

**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:** 16 (1938)

**Heft:** 1

**Artikel:** Durchgangsberechnung für schlaff gespannte Freileitungsfelder von beliebigem Steigungswinkel

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

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-873351>

### **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:** 28.04.2026

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

# Durchgangsberechnung für schlaff gespannte Freileitungsfelder von beliebigem Steigungswinkel.

Von E. Nather und V. Petroni, Wien.

621.315.056.1

In einer früheren Arbeit wurde die halb zeichnerische, halb rechnerische Behandlung von fix abgespannten *Waagrechtfeldern* auf Grund der „Einheitskettenlinie mit Leitlinien“ dargestellt.<sup>1)</sup> Im folgenden soll das Verfahren verallgemeinert werden auf *Anstiegsfelder*; und zwar ist diese Methode nicht beschränkt auf Anstiegsfelder von bloss mässigem Steilheitsgrad<sup>2)</sup>, sondern sie gilt — als Kettenlinienmethode — ganz allgemein für Felder von beliebiger Steilheit.

*Allgemeines: Leitlinie zur „Einheitskettenlinie“ für beliebige Anstiegswinkel eines fix abgespannten Feldes.*

Aus dem früheren kennen wir bereits eine Anstiegskennlinie (oder Leitlinie); nämlich jene für den Sonderfall des *Waagrechtfeldes* (mit Anstiegswinkel  $\nu=0$  gegenüber der Waagrechten). Diese Kurve (Kurve I in Abb. 1, S. 57 der Techn. Mitteil. T. T. 1936) erhält man dadurch, dass für verschiedene Abszissen  $x_K$  das folgende variable Produkt gebildet wird:

$$\frac{2x_K}{f_K + 1} = 2x_K \cdot \cos \omega \dots \dots \dots a.)^3)$$

Für den *allgemeinen Fall* eines unter Winkel  $\nu$  gegen die Waagrechte ansteigenden Feldes nach Abb. 2 und 3 ist die Leitlinie zu ermitteln aus dem variablen Produkt

$$\frac{C_K}{Y_{K\omega}} = \frac{C_K}{Y_{K\omega} + 1} = C_K \cdot \cos \omega \dots \dots \dots b.)^4)$$

1) Vgl. Techn. Mitteil. T. T. 1936, S. 55 und 1937, S. 29.

2) Wie z. B. bis  $\text{tg } \nu = \frac{h}{a} = 0,44$  (oder 44% Steigung gemäss

Abb. 2) als obere Verwendungsgrenze beim Schwarzkopf — Verfahren (nach E. u. M. 1929, S. 987, rechte Spalte, Zeile 3 bis 5).

3) Vgl. Skizze I, in Abb. 1.

4) Der Vergleich des allgemeinen Ausdruckes  $c_K \cos \omega$  in b) mit dem speziellen Ausdruck  $2x_K \cos \omega = a_K \cos \omega$  in a) zeigt,

Die Werte  $c_K \cdot \cos \omega$  werden von der Kettenlinien-symmetrieachse ( $Y = \text{Achse}$ , Skizze I in Abb. 1) aus als *Waagrechtstrecken* aufgetragen, und zwar in ganz analoger Weise, wie es hinsichtlich der Werte  $\frac{2x_K}{f_K + 1} = a_K \cos \omega$  für den *Sonderfall* des *Waagrechtfeldes* angedeutet worden ist.<sup>5)</sup> Das Wesen der  $C_K \cdot \cos \omega$ -Kurven (d. i. der Leitlinien) für den *allgemeinen Fall* (Abstiegsfeld) erhellt aus dem folgenden:

In der Einheitskettenlinie hat der Parameter  $h_K$  (Abb. 1) als Einheit zu gelten. Gleichzeitig ist aber  $h = \frac{\sigma_h}{g}$ . Der  $\frac{\sigma_h}{g}$ -Wert ist durch die Berechnungsbedingungen schon von Anfang an festgelegt (wenn er auch nicht immer schon von vornherein bekannt ist); in dem bereits (a. a. O.) behandelten Ziffern-

