

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: 8 (1930)

Heft: 5

Artikel: Durchhangstafel für Stahlaluminiumseile von veränderlichem Querschnittsverhältnis der Verbundstoffe

Autor: Nather, Eugen

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-873710>

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: 13.01.2026

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

Ortsnetz	Total Teil- nehmer auf Ende 1929	Wovon voll- ständig unter- irdisch ange- schlossen	in %	Unter- irdisch an- geschlossen auf Ende 1924 in %
Zürich	26152	13085	50	33
Genf	13989	8514	61	56
Basel	12387	6320	51	23
Bern	9434	3905	42	27
Lausanne . . .	7497	3217	43	37
St. Gallen . . .	5048	1930	38	27
Luzern	3840	1528	40	11
Winterthur . .	2837	801	28	7
La Chaux-de- Fonds	2651	1492	57	60
Biel	2533	833	33	12
Lugano	2225	971	44	40
Schaffhausen . .	1940	331	17	5
Neuenburg . . .	1870	702	38	24
Aarau	1534	277	18	14
Solothurn . . .	1515	347	23	16
Montreux	1497	571	38	37
Vevey	1376	407	30	27
Thun	1336	248	19	10
Freiburg	1206	614	51	40
Baden	1179	285	24	12
Olten	1139	300	26	21
	103185	46678	45	—

Réseau local	Nombre des abon- nés fin 1929	Nombre des raccor- dements entièr- ement sou- terrains	en %	Nombre des raccor- dements souter- rains fin 1924 en %
Zurich	26152	13085	50	33
Genève	13989	8514	61	56
Bâle	12387	6320	51	23
Berne	9434	3905	42	27
Lausanne . . .	7497	3217	43	37
St-Gall	5048	1930	38	27
Lucerne	3840	1528	40	11
Winterthour . .	2837	801	28	7
La Chaux-de- Fonds	2651	1492	57	60
Bienne	2533	833	33	12
Lugano	2225	971	44	40
Schaffhouse . .	1940	331	17	5
Neuchâtel . . .	1870	702	38	24
Aarau	1534	277	18	14
Soleure	1515	347	23	16
Montreux	1497	571	38	37
Vevey	1376	407	30	27
Thoune	1336	248	19	10
Fribourg	1206	614	51	40
Baden	1179	285	24	12
Olten	1139	300	26	21
	103185	46678	45	—

Durchgangstafel für Stahlaluminiumseile von veränderlichem Querschnitts- verhältnis der Verbundstoffe.

Von Ing. Dr. Eugen Nather, Wien.

Bei den gewöhnlichen Freileitungsbronzen aus Kupfer und Aluminium wird die Qualitätsverbesserung des Reinmetalls durch so geringe Legierungszusätze erzielt, dass Eigengewicht und Wärme-dehnwert für Reinmetall und Legierung praktisch übereinstimmen; es ändert sich bloss der Elastizitätsmodul merklich ¹⁾).

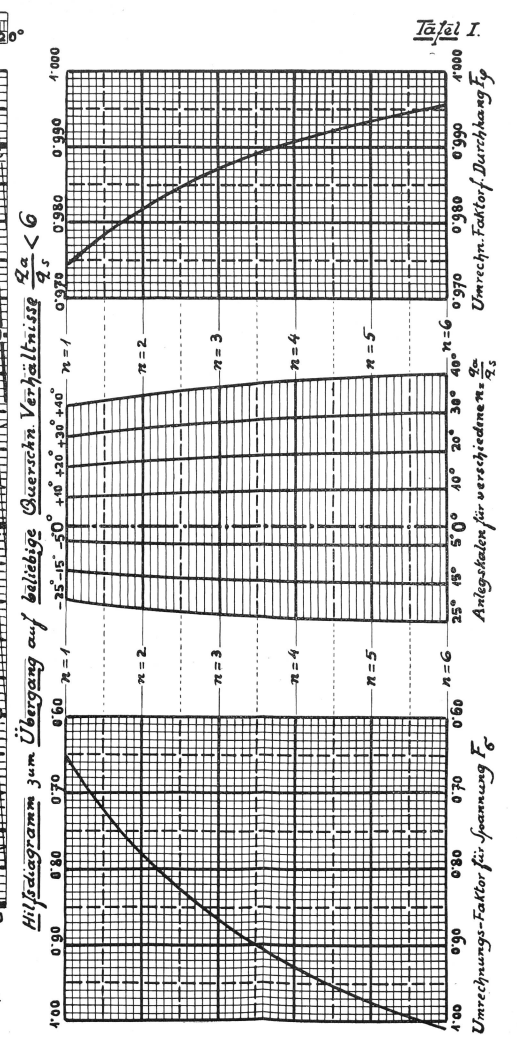
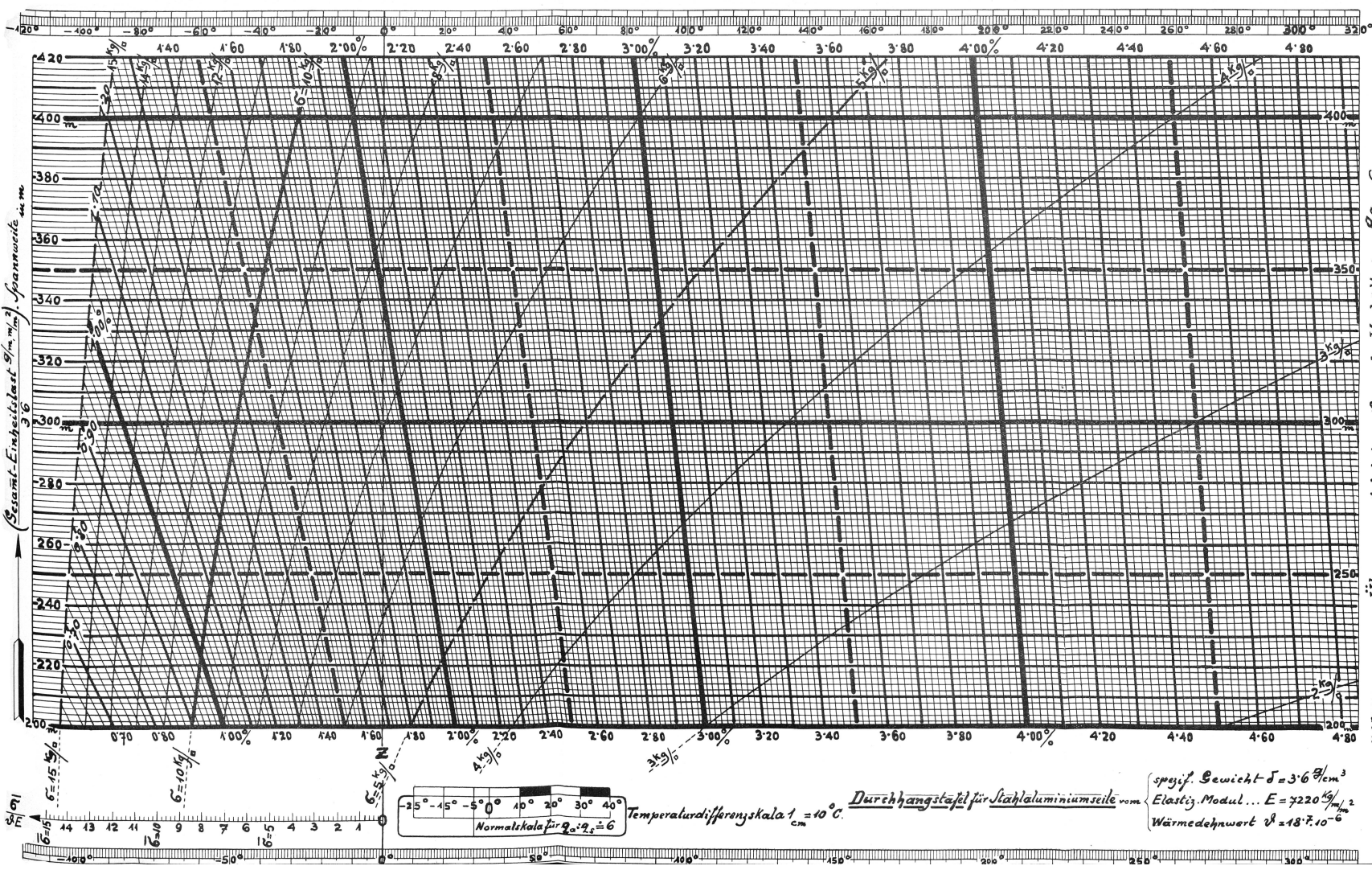
Nicht ebenso einfach liegen die analogen Verhältnisse bei Stahlaluminiumseilen, wenn man deren Zerreißfestigkeit für gewisse Zwecke erhöhen will durch dickere Stahleinlagen; z. B. dort, wo die Hochspannungsleiter örtlich, wie bei Talüberspannungen etc. widerstandsfähiger ausgeführt werden sollen, oder wo sich stärkere Stahlkerne mit Rücksicht auf den besonderen Verwendungszweck empfehlen, indem die Seile als Erdseile und gleichzeitig auch als durchgehende wirksame Mastverspannung dienen sollen ²⁾).

