

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 11 (1920)

Heft: 9

Artikel: Aneisungsformeln : ein Beitrag zur Festigkeitsberechnung der Freileitungen [Fortsetzung und Schluss]

Autor: Edler, Robert

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1061805>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 16.01.2026

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

SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Erscheint monatlich mit den Jahres-Beilagen „Statistik der Starkstromanlagen der Schweiz“ sowie „Jahresheft“ und wird unter Mitwirkung einer vom Vorstand des S. E. V. ernannten Redaktionskommission herausgegeben.

Alle den Inhalt des „Bulletin“ betreffenden Zuschriften sind zu richten an das

Generalsekretariat
des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins,
Neumühlequai 12, Zürich 1 - Telephon: Hottingen 37.08

Alle Zuschriften betreffend Abonnement, Expedition und Inserate sind zu richten an den Verlag:

Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G.,
Hirschengraben 80/82 Zürich 1 Telephon Hottingen 36.40

Abonnementspreis
für Nichtmitglieder inklusive Jahresheft:
Schweiz Fr. 15.—, Ausland Fr. 25.—.
Einzelne Nummern vom Verlage Fr. 1.50 plus Porto.

Publié sous la direction d'une Commission de Rédaction nommée par le Comité de l'A.S.E.

Ce bulletin paraît mensuellement et comporte comme annexes annuelles la „Statistique des installations électriques à fort courant de la Suisse“, ainsi que l'„Annuaire“.

Prière d'adresser toutes les communications concernant la matière du „Bulletin“ au

Secrétariat général
de l'Association Suisse des Electriciens
Neumühlequai 12, Zurich 1 - Telephon: Hottingen 37.08
Toutes les correspondances concernant les abonnements, l'expédition et les annonces, doivent être adressées à l'éditeur:
Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei S. A.
Hirschengraben 80/82 Zurich 1 Téléphone Hottingen 36.40

XI. Jahrgang
XI^e Année

Bulletin No. 9

September 1920
Septembre 1920

Aneisungsformeln.

Ein Beitrag zur Festigkeitsberechnung der Freileitungen.

Von Prof. Ing. Robert Edler, Wien.
(Fortsetzung und Schluss.)

Fall B — 1. Der einfachste rechnerische Zusammenhang zwischen m und d in der Gleichung (8) ist für die charakteristische Kurvenform der Fig. 4 durch die Gleichung der gleichseitigen Hyperbel gegeben:

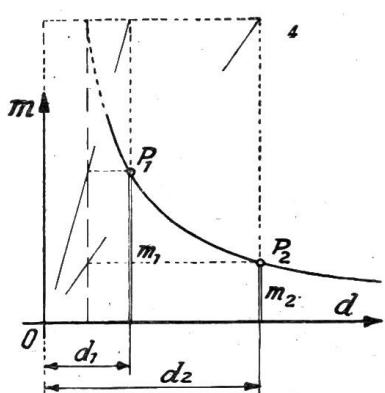


Fig. 4.

$$d \cdot m = k = \text{konstant} \quad (14)$$

somit wird auch die Dicke der Eishülle

$$s_e = m \cdot d = k = \text{konstant} \quad (15)$$

also ist nach Gleichung (1):

$$q_e = \pi \cdot s_e \cdot (d + s_e) = \pi \cdot k \cdot (d + k) = k_1 + k_2 \cdot d \quad (16)$$

wobei k_1 und k_2 konstante Werte sind.

Die Gleichung (16) stimmt grundsätzlich überein mit der Formel

$$G_{e1} = a + b \cdot d \quad (17)$$

welche Ingenieur W. Wittek angegeben hat¹⁾ und welche in der Sonderform

$$G_{e1} = 190 + 500 \cdot d = 190 + 50 \cdot d_0 \text{ (Gramm pro 1 m)} \quad (18)$$

den *Normen des V. D. E.²⁾* vom Jahre 1914 bis 1918, sowie auch von 1917 bis 1919 den *Vorschriften des Wiener E. T. V.³⁾* zugrunde gelegt war.

¹⁾ E. T. Z. 1918, Seite 475; E. und M. (Wien) 1919, Seite 87.

²⁾ E. T. Z. 1913, Seite 1096 (Absatz I, c, 1; I, d).

³⁾ 5. Anhang zu den Sicherheitsvorschriften für elektr. Starkstromanlagen, §§ 3 und 5.

Es bedeutet:

- G_{el} in Gramm pro 1 m die Zusatzlast, bzw. den Eisbehang pro 1 m;
 d_0 in mm; d in cm den Draht- bzw. Seildurchmesser des Leiters;
 a, b Konstanten;
 G_1 in Gramm pro 1 m das Draht- oder Seilgewicht *ohne* Eis oder Schnee;
 $G'_1 = G_1 + G_{el}$ in Gramm pro 1 m das Draht- oder Seilgewicht *mit* Eis;
 $\beta = G'_1 : G_1 = \gamma_z : \gamma$ das Aneisungsverhältnis;
 γ in kg pro 1 cm³ das spezifische Gewicht des Leitungsdrahtes oder Leitungsseiles *ohne* Eis;
 γ_z in kg pro 1 cm³ das virtuelle spezifische Gewicht (Draht oder Seil samt Zusatzlast, bezogen auf den Leiterquerschnitt);
 γ_e in kg pro 1 cm³ das spezifische Gewicht des Eises;
 γ_f in kg pro 1 cm³ das spezifische Gewicht des Schnees.

Die Verbandsformel Gleichung (18) ermöglicht die Berechnung der Tabelle IV, aus der hervorgeht, dass dünnere Drähte (oder Seile) durch die Zusatzlast (Eis, Schnee) verhältnismässig wesentlich stärker beansprucht werden, als dicke Drähte (oder Seile).

Eiszusatzlast nach den früheren V. D. E.-Vorschriften (1914)¹⁾

Tabelle IV

Nennquerschnitt $q \text{ cm}^2$	Durch- messer Draht $d \text{ cm}$	Seil aussen $d_s \text{ cm}$	Eis $G_{el} = 190 + 500 \cdot d_s$ g/m	Gewicht, bezogen auf den Nennquerschnitt, Aneisungsverhältnis			
				für Kupfer $\gamma = 8,9 \text{ g/cm}^3$		für Aluminium $\gamma = 2,84 \text{ g/cm}^3$	
				ohne Eis $G_1 \text{ g/m}$	$\beta = \frac{G'_1}{G_1}$	ohne Eis $G_1 \text{ g/m}$	$\beta = \frac{G'_1}{G_1}$
Drähte	0,06	0,28	—	330	53,4	7,18	—
	0,10	0,35	—	365	89	5,1	28,4
	0,16	0,45	—	415	142,4	3,91	45,4
	0,25	0,55	—	465	222,5	3,09	71,0
	0,35	0,65	—	515	311,7	2,65	99,4
	0,50	0,80	—	590	445	2,33	142,0
Seile	0,16	—	0,52	450	142,4	4,16	45,4
	0,25	—	0,65	515	222,5	3,315	71,0
	0,35	—	0,77	575	311,7	2,85	99,4
	0,50	—	0,92	650	445	2,46	142
	0,70	—	1,09	735	623	2,18	199
	0,95	—	1,27	825	845	1,976	270
	1,20	—	1,42	900	1068	1,843	341
	1,50	—	1,59	985	1335	1,737	426
	1,85	—	1,77	1075	1647	1,654	525
	2,40	—	2,01	1195	2136	1,560	682
	3,10	—	2,29	1335	2759	1,485	880

¹⁾ Siehe E. u. M. 1919, Seite 548.

Nimmt man das spezifische Gewicht des Eises mit $\gamma_e = 1 \text{ g pro cm}^3$ an, was allerdings nicht ganz richtig ist, aber doch in den Verbandsformeln angenommen werden durfte, weil die Beanspruchung in Wirklichkeit dann etwas geringer bleiben wird, erhält man mit $\gamma_e = 10^{-3} \text{ kg pro cm}^3$ für Eis:

$$G_{e1} = 100 \cdot q_e \quad (19)$$

analog wie bei Gleichung (11) können wir auch hier die Beziehung ableiten:

$$q_e = \pi \cdot d^2 \cdot m_e \cdot (1 + m_e) \quad (20)$$

und aus den Gleichungen (18) und (20) erhalten wir:

$$m_e \cdot (1 + m_e) = \frac{190 + 500 \cdot d}{100 \cdot \pi \cdot d^2} = \frac{G_{e1}}{100 \cdot \pi \cdot d^2} \quad (21)$$

Aus der Gleichung (21) lässt sich also mit Hilfe der Tabelle IV leicht die Verhältniszahl $m_e = \frac{s_e}{d}$ berechnen und dann sogleich die Eisdicke s_e bestimmen.

Während nach den früheren Normen des V. D. E. von 1914 (Gleichung 18); mit einem Eisbelag vom spezifischen Gewichte $\gamma_e = 1 \text{ Gramm pro cm}^3$ gerechnet wird (auch die Normen von 1919 stützen sich auf diese grundlegende Annahme), ist nach den Schweizerischen Bundesvorschriften als Zusatzlast eine Schneehülle vom spezifischen Gewichte $\gamma_f = 0,16 \text{ g/cm}^3 = 0,16 \cdot 10^{-3} \text{ kg pro cm}^3$ anzunehmen, wobei als Aussendurchmesser der Wert $d_t = 8 \text{ cm}$ für alle Querschnitte festgesetzt ist; hierüber folgen später nähere Angaben.

Es ist nun von Interesse, die Normen des V. D. E. für eine Schneehülle vom spezifischen Gewichte $\gamma_f = 0,16 \cdot 10^{-3} \text{ kg pro cm}^3$ umzurechnen, weil sich dann ein unmittelbarer Vergleich zwischen den Normen des V. D. E. und den Schweizerischen Bundesvorschriften durchführen lässt.

Eisbelag und äquivalente Schneehülle für Seile. (Nach den Normen des V. D. E. 1914.)

