

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: 6 (1928)

Heft: 6

Artikel: Hifswerte zur Berechnung von Freileitungen auf Festigkeit

Autor: Nather, Eugen

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-873765>

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: 01.02.2026

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

Technische Mitteilungen

Herausgegeben von der schweiz. Telegraphen- und Telephon-Verwaltung

Bulletin Technique

Publié par l'Administration des
Télégraphes et des Téléphones suisses



Bollettino Tecnico

Publicato dall'Amministrazione
dei Telegrafi e dei Telefoni svizzeri

Hilfswerte zur Berechnung von Freileitungen auf Festigkeit.

Von Ing. Dr. Eugen Nather, Wien.

Die graphische Durchhangsermittlung nach dem Singer-Verfahren ist, wenn man aus Genauigkeitsrücksichten Tafeln von möglichst grossem Maßstab benützen will, für zwei Fälle nicht ganz bequem.

Nämlich einerseits bei den kleinsten Spannweiten und Seilquerschnitten, und zwar insbesondere dann, wenn grössere Zusatzlasten, wie in Rauhreifgebieten, zu berücksichtigen sind. Andererseits bei den grössten Spannweiten, und zwar auch hier besonders dann, wenn es sich um kleinere Leiterquerschnitte handelt und ausserdem auch noch grösseren Zusatzlasten Rechnung getragen werden muss.

Nehmen wir als Beispiel für den ersterwähnten Fall die folgenden Zahlenwerte: Spannweite $a = 30$ m, Nennquerschnitt des Kupferleiters $q_n = 10 \text{ mm}^2$ (Seil- $\varnothing d = 4,4 \text{ mm}$), Zusatzlast entsprechend 13 mm Eiswandstärke plus 50 kg/m^2 Wind (im Sinne der Rauhreifvorschrift für die Kreuzungen österreichischer Fernmeldeleitungen); hierfür ist $z =$

$$\frac{\bar{\sigma}}{\bar{\sigma}} = \frac{123}{9} = 13,7,^1)$$

Man kann für die kleinen Spannweiten um 10 und 20 m, wie sie sich bei Strassenkreuzungen vielfach ergeben, als Temperaturmaßstab Doppelzentimeter wählen (20 mm in der Tafel = 10^0 Temperaturunterschied, 20 mm der Tafel = 10 m Spannweite). In einer solchen Tafel entspricht der Spannweite $a = 30$ m ein Abstand = 60 mm, der äquivalenten Spannweite $\bar{z}a = 414$ m ein Abstand = 828 mm; man sieht, es ist schon nicht mehr bequem, einen Punkt der $za =$ Geraden (vom Abstand 828 mm) herunterzuprojizieren auf den der Spannweite entsprechenden Abstand 60 mm; es erscheint hier schon zweckmässiger, diesen Teil der zeichnerischen Ermittlung auszuschalten und durch Rechnung zu

¹⁾ $\bar{\sigma} =$ Scheindichte (oder Raumeinheitsgesamtbelastung in g/m, mm^2 bei erhöhter Eislast gemäss

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\left(\frac{q \delta + 573}{q}\right)^2 + \left(\frac{1060}{q}\right)^2},$$

wenn q den Istwert des Leiterquerschnitts ($10,18 \text{ mm}^2$) bedeutet, 573 das Eiswalgengewicht je m in Gramm, 1060 den horizontalen Winddruck je m in g. Im übrigen vgl. hinsichtlich Bezeichnungsweise Techn. Mitt. T. T. 1927, S. 81 u. ff., bzw. 1925, S. 81 u. ff.

ersetzen, vorausgesetzt, dass letztere auch hinlänglich einfach ausfällt.

Was die grossen Spannweiten anbelangt, so geht man hier in der Regel auch mit den Durchhängen höher hinauf; unter Umständen bis rund 10%, wenn für jeden Leiter eine eigene Mastreihe vorgesehen werden kann. Bei so hohen prozentualen Durchhängen fällt schon die eine Tafeldimension beträchtlich aus;²⁾ die bequeme Handhabung erfordert, dafür wenigstens die andere Dimension möglichst zu beschränken, d. h. eben den Bereich der Spannweiten „ a “ bzw. der äquivalenten Spannweiten „ za “; es erscheint wünschenswert, die Tafel in der Spannweitenrichtung unterteilen zu können.

Man kann dies auch und es lassen sich Zahlenreihen zusammenstellen, die es für viele Fälle (mit den gewöhnlichen σ_{\max} - und z -Werten) leicht machen, den Ausgangspunkt \bar{A} für Zusatzlast durch Rechnung auszumitteln (anstatt durch Herunterprojizieren).

Es gilt nämlich für den Abstand des Punktes \bar{A} von der Temperaturzähllinie Z bekanntlich die Beziehung:³⁾

$$Z : \bar{A} = \left\{ \frac{\bar{\sigma}^2}{24 (10^6 \vartheta)} \right\} \left(\frac{a}{\sigma} \right)^2 - \frac{\bar{\sigma}}{\vartheta E} \dots \dots \dots (1)$$

Stellt man die Werte $\left\{ \frac{\bar{\sigma}^2}{24 (10^6 \vartheta)} \right\}$ für die gangbaren Leiterquerschnitte und jedes Material nach Tabelle 1 zusammen, die Werte $\left(\frac{a}{\sigma} \right)^2$ für die gewöhnlichen Spannweiten und Höchstbeanspruchungen (Tabelle 2) und dementsprechend die Werte $\frac{\bar{\sigma}}{\vartheta E}$

(Tabelle 3), dann ist die Lage von \bar{A} auf der a -Geraden rasch bestimmbar; das Herunterloten wird dann entbehrlich und man kann die Tafel in Streifen von zweckmässiger Höhendimension zerlegen, nach-

²⁾ Selbst dann, wenn man Halbzentimeter als Maßstab für die Temperaturdifferenzen und Spannweiten nimmt.

³⁾ Vgl. Techn. Mitteil. T. T. 1927, S. 90, Fussnote 33.

dem die Breite durch den grössten φ -Wert von vornherein gegeben ist.⁴⁾

Als Zahlenbeispiel für den allgemeinen Fall, wo die Lage von \bar{A} aus Gl. (1) rechnerisch zu bestimmen ist (ohne die Tabellen 1 bis 3), soll eine Fernmelde-
linienkreuzung dienen, die im Zuge einer österreichischen 110,000-Volt-Leitung im Gebirgsgelände⁵⁾ ausgeführt worden ist.