¹⁾ Neben der bedeutenden Erhöhung der Zerreißfestigkeit, die eben der Zweck der Legierung ist.

Während normalerweise aus ökonomischen Rücksichten ein Verhältnis von rund 6 : 1 zwischen *Al*- und Stahl-Querschnitt zur Ausführung kommen wird, kann es sich für Sonderfälle empfehlen, auf die älteren Querschnittsverhältnisse wie 4 : 1, 3 : 1 zurückzugreifen, von welchen der Stahlaluminiumleitungsbau vor Jahren aus Vorsichts- bzw. Sicherheitsgründen ausgegangen ist.

Zur Durchhangsermittlung von Freileitungen aus *Cu*- und *Al*-Bronzen kann ganz gut eine für das Reinmetall entworfene Singertafel dienen; das mechanische Umrechnungsverfahren ist dabei deshalb relativ einfach und übersichtlich, weil ja Legierung und Reinmetall in den massgebenden Materialeigenschaften — mit alleiniger Ausnahme des Elastizitätsmoduls — praktisch übereinstimmen.

²⁾ Siehe die Ausführungen von Dr. Beck (E. u. M. 1926, S. 768) und die detaillierten Angaben von Kvetensky (E. u. M. 1927, S. 29); vgl. auch E. u. M. 1918, S. 307, rechte Spalte, Punkt 4 (Erdseile mit Aussenlage aus nichtmagnetischem Material).



Bei Stahلالuminiumseilen dagegen ändern sich bei einem Wechsel des Seilaufbaues alle drei mitwirkenden Materialeigenschaften: elastische Dehnung, Wärme-Dehnung, Eigengewicht (für die Seilkombination als Ganzes). Mit einem einzigen Umrechnungsfaktor, wie bei Cu- und Al-Legierungen, ist hier im allgemeinen nicht mehr das Auslangen zu finden, wenn man anhand einer Singertafel für bestimmtes Querschnittsverhältnis $\frac{q_a}{q_s} = n$ ein Stahlaluminiumseil von abweichendem n berechnen will.

Indessen werden für viele praktische Fälle doch derartige Fabrikationsverhältnisse vorliegen, dass eine solche Veränderlichkeit des Querschnittsverhältnisses n in der Singertafel ohne ein Uebermass von Umrechnungen berücksichtigt werden kann.

