

**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:** 14 (1936)

**Heft:** 2

**Artikel:** Seilrechnung für schlaff gespannte Freileitungsfelder

**Autor:** Nather, E. / Petroni, V.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-873440>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 16.01.2026

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

Obschon diese Methode ausgezeichnete Resultate liefert, zeigt es sich doch, dass von verschiedenen Stellen gemessene Resultate nicht immer vergleichbar sind. Es ist dies wahrscheinlich vor allem durch die mehr oder weniger gut erfüllte Bedingung einer vollständig diffusen Schallverteilung bedingt, dann aber auch durch Verschiedenheiten in den Materialien und deren Befestigungsart.

(Fortsetzung folgt.)

Bien que cette méthode donne des résultats remarquables, on constate qu'il n'est pas toujours possible de comparer entre eux les résultats obtenus par des organes différents. Il est probable que cela est dû avant tout au fait que les conditions pour une répartition totalement diffuse des sons sont plus ou moins bien remplies et qu'on emploie des matériaux différents et des moyens de fixation différents aussi.

(A suivre.)

## Seilrechnung für schlaff gespannte Freileitungsfelder.

Von E. Nather und V. Petroni, Wien.

In der Projektierung eines Freileitungsfeldes und bei der Montage desselben macht es bekanntlich einen wesentlichen Unterschied, ob das Feld *straff* d. h. mit geringem Durchhangsprozentsatz (um etwa 1 bis 3% der Spannweite) verlegt werden soll, oder aber *schlaff*, d. h. mit hohem Durchhangsprozentsatz (um etwa 10 bis 30%).

Die kürzesten, meist relativ am straffsten gespannten Spannungsfelder können nämlich erhebliche Ueberbeanspruchungen durch *Tiefsttemperaturen* erleiden, wenn einer bestimmten, jeweils genau zu ermittelnden Montagetemperatur die Montage-spannung nicht genau angepasst wird, und mittelmässig lange, straff bis mässig angespannte Felder können gefährliche Ueberbeanspruchungen durch *Zusatzlasten* (Rauhreif) erleiden, wenn auf die jeweilige Montagetemperatur und die zugehörige Montagespannung nicht genau geachtet wird. Demgemäss werden für kürzere und mässig lange Spannungsfelder detaillierte Seilrechnungen gefordert und, so unangenehm auch mitunter seitens der Projektanten die Nötigung empfunden wird, die Beanspruchungen und Durchhänge für ganze Temperatur-Serien und ausserdem auch noch für verschiedene Aussenlastzustände nachzuweisen, so ist diese Notwendigkeit — in Anbetracht der verhältnismässigen *Straffheit*, mit welcher Freileitungsseile in der Regel verlegt werden — bei den gewöhnlichen *kleinen und mittelgrossen* Spannweiten einfach nicht zu umgehen.

Erst bei *ganz grossen* Spannweiten, die relativ *schlaff* ausgeführt werden müssen, wenn die für rauhere Klimate ausreichende rechnermässige Eisreisslast gewährleistet werden soll, erst hier wird die Seilrechnung so einfach, als sie vom Standpunkt des Projektstellers aus nur gewünscht werden kann. Hier reduzieren sich nämlich die vorerwähnten, für verschiedene Temperaturen oft stark variierenden Durchhänge bekanntlich auf einen *einzigen*, den *Ausgangsdurchhang* für eine bestimmte Zusatzlast; dieser Zusatzdurchhang kann auch für die Montage bei blosser Eigenlast beibehalten werden und dies nicht etwa nur für die Zusatzlasttemperatur, sondern praktisch für jede Temperatur, die tatsächlich zu gewärtigen ist, so dass das Feld sozusagen ganz *ohne Rücksicht auf Montagetemperatur* gespannt werden darf.

Mit der Ausmittlung von bloss 2 Werten — *Ausgangsdurchhang* einerseits, *Eisreisslast* je Laufmeter andererseits — ist bei derartigen, relativ schlaff verlegten Weitspannungen bereits alles erledigt: der

Ausgangsdurchhang stellt schon den Montagedurchhang dar, welche Temperatur auch immer bei der Montage herrschen mag, und die Eisreisslast (Meterbruchlast) ermöglicht es, auch die mechanische Widerstandsfähigkeit des Feldes zu beurteilen, über welche letztere die zugrundegelegte Höchstbeanspruchung an sich ja doch nur wenig oder nichts aussagt.

Dass für besonders lange und dementsprechend schlaff gespannte Felder die Parabelnäherung nicht mehr ausreicht, darauf wurde schon von Grünholz und G. Schmidt hingewiesen<sup>1)</sup>. Beide Autoren deuten auf die Korrekturen hin, die am Näherungsparabel-Resultat schon beim Durchhang vorzunehmen sind und dann noch hinterher an der Festpunktspannung, die hier schon so fühlbar von der konstanten Horizontalspannung abweicht, dass bereits von vornherein grössere Unterschiede zwischen beiden Spannungen zu gewärtigen sind. Mit Bezug auf letzteren Unterschied ist im Zusatznomogramm von Schwarzkopf ein bedeutsamer Schritt nach vorwärts zu sehen<sup>2)</sup>. In diesem Nomogramm — für Waagrecht- und Anstiegsfelder — kann nämlich der Höchstbeanspruchung im Festpunkt (bzw. am oberen Aufhängepunkt) von Haus aus Rechnung getragen werden, ohne dass es nötig wäre, die Ermittlung diesbezüglich erst nachträglich zu verbessern; in der ebenso einfachen als wertvollen Schwarzkopf'schen Durchhangsformel