beispiel hatte  $\frac{\sigma_h}{g}$  für Zusatzlast den Wert

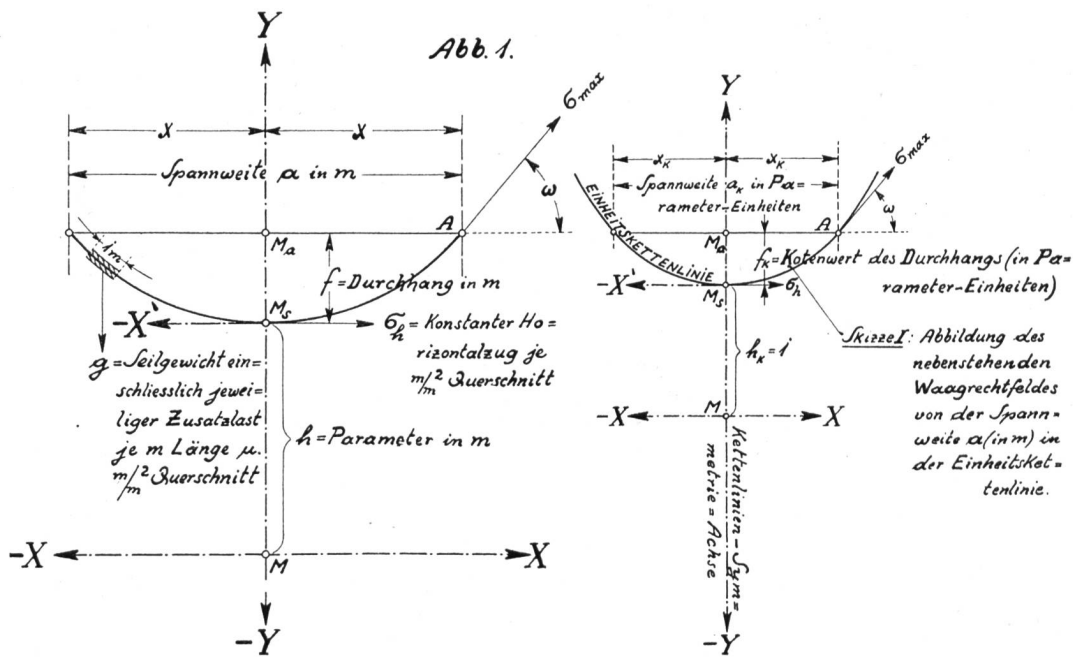
$$\sigma_{h,z} = \frac{\sigma_{h,z}}{g_z} \cdot \cos \omega = \frac{\sigma_{\max} \cdot \cos \omega}{g_z} = \frac{12 \cdot 0,903}{19,9 \cdot 10^{-3}} = 544 = K = \text{Kotierungsverhältnis.}^6)$$

Man ersieht sofort: das *Kotierungsverhältnis* muss eben gleich  $K = \frac{\sigma_h}{g}$  sein, damit  $h = \frac{\sigma_h}{g}$  in der Zeichnung zur Einheit ( $h_K = 1$ ) wird.

dass es sich bei den beiden durch a.) und b.) dargestellten Werten grundsätzlich um ein und dasselbe Produkt handelt, wenn dabei festgehalten wird, dass als *Spannweite* stets nur die *Spannfeld-Schne* in Betracht kommt; es handelt sich dann in den Ausdrücken a.) und b.) einfach um das Produkt: *Spannweite*  $\times$  *normale Cosinus des Oberfestpunktanlaufwinkels* ( $\omega$  gegen die Waagrechte).

5) Techn. Mitteil. T. T. 1936, S. 58 (Petitschrift-Absatz).

6) Techn. Mitteil. T. T. 1936, S. 58. Zu bemerken ist hier noch: durch Index „Z“ ist hier der Zusatzlastzustand charakterisiert.



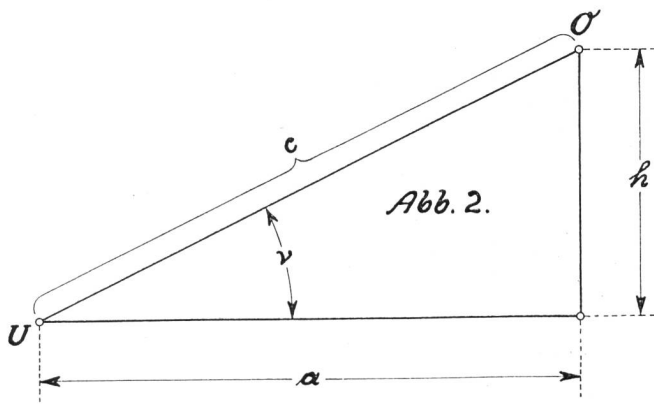


Abb. 2.

Nun können wir das K auch anders ausdrücken, beim *Waagrechtfeld* mittels des Verhältnisses von wirklicher Spannweite „a“ durch „Spannweite  $a_K$  in der Zeichnung“, d. h. durch  $K = \frac{a}{a_K}$  für den allgemeinen Fall eines *Anstiegfeldes* können wir K in analoger Weise ausdrücken mittels des Verhältnisses „wirkliche Spannfeldsehne c“ durch „Spannfeldsehne

c in der Zeichnung“, d. h. durch  $K = \frac{c}{c_K}$ . Wir können

also statt  $K = \frac{\sigma_h}{g}$  auch schreiben:

$$\frac{c}{c_K} = \frac{\sigma_h}{g} \text{ oder (mit } \sigma_h = \sigma_\omega \cdot \cos \omega \text{ gemäss Abb. 3.)}$$