Damit letzteres ermöglicht wird, braucht in der Fabrikation bloss folgender Punkt erfüllt zu sein: es muss für Stahlaluminiumseile mit normalem Querschnittsverhältnis und für jene mit abweichenden Querschnittsverhältnissen doch stets ein und dieselbe Stahlsorte verwendet werden; dadurch wird erzielt, dass für die verschiedensten Querschnittsverhältnisse n doch immer mit konstanten Al-Festwerten (δ_a , E_a , ϑ_a) und konstanten Stahl-Festwerten (δ_s , E_s , ϑ_s) gerechnet werden kann. Es lassen sich dann für sämtliche noch möglichen Querschnittsverhältnisse zum voraus die kombinierten Festwerte für Eigengewicht, Elastizitätsmodul und Wärmedehnwert ermitteln und ein für allemal graphisch zusammenstellen. Legt man dieser Ermittlung z. B. die österreichischen Freileitungsnormen zugrunde, so ergeben sich aus den bekannten Formeln für die kombinierten (auf den Gesamtquerschnitt der Verbundseile bezogenen) Eigengewichts-, Elastizitäts- und Wärmedehnwerte, nämlich

$$\delta = \frac{\delta_s + n \delta_a}{1 + n} \quad (1)$$

$$E = \frac{E_s + n E_a}{1 + n} \quad (2)$$

$$\vartheta = \frac{\vartheta_s E_s + n \vartheta_a E_a}{E_s + n E_a} \quad (3)$$

die in Abb. 1 zusammengestellten Werte ³⁾.

Mit den Werten der Abb. 1 ist einzugehen in die allgemeinen Umrechnungsfaktoren, die von Singer angegeben wurden für den allgemeinen Fall, dass die Leiterfestwerte abweichen von allen Annahmen, die der Tafel zugrundegelegt wurden. Für Stahlaluminiumseile nach den österreichischen Normen schreiben sich diese Umrechnungsfaktoren, wenn Index „Ta“ andeutet, dass ein Wert in der Tafel abzulesen bzw. der Tafel zugrunde gelegt ist:

Umrechnungsfaktor für Spannung:

$$F_\sigma = \sqrt[3]{\frac{E_{Ta}}{E} \left(\frac{\delta_{Ta}}{\delta}\right)^2} = \sqrt[3]{\frac{7220}{E} \left(\frac{3,6}{\delta}\right)^2} =$$

³⁾ Nach den österreichischen Vorschriften für Freileitungen gilt für Stahl: Eigengewicht $\delta_s = 8 \text{ g/cm}^3$, Elastizitätsmodul $E_s = 18,000 \text{ kg/mm}^2$, Wärmedehnwert $\vartheta_s = 11 \cdot 10^{-6}$. Für Al gilt: $\delta_a = 2,8 \text{ g/cm}^3$, $E_a = 5400 \text{ kg/mm}^2$, $\vartheta_a = 23 \cdot 10^{-6}$ (E. u. M. 1927, S. 241).

$$\sqrt[3]{93,57 \left\{ \frac{1}{\frac{E}{1000} \cdot \delta^2} \right\}}$$

Umrechnungsfaktor für Temperatur:

$$F_t = \frac{\vartheta}{\vartheta_{Ta}} \sqrt[3]{\left\{ \frac{E}{E_{Ta}} \left(\frac{\delta_{Ta}}{\delta}\right)^2 \right\}} = \frac{\vartheta}{18,7 \cdot 10^{-6}} \sqrt[3]{\left\{ \frac{E}{0,4986 \frac{E}{1000}} \right\}^2}$$

Umrechnungsfaktor für Durchhang:

$$F_\varphi = \sqrt[3]{\frac{E_{Ta}}{E} \cdot \frac{\delta}{\delta_{Ta}}} = \sqrt[3]{\frac{7220}{3,6} \cdot \frac{1}{\delta} \cdot \frac{1}{E}} = \sqrt[3]{\left\{ \frac{1}{\frac{E}{1000}} \right\} \cdot 2,0055}$$

Werden aus Abb. 1 für verschiedene n die entsprechenden δ , E , ϑ -Werte in die vorstehenden Umrechnungsfaktoren eingesetzt, so lassen sich diese Faktoren F in Abhängigkeit von n graphisch zusammenstellen, laut „Hilfsdiagramm zum Uebergang auf abweichende Querschnittsverhältnisse $\frac{q_a}{q_s} < 6$ “ in Tafel I⁴⁾.

⁴⁾ Auffällig in letzterem Hilfsdiagramm ist die F_φ -Kurve: für Querschnittsverhältnisse n , die vom Normalwert (d. i. 6) bis gegen 4 und 3 herunter reichen, unterscheidet sich das F_φ vom Wert 1 nur wenig; die Abweichung beträgt bis zu den erwähnten Grenzwerten nur rund 1%; daraus folgt, dass für Vorprojektsrechnungen, bei welchen eine Ungenauigkeit von 1% keine Rolle spielt, die letzte Umrechnung (der Durchhangswerte nämlich) überhaupt entfallen kann; der mechanische Umrechnungsvorgang für Stahlaluminiumseilrechnung ist in solchen Fällen dann überaus einfach: man liest, wenn es sich um ein bestimmtes abweichendes Querschnittsverhältnis n handelt, aus dem Hilfsdiagramm der Tafel I unmittelbar den Umrechnungsfaktor F_σ ab (welcher diesem n entspricht) und greift die zu n gehörige Anlegsskala ab ⁵⁾. Wird diese Skala in der Tafel entsprechend angelegt, so stellen die erhaltenen φ -Ablesungen schon die wirklichen Durchhangs-Prozentsätze dar, wie erwähnt unter der Voraussetzung, dass 1% Ungenauigkeit dabei in Kauf genommen werden kann ⁶⁾.

⁴⁾ Dieses Hilfsdiagramm ist analog zu handhaben wie das Hilfsdiagramm in Techn. Mitt. T. T. 1930, Nr. 1, Tafel I.

⁵⁾ Analog dem für Al-Legierungen beschriebenen Vorgang (Techn. Mitt. T. T. 1930, S. 1 ff.).