Tabelle V

q cm ²	d _s cm (Seil)	d _s ² · π cm ²	Eisbelag $\gamma_e = 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$						Schneehülle $\gamma_f = 0,16 \cdot 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$					
			G _{e1} g/m	q _e cm ²	m _e · (1 + m _e) (Gl. 21)	m _e cm	s _e = m _e d _s cm	$d_{t_0} = d_s + 2 \cdot s_e$ cm	m _f · (1 + m _f) (Gl. 24)	m _f cm	s _f = m _f d _s cm	$d_{t_0} = d_s + 2 \cdot s_f$ cm		
0,16	0,52	0,8495	450	4,50	5,300	1,86	0,966	2,45	33,13	5,28	2,75	6,02		
0,25	0,65	1,3273	515	5,15	3,880	1,53	0,994	2,65	24,25	4,45	2,89	6,43		
0,35	0,77	1,8627	575	5,75	3,089	1,33	1,024	2,82	19,32	3,93	3,03	6,83		
0,50	0,92	2,6590	650	6,50	2,443	1,14	1,049	3,02	15,28	3,44	3,17	7,26		
0,70	1,09	3,7325	735	7,35	1,970	0,990	1,080	3,25	12,32	3,05	3,32	7,73		
0,95	1,27	5,0671	825	8,25	1,628	0,870	1,105	3,48	10,17	2,73	3,47	8,21		
1,20	1,42	6,3347	900	9,00	1,421	0,792	1,125	3,67	8,88	2,52	3,58	8,58		
1,50	1,59	7,9423	985	9,85	1,241	0,721	1,146	3,88	7,76	2,33	3,70	8,99		
1,85	1,77	9,8423	1075	10,75	1,093	0,659	1,166	4,10	6,83	2,16	3,82	9,41		
2,40	2,01	12,6924	1195	11,95	0,942	0,592	1,190	4,39	5,88	1,98	3,98	9,97		
3,10	2,29	16,4748	1335	13,35	0,810	0,530	1,215	4,72	5,06	1,81	4,14	10,57		

Es ist: $q_e \cdot \gamma_e = q_f \cdot \gamma_f$ somit:

$$q_f = q_e \cdot \frac{\gamma_e}{\gamma_f} = q_e \cdot \frac{10^{-3}}{0,16 \cdot 10^{-3}} = 6,25 \cdot q_e \quad (22)$$

Bei Berücksichtigung von Gleichung (1) wird aber:

$$\left. \begin{aligned} q_f &= \pi \cdot s_f \cdot (d + s_f) \\ q_e &= \pi \cdot s_e \cdot (d + s_e) \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

wenn mit s_f in cm die Dicke der Schneehülle bezeichnet wird.

Mit $s_e = m_e \cdot d$ und $s_f = m_f \cdot d$ wird daher:

$$m_f \cdot (1 + m_f) = 6,25 \cdot m_e \cdot (1 + m_e) \quad (24)$$

Aus den Werten der Tabelle IV kann daher die Berechnung von m_e und m_f und damit auch der Dicke s_e und s_f der Eishülle und der Schneehülle, sowie des Aussendurchmessers d , jener Schneewalze bestimmt werden, welche der Eislast nach den Vorschriften des V.D.E. äquivalent ist; das Ergebnis ist in Tabelle V ersichtlich.

In Fig. 5 sind die Werte der Tabellen IV und V übersichtlich zusammengestellt, so dass der Charakter der Aneisung sofort erkennbar ist, und zwar sowohl hinsichtlich des virtuellen spezifischen Gewichtes β ($\text{Aneisungsverhältnis } \beta = \gamma_z : \gamma$), als auch bezüglich der Dicke s_e des Eisbelages und der Dicke s_f der Schneehülle.

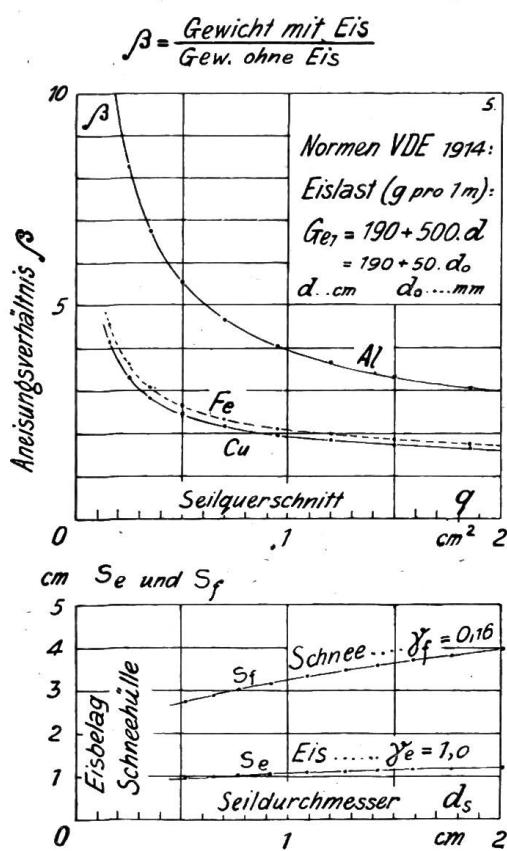


Fig. 5.

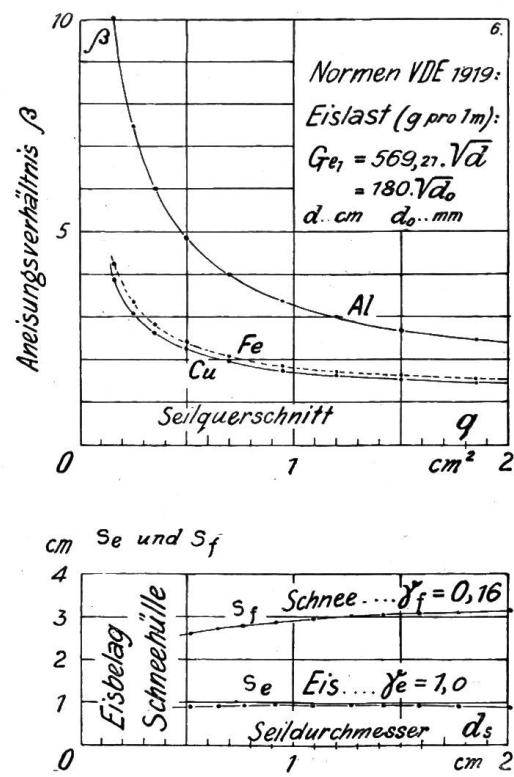


Fig. 6.

Fall B — 2. Während nach der Gleichung (15) die Dicke s_e der Eishülle konstant angenommen wurde, was zu den Normen des V.D.E. (1914) führte, soll die Zusatzlast pro 1 m gemäss den jüngsten Normen des V.D.E. (1919)¹⁾ nach der hinsichtlich der Dicke s_e weniger durchsichtigen Formel:

1) E. T. Z., 1919, Seiten 41 und 42.

$$G_{e1} = 180 \cdot \sqrt{d_0} = 569,21 \cdot \sqrt{d} \quad (\text{Gramm pro 1 m}) \quad (25)$$

berechnet werden; dabei ist d_0 in mm, d in cm einzusetzen. Unter Berücksichtigung von Formel (19) wird:

$$q_e = k_3 \cdot \sqrt{d} = \frac{G_{e1}}{100} \quad (26)$$

Bei Benutzung der Gleichung (1) erhalten wir:

$$k_3 \cdot \sqrt{d} = \pi \cdot d^2 \cdot m_e \cdot (1 + m_e) = 5,6921 \cdot \sqrt{d} \quad (27)$$

und daraus:

$$m_e \cdot (1 + m_e) = \frac{5,6921}{\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{d^3}} = \frac{1,81}{\sqrt{d^3}} \quad (28)$$

Die Funktionsform, welche die Dicke s_e der Eishülle mit dem Leiterdurchmesser d verknüpft, kann mit Hilfe der Gleichung (28) festgestellt werden, was in der Tabelle VI geschehen wird; jedenfalls muss sich m_e in irgend einer Weise mit d ändern, denn für einen konstanten Wert von m_e erhielte man ja nach Formel (27):

$$Q_e = \text{Konstante} \times d^2$$

analog den Gleichungen (3) und (4), d. h. die alten, längst überholten Normen.

Wäre aber m_e umgekehrt proportional zu d , so wie m in Gleichung (14), dann käme man zu den ebenfalls bereits erledigten Gleichungen (16) und (18), also zu den Normen des V. D. E. von 1914, die eben Anlass zu der Abänderung boten.¹⁾

Die Gleichung (28) führt also zu folgenden Zusammenstellungen:

(Eisbelag und äquivalente Schneehülle für Seile. (Nach den Normen des V. D. E. 1919)).

Tabelle VI

q cm ²	d _s (Seil) cm	$\sqrt{d_s^3}$	Eisbelag $\gamma_e = 10^{-3}$ kg/cm ³						Schneehülle $\gamma_s = 0,16 \cdot 10^{-3}$ kg pro cm ³					
			G _{e1} g/m	q _e cm ²	$m_e \cdot (1 + m_e)$ $= 1,81 : \sqrt{d_s^3}$ (Gl. 28)	m _e cm	s _e = $m_e d_s$ cm	$d_{te} = d_s + 2 \cdot s_e$ $m_t (1 + m_t)$ (Gl. 24)	m _t cm	s _t = $m_t d_s$ cm	$d_{te} + 2 \cdot s_t$ cm			
0,16	0,52	0,375	410	4,10	4,825	1,75	0,910	2,34	30,15	5,01	2,605	5,73		
0,25	0,65	0,524	459	4,59	3,453	1,42	0,922	2,49	21,60	4,18	2,73	6,11		
0,35	0,77	0,676	499	4,99	2,673	1,21	0,930	2,63	16,72	3,62	2,79	6,35		
0,50	0,92	0,882	546	5,46	2,052	1,02	0,938	2,80	12,83	3,12	2,87	6,66		
0,70	1,09	1,138	594	5,94	1,590	0,858	0,935	2,96	9,95	2,69	2,93	6,95		
0,95	1,27	1,430	641	6,41	1,265	0,731	0,928	3,13	7,90	2,36	3,00	7,27		
1,20	1,42	1,693	678	6,78	1,068	0,648	0,920	3,26	6,67	2,13	3,02	7,46		
1,50	1,59	2,004	717	7,17	0,902	0,573	0,910	3,41	5,64	1,93	3,07	7,73		
1,85	1,77	2,355	758	7,58	0,768	0,509	0,900	3,57	4,80	1,75	3,09	7,95		
2,40	2,01	2,850	807	8,07	0,635	0,440	0,883	3,78	3,97	1,56	3,13	8,27		
3,10	2,29	3,465	861	8,61	0,522	0,379	0,866	4,02	3,26	1,37	3,13	8,55		

¹⁾ E. T. Z., 1919, Seiten 41 und 42.

