

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 47 (1956)

Heft: 19

Artikel: Sonderspannweiten der Festigkeitsrechnung von Freileitungen beliebiger Neigung

Autor: Kohler, K.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060112>

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: 14.01.2026

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

wie wir sie in Däniken als Geschenk von Motor-Columbus bereits besitzen, zur Verfügung. So war es möglich, nach erfolgter Umschaltung dieser drei Transformatorenpole in der Fabrik, Ableiterversuche im Herbst des Berichtsjahres wieder aufzunehmen.

Bei der Durchführung von Schaltversuchen an diesen Transformatoren trat leider wieder ein Defekt eines Transformatorpolis ein, der noch zu beheben sein wird. Diese nicht vorausgesehenen Defekte verzögerten den Ausbau in Däniken und waren für die Erledigung der Versuchsaufträge sehr hinderlich.

Gegen Schluss des Berichtsjahres zeigte sich, dass der aus dem Jahre 1937 stammende Kabel-Stossgenerator im Holzgerüst zu faulen beginnt, trotz des jährlichen Anstrichs mit Karbolineum. Wir sind genötigt bald an seinen Ersatz zu denken.

Sehr erfreulich war dagegen der Erfolg einer Umfrage nach gebrauchten Werkzeugmaschinen für unsere Werkstätte in Däniken. Wir erhielten von der MFO eine grosse Drehbank, von Landis & Gyr eine Bohrmaschine und eine Fräse und von Sprecher & Schuh eine weitere Bohrmaschine, alles geschenkweise. Ferner haben uns die Atel eine Reihe von Kabelstücken für den Ausbau der Steuerleitungen überlassen.

5. Sitzungen und Veröffentlichungen

Die FKH hielt im Berichtsjahr nur eine Sitzung im Oktober in Luzern ab, an der die Traktanden der üblichen Frühlings- und Herbstversammlung zugleich erledigt wurden. Diese Zusammenfassung beider Versammlungen war durch die übermässige Beanspruchung durch die Ausbau- und Reparaturarbeiten bedingt, weswegen nur wenig grundsätzliche Forschungsarbeit geleistet werden konnte. An der Versammlung wurde von R. Pichard ein allgemeiner Bericht über die

Resultate von Erdschlussmessungen im 50-kV-Netz des Elektrizitätswerkes Basel erstattet. Anschliessend wurde von der Versammlung das Versuchsfeld in Mettlen unter Führung von Obering. Schiller besichtigt.

Das Arbeitskomitee hielt im Berichtsjahr zwei Sitzungen ab, an denen neben den geschäftlichen Traktanden die Ausbaurbeiten und die Resultate der laufenden Untersuchungen diskutiert wurden. Dabei wurde auch Beschluss gefasst über das Vorgehen bei weiteren Koronaversuchen, welche nach Aufhebung der speziellen Koronagruppe, nunmehr von der FKH selber bearbeitet werden.

Zur Diskussion kamen ferner Fragen des Personalmanagements, sowie der Rücktritt von A. Kleiner als dem Delegierten des SEV und VSE in der FKH infolge Erreichens der Altersgrenze. Der Vorsitzende dankte A. Kleiner für seine langjährige Mitarbeit im Arbeitskomitee.

Im Berichtsjahr wurde vom Versuchsleiter ein ausführlicher Bericht über die Einrichtungen und Resultate der Blitzmessungen auf dem Monte San Salvatore im Bulletin des SEV veröffentlicht¹⁾. Von diesem Aufsatz ist ein wesentlich reichlicher dokumentierter Sonderdruck Anfang 1956 zuhanden der Mitglieder der FKH erschienen.

Der Bericht von R. Pichard betreffend die Messungen von Überspannungen als Folge von Erdschlüssen in Netzen mit isoliertem Nullpunkt, welche in Däniken gemacht wurden, war 1954 der Versammlung der FKH in Bern unterbreitet worden. Er ist nun auch im Bulletin des SEV erschienen²⁾.

Weiter wurde über zwei am Hochspannungslaboratorium der ETH durchgeführte Doktorarbeiten von R. Rutz und E. Trümpy berichtet. Diese Arbeiten werden den Mitgliedern der FKH ebenfalls zugestellt werden. Prof. Dr. K. Berger

¹⁾ Bull. SEV Bd. 46(1955), Nr. 9, S. 405...424.

²⁾ Bull. SEV Bd. 47(1956), Nr. 11, S. 485...517.

Sonderspannweiten der Festigkeitsrechnung von Freileitungen beliebiger Neigung

Von K. Kohler, Karlsruhe

621.315.17.0.56.1.001.24

Mit üblichen Lastannahmen werden zur Feststellung der Eingangswerte für die sog. Zustandsgleichung der Freileitungsseile zwei kritische Spannweiten auch bei ungleich hohen Aufhängepunkten begründet. Ferner werden die grössten Spannweiten, die überhaupt noch ausführbar sind, nachgewiesen.

En se basant sur les suppositions habituelles concernant la charge, l'auteur justifie deux portées critiques, également avec points d'appui de hauteurs inégales, pour déterminer les valeurs initiales de l'équation d'état des conducteurs câblés de lignes aériennes. Il montre en outre quelles sont les portées maxima qui peuvent encore être réalisées.

Die Durchhangsberechnung der Freileitungsseile kennt im allgemeinen zwei Lastfälle, bei denen die zulässigen Spannungen ($\sigma_{zul.}$) bei der üblichen Sicherheit nicht überschritten werden dürfen. Zunächst ist es selbstverständlich, dass der Werkstoff durch seine Eigenbelastung bei der tiefsten Temperatur δ_{min} nicht überbeansprucht wird. Regelmässig sind aber noch Zusatzlasten (Wind, Eis, usw.) bei einer Zwischentemperatur δ_z zu beachten, die die Leiter ebenfalls nicht über Gebühr beanspruchen dürfen. Welcher der beiden Belastungsfälle die grösste Baustoffbeanspruchung überhaupt bedingt, entscheidet bekanntlich die (erste) kritische Spannweite $a_{kr.1}$, die für Felder gleich hoher Aufhängepunkte definiert ist.

