

# Hilfswerte zur Berechnung von Freileitungen auf Festigkeit

Autor(en): **Nather, Eugen**

Objektyp: **Article**

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**

Band (Jahr): **6 (1928)**

Heft 6

PDF erstellt am: **13.09.2024**

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

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# 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 Rauhreifgebenden, 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  $q_n = 10$  mm<sup>2</sup> (Seil- $\varnothing$   $d = 4,4$  mm), Zusatzlast entsprechend 13 mm Eiswandstärke plus 50 kg/m<sup>2</sup> Wind (im Sinne der Rauhreifvorschrift für die Kreuzungen österreichischer Fernmeldeleitungen); hierfür ist  $z =$

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

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<sup>0</sup> 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

<sup>1)</sup>  $\bar{\delta}$  = Scheindichte (oder Raumeinheitsgesamtbelastung in g/m, mm<sup>2</sup> bei erhöhter Eislast gemäss

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

wenn  $q$  den Istwert des Leiterquerschnitts (10,18 mm<sup>2</sup>) 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;<sup>2)</sup> 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  $\sigma_{\max}$ - 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:<sup>3)</sup>

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

Stellt man die Werte  $\left\{ \frac{\bar{\delta}^2}{24 (10^6 \vartheta)} \right\}$  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-

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

<sup>3)</sup> Vgl. Techn. Mitteil. T. T. 1927, S. 90, Fussnote 33.

dem die Breite durch den grössten  $\varphi$ -Wert von vornherein gegeben ist.<sup>4)</sup>

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 Gebirgs-gelände<sup>5)</sup> ausgeführt worden ist.

*Zahlenbeispiel:*

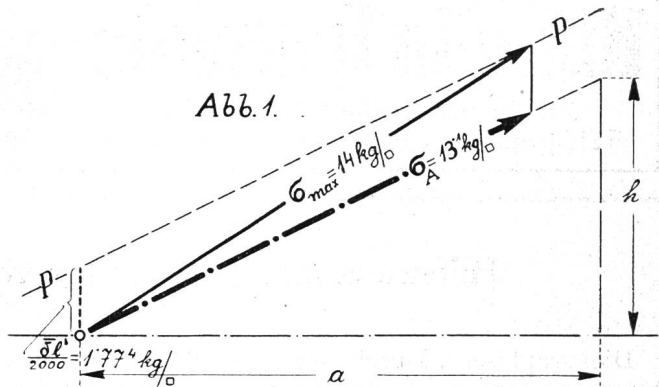
- Wagrecht gemessener Abstand der Stützpunkte . . . . .  $a = 215$  m
- Höhenunterschied der Stützpunkte  $h = 106$  m
- Schief gemessener Abstand der Stützpunkte  $l' = \sqrt{a^2 + h^2} . . . = 239,7$  m
- Nennquerschnitt des Bronzeseiles ( $\varnothing d = 14$  mm) . . . . .  $q_n = 120$  mm<sup>2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

<sup>4)</sup> Bei der Ermittlung von Punkt  $A$  kommt als Aneisungstemperatur  $\bar{t}$  in Betracht:  $\bar{t} = 0$  für Schweizer Gebiet,  $\bar{t} = -5^\circ C$  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.

<sup>5)</sup> Am Semmeringpass in rund 1000 m Seehöhe.

