	2,59 m	2,76 m	3,58 m	2,85 m	3,02 m	3,19 m	3,35 m	3,52 m

[42]) Bzw. rechnerisch:

$$T_{M,\,t=-5^0} = \frac{1}{24\,(10^6\,\vartheta)}\left(\frac{\bar{a}_R\,\delta_R}{\sigma_M}\right)^2 - \frac{\sigma_M}{\vartheta_E} = \left(\frac{149{,}6}{\sigma_M}\right)^2 - 5{,}88\,\sigma_M = 95{,}6 - 90 = 5^1/_2{}^0.$$

[43]) Hinsichtlich graphischer Bestimmung (mittels Anlege-Skala), wovon auch in Abb. 8 Gebrauch gemacht ist, vergl. Seite 92, Fussnote 39.

[44]) $\bar{F}_k = \frac{l_k}{2}\left\{\frac{\bar{G}_k}{q} + \frac{l'\,\bar{\delta}}{1000}\right\} \cdot \frac{1}{\bar{\sigma}_m} = \frac{0{,}97}{2}\left\{\frac{55}{50} + \frac{150 \cdot 19{,}9}{1000}\right\} \cdot \frac{1}{\bar{\sigma}_m} = \frac{1{,}98}{\bar{\sigma}_m} = \frac{1{,}98}{15{,}8}$

[45]) $\bar{F}_s = \frac{(l' - 2\,l_k)^2}{8000} \cdot \frac{\bar{\delta}}{\bar{\sigma}_m} = \frac{148{,}1^2 \cdot 19{,}9}{8000 \cdot \bar{\sigma}_m} = \frac{5{,}456}{\bar{\sigma}_m} = \frac{5{,}456}{15{,}8}$

c) Ermittlung der Zusatzlasten, bei welchen die Leitung bis zur Elastizitätsgrenze bzw. rechnungsmässig bis zur Bruchfestigkeit beansprucht wird. [46])

Der Einfluss der Kettenabspannung kann hier vernachlässigt werden, d. h. man kann praktisch so rechnen, als wären die Seile an den inneren Kettenenden abgespannt. [47])

Für $E = 10\,000$ kg/mm² folgt:

$$\delta_E = \sigma_E \sqrt{\left(\frac{\bar{\delta}}{\bar{\sigma}}\right)^2 + \frac{\sigma_E - \bar{\sigma}}{\frac{E}{2400}\left(\frac{a - 2l_k \cdot \cos\nu}{100}\right)^2}} =$$

$$= 24 \sqrt{\left(\frac{19{,}9}{16}\right)^2 + \frac{24 - 16}{\frac{E}{2400} \cdot 1{,}476^2}} = 37{,}4 \text{ g/cm}^3$$

$$Q_E = q\,(\delta_E - \delta) = 50\,(37{,}4 - 9) = 1420 \text{ g/m} = 1{,}42 \text{ kg/m}$$

auf gleiche Weise folgt:

$E = 11\,000$ kg/mm², $\delta_E = 36{,}7$, $Q_E = 1{,}39$ kg/m
$E = 13\,000$ kg/mm², $\delta_E = 35{,}8$, $Q_E = 1{,}34$ kg/m

Die Bruchlasten ergeben sich mit $\delta_B =$

$$= 40 \sqrt{\left(\frac{19{,}9}{16}\right)^2 + \frac{40 - 16}{\frac{E}{2400} \cdot 1{,}476^2}} \text{ wie folgt:}$$

$E = 10\,000$ kg/mm², $\delta_B = 81{,}9$, $Q_B = 3{,}65$ kg/m
$E = 11\,000$ kg/mm², $\delta_B = 79{,}6$, $Q_B = 3{,}53$ kg/m
$E = 13\,000$ kg/mm², $\delta_B = 75{,}7$, $Q_B = 3{,}34$ kg/m.

[46]) Sobald es sich um die höheren Zusatzlasten handelt, welche für die Praxis von Bedeutung sind, die Bruchlast (Q_B für $\sigma_B =$ rund 40 kg/mm²), Strecklast (Q_S für $\sigma_S =$ rund 30 kg/mm²), Elastizitätsgrenzlast (Q_E für $\sigma_E =$ rund 24 kg/mm², Cu vorausgesetzt), kann praktisch nur mehr eine grössenordnungsmässige Ermittlung in Frage kommen (vergl. «Techn. Mitt. T. T.» 1925, S. 90). Es wird deshalb hier keine Rücksicht darauf genommen, dass die Seilspannung vom Spannfeldmittel gegen den oberen Aufhängepunkt zu ansteigt.