Zahlenbeispiel:

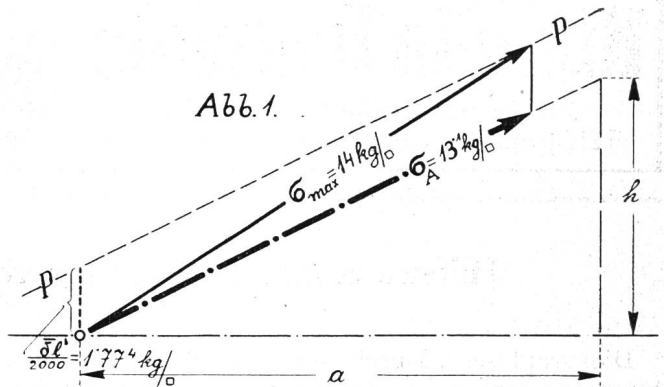
Wagrecht gemessener Abstand der Stützpunkte	$a = 215 \text{ m}$
Höhenunterschied der Stützpunkte	$h = 106 \text{ m}$
Schief gemessener Abstand der Stützpunkte $l' = \sqrt{a^2 + h^2}$	$= 239,7 \text{ m}$
Nennquerschnitt des Bronzeseiles ($\varnothing d = 14 \text{ mm}$)	$q_n = 120 \text{ mm}^2$
Istquerschnitt des Bronzeseiles	$q = 117 \text{ mm}^2$
Höchstbeanspruchung des Bronzeseiles am oberen Aufhängepunkt O'	$\sigma_{\max} = 14 \text{ kg/mm}^2$
Höchstbeanspruchung des Bronzeseiles in Feldmitte (nach Seileck Abb. 1)	$\sigma_A = 13,1 \text{ kg/mm}^2$ ⁶⁾

⁴⁾ Bei der Ermittlung von Punkt A kommt als Aneisungstemperatur \bar{t} in Betracht: $\bar{t} = 0$ für Schweizer Gebiet, $\bar{t} = -5^\circ \text{C}$ für Deutschland und Oesterreich. Der Schweizer Wert für Zusatzlasttemperatur $\bar{t} = 0$ empfiehlt sich durch Einfachheit und Uebersichtlichkeit vor jedem anderen; insbesondere beim Gebrauch von Durchhangstafeln wie derjenigen von Singer und von Truxa. Eine Einigung auf allgemeine Verwendung des Wertes $\bar{t} = 0^\circ$ würde sich sehr empfehlen, denn er leistet praktisch doch wohl dasselbe wie der Wert $\bar{t} = -5^\circ$, der beim Gebrauch von Durchhangstafeln nur als störend empfunden wird.

⁵⁾ Am Semmeringpass in rund 1000 m Seehöhe.

⁶⁾ Die Seilgewichtsbestimmung nach Abb. 1 vernachlässigt den Einfluss des Durchhanges auf den Spannungsanstieg ganz so, wie dies praktisch üblich ist bei der Berechnung von Wagrechtspannfeldern (vgl. Techn. Mitteil. T. T. 1927, S. 90, Fussnote 29, erster Absatz). Zum Teil wird diese Ungenauigkeit dadurch kompensiert (bzw. fallweise überkompensiert), dass statt

Elastizitätsmodul des Bronzeseiles	$E = 10,000 \text{ kg/mm}^2$
Wärmedehnungszahl des Bronzeseiles	$\vartheta = 17.10^{-6}$
Spezifisches Gewicht des Bronzeseiles (ohne Zusatzlast)	$\delta = 9 \text{ g/cm}^3$



Gewicht (je m Länge und mm ² Querschnitt des Seiles) einschl. Zusatzlast ($180 \sqrt{d}$)	$\bar{\delta} = 14,8 \text{ g/cm}^3$
Wirkliches Aneisungsverhältnis $\alpha = \frac{\bar{\delta}}{\delta}$	$= 1,644 \text{ g/cm}^3$
Länge einer Abspannkette (Doppelkette)	$l_K = 1,5 \text{ m}$
Gewicht einer Abspannkette (Doppelkette) ohne Zusatzlast	$G_K = 96 \text{ kg}$
Gewicht einer Abspannkette (Doppelkette) einschl. Zusatzlast	$\bar{G}_K = 104 \text{ kg}$

der Seilsehnenlänge ($O'U'$ in Abb. 6) der grössere Wert $O'U$ (Stützpunktverbindungsline) eingeführt wird.

In besonderen Fällen wird es notwendig, insbesondere dem Einfluss des Durchhanges Rechnung zu tragen. Genauen Einblick in die damit zusammenhängenden Verhältnisse gibt die Abhandlung von G. Schmidt in E. T. Z. 1928, Nr. 6, S. 208 u. ff. (vgl. a. a. O. speziell die Formel S. 212, Zeile 21).

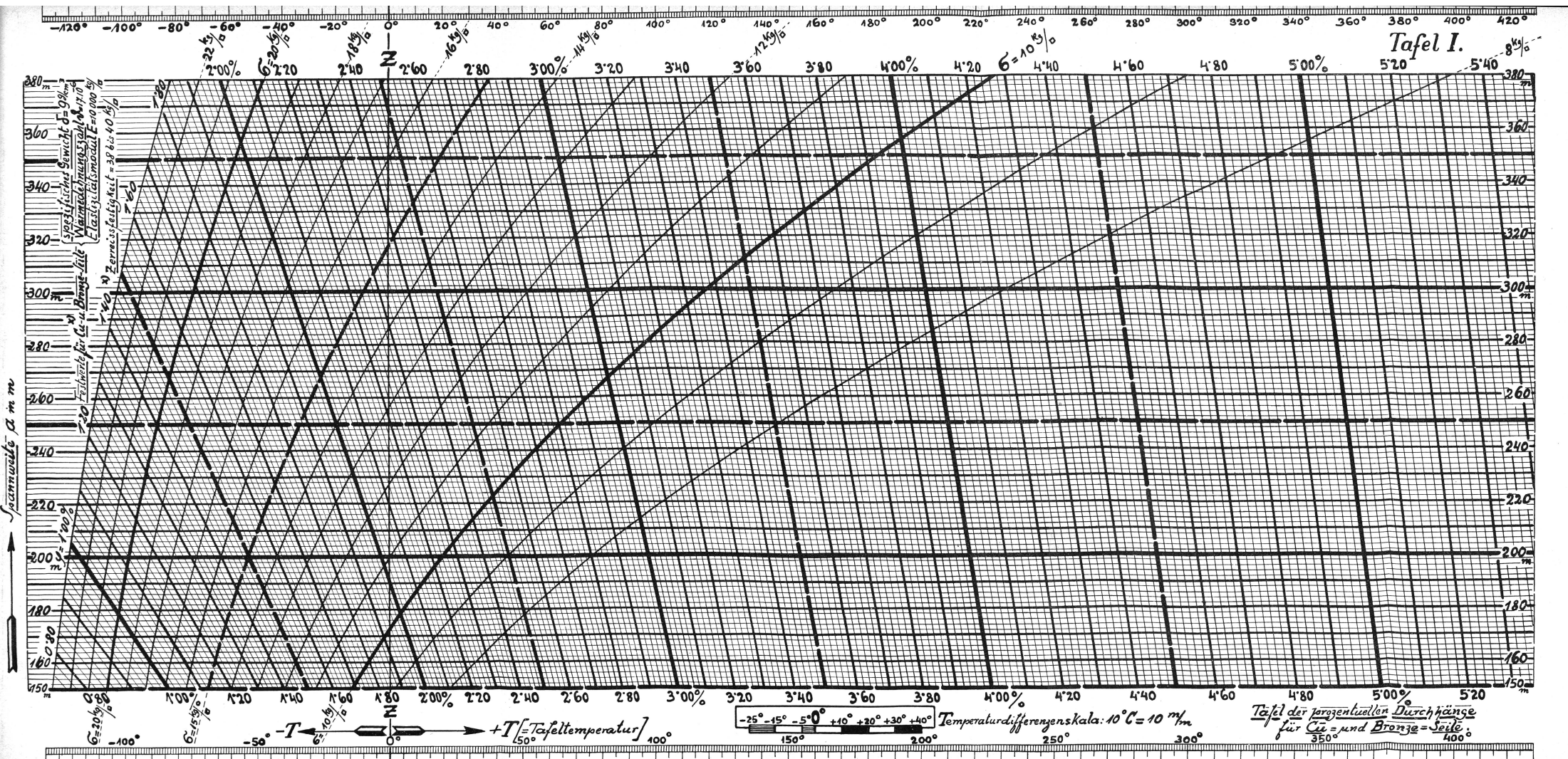
Tabelle 1 (Cu, Bronze).