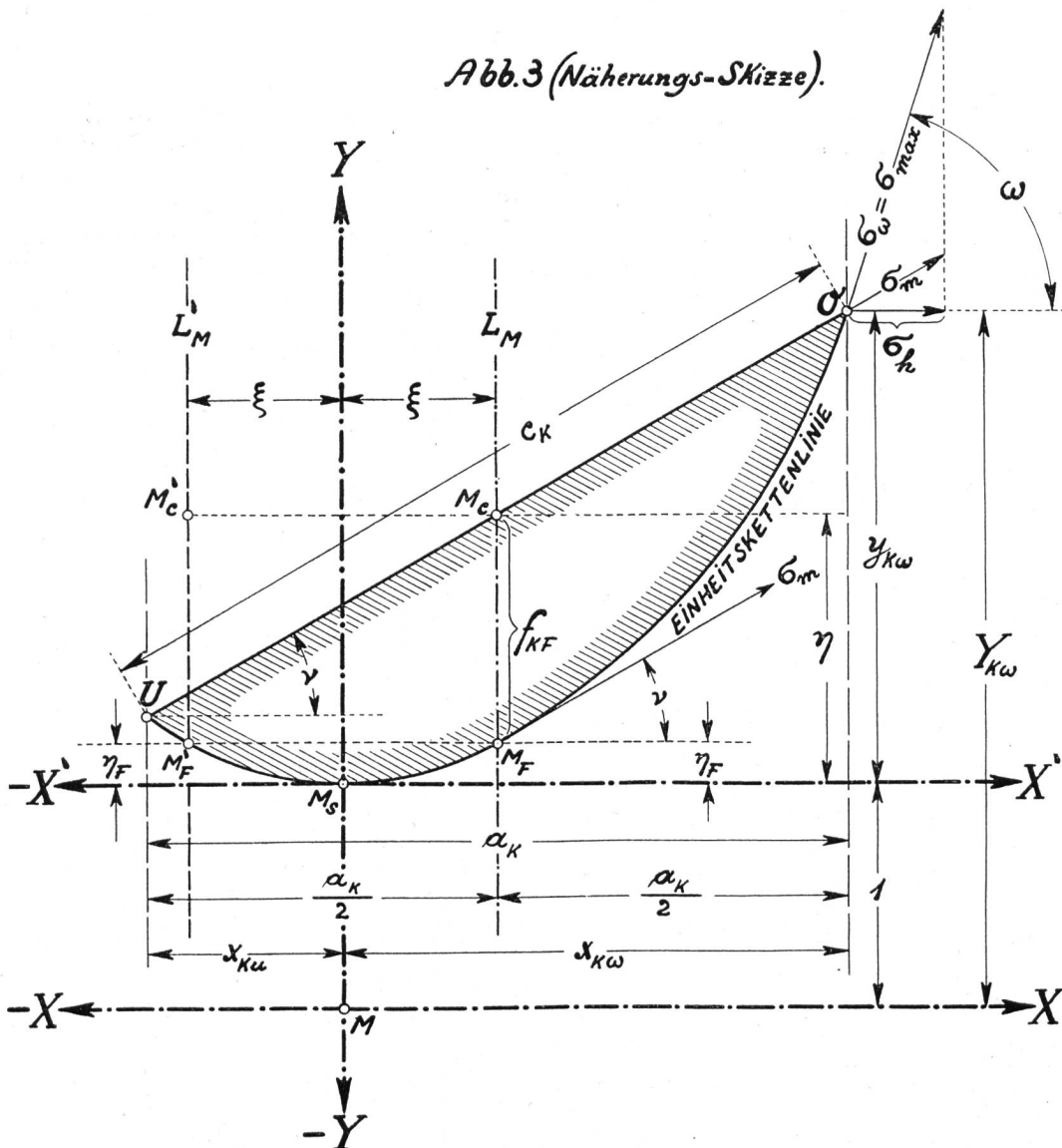
$$\frac{c}{c_K} = \frac{\sigma_\omega \cdot \cos \omega}{g}$$

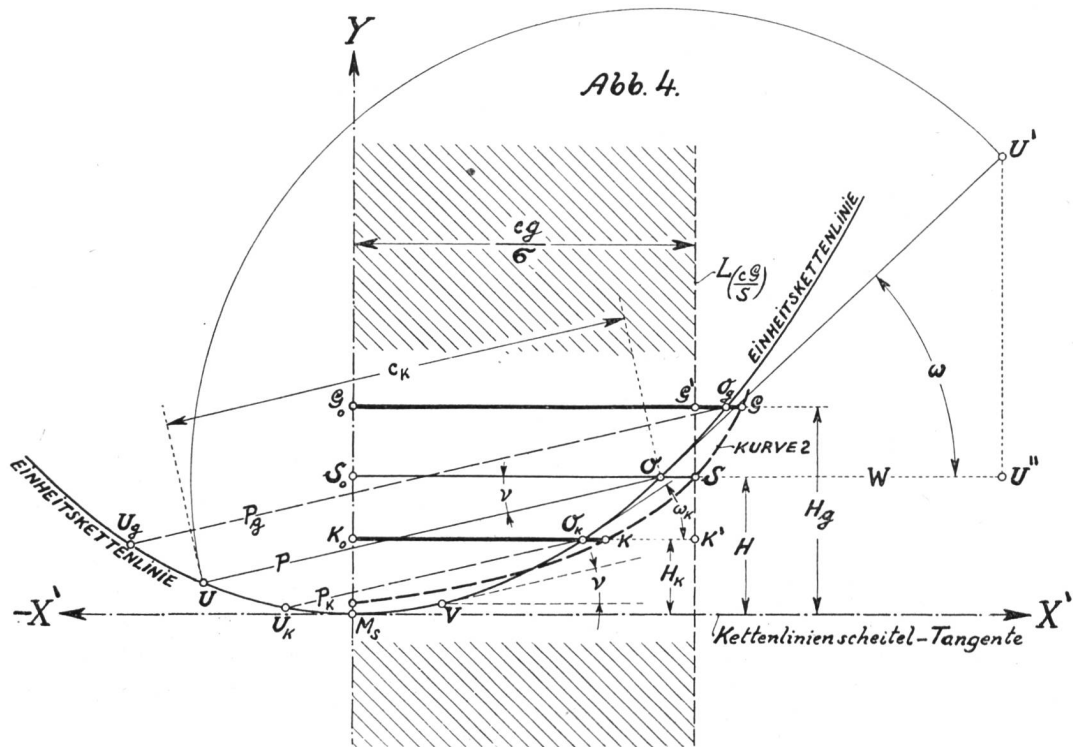
$$\frac{c \cdot g}{\sigma_\omega} = c_K \cdot \cos \omega$$