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



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

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

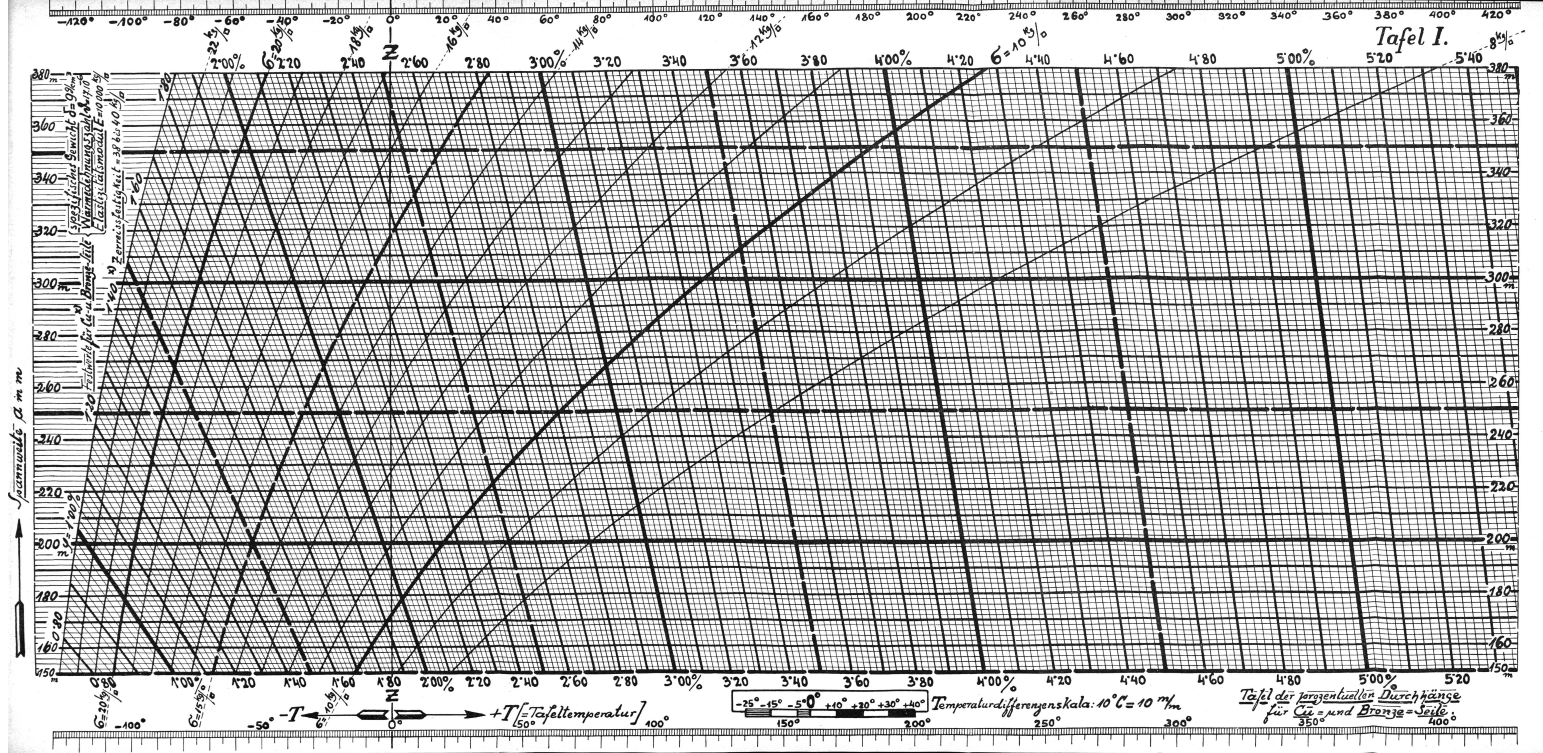
In besonderen Fällen wird es notwendig, insbesondere dem Einfluss des Durchhanges Rechnung zu tragen. Genauem Einblick in die damit zusammenhängenden Verhältnisse gibt die Abhandlung von G. Schmidt in E. T. Z. 1928, Nr. 6, S. 208 u. ff. (vgl. a. a. O. speziell die Formel S. 212, Zeile 21).

Tabelle 1 (Cu, Bronze).

Seildurchmesser d mm	Seilquerschnitt q mm <sup>2</sup>	$\left\{ \frac{\bar{\delta}^2}{\delta^2} \right\}$	$\left\{ \frac{\bar{\delta}^2}{\delta^2} \right\}$
		$\left\{ 24 (10^6 \vartheta) \right\}$	$\left\{ 24 (10^6 \vartheta) \right\}$
		[bei Normaleis ( $180 \sqrt{d}$ )]	[bei Rauhref d. i. 13 mm Eis + 50 kg/m <sup>2</sup> 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)

$\frac{\bar{\sigma}}{\sigma}$	$\frac{\bar{\sigma}}{\vartheta E}$
kg/mm <sup>2</sup>	
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