Darüber hinaus kann aber noch der Nachweis verlangt sein, dass die Seilspannung bei mehrfacher (n -facher) Zusatzlast, also ebenfalls bei δ_z , eine bestimmte Schranke geringerer aber noch als ausreichend angesehener Sicherheit z. B. derjenigen der Dauerzugfestigkeit σ_D nicht überschreitet. Dieser Lastfall wird dann allein massgebend, wenn die Länge eines Spannfeldes eine im einzelnen bestimmt

bare Grösse übersteigt. Dieser Sonderwert hat daher grundsätzlich dieselbe kennzeichnende Eigenschaft wie $a_{kr.1}$. Es erscheint daher richtiger, hier von einer zweiten kritischen Spannweite $a_{kr.2}$ und nicht von einer Grenzspannweite zu sprechen, auch schon weil mit dem zweiten Begriff irrtümlich die Vorstellung verknüpft werden könnte, dass grössere Spannweiten nicht durchführbar sind.

Baustofffestigkeit und Last bestimmen aber tatsächlich eine Größtspannweite a_{max} , die aus zwängenden Gründen im Einzelfall nicht überschritten werden kann.

1. Bedeutung der Zustandsgleichung beim geneigten Feld

G. Schmidt [1]¹⁾ zeigte, dass die bekannte Gleichung

$$\frac{a^2}{24} \left[\left(\frac{\gamma_1}{\sigma_{m1}} \right)^2 - \left(\frac{\gamma_0}{\sigma_{m0}} \right)^2 \right] = \alpha(\sigma_{m1} - \sigma_{m0}) + \varepsilon(\delta_1 - \delta_0) \quad (1)$$

(γ bezogenes Leitergewicht, α bzw. ε elastische bzw.

¹⁾ Siehe Literaturverzeichnis am Schluss des Aufsatzes.

thermische Dehnungszahl) die Zustandsänderungen, d. h. den Übergang der Werte mit Index «0» (Ausgangszustand) auf diejenigen mit Index «1» auch beim beliebig geneigten Feld richtig beschreibt, wenn man nur unter a den waagrechten Stützpunktabstand und unter σ_m beider Indizes die im Punkte der grössten Auslenkung des Seiles aus der Feldsehne vorhandene und in Richtung dieser Sehne im ganzen Feld wirkende Spannung (Sehnenspannung) versteht.

Die überhaupt grösste Spannung tritt stets am höheren der beiden Aufhängepunkte (σ_B) auf. Ist dieser Wert auf σ_{zul} bzw. auf σ_D zu begrenzen, dann sind diese Grössen für den Eingang in Gl. (1) zunächst auf die Sehnenspannungen σ_{mzul} und σ_{MD} umzurechnen. Für den Zusammenhang zwischen σ_B und σ_m wurde an anderer Stelle [2] über die Gleichung der Kettenlinie die folgende Beziehung begründet:

$$\sigma_B = \sigma_m \cos \beta \cosh (\beta'' + \psi) \quad (2)$$

mit

$$\psi = \frac{a' \gamma}{2 \sigma_m} = \frac{a \gamma}{2 \sigma_m \cos \beta} \quad (3)$$

$$\operatorname{tg} \beta' = \frac{\psi}{\sinh \psi} \operatorname{tg} \beta \quad (4)$$

und

$$\beta'' = \operatorname{arsinh} (\operatorname{tg} \beta') \quad (5)$$

(a' Schrägspannweite, ψ Feldkenngrösse, β Feldneigungswinkel, $\operatorname{tg} \beta'$ Tangentenneigung im Feldmittelpunkt.) Das Nomogramm in Fig. 1 gestattet β'' bei gegebenen ψ und $\operatorname{tg} \beta$ nach den Gl. (4) und (5) zu bestimmen.

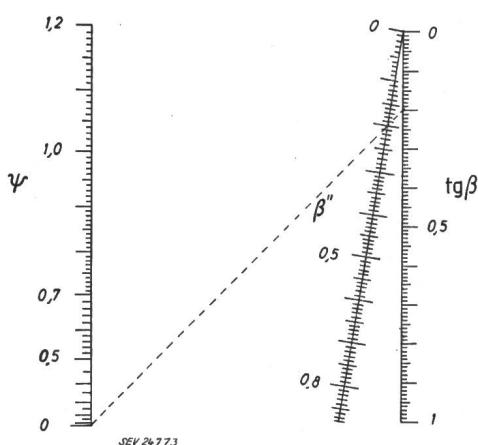


Fig. 1

Nomogramm zur Bestimmung des Hilfswertes β''
tg β Feldneigung; ψ Feldkenngrösse; β'' Hilfsgrösse nach besonderer Definition

Führt man die weiteren Hilfswerte

$$\psi_B = \frac{a \gamma}{2 \sigma_B \cos \beta} \quad (6)$$

und

$$\psi' = \psi + \beta'' \quad (7)$$

ein, dann geht Gl. (2) über in

$$\psi_B \cosh \psi' + \beta'' = \psi' \quad (8)$$

und lässt sich gemäss Fig. 2 als Nomogramm darstellen. Die Grösse β'' ist nun sehr wenig von der Feldkenngrösse ψ abhängig und kann daher in einer ersten Näherung mit $\psi = \psi_B$ (oder mit $\psi = 0$) und der tatsächlich vorhandenen Feldneigung mit dem Nomogramm in Fig. 1 ermittelt werden. Mit diesem Wert erhält man mit Hilfe des Nomogrammes in Fig. 2 die erste Näherung von ψ'_1 bzw.