$$c_K \cos \omega = \frac{c \cdot g}{\sigma_{\max}} \dots \dots \dots (1)$$

Die linke Gleichungsseite, das Produkt  $c_K \cdot \cos \omega$ , ist nun für jeden Punkt der Einheitskettenlinie (durch Leitlinien) festzulegen, und zwar für eine Reihe von Neigungswinkeln  $v$  der Spannfeldsehne gegenüber der Waagrechten. Bildlich lässt sich die Leitlinienermittlung darstellen wie folgt: Man denkt sich die Spannfeldsehne  $c_K$  als Strahl gedreht um Oberfestpunkt 0 als Pol, und zwar solange, bis dieser Strahl die Richtung der Kettenlinientangente (in Punkt 0)

Abb. 3 (Näherungs-Skizze).





annimmt (Strecke  $\overline{O-U'}$  in Abb. 4). Aus dieser (ideellen) Richtung wird die Spannfeldsehne projiziert auf die Waagrechte W durch Oberfestpunkt O. Der so gefundene Projektionswert ist  $\overline{O-U''}$  in Abb. 4. Diese Strecke  $\overline{O-U''}$  wird nun in ihrer eigenen Richtung (in der Waagrechten W) nach links verschoben, und zwar solange, bis das linke Streckenende die Y-Achse erreicht. Das rechte Ende wird zum gesuchten Leitlinienpunkt (S in Abb. 4) für Kettenlinienpunkt O und einen bestimmten Anstiegswinkel, nämlich Winkel  $\nu$ . Wird diese Konstruktion für verschiedene Punkte O bei konstantem  $\nu$  durchgeführt und verbindet man die so erhaltenen rechtsseitigen Endpunkte miteinander durch eine Kurve, so ist damit die Leitlinie für Anstiegswinkel  $\nu$  (Kurve 2 in Abb. 4) gefunden.<sup>7)</sup>

Wir wollen nun annehmen, es sei eine bestimmte Festpunktdistanz  $c$  für ein Anstiegfeld vom Steigungswinkel  $\nu$  gegeben, ferner ein bestimmtes totales Seilgewicht  $G$  (auf Gesamtquerschnitt  $q$  bezogen) und ein bestimmter totaler Seilzug  $S$  (für den Gesamtquerschnitt)<sup>8)</sup>; dann lässt sich berechnen der

Wert  $\frac{c \cdot G}{S} = \frac{cg}{\sigma}$  und in diesem Abstand von der

Y-Achse wird eine Lotrechte  $L\left(\frac{cG}{S}\right)$  errichtet, welche die Leitlinie im Punkte S schneidet (Abb. 4); aus

<sup>7)</sup> Von der angeführten Leitlinienkonstruktion kann auch praktisch Gebrauch gemacht werden, allerdings nur solange, als die Schnitte zwischen Spannfeldsehne und Einheitskettenlinie nicht allzu schief und damit zu unsicher ausfallen; dann muss die Konstruktion durch ein genaueres Verfahren ersetzt werden, worauf später eingegangen werden soll.

<sup>8)</sup> Statt  $G$  kann ebenso gut  $g$  (in  $\text{kg/mm}^2$  Querschnitt  $q$ ) gegeben sein, nur muss dann gleichzeitig auch der Seilzug auf die Querschnittseinheit bezogen werden, nämlich  $\sigma$  in  $\text{kg/mm}^2$  Querschnitt (da  $G = q \cdot g$ ,  $S = q \cdot \sigma$ ).

der Abbildung ist jetzt unmittelbar zu ersehen: Wenn man durch Probieren die richtige Höhenlage des Oberfestpunktes O finden will, indem man die unter Anstiegswinkel  $\nu$  (gegen die Waagrechte) geneigte Gerade P von rechts an die Kettenlinie heranrückt und sodann parallel zu sich selbst verschiebt<sup>9)</sup> und man wählt zuerst den Höhenwert zu klein, etwa  $= H_k$ , entsprechend dem Schnittpunkt  $O_k$  (zwischen Einheitskettenlinie und der unter Winkel  $\nu$  geneigten Geraden  $P_k$ ), dann wird offensichtlich der allgemeinen Grundgleichung (1) nicht Genüge geleistet.<sup>10)</sup>

Hätte man dagegen den Höhenwert zu gross gewählt, etwa  $= H_g$  (entsprechend dem Schnittpunkt  $O_g$  zwischen Einheitskettenlinie und der unter Winkel  $\nu$  geneigten Geraden  $P_g$ ), dann hätte statt Gleichung (1) die Ungleichung  $\frac{c \cdot g}{\sigma} < c_k \cdot \cos \omega$  bestanden.<sup>11)</sup>

Nur wenn die Höhe richtig; in der Zeichnung mit dem Wert  $H$  gewählt wurde, nur dann wird, wie

<sup>9)</sup> So dass der Oberfestpunkt vom Tangentenberührungspunkt V ausgehend nach rechts aufwärts schreitet.