$$\frac{2\sigma\omega}{cg} - \frac{h}{c} = \frac{25}{\varphi} + \frac{\varphi}{50}$$
 bedeutet nämlich  $\sigma\omega$  die Spannung am Festpunkt (bzw. Oberfestpunkt), die praktisch das eigentlich Massgebende ist (wobei  $c$  die schief gemessene Spannweite,  $h$  der Stützpunkthöhenunterschied,  $g$  das jeweilige Einheitsleitergewicht,  $\varphi$  der Durchhangsprozentsatz auf  $c$  bezogen). Die Durchhangsermittlung nach Schwarzkopf besteht aus 2 Schritten: erstens wird aus der zuletzt angeführten Gleichung bzw. einer graphischen Darstellung derselben der *Ausgangsdurchhang* bestimmt, und mit dem so gewonnenen Ausgangsdurchhang kann dann eingegangen werden in ein parabolisches  $\sigma$ ,  $\varphi$ ,  $t$ -Nomogramm wie von Riedlinger<sup>3)</sup>, Schwarz-

<sup>1)</sup> Vgl. Grünholz: Hochspannungsleitungen in gebirgigem Gelände, E. u. M. 1923, S. 401, Heft 28 bzw. Schmidt: Die Berechnung d. Durchhanges u. d. Beanspruchung von Freileitungen an ungleich hohen Aufhängepunkten, E. T. Z. 1928, S. 208, Heft 6.

<sup>2)</sup> E. u. M. 1929, S. 985, Abb. 3 (Heft 45).

<sup>3)</sup> E. u. M. 1923, S. 549.

kopf<sup>4)</sup>, Oettl<sup>5)</sup> oder in eine parabolische  $\sigma$ ,  $\varphi$ ,  $t$ -Schaulinientafel wie von Singer<sup>6)</sup>, Truxa<sup>7)</sup>). Die Verwendbarkeit sämtlicher parabolischer Durchhangsdiagramme hat durch die Schwarzkopfsche Durchhangsgleichung eine Erhöhung erfahren, denn es wird dann der Ausgangspunkt im Diagramm auf Grund der Kettenlinie exakt festgelegt und bloss die Zustandsänderung auf Grund der Parabel-Näherung ermittelt. Voraussetzung ist dabei nur: Anspannung *nicht allzu schlaff*, Steigung *nicht allzu steil*<sup>8)</sup>. Danach ist die Parabelnäherung schon sehr weitgehend selbst solchen Ausnahmefällen angepasst worden, für welche sie von vornherein gar nicht gedacht war. Immerhin aber sind ihrer Anwendbarkeit doch noch die erwähnten Grenzen gesetzt, und es scheint danach erklärlich, dass man unermüdlich daran gearbeitet hat, die verschiedenen teils rechnerischen, teils graphischen genauen Kettenlinienmethoden ihrem Endziel, einer einfachen und durchsichtigen Handhabung, näherzubringen. Besonders durchsichtig in ihrem Wesen und einfach in der Zeichnungsanfertigung erscheint die Methode der „Einheitskettenlinie“.

Um einen Vergleich mit der oben erwähnten modifizierten bzw. korrigierten *rein rechnerischen* Parabelmethode von Grünholz und Schmidt zu bekommen, wollen wir in der Folge das Schmidt'sche Beispiel (Waagrechtspannweite von 500 m) — sowohl für Waagrechtfelder wie für Anstiegfelder — auf Grund der Einheitskettenlinie, d. h. vorwiegend *graphisch* behandeln; nur die von Schmidt verwendeten alten Festwerte sollen dabei, da sie von den Versuchsergebnissen der letzten Jahre gar zu stark abweichen, durch neuere Werte ersetzt werden, und zwar entsprechend der Norm des Wiener Elektrotechnischen Vereines<sup>9)</sup>. Das Wesentliche über die Einheitskettenlinie und deren Gebrauch kann als bekannt aus den Fachzeitschriften vorausgesetzt werden<sup>10)</sup>; der Ermittlungsgang kann also zweckmässig gleich an Hand eines Beispiels erläutert werden.

<sup>4)</sup> E. u. M. 1929, S. 114.

<sup>5)</sup> E. u. M. 1934, S. 7.

<sup>6)</sup> E. u. M. 1920, S. 525.

<sup>7)</sup> E. u. M. 1923, S. 493.