Stanzmaß A in mm

$6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46, 48, 50, 52, 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70, 72, 74, 76, 78, 80, 82, 84, 86, 88, 90, 92, 94, 96, 98, 100$   
 $100^\circ, 110^\circ, 120^\circ, 130^\circ, 140^\circ, 150^\circ, 160^\circ, 170^\circ, 180^\circ, 190^\circ, 200^\circ, 210^\circ, 220^\circ, 230^\circ, 240^\circ, 250^\circ, 260^\circ, 270^\circ, 280^\circ, 290^\circ, 300^\circ, 310^\circ, 320^\circ, 330^\circ, 340^\circ, 350^\circ, 360^\circ, 370^\circ, 380^\circ, 390^\circ, 400^\circ, 410^\circ, 420^\circ, 430^\circ, 440^\circ, 450^\circ, 460^\circ, 470^\circ, 480^\circ, 490^\circ, 500^\circ, 510^\circ, 520^\circ$   
 $0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100$   
 $0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100$

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



Kritische Spannweite

$$a_{kr} < \sigma_A \sqrt{24 (10^6 \vartheta) \frac{\bar{t} - t_{min.}}{\bar{\delta}^2 - \delta^2}} =$$

$$\sigma_A \sqrt{24 (10^6 \vartheta) \frac{-5 - (-25)}{\bar{\delta}^2 - \delta^2}} = 101 \text{ m}^7)$$

zufolge  $a > 101 > a_{kr}$  ist Ausganzzustand:  $-5^0 +$  Zusatzlast;  
d. h.  $\sigma_A = \bar{\sigma} = 13,1 \text{ kg/mm}^2$

Die allgemeine Zustandsgleichung ist: <sup>8)</sup>

$$\frac{E}{2400} \left( \frac{a}{100} \right)^2 \left[ \frac{\delta^2 + C}{\sigma^2} - \frac{\bar{\delta}^2 + \bar{C}}{\bar{\sigma}^2} \right] = \vartheta E (t - \bar{t}) + (\sigma - \bar{\sigma})$$

worin bedeutet:

$$C = \frac{l_K G_K}{q \left( \frac{l'}{100} \right)^2} \left[ 1,2 \delta + \frac{800 G_K}{q l'} \right] = 2,9$$

$$\bar{C} = \frac{l_K \bar{G}_K}{q \left( \frac{l'}{100} \right)^2} \left[ 1,2 \bar{\delta} + \frac{800 \bar{G}_K}{q l'} \right] = 4,81$$

$$v = \frac{\sqrt{\delta^2 + C}}{\delta} = 1,018$$

$$\bar{\delta}_R = \frac{\sqrt{\bar{\delta}^2 + \bar{C}}}{v} = 14,7 \text{ g/cm}^3$$

$$a_R = v a = 1,018 \cdot 215 \text{ m} = 219 \text{ m}$$

Die Zustandsgleichung lässt sich auch schreiben:

$$\frac{E}{2400} \left( \frac{a_R}{100} \right)^2 \left[ \frac{\delta^2}{\sigma^2} - \frac{\bar{\delta}_R^2}{\bar{\sigma}^2} \right] = \vartheta E (t - \bar{t}) + (\sigma - \bar{\sigma})$$

Das heisst: Unser ansteigendes Spannungsfeld (an Abspannketten) lässt sich hinsichtlich Spannungsänderung ebenso rechnen wie ein gedachtes Wagrechtspannungsfeld (an Stützisolatoren), dessen Mastabstand (d. i. Rechnungsspannweite  $a_R$ ) um 1,8 % grösser ist als  $a$  und welches auf eine Rechnungsscheindichte ( $\bar{\sigma}_R$ ) von 14,7 g/cm<sup>3</sup> aneist. Das rechnermässige

Aneisungsverhältnis ist  $x_R = \frac{\bar{\delta}_R}{\delta} = 1,633$ .

