Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 7 (1916)
Heft: 6

Artikel: Die Verwendung von Aluminium für Freileitungen
Autor: Wyssling
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057167

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: 22.08.2025

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

Ergänzungen zum Aufsatz: *)

Die Verwendung von Aluminium für Freileitungen.

Von Generalsekretär *Prof. Dr. Wyssling.*

Zu den Eigenschaften des Aluminiums im allgemeinen.

Bezüglich der *Festigkeitsverhältnisse* sei nochmals auf folgenden Umstand aufmerksam gemacht:

Vor der Verwendung dicker massiver Drähte muss durchaus gewarnt werden. Abgesehen davon, dass bei *Seilen aus relativ dünnen Drähten* (bis etwa $2^1/_2$ oder $3^1/_2$ mm Dm.) deren höhere spezifische Zugfestigkeit zur Wirkung kommt und Seile auch in wesentlich grössern Längen (3 ÷ 5 km) geliefert werden können, bietet schon die grössere „Biegsamkeit" des Seils, die wesentlich gleichmässigere Beanspruchung der innern und äussern Fasern bei dünnern Drähten als bei dickern, eine grössere Sicherheit gegenüber den Beanspruchungen der Leiter bei Wind u. s. w., namentlich aber könnte der bereits erwähnte Umstand, dass es offenbar nicht völlig ausgeschlossen ist, dass Stellen verminderter Bruchfestigkeit ausnahmsweise (und besonders bei dicken Drähten) beim Al vorkommen und unbeachtet bleiben können, bei starken massiven Drähten später im Betrieb zu unangenehmen Leitungsbrüchen führen. Es wäre daher eine *durchaus verkehrte Sparsamkeit,* um des unbedeutend geringeren Preises willen, den massive Drähte gegenüber Seilen haben, bei Aluminium nicht die letztern anzuwenden. [1])

Wenn die vielen jetzigen amerikanischen Al-Freileitungen nicht häufiger reissen als die aus Cu, so war das bei den ersten, aus Massivdraht erstellten keineswegs der Fall. In einer der nachstehend erwähnten Schriften wird am Internat. Elektr. Kongress in St. Louis als mehrjährige Erfahrung in Amerika gesagt: „When aluminium was first introduced for overhead conductors, it was furnished in the *solid* form. Considerable trouble was experienced with this kind of wire from breakage resulting from flaws in the metal and from „crystallizing" of the wire from swaying in the wind. About the year 1900, the *stranded* form was substituted for even the smallest size, and the original trouble from breakage has been *entirely* eliminated."

Das *Anhaften von Schnee und Eis* soll nach vielfachen Behauptungen bei Al in viel geringerem Masse vorkommen als bei Cu, während andere dies bestreiten. Der Widerspruch erklärt sich nach zuverlässigen Zeugnissen in einfacher Weise dadurch, dass Al für die Fabrikation (ziehen, verseilen) *eingefettet* werden muss und auch für die Montage etwa gefettet wird. In der ersten Zeit und solange noch Spuren von Fett an der Leitung bleiben, sind dann allerdings geringere Ansetzungen von Schnee und Eis an den Al-Leitungen zu konstatieren; nach 4 ÷ 5 Jahren aber, nach welcher Zeit alle Fettreste von den Leitungen im Freien erfahrungsgemäss verschwunden sind, haften Schnee und Eis in ganz gleichem Masse wie an dem, von Anfang an nicht fettigen Cu, an *Seilen,* die beim Al verwendet, vielleicht eher um ein geringes mehr als an den Massivdrähten die bei Cu meist vorkommen.

Betreffend die *Selbstinduktion und die Kapazität* der Al-Leitung im Vergleich zur aequivalenten Cu-Leitung findet man in der Literatur die Angabe, es sei wegen dem, aus angegebenen Gründen empfeh-

[1]) Es scheint, dass gerade gegenwärtig auch durch die etwas grössere Lieferfrist, die für Seile gegenüber den Drähten nötig ist, Werke veranlasst werden wollen, starke Massivdrähte aus Al für Freileitungen zu verwenden. Das kann nur in Unkenntnis jahrelanger Erfahrungen geschehen, und wir möchten *eindringlich davon abraten.* Um eines momentanen Vorteils willen würden dadurch früher oder später auftretende Mängel eingeführt

*) Entsprechend der Ankündigung am Schlusse des Aufsatzes in der letzten Nummer folgen hier noch nähere Erörterungen und Ergänzungen, von denen einige durch Zuschriften veranlasst sind, die seit der ersten Publikation dem Generalsekretariat zugingen.

Die ziemlich umfangreichen rechnerischen Arbeiten, die der Aufsatz erforderte, sind auf dem Generalsekretariat durchgeführt worden.