[47]) Vergl. «Techn. Mitt. T. T.» 1925, S. 90.

Das Sternkabel Zürich - Eglisau.

Von W. Trechsel, Bern.

Durch die für das Jahr 1927 geplante Elektrifikation der Bundesbahnstrecke Zürich-Bülach-Schaffhausen wurde der Abbruch und Ersatz der alten Telephonlinie Zürich - Bülach - Eglisau - Zurzach - Stein-Basel nötig. Die verschiedenen vorausgegangenen Kabellegungen zwischen Zürich und Basel hatten allerdings diesem grossen Drahtstrang seinen Charakter als eigentliche Ferntelephonlinie genommen; aber die vorhandenen Drahtschleifen waren für den Verkehr der längs der Bahnlinie liegenden kleinen Zentralen mit dem Verkehrszentrum Zürich in weitem Masse ausgenützt, so dass eine Verkabelung bis Eglisau nicht zu umgehen war. Die Ueberlegung, dass dieses Kabel von Anfang an hauptsächlich dem Vorortsverkehr von Zürich dienen soll, der sich in nicht allzuferner Zeit automatisch abwickeln wird, führte zum Verzicht auf die teure Verlegung eines duplexierbaren Kabels und bot willkommene Gelegenheit, einen Versuch mit einem Sternkabel von grösserer Länge zu machen, einer Kabelart, die schon in den neunziger Jahren in verschiedenen Ortsnetzen für kurze Strecken verwendet worden war und die unter gewissen Voraussetzungen wesentliche Vorteile gegenüber anderen Kabeln aufweist.

Die heute am meisten gebräuchlichen Telephonkabel sind je nach Art ihrer Verseilung:

zweierverseilt (paarverseilt) oder
viererverseilt.

Bei den zweierverseilten Kabeln werden 2 Adern zu einem Paar verdrillt und die einzelnen Paare in Lagen im Kabel angeordnet. Diese einfache Verseilart ergibt eine gute Querschnittausnützung, eine einfache Fabrikationsweise und eine einfache Spleissung. Sie eignet sich deshalb insbesondere für vielpaarige Kabel und ist für Teilnehmerkabel die am meisten gebräuchliche. Zur Bildung von Duplexleitungen ist

Le câble en étoile Zurich - Eglisau.

Par W. Trechsel, Berne.

L'électrification, prévue pour l'année 1927, de la ligne de chemin de fer Zurich-Bulach-Schaffhouse, a obligé l'administration à démolir et à remplacer l'ancienne ligne téléphonique Zurich-Bulach-Eglisau-Zurzach-Stein-Bâle. Les poses de câbles auxquelles il avait été procédé auparavant entre Zurich et Bâle ont, il est vrai, enlevé à cette grande artère de fils son caractère de ligne téléphonique interurbaine proprement dite; toutefois, les lacets existants étaient à tel point mis à contribution pour la correspondance entre les petites centrales échelonnées le long de la ligne de chemin de fer et le centre de Zurich, qu'il n'était pas possible d'éviter une mise en câble jusqu'à Eglisau. Considérant que ce câble serait, dès le début, affecté à la correspondance suburbaine de Zurich et que le temps n'était plus très éloigné où cette correspondance s'écoulerait au moyen du système automatique, on renonça à envisager la coûteuse pose d'un câble duplexable; on estima que l'occasion était toute trouvée pour tenter un essai avec un câble en étoile d'une assez grande longueur, type qui avait déjà été employé entre 1890 et 1900 dans divers réseaux locaux et sur de courtes sections, et qui, dans certaines circonstances, présente de réels avantages sur les câbles d'autres systèmes.

Suivant la manière dont ils sont toronnés, les câbles téléphoniques les plus employés aujourd'hui sont:

les câbles toronnés par deux conducteurs (paires) ou
les câbles toronnés par quatre conducteurs (quartes).

Dans les câbles toronnés par paires, 2 conducteurs sont réunis en une paire, et les différentes paires disposées en couches. Ce mode de toronnage, tout à fait simple, donne un faible encombrement et permet de simplifier les travaux de fabrication et d'épissure.