<sup>8)</sup> Der Anstiegswinkel  $\nu$  soll rd.  $25^\circ$  nicht übersteigen, entsprechend der Grenzwinkel  $\tan \nu = 0,4$ . Nebenbei wäre über die Formel  $\frac{2\sigma\omega}{cg} - \frac{h}{c} = \frac{25}{\varphi} + \frac{\varphi}{50}$ , die sich auch schreiben lässt:

$\frac{\sigma\omega}{cg} - \frac{\sin \alpha}{2} = \frac{100}{8\varphi} + \frac{\varphi}{100}$  noch zu bemerken: sie ist das auf Festpunktspannung bezogene Seitenstück zu der auf *feldmittige*

Spannung bezogenen Gleichung  $\frac{\sigma_m}{cg} = \frac{100}{8\varphi}$  (wobei  $\sigma_m$  = Spannung in Feldmitte,  $\varphi$  = Durchhangsprozentsatz auf  $c$  bezogen). Für Waagrechtfelder lautet die auf Festpunktspannung bezogene Durchhangsgleichung  $\frac{\sigma\omega}{ag} = \frac{100}{8\varphi} + \frac{\varphi}{100}$ , die auf *feldmittige*

Spannung bezogene Durchhangsgleichung  $\frac{\sigma_m}{ag} = \frac{100}{8\varphi}$  (wobei der Durchhangsprozentsatz auf  $a$  bezogen).

<sup>9)</sup> An die Stelle der Schmidt'schen Werte: Einheitseigen-gewicht des Seils  $\delta = 8,65$ , Elastizitätsmodul  $E = 13\,000$  und Wärmedehnwert  $\vartheta = 17 \cdot 10^{-6}$  sollen hier die folgenden Werte treten:  $\delta = 9 \text{ g/cm}^3$ ,  $E = 10\,000 \text{ kg/mm}^2$ ,  $\vartheta = 16,5 \cdot 10^{-6}$ . Letztere Ziffern decken sich auch, wie ersichtlich, im wesentlichen mit den gegenwärtig für die Schweiz normierten Werten.

### Ziffernbeispiel.

#### Gegeben:

Waagrechtfeld von der Spannweite  $a = 500 \text{ m}$   
 Bronzeseil vom Querschnitt  $q = 50 \text{ mm}^2$   
 Seil-Höchstbeanspruchung  $\sigma_{\max} = 12 \text{ kg/mm}^2$  (am Festpunkt)  
 Seil-Gewichtsdichte (ohne Zusatzlast)  $\delta = 9 \text{ g/cm}^3$   
 ( $\delta = 1000 \text{ g}$ , wenn  $g$  in  $\text{kg/cm}^3$ )  
 Scheindichte des Seils (bei Zusatzlast)  
 $\bar{\delta} = 19,9 \text{ g/cm}^3$  ( $\bar{\delta} = 1000 \text{ g}$ , wenn  $g$  in  $\text{kg/cm}^3$ )  
 Elastizitätsmodul des Seils  $E = 10\,000 \text{ kg/mm}^2$   
 Wärmedehnwert  $\vartheta = 16,5 \cdot 10^{-6}$

#### Gesucht:

1. Ausgangsdurchhang
2. Rechnungsmässige Meterbruchlast (= Eisreisslast je m)

Für die straff gespannten Felder, das sind in der Regel die kürzeren und mässiglangen Spannfelder, ist man genötigt, erst einen Umweg über die kritische Spannweite einzuschlagen, um herauszubringen, was als Ausgangspunkt überhaupt in Betracht kommt, ob der Tiefsttemperaturzustand oder der Zusatzlastzustand. Bei besonders weit und verhältnismässig schlaff gespannten Feldern entfällt dieser Umweg; hier kann man zum voraus annehmen: als Ausgangspunkt hat zu gelten der Zusatzlastzustand<sup>11)</sup>. Wir können also sofort mit der Bestimmung des Ausgangsdurchhanges (für Zusatzlast) — auf Grund der Einheitskettenlinie — beginnen.

*Durchhangsermittlung:* Bekanntlich sind in der Einheitskettenlinie schon alle möglichen Spannfelder — in entsprechend verkleinertem Maßstab — dargestellt; nur wissen wir vorerst, solange der Maßstab der Abbildung unbekannt ist, noch nicht, wie weit wir vom Koordinatenanfangspunkt M (Spannfeldmittel bei Waagrechtfeldern) in Abb. 1 auf dem Kettenlinienast nach rechts vorwärts schreiten müssen, um zum richtigen Festpunkt A zu gelangen. Durch Probieren kann man sich, insbesondere wenn es auf Genauigkeit nicht ankommt, an mehreren Punkten überzeugen, ob dort den gestellten Forderungen hinsichtlich Last und Beanspruchung mehr oder weniger entsprochen wird.

Wir wollen hier den Punkt A nicht durch Probieren ermitteln, sondern nach einem halb rechnerischen, halb zeichnerischen Verfahren, d. h. mittels der  $\frac{c}{S}G$  = Lotrechten und mittels Leitlinien, wie sie

sich für jeden beliebigen Leitungsanstiegswinkel einzeichnen lassen. Da hier nur ein Waagrechtfeld behandelt werden soll, ist in Abb. 1 bloss die äusserste aller möglichen Leitlinien eingezeichnet, nämlich die Kurve I für Steigungswinkel  $\nu = 0$ .

<sup>10)</sup> Vgl. den Artikel von Grob in E. T. Z. 1931, S. 209, und insbesondere die grundlegenden, zum Teil noch älteren zahlreichen Untersuchungen von Skrobánek — über *Seilbahnen* — in der Zeitschrift des Oesterr. Ing.- u. Arch.-Vereines, nämlich Jahrg. 1930, Heft 17 bis 20, 43 bis 46 bzw. Jahrg. 1931, Heft 41, 42; ferner „Die Wasserwirtschaft“ Jahrg. 1930, Heft 27, 32, 33; speziell über *Freileitungsberechnung* vgl. Zeitschr. d. Oesterr. Ing.- u. Arch.-Vereines, Jahrg. 1932, Heft 5, 6.