<sup>10)</sup> Statt dieser Gleichung besteht hier vielmehr die Ungleichung  $\frac{c \cdot g}{\sigma} > c_k \cos \omega$ , denn in Abb. 4 ist Strecke  $\overline{K_0-K'} > \overline{K_0-K}$ ;

es stellt nämlich  $\overline{K_0-K'}$  den konstanten  $\frac{cg}{\sigma}$ -Wert dar und der

allgem. Ausdruck  $c_k \cos \omega$  (hier  $\overline{O_k-U_k} \cos \omega$ ) ist gleich  $\overline{K_0-K}$ ; der dem Punkt  $O_k$  entsprechende  $c_k \cos \omega$ -Wert ( $c_k \cdot \cos \omega_k = \overline{K_0-K}$ ) erreicht nicht den richtigen Wert  $R-S = \overline{K_0-K'}$ , den er aufweisen sollte.

<sup>11)</sup> Denn es ist, analog wie früher, in Abb. 4 die Strecke  $\overline{G_0-G'} < \overline{G_0-G}$ , d. h. der dem Punkt  $O_g$  entsprechende  $c_k \cdot \cos \omega$ -Wert ( $c_k \cos \omega_g =$  Strecke  $\overline{G_0-G}$ ) reicht hinaus über das richtige Mass  $R-S = \overline{G_0-G'}$ , das ihm zukommen sollte.

Abb. 4 anschaulich erkennen lässt, der Grundgleichung  $\frac{c \cdot g}{\sigma} = c_k \cdot \cos \omega$  entsprechen.

Man kann sich übrigens auch in folgender Weise eine klare, bildliche Vorstellung von der praktischen Handhabung der Leitlinienmethode machen: Es wird durch die Y-Achse (Kettenliniensymmetrieachse) und die  $\frac{c \cdot G}{S}$ -Lotrechte gewissermassen ein Vertikalstreifen abgegrenzt, nämlich ein Streifen von  $\frac{c \cdot G}{S}$ -Breite. Der Festpunkt, dessen Höhenlage

unbekannt ist, liegt in jener Höhe (über X-Achse oder Kettenlinienscheiteltangente), in welcher die dem gegebenen Steigungsprozentatz entsprechende Festpunkthöhenbestimmungskurve (d. i. Leitlinie) aus diesem Streifen austritt.<sup>12)</sup>

Daraus geht hervor, dass man sich beim Festpunktaufsuchen das Probieren<sup>13)</sup> ersparen kann, sowohl bei Waagrechtfeldern<sup>14)</sup> als auch bei Anstiegsfeldern, wenn man die Einheitskettenlinientafel mit Festpunkthöhen - Bestimmungskurven (Leitlinien) für verschiedene Anstiegsstufen versieht, innerhalb welcher erforderlichenfalls die dem jeweiligen Anstiegswinkel entsprechende Leitlinie schätzungsweise hineininterpoliert werden kann. Im Tafelausschnitt Abb. 5 sind die  $c_k \cdot \cos \omega$ -Linien eingezeichnet für  $\nu = 0,60, 0,58, 0,56$  u. s. f. bis herab zu 0,16, d. h. für Steigungsprozentätze von 60% bis 16%. Die Anwendung der Leitlinien, für den Allgemeinfall eines Anstiegsfeldes, soll an einem Ziffernbeispiel gezeigt werden; dem Ziffernbeispiel sollen dieselben Verhältnisse zugrunde liegen, für welche in einem früheren Aufsatz<sup>15)</sup> ein 500 m-Waagrechtfeld gerechnet worden ist, mit alleiniger Ausnahme des Festpunkthöhenunterschiedes: dieser soll für das zu behandelnde Anstiegsfeld 300 m betragen.<sup>16)</sup>

**Ziffernbeispiel.**

Gegeben:

- Spannweite (in der Waagrechten gemessen) . . . . . a = 500 m
- Spannweite (schräg gemessen von Festpunkt zu Festpunkt) . . . . . c = 583,1 m
- Höhenunterschied der Festpunkte . . . . . h = 300 m
- Bronzeseil-Querschnitt . . . . . q = 70 mm<sup>2</sup>
- Seilhöchstbeanspruchung  $\sigma_{max} = 12$  kg/mm<sup>2</sup> (am Oberfestpunkt)
- Seilgewichtsdichte (ohne Zusatzlast)  $\delta = 9$  g/m/mm<sup>2</sup> ( $\delta = 1000$  g, wenn g in kg/m/mm<sup>2</sup>).