⁶⁾ Als Anomalie ist am Hilfsdiagramm folgendes auffällig: F_φ sollte für die der Tafel zugrunde gelegten Annahmen allmählich übergehen in den Wert 1; statt dessen besteht hier eine Unstetigkeit, nämlich ein Sprung von 0,9955 auf 1. Dies rührt daher, dass die Festwerte $\delta = 3,6$, $E = 7220$ nicht in jeder Hinsicht entsprechend abgerundet worden sind; dem Wert

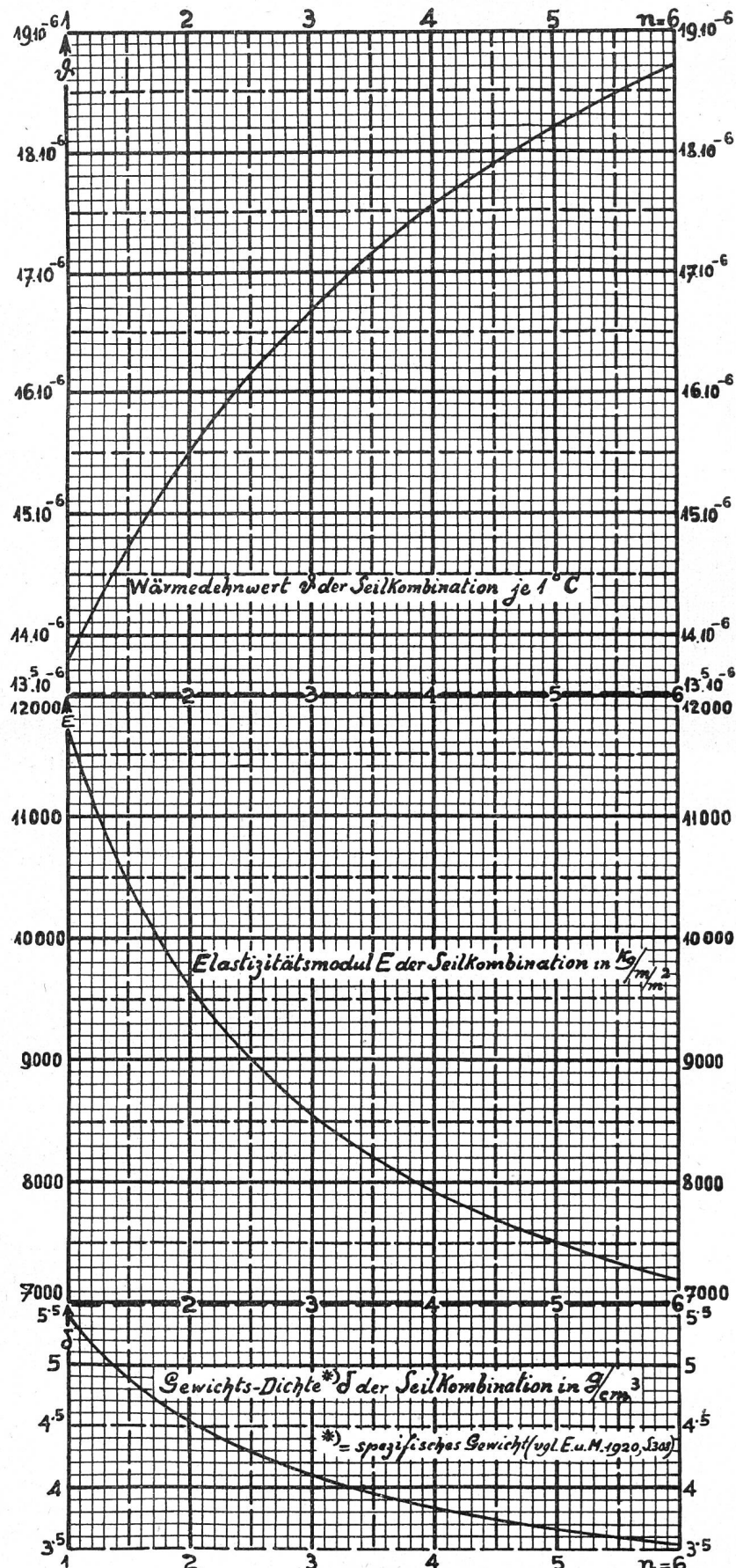


Abb. 1. Festwerte für Stahlaluminiumseile von verschiedenem Querschnitts-Verhältnis n ; $E_s = 18000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$, $\alpha_s = 8.8 \cdot 10^{-6}$, $\gamma_s = 11.10 \cdot 10^{-6}$; $E_a = 5400 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$, $\alpha_a = 2.89 \cdot 10^{-6}$, $\gamma_a = 23.10 \cdot 10^{-6}$

weiten von a_{kr} bis $a_{kr, B}$ sind *unterkritisch* für *Al* und in *gewissem Sinn oberkritisch* für die Seilkombination ($U_{Al, os, K.}$), denn es ist $\bar{\sigma} > \sigma_{-25}^{\circ}$ { *Al* bei Tiefsttemperatur maximal (und zwar konstant) beansprucht, dagegen variabler Höchstseilzug bei Zusatzlast ($q \bar{\sigma}$)¹¹⁾; $\bar{\sigma}$ ansteigend von σ_{-25}° bis zu $\bar{\sigma}^{\circ}$ }; im letzten Bereich (von $a_{kr, B}$ bis $a = \infty$) ist jede Spannweite *oberkritisch* für *Al* und Seilkombination ($O_{Al, s, K.}$), denn es ist $\bar{\sigma}^{\circ} > \sigma_{-25}^{\circ}$ { *Al* und Seil bei Zusatzlast maximal (und zwar konstant) beansprucht }.

Fall I: Stahlaluminiumseil, übereinstimmend mit sämtlichen Durchgangstafelannahmen (im n wie in den δ -, E -, ϑ -Werten der Verbundstoffe).

Das Stahlaluminiumseil soll äquivalent sein einem Hartkupferseil vom Querschnitt 70 mm² (*Cu*-Seil- $\varnothing = 10,5$ mm).¹²⁾

Stahlaluminiumseil-Durchmesser $d = 15,8$ mm
 „ -Gesamtquerschnitt $q = 143,5$ mm²
Al-Querschnitt $q_a = 122,6$ „
 (26 Drähte à 2,45 mm \varnothing)
 Stahl-Querschnitt $q_s = 22,9$ mm²
 (7 Drähte à 1,95 mm \varnothing)

Querschnittsverhältnis $\frac{q_a}{q_s} = 6$ ¹³⁾.

Nach den österreichischen Vorschriften für Freileitungen¹⁴⁾ gelten für normalisierte Stahlaluminium-

¹¹⁾ Die kombinierte Spannung für Zusatzlast ist bisher (für Bereich $U_{Al, s, K.}$ und Bereich $U_{Al, os, K.}$) mit $\bar{\sigma}$ ohne den Index $^{\circ}$ bezeichnet worden, weil sie nicht mit *Al*-Ausnutzung verbunden ist: $\bar{\sigma} < \bar{\sigma}^{\circ}$.