Eislast nach den neuesten V. D. E.-Vorschriften von 1919.¹⁾

Tabelle VII

Nennquerschnitt $q \text{ cm}^2$	Durchmesser		\sqrt{d} bezw. $\sqrt{d_s}$	Eis 569,21 · \sqrt{d} Gramm pro 1 m (Gl. 25)	Gewicht, bezogen auf den Nennquerschnitt						
	Draht d cm	Seil aussen d_s cm			für Kupfer $\gamma = 8,9 \text{ g/cm}^3$		für Aluminium $\gamma = 2,84 \text{ g/cm}^3$		für Eisen $\gamma = 7,85 \text{ g/cm}^3$		
	Drähte	Seile			ohne Eis $G_1 \text{ g/m}$	$\beta = \frac{G'_1}{G_1}$	ohne Eis $G_1 \text{ g/m}$	$\beta = \frac{G'_1}{G_1}$	ohne Eis $G_1 \text{ g/m}$	$\beta = \frac{G'_1}{G_1}$	
Drähte	(0,06)	0,28	—	0,5292	301	53,4	6,64	—	—	47,1	7,38
	0,10	0,35	—	0,5916	337	89	4,79	28,4	12,86	78,5	5,30
	0,16	0,45	—	0,6708	382	142,4	3,68	45,4	9,42	125,6	4,05
	0,25	0,55	—	0,7416	422	222,5	2,89	71,0	6,95	196	3,15
	0,35	0,65	—	0,8062	459	311,7	2,47	99,4	5,62	275	2,67
	0,50	0,80	—	0,8944	509	445	2,14	142	4,58	393	2,30
Seile	0,16	—	0,52	0,7211	410	142,4	3,88	45,4	10,04	125,6	4,27
	0,25	—	0,65	0,8062	459	222,5	3,06	71,0	7,47	196	3,34
	0,35	—	0,77	0,8775	499	311,7	2,60	99,4	6,02	275	2,81
	0,50	—	0,92	0,9592	546	445	2,23	142	4,85	393	2,39
	0,70	—	1,09	1,0440	594	623	1,95	199	3,99	550	2,08
	0,95	—	1,27	1,1269	641	845	1,76	270	3,37	746	1,859
	1,20	—	1,42	1,1916	678	1068	1,63	341	2,99	942	1,720
	1,50	—	1,59	1,2610	717	1335	1,54	426	2,68	1178	1,609
	1,85	—	1,77	1,3304	758	1647	1,46	525	2,44	1453	1,522
	2,40	—	2,01	1,4177	807	2136	1,38	682	2,18	1884	1,429
	3,10	—	2,29	1,5133	861	2759	1,31	880	1,98	2434	1,355

In Fig. 6 sind die Werte der Tabellen VI und VII zusammengestellt, so dass die Dicke s_e des Eisbelages, die Dicke s_f der äquivalenten Schneehülle und das Aneisungsverhältnis $\beta = \gamma_z : \gamma$ ersichtlich ist; das virtuelle spezifische Gewicht $\gamma_z = \beta \cdot \gamma$ lässt sich daraus leicht bestimmen.

Fall C. Nach den in der Schweiz gültigen Vorschriften ist als Zusatzlast eine Schneehülle vom spezifischen Gewichte $\gamma_f = 0,16 \cdot 10^{-3} \text{ kg pro cm}^3$ zu berücksichtigen, welche unabhängig vom Draht- oder Seil-Durchmesser d oder d_s stets den Aussendurchmesser $d_{tf} = 8 \text{ cm}$ annimmt; es werden also besonders die dünneren Drähte und Seile durch die Zusatzlast sehr stark belastet.

Zur Bestimmung des Gewichtes G_{f1} ist vom Gewichte der vollen Schneewalze das Schneegewicht im Drahtraume abzuziehen; letzteres ist für 1 Meter offenbar $= 100 \text{ (cm)} \cdot \gamma_f \text{ (Gramm pro cm}^3\text{)} \cdot q_s \text{ (cm}^2\text{)}$, wobei q_s die Drahtquerschnittsfläche, bzw. die Querschnittsfläche des Seilaussendurchmessers bedeutet.

Die Querschnittsfläche q_f der Schneehülle kann beispielsweise aus dem Zusatzgewicht G_{f1} leicht berechnet werden, denn es ist:

$$G_{f1} = q_f \cdot 100 \cdot \gamma_f \quad (29)$$

und daraus

$$\left. \begin{aligned} q_f &= \frac{G_{f1}}{16} = d_{tf}^2 \cdot \frac{\pi}{4} - q_s \\ \text{also mit } d_{tf} &= 8 \text{ cm:} \\ q_f &= 50,265 - q_s \text{ (cm}^2\text{)} \end{aligned} \right\} \quad (30)$$

¹⁾ Siehe E. u. M. 1919, Seite 550.

Man erhält also folgende

Schneeeansatzlast nach den schweizerischen Vorschriften. (Für Schnee mit $\gamma_s = 0,16 \text{ g/cm}^3$).¹⁾

Tabelle VIII

Nennquerschnitt $q \text{ cm}^2$	Durchmesser Draht $d \text{ cm}$	Seil aussen $d_s \text{ cm}$	q bezw. $q_s \text{ cm}^2$	Schneegewicht im Drahtraum $100 \cdot q_s \cdot \gamma_f$ ($d_{tf} = 8 \text{ cm}$)	Gewicht der vollen Schneewalze g/m	Zusatz-Schneelast $G_{t1} \text{ g/m}$	q_t cm^2	Gewicht, bezogen auf den Nennquerschnitt						
								für Kupfer $\gamma = 8,9 \text{ g/cm}^3$		für Aluminium $\gamma = 2,84 \text{ g/cm}^3$		für Eisen $\gamma = 7,85 \text{ g/cm}^3$		
								ohne Eis $G_1 \text{ g/m}$	$\beta = \frac{G'_1}{G_1}$	ohne Eis $G_1 \text{ g/m}$	$\beta = \frac{G'_1}{G_1}$	ohne Eis $G_1 \text{ g/m}$	$\beta = \frac{G'_1}{G_1}$	
Drähte	(0,06)	0,28	—	0,06158	0,985	804,24	803,3	50,2039	53,4	16,06	—	—	47,1	18,08
	0,10	0,35	—	0,09621	1,54	"	802,7	50,1693	89,0	10,03	28,4	29,28	78,5	11,25
	0,16	0,45	—	0,15904	2,545	"	801,7	50,1065	142,4	6,63	45,4	18,67	125,6	7,39
	0,25	0,55	—	0,23758	3,80	"	800,4	50,0279	222,5	4,60	71,0	12,28	196	5,09
	0,35	0,65	—	0,33183	5,305	"	798,9	49,9337	311,7	3,57	99,4	9,04	275	3,91
	0,5	0,80	—	0,50265	8,05	"	796,1	49,7628	445	2,79	142	6,60	393	3,03
Seile	0,16	—	0,52	0,21237	3,40	804,24	800,8	50,0531	142,4	6,62	45,4	18,65	125,6	7,38
	0,25	—	0,65	0,33183	5,305	"	798,9	49,9337	222,5	4,59	71,0	12,25	196	5,08
	0,35	—	0,77	0,46566	7,45	"	796,7	49,7998	311,7	3,56	99,4	9,02	275	3,90
	0,50	—	0,92	0,66476	10,63	"	793,6	49,6007	445	2,78	142	6,59	393	3,02
	0,70	—	1,09	0,93313	14,93	"	789,3	49,3324	623	2,27	199	4,97	550	2,43
	0,95	—	1,27	1,2668	20,3	"	783,9	48,9987	845	1,928	270	3,90	746	2,05
	1,20	—	1,42	1,5837	25,3	"	778,9	48,6818	1068	1,730	341	3,285	942	1,828
	1,50	—	1,59	1,9856	31,8	"	772,4	48,2799	1335	1,580	426	2,81	1178	1,656
	1,85	—	1,77	2,4606	39,4	"	764,8	47,8049	1647	1,464	525	2,457	1453	1,526
	2,40	—	2,01	3,1731	50,8	"	753,4	47,0924	2136	1,352	682	2,104	1884	1,400
	3,10	—	2,29	4,1187	65,9	"	738,3	46,1468	2759	1,268	880	1,84	2434	1,304

1) E. u. M. 1919, Seite 548.

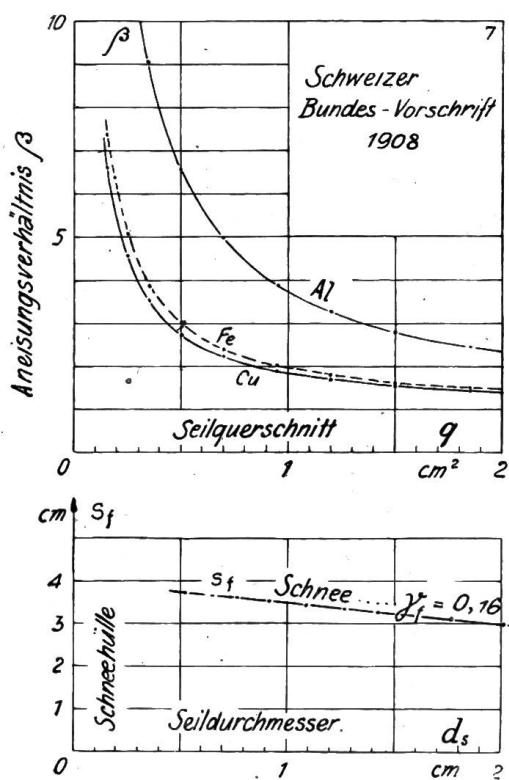


Fig. 7.

Dicke s_f der Schneehülle bei steigendem Seildurchmesser d_s abnimmt, während nach den Vorschriften des V.D.E. die Dicke s_f der äquivalenten Schneehülle mit steigendem Leiterdurchmesser d_s rasch oder langsam zugenommen hatte oder doch wenigstens angeähnert unverändert geblieben war.