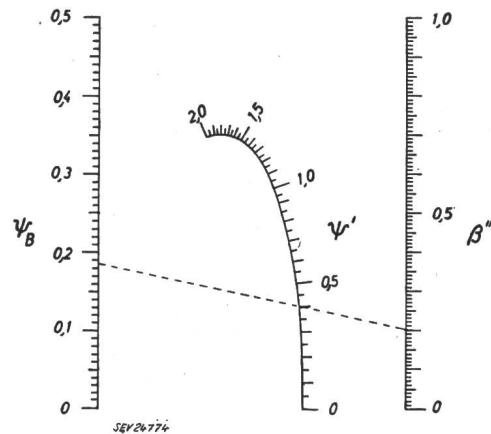


Fig. 2
Nomogramm zur Ermittlung des Hilfswertes ψ'
 ψ_B , ψ' und ψ_B Hilfswerte nach besonderer Definition

nach Gl. (7) von $\psi_1 = \psi'_1 - \beta''$. Über ψ_1 lässt sich β'' mit Fig. 1 genauer bestimmen und zu einer Verbesserung von ψ' bzw. ψ verwenden. Dieses iterative Verfahren lässt sich nötigenfalls fortsetzen. Durch Vergleich der Gl. (3) und (6) erhält man dann für die Sehnenspannung die Beziehung

$$\sigma_m = \frac{\psi_B}{\psi} \sigma_B \quad (9)$$

Als Beispiel möge ein hochfestes Stahlseil mit $\gamma_L = 7,8 \cdot 10^{-3}$, $\gamma_z = 3 \cdot 10^{-3}$, ($\bar{\gamma} = 10,8 \cdot 10^{-3}$) kg/cm^3 , $\sigma_{zul.} = 60 \text{ kg/mm}^2$ bei den Feldmassen $a = 2000 \text{ m}$, $a' = 2040 \text{ m}$ und $\operatorname{tg} \beta = 0,2$ untersucht werden. Hiebei ist $\beta'' = 0,2$ (Fig. 1), $\psi_B = 2040 \cdot 10,8 \cdot 10^{-3} / 2,60 = 0,184$ (Gl. 6) $\psi' = 0,4$ (Fig. 2) und $\psi = 0,4 - 0,20 = 0,2$ (Gl. 7). Eine Korrektur von β'' mit diesem Wert von ψ über Fig. 1 bringt keine Änderung; es ist dann $\sigma_{mzul.} = 60 \cdot 0,184 / 0,2 = 55,2 \text{ kg/mm}^2$.

Gl. (2) lässt sich auch in die Form

$$\psi_B = \psi / \cosh (\beta'' + \psi)$$

überführen, welche bei der ungefähr zulässigen Annahme eines konstanten β'' ein Maximum von ψ_B über die Extremwertbedingung $\beta'' = \operatorname{artgh}(1/\psi_{ex.}) - \psi_{ex.}$ erkennen lässt. In dem Bereich $0 \leq \operatorname{tg} \beta \leq 1$ schwanken die Werte von $\psi_{ex.}$ zwischen 1,035 und 1,2; nimmt man einen Mittelwert von 1,15, dann ist $\psi_{ex.} / \sinh \psi_{ex.} = 0,82$ und damit $\beta'' = \operatorname{arsinh}(0,82 \operatorname{tg} \beta)$. Anderseits liefern die tatsächlich ermittelten Werte von $\psi_{ex.}$ über die kurz zuvor angegebene Gleichung von ψ_B die entsprechenden Maximalwerte $\psi_{B \max}$ als Funktion von β'' . Beide Beziehungen zusammen führen dann zur Doppelkurve in Fig. 3. Diese Werte von $\psi_{B \max}$ können überhaupt nicht überschritten werden; daraus folgt

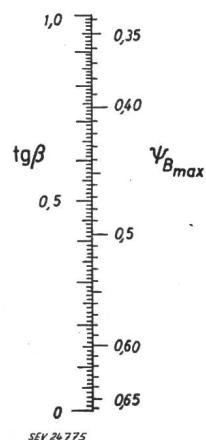
Fortsetzung des allgemeinen Teils auf Seite 881
Es folgen «Die Seiten des VSE»

Fortsetzung von Seite 864

Sonderspannweiten der Festigkeitsrechnung von Freileitungen beliebiger Neigung (Fortsetzung)

eine insbesondere für Größtspannweiten bedeutsame Bemessungsregel

$$\frac{a' \gamma}{2 \sigma_B} \leq \psi_{B \max} \quad (10)$$



Mit Hilfe der mit der Kettenlinie abgeleiteten Zustandsgleichung [3] liesse sich übrigens zeigen, dass Gl. (1) mit hoher Genauigkeit bei der Bestimmung kritischer Spannweiten verwendet werden kann, wenn nur hiebei die entscheidenden Quotienten γ_0/σ_{m0} und γ_1/σ_{m1} nicht ungefähr gleich gross sind.

Fig. 3
Doppelleiter zur Bestimmung von $\psi_{B \max}$
 $\text{tg}\beta$ Feldneigung; $\psi_{B \max}$ Hilfswert nach
besonderer Definition

2. Die erste kritische Spannweite

Bei der Bestimmung von Spanntafeln (Durchhang des eigenbelasteten Seiles in Funktion der Temperatur) sind als Werte des Ausgangszustands in Gl. (1) $\sigma_0 = \sigma_{zul.}$ bzw. $\sigma_0 = \sigma_{mzul.}$ und entweder $\gamma_0 = \gamma_L$ (bezogenes Eigengewicht des Leiters) und $\delta_0 = \delta_{min}$ oder $\gamma_0 = \bar{\gamma}$ (bezogenes Leitergewicht des normal zusätzlich belasteten Leiters $= \gamma_L + \gamma_z$ mit γ_z als der bezogenen Zusatzlast) und $\delta_0 = \delta_z$ zu verwenden. Setzt man beide möglichen Zustände in Gl. (1) ein, so lässt sich diese bekanntlich nach $a_{kr.1}$ auflösen

$$a_{kr.1} = \sigma_{zul.} \sqrt{\frac{24 \varepsilon (\delta_z - \delta_{min})}{\bar{\gamma}^2 - \gamma_L^2}} \quad (11)$$

(vgl. [4]). Da die der Gl. (1) entsprechenden Zustandskurven ganz allgemein um so steiler gegenüber der Temperaturachse verlaufen, je kleiner die Spannweite ist [5], muss gefolgert werden, dass das eigenbelastete bzw. das zusätzlich belastete Seil den Eingang in Gl. (1) bestimmt, je nachdem im Einzelfall die Spannweite kleiner bzw. grösser als $a_{kr.1}$ ist.