¹²⁾ Als Spannweite ist hier sowie in den folgenden Beispielen $a = 200$ m vorausgesetzt.

¹³⁾ $n = 6$ ist der ungefähre Mittelwert (nach den österreichischen Normalien); genauer ist (für den vorliegenden Fall) $n = 5,867$, $\frac{1}{n} = 0,1705$.

¹⁴⁾ E. u. M. 1927, S. 241.

seile folgende (auf die Seilkombination bezogene) Mittelwerte:

(Kombinierter) Seil-Eigengewichts-
 wert $\delta = 3,6$ g/cm³
 „ Seil-Elastizitätsmo-
 dul $E = 7220$ kg/mm²
 „ Seil-Wärmedehn-
 wert $\vartheta = 18,7 \cdot 10^{-6}$

Die Seilrechnung sei durchzuführen für die Forderung: Im *Al*-Mantel soll keinesfalls die Beanspruchung $\sigma_{a, max} = 6,85$ kg/mm²¹⁵⁾ überschritten werden, und zwar weder bei $-25^{\circ} C$ ohne Zusatzlast noch bei $-5^{\circ} C$ plus Zusatzlast¹⁶⁾.

Es ist nun zu entscheiden: Fällt die 200-m-Spannweite in den oberkritischen, unterkritischen oder gemischtkritischen Bereich? Zu diesem Zwecke kann man ausgehen von den Grenzspannungen für Aluminiumausnutzung, die bei verschiedenen Spannweiten überhaupt möglich sind (nach Abb. 2); mit diesen Grenzspannungen wird dann vorerst einzugehen sein in die Berling'sche Gleichung für die kritische Spannweite und weiter — falls erforderlich — auch noch in die Weil'sche Gleichung (für die kritische Spannweite).

¹⁵⁾ Für Aluminium ist die Bruchlast: 19 kg/mm² (Einzeldrähte), 17,1 kg/mm² (Seile); bei 2½facher Bruchsicherheit ist höchstens zulässig $\frac{17,1}{2,5} = 6,85$ kg/mm².

¹⁶⁾ Zusatzlast $= 180 \sqrt{d} = 180 \sqrt{15,8} = 715,5 \frac{\text{Gramm}}{m}$;

damit folgt als:

Eigengewicht einschliesslich Zusatzlast $\bar{\sigma} = 3,6 + \frac{715,5}{143,5} = 8,586$ kg/mm²,

Aneisungsverhältnis $z = \frac{\bar{\sigma}}{\delta} = \frac{8,586}{3,6} = 2,384$.

¹⁷⁾ Unter a) und b) sowie in der Berling-Formel für $a_{kr, B}$ soll, obwohl eine Häufung von Indices im allgemeinen unerwünscht ist, doch genau angedeutet werden, um welche Spannungen es sich jeweils handelt: Kreisring \circ soll, wie bereits

Grenzspannungen für <i>Al</i> -Ausnutzung bei { a) Tiefsttemperatur und den kleinsten Spannweiten b) Zusatzlast und den grössten Spannweiten	
a) bei Tiefsttemperatur (-25°) und Kleinstspannweiten	b) bei Zusatzlast und Grösstspannweiten ¹⁷⁾
Stahl-Grenzspannung: ¹⁸⁾ $\sigma_{s, -25, (K.)}^{\circ} = \frac{E_s}{E_a} \cdot \sigma_{a, max} + (\vartheta_a - \vartheta_s) E_s (t_{min} - t_v) =$ $\frac{18000}{5400} \cdot 6,85 + \frac{(23 - 11) 10^{-6} \cdot 18 \cdot 10^{-3} (-25 - 15)}{0,216} =$ $\frac{1}{3} \cdot 6,85 + 0,216 (-5 - 15) =$ $22,833 - 8,64 = 14,19 \text{ kg/mm}^2$	Stahl-Grenzspannung: ¹⁹⁾ $\bar{\sigma}_{s, (G.)}^{\circ} = \frac{E_s}{E_a} \cdot \sigma_{a, max} + (\vartheta_a - \vartheta_s) E_s (\bar{t} - t_v) =$ $\frac{1}{3} \cdot 6,85 + 0,216 (-5 - 15) =$ $22,833 - 4,32 = 18,51 \text{ kg/mm}^2$
Seil-Grenzspannung (kombinierte): ²⁰⁾ $\sigma_{-25, (K.)}^{\circ} = \frac{\sigma_{a, max}}{1 + \frac{1}{n}} + \frac{\sigma_{s, -25, (K.)}^{\circ}}{1 + n} =$ $\frac{6,85}{1 + 0,1705} + \frac{14,19}{1 + 5,867} = 7,93 \text{ kg/mm}^2$ $\frac{6,85}{5,852}$	Seil-Grenzspannung (kombinierte): ²⁰⁾ $\bar{\sigma}_{(G.)}^{\circ} = \frac{\sigma_{a, max}}{1 + \frac{1}{n}} + \frac{\bar{\sigma}_{s, (G.)}^{\circ}}{1 + n} =$ $5,852 + \frac{18,51}{6,867} = 8,56 \text{ kg/mm}^2$

Mit diesen Grenzspannungen (für die Seilkombination) ist einzugehen in die Berling'sche Gleichung für die kritische Spannweite:

$$a_{kr, B} = 100 \sqrt{\frac{\bar{\sigma}_{(G.)} - \sigma_{-25, (K.)} + \vartheta E [\bar{t} - t_{\min}]}{\frac{E}{2400} \left\{ \left(\frac{\bar{\sigma}}{\sigma_{(G.)}} \right)^2 - \left(\frac{\delta}{\sigma_{-25, (K.)}} \right)^2 \right\}}} = 100 \sqrt{\frac{8,56 - 7,93 + 0,135 [-5 - (-25)]}{3,008 \left\{ \left(\frac{8,586}{8,56} \right)^2 - \left(\frac{3,6}{7,93} \right)^2 \right\}}} = 118 \text{ m}$$