<sup>11)</sup> Nachträglich kann man sich dann leicht davon überzeugen, dass sich das Durchhangsbild für den Ausgangszustand ( $-5^\circ$  plus Zusatzlast) weder durch die zu gewärtigenden Temperaturunterschiede wesentlich ändert, noch durch die Aussenlastunterschiede.

Der Gebrauch der Leitlinien ist folgender: vorerst bestimmen wir ziffernmässig den nachstehenden Ausdruck:

$$\frac{a \cdot g}{\sigma} = \frac{a \cdot g}{\sigma_{\max}} = \frac{a}{1000} \cdot \frac{\bar{\delta}}{\sigma_{\max}} = \frac{500}{1000} \cdot \frac{19,9}{12} = 0,8292.$$

Mit diesem Wert gehen wir in die Abbildung ein, d. h. wir errichten im vorermittelten Abstand 0,829 von der Y-Achse der Einheitskettenlinie eine Lotrechte  $L \left( \frac{c \cdot G}{S} \right)$  und sehen nach, wo diese Lotrechte zum Schnitt kommt mit der Leitlinie für Steigungswinkel  $\nu = 0$  (d. i. Kurve 1)<sup>12)</sup>. Für unser Beispiel ergeben sich nach Abb. 1 zwei solcher Schnittpunkte ( $S_A$  und  $S'_A$ ) zwischen der Leitlinie und der  $\frac{c \cdot G}{S} =$

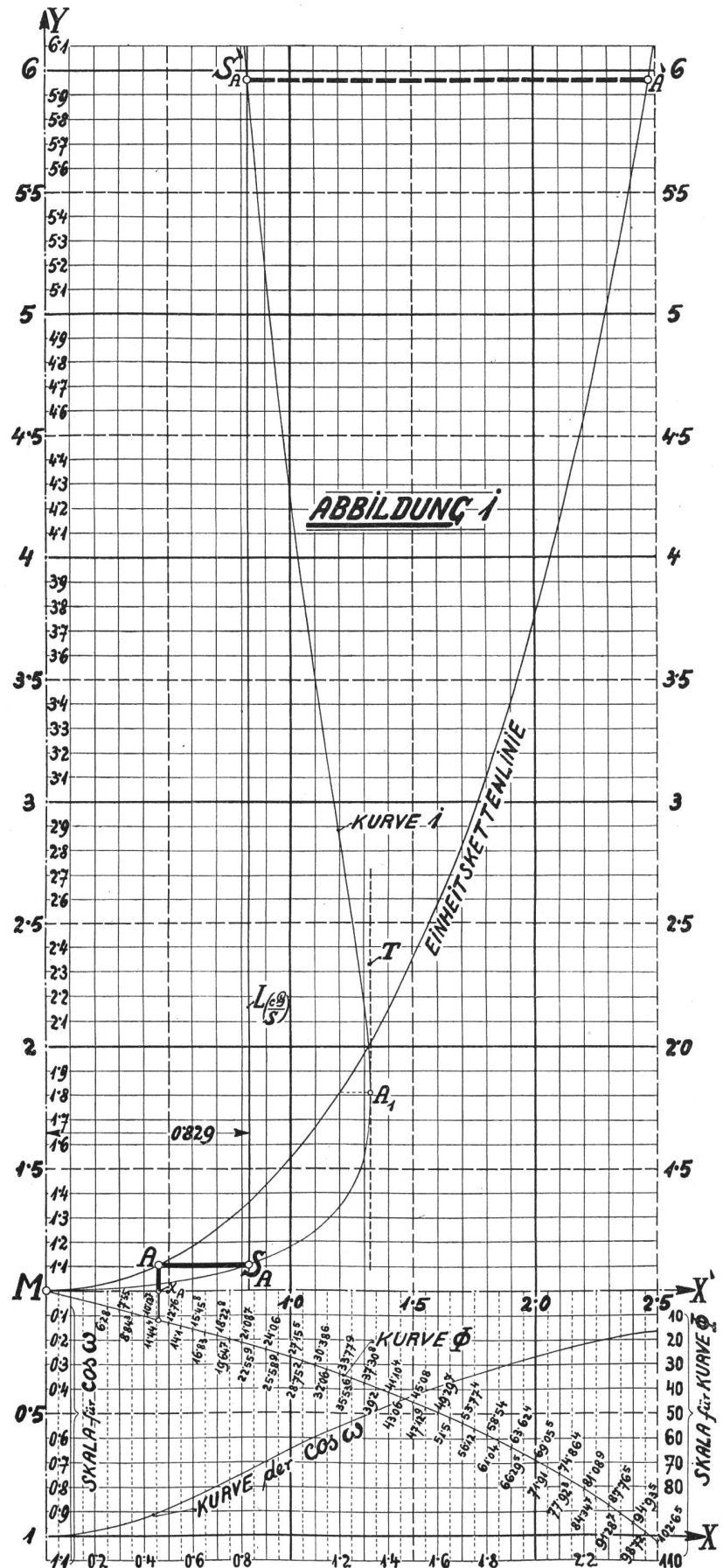
Lotrechten; durch jeden solchen Schnittpunkt ist eine Waagrechte zu legen; wo diese Waagrechte unsere Einheitskettenlinie schneidet, dort liegt in der Zeichnung der gesuchte Festpunkt A bzw. A'.