Seildurchmesser d mm	Seilquerschnitt q mm ²	$\left\{ \frac{\bar{\sigma}^2}{\delta^2} \right\}$ $\left\{ 24 (10^6 \vartheta) \right\}$ [bei Normaleis ($180 \sqrt{d}$)]	$\left\{ \frac{\bar{\sigma}^2}{\delta^2} \right\}$ $\left\{ 24 (10^6 \vartheta) \right\}$ [bei Rauhreif d. i. 13 mm Eis + 50 kg/m ² Wind]
4,4	10	5,209	37,08
4,1	10	4,919	36,48
5,5	16	3,089	17,25
5,1	16	2,935	16,84
6,3	25	1,867	8,359
7,5	35	1,331	4,832
9	50	0,9706	2,883
9	50	1, —	3,003
10,5	70	0,7853	2,005
12,5	95	0,579	1,331

Tabelle 3
(Cu, Bronze)

$\bar{\sigma}$ kg/mm ²	$\frac{\bar{\sigma}}{\vartheta E}$
23	135,7
22	129,4
21	123,5
20	117,6
19	111,8
16	94,12
14	82,35
12	70,54
8	47,06

Tafel I.



Tafel der prozentualen Durchgänge
für Cu und Bronze = Seite 350
400

Tabelle 2. (Spannweiten 10 bis 50 m.)

a	$\left(\frac{a}{23}\right)^2$	$\left(\frac{a}{22}\right)^2$	$\left(\frac{a}{21}\right)^2$	$\left(\frac{a}{20}\right)^2$	$\left(\frac{a}{19}\right)^2$	$\left(\frac{a}{16}\right)^2$	$\left(\frac{a}{14}\right)^2$	$\left(\frac{a}{12}\right)^2$	$\left(\frac{a}{8}\right)^2$
10	0,1890	0,2066	0,2268	0,2500	0,2770	0,3906	0,5102	0,6945	1,563
1	,2287	,2500	,2744	,3025	,3353	,4727	,6174	,8403	,891
2	,2722	,2975	,3265	,3600	,3989	,5625	,7347	1,000	2,250
3	,3195	,3492	,3832	,4225	,4681	,6602	,8623	,174	,640
4	,3705	,4050	,4445	,4900	,5430	,7656	1,000	,361	3,063
15	0,4253	0,4649	0,5102	0,5625	0,6233	0,8789	1,148	1,563	3,516
6	,4839	,5289	,5805	,6400	,7091	1,000	,306	,778	4,000
7	,5463	,5971	,6553	,7225	,8006	,129	,475	2,007	,516
8	,6125	,6694	,7347	,8100	,8975	,266	,653	,250	5,063
9	,6824	,7459	,8186	,9025	1,000	,410	,842	,507	,641
20	0,7562	0,8265	0,9070	1,000	1,108	1,563	2,041	2,778	6,250
1	,8336	,9111	1,000	1,102	,222	,723	,250	3,062	,890
2	,9149	1,000	,098	,210	,341	,891	,469	,361	7,563
3	1,000	,093	,200	,323	,465	2,066	,699	,674	8,266
4	,089	,190	,306	,441	,595	,250	,939	4,000	9,000
25	1,182	1,291	1,417	1,562	1,730	2,440	3,187	4,338	,761
6	,278	,397	,533	,690	,873	,641	,449	,694	10,56
7	,378	,506	,653	,822	2,019	,848	,719	5,062	11,39
8	,482	,620	,778	,960	,172	3,063	4,000	,444	12,25
9	,590	,738	,907	2,102	,330	,285	,291	,840	13,14
30	1,701	1,860	2,041	2,250	2,493	3,516	4,592	6,250	14,06
1	,817	,986	,179	,403	,662	,754	,903	,674	15,02
2	,936	2,116	,322	,560	,837	4,000	5,224	7,111	16,00
3	2,059	,250	,469	,722	3,017	,253	,556	,563	17,02
4	,185	,388	,621	,890	,202	,516	,898	8,028	18,06
35	,316	,531	2,778	3,063	3,393	4,785	6,250	8,507	19,14
6	,450	,678	,939	,240	,590	5,063	,612	9,000	20,25
7	,588	,829	3,104	,423	,792	,348	,985	,507	21,39
8	,730	,983	,274	,610	4,000	,641	7,367	10,03	22,56
9	,875	3,143	,449	,802	,213	,941	,760	,56	23,77
40	3,025	3,306	3,628	4,000	4,432	6,250	8,163	11,11	25,00
1	,178	,473	,812	,202	,656	,566	,577	,67	26,27
2	,335	,645	4,000	,410	,886	,891	9,000	12,25	27,56
3	,495	,820	,193	,622	5,122	7,223	,434	,84	28,89
4	,660	4,000	,390	,840	,363	,563	,878	13,44	30,25
45	3,828	4,183	4,592	5,063	5,609	7,910	10,33	14,06	31,64
6	4,000	,372	,798	,290	,861	8,266	,79	,69	33,06
7	,176	,564	5,009	,522	6,119	,629	11,27	15,34	34,51
8	,356	,760	,224	,760	,382	9,000	,76	16,00	36,00
9	,539	,961	,444	6,002	,651	,379	12,25	,67	37,52
50	4,726	5,165	5,669	6,250	6,925	9,766	12,76	17,36	39,06

Tabelle 2. (Spannweiten 50 bis 100 m.)