Man erhält aus der allgemein gültigen Gleichung (1) für die Querschnittsfläche q_f der Schneehülle:

$$q_f = \pi \cdot s_f \cdot (d + s_f)$$

Bei Seilen ist natürlich d_s anstatt d einzusetzen.

Mit $s_f = m_f \cdot d$ wird daher zur Berechnung der Verhältniszahl m_f :

$$q_f = \pi \cdot d^2 \cdot m_f \cdot (1 + m_f)$$

Noch einfacher wird aber hier, weil d_{tf} konstant und gleich 8 cm ist:

$$d_{tf} = 8 = d + 2 \cdot s_f = d \cdot (1 + 2 \cdot m_f)$$

$$m_f = \frac{4}{d} - 0,5$$

daraus ergibt sich die nachstehende Tabelle IX.

Die Werte der Tabellen VIII und IX und die einseitige Dicke s_f der Schneehülle in Funktion des Seildurchmessers d_s sind in Fig. 7 dargestellt; man erkennt den besonders charakteristischen Umstand, dass nach den schweizerischen Vorschriften die

dass nach den schweizerischen Vorschriften die

Schneehülle für Seile nach den schweizerischen Vorschriften. Tabelle IX

q cm^2	Seil (aussen) d_s cm	m_f	Schneehülle	
			s_f cm	$d_{tf} = d_s + 2 \cdot s_f$ cm
0,16	0,52	7,19	3,74	8,00
0,25	0,65	5,65	3,67	7,99
0,35	0,77	4,70	3,62	8,01
0,50	0,92	3,85	3,54	8,00
0,70	1,09	3,17	3,46	8,01
0,95	1,27	2,65	3,365	8,00
1,20	1,42	2,316	3,285	7,99
1,50	1,59	2,015	3,202	7,99
1,85	1,77	1,760	3,115	8,00
2,40	2,01	1,492	3,00	8,01
3,10	2,29	1,247	2,855	8,00

III. Vorschlag für eine neue Aneisungsformel.

In dem Bestreben, den mehrmaligen Wechsel der Funktionsform der Aneisungsformeln

$$G_{e1} = 15 \cdot q_0 \dots \text{V. D. E. 1908} \dots (q_0 \text{ in } \text{mm}^2) \quad (4)$$

$$G_{e1} = 190 + 50 \cdot d_0 \dots \text{V. D. E. 1914} \dots (d_0 \text{ in mm}) \quad (18)$$

$$G_{e1} = 180 \cdot \sqrt{d_0} \dots \text{V. D. E. 1919} \dots (d_0 \text{ in mm}) \quad (25)$$

$$d_{tf} = 8 \text{ cm} = \text{Konstant} \dots \text{Schneewalze mit } \gamma_s = 0,16 \text{ g/cm}^3 \quad \left. \begin{array}{l} \\ \text{Schweizer. Vorschriften} \end{array} \right\} \quad (31)$$

sowie die darin enthaltenen grundsätzlich verschiedenen Annahmen einigermassen auszugleichen, hatte ich¹⁾ folgende Aneisungsformel vorgeschlagen:

$$q \cdot y \cdot \gamma = A = \text{Konstant} \quad (32)$$

$$\text{wobei } y = \beta - 1 = \frac{\gamma_z}{\gamma} - 1$$

für die Konstante A wurde unabhängig vom Leitungsmaterial der Wert $5 \cdot 10^{-3}$ bis $5,5 \cdot 10^{-3}$ vorgeschlagen und dabei nachgewiesen, dass die Ergebnisse der neuen Formel (32) für die gangbarsten Querschnitte (25 mm^2 bis 70 mm^2) nur um wenige Prozente von jenen Werten abweichen, welche den Normen des V. D. E. 1919 entsprechen.

Eine entsprechende Vergrösserung der Konstanten A bringt überdies die Rechnergebnisse nach der neuen Formel (32) auch den Werten gemäss den schweizerischen Vorschriften sehr nahe; für $A = 8 \cdot 10^{-3}$ sind die Unterschiede schon nahezu verschwindend klein, wie weiter unten noch gezeigt werden soll. Der Wert der neuen Formel, deren Funktionsform an rechnerischer Einfachheit wohl nichts zu wünschen übrig lässt, liegt also darin, dass neue Erfahrungen über den Grad der Aneisung (bezw. der Schneezusatzlast) in einfacherster Weise durch Änderung der Konstanten A , d. h. also durch Änderung des Ordinatenmaßstabes (für $y = \beta - 1$, vergl. Fig. 8) berücksichtigt werden können, während die Form der Kurve $y = f(q)$, welche ja in der Gleichung (32) zum Ausdruck kommt, grundsätzlich ungeändert bleibt.

Zur Beurteilung, bis zu welchem Grade sich die neue Formel (32) den bisher geltenden Normen (V. D. E. 1919 und 1914, Schweiz) anschmiegt, mögen die folgenden Tabellen X und XI dienen; die wichtigsten Querschnitte $q = 0,25 \text{ cm}^2$ bis $0,70 \text{ cm}^2$ sind darin hervorgehoben.

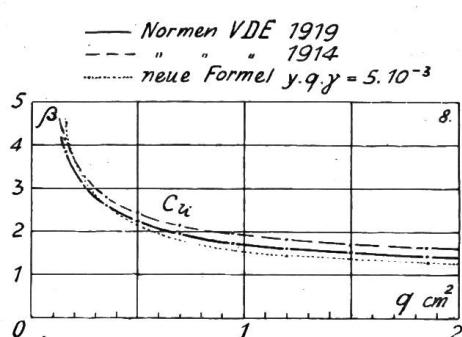


Fig. 8.

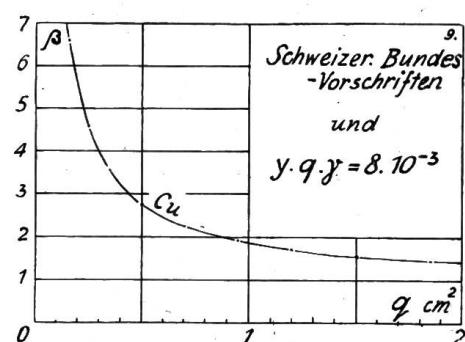


Fig. 9.

Die Uebereinstimmung zwischen den Ergebnissen der neuen Formel Gleichung (32) und den Normen des V. D. E. 1919 ist also gemäss der Tabelle X für die wichtigsten Querschnitte (25 mm^2 bis 70 mm^2) sehr befriedigend (Abweichungen höchstens 7 bis 8%, nur in einem Falle $A1 \dots 70 \text{ mm}^2 \dots 13\%$); auch bis 120 mm^2 ist die Annäherung noch genügend (etwa 11%, vereinzelt 21%) (Vergl. Fig. 8). Ganz vorzüglich ist die

¹⁾ E. u. M. 1919, Seite 551.

Vergleich der neuen Formel (Gl. 32) mit den Normen des V. D. E. 1919 und 1914.¹⁾
Konstante $A = 5 \cdot 10^{-3}$.

Tabelle X

q	Kupferseile ($\gamma = 8,9$)				Aluminiumseile ($\gamma = 2,84$)				Eisenseile ($\gamma = 7,85$)			
	Neue Formel Gl. 32		Normen V. D. E. 1919 1914		Neue Formel Gl. 32		Normen V. D. E. 1919 1914		Neue Formel Gl. 32		Normen V. D. E. 1919 1914	
	cm^2	y	β	β	y	β	β	β	y	β	β	β
0,16	3,51	4,51	3,88	4,16	(11,0)	(12,0)	(10,04)	(10,91)	3,98	4,98	4,27	4,59
0,25	2,25	3,25	3,06	3,315	7,04	8,04	7,47	8,25	2,55	3,55	3,34	3,63
0,35	1,606	2,61	2,60	2,85	5,03	6,03	6,02	6,785	1,82	2,82	2,81	3,09
0,50	1,124	2,12	2,23	2,46	3,52	4,52	4,85	5,575	1,275	2,28	2,39	2,65
0,70	0,803	1,80	1,95	2,18	2,515	3,52	3,99	4,69	0,910	1,91	2,08	2,34
0,95	0,592	1,59	1,76	1,976	1,853	2,85	3,37	4,05	0,670	1,67	1,859	2,11
1,20	0,468	1,47	1,63	1,843	1,467	2,47	2,99	3,64	0,531	1,53	1,720	1,957
1,50	0,375	1,38	1,54	1,737	1,174	2,27	2,68	3,31	0,425	1,43	1,609	1,837
1,85	0,304	1,30	1,46	1,654	0,952	1,95	2,44	3,05	0,345	1,35	1,522	1,741
2,40	0,234	1,23	1,38	1,560	0,734	1,73	2,18	2,75	0,266	1,27	1,429	1,635
3,10	0,181	1,18	1,31	1,485	0,568	1,57	1,98	2,52	0,205	1,21	1,355	1,548
$y \cdot q = 0,562$				$y \cdot q = 1,761$				$y \cdot q = 0,637$				

Vergleich der neuen Formel (Gl. 32) mit den schweizerischen Vorschriften.

Konstante $A = 8 \cdot 10^{-3}$.

Tabelle XI

q	Kupferseile ($\gamma = 8,9$)			Aluminiumseile ($\gamma = 2,84$)			Eisenseile ($\gamma = 7,85$)			
	Neue Formlel Gl. 32 $y \cdot q \cdot \gamma = A$		Schweiz. Vor- schriften	Neue Formel Gl. 32 $y \cdot q \cdot \gamma = A$		Schweiz. Vor- schriften	Neue Formel Gl. 32 $y \cdot q \cdot \gamma = A$		Schweiz. Vor- schriften	
	cm^2	y	β	β	y	β	β	y	β	
0,16	5,62	6,62	6,62	(17,62)	(18,62)	(18,65)	6,38	7,38	7,38	
0,25	3,595	4,60	4,59	11,29	12,29	12,25	4,08	5,08	5,08	
0,35	2,57	3,57	3,56	8,05	9,05	9,02	2,92	3,92	3,90	
0,50	1,798	2,80	2,78	5,64	6,64	6,59	2,04	3,04	3,02	
0,70	1,284	2,28	2,27	4,025	5,03	4,97	1,46	2,46	2,43	
0,95	0,946	1,95	1,928	2,968	3,97	3,90	1,074	2,074	2,05	
1,20	0,749	1,75	1,730	2,348	3,35	3,285	0,850	1,850	1,828	
1,50	0,599	1,60	1,580	1,878	2,88	2,81	0,680	1,680	1,656	
1,85	0,486	1,49	1,464	1,524	2,52	2,457	0,551	1,551	1,526	
2,40	0,374	1,37	1,352	1,174	2,17	2,104	0,425	1,425	1,400	
3,10	0,290	1,29	1,268	0,909	1,91	1,84	0,329	1,329	1,304	
$y \cdot q = 0,899$				$y \cdot q = 2,818$				$y \cdot q = 1,02$		

1) E. u. M. 1919, Seite 552.