Unser 200 m-Feld ist also oberkritisch, d. h.: *Al-* Ausnützung wird erreicht bei Zusatzlast und es ist die dann auftretende Höchstseilspannung $\bar{\sigma}$ identisch mit der zuvor ermittelten Grenzspannung $\bar{\sigma}_{(G.)}$ d. h.:

erwähnt, andeuten, dass der Aluminium-Mantel gerade voll ausgenützt wird. Durch die Abkürzung (*K.*) für Kleinstspannweiten bzw. (*G.*) für Grösstspannweiten soll angedeutet werden, dass es vorerst noch unsicher ist, ob diese Spannungen für die gegebene Spannweite tatsächlich auftreten werden; zum voraus ist nur bekannt, dass sich eine mit (*K.*) bezeichnete Spannung sicher dann wirklich einstellen wird, wenn die Spannweite sehr klein vorausgesetzt ist (d. h. für Kleinstspannweiten) bzw. eine mit (*G.*) bezeichnete Spannung dann wirklich auftreten wird, wenn die Spannweite genügend gross angenommen ist (Grösstspannweiten).

¹⁸⁾ Bekanntlich ist, wenn t_v die Verseiltemperatur bedeutet, die Teilspannung im Stahl:

$$\sigma_s = \frac{E_s}{E_a} \cdot \sigma_{a, \max} + (\vartheta_a - \vartheta_s) E_s (t - t_v) \text{ bei Temperatur } t$$

$$\sigma_{s, -25} = \frac{E_s}{E_a} \cdot \sigma_{a, \max} + (\vartheta_a - \vartheta_s) E_s (t_{\min} - t_v) \text{ bei Tiefsttemperatur.}$$

¹⁹⁾ Im Sinne von Fussnote ¹⁸⁾ gilt für die Teilspannung im Stahl bei Zusatzlast (wenn \bar{t} = Zusatzlasttemperatur):

$$\bar{\sigma}_s = \frac{E_s}{E_a} \cdot \sigma_{a, \max} + (\vartheta_a - \vartheta_s) E_s (\bar{t} - t_v)$$

²⁰⁾ Für die Gesamtseilspannung (auch kombinierte Seilspannung bzw. Gleichspannung genannt) gilt bekanntlich:

$$\sigma_{-25} = \frac{\sigma_{a, \max}}{1 + \frac{1}{n}} + \frac{\sigma_{s, -25}}{1 + n} \text{ bei Tiefsttemperatur}$$

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma_{a, \max}}{1 + \frac{1}{n}} + \frac{\bar{\sigma}_s}{1 + n} \text{ bei Zusatzlast}$$

Ausgangsspannung $\bar{\sigma} = \bar{\sigma}_{(G.)} = 8,56 \text{ kg/mm}^2$. ²¹⁾ Bei Tiefsttemperatur wird das Aluminium hier nicht mehr voll ausgenützt; die wirklich auftretende Tiefsttemperaturspannung ist kleiner als die vorher — ohne Rücksicht auf die gegebene Spannweite — ermittelte Grenzspannung $\sigma_{-25, (K.)}$; das wirklich auftretende σ_{-25} ist entweder aus der Zustandsgleichung oder graphisch zu ermitteln.

Der Ausgangspunkt für die Ermittlung nach dem Singerverfahren liegt beim Schnitt der Parabel $\bar{\sigma} = 8,56 \text{ kg/mm}^2$ mit der Wagrechten $z_a = 2,385 \cdot 200 = 477 \text{ m}$; dieser Punkt \bar{A}_{-5} ist herabzulenken nach Punkt A_{-5} (Abb. 3) ²²⁾; hier ist anzulegen (mit -5°) die Normalskala der Tafel I, wonach man folgende φ als wirkliche Durchhangsprozentatz-Werte ablesen kann:

²¹⁾ Auch für das Seil als Ganzes wird der Höchstseilzug erreicht bei Zusatzlast d. h. $S_{\max} = \bar{S} = q \cdot \bar{\sigma} = 143,5 \cdot 8,56 = 1228 \text{ kg}$.

²²⁾ Rechnerisch folgt der Abstand des Punktes A_{-5} von der Z-Linie aus:

$$Z \div A_{-5} = \frac{1}{24 (10^6 \vartheta)} \left(\frac{a \bar{\sigma}}{\sigma} \right)^2 - \left(\frac{\bar{\sigma}}{\vartheta E} \right) = \frac{1}{448,8} \left(\frac{200 \cdot 8,586}{8,56} \right)^2 - \frac{8,56}{0,135} = 26 \frac{1}{3}^0$$

Die Ermittlung des zweiten Gliedes $\left(\frac{\bar{\sigma}}{\vartheta E} \right)$ kann entfallen,

wenn man in Tafel I Gebrauch macht von der $\left(\frac{\bar{\sigma}}{\vartheta E} \right)$ -Skala, die in der Temperaturzähllinie Z ihren Nullpunkt hat. Auf dieser Wagrechten ist der Teilpunkt für $\bar{\sigma} = 8,56$ aufzusuchen und es ist von diesem Punkt aus das erste Glied $\frac{1}{24 (10^6 \vartheta)} \left(\frac{a \bar{\sigma}}{\sigma} \right)^2$ nach rechts abzutragen; damit ist Punkt A_{-5} festgelegt.