a	$\left(\frac{a}{23}\right)^2$	$\left(\frac{a}{22}\right)^2$	$\left(\frac{a}{21}\right)^2$	$\left(\frac{a}{20}\right)^2$	$\left(\frac{a}{19}\right)^2$	$\left(\frac{a}{16}\right)^2$	$\left(\frac{a}{14}\right)^2$	$\left(\frac{a}{12}\right)^2$	$\left(\frac{a}{8}\right)^2$
50	4,726	5,165	5,669	6,250	6,925	9,766	12,76	17,36	39,06
1	,917	,374	,898	,503	7,205	10,16	13,27	18,06	40,64
2	5,112	,587	6,132	,760	,491	,56	,80	,78	42,25
3	,310	,804	,370	7,023	,782	,97	14,33	19,51	43,89
4	,513	6,025	,613	,290	8,078	11,39	,88	20,25	45,56
55	5,719	6,250	6,860	7,563	8,380	11,82	15,43	21,01	47,27
6	,928	,480	7,111	,840	,687	12,26	16,00	,78	49,00
7	6,142	,713	,368	8,123	9,00	,69	,58	22,56	50,77
8	,359	,951	,628	,410	,319	13,14	17,16	23,36	52,56
9	,581	7,192	,894	,703	,643	,60	,76	24,17	54,39
60	6,805	7,438	8,163	9,000	9,972	14,06	18,37	25,00	56,25
1	7,034	,688	,438	,303	10,31	,54	,98	,84	58,14
2	,267	,942	,717	,610	,65	15,02	19,61	26,69	60,06
3	,503	8,200	9,000	,923	11,00	,50	20,25	27,56	62,02
4	,743	,463	,288	10,24	,35	16,00	,90	28,44	64,00
65	7,990	8,729	9,581	10,56	11,70	16,50	21,56	29,34	66,00
6	8,234	9,000	,880	,89	12,15	17,02	22,23	30,25	68,06
7	,486	,273	10,18	11,22	,44	,54	,90	31,17	70,14
8	,741	,554	,49	,56	,81	18,06	23,59	32,11	72,25
9	9,000	,837	,80	,90	13,19	,60	24,29	33,06	74,39
70	9,262	10,12	11,11	12,25	13,57	19,14	25,00	34,03	76,56
1	,529	,42	,43	,60	,96	,69	,72	35,01	78,77
2	,800	,71	,76	,96	14,36	20,25	26,45	36,00	81,00
3	10,07	11,01	12,08	13,32	,76	,82	27,19	37,01	83,27
4	,24	,31	,42	,69	15,17	21,39	,94	38,03	85,56
75	10,63	11,62	12,76	14,06	15,58	21,97	28,70	39,06	87,89
6	,92	,93	13,10	,44	16,00	22,56	29,47	40,11	90,25
7	11,21	12,25	,44	,82	,42	23,16	30,25	41,17	92,64
8	,50	,57	,80	15,21	,85	,77	31,04	42,25	95,06
9	,80	,90	14,15	,60	17,29	24,38	,84	43,34	97,52
80	12,10	13,22	14,51	16,00	17,73	25,00	32,65	44,45	100,00
1	,40	,56	,88	,40	18,18	,63	33,48	45,56	102,5
2	,71	,89	15,25	,81	,63	26,27	34,31	46,70	105,1
3	13,02	14,23	,62	17,22	19,08	,91	35,15	47,84	107,6
4	,34	,58	16,00	,64	,55	27,56	36,00	49,00	110,3
85	13,66	14,93	16,38	18,06	20,01	28,22	36,86	50,17	112,9
6	,98	15,28	,77	,49	,49	,89	37,74	51,36	115,6
7	14,31	,64	17,16	,92	,97	29,57	38,62	52,56	118,3
8	,64	16,00	,56	19,36	21,45	30,25	39,51	53,78	121,0
9	,97	,37	,96	,80	,94	,94	40,41	55,01	123,8
90	15,31	16,74	18,37	20,25	22,44	31,64	41,33	56,25	126,6
1	,61	17,11	,78	,70	,95	32,35	42,25	57,51	129,4
2	16,00	,48	19,19	21,16	23,45	33,06	43,18	58,71	132,3
3	,35	,87	,61	,62	,96	,78	44,13	60,06	135,1
4	,70	18,26	20,04	22,09	24,48	34,52	45,08	61,36	138,1
95	17,06	18,65	20,47	22,56	25,00	35,35	46,05	62,67	141,0
6	,42	19,04	,90	23,04	25,53	36,00	47,02	64,00	144,0
7	,79	,44	21,34	,52	26,06	36,75	48,01	65,34	147,0
8	18,16	,84	,78	24,01	,60	37,52	49,00	66,70	150,1
9	,53	20,25	22,23	,50	27,15	38,29	50,01	68,06	153,1
100	18,90	20,66	22,68	25,00	27,70	39,06	51,02	69,45	156,3

Tabelle 2. (Spannweiten 100 bis 150 m.)

a	$\left(\frac{a}{23}\right)^2$	$\left(\frac{a}{22}\right)^2$	$\left(\frac{a}{21}\right)^2$	$\left(\frac{a}{20}\right)^2$	$\left(\frac{a}{19}\right)^2$	$\left(\frac{a}{16}\right)^2$	$\left(\frac{a}{14}\right)^2$	$\left(\frac{a}{12}\right)^2$	$\left(\frac{a}{8}\right)^2$
100	18,90	20,66	22,68	25,00	27,70	39,06	51,02	69,45	156,3
1	19,29	21,09	23,14	,51	28,27	,86	52,07	70,87	159,5
2	,68	,51	,60	26,02	,84	40,66	53,11	72,29	162,7
3	20,06	,93	24,07	,54	29,40	41,46	54,16	73,71	165,9
4	,45	22,36	,54	27,05	,87	42,26	55,20	75,14	169,1
05	20,84	22,78	25,00	27,56	30,54	43,07	56,25	76,56	172,3
6	21,25	23,22	,49	28,10	31,14	,91	57,35	78,05	175,6
7	,65	,67	,98	,64	,74	44,75	58,44	79,55	179,0
8	22,06	24,11	26,46	29,17	32,35	45,59	59,54	81,04	182,3
9	,46	,56	,95	,71	,95	46,43	60,64	82,54	185,7
110	22,87	25,00	27,44	30,25	33,53	47,27	61,74	84,03	189,1
1	23,30	,47	,95	,89	34,15	48,14	62,88	85,59	192,6
2	,72	,93	28,46	31,53	,77	49,02	64,03	87,15	196,1
3	24,15	26,40	,97	32,18	35,39	,90	65,18	88,72	199,6
4	,57	,86	29,48	,82	36,01	50,78	66,33	90,28	203,1
15	25,00	27,33	29,99	33,46	36,64	51,66	67,48	91,84	206,7
6	,44	,81	30,52	,97	37,29	52,58	68,67	93,47	210,3
7	,89	28,30	31,05	34,48	,94	53,50	69,87	95,10	214,0
8	26,33	,78	,59	,98	38,59	54,41	71,07	96,74	217,7
9	,78	29,27	32,12	35,49	39,24	55,33	72,27	98,37	221,3
120	27,22	29,75	32,65	36,00	39,89	56,25	73,47	100,00	225,0
1	,68	30,26	33,21	,71	40,57	57,21	74,72	101,7	228,8
2	28,15	,76	,76	37,41	41,25	58,16	75,96	103,4	232,7
3	,61	31,27	34,32	38,12	,92	59,12	77,21	105,1	236,5
4	29,08	,77	,87	,82	42,60	60,08	78,45	106,8	240,3
25	29,54	32,28	35,43	39,53	43,28	61,04	79,70	108,5	244,2
6	30,02	,81	36,01	40,07	,99	62,03	81,00	110,3	248,1
7	,50	33,34	,59	,62	44,69	63,02	82,31	112,1	252,1
8	,99	,86	37,16	41,16	45,40	64,02	83,62	113,8	256,1
9	31,47	34,39	,74	,71	46,10	65,01	84,92	115,6	260,1
130	31,95	34,92	38,32	42,25	46,81	66,02	86,23	117,4	264,0
1	32,45	35,47	,92	43,02	47,55	67,05	87,58	119,2	268,2
2	,95	36,01	39,52	,79	48,28	68,09	88,93	121,1	272,4
3	33,45	,56	40,13	44,57	49,02	69,42	90,28	122,9	276,5
4	,97	37,10	,73	45,34	,75	70,16	91,63	124,7	280,7
35	34,45	37,65	41,33	46,11	50,49	71,19	92,99	126,6	284,8
6	,97	38,22	,95	,69	51,25	72,26	94,39	128,5	289,1
7	35,49	,79	42,58	47,27	52,01	73,34	95,79	130,4	293,4
8	36,01	39,36	43,20	,84	,77	74,41	97,19	132,3	297,7
9	,53	,93	,82	48,42	53,53	75,49	98,60	134,2	302,0
140	37,05	40,50	44,45	49,00	54,30	76,56	100,00	136,1	306,3
1	,59	41,08	45,09	,71	55,08	77,67	101,5	138,1	310,7
2	38,13	,67	,74	50,42	,87	78,79	102,9	140,1	315,2
3	,67	42,26	46,38	51,14	56,66	79,90	104,4	142,1	319,6
4	39,21	,85	47,03	,85	57,45	81,02	105,8	144,1	324,1
45	39,75	43,44	47,68	52,56	58,24	82,13	107,3	146,1	328,5
6	40,30	44,05	48,34	53,30	59,05	83,28	108,8	148,1	333,1
7	,86	,66	49,01	54,04	,88	84,43	110,3	150,2	337,7
8	41,42	45,27	,68	,80	60,69	85,59	111,8	152,2	342,3
9	,97	,88	50,35	55,51	61,51	86,74	113,3	154,2	346,9
150	42,53	46,49	51,02	56,25	62,33	87,89	114,8	156,3	351,6