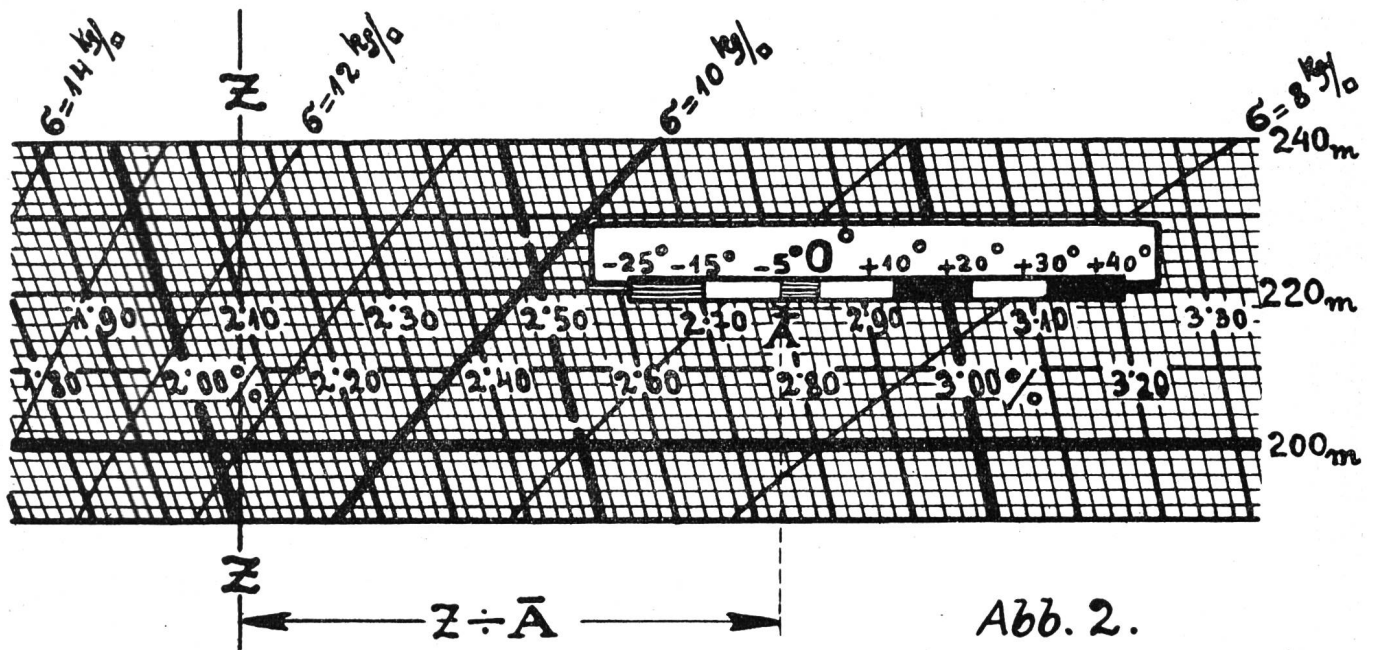


Abb. 2.

<sup>7)</sup> Der so bestimmte  $a_{kr}$  - Wert ist, wie in Tech. Mitteil. T. T. 1925, S. 85 ausgeführt wurde, jedenfalls grösser als der wirkliche Wert von  $a_{kr}$ . Bei dem herrschenden Weitspannsystem genügt dieser grobe Schätzwert in der Mehrzahl der Fälle; nur ausnahmsweise (für besonders kleine Spannweiten) ist eine genaue Ermittlung nötig; nämlich die Bestimmung jener Temperatur, die bei blossem Eigengewicht die gleiche Beanspruchung hervorruft wie die Zusatzlast bei Zusatzlasttemperatur; dieser fragliche Temperaturwert  $t_{\sigma = \bar{\sigma}}$  folgt aus:

$$t_{\sigma = \bar{\sigma}} = \frac{\delta^2 - \bar{\delta}^2 + C - \bar{C}}{24 (10^6 \vartheta)} \left( \frac{a}{\sigma_A} \right)^2 + \bar{t} = \frac{\delta^2 - \bar{\delta}^2 + C - \bar{C}}{24 (10^6 \vartheta)} \left( \frac{a}{\sigma_A} \right)^2 - 5$$

(vgl. Techn. Mitt. T. T. 1927, S. 90, Fussnote 30, woselbst es heissen soll:  $a$  statt  $a_R$ , u. zw. durchgängig; in der Formel, zu welcher die letzte Fussnote 30 gehört, sind die Ungleichheitszeichen verwechselt; es soll dort richtig heissen:

$$a_{kr} < \sigma_A \sqrt{\frac{480 (10^6 \vartheta)}{\delta^2 - \bar{\delta}^2}} < 80 \text{ m}.$$

<sup>8)</sup> Vgl. Techn. Mitt. T. T. 1927, S. 89, Gleichung (I).