Gl. (11) gilt im wesentlichen auch für geneigte Spannfelder, wenn man $\sigma_{zul.}$ durch $\sigma_{mzul.}$ ersetzt und beachtet, dass $a_{kr.1}$ der kritische Waagrechtsabstand der Stützpunkte ist. Das zusammen mit Fig. 1 und 2 begründete Verfahren der Bestimmung von $\sigma_{mzul.}$ aus $\sigma_B = \sigma_{zul.}$ kann nicht unmittelbar angewandt werden, da zur Ermittlung von σ_B nach Gl. (7) die Grösse von a ($a_{kr.1}!$) unbekannt ist. Eine erste Näherung ergibt sich aber nach Gl. (11) mit $\sigma_{mzul.} = \sigma_{zul.}$, wenn man also die Spannung im höheren Aufhängepunkt gleich derjenigen im Durchhangspunkt setzt. Mit diesem Wert lassen sich dann nach Gl. (6), mit $\gamma = \gamma_L$ bzw. $\gamma = \bar{\gamma} = \gamma_L + \gamma_z$ die zwei Parameter $\psi_B' = a_{kr.1} \gamma_L / 2 \sigma_{zul.}$ und $\psi_B'' = a_{kr.1} \bar{\gamma} / 2 \sigma_{zul.}$ bestimmen, die jetzt über die Nomogramme in Fig. 1 und 2 in der

beschriebenen Weise für das eigen- bzw. zusätzlich belastete Seil die zwei Sehnenwerte $\sigma'_{zul.}$ und $\sigma''_{mzul.}$ ergeben. Nach Gl. (1) ist die verbesserte kritische Waagrechtsspannweite

$$a_{kr.1} = \sigma'_{mzul.} \sqrt{\frac{24 \varepsilon (\delta_z - \delta_{min})}{\left(\frac{\sigma''_{mzul.}}{\sigma'_{mzul.}} \bar{\gamma}\right)^2 - \gamma_L^2}} \quad (12)$$

Mit diesem Wert kann erforderlichenfalls eine weitere Näherung eingeleitet werden. Die Eingangswerte für Gl. (1) sind dann

$$\begin{aligned} \text{für } a &\leq a_{kr.1}: & \text{für } a > a_{kr.1}: \\ \sigma_0 &= \sigma_{mzul.} & \sigma_0 &= \sigma''_{mzul.} \\ \gamma_0 &= \gamma_L & \gamma_0 &= \gamma \\ \delta_0 &= \delta_{min} & \delta_0 &= \delta_z \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} (13 \text{ a}) \\ (13 \text{ b}) \end{array} \right\} \quad (13 \text{ b})$$

Zu erwähnen wäre noch, dass eine Korrektur von $a_{kr.1}$ nach Gl. (12) bei den üblichen Voraussetzungen keine wesentliche Änderung des Ergebnisses der Gl. (11) ergibt, so dass in den Gl. (13a) und (13b) fast immer $\sigma_0 = \sigma_{mzul.} \approx \sigma_{zul.}$ gesetzt werden kann.

3. Die zweite kritische Spannweite

Ist die Spannung bei n -facher Zusatzlast noch auf σ_D ($\sigma_D > \sigma_{zul.}$) zu begrenzen, so gibt es ebenfalls eine Spannweite, bei welcher unter gewissen Voraussetzungen die normale und die n -fache Zusatzlast zugleich die zugelassenen Spannungen bedingen. In Gl. (1) ist für diese

$$\begin{aligned} \sigma_0 &= \sigma_{mzul.} & \gamma_0 &= \bar{\gamma} = \gamma_L + \gamma_z, \\ \sigma_1 &= \sigma_{mD}, & \gamma_1 &= \bar{\gamma}_n = \gamma_L + n \gamma_z \end{aligned}$$

und

$$\delta_0 = \delta_1 = \delta_z$$

zu setzen. Die Auflösung der Gl. (1) ergibt dann für die zweite kritische Spannweite die Gleichung

$$a_{kr.2} = \sqrt{\frac{24 \alpha (\sigma_{mD} - \sigma_{mzul.})}{\left(\frac{\bar{\gamma}_n}{\sigma_{mD}}\right)^2 - \left(\frac{\bar{\gamma}}{\sigma_{mzul.}}\right)^2}} \quad (14)$$

Bezeichnet man das Verhältnis des Gewichtes des n -fach belasteten Seils zu jenem des einfach zusätzlich belasteten Seils mit n' nach

$$n' = \frac{1 + nv}{1 + v} \quad (15)$$

(v Verhältnis der normalen Zusatzlast zum Eigengewicht des Leiters) gemäss Nomogramm in Fig. 4 und führt die weiteren Kürzungen

$$m = \frac{\sqrt{24 \alpha}}{\gamma_L} \quad (16)$$

$$\kappa_1 = \frac{\sigma_{mzul.}^{1/2}}{1 + v} \quad (17)$$

$$\kappa_2 = \sqrt{\frac{\sigma_{mD}}{\sigma_{mzul.}} - 1} \quad (18)$$

und

$$\kappa_3 = \sqrt{\frac{n'^2}{\left(\frac{\sigma_{mD}}{\sigma_{mzul.}}\right)^2} - 1} = \sqrt{\left(\frac{n'}{1 + \kappa_2^2}\right)^2 - 1} \quad (19)$$