Uebereinstimmung der Werte für β nach der neuen Formel Gleichung (32) und nach den Schweizerischen Vorschriften, wie dies aus der Tabelle XI und Fig. 9 erkennbar ist; die Abweichungen erreichen im ungünstigsten Falle nur 3%. Jedenfalls kann man aus den Zahlen-Tabellen X und XI den zuverlässigen Schluss ziehen, dass man die neue Formel Gleichung (32) sowohl den Normen des V. D. E. 1919, als auch den schweizerischen Vorschriften mit einer sehr befriedigenden Genauigkeit anpassen kann; damit ist es wenigstens in *einem Punkte* möglich geworden, die *Normen der verschiedenen Länder auf gleiche Grundlagen zu stellen*. Die Sondererfahrungen und verschiedenen Ansichten äussern sich dann nur in verschiedenen Werten der Konstanten A der Gleichung (32), wie folgt:

Normen des V. D. E. 1919 . . . Tabelle X . . . $y \cdot q \cdot \gamma = 5 \cdot 10^{-3}$

Schweizerische Vorschriften . . . Tabelle XI . . . $y \cdot q \cdot \gamma = 8 \cdot 10^{-3}$.

Die vorzügliche Uebereinstimmung zwischen den Zahlen der Formel (32) mit $A = 8 \cdot 10^{-3}$ und den schweizerischen Vorschriften lässt schon vermuten, dass der Charakter der Zusatzlast (Zusammenhang zwischen Dicke s_f der Schneehülle und Leiterdurchmesser d) in beiden Fällen derselbe sein muss.

Zur Feststellung des Zusammenhanges zwischen s_f und d benutzen wir die Gleichungen (29) und (30). Die Bestimmung der Schneelast G_{f1} pro 1 m wird möglich aus der Erwägung, dass das

$$\begin{aligned} \text{Aneisungsverhältnis } \beta &= \frac{\gamma_z}{\gamma} = \frac{\text{virtuelles spezifisches Gewicht}}{\text{tatsächlich spezifisches Gewicht}} \\ \beta &= \frac{G_1'}{G_1} = 1 + \frac{G_{f1}}{G_1} \end{aligned} \quad (33)$$

somit

$$G_{f1} = y \cdot G_1 \quad (34)$$

Die Werte für y sind in den Tabellen X und XI enthalten, während das Leitergewicht G_1 für 1 m aus der Tabelle I entnommen werden kann; man kann also leicht die Schneelast G_{f1} (Gramm pro 1 m) aus Gleichung (34) und dann die Querschnittsfläche q_f der Schneehülle aus Gleichung (30) berechnen; daraus ergibt sich aber der Wert:

$$m_f \cdot (1 + m_f) = \frac{q_f}{\pi \cdot d^2}$$

und dann

$$m_f = \frac{s_f}{d}$$

so dass der Zusammenhang zwischen s_f und d , d. h. also der Charakter des Anwachses der Schneehülle gemäss der neuen Formel Gleichung (32) ermittelt werden kann.

Der Umstand, dass nach Formel (34) für die Berechnung des Gewichtes G_{f1} der Schneehülle (g/m) der Wert von y und das Leitergewicht G_1 zu berücksichtigen ist, führt zu der Vermutung, dass für jedes Material (Cu, Al, Fe) und für jede Konstante A eine besondere Tabelle berechnet werden müsste; diese Mühe entfällt aber, und es genügt für alle Metalle (Cu, Al, Fe) je eine einzige Tabelle für $A = 5 \cdot 10^{-3}$ und für $A = 8 \cdot 10^{-3}$ zur Feststellung des Zusammenhanges zwischen der Dicke s_f der Schneehülle und dem Leiterdurchmesser d .

Es ist nämlich das Schneegewicht in Gramm pro 1 m nach Gleichung (34):

$$G_{f1} = y \cdot G_1 = y \cdot 100 \cdot q \cdot (1000 \cdot \gamma),$$

wobei γ in kg pro cm³ ausgedrückt ist; somit wird wegen Gleichung (32):

$$G_{f1} = 10^5 \cdot y \cdot q \cdot \gamma = 10^5 \cdot A \quad (35)$$

Den Normen des V. D. E. 1919 entspricht dabei $A = 5 \cdot 10^{-3}$, den schweizerischen Vorschriften $A = 8 \cdot 10^{-3}$; daher wird der Näherungswert nach der Formel (32):

$$\left. \begin{array}{l} \text{für die Normen des V. D. E. 1919 . . . } G_{f1} = 500 \text{ Gramm pro 1 m} \\ \text{für die schweizerischen Vorschriften . . . } G_{f1} = 800 \text{ Gramm pro 1 m} \end{array} \right\} \quad (36)$$

Man erhält also folgende Werte:

Vergleich der neuen Formel $y \cdot q \cdot \gamma = 5 \cdot 10^{-3}$ mit den Normen des V. D. E. 1919. — Berechnung der Dicke s_t der Schneehülle.

Tabelle XII

q cm ²	Kupfer ($\gamma = 8,9$)			Aluminium ($\gamma = 2,84$)			Eisen ($\gamma = 7,85$)			G_{ft} g/m Schnee- last (Gl. 35)	$G_s = \frac{G_{ft}}{16}$	$d_s^2 \cdot \pi$ (Seil)	$\frac{q_t}{\pi \cdot d_s^2} = m_t (1 + m_t)$	$m_t = \frac{s_t}{d_s}$	s_t cm	Seil d _s Tab. I	$d_t = d_s + 2 \cdot s_t$ cm
	G_1 g/m	y (V.D.E.)	$G_n = y \cdot G_1$ (Gl. 34)	G_1 g/m	y (V.D.E.)	$G_n = y \cdot G_1$ (Gl. 34)	G_1 g/m	y (V.D.E.)	$G_n = y \cdot G_1$ (Gl. 34)								
	Tab. I	Tab. X		Tab. I	Tab. X		Tab. I	Tab. X									
0,16	142,4	3,51	nahezu 500	45,4	11,0	nahezu 500	125,6	3,98	nahezu 500	500	31,25	0,8495	36,8	5,59	2,91	0,52	6,34
0,25	222,5	2,25		71,0	7,04		196,25	2,55		"	"	1,3273	23,5	4,37	2,84	0,65	6,33
0,35	311,7	1,606		99,4	5,03		274,75	1,82		"	"	1,8627	16,8	3,63	2,80	0,77	6,37
0,50	445	1,124		142	3,52		392,5	1,275		"	"	2,6590	11,75	2,96	2,72	0,92	6,36
0,70	623	0,803		199	2,515		549,5	0,910		"	"	3,7325	8,38	2,44	2,66	1,09	6,41
0,95	845	0,592		270	1,853		745,75	0,670		"	"	5,0671	6,17	2,03	2,58	1,27	6,43
1,20	1068	0,468		341	1,467		942,0	0,531		"	"	6,3347	4,93	1,775	2,52	1,42	6,46
1,50	1335	0,375		426	1,174		1177,5	0,425		"	"	7,9423	3,94	1,55	2,46	1,59	6,51
1,85	1647	0,304		525	0,952		1452,25	0,345		"	"	9,8423	3,175	1,35	2,39	1,77	6,55
2,40	2136	0,234		682	0,734		1884,0	0,266		"	"	12,6924	2,463	1,15	2,31	2,01	6,63
3,10	2759	0,181		880	0,568		2433,5	0,205		"	"	16,4748	1,897	0,965	2,21	2,29	6,71

Vergleich der neuen Formel $y \cdot q \cdot \gamma = 8 \cdot 10^{-3}$ mit den schweizerischen Vorschriften.
Berechnung der Dicke s_f der Schneehülle.

Tabelle XIII

q cm^2	G_{f1} g/m Schnee- last (Gl. 35)	$q_f = \frac{G_{f1}}{16}$ (Gl. 30)	$d_s^2 \cdot \pi$ Seil Tab. V	$\frac{q_f}{\pi \cdot d_s^2} = m_f (1 + m_f)$	$m_f = \frac{s_f}{d_s}$	s_f cm	Seil d_s Tab. I	$d_s + 2 \cdot s_f$ cm
0,16	800	50	0,8495	58,9	7,19	3,74	0,52	8,00
0,25	"	"	1,3273	37,7	5,66	3,68	0,65	8,01
0,35	"	"	1,8627	26,8	4,70	3,62	0,77	8,01
0,50	"	"	2,6590	18,8	3,86	3,55	0,92	8,02
0,70	"	"	3,7325	13,4	3,20	3,49	1,09	8,07
0,95	"	"	5,0671	9,86	2,68	3,40	1,27	8,07
1,20	"	"	6,3347	7,90	2,36	3,35	1,42	8,12
1,50	"	"	7,9423	6,30	2,06	3,27	1,59	8,13
1,85	"	"	9,8423	5,08	1,81	3,20	1,77	8,17
2,40	"	"	12,6924	3,94	1,55	3,11	2,01	8,23
3,10	"	"	16,4748	3,04	1,31	3,00	2,29	8,29

Die Ergebnisse der Tabellen XII und XIII sind in den Fig. 10 und 11 übersichtlich dargestellt. Man erkennt die charakteristische Form der Schneehülle nach der neuen Formel Gleichung (32) daran, dass ähnlich wie nach den schweizerischen Vorschriften (Fig. 7) die Dicke s_f abnimmt, wenn der Seildurchmesser d_s steigt.

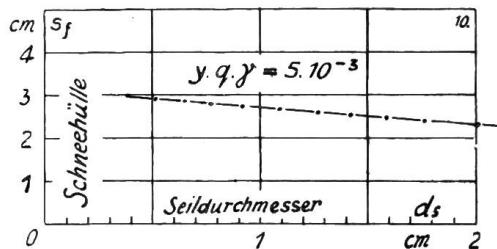


Fig. 10.