Dass sich nicht ein einziger Leitlinien-Schnittpunkt für unser Beispiel ergeben hat, sondern deren zwei ( $S_A$  und  $S'_A$ ) nebst den zugehörigen Kettenlinienschnittpunkten (den Festpunkten A und A') erklärt sich wie folgt: Die Höchstbeanspruchung  $\sigma_{\max}$  im Festpunkt kann einerseits in der Hauptsache durch Horizontalzug geweckt werden, während das Seilgewicht die kleinere vertikale Restkomponente liefert, die, geometrisch zum Horizontalzug dazuaddiert, das  $\sigma_{\max}$  liefert. Andererseits kann aber auch das  $\sigma_{\max}$  hauptsächlich durch das Eigenge-

<sup>12)</sup> Kurve 1 wird ermittelt aus der Beziehung  $\frac{2x}{y} = \frac{2x}{f+1}$  wenn x die Abszisse eines Kettenlinienpunktes bezeichnet und y die Ordinate von der Achse X an gemessen, während f von der Achse X' (im Abstand 1 von X) an gemessen wird, so dass  $f = y - 1$ . Die Werte  $\frac{2x}{y}$  werden als Waagrechte von der Y-Achse der

Einheitskettenlinie aus aufgetragen, und zwar in der jeweiligen Höhe f (über X'-Achse). Ähnliche Kurven wie die für  $\nu = 0$  geltende Kurve 1 lassen sich, wie schon erwähnt, auch noch für beliebige Anstiegswinkel einzeichnen; in der vorliegenden Abbildung sind die für Anstiegswinkel geltenden Kurven fortgelassen, mit Ausnahme der für  $\nu = 0$  (Waagrechtfelder) geltenden Kurve 1. Im nachfolgenden „Nachweis für die Richtigkeit der Konstruktion in Abb. 1“ kommen wir auf Kurve 1 noch ausführlicher zurück; unter einem wird dort auch die Begründung folgen für den obigen Ausdruck

$\frac{a \cdot g}{\sigma}$  d. i. für den Abstand der Lotrechten von der Y-Achse.





wicht eines längeren schlaff herabhängenden Seiltrums zustande kommen, während ein vergleichsweise schwächerer Horizontalzug die fehlende Restkomponente liefert, die, geometrisch zur Eigengewichts-Vertikalkomponente dazugaddiert, die Höchstbeanspruchung ergibt. Zwei derartige zusammengehörige Punkte bilden also die Regel und es wird nur ein besonderer Ausnahmefall sein, wenn sich in der Zeichnung bloss ein einziger Punkt (d. h. eine einzige Spannweite) als Lösung ergibt<sup>13)</sup>.

Von den zwei Punkten A und A' hat naturgemäss der obere bloss theoretische Bedeutung, denn in der Praxis hat man einerseits gar kein Interesse an einer übermässigen, den Leitungswiderstand erhöhenden Seillänge und überdies wird in der Regel nicht einmal der erforderliche Raum vorhanden sein, um so übermässige Durchhänge ausführen zu können, wie sie dem oberen Schnittpunkt zumeist entsprechen. Praktische Bedeutung hat also bloss der untere Schnittpunkt S<sub>A</sub>, der mittels der durchgelegten Waagrechten bei A den gesuchten Festpunkt liefert, womit das Durchhangsproblem auch schon gelöst ist.

Dass Schnittpunkt A tatsächlich der gesuchte Kettenlinienpunkt ist, ergibt sich sofort aus dem folgenden:

#### Nachweis für die Richtigkeit der Konstruktion in Abb. 1.

In der Abbildung entspricht der Spannweitenhälfte  $\frac{a}{2} = \frac{500}{2} = 250$  m ein Kotenwert 0,459. Um die tatsächlichen Seilformdimensionen (in m) auseinanderzuhalten von den in der Zeichnung abgebildeten bzw. kotierten Dimensionen, denken wir uns die Längen der Zeichnung charakterisiert durch Index k; also soll dem wirklichen Wert  $\frac{a}{2}$  der gezeichnete (d. h. kotierte)

Wert  $\frac{a_k}{2}$  entsprechen, der wirklichen Spannweite  $a$  die kotierte Spannweite  $a_k$ <sup>14)</sup>. Wir wollen als Kotierungsverhältnis  $k$  be-

<sup>13)</sup> Letzteres wird dann der Fall sein, wenn die  $\frac{c \cdot G}{S} = \text{Lotrechte}$  zufällig zur *Tangente* an die jeweilige Leitlinie wird. Für Waagrechtfelder wird das zutreffen, wenn der Schnittpunkt der Lotrechten (T in Abb. 1) gerade bei A<sub>1</sub> sich ergibt; Punkt A<sub>1</sub> wird als einziger Schnittpunkt (Berührungspunkt) folgen, wenn die Spannbedingungen gerade auf einen Durchhangsprozentsatz von 33,8% führen.