ein, die der Doppelleiter Fig. 5, bzw. den Nomogrammen in Fig. 6, 7 und 8 entnommen werden können, dann ist auch

$$a_{kr.2} = m \frac{\kappa_1 \kappa_2}{\kappa_3} \quad (20)$$

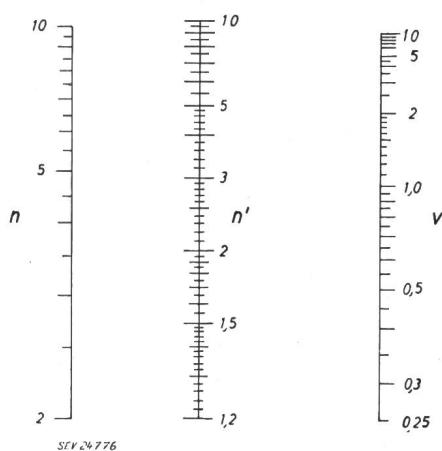


Fig. 4

Nomogramm zur Bestimmung des Gewichtsverhältnisses n' zwischen dem n -fach belasteten und dem normal zusätzlich belasteten Seil

v Verhältnis der normalen Zusatzlast zum Eigengewicht

Sowohl bei Spannfeldern gleich als auch ungleich hoher Stützpunkte sind die den höchstzulässigen Spannungen $\sigma_{zul.}$ und σ_D entsprechenden Sehnenswerte $\sigma_m zul.$ und σ_{mD} wie zuvor evtl. iterativ zu ermitteln.

Bei der Bestimmung von Spanntafeln sind dann bei a grösser als $a_{kr.2}$ zu wählen:

$$\begin{aligned} \sigma_0 &= \sigma_{mD}, \quad \gamma_0 = \bar{\gamma}_n = (1 + n v) \gamma_L, \\ \gamma_1 &= \gamma_L \text{ und } \delta_0 = \delta_z \end{aligned} \quad (21)$$

Falls $n' \leq \sigma_{mD} / \sigma_{mzul.}$ ist, wird κ_3 null oder imaginär. Die zweite kritische Spannweite entfällt dann und die Durchhangsverhältnisse sind allein unter Beachtung von $a_{kr.1}$ bzw. der normalen Zusatzlast zu untersuchen. Es ist aber auch denkbar, dass $a_{kr.2} < a_{kr.1}$ ist; dann ist die erste kritische Spannweite in der definierten Form bedeutungslos. Die n -fache Zusatzlast bei σ_{mD} tritt dann in Gl. (12) sofort mit der Eigenbelastung zusammen ein.

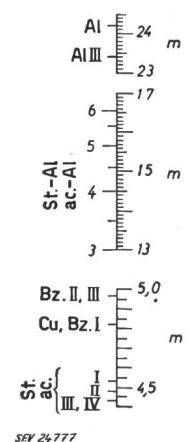


Fig. 5
Doppelleiter zur Bestimmung des Metallwertes m
St. Stahl; Bz. Bronze

Bei einem Bronzeseil sei $\gamma_L = 8,65 \cdot 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$, $\gamma_z = 24,25 \cdot 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$ ($v = \gamma_z / \gamma_L = 2,8$), $\sigma_D = 50 \text{ kg/mm}^2$ und $\sigma_{zul.} = 30 \text{ kg/mm}^2$. Ferner sei $\operatorname{tg} \beta = 0,2$ und $n = 2$.

Die erste Näherung findet man mit $\sigma_{mzul.} = \sigma_{zul.}$ und $\sigma_{mD} = \sigma_D$; hiemit wird $m = 4,97$ (Fig. 5), $\kappa_1 = 43$ (Fig. 6), $n' = 1,75$ (Fig. 4), $\kappa_2 = 0,82$ (Fig. 7), $\kappa_3 = 0,32$ [Gl. (19)] und damit $a_{kr.2} =$

$4,97 \cdot 43 \cdot 0,82 / 0,32 = 550 \text{ m}$ ($a' = 560 \text{ m}$). Mit Hilfe der Nomogramme in Fig. 1 und 2 ergibt sich für diese Spannweite $\sigma_{mzul.} = 26,5 \text{ kg/mm}^2$ und $\sigma_{mD} = 43,2 \text{ kg/mm}^2$. Durch Wiederholung des

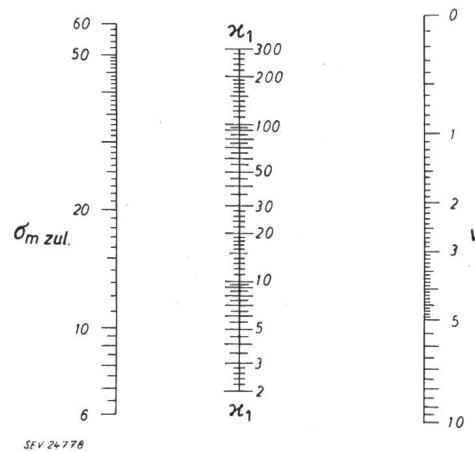


Fig. 6

Nomogramm zur Ermittlung des Hilfswertes κ_1
 v Verhältnis der Zusatzlast zum Eigengewicht; $\sigma_{mzul.}$ im Durchhangspunkt zulässige Spannung in kg/mm^2 bei normaler Sicherheit; κ_1 Hilfswert nach besonderer Definition