<sup>12)</sup> Verläuft ausnahmsweise die Leitlinie zur Gänze innerhalb des obgenannten Streifens, ohne die (c·g : s)-Lotrechte zu erreichen, so dass es einen Austrittspunkt (aus dem in Abb. 4 durch schräge Schraffen angedeuteten Vertikalstreifen gar nicht gibt, so heisst das: Die Baubedingungen (hinsichtlich Höchstbelastung und Höchstbeanspruchung des gewählten Leiters) sind von vornherein so gestellt, dass es eine Lösung gar nicht gibt, d. h., dass den für das Anstiegsfeld aufgestellten Forderungen überhaupt nicht entsprochen werden kann (vgl. die ganz analogen Ausführungen für das Waagrechtfeld in Techn. Mitteil. T. T. 1936, S. 58, Fussnote 13).

<sup>13)</sup> Im Sinn des Artikels von Grob (ETZ 1931, S. 209).

<sup>14)</sup> Für welche bereits in Techn. Mitteil. T. T. 1936, S. 58 der entsprechende Nachweis erbracht worden ist.

<sup>15)</sup> Techn. Mitteil. T. T. 1936, S. 56.

<sup>16)</sup> Gemäss ETZ 1928, S. 212, Spalte 1, Punkt 2 (sowie 3).

Scheindichte des Seiles bei Zusatzlast<sup>17)</sup>  $\delta_z = 19,9$  g/m/mm<sup>2</sup> ( $\delta_z = 1000$  g, wenn g, in kg/m/mm<sup>2</sup>).  
 Elastizitätsmodul des Seiles E = 10,000 kg/mm<sup>2</sup>  
 Wärmedehnwert des Seiles  $\vartheta = 16,5 \cdot 10^{-6}$  (dimensionslos)

Gesucht:

1. Ausgangsdurchhang in m.
2. Rechnungsmässige Meterbruchlast (Eisreisslast in kg je m).

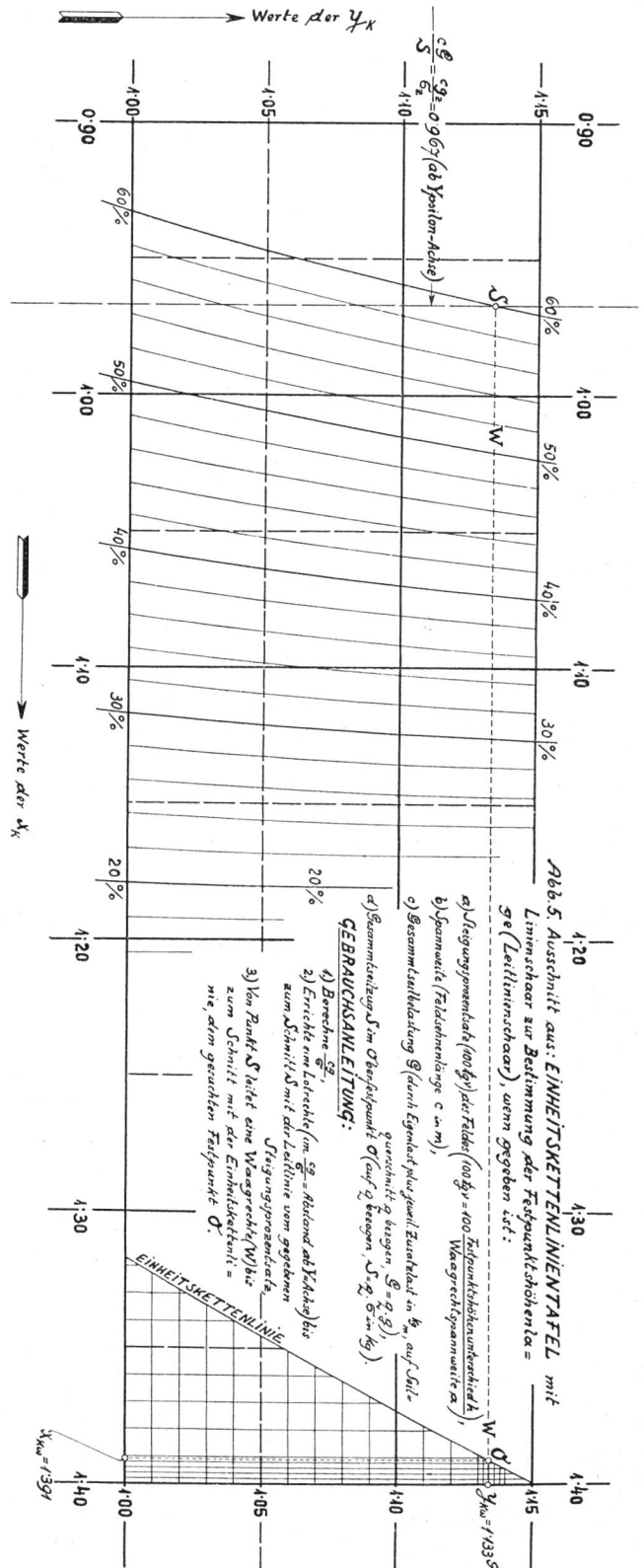


Abb. 5. Ausschnitt aus: EINHEITSKETTENLINIENTAFEL mit Linienschaar zur Bestimmung der Festpunkthöhenla = ge (Leitlinienschaar), wenn gegeben ist:

- a) Liegungswinkel (60%) der Fäden (100 g = 100 Teilgewichtskantenkraft A, Waagrechtspannweite a)
- b) Spannweite (Fädenlänge c = a m)
- c) Gesamtlastbelastung Q (durch Eigenlast plus gleich Zusatzlast in  $h_m$  auf-Gültig gerechnet g bezogen,  $g = g \cdot g$ )
- d) Gesamtlast  $S$  im Oberfestpunkt  $\sigma$  (auf 2 bezogen,  $S = 2 \cdot \sigma \cdot m$ )

**GEBRÄUCHSANGLEITUNG:**  
 1) Berechne  $\frac{S}{a}$   
 2) Erlicke ein Lotrecht (m  $\frac{S}{a}$  - Abstand ab Y-Achse bis zum Schnittpunkt der Leitlinie vom gegebenen Steigungsprozentatz)  $\frac{S}{a}$   
 3) Von Punkt S trit eine Waagrecht (W) bis zum Schnitt mit der Einheitskettenlinie =  $h_m$ , dem gesuchten Festpunkt D.

$X_{max} = 1.391$

In Anbetracht der bedeutenden Spannweite kann man von einer Bestimmung der kritischen Spannweite absehen, d. h. zum voraus annehmen: als Ausgangszustand hat zu gelten der *Zusatzlast*-Zustand. Also ist Ausgangsdichte  $\delta_A = \delta_z = 1000 \text{ g}_z$  und Ausgangsspannung  $\sigma_A = \sigma_z$ .

*Durchhangsermittlung:* Zuerst ist ziffernmässig der Ausdruck  $\frac{c \cdot g}{\sigma}$  zu ermitteln, d. h., da als Ausgangszustand „Zusatzlast“ in Betracht kommt, der Ausdruck  $\frac{c \cdot g_z}{\sigma_z}$ :

$$\frac{c \cdot g_z}{\sigma_z} = \frac{c \cdot \delta_z}{1000 \sigma_z} = \frac{583,1}{1000} \cdot \frac{19,9}{12} = 0,96697 \pm 0,967^{18)}$$

Mit diesem Wert gehen wir in Abb. 5 ein, d. h., wir errichten im ermittelten Abstand 0,967 von der Y-Achse der Einheitskettenlinie eine Lotrechte L ( $\frac{cG}{\delta}$ ) und sehen nach, wo diese Lotrechte zum Schnitt kommt mit der Leitlinie für Steigungswinkel  $\nu$  gemäss  $\text{tg } \nu = \frac{h}{a} = \frac{300}{500} = 0,60$ , d. h. für 60% Steigung.

Man erhält so (theoretisch) 2 Schnittpunkte S und S'; der letztere (obere) Schnittpunkt scheidet praktisch wegen übermässiger Seillänge aus<sup>19)</sup>; durch den unteren Schnittpunkt S, der hier allein in Be-

<sup>17)</sup> Ueber Index „Z“, vgl. Fussnote 6).

<sup>18)</sup> Der genaue Wert 0,96697 muss abgekürzt werden (auf 0,967), denn in einer Einheitskettenlinie von 1 m Parameter können nur die dritten Dezimalstellen (der Knotenwerte) abgelesen werden (in mm), die vierten Dezimalstellen müssen schon geschätzt werden. Man kann die Genauigkeit der Ermittlung noch weiter treiben und direkt mit dem Wert 0,96697 arbeiten, wenn man zu einer Einheitskettenlinie mit dem Parameter 10 m greift, die allerdings, mit Rücksicht auf das Format, nicht mehr als Ganzes entworfen werden kann. Letzteres ist aber auch nicht erforderlich, denn es genügt, aus der Einheitskettenlinie von 1 m Parameter einfach entsprechend kleine Ausschnitte herauszugreifen und diese 10 mal zu vergrössern, nämlich mit Hilfe von *Zahlentabellen* zur Einheitskettenlinie (für die Waagrechtspannweiten  $a_K$  und die Werte der  $c_K \cdot \cos \omega$ ), die mit 5 Dezimalstellen im Sinn bestehender Tabellenausschnitte I und II ausgearbeitet sind:

Tabellenausschnitt I.

Oberfestpunktsabszisse $x_{K\omega}$	Waagrechtspannweite $a_K$ (Knotenwert) für Steigung (in % der Waagrechtspannweite a.)		
	60 %	58 %	56 %
1,40	1,78988	1,82571	1,86156
1,39	1,76685	1,80272	1,83862
1,38	1,74386	1,77977	1,81572 <sup>5</sup>

Tabellenausschnitt II.

Oberfestpunktsabszisse $x_{K\omega}$	Leitlinien-Abszissenwert $\left[ \frac{c_K \cdot \cos \omega}{\cos \nu} \cos \omega \right]$ für Steigung (in % der Waagrechtspannweite a.)		
	60 %	58 %	56 %
1,40	0,97045	0,98125	0,99195
1,39	0,96647 <sup>5</sup>	0,97749 <sup>5</sup>	0,98842 <sup>5</sup>
1,38	0,96236	0,97361	0,98476 <sup>5</sup>

Auf diese Verfeinerung des Verfahrens soll in einer späteren Arbeit eingegangen werden.

tracht kommt, ist eine Waagrechte (W) zu legen, bis zum Schnittpunkt O mit der Einheitskettenlinie, dem der Abszissenwert  $x_{K\omega} = 1,391$  entspricht; damit ist der gesuchte Oberfestpunkt festgelegt.