Tabelle 2. (Spannweiten 150 bis 200 m.)

a	$\left(\frac{a}{23}\right)^2$	$\left(\frac{a}{22}\right)^2$	$\left(\frac{a}{21}\right)^2$	$\left(\frac{a}{20}\right)^2$	$\left(\frac{a}{19}\right)^2$	$\left(\frac{a}{16}\right)^2$	$\left(\frac{a}{14}\right)^2$	$\left(\frac{a}{12}\right)^2$	$\left(\frac{a}{8}\right)^2$
150	42,53	46,49	51,02	56,25	62,33	87,89	114,8	156,3	351,6
1	43,11	47,12	,71	57,01	63,17	89,08	116,4	158,4	354,6
2	,68	,75	52,40	,78	64,02	90,27	117,9	160,5	357,7
3	44,26	48,38	53,10	58,54	,86	91,47	119,5	162,6	360,7
4	,84	49,01	,79	59,30	65,71	92,66	121,0	164,7	363,8
55	45,42	49,64	54,48	60,06	66,55	93,85	122,6	166,8	366,9
6	46,01	50,29	55,19	,85	67,42	95,08	124,2	169,0	373,5
7	,61	,94	56,30	61,64	68,30	96,31	125,8	171,2	380,1
8	47,20	51,59	,62	62,43	69,17	97,54	127,4	173,4	386,7
9	,80	52,24	57,34	63,21	70,04	98,77	129,0	175,6	393,4
160	48,39	52,89	58,05	64,00	70,91	100,0	130,6	177,8	400,0
1	49,01	53,56	,79	,81	71,81	101,3	132,3	180,0	405,1
2	,62	54,24	59,52	65,63	72,71	102,5	133,9	182,3	410,2
3	50,24	,91	60,16	66,44	73,61	103,8	135,6	184,6	415,2
4	,85	55,58	61,00	67,25	74,51	105,1	137,3	186,8	420,3
65	51,47	56,25	61,74	68,06	75,42	106,4	138,9	189,1	425,4
6	52,10	,94	62,50	,90	76,34	107,7	140,6	191,4	430,6
7	,73	57,63	63,25	69,73	77,07	109,0	142,3	193,7	435,9
8	53,36	58,33	64,01	70,57	78,20	110,3	144,0	196,0	441,1
9	54,00	59,02	,77	71,41	79,13	111,6	145,7	198,4	446,3
170	54,63	59,71	65,53	72,25	80,06	112,9	147,5	200,7	451,6
1	55,28	60,42	66,32	73,11	81,01	114,2	149,2	203,1	457,0
2	,93	61,14	67,10	,98	,97	115,6	151,0	205,5	463,3
3	56,59	,85	,88	74,84	82,92	116,9	152,7	207,9	467,7
4	57,24	62,56	68,66	75,70	83,88	118,3	154,5	210,3	473,1
75	57,89	63,28	69,45	76,56	84,83	119,6	156,3	212,7	478,5
6	58,56	64,01	70,25	77,45	85,82	121,0	158,1	215,1	484,1
7	59,23	,74	71,06	78,34	86,82	122,4	159,9	217,6	489,6
8	,91	65,47	,86	79,23	87,78	123,8	161,7	220,1	495,2
9	60,58	66,21	72,67	80,11	88,77	125,2	163,5	222,5	500,7
180	61,25	66,94	73,47	81,00	89,75	126,6	165,3	225,0	506,3
1	,94	67,70	74,29	,91	90,76	128,0	167,2	227,5	512,0
2	62,63	68,45	75,12	82,83	91,77	129,4	169,0	230,1	517,7
3	63,32	69,20	,94	83,74	92,78	130,8	170,9	232,6	523,4
4	64,01	,96	76,77	84,65	93,80	132,3	172,7	235,1	529,1
85	64,70	70,71	77,61	85,56	94,81	133,7	174,6	237,7	534,8
6	65,41	71,49	78,46	86,50	96,05	135,2	176,5	239,3	540,6
7	66,12	72,26	79,31	87,44	97,28	136,6	178,4	241,9	546,5
8	,82	73,04	80,16	88,38	98,52	138,1	180,4	244,5	552,3
9	67,53	,81	81,01	89,31	99,76	139,5	182,3	247,1	558,2
190	68,24	74,59	81,86	90,25	100,0	141,0	184,2	250,7	564,1
1	,97	75,38	82,73	91,21	101,1	142,5	186,2	253,4	570,1
2	69,70	76,18	83,61	92,17	102,1	144,0	188,1	256,0	576,1
3	70,42	,97	84,48	93,14	103,2	145,5	190,1	258,7	582,1
4	71,15	77,77	85,35	94,10	104,3	147,0	192,0	261,4	588,1
95	71,88	78,56	86,23	95,06	105,3	148,5	194,0	264,1	594,1
6	72,63	79,38	87,12	96,05	106,4	150,1	196,0	266,8	600,3
7	73,37	80,20	88,02	97,04	107,5	151,6	198,0	269,5	606,5
8	74,12	81,01	88,91	98,02	108,6	153,2	200,0	272,3	612,7
9	,87	81,83	89,81	99,01	109,7	154,7	202,1	275,0	618,8
200	75,62	82,65	90,70	100,0	110,8	156,3	204,1	277,8	625,0

Aus dem Tafelausschnitt ist jetzt abzulesen:

$t =$	-25^0	-15^0	-5^0	0^0	$+10^0$	$+20^0$	$+30^0$	$+40^0$	C
$\varphi =$	2,61	2,7	2,8	2,84	2,94	3,03	3,12	3,21	%

damit folgt rechnerisch (aus $\sigma = \frac{a_R}{\varphi} \cdot \frac{\delta}{8000} = \frac{0,2464}{\varphi}$):⁹⁾