Bleibt nur noch der Fall zu erörtern, dass sich gar kein Schnittpunkt zwischen der  $\frac{c \cdot G}{S}$ -Lotrechten und der Leitlinie ergibt, was soviel heisst als: es existiert kein Durchhang, mit dem man die Leitung so spannen könnte, dass allen gestellten Bedingungen entsprochen würde. Man sieht sofort, dass jenes  $\sigma_{\max}$ , das auf 33,8% Durchhangsprozentsatz geführt hat, die geringste Spannung darstellt, mit der das Seil — den Spannbedingungen entsprechend — überhaupt noch gespannt werden kann. Man wird also bei langen, schlaffen Spannfeldern nicht immer in der Lage sein, die Beanspruchung willkürlich beliebig weit herunterzusetzen, denn es kann sich dann herausstellen, dass man ein gegebenes Seil gar nicht so schlaff spannen kann, als es etwa durch eine scharfe Bauvorschrift gefordert worden ist. So ist für das vorliegende Ziffernbeispiel die Höchstbeanspruchung  $\sigma_{\max} = 7,51 \text{ kg/mm}^2$  der niedrigste Wert, der etwa im Interesse möglichst hoher Eisreisslast noch vorgeschrieben werden darf  $\left( \frac{500 \cdot 19,9}{\sigma_{\omega, \text{Grenze}}} = 1,325, \sigma_{\omega, \text{Grenze}} = \frac{995}{1,325} = 7,51 \right)$ ,

wobei 1,325 der Abszissenwert des oben erwähnten Tangentenberührungspunktes A<sub>1</sub>; sowie man eine noch niedrigere Höchstbeanspruchung fordern wollte, wäre es nicht mehr möglich, diese Bedingung mit dem gegebenen Seil zu erfüllen. Vgl. über die kleinstmögliche Festpunktspannung auch noch die Zusatzbemerkung am Schluss des Aufsatzes.

zeichnen den Quotienten  $\frac{\text{Meter-Längenwert in der Wirklichkeit}}{\text{kotierter Wert in der Zeichnung}}$ ;

dann ist  $k = \frac{a}{a_k}$ . Im gleichen Verhältnis muss stehen der wirkliche Kettenlinienparameter  $h$  zum kotierten  $h_k$ , wenn die Zeichnung ein unverzerrtes Abbild der Wirklichkeit sein soll; es muss also sein  $\frac{h}{h_k} = k$ . Demgemäss muss das Ziffern-

ergebnis stets dasselbe bleiben, ob wir nun das  $k$  einmal aus  $\frac{a}{a_k}$  errechnen oder das andermal aus  $\frac{h}{h_k}$ . Nun besteht das Wesen der Einheitskettenlinie eben darin, dass  $h_k = 1$  angesetzt wird, woraus sich ergibt:  $k = \frac{h}{h_k} = \frac{h}{1} = h$ ; demnach können wir statt

$\frac{a}{a_k} = k$  auch schreiben  $\frac{a}{a_k} = h$ . Das  $h$  ist nun bekanntlich gleich dem Quotienten  $\frac{\sigma_h}{g}$ , worin  $\sigma_h$  = Horizontalzug je mm<sup>2</sup> Querschnitt,  $g$  = jeweiliges Leiter-Einheitsgewicht (vergl. z. B. Formel (4) der erwähnten Schmidt'schen Abhandlung E. T. Z.

1928, S. 210); damit erhalten wir  $\frac{a}{a_k} = h = \frac{\sigma_h}{g} = \frac{\sigma_{\max} \cos \omega}{g}$  oder  $\frac{a}{\sigma_{\max}} = a_k \cos \omega$ . Dieser Bedingung muss der Punkt A entsprechen, wenn er der gesuchte Aufhängepunkt sein soll. Denkt man sich also die Längenwerte  $a_k \cos \omega$  (von M angefangen für verschiedene als Aufhängepunkte angenommene Kettenlinienpunkte) in den Höhen der entsprechenden Aufhängepunkte (über X'-Achse) als Waagrechtstrecken angeordnet<sup>15)</sup>, so dass die rechtsseitigen Endpunkte dieser Waagrechten die Kurve 1 (Abb. 1) bilden, dann wird offenbar der richtige Punkt A in jener Höhe (über der X'-Achse) liegen, in welcher das  $a_k \cos \omega$

die Grösse  $\frac{a}{\sigma_{\max}}$  aufweist; ein  $a_k \cos \omega$  von solcher Grösse wird eben herausgesucht durch Eintragung der Lotrechten im Abstand  $\frac{a}{\sigma_{\max}}$  von der Y-Achse gerechnet; Schnittpunkt S<sub>A</sub> ergibt demnach die richtige Höhenlage des gesuchten Kettenlinienpunktes (über X'-Achse) an; in dieser Höhe ist also eine Waagrechte zu ziehen von S<sub>A</sub> bis zum Kettenlinienschnittpunkt A. Demgemäss folgt für  $k$  aus Abb. 1 praktisch derselbe Wert (nämlich  $544\frac{1}{2}$ ), ob wir nun das  $k$  aus  $\frac{a}{a_k}$  errechnen

$\left( k = \frac{a}{a_k} = \frac{a}{2 \sigma_x} = \frac{500}{2 \cdot 0,459} = 544,7 \right)$  oder aber aus  $\frac{h}{h_k}$  errechnen  $\left( k = \frac{h}{h_k} = \frac{h}{1} = h = \frac{\sigma_h}{g} = \frac{\sigma_{\max} \cos \omega}{g} = 12 \cdot \frac{0,903}{19,9} = 544,7 \right)$ ; dass nämlich  $\cos \omega = 0,903$  geschätzt werden kann, zeigt sich unmittelbar aus Abb. 1, wenn man die Lotrechte durch A nach abwärts verlängert bis zum Schnittpunkt mit der  $\cos \omega$ -Kurve.