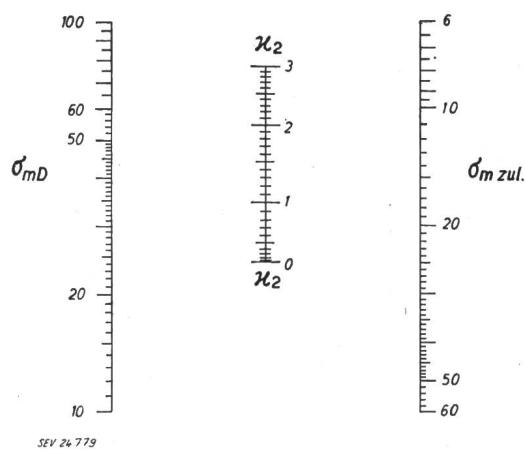


Fig. 7

Nomogramm zur Bestimmung des Hilfswertes κ_2
 $\sigma_{mzul.}$ bzw. σ_{mD} im Durchhangspunkt zulässige Spannungen in kg/mm^2 bei normaler bzw. einfacher Sicherheit; κ_2 Hilfswert nach besonderer Definition

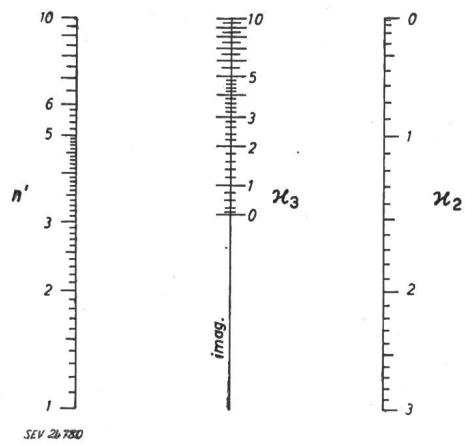


Fig. 8

Nomogramm zur Ermittlung des Hilfswertes κ_3
 n' Gewichtsverhältnis des n -fach belasteten Seils zum normal zusätzlich belasteten Seil; κ_2 und κ_3 Hilfswerte nach besonderer Definition

Rechnungsgang erhält man mit diesen Werten $\kappa_1 = 35,9$, $\kappa_2 = 0,83$, $\kappa_3 = 0,388$ und damit als weitere Näherung $a_{kr.2} = 382$ m. Eine Fortsetzung der Iteration würde das Ergebnis nicht mehr wesentlich ändern.

4. Die Größtspannweite

Ebenso wie ein lotrecht hängendes Seil nur eine durch die Tragfähigkeit des Querschnitts begrenzte Länge (Reisslänge) anzunehmen vermag, kann auch ein Seil an zwei Aufhängepunkten nicht beliebig weit gespannt werden. Gesamtgewicht und Festigkeit bedingen auch hier eine natürliche Schranke.

Beachtet man die Gleichungen (3), (6) und (7) und führt die Kürzung

$$\tau = \frac{\psi_B}{\psi} = \frac{\sigma_m}{\sigma_B} \quad (22)$$

ein, dann geht Gl. (8) auch über in $(a \gamma / 2 \sigma_m \cos \beta) = \operatorname{arcosh}(1/\tau) - \operatorname{arsinh}(\operatorname{tg} \beta')$, bzw. nach der Auflösung nach a in

$$a = 2 \frac{\sigma_B}{\gamma} \cdot \frac{\operatorname{arcosh} \frac{1}{\tau} - \operatorname{arsinh}(\operatorname{tg} \beta')}{\frac{1}{\tau}} \quad (23)$$

Obwohl $\operatorname{tg} \beta'$ im schrägen Feld geringfügig von ψ und damit von τ abhängt, kann man diese Neigung in Näherung konstant (etwa $\operatorname{tg} \beta!$) annehmen, und den Einfluss dieser Näherung nachträglich iterativ erfassen. Differenziert man Gl. (23) nach $1/\tau$ und setzt den Quotienten gleich null, so erhält man für die den Extremwert von a bedingende Größe τ_{ex} die Beziehung

$$\operatorname{arcosh} \frac{1}{\tau_{ex.}} + \frac{1}{\sqrt{1 - \tau_{ex.}^2}} = \operatorname{arsinh}(\operatorname{tg} \beta') \quad (24)$$

Die zweite Ableitung der Gl. (23) weist dem entsprechenden Wert von a die Eigenschaft eines Maximums zu. Gl. (24) ist in der Doppelleiter des Nomogramms in Fig. 9 dargestellt. Setzt man die

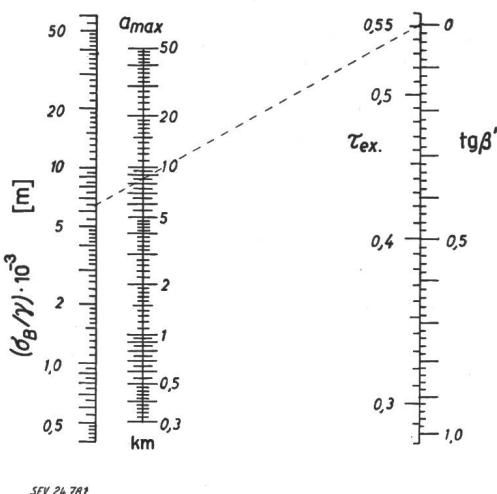


Fig. 9

Nomogramm zur Ermittlung der Größtspannweite σ_B höchstzulässige Spannung im höheren Aufhängepunkt in kg/mm^2 ; γ bezogenes Leitergewicht mit Zusatz in $\text{kg/m} \cdot \text{mm}^2$; $\operatorname{tg} \beta'$ Tangentenneigung in Feldmitte; $\tau_{ex.}$ Hilfswert nach besonderer Definition

Minimumsbedingung in Gl. (23) ein, dann ergibt sich als Größtwert der Waagrechtspannweite

$$a_{max} = 2 \frac{\sigma_B}{\gamma} \cdot \frac{\tau_{ex.}}{\sqrt{1 - \tau_{ex.}^2}} \quad (25)$$

gemäss Nomogramm in Fig. 9; hiebei bedeuten dann σ_B die Grenzfestigkeit (σ_D !) und γ das grösste bezogene Leitergewicht unter Beachtung aller Zusätze. Aus Gl. (25) folgt über Gl. (22) für die Feldkenngröße des extrem weitgespannten Seiles

$$\psi_{ex.} = \frac{1}{\sqrt{1 - \tau_{ex.}^2}} \quad (26)$$

Dieser Wert ist der Doppelleiter des Nomogramms in Fig. 10 zu entnehmen. Der Einfluss der schwachen Veränderlichkeit von $\operatorname{tg} \beta'$ von ψ lässt sich noch nachträglich über Gl. (4) berücksichtigen, welche in Fig. 10 für den hier vorliegenden Bereich nochmals erfasst wurde. Man braucht nur mit dem für $\operatorname{tg} \beta' = \operatorname{tg} \beta$ in Fig. 9 gefundenen Wert von $\tau_{ex.}$ in die Fig. 10 einzugehen und mit dem hiebei ermittelbaren genaueren Wert von $\operatorname{tg} \beta' a_{max}$ mit Hilfe der Fig. 9 nochmals zu bestimmen.