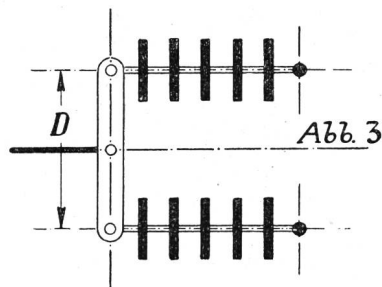
$t =$	-25^0	-15^0	-5^0	0^0	$+10^0$	$+20^0$	$+30^0$	$+40^0$	C
$\sigma =$	9,45	9,13	8,80	8,68	8,38	8,13	7,90	7,69	kg/mm ²

$t =$	-25^0	-15^0	-5^0	0^0	$+10^0$	$+20^0$	$+30^0$	$+40^0$	$-5^0 + \text{Zusatzlast}$
$F_s =$	6,667	6,900	7,159	7,258	7,518	7,749	7,975	8,19	$\bar{F}_s = \frac{(l' - 2l_k)^2}{\bar{\sigma}} \cdot \frac{\delta}{8000} = 7,910^{12)}$
$F_k =$	0,236	0,245	0,254	0,257	0,266	0,275	0,283	0,29	$\bar{F}_k = \frac{l_k}{2} \left(\frac{G_k}{q} + \frac{l' \delta}{1000} \right) \cdot \frac{1}{\bar{\sigma}} = 0,254^{13)}$
$F = F_s + F_k =$	6,90 m	7,15 m	7,41 m	7,52 m	7,78 m	8,02 m	8,26 m	8,48 m	$\bar{F} = \bar{F}_s + \bar{F}_k = 8,17 \text{ m}$

Bei fehlerfreiem Zustand der Doppelabspannkette fällt also der Durchhang für $+40^0$ am grössten aus.

Es ist noch der Durchhang für die Annahme zu ermitteln, dass eine Isolatorenreihe der Doppelabspannkette unter Zusatzlast (bei -5^0) reisst.

Bezeichnet D den Abstand der Bohrungen des Distanzhebels (Abb. 3), dann beträgt die Seillinienverlängerung (ΔL) bei Kettenriss (in einer Isolatorenreihe) ungefähr $\frac{D}{2}$. Vor dem Kettenriss ist die Seilbogenlänge (Abb. 4):



$$L = l \left[1 + \frac{8}{3} \left(\frac{f}{l} \right)^2 \right] \dots \dots (2)^{14)}$$

da annähernd gilt: $f = F \cos \nu$, so folgt:

$$L = l \left[1 + \frac{8 \cos^2 \nu}{3} \left(\frac{F}{l} \right)^2 \right] \dots \dots (3)$$

die Seilbogenlänge nach dem Kettenriss ist:¹⁵⁾

$$L + \Delta L = l \left[1 + \frac{8 \cos^2 \nu}{3} \left(\frac{F''}{l} \right)^2 \right] \dots \dots (4)$$

aus Gl. (3) und (4) folgt:

$$\Delta L = \frac{8 \cos^2 \nu}{3 l} [F''^2 - F^2]$$

somit ergeben sich (in Richtung des freifallenden Lotes) die Seildurchhänge F_s aus:

$$F_s = \frac{(l' - 2l_k)^2}{\sigma} \cdot \frac{\delta}{8000} = \frac{(239,7 - 2 \cdot 1,5)^2}{\sigma} \cdot \frac{9}{8000} = \frac{63^{10}}{\sigma}$$

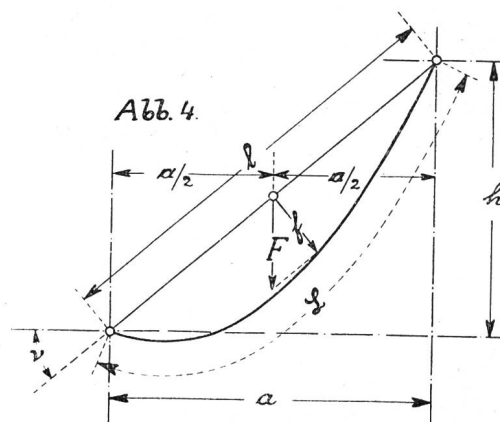
bzw. die Kettendurchhänge F_k aus:¹¹⁾

$$F_k = \frac{l_k}{2} \left(\frac{G_k}{q} + \frac{l' \delta}{1000} \right) \cdot \frac{1}{\sigma} = \frac{1,5}{2} \left(\frac{96}{117} + \frac{239,7 \cdot 9}{1000} \right) \frac{1}{\sigma} = \frac{2,233}{\sigma}$$

und somit der Durchhang nach dem Kettenriss:

$$F'' = \sqrt{\frac{3}{8 \cos^2 \nu} l \cdot \Delta L + F^2} \dots \dots (5)$$

In unserem Beispiel kommt als Durchhang vor dem Riss in Betracht der Seildurchhang bei Zusatzlast (\bar{F}_s) und es sei hier $\Delta L = \frac{D}{2} = 0,25 \text{ m}$; dann folgt als Seildurchhang nach dem Kettenriss:



$$\begin{aligned} \bar{F}_s'' &= \sqrt{\frac{3}{8 \left(\frac{a}{l'} \right)^2} (l' - 2l_k) \frac{D}{2} + \bar{F}_s^2} = \\ &= \sqrt{\frac{3}{8 \cdot 0,897^2} (239,7 - 2 \cdot 1,5) 0,25 + 7,91^2} = 9,51 \text{ m.} \end{aligned}$$

Um den zugehörigen Kettendurchhang zu bestimmen, ist vorerst die Seilspannung nach dem Kettenriss $\bar{\sigma}''$ (bei Zusatzlast) zu ermitteln:

¹⁰⁾ Vgl. Techn. Mitt. T. T. 1927, S. 89, Formel (I').

¹¹⁾ Vgl. Techn. Mitt. T. T. 1927, S. 89, Formel (II').

¹²⁾ Vgl. Techn. Mitt. T. T. 1927, S. 89, Formel (I'').

¹³⁾ Vgl. Techn. Mitt. T. T. 1927, S. 89, Formel (II'').

¹⁴⁾ Vgl. Techn. Mitt. T. T. 1927, S. 87.

¹⁵⁾ Durch den Index zwei „Strich“ soll in der Folge der Zustand nach dem Riss einer Isolatorenreihe der Doppelkette angedeutet werden.