In Abb. 1 ist der zu jedem  $x$  gehörige Durchhangsprozentsatz eingezeichnet (Kurve  $\varphi$ ). Unserem Punkt A entspricht ein Abszissenwert  $x_A = 0,459$ , wozu laut Abb. 1 ein Durchhangsprozentsatz  $\varphi = 11,68$  gehört<sup>16)</sup>. Also ist der gesuchte Durchhang  $f = \frac{a \varphi}{100} = 500 \cdot \frac{11,68}{100} = 58\frac{1}{2} \text{ m}$ .

<sup>14)</sup> In Abb. 1 ist das in Richtung der X-Achse aufgetragene  $x_A$  identisch mit  $\frac{a_k}{2}$ .

<sup>15)</sup> mit dem Anfangspunkt in der Y-Achse im Sinn von Fussnote <sup>12)</sup> (wobei  $a_k = 2 x_A = 2 x$  und — nach der Kettenlinientheorie —  $\cos \omega = \frac{1}{y}$ )

<sup>16)</sup> Die  $\varphi$ -Kurve lässt ungefähr  $\varphi = 11,7$  ablesen; der genaue Wert 11,68 ergibt sich durch Interpolation (gemäss den Hyperbelfunktionstafeln, nach welchen die  $\varphi$ -Kurve in Abb. 1 eingetragen ist). Zu  $x = 0,45$  gehört nämlich der  $\varphi$ -Wert  $\varphi_{0,45} = \frac{f}{2x} = \frac{y-1}{2x} = \frac{1,1030-1}{2 \cdot 0,45} = 11,444$ ; zu  $x = 0,46$  gehört  $\varphi_{0,46} = 11,7065$ .

Mit der Bestimmung von  $\bar{f}$  ist bereits alles erledigt, was bei einem sehr langen und verhältnismässig schlaffen Spannungsfeld für die Montage nötig ist. Die Kontrolle, ob  $\bar{f}$  sich merklich ändert — für normale Temperatur- und Lastunterschiede — die bei solchen Feldern in der Regel gar nicht nötig ist, soll in den Anhang verwiesen werden.

Dieser sowie die Ermittlung der rechnungsmässigen Meterbruchlast (Eisreisslast) soll Gegenstand eines folgenden Aufsatzes sein<sup>17)</sup>.

<sup>17)</sup> Hätte man im behandelten Beispiel vorausgesetzt, dass die Höchstbeanspruchung in Spannungsmitte 12 kg/mm<sup>2</sup> betragen darf — unbeschadet der Spannungsüberschreitung am Festpunkt — dann wäre das Kotierungsverhältnis von vornherein

feststellbar gewesen mit  $k = \frac{\bar{\sigma}_h}{g} = \frac{12}{19,9 \cdot 10^{-3}} = 603$ . In der

Zeichnung hätte sich der dem fraglichen Festpunkt A ent-

sprechende x-Wert ergeben zu  $x_A = \frac{a}{k} = \frac{2}{603} = 0,4146$  (gegen-

über dem oben ermittelten Wert 0,459). Da für die Abszisse  $x_A = 0,4146$  in der Einheitskettenlinientafel ein  $\cos \omega = 0,9198$  abzulesen ist, so zeigt sich, dass die Spannung im Festpunkt für diese Annahme (Horizontalspannung = 12 kg/mm<sup>2</sup>) an-

steigt auf den Wert  $\frac{\bar{\sigma}_h}{\cos \omega} = \frac{12}{0,9198} = 13,05 \text{ kg/mm}^2$ , der schon

beträchtlich abweicht von der Beanspruchung in Feldmitte. Der Durchhang folgt hier, da die Einheitskettenlinie für  $x_A = 0,4146$  eine Ordinate 0,08718 ablesen lässt, zu  $\bar{f} = f_k \cdot k = 0,08718 \cdot 603 = 52,57 \text{ m}$ . G. Schmidt kommt — in E. T. Z. 1928, S. 211, 2. Vertikalreihe, letzte Zeile — rein rechnerisch zu praktisch dem gleichen Durchhangswert (indem er die Reihe

für den hyperbolischen Cosinus  $\left( \text{von } \frac{a}{2 \frac{\bar{\sigma}_h}{g}} \right)$  nicht schon nach

dem zweiten Glied abbricht, wie es der Parabelnäherung entspricht, sondern erst nach dem dritten Glied).