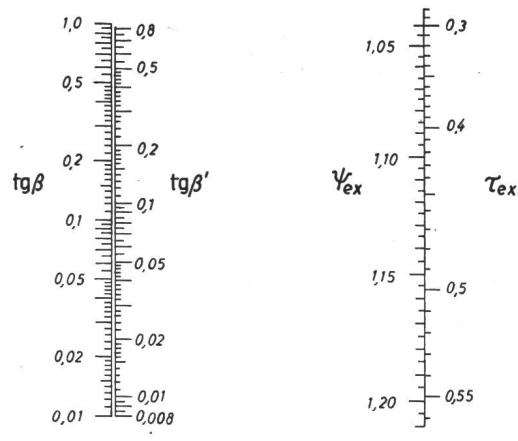


Fig. 10
Nomogramm zur Bestimmung der Tangentenneigung $\operatorname{tg} \beta'$ in Feldmitte
 $\operatorname{tg} \beta$ Feldneigung;
 $\tau_{ex.}$ und $\psi_{ex.}$ Hilfswerte nach besonderer Definition

Bei gleich hohen Aufhängepunkten ergibt sich die überhaupt grösste Spannweite einer Seilart. In diesem Fall ist nach den Fig. 9 und 10 $\tau_{ex.} = 0,553$, bzw. $\psi_{ex.} = 1,2$ und nach Gl. (25)

$$a_{max} = 1,325 \frac{\sigma_B}{\gamma} \quad (27)$$

Der bezogene Durchhang dieser Anordnung ist dann nach der Kettenlinie

$$\frac{f}{a} = \frac{\sinh^2 \left(\frac{\psi_{ex.}}{2} \right)}{\psi_{ex.}} = 0,337 = 33,7\% \quad (28)$$

Diese sicherlich sehr schlaffe Auslegung eines Seiles wird meistens wirtschaftlich nicht durchführbar sein.

Für ein hochwertiges Stahlseil seien $\sigma_{zul.} = 60 \text{ kg/mm}^2$, $\sigma_D = 120 \text{ kg/mm}^2$, $\gamma = 9,3 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m} \cdot \text{mm}^2$ und $\gamma_n = 10,8 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m} \cdot \text{mm}^2$. Da nach Gl. (19)

κ_3 mit $n' = 10,8/9,3 = 1,16$ und $\sigma_{mD}/\sigma_{mzul.} \approx 2$ imaginär wird, bestimmt die normale Zusatzlast bei allen Spannweiten die höchstzulässige Baustoffbeanspruchung. Es ist daher mit $\gamma = \bar{\gamma}$ und $\sigma_B = \sigma_{zul.}$ in Gl. (27) einzugehen; damit wird dann $a_{max} = 1,325 \cdot 60 \cdot 10^3 / 9,3 = 8550$ m (Fig. 9).

Literatur

- [1] Schmidt, G.: Die Berechnung des Durchhangs und der Beanspruchung von Freileitungen an ungleich hohen Aufhängepunkten. ETZ Bd. 49(1928), Nr. 6, S. 208...214.

- [2] Kohler, K.: Fluchtentafeln zur Berechnung von Kettenlinien beliebig geneigter Spannfelder von Freileitungen. E u. M Bd. 68(1951), Nr. 14, S. 333...336.
- [3] Kohler, K.: Einfluss der Kettenlinie auf die Zustandsänderung beliebig geneigter Spannfelder von Freileitungen. E u. M Bd. 68(1951), Nr. 19, S. 468...470.
- [4] Kohler, K.: Neue Fluchtentafeln zur Durchhangsbestimmung von Freileitungen beliebig geneigter Spannfelder. ETZ Bd. 71(1950), Nr. 10, S. 243...245.
- [5] Kohler, K.: Der Einfluss ungleicher Spannweiten auf Zugspannung und Durchhang von Freileitungen mit Stützenisolatoren. E u. M. Bd. 53(1935), Nr. 48, S. 565...568.

Adresse des Autors:

Dr. K. Kohler, Privat-Dozent, Putlitzstrasse 8, Karlsruhe/Baden (Deutschland).

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Verfärbung farbiger Objekte durch Licht

535.21 : 620.193.6

[Nach J. J. Balder: Verfärbung farbiger Objekte durch die Einwirkung von Tageslicht, Glühlampenlicht und Leuchtstofflampenlicht. Lichttechnik Bd. 8(1956), Nr. 2, S. 57...61]

Es ist hinlänglich bekannt, dass sich farbige Oberflächen von Gegenständen mehr oder weniger verfärbten. Handwerker und Künstler verwenden deshalb Farbstoffe, von denen sie auf Grund von Erfahrungen wissen, dass sie möglichst wenig verschieren, Farbchemiker versuchen Farben hoher Lichtbeständigkeit herzustellen, und Museumskonservatoren suchen die Kunstgegenstände vor nachteiligen Wirkungen durch das Licht zu schützen und sind darauf bedacht, die geeignete Lichtart für die Beleuchtung zu finden. Die nachteilige Wirkung farbiger Gegenstände besteht zur Hauptsache in der Verfärbung, die von Lichtart zu Lichtart und von Objekt zu Objekt verschieden sein kann und vornehmlich von der Wellenlänge des auffallenden Lichtes abhängt. Im grossen und ganzen bewirkt der kurzwellige Teil des Spektrums die stärkste Verfärbung.