⁹⁾ Vgl. Techn. Mitt. T. T. 1927, S. 91, Horizontalreihe 2 der Tabelle (bei der Schreibweise $\frac{a_R \cdot \delta}{\varphi \cdot 8000}$ ist nicht die blosse Tafelziffer (für den verhältnismässigen Durchhang) einzusetzen, sondern, weil dies ein prozentueller Wert ist: Tafelziffer dividiert durch 100.)

$$\bar{F}_s'' = \frac{(l' - 2l_k)^2}{\bar{\sigma}''} \cdot \frac{\bar{\delta}}{8000}$$

$$\bar{\sigma}'' = \frac{(l' - 2l_k)^2}{\bar{F}_s''} \cdot \frac{\bar{\delta}}{8000} = \frac{236,7^2}{9,51} \cdot \frac{14,8}{8000} = 10,95 \text{ kg/mm}^2$$

damit folgt:

$$\begin{aligned} \bar{F}_k'' &= \frac{l_k}{2} \left(\frac{\bar{G}_k}{q} + \frac{l' \bar{\delta}}{1000} \right) \frac{1}{\bar{\sigma}''} = \\ &= \frac{1,5}{2} \left(\frac{104}{117} + \frac{239,7 \cdot 14,8}{1000} \right) \cdot \frac{1}{10,95} = 0,304 \text{ m} \end{aligned}$$

Gesamtdurchhang (nach Kettenriss):

$$\bar{F}'' = \bar{F}_s'' + \bar{F}_k'' = 9,81 \text{ m.}$$

II. Durchhang ausser Feldmitte.

Hier genügt in der Regel die Anwendung rein geometrischer Beziehungen, um rasch und einfach zu praktisch brauchbaren Durchhangswerten zu gelangen. Ueber die einfachen geometrischen Verhältnisse, die dabei in Betracht kommen, sollen einige allgemeine Bemerkungen vorausgeschickt werden, die sich auf ansteigende Spannungsfelder mit Stützisolatoren beziehen. Die Ergebnisse lassen sich dann auf ansteigende Felder mit Abspannketten übertragen.

a) Vorbemerkung: Allgemeines, betreffend ansteigende Felder ohne Isolator Ketten.

Bei den heute üblichen relativ stark angespannten Leitern kann man ansteigende Felder genau so behandeln wie Wagrechtspannfelder, d. h. man kann die gemeine Kettenlinie mit praktisch ausreichender Annäherung ersetzen durch eine Parabel.

Denkt man sich aus einer Parabel ein Stück herausgeschnitten, wie es einem geeigneten Spannungsfeld entspricht ($O'MU'$ in Abb. 5), dann lassen sich die Durchhänge ausserhalb des Feldmittels (Y') bekanntlich aus folgender Ueberlegung bestimmen:

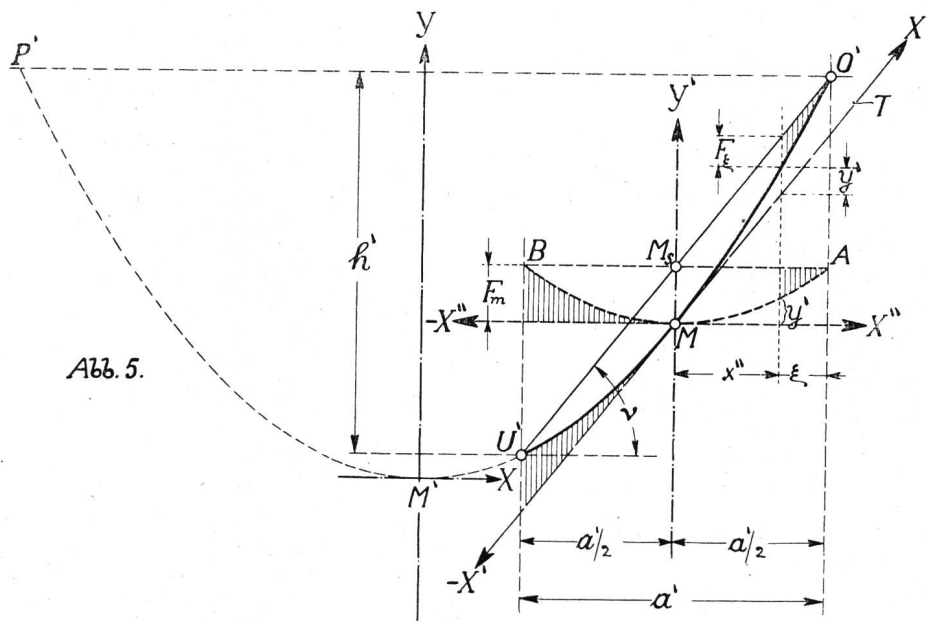
$F_m (=M M_s)$ sei der Durchhang des Spannungsfeldes in Feldmitte (gemessen in Richtung des freifallenden Lotes), F_ξ sei der (in gleicher Richtung gemessene)

Durchhang für den beliebigen Abstand ξ (von der Lotrechten durch Stützpunkt O').

Wir denken uns die Parabelsehne (Stützpunktverbindungslinie $O'U'$) in Abb. 5 parallel zu sich selbst verschoben, und zwar solange, bis die Parabel nicht mehr davon geschnitten, sondern nur mehr berührt wird; der entsprechende Berührungspunkt (M) dieser Tangente (T) liegt im Feldmittel, welches durch M_s in Richtung des freifallenden Lotes geführt ist.¹⁶⁾ M kann man als neuen Koordinatenmittelpunkt wählen und Tangente T bzw. Feldmittel Y' kann man als schiefwinklige Systemachsen (konjugierte Achsen) annehmen; werden die schiefe (in der Tangentenrichtung ν gegen die Wagrechte) gemessenen Abszissen der Parabel mit x' , die in der Richtung Y' gemessenen Parabelordinaten mit y' bezeichnet, dann besteht zwischen x' und y' eine ganz analoge Beziehung wie für die auf X, Y bezogenen Parabelkoordinaten x, y : gilt für das rechtwinklige Koordinatensystem X, Y die Gleichung $y = \frac{x^2}{2p}$, so gilt für das schiefwinklige Koordinatensystem X', Y' die analog gebaute Beziehung:

¹⁶⁾ Vgl. „Hütte“, 18. Aufl. von 1902, Bd. I, S. 98 sowie S. 99, Abb. 16.

Anmerkung. In anderem Zusammenhange (wo es hauptsächlich auf den Feldmitteldurchhang bzw. das Pfeilverhältnis des Seilbogens ankommt) wird bei derartigen Ermittlungen vorteilhaft mit einer anderen Lage des Berührungspunktes gerechnet (nämlich in einer bei M_s errichteten Normalen auf $O'U'$); letztere Näherungsannahme ersetzt den unsymmetrischen Kettenlinienabschnitt, der bei ansteigenden Feldern tatsächlich vorliegt, durch einen symmetrischen Parabelabschnitt (d. i. die in Abb. 7 strichliert eingetragene Parabel). In Abb. 5 dagegen wird der Kettenlinienabschnitt ersetzt durch einen unsymmetrischen Parabelabschnitt (d. i. die in Abb. 7 stark ausgezogene Parabel). Dem unsymmetrischen Kettenlinienabschnitt wird sich der unsymmetrische Parabelabschnitt im allgemeinen etwas enger anschliessen, wobei jedoch bemerkt werden muss, dass für die Zwecke der Praxis beide Näherungsannahmen genau genug sind, so dass für einen bestimmten Fall der Untersuchung jede Annahme dann zulässig ist, wenn sie zu Formeln führt, die in Herleitung und Verwendung genügend einfach sind (vgl. S. 250, Fussnote 18).



$$y' = \frac{x'^2}{2 \left(\frac{p}{\cos^2 \nu} \right)} = \frac{x'^2}{2p'}$$

Statt dessen können wir auch schreiben:

$$y' = \frac{(x' \cos \nu)^2}{2p}$$

oder wenn $x' \cos \nu$, d. h. die Projektion von x' auf die Horizontalachse X'' mit x'' bezeichnet wird:

$$y' = \frac{x''^2}{2p}$$

Demnach müssen wir eine *Parabel* vom ursprünglichen Parameter p erhalten, wenn wir die Ordinate y' nicht von der schiefen Tangente (Achse $X', -X'$) aus abtragen, sondern von der Horizontalen $X'', -X''$ als Achse. Also lässt sich F_ξ des schiefen Spannungsfeldes genau so bestimmen wie der Durchhang ($F_m - y'$) des gedachten parabolischen Wagrechtspannungsfeldes AMB .