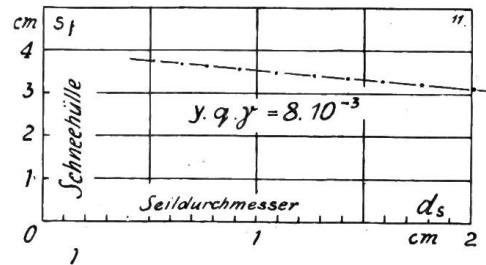


Fig. 11.

Das Ergebnis aller dieser Ueberlegungen ist also die *Erkenntnis, dass die Dicke s_f der Schneehülle nach den schweizerischen Vorschriften und in nahezu vollständiger Ueber-einstimmung auch nach der neuen Formel Gleichung (32) langsam abnimmt, wenn der Seildurchmesser d_s steigt.*

Diese Erkenntnis steht in *Uebereinstimmung* mit den weiter oben (zu A. — 1.) erwähnten *Beobachtungen in der Natur* (an Bäumen)¹⁾, die zeigten, dass dünnere Zweige zeitlich früher, relativ und absolut stärkere Rauhreibildungen aufweisen als die stärkeren Äste oder gar der Stamm; dass dies wenigstens qualitativ durch die Erscheinungen der Wärmeströmung aus der Erde bis zu den letzten Ausläufern der Äste aufgeklärt werden kann, wurde bereits erwähnt.

Die theoretische Verfolgung dieser Verhältnisse der Wärmeströmung auf dem Wege der Rechnung ohne gleichzeitige planmässige Versuche oder doch ohne Heranziehung eines

¹⁾ Vergl. Ing. Dr. E. Nather, Gestängbelastungen der Schwachstromleitungen, E. u. M. (Wien) 1918, Seiten 485, 486.

ausreichenden Beobachtungsmateriales ist wohl aussichtslos, und deshalb ist die Anregung und Aufforderung des E. T. V.-Wien¹⁾ zur Durchführung möglichst vieler Beobachtungen besonders zu begrüßen. Immerhin kann man aber auch ohne zahlenmässige Unterlagen aus den rein physikalischen Vorgängen bei der Wärmeübertragung und Wärmeabgabe einen Einblick in die Verhältnisse gewinnen, die es erkennen lassen, welche Grössen hier überhaupt eine Rolle spielen und in welchem Sinne sie wirken; damit ist doch wenigstens die Erkenntnis so weit gefördert, dass für die Auswertung der Beobachtungsergebnisse eine gewisse Richtung vorgezeichnet ist, welche es ermöglicht, die Grössen von stärkerem Einflusse besonders zu beachten und zu berücksichtigen; Nebeneinflüsse können dann ganz oder doch zum Teile unberücksichtigt bleiben, sodass das Hauptbild schärfer hervortritt.

Die nachfolgenden theoretischen Erwägungen über die Wärmeströmung und Wärmeabgabe mögen in diesem Sinne als *Versuch* angesehen werden, den hoffentlich recht bald und recht zahlreich einlaufenden Beobachtungsergebnissen an Freileitungen, bezüglich Eis- und Schneeablagerungen, eine bestimmte Richtung für die Auswertung zu geben, und anzudeuten, welche Einflüsse besonders zu beachten sein werden.

Für alle Erwärmungsvorgänge gilt folgende Differenzialgleichung:

$$\underbrace{w_1 \cdot q \cdot I \cdot dt}_{\text{zugeführte Wärme}} = \underbrace{(\Sigma G \cdot c) \cdot d\vartheta}_{\text{aufgenommene Wärme}} + \underbrace{w_2 \cdot O \cdot (\vartheta - \vartheta_a)}_{\text{abgegebene Wärme}}, \quad dt \quad (37)$$

dabei ist:

w_1 in Grammkalorien pro 1 Sek. pro 1 cm² pro 1 cm die zugeführte Wärmemenge;
 dt in Sekunden, das Zeitdifferenzial;

G in Gramm, das Gewicht des an der Wärmeübertragung beteiligten Körpers;

c in Grammkalorien pro 1 Gramm und 1 Sek., die spezifische Wärme;

($\Sigma G \cdot c$) deutet an dass die Wärmeübertragung durch verschiedene Körper erfolgt;
 $d\vartheta$ die Temperaturänderung in der Zeit dt ;

w_2 in Grammkalorien pro 1 Sek. pro 1 cm² pro 1° Temperatur-Unterschied der Wärmeübertragungskoeffizient;

O in cm² die Wärme abgebende Oberfläche;

ϑ in °C die Temperatur des Körpers, der die Wärme abgibt und

ϑ_a in °C die Aussentemperatur.

Im Beharrungszustande, der bei Leitungsanlagen mit grosser Annäherung bald erreicht sein wird, ist $d\vartheta = 0$, so dass man erhält:

$$w_1 \cdot q \cdot I = w_2 \cdot O \cdot (\vartheta - \vartheta_a) \quad (38)$$

Dabei ist für q der Leiterquerschnitt $d^2 \cdot \frac{\pi}{4}$ und für O die Oberfläche des verelsten Drahtes (bezw. der Schneewalze), d. i. also $d_t \cdot \pi \cdot I$ einzusetzen; daher wird:

$$w_1 \cdot d^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot I = w_2 \cdot d_t \cdot \pi \cdot I \cdot (\vartheta - \vartheta_a)$$

$$w_1 \cdot d^2 = 4 \cdot w_2 \cdot (\vartheta - \vartheta_a) \cdot (d + 2 \cdot s)$$

Mit $s = m \cdot d$ erhält man daher:

$$w_1 \cdot d = 4 \cdot w_2 \cdot (\vartheta - \vartheta_a) \cdot (1 + 2m) \quad (39)$$

Diese Gleichung ermöglicht zwar nicht die Berechnung des Zusammenhangs zwischen d und m , weil über w_1 und w_2 nähere Anhaltspunkte noch fehlen, wohl aber kann man aus ihr einige wertvolle Schlüsse ziehen, welche zur Klärung der Aneisungsfrage beitragen können.

¹⁾ E. u. M. 1919, Seite 596.

Die durch 1 cm^3 des Leiters (Draht, Seil) in 1 Sekunde zugeführte Wärmemenge w_1 ist, da es sich um einen guten Wärmeleiter (Metall) handelt, als unveränderlich anzusehen. Für einen bestimmten Temperaturunterschied ($\vartheta - \vartheta_a$) zwischen dem Leiter und seiner Umgebung (Luft) ist auch ($\vartheta - \vartheta_a$) unveränderlich. Es handelt sich also nur noch um die Wärmemenge w_2 , welche von der Flächeneinheit der Oberfläche abgegeben wird. Im allgemeinen wird w_2 nur wenig veränderlich sein, aber doch von der Dicke s des Schneelagers abhängen, weil die geringe Wärmeleitfähigkeit des Schnees und seine grosse Schmelzwärme bei steigender Dicke s einen grösseren Teil der von innen zugeführten Wärmemenge absorbieren, und daher zur Abgabe nach aussen nur wenig Wärme übrig lassen wird; es erscheint also begreiflich, dass infolge der geänderten Wärmedurchgangsverhältnisse bei grösserer Dicke s der Schneehülle der Wert w_2 abnimmt.

Einen rechnerischen Zusammenhang zwischen w_2 und s auf Grund dieser Erwägungen ohne weiteres anzunehmen, wäre eine gewagte Hypothese; doch kann man zur ersten Orientierung untersuchen, wie sich die

$$\text{Annahme } w_2 \doteq \frac{C_0}{s} = \frac{\text{Konstante}}{s} \quad (40)$$

äussert; man findet:

$$\begin{aligned} w_1 \cdot d &\doteq 4 \cdot \frac{C_0}{m \cdot d} \cdot (\vartheta - \vartheta_a) \cdot (1 + 2m) \\ d^2 &\doteq C \cdot \left(\frac{1}{m} + 2 \right) \end{aligned} \quad (41)$$

d. h. einem grösseren Durchmesser d entspricht ein kleinerer Wert von m , was ja *grund-sätzlich* mit den Ergebnissen der Tabellen V, VI, IX, XII und XIII übereinstimmt, wenn auch *zahlenmässig recht bedeutende Unterschiede* zu verzeichnen sind.

Um die Uebersicht über diese Zahlenwerte zu erleichtern, sind in der Tabelle XIV die zusammengehörigen Werte für d_s und m_f (für Schnee mit $\gamma_s = 0,16 \text{ Gramm pro } 1 \text{ cm}^3$) eingetragen. Obwohl dadurch die Funktionsform noch in keiner Weise geklärt wird, so ist doch der *allgemeine Charakter* des Zusammenhangs zwischen d_s und m_f nach den bisherigen Erfahrungen und Normen in der Tabelle XIV zusammengefasst.