I. Durchhang im Feldmittel.

Der Ausgangspunkt  $\bar{A}$  (in der Durchhangstafel) soll nicht graphisch (durch Herunterprojizieren des Schnittpunktes der Parabel  $\bar{\sigma} = 13,1$  mit der Geraden  $x_R a_R = 258 \text{ m}$ ) bestimmt werden, sondern rechnerisch aus:

$$Z : \bar{A} = \left[ \frac{\bar{\delta}^2}{24 (10^6 \vartheta)} \right] \left( \frac{a_R}{\bar{\sigma}} \right)^2 - \frac{\bar{\sigma}}{\vartheta E} =$$

$$= \frac{14,7^2}{408} \left( \frac{219}{13,1} \right)^2 - \frac{13,1}{0,17} = 71^0$$

Für eine im Zentimetermassstab gezeichnete Tafel beträgt also die Distanz von  $Z$  bis  $\bar{A} = 71 \text{ mm}$ , wie in Abb. 2 (an einem Ausschnitt aus Tafel I) dargestellt ist.

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  $\sigma = \frac{\alpha_R}{\varphi} \cdot \frac{\delta}{8000} = \frac{0,2464}{\varphi}$ ):<sup>9)</sup>

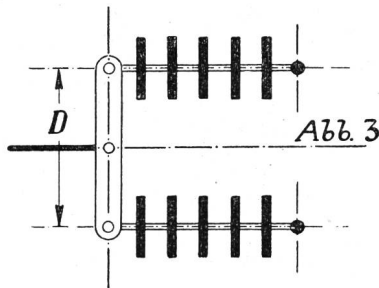
$t =$	$-25^0$	$-15^0$	$-5^0$	$0^0$	$+10^0$	$+20^0$	$+30^0$	$+40^0$	C
$\sigma =$	9,45	9,13	8,80	8,68	8,38	8,13	7,90	7,69	kg/mm <sup>2</sup>

$t =$	$-25^0$	$-15^0$	$-5^0$	$0^0$	$+10^0$	$+20^0$	$+30^0$	$+40^0$	$-5^0 + \text{Zusatzlast}$
$F_s =$	6,667	6,900	7,159	7,258	7,518	7,749	7,975	8,19	$\bar{F}_s = \frac{(l' - 2l_k)^2}{\bar{\sigma}} \cdot \frac{\delta}{8000} = 7,910$ <sup>12)</sup>
$F_k =$	0,236	0,245	0,254	0,257	0,266	0,275	0,283	0,29	$\bar{F}_k = \frac{l_k}{2} \left( \frac{G_k}{q} + \frac{l' \delta}{1000} \right) \frac{1}{\bar{\sigma}} = 0,254$ <sup>13)</sup>
$F = F_s + F_k =$	6,90 m	7,15 m	7,41 m	7,52 m	7,78 m	8,02 m	8,26 m	8,48 m	$\bar{F} = \bar{F}_s + \bar{F}_k = 8,17$ 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 ( $\Delta L$ ) bei Kettenriss (in einer Isolatorenreihe) ungefähr  $\frac{D}{2}$ . Vor dem Kettenriss ist die Seilbogenlänge (Abb. 4):



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

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:<sup>15)</sup>

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

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:

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

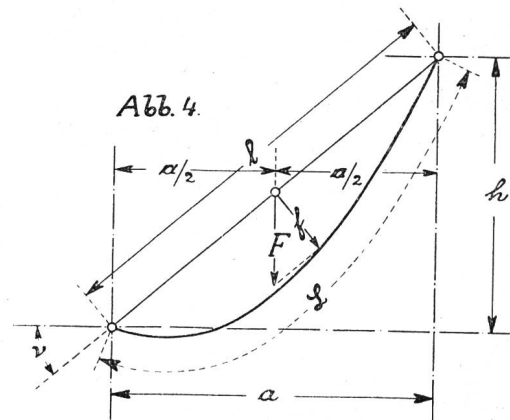
bzw. die Kettendurchhänge  $F_k$  aus:<sup>11)</sup>

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

und somit der Durchhang nach dem Kettenriss:

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

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

<sup>10)</sup> Vgl. Techn. Mitt. T. T. 1927, S. 89, Formel (I').