Durch Oberfestpunkt O ist nun in der Neigung des Anstiegswinkels  $\nu$  (gegenüber der Waagrechten) eine Gerade zu legen; wo diese die Kettenlinie (im linken Ast unten) schneidet, dort liegt in der Abbildung der untere Festpunkt U, dem als Abszisse  $x_{KU} = -0,3781$  entspricht.<sup>20)</sup> Somit ist die Waagrechtspannweite ( $a = 500 \text{ m}$ ) in der Abbildung dargestellt durch die Streckensumme  $x_{K\omega} + x_{KU} = 1,391 + 0,3781 = 1,7691$  (wenn die Absolutwerte in Abb. 6 als Abszissen gelten); das Kotierungsverhältnis der Zeichnung ist also  $K = \frac{500}{1,7691} = 282,63$ .

Der Durchhang in Feldmitte (Fallrichtungsdurchhang, d. i. Strecke  $M_c$  bis  $M_F$  in Abb. 3) ergibt sich wie folgt: Abszisse von Punkt  $M_F$  ist

$$\xi = \frac{x_{K\omega} + x_{KU}}{2} - x_{KU} = \frac{1,391 + 0,3781}{2} - 0,3781 = 0,50645.$$

Ordinate von  $M_c$  ist das Mittel aus den Festpunktordinaten, nämlich  $\eta = \frac{y_{K\omega} + y_{KU}}{2} = \frac{1,1339 + 0,7234}{2} = 0,60312$  (Abb. 5 und 6). Dem Abszissenwert  $\xi = 0,50645$  von  $M_F$  entspricht ein Ordinatenwert  $\eta = 0,131$ ; dieser Wert kann entweder direkt in der Einheitskettenlinie (in Feldmitte) abgelesen werden, indem man die nach Abb. 6 ermittelte Spannfeldsehne (vom Abszissenpunkt  $x_K = -0,4988$  bis Unterfestpunkt U) verlängert bis Feldmitte; in manchen Fällen aber, wie im vorliegenden Beispiel, ist es gar nicht nötig, die Abbildung der linken unteren Spannfelddecke, die Abb. 6 darstellt, bis zur Feldmitte, d. i. der Lotrechten  $L_M$  in Abb. 3 zu erweitern. Denn wie Abb. 3 zeigt, kann man sich auch das (durch schräge Schraffen hervorgehobene) Spannfeldbild U  $M_c$  O  $M_F$   $M_S$  U um die Y-Achse (um 180°) umgeklappt denken, so dass Punkt  $M_F$  in den Punkt  $M'_F$  fällt und die Lotrechte  $L_M$  die Lage  $L'_M$  annimmt.<sup>21)</sup> Zufälligerweise kommt nun in unserem Zif-

<sup>19)</sup> Vgl. Techn. Mitteil. T. T. 1936, S. 58. Für die Praxis kommt von jeder Leitlinie bloss der untere Teil in Betracht, nämlich von der Y-Achse bis zu jenem Punkt, in dem die Leitlinientangente zur Kettenlinien-Symmetrieachse (Y-Achse) parallel verläuft (vgl. Abb. 5, die bei den Leitlinien für 22, 20, 18 und 16% Steigung nur die unteren Kurvenpartien aufweist).

<sup>20)</sup> Es ist hierbei nicht notwendig, die Spannfeldsehne  $c_K$  in der Einheitskettenlinie direkt von 0 aus und vollständig einzuzichnen; bei *hohem* Steigungsprozentsatz kann man rasch und genau den Schnitt dieser Sehne mit der Waagrechtachse (durch Kettenlinienscheitel  $M_s$ ) berechnen, bei *geringerem* Steigungsprozentsatz den Schnitt mit einer passend gewählten Lotrechten. Hier folgt für den Schnittpunkt mit der X-Achse (nach Abb. 5 und 6) ein Abszissenwert  $x_K = \frac{y_{K\omega}}{\text{tg } \nu} - x_{K\omega} = \frac{1,1339}{0,60} - 1,391 = 0,49883$  (wenn das Vorzeichen von  $x_K$  unberücksichtigt bleibt). Wird in der Einheitskettenlinie im Punkt  $x_K = -0,49883$  eine Gerade unter Winkel  $\nu$  gegen die Waagrechte eingezeichnet, so schneidet diese die Kettenlinie im gesuchten Unterfestpunkt U, für welchen die Abszissenachse geschätzt werden kann, auf  $x_{KU} = -0,3781$ .

<sup>21)</sup> Man erhält so die Punkte  $M'_F$  und  $M'_c$  gewissermassen als Spiegelbilder der beiden Punkte  $M_F$  und  $M_c$  und die Abstände der Lotrechten  $L_M$  und  $L'_M$  von der Y-Achse sind absolut gleich (d. i. =  $\xi$ ) und bloss im Vorzeichen voneinander verschieden.