Uebersicht über den Zusammenhang zwischen d_s und m_f für Schneebelastung
($\gamma_s = 0,16 \cdot 10^{-3} \text{ kg pro } \text{cm}^3$)

Tabelle XIV

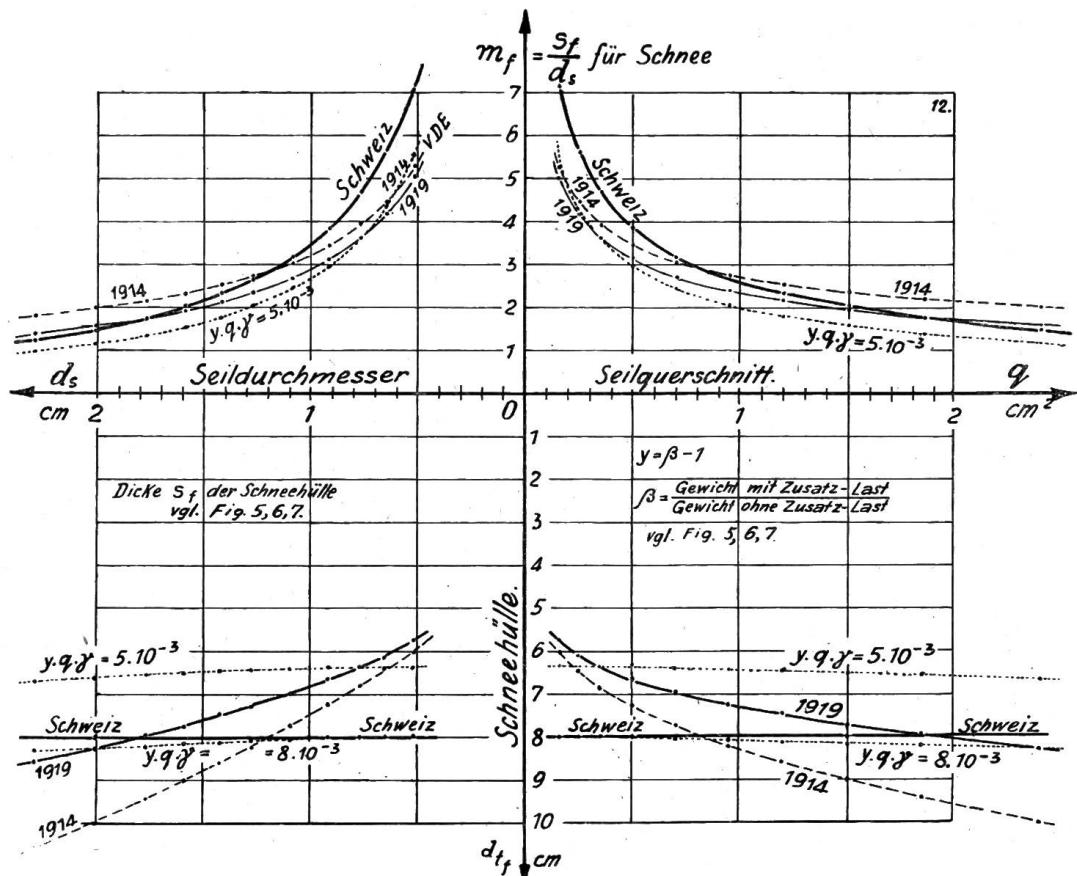
q cm^2	d_s cm	$m_f = s_f : d_s$ (für Schnee)				
		V.D.E. 1914	V.D.E. 1919	Schweiz	Neue Formel $y \cdot q \cdot \gamma = 5 \cdot 10^{-3}$	Neue Formel $y \cdot q \cdot \gamma = 8 \cdot 10^{-3}$
		Tabelle V	Tabelle VI	Tabelle IX	Tabelle XII	Tabelle XIII
0,16	0,52	5,28	5,01	7,19	5,59	7,19
0,25	0,65	4,45	4,18	5,65	4,37	5,66
0,35	0,77	3,93	3,62	4,70	3,63	4,70
0,50	0,92	3,44	3,12	3,85	2,96	3,86
0,70	1,09	3,05	2,69	3,17	2,44	3,20
0,95	1,27	2,73	2,36	2,65	2,03	2,68
1,20	1,42	2,52	2,13	2,316	1,775	2,36
1,50	1,59	2,33	1,93	2,015	1,55	2,06
1,85	1,77	2,16	1,75	1,760	1,35	1,81
2,40	2,01	1,98	1,56	1,492	1,15	1,55
3,10	2,29	1,81	1,37	1,247	0,965	1,31

Uebersicht über den Zusammenhang zwischen dem Leiterdurchmesser d_s (für Seile) und dem Aussendurchmesser d_{tf} der Schneewalze (für $\gamma_s = 0,16 \cdot 10^{-3}$ kg pro cm³).

Tabelle XV

q cm ²	d_s cm	d_{tf} cm (Schneewalze)				
		V.D.E. 1914	V.D.E. 1919	Schweiz	Neue Formel $y \cdot q \cdot \gamma = 5 \cdot 10^{-3}$	Neue Formel $y \cdot q \cdot \gamma = 8 \cdot 10^{-3}$
		Tabelle V	Tabelle VI	Tabelle IX	Tabelle XII	Tabelle XIII
0,16	0,52	6,02	5,73	8,00	6,34	8,00
0,25	0,65	6,43	6,11	7,99	6,33	8,01
0,35	0,77	6,83	6,35	8,01	6,37	8,01
0,50	0,92	7,26	6,66	8,00	6,36	8,02
0,70	1,09	7,73	6,95	8,01	6,41	8,07
0,95	1,27	8,21	7,27	8,00	6,43	8,07
1,20	1,42	8,58	7,46	7,99	6,46	8,12
1,50	1,59	8,99	7,73	7,99	6,51	8,13
1,85	1,77	9,41	7,95	8,00	6,55	8,17
2,40	2,01	9,97	8,27	8,01	6,63	8,23
3,10	2,29	10,57	8,55	8,00	6,71	8,29

Einen für die Zwecke der Beobachtungen noch deutlicheren Ueberblick bekommt man durch die Darstellung des Zusammenhanges zwischen dem Leiterdurchmesser d_s und dem Durchmesser d_{tf} der Schneewalze; diese Uebersicht ist in der Tabelle XV eingetragen.



Die Fig. 12 stellt die Ergebnisse der Tabellen XIV und XV übersichtlich und anschaulich dar. Die Tabelle XV und die Fig. 12 können als *Grundlage für die weiteren Beobachtungen* dienen, da sich an Leitungen, die im Betriebe stehen, aber auch an kurzen Versuchsleitungen von etwa 20 bis 30 m Länge mit 6 bis 8 verschiedenen Seilquerschnitten an verschiedenen Orten und unter verschiedenen klimatischen Verhältnissen leicht und mit geringen Kosten feststellen lassen wird, ob d_{tf} mit d_s wächst oder ob es im wesentlichen unverändert bleibt. Um diese Streitfrage dreht sich ja bisher noch immer die ganze Angelegenheit, und sie wird auf rein theoretischem Wege niemals gelöst werden, sondern nur durch planmässige Versuche unter möglichst gleichartigen Versuchsbedingungen. In dieser Hinsicht sind wohl *Versuchsleitungen mit verschiedenen Seilquerschnitten an demselben Gestänge* als einwandfreier Vorschlag anzusehen, und deshalb wird diese Anregung jedem Betriebsleiter, sowie den Fabriken, welche den Freileitungsbau pflegen, angelegentlich empfohlen; die vom Wiener E. T.-Vereine vorgeschlagenen Beobachtungen werden dann nicht mehr Einzelbeobachtungen an verschiedenen Leitungen unter häufig nicht zuverlässig festgestellten klimatischen Voraussetzungen sein, sondern durchwegs *einheitliche, planmässige Versuche an Leitungen mit verschiedenen Querschnitten bei unbedingt gleichartigen meteorologischen Verhältnissen*.

Derartige Versuchsergebnisse sind dann aber wohl dazu geeignet, die ganze wichtige Frage der Zusatzlast der Freileitungen der Lösung zuzuführen.

Literaturnachweis.

- Prof. C. v. Bach, Elastizität und Festigkeit.* 4. Auflage, 1902, Seite 92. Verlag Springer, Berlin.
- Beron, Oesterreichische Vorschriften über Bahnkreuzungen mit Starkstromleitungen.*
- E. u. M., Wien 1915, Heft 7.
 - " 1919, Heft 17, Seite 183.
 - " 1919, Heft 45, Seite 519.
- Blavier, Nouveau Traité de Télégraphie électrique.* — Band 2, Seite 462. Paris 1867, Verlag Lacroix.
- Blonde, (Paris, September 1902). Congrès de la houille blanche. (Spannung, Durchhang und Zusatzlast).*
- Bronzedrähte:* 1. Zeitschr. f. Elekt. (E. u. M.) Wien 1890, Seite 368, 436, 471.
2. Z. f. E. (E. u. M.) Wien 1890, Seite 207.
3. Z. f. E. (E. u. M.) Wien 1888, Seite 381.
- Bronzeseile:* E. T. Z. 1919, Seite 222.
- H. Cloeren, (Anderlecht — Bruxelles). Ueber Gleichgewichts-Bedingungen eines zwischen zwei festen Punkten gespannten Phosphor-Bronze-Drahtes.* Z. f. E. (E. u. M.) Wien 1888, Seite 276 u. 315.
E. T. Z. 1890, Seite 43 ÷ 46. (Nach dem Bull. de la Société Belge d'Electriciens).
- H. Dreisbach,* 1. Das Verhalten von Leitungen aus verschiedenem Material an denselben Gestängen.
E. T. Z. 1897, Seite 147.
2. Neue Methode zur Prüfung des Durchhangs von Freileitungen. E. T. Z. 1909,
Seite 1218, Heft 50.
- Prof. R. Edler, Hilfswerte zur Berechnung der Freileitungen.* E. u. M., Wien 1919, Heft 47 und 48,
Seite 533 und 547.
- Dr. M. Eisig, Ueber den Einfluss der Temperatur auf den Fahrdräht elektrischer Bahnen.* E. T. Z. 1899,
Seite 653.
- A. Ertel, Handbuch für den Bau und die Instandhaltung der Oberleitungsanlagen elektrischer Bahnen.*
Verlag Jänecke, Leipzig 1907. Bibl. der gesamt. Technik, Band 42.
- Dr. Ing. E. Fischinger, Aluminium-Eisen-Seile und Aluminium-Stahl-Seile.* E. T. Z. 1917, Seite 568.
E. T. Z. 1919, Heft 33.
- Freileitungen, Aluminiumleitungen.* E. T. Z. 1919, Seite 221.
- " Aluminiumseile mit Stahlseele. E. T. Z. 1917, Seite 568. E. T. Z. 1919, Seite 221.
 - " Regeln des V. D. E. für Eisenseile. E. T. Z. 1914, Seite 1109.
" 1915, " 44
" 1919, " 221.
" 1919, " 222.
- Freileitungen, Stahlseile in Norwegen und Amerika.* E. T. Z. 1919, Seite 222.
- " Die Deutsche Elektro-Industrie in den Kriegsjahren. E. T. Z. 1919, Seite 77, 89, 113,
137, 149, 161, 185, 197, 209, 221.
 - " Durchhang von steil geneigten Freileitungen bei verschiedenen Temperaturen. (Electrical
Review, Chicago, Band 72, No. 23, 1918). Referat in E. u. M. 1919, Heft 15.