In einer systematischen Untersuchungsreihe wurde die verfärbende Wirkung von vier Lichtarten, die wegen ihrer Farbwiedergabeeigenschaften oft in Betracht fallen, an verschiedenartigen Farbmustern, wie sie in der Praxis zur Verwendung gelangen, untersucht. Die Lichtarten waren:

1. Natürliches, vorwiegend diffuses Tageslicht, das durch 4 mm dickes Fensterglas gefiltert wurde;
 2. Glühlampenlicht von normalen 100-W-Lampen mit einer Farbtemperatur von etwa 2750 °K;
 3. Licht von Fluoreszenzlampe «warmton de Luxe»;
 4. Licht von Fluoreszenzlampe «weiss de Luxe».
- Die 80 verwendeten Farbmuster 5 verschiedener Gruppen bestanden aus flachen Proben, meist in Streifen von 4 × 10 cm, die z.T. zugedeckt, z.T. der Strahlung ausgesetzt wurden und zwar:
- a) 30 Ölfarben, auf Malerleinwand aufgetragen;
 - b) 13 Wasserfarben, auf Zeichenpapier aufgespritzt;
 - c) 20 Garnproben, die einzeln auf Zellonstreifen aufgewickelt waren, so dass 10...15 Fäden direkt nebeneinander lagen;
 - d) 12 Stoffproben;
 - e) 5 Wasserfarben, auf Zeichenpapier aufgestrichen.

Die Proben wurden senkrecht, nach Nordosten gerichtet, aufgestellt und von April bis August dem natürlichen Licht ausgesetzt. Die höchste Beleuchtungsstärke erreichte bei diffusem Licht je nach Jahreszeit 8000...13 000 lx, bei direkter Sonnenbestrahlung bis 20 000 lx und die Tagesdosen je nach Jahreszeit und Witterung 40 000...150 000 lxh. Die gesamte Belichtung während des Versuches betrug 8 Mlxh (8 Millionen Luxstunden). Die Temperatur entsprach der Zimmertemperatur.

Die Proben, die den übrigen 3 Lichtarten ausgesetzt waren, erhielten dieselbe Lichtdosis. Die Dauerbeleuchtungsstärke war bei Glühlampenlicht ca. 5500 lx; die Temperatur der Objekte lag 12...19 °C über der Zimmertemperatur. Bei den beiden Fluoreszenzlichtarten betrug die Dauerbeleuch-

tungsstärke ca. 7500 lx, und die Temperatur 15 °C über Zimmertemperatur.

Die Verfärbung farbiger Objekte wird von vielen Faktoren bestimmt. Unter diesen sind die folgenden von besonderer Bedeutung:

Spektrale Zusammensetzung der auffallenden Strahlung; Spektrale Reflexionsvermögen des Objektes; Chemische und photochemische Eigenschaften der Körperfärbungen, des Anstriches oder Lackes sowie Dicke und Temperatur der Farbschicht; Feuchtigkeitsgehalt und chemische Bestandteile der Atmosphäre, die auf die Objekte wirkt; Beleuchtungs- bzw. Bestrahlungsstärke und Bestrahlungsdauer.

Es ist kompliziert und zeitlich praktisch unmöglich, die Verfärbungseinflüsse unter genau den Bedingungen experimentell zu prüfen, wie sie in der Praxis tatsächlich vorkommen, aber der Wunsch, bald zu Ergebnissen zu gelangen, zwingt geraffte Versuche durchzuführen und Ungenauigkeiten in Kauf zu nehmen.

Die bestrahlten Farbmuster wurden von einigen Personen mit normalem Farbunterscheidungsvermögen visuell mit den entsprechenden unbestrahlten Mustern verglichen und nach folgender Skala bewertet:

0 = nicht verschossen	3 = ziemlich stark verschossen
1 = nur wenig verschossen, knapp feststellbar	4 = stark verschossen
2 = deutlich verschossen	5 = sehr stark verschossen

Objektive Farbmessungen wurden mit einem Donaldson-Kalorimeter an einigen Proben vorgenommen. Die Farbänderungen bestanden in einer Veränderung von Farbtönen und Sättigung und in einer Veränderung des Reflexionsgrades. Die Verschiebungen wurden in «Einheiten» nach einem besonderen Verfahren errechnet, und es zeigte sich, dass es zu keinen genaueren Resultaten als die subjektive Bewertung führt, jedoch viel Mühe und Zeit erfordert.

Der Mittelwert der 4 Verfärbungen einer Farbprobe unter den 4 Lichtarten kann als Maßstab für die Lichtbeständigkeit einer Probe dienen. Zusammenfassend lässt sich nun feststellen, dass bei den Ölanstrichen und den aufgespritzten Wasserfarben die mittleren Verfärbungen der verschiedenen Proben mehr voneinander abweichen als die Verfärbungen einer Probe unter den verschiedenen Lichtarten. Somit sind die besonderen Eigenschaften einer Probe von grösserer Bedeutung als die Unterschiede der verschiedenen Lichtarten. Bei den Garnen und Stoffen ist die Verfärbung bei Tageslicht weitaus stärker als bei den übrigen Lichtarten.

Beurteilt man auch den Einfluss der 4 Lichtarten, dann lässt sich im Mittel für alle 5 Farbgruppen hinsichtlich der verfärbenden Wirkung folgende Reihenfolge (von der geringsten zur stärksten Verfärbung fortschreitend) der Lichtarten feststellen:

- Fluoreszenzlampe «warmton de Luxe»;
- Glühlampen;
- Fluoreszenzlampe «weiss de Luxe»;
- Natürliches Tageslicht.

J. Guanter