<sup>11)</sup> Vgl. Techn. Mitt. T. T. 1927, S. 89, Formel (II').

<sup>12)</sup> Vgl. Techn. Mitt. T. T. 1927, S. 89, Formel (I'').

<sup>13)</sup> Vgl. Techn. Mitt. T. T. 1927, S. 89, Formel (II'').

<sup>14)</sup> Vgl. Techn. Mitt. T. T. 1927, S. 87.

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

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

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

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

damit folgt:

$$\bar{F}_k'' = \frac{l_k}{2} \left( \frac{\bar{G}_k}{q} + \frac{l' \bar{\delta}}{1000} \right) \frac{1}{\bar{\sigma}''} =$$

$$= \frac{1,5}{2} \left( \frac{104}{117} + \frac{239,7 \cdot 14,8}{1000} \right) \cdot \frac{1}{10,95} = 0,304 \text{ m}$$

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 praktischen 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 Isolatorenketten.*

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:

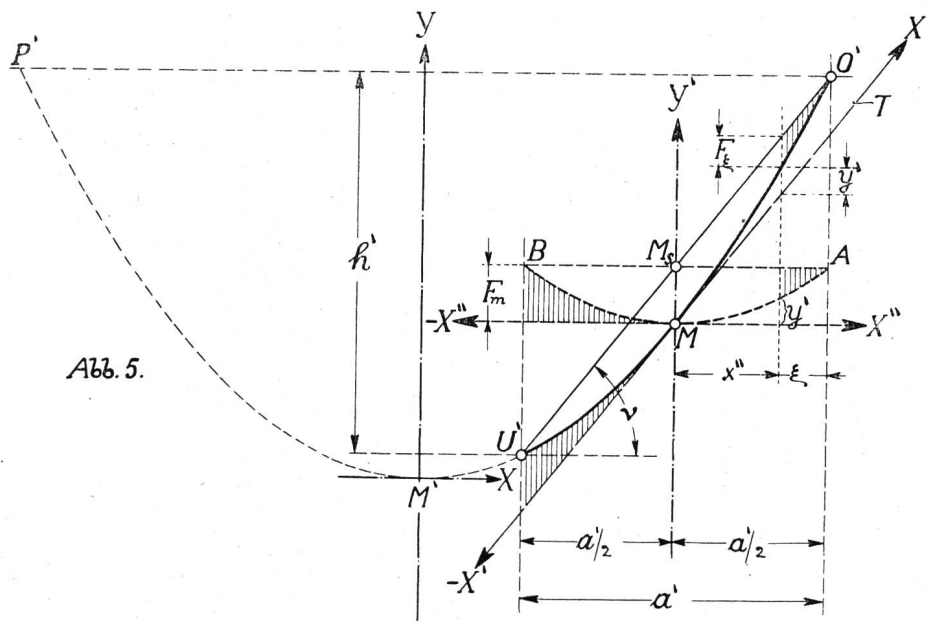
$F_m$  ( $=M M_s$ ) sei der Durchhang des Spannungsfeldes in Feldmitte (gemessen in Richtung des freifallenden Lotes),  $F_\xi$  sei der (in gleicher Richtung gemessene)

Durchhang für den beliebigen Abstand  $\xi$  (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.<sup>16)</sup>  $M$  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  $\nu$  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:

<sup>16)</sup> 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  $F_\xi$  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 Isolatorenketten.

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  $OU$  gleich weit ab und jede Kette ist ungefähr um  $\nu$  gegen die Wagrechte geneigt. Dann ist  $a' = a - 2l_k \cos \nu$  und  $h' = h - 2l_k \sin \nu$ .<sup>17)</sup> Für die getroffenen Näherungen ist:

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

<sup>17)</sup> Abb. 6 stellt die wirklichen Verhältnisse bloss angenähert dar; tatsächlich werden das Mittel von  $OU$  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:

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

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

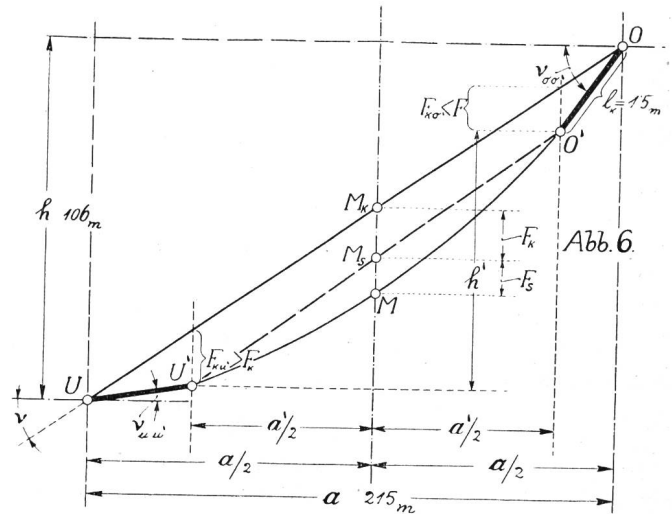


Abb. 6.

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  $\xi = 58 - l_k \cdot \cos \nu = 58 - 1,5 \cdot 0,897 = 56,65 \text{ m}$ :

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

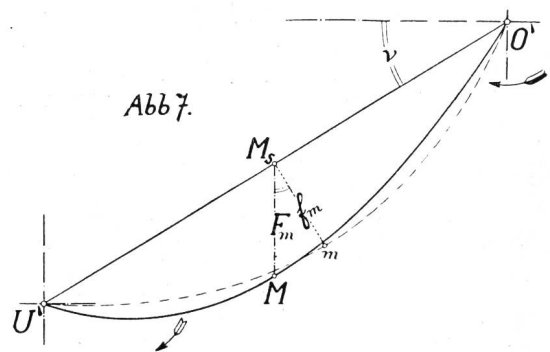


Abb. 7.

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

<sup>18)</sup> 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  $O'U'$ ).

In unserem Beispiel ist der Kettendurchhang  $\bar{F}_k$  bei Zusatzlast:  $F_k = 0,254$  m und demgemäss: Gesamtdurchhang  $F_\xi = 0,254 + 6,17 = 6,42$  m.<sup>19)</sup>

**III. Angenäherte Kontrolle der Annahme eines gleichgrossen Durchhanges von oberer und unterer Abspannkette.**

Die im vorstehenden verwendete Seilspannung  $\bar{\sigma}'' = 10,95$  kg/mm<sup>2</sup> bezieht sich auf den im Spannungsfeldmittelliegenden Punkt der Seilkurve. Aus dem

Die Abspannketten können in diesem Zusammenhang als starr betrachtet werden; dann folgt aus dem Seileck, wenn an  $\bar{\sigma}''_o$  bzw.  $\bar{\sigma}''_u$  das halbe Ketten-gewicht einschliesslich Zusatzlast (je mm<sup>2</sup> Seilquerschnitt) d. i.  $\frac{\bar{G}_k}{2q}$  in entsprechender Richtung ange-tragen wird, die Neigung  $\nu_{oo'}$  der Verbindungslinie  $O'O$  bzw. die Neigung  $\nu_{uu'}$  der Verbindungslinie  $UU'$  (Abb. 8).<sup>20)</sup> Wird die Kettenlänge  $l_k = 1,5$  m auf den letzteren Neigungen abgeschnitten (durch Kreisbogen  $O'O = UU' = l_k$ ), dann ergibt sich der Durch-