- A. Gerteis*, Vortrag über Freileitungen im E. T. V. Dresden. (Durchhangsbestimmung). E. T. Z. 1897, Seite 284.
- Gesing*, Drahdurchmesser und Querschnittsbemessung, sowie Bestimmung der Montagezüge für Hochspannungsfreileitungen. E. K. B. B. 1913, Heft 20. (Verlag R. Oldenbourg, München). E. u. M. (Wien) 1913, Seite 731.
- H. v. Glinski*, Zur Bestimmung des Durchhangs und der Spannung in Drähten. E. T. Z. 1903, No. 14, Seite 225.
- L. Griesbeck*, Der Fernleitungsbau. 2. Auflage 1919. Verlag J. C. Huber, (Diessen vor München).
- J. Herzog*, Ueber den Durchhang von weichen Kupferdrähten bei Freileitungen. E. T. Z. 1894, Seite 437 \div 440.
- A. Jobin*, Die Berechnung der Freileitungen mit Rücksicht auf die mechanischen Verhältnisse. Bull. des Schweizer. Elektr. Vereins 1919, No. 6 und 7. (Sonderdruck 1919, Verlag Rascher & Cie., Zürich).
- Prof. *M. Jüllig*, 1. Ueber die mechanische Beanspruchung elektrischer Luftleitungen. Z. f. E. (E. u. M.) Wien 1899, Heft 17.
2. Ueber die mechanische Beanspruchung elektrischer Luftleitungen, welche auf ungleich hohen Stützen ruhen. E. T. Z. 1899, Seite 886.
- L. Kallir*, 1. Hochspannungsfreileitungen. Zeitschr. d. öst. Ing. u. Arch.-Vereins, 1909, No. 35 u. 36.
2. Die zusätzliche Belastung von Freileitungen durch Eis und Rauhreif. E. u. M., Wien 1919, Heft 51, Seite 585.
- F. Kapper*, Freileitungsbau — Ortsnetzbau. Verlag R. Oldenbourg, München und Berlin. 1. Auflage 1913. 2. Auflage 1920.
- K. Kohler*, Ueber die Deutschen und Wiener Sicherheitsvorschriften für Freileitungen. E. u. M., Wien 1910, Seite 261, Heft 13.
- O. Krümmeling*, Doppeldraht-Fahrleitung für elektrische Bahnen (Eisen) (Winddruck, Kettenaufhängung). E. T. Z. 1919, Heft 39, Seite 479.
- G. Krzyzanowski*, Ueber den Einfluss von Isolatorketten auf die Beanspruchung und den Durchhang im Spannfelde (Hänge-Isolatoren). E. u. M. Wien 1917, Seite 489, 505 (Nachtrag Seite 604 und 608). E. T. Z., 1918, Seite 138, 291.
- Kvetensky*, Bruchsichere Ueberführung von Schwachstrom-Leitungen über Eisenbahnen und Strassenbahnen. E. u. M. 1913, Seite 406.
- Müller*, Methode zur graphischen Ermittlung des Durchhangs von Drähten. E. u. M. 1911, Heft 18.
- Dr. *E. Nather*, 1. Gestängebelastung von Schwachstromleitungen. E. u. M., Wien 1918, Seite 485, Heft 44.
2. Zur Gestängebelastung von Fernmeldeleitungen. E. u. M., Wien 1919, Seite 575, Heft 50.
3. Bemerkungen zur Berechnung von Freileitungen. E. u. M., Wien 1920, Seite 159, Heft 14.
- G. Nicolaus*, Ueber den Durchhang von Freileitungen. E. T. Z. 1907, Heft 37 und 38, Seite 896.
- K. Otto*, Berechnung des Drahdurchhangs. E. T. Z. 1903, Seite 37.
- Pender und Thomson*, The mechanical and electrical characteristics of transmission lines. (Proceed. Inst. of Electr. Engin.) July 1911.
- P. Poschenrieder*, Bau und Instandhaltung der Oberleitungen elektrischer Bahnen. (Seite 95 u. folg.). Verlag R. Oldenbourg, München 1904.
- Dr. *G. Rasch*, Ueber die Aufhängung der Oberleitung bei elektrischen Bahnen. E. T. Z. 1897, Heft 27 und 28, Seite 395.
- F. Schauer*, Spannung und Durchhang in Starkstrom-Freileitungen „Elektrische Kraftbetriebe und Bahnen“. (E. K. B. B., 1910, Heft 24, Seite 461 \div 466. (Verlag Oldenbourg, München).
- Schwarzkopff*, 110 000-Volt-Kraftübertragung in grosser Gebirgshöhe. E. K. B. B. 1916, Heft 33.
- Schweizer. Bundes-Vorschriften*, betreffend Erstellung und Instandhaltung der elektr. Starkstrom-anlagen (vom 14. Februar 1908). Nachtrag: Bewilligung von Weitspannungen. Bull. des Schweiz. Elektr. Vereins, 1919, No. 2, Seite 42.
- Dr. Ing. *E. Seefehlner*, Kollineare Rechentafeln (Nomogramme) zur Ermittlung von Spannung und Durchhang einer Freileitung bei veränderlicher Temperatur und veränderlichem Gewicht für beliebige Spannweiten. E. u. M., Wien 1919, Heft 52, Seite 597.
- A. Sengel*, Berechnung des Durchhangs und der Spannung in freigespannten Drähten. E. T. Z. 1903, Heft 39, Seite 802.
- Starkstromtechnik* (herausgegeben von Rziha und Seidener). Verlag W. Finst & Sohr, Berlin, 1. Auflage, Seite 731 und 752.
- Prof. *J. Sumec*, Graphische Bestimmung der Zugbeanspruchung von Freileitungen. E. T. Z. 1915, Heft 26, Seite 327.

- Dr. Ing. O. Szilas, 1. Ueber den Durchhang von Freileitungen. Zeitschr. d. ungar. Ing. u. Arch.-Vereins 1917, Band II, No. 16.
2. Durchhang von Freileitungen. E. T. Z. 1919, Seite 466, 477, 493. — Heft 38, 39, 40.
E. u. M., Wien 1920, Seite 194, Heft 17.
- Verband Deutscher Elektrotechniker, Normen für Freileitungen. E. T. Z. 1907, Seite 811 und 825.
" 1913, " 1096.
" 1919, " 41 und 42.
- S. Wächter, Rasche Bestimmung der Durchhangsänderungen von Freileitungen. E. T. Z. 1916, Seite 429.
- Wehage, Spannung und Durchhang der Freileitungen mit Berücksichtigung der Temperatur. „Zivilingenieur“ 1879, Seite 619.
- R. Weil, Beanspruchung und Durchhang von Freileitungen. Verlag Springer, Berlin, 1910.
- Wiener Elektrotechn.-Verein: Aufruf zur Anstellung von Beobachtungen über die Eis- und Schneefälligkeiten auf Freileitungen. E. u. M., Wien 1919, Heft 51, Seite 596.
- Wiener Elektrotechn.-Verein, Sicherheitsvorschriften für elektrische Starkstromanlagen (1907) samt Anhang 1, 5 und 11. E. u. M. 1909, Heft 46.
" 1917, " 6, Seite 65.
" 1917, " 36, Seite 429.
" 1916, Seite 569.
" 1919, Heft 22, Seite 242.
- W. Wittek, Ueber die Eisbelastung der Freileitungen. E. T. Z. 1918, No. 48, Seite 475. E. u. M. 1919, Heft 9, Seite 87.
- Prof. Dr. Wyssling, Die Verwendung von Aluminium für Freileitungen. Bull. d. Schweiz. Elektrotechn. Vereins 1916, Heft 5 und 6. (Sonderdruck Verlag Rascher & Cie., Zürich).
- Prof. Dr. K. E. Zetzsche, Handbuch der elektrischen Telegraphie. 3. Band, 1. Hälfte, Seite 90. Verlag Springer, Berlin 1887.
- H. Zipp, Berechnung von Drahtspannung und Durchhang für eine Eisenleitung. E. u. M. 1919, Heft 27, Seite 303. (Nach Elektrizitätswerk, Jahrg. 7, Heft 1).

Die kritischen Drehzahlen der Kurbelgetriebe elektrischer Lokomotiven.

Von Professor Dr. W. Kummer, Ingenieur, Zürich.

Vor neun Jahren haben wir den Lesern des „Bulletin“ in einem, „Ueber die Anwendung des Parallelkurbelgetriebes bei elektrischen Lokomotiven“ betitelten Aufsatze, die Entwicklung des von europäischen Konstrukteuren für elektrische Lokomotiven geschätztesten Antriebsmittels vorgeführt und gezeigt, dass unsere schweizerischen Konstruktionsfirmen bei dieser Entwicklung nicht nur rege mitgearbeitet haben, sondern wiederholt massgebend vorangegangen sind¹).

Das unter dem Namen „Parallelkurbelgetriebe“ (auch „Kuppelstangengetriebe“ genannt) bekannte, in Fig. 1 nochmals schematisch vorgeführte Antriebsmittel hat jedoch bei seiner Anwendung auf stets leistungsfähigere und je länger je rascher fahrende Lokomotiven auf „kritische“ Drehzahlen geführt, die sich im Betriebe mindestens durch Schüttelschwingungen, wenn nicht gar durch schwere Triebwerkdefekte nachteilig geltend machen; indessen gelang es in der Regel, diese Erscheinungen durch geeignete Massnahmen, insbesondere durch den Einbau elastischer Konstruktionselemente, gänzlich zu beseitigen oder wenigstens unschädlich zu machen.

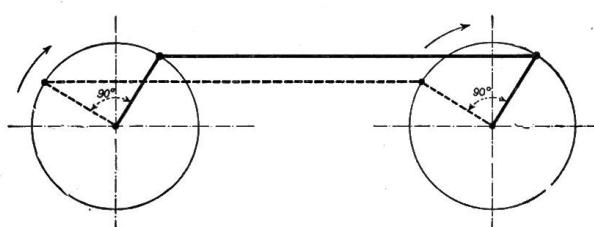


Fig. 1.
Schema des normalen Parallelkurbelgetriebes.

Die kritischen Drehzahlen der Kurbelgetriebe elektrischer Lokomotiven lassen sich, ebenso wie die kritischen Drehzahlen anderer Maschinenelemente, als Harmonische der

¹⁾ Vergleiche Seite 319—322 des „Bulletin“ von 1911; die Abbildungen 1, 7, 6 jenes Aufsatzes sind hier als Fig. 1, 2, 3 wieder zur Verwendung gelangt.