Für letztere Hilfsparabel gilt:

$$F_m = \frac{\left(\frac{a'}{2} \right)^2}{2p} \dots \dots \dots (6)$$

und

$$y' = \frac{x''^2}{2p} \text{ oder}$$

$$F_m - F_\xi = \frac{\left(\frac{a'}{2} - \xi \right)^2}{2p} \dots \dots \dots (7)$$

Gleich (7) dividiert durch Gleich. (6) ergibt:

$$F_\xi = 4 F_m \left(\frac{\xi}{a'} \right) \left[1 - \left(\frac{\xi}{a'} \right) \right] \dots \dots \dots (8)$$

Sind für ein ansteigendes Spannungsfeld drei Größen bekannt, nämlich a' , h' , F_m , dann sind die 3 Punkte U' , O' , M festgelegt, d. h. es ist eindeutig jene Parabel bestimmt, durch welche die gemeine Kettenlinie ausreichend genau ersetzt werden darf.

b) Anwendung auf ansteigende Felder mit Isolator Ketten.

Bei ansteigenden Spannungsfeldern an Abspannketten wird es nur eine ausnahmsweise niedrig gewählte Seilbeanspruchung nötig machen, dass man die wahren Kettenneigungen $\nu_{oo'}$ am oberen, $\nu_{uu'}$ am unteren Seilendpunkt (Abb. 6) ermittelt und hieraus die genauen Werte a' und h' bestimmt. Für die Mehrzahl der praktischen Fälle wird es ausreichen, folgende Näherungen anzunehmen: die inneren Kettenendpunkte O' , U' stehen von der Stützpunktverbindungslinie $O U$ gleich weit ab und jede Kette ist ungefähr um ν gegen die Wagrechte geneigt. Dann ist $a' = a - 2l_k \cos \nu$ und $h' = h - 2l_k \sin \nu$.¹⁷⁾ Für die getroffenen Näherungen ist:

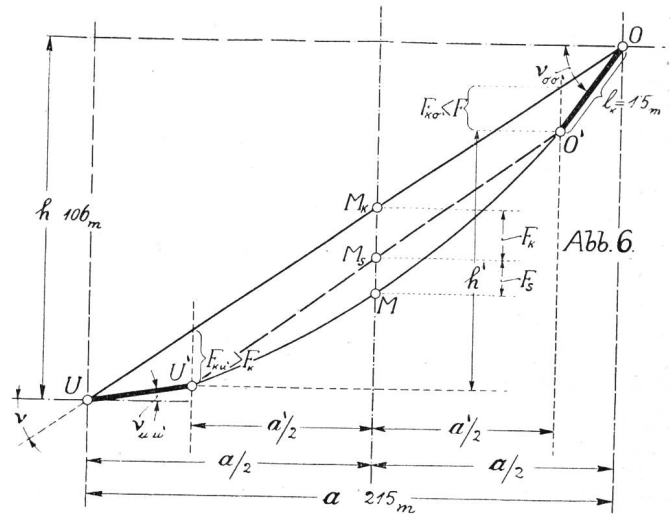
$$\cos \nu = \frac{a'}{a} = \frac{a}{\sqrt{a'^2 + h'^2}} = \frac{215}{\sqrt{215^2 + 106^2}} = 0,897$$

¹⁷⁾ Abb. 6 stellt die wirklichen Verhältnisse bloss angenähert dar; tatsächlich werden das Mittel von $O U$ und jenes von $O' U'$ nicht ganz miteinander übereinstimmen; praktisch aber wird man beide Mittel als zusammenfallend (in $M_s M$) annehmen dürfen. (Statt $F_{ko'} < F$ sollte es in Abb. 6 richtig heissen: $F_{ko'} < F_k$).

und damit:

$$a' = 215 - 2 \cdot 1,5 \cdot 0,897 = 213,3 \text{ m}$$

$$h' = 106 - 2 \cdot 1,5 \cdot 0,44 = 104,7 \text{ m}$$

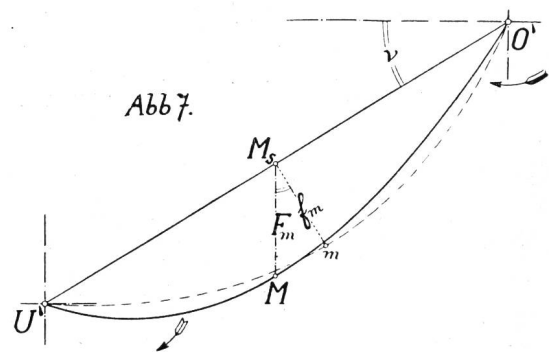


Als F_m kommt der Zusatzlastdurchhang des Seiles für sich allein (d. h. ohne Kettendurchhang) für Gleich. (8) in Betracht, d. i. in unserem Ziffernbeispiel:

$$F_m = \bar{F}_s = 7,91 \text{ m}$$

damit folgt aus Gleich. (8) der Seildurchhang $F_{s,\xi}$ für den Abstand 58 m vom fixen Stützpunkt, entsprechend $\xi = 58 - l_k \cdot \cos \nu = 58 - 1,5 \cdot 0,897 = 56,65 \text{ m}$:

$$\bar{F}_{s,\xi} = 4 \cdot 7,91 \left(\frac{56,65}{213,3} \right) \left[1 - \left(\frac{56,65}{213,3} \right) \right] = 6,17 \text{ m}$$



Zumeist wird man die kleinen Unterschiede zwischen $F_{ko'}$, F_k und $F_{ku'}$ praktisch vernachlässigen, also $OUU'O'$ als symmetrisches Parallelogramm annehmen können.¹⁸⁾ Dann folgt der Gesamtdurchhang \bar{F}_ξ (im Abstand ξ) aus: $\bar{F}_\xi = \bar{F}_k + \bar{F}_{s,\xi}$.

¹⁸⁾ Seilbogen $O'MU'$ wird hierbei nicht als symmetrisch angenommen, sondern, wie schon erwähnt, als schiefes Parabelstück (im Gegensatz zur Ableitung der Zustandsgleichung schiefer Kettenspannungsfelder, wobei $O'MU'$ grundsätzlich als symmetrisch angesehen wird, nämlich wie eine wagrechte Parabel [Spannweite $O'U'$, Durchhang $f_m = F_m \cdot \cos \nu$, Abb. 7], unter Vernachlässigung der — praktisch sehr geringfügigen — Verschiebungen der Seillinie in der Richtung $O'U$).