Temperatur- und Last-Zustand	— 25°	— 15°	— 5°	0°	+ 10°	+ 20°	+ 30°	+ 40°	— 5° plus
	ohne Zusatzlast								Zusatzlast
in d. Tafel markierter wirklicher Durchhangsprozentatz φ (in $\frac{a}{100}$)	1,76 ‰	1,9 ‰	2,04 ‰	2,105 ‰	2,24 ‰	2,365 ‰	2,49 ‰	2,61 ‰	$\bar{\varphi} = \frac{a \bar{\sigma}}{80 \cdot \sigma} = \frac{21,465}{8,56} = 2,505 \text{ ‰}$
wirklicher Durchhang $f = \varphi \cdot \frac{a}{100}$	3,52 m	3,8 m	4,08 m	4,21 m	4,48 m	4,73 m	4,98 m	5,22 m = f_{\max}	$\bar{f} = a \bar{\varphi} = 5,01 \text{ m}$
(Kombinierte) Seilbeanspruchung $\sigma = \frac{a \delta}{80 \varphi} = \frac{9}{\varphi} \text{ in kg/mm}^2$	5,11 kg/mm ²	4,74 kg/mm ²	4,41	4,275	4,02	3,81	3,615	3,45	$\bar{\sigma}$ = Ausgangsspannung = 8,56 kg/mm ²
Seilzug $S = q \cdot \sigma = 143,5 \cdot \sigma$	$S=732$ —25 kg	—	—	$S=632$ —5 kg	—	—	—	$S=495$ +40 kg	$\bar{S} = 1228_{\text{kg}} = S_{\max}$

$\delta_s = 7,95 \text{ g/cm}^3$	$\frac{E_s}{22,000 \text{ kg/mm}^2}$	$\vartheta_s = 11 \cdot 10^{-6}$
$\delta_a = 2,75 \text{ g/cm}^3$	$\frac{E_a}{7150 \text{ kg/mm}^2}$	$\vartheta_a = 23 \cdot 10^{-6}$
	$\frac{E_s}{E_a} = 3,077$ $\frac{E_a}{E_s} = 0,325$	$\vartheta_a - \vartheta_s = 12 \cdot 10^{-6}$

Aus den Gleichungen 1.) bis 3.) folgen die kombinierten Seil-Festwerte:

(Kombin.) Seil-Eigengewichtswert $\delta = 3,73 \text{ g/cm}^3$
(Kombin.) Seil-Elastizitätsmodul $E = 9960 \text{ kg/mm}^2$
(Kombin.) Seil-Wärmedehnwert $\vartheta = 17,96 \cdot 10^{-6}$

Für Zusatzlast ($180 \sqrt{\bar{d}} = 180 \sqrt{21} = 825 \text{ g/m}$) folgt das Einheitsgewicht einschliesslich Zusatzlast
 $\bar{\delta} = \delta + \frac{825}{q} = 3,73 + \frac{825}{261,6} = 6,88 \text{ g/cm}^3$; dem
entspricht ein Aneisungsverhältnis $\alpha = \frac{\bar{\delta}}{\delta} = \frac{6,88}{3,73} = 1,845$.

Angenommen sei eine Höchstbeanspruchung für Al:
 $\sigma_{a, \max} = 9 \text{ kg/mm}^2$.

Damit folgen die Grenzspannungen für Aluminiumausnützung:

Grenzspannungen für Al-Ausnützung bei { a) Tiefsttemperatur und den kleinsten Spannweiten b) Zusatzlast und den größten Spannweiten	
a) bei Tiefsttemperatur (-25°) und Kleinstspannweiten	b) bei Zusatzlast und Grösstspannweiten
<p>Stahl-Grenzspannung:</p> $\sigma_{s, -25, (K.)}^{\circ} = \frac{E_s}{E_a} \cdot \sigma_{a, \max} + (\vartheta_a - \vartheta_s) E_s (t_{\min} - t_v) =$ $\underbrace{3,077 \cdot 9}_{27,69} + \underbrace{12 \cdot 10^{-6} \cdot 22 \cdot 10^3}_{0,264} (-25 - 15) =$ $17,143 \text{ kg/mm}^2$	<p>Stahl-Grenzspannung:</p> $\bar{\sigma}_{s, (G.)}^{\circ} = \frac{E_s}{E_a} \cdot \sigma_{a, \max} + (\vartheta_a - \vartheta_s) E_s (\bar{t} - t_v) =$ $27,69 + 0,264 (-5 - 15) = 22,413 \text{ kg/mm}^2$
<p>Seil-Grenzspannung (kombinierte):</p> $\sigma_{-25, (K.)}^{\circ} = \frac{\sigma_{a, \max}}{1 + \frac{1}{n}} + \frac{\sigma_{s, -25, (K.)}^{\circ}}{1 + n} =$ $\frac{9}{1 + 0,2334} + \frac{17,14}{1 + 4,285} = 10,54 \text{ kg/mm}^2$	<p>Seil-Grenzspannung (kombinierte):</p> $\bar{\sigma}_{(G.)}^{\circ} = \frac{\sigma_{a, \max}}{1 + \frac{1}{n}} + \frac{\bar{\sigma}_{s, (G.)}^{\circ}}{1 + n} =$ $7,3 + \frac{22,41}{1 + 4,285} = 11,54 \text{ kg/mm}^2$

Damit ist einzugehen in die Berling'sche Gleichung

für die kritische Spannweite:

$$a_{kr, B} = 100 \sqrt{\frac{\bar{\sigma}_{(G.)}^{\circ} - \sigma_{-25, (K.)}^{\circ} + \vartheta E (\bar{t} - t_{\min})}{\frac{E}{2400} \left\{ \left(\frac{\bar{\delta}}{\bar{\sigma}_{(G.)}^{\circ}} \right)^2 - \left(\frac{\delta}{\sigma_{-25, (K.)}^{\circ}} \right)^2 \right\}}} = 100 \sqrt{\frac{11,54 - 10,54 + 0,1789 \cdot 20}{4,15 \left\{ \left(\frac{6,88}{11,54} \right)^2 - \left(\frac{3,73}{10,54} \right)^2 \right\}}} = 219_m > a$$

Oberkritisch ist also die Spannweite nicht. Um festzustellen, ob sie gemischtkritisch ist oder unter-

kritisch, müssen wir eingehen in die Weil'sche Gleichung für die kritische Spannweite:

$$a_{kr} = \sigma_{\max} \cdot \sqrt{\frac{24 (10^6 \vartheta) [\bar{t} - t_{\min}]}{\bar{\delta}^2 - \delta^2}} = \sigma_{-25, (K.)}^{\circ} \cdot 4,9 \sqrt{\frac{10^6 \vartheta [\bar{t} - t_{\min}]}{\bar{\delta}^2 - \delta^2}} = 10,54 \cdot 4,9 \sqrt{\frac{17,96 [-5 - (-25)]}{6,88^2 - 3,73^2}} =$$

$$169,5_m < a$$

Somit ist die vorliegende Spannweite gemischtkritisch d. h.: Ausgangspunkt für die Zustandsgleichung oder eine Durchhangstafel ist die Tiefsttemperatur-Grenzspannung $\sigma_{-25} = \sigma_{-25, (K.)}^{\circ} = 10,54 \text{ kg/mm}^2$; dage-

gen wird der Höchstseilzug erreicht bei Zusatzlast, und zwar bleibt die Höchstseilspannung unter dem Extremwert „Grenzseilspannung für Al-Ausnützung bei Zusatzlast $\bar{\sigma}_{(G.)}^{\circ}$ “.