### Zusatzbemerkung.

Dass für ein gegebenes Seil bei bestimmten Last- und Beanspruchungsverhältnissen die oben behandelte kleinstmögliche Festpunktspannung existiert, ist nicht nur aus der Einheitskettenlinie in Abb. 1 klar zu ersehen, sondern man sieht dies

auch der Schwarzkopfschen Durchhangsgleichung  $\frac{2 \sigma \omega}{c g} -$

$\frac{h}{c} = \frac{25}{\varphi} + \frac{\varphi}{50}$  sofort an, wenn man sich die rechte Gleichungsseite

im Rechtwinkelkoordinatensystem dargestellt denkt. In anderer

Schreibweise lautet die Gleichung  $\frac{\sigma \omega}{c g} - \frac{\sin a}{2} = \frac{100}{8 \varphi} + \frac{\varphi}{100}$ ;

man erkennt, dass die rechte Seite nichts anderes ist als die

Ordinatensumme von einer gleichseitigen Hyperbel  $\frac{100}{8 \varphi}$  und

einer Geraden  $\frac{\varphi}{100}$ ; diese Summe wird zweimal  $= \infty$ , einmal

für  $\varphi = 0$ , das andremal für  $\varphi = \infty$ ; für einen beliebigen, zwischen 0 und  $\varphi$  liegenden, endlichen positiven Durchhangswert  $\varphi$  wird die Ordinatensumme positiv und endlich; bis auf den Nullwert kann die Summe, wie ersichtlich, nicht herabsinken; sie kann nur zwischen den beiden Grenzen (für  $\varphi = 0$  bzw.  $\varphi = \infty$ ) vom Wert  $\infty$  herabsinken auf einen gewissen positiven Minimal-

wert, das ist eben der kleinstmögliche Wert von  $\frac{\sigma \omega}{c g} - \frac{\sin a}{2}$ ;

für Waagrechtfelder mit  $\sin a = 0$  bzw.  $c = a$  folgt also, dass

der Ausdruck  $\frac{\sigma \omega}{a g}$  einen bestimmten Wert niemals unterschreiten

kann, d. h. soviel als: bei gegebenem  $a$  und  $g$  gibt es für die Festpunktbeanspruchung des gewählten Seils ein Minimum  $\sigma_{\omega}$ , Grenze, das nicht unterschritten werden kann. Trägt man die rechte Seite der Schwarzkopfschen Durchhangsgleichung in Rechtwinkelkoordinaten auf, so ersieht man, dass das Minimum für den Wert  $\varphi = 33,8\%$  eintritt. Dass dem letzteren Durchhangswert eine ganz besondere Bedeutung (hinsichtlich Maximalspannweite) zukommt, darauf hat schon Schwarzkopf ausdrücklich hingewiesen (vergl. a. a. O. Seite 987, rechte Spalte, Zeile 4 bis 6 von unten).

## Ueber die Ausnützung der Fernleitungen bei manuellem und automatischem Betrieb.

Von P. Schild, Zürich.

Bekanntlich wird im *Wählerbetrieb* die Zahl der benötigten Verbindungswege (Leitungen oder Wähler) anhand der „Verlustkurven“ bestimmt. Diese wurden früher durch Verkehrsbeobachtungen und Messungen festgestellt, später aber auf theoretischem Wege mittels Wahrscheinlichkeitsrechnung ergänzt und bestätigt gefunden. Die Verlustkurven geben an, welcher Prozentsatz an Verbindungen bei einem bestimmten Hauptstundenverkehr aus Mangel an freien Verbindungswegen verloren geht. Der „Verlust“ wirkt sich in den verschiedenen Automaten-systemen ungleich aus: entweder erhält der Besteller für jede verlorene Verbindung das Besetztzeichen (Schrittschaltsysteme), oder diese Verbindungen werden mit einer gewissen Verzögerung durchgeschaltet (Systeme mit dauerndem Suchen).

In Fig. 1 sind solche Kurven für kleine und grosse, vollkommene und gestaffelte Bündel für einen Verlust von 1/100, 1% und 5% dargestellt. Der Verkehr während der Hauptstunde,  $y = c \cdot t$  (Anrufe  $\times$  Zeit), ist in Belegungsstunden (Bh), Belegungsminuten (Bm) und in „ausgeglichenen Hauptstundenverbindungen“ zu 2 Minuten Dauer (AHSV) angegeben.

Aus diesen Verlustkurven kann man in einfacher Weise die stündliche Ausnützung pro Leitung errechnen. In Fig. 2 sind diese spezifischen Leistungen für vollkommene Bündel von 1—50 Leitungen bei einem Verlust von 1/100, 1% und 5% ersichtlich.

Im allgemeinen werden die internen Schaltorgane eines Amtes mit einem Verlust von 1/100 berechnet; für die teureren Fernleitungen lässt man dagegen einen Verlust von 1% zu und trachtet danach, entweder durch Verwendung von Suchern in Markierschaltung oder durch Anwendung von Mischwählern immer vollkommene Bündel zu bilden. Wie Fig. 2 zeigt, beträgt bei den auf dieser Grundlage berechneten Fernleitungen die Belegungszeit während der Hauptstunde bei einem Bündel von 10 Leitungen 28,5 Minuten pro Leitung, erreicht bei einem Bündel von 30 Leitungen den Wert 38,8 Minuten und steigt bei 50 Leitungen auf 42,7 Minuten an.

Im *manuellen Betrieb* hat man bisher die Zahl der Leitungen auf anderer Grundlage bestimmt. Nach Kreisschreiben Nr. 673 vom Jahre 1929 und nach Zeichnung B2-77.168 sind vor allem die Tagesbelastung und die Länge der Leitung massgebend. Im Grunde gelten hier aber ähnliche Gesetze wie