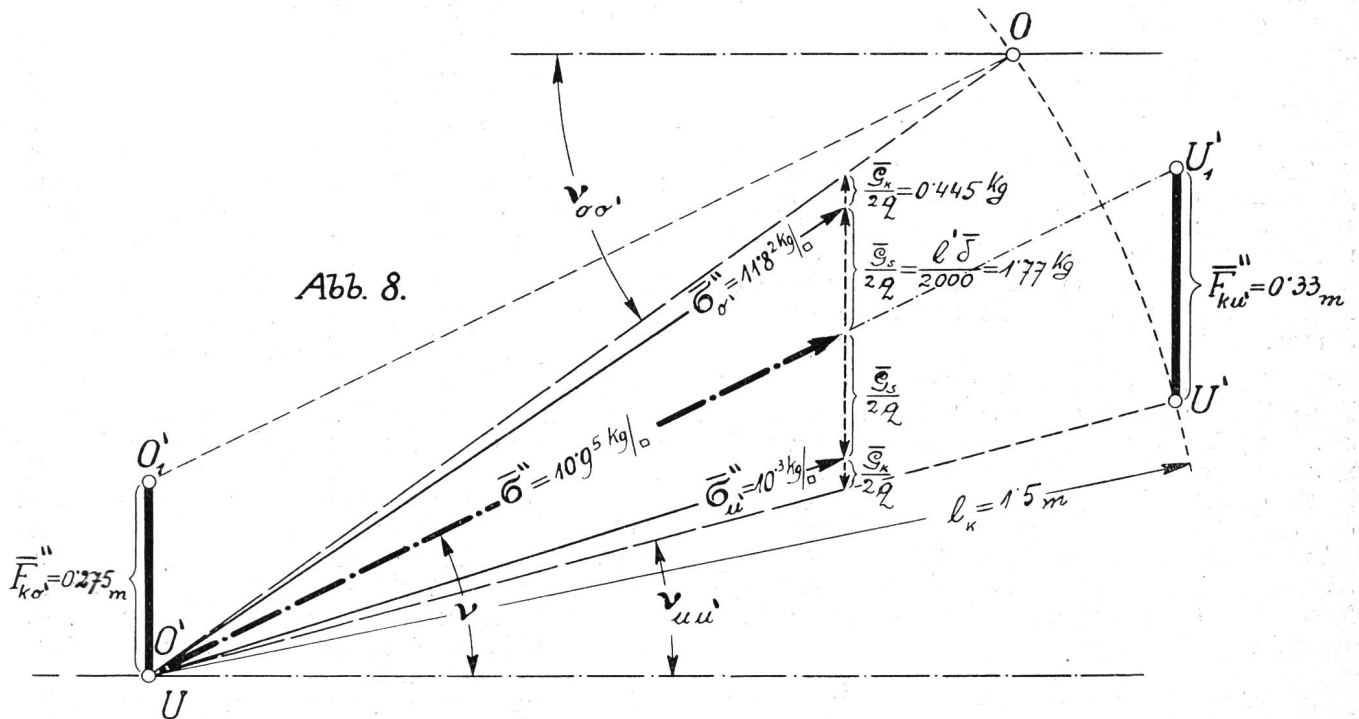


Abb. 8.

Seileck folgen die Seilspannungen bei  $O'$  bzw.  $U'$  (Abb. 8), wenn an  $\bar{\sigma}''$  die Eigengewichtskomponenten  $\frac{\bar{G}_s}{2q} = \frac{l' \delta}{2000}$  vertikal nach aufwärts bzw. abwärts abgetragen wird ( $\bar{\sigma}''_o = 11,82$  kg/mm<sup>2</sup>,  $\bar{\sigma}''_u = 10,3$  kg/mm<sup>2</sup>).

hang  $\bar{F}''_{ko'}$  der oberen Kette zu  $\bar{F}''_{ko'} = O'O_1 = 0,275$  m ( $O'_1O // O'U'_1$ ), der Durchhang  $\bar{F}''_{ku'}$  der unteren Kette zu  $\bar{F}''_{ku'} = U'U'_1 = 0,33$  m.

Man sieht: obwohl hier die Spannungfeldneigung, welche auf Unsymmetrie der Kettenlage hinwirkt, recht erheblich ist und auch die Seilspannung nur mässig ist (was die Ausbildung der erwähnten Unsymmetrie ebenfalls fördert), so sind doch die Unterschiede gegenüber dem früheren Näherungswert  $\bar{F}''_k = 0,304$  m nicht beträchtlich, können also praktisch vernachlässigt werden.

<sup>19)</sup> Analog folgt mit Feldmitteldurchhang  $\bar{F}''_m = 9,51$  m (nach Kettenriss, für den gleichen Endabstand  $\xi = 56,65$  m):  $\bar{F}''_{s,\xi} = 4 \cdot 9,51 \left[ \frac{56,65}{213,3} \right] \left[ 1 - \left( \frac{56,65}{213,3} \right) \right] = 7,42$  m als Seildurchhang und  $\bar{F}''_\xi = \bar{F}''_k + \bar{F}''_{s,\xi} = 0,304 + 7,42 = 7,72$  als Gesamtdurchhang.

<sup>20)</sup> Zur Vereinfachung wird vorausgesetzt, dass der Kettenbruch gerade in halber Kettenlänge erfolgt.