Im Singerdiagramm ist, da der allgemeinste Fall (durchwegs von der Tafel abweichende Festwerte) vorliegt, alles umzurechnen: Ausgangsspannung,

Temperaturdifferenzskala und Durchhangswerte. Die Umrechnungsfaktoren sind:

$$\text{für Spannung: } F_{\sigma} = \sqrt[3]{93,57 \left\{ \frac{1}{\frac{E}{1000} \cdot \delta} \right\}} = \sqrt[3]{93,57 \left\{ \frac{1}{9,96 \cdot 3,73} \right\}} = 0,8776$$

$$\text{für Temperatur: } F_t = \frac{\vartheta}{18,7 \cdot 10^{-6}} \sqrt[3]{\left\{ 0,4986 \frac{E}{1000} \right\}^2} = \frac{17,96}{18,7} \sqrt[3]{\left\{ 0,4986 \cdot \frac{9,96}{3,73} \right\}^2} = 1,157$$

$$\text{für Durchhang: } F_{\varphi} = \sqrt[3]{\frac{1}{\left(\frac{E}{1000} \right) \cdot \delta} \cdot 2,0055} = \sqrt[3]{\frac{1}{2,67} \cdot 2,0055} = 0,9076$$

Die *umgerechnete Ausgangsspannung* ist also $\sigma_{\text{umg.}} = F_{\sigma} \cdot \sigma_{-25^{\circ}} = 0,8776 \cdot 10,54 = 9,25 \text{ kg/mm}^2$; die diesem Wert entsprechende Parabel (Abb. 5) ist zum Schnitt zu bringen mit der Wagrechten $a = 200_m$; dies ergibt den Ausgangspunkt A_{-25} . Hier ist mit dem Skalenpunkt -25° anzulegen jene Skala, die man erhält aus der Umrechnung mit $F_t = 1,157$; Anlegskalenlänge ist also $(-25^{\circ} + 40^{\circ}) \cdot 1,157 = 75,2 \text{ mm}$; damit folgen die Tafelablesungen φ_{Ta} der nachstehenden Tabelle; die wirklichen Durchhangsprozentsatz-Werte φ (in $\frac{a}{100}$) folgen aus der Multiplikation mit Umrechnungsfaktor $F_{\varphi} = 0,9076$.

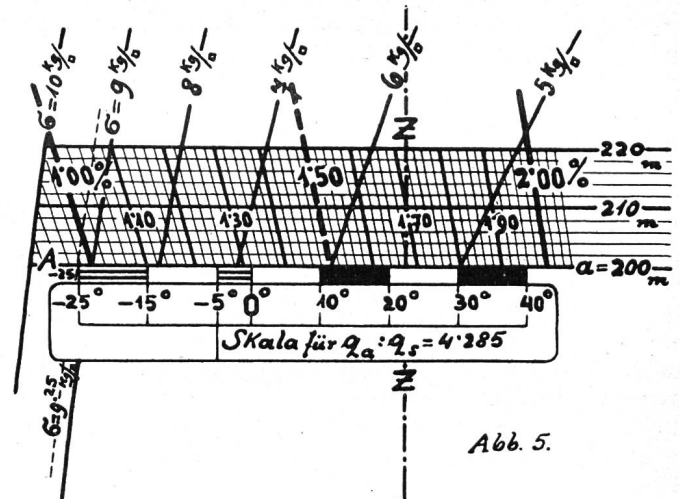


Abb. 5.

Temperatur- und Last-Zustand	-25°	-15°	-5°	0°	+10°	+20°	+30°	+40°	-5° plus
	ohne Zusatzlast								Zusatzlast
In der Tafel markierter Durchhangsprozentsatz φ_{Ta}	0,975 %	1,1 %	1,243 %	1,32 %	1,475 %	1,635 %	1,795 %	1,955 %	$\bar{\varphi}_{Ta} = 1,69 \%^{25)}$
Wirklicher Durchhangsprozentsatz $\varphi = 0,9076 \varphi_{Ta}$	0,885 %	0,998 %	1,128 %	1,198 %	1,339 %	1,484 %	1,63 %	1,775 %	$\bar{\varphi} = 0,9076 \bar{\varphi}_{Ta} = 1,538 \%$
Wirklicher Durchhang $f = \varphi \frac{a}{100}$	1,77 m	2,00 m	2,26 m	2,40 m	2,68 m	2,97 m	3,26 m	2,55 m	$\bar{f} = 3,17 \text{ m} = f_{\text{max}}$
Kombinierte Seilbeanspruchung $\sigma = \frac{a \delta}{80 \varphi} = \frac{9,325}{\varphi} \text{ in kg/mm}^2$	10,54 = wirkliche Ausgangsspannung	9,34	8,27	7,78	6,95	6,28	5,72	5,25	$\bar{\sigma} = \frac{a \delta}{80 \bar{\varphi}} = \frac{17,2}{\bar{\varphi}} = 11,18$
Seilzug $S = \sigma q = \sigma \cdot 261,6$	$S = 2757_{-25} \text{ kg}$	—	$S = 2170_{-5} \text{ kg}$	—	—	—	—	$S = 1574_{+40} \text{ kg}$	$\bar{S} = \bar{\sigma} q = 2930_{\text{kg}} = S_{\text{max}}$

²⁵⁾ Dieser Wert ergibt sich durch Hinaufloten des Punktes A_{-5} bis zum Schnitt mit der Wagrechten $za = 1,845 \cdot 200 = 369_m$.