Separatabzüge, welche beide Aufsätze in organischer Vereinigung enthalten und als eine *praktische Wegleitung für Erstellung von Al-Leitungen* für die Beamten unserer Mitglieder Interesse bieten dürften, sind für letztere zu Fr. 1.—, für Nichtmitglieder zu Fr. 1.50 bei uns zu beziehen.

Bezüglich Beschaffung von Aluminium wiederholen wir unsere Aufforderung an die Schweizer. Elektrizitätswerke zur Anmeldung des Bedarfs (siehe letzte Nummer, Seite 119, sowie unter „Vereinsnachrichten" vorliegender Nummer). *Das Generalsekretariat.*

lenswerten grössern Abstand der Leiter verschiedener Phase die Selbstinduktion der Al-Leitung grösser als die der Cu-Leitung, anderseits sei bei diesem grössern Abstande die Kapazität geringer. Es wird dann auf grössern Spannungsabfall in der Al-Leitung geschlossen. Auch wird von einer „Kompensation" der grössern Selbstinduktion durch die infolge Vergrösserung des Drahtdurchmessers eintretende Erhöhung der Kapazität gesprochen. Alle diese Angaben sind in dieser Form ungenau: Sowohl im Ausdruck des Selbstinduktionskoeffizienten wie bei dem der Kapazität zweier im Abstande d paralleler Drähte vom Radius r bildet die Grösse log (d : r) bezw. log (2 d : r), die letztere bei der Kapazität im reziproken Werte, das Bestimmende. Nun braucht der widerstandsgleiche Al-Leiter den 1,66 fachen Querschnitt oder den *1,29 fachen Radius* des Cu-Leiters. Dieses Verhältnis angenommen, können daher, je nachdem der Drahtabstand gegenüber dem bei Cu verschieden vergrössert gewählt wird, Selbstinduktionskoeffizient und Kapazität sich in verschiedenem Masse ändern, und kann über die Veränderung der Phasenverschiebung nichts allgemeines gesagt werden. Wird dagegen der *Drahtabstand bei Al gerade ebenfalls gleich dem* 1,29- oder rund *1,3-fachen desjenigen bei Cu* genommen, so bleiben *Selbstinduktion und Kapazität* der Leitung und die durch die Leitung selbst bewirkte *Phasenverschiebung bei Al genau gleich wie bei Cu,* weil die Werte jener Logarithmen sich nicht ändern. Lediglich für *Leitungen sehr hoher Spannung* mag endlich der Umstand noch etwelche Bedeutung haben, dass der grössere Leiterdurchmesser der einer bestimmten Cu-Leitung aequivalenten Al-Leitung die Büschelentladung vermindert, die sogenannte Corona-Spannung heraufsetzt.

Höhe und Preis der Masten und ihrer Fundationen hängen im übrigen zufolge der dadurch stark beeinflussten Grösse der anzuwendenden *Durchhänge* sehr von den geltenden *Berechnungs- und Sicherheits-Vorschriften* bezw. von der Auffassung über die möglichen Beanspruchungen durch Zufallslast (Schnee und Eis, Wind) ab. Es können sich so für ein und dieselbe Leitung bedeutende Unterschiede in den errechneten Durchhängen ergeben, die bei grossen Spannweiten, wie sie z. B. für Eisenmasten Anwendung finden, dementsprechende Unterschiede in den Masthöhen erfordern. In derartigen Fällen kann nur mittels Durchrechnung von vollständigen Projekten für Leiter beider Art ein sicherer Vergleich aufgestellt werden.

Zur Tabelle 2 mag noch beigefügt werden für Aluminium: *Streckgrenze in kg/mm²*

Nach Angabe von Al-Lieferanten 15 ÷ 18

Nach Versuchen der Techn. Hochschule Darmstadt mit Seilen 16,4 ÷ 17

Elastizitätsmodul in kg/mm², nach Annahme des V. D. E.: 7150.

Dabei ist nach deutschem Normal unter „Streckgrenze" verstanden diejenige Belastung, die *eine Minute* lang wirken kann, ohne eine mehr als 0,2 % der Messlänge betragende Dehnung zu erzeugen.

Tabelle 3 möge noch durch grössere Querschnitte vervollständigt werden:

Gebräuchlichen Cu-Querschnitten widerstandsgleiche Al-Leiter.

Widerstand pro km bei 15° C Ω	Zu ersetzender Cu-Leiter			Ersatz-Al-Leiter		
	Querschnitt mm²	Zusammensetzung des Seils Drahtzahl × Durchm. mm	Gewicht pro km kg	Querschnitt mm²	Zusammensetzung des Seils Drahtzahl × Durchm. mm	Gewicht pro km kg
0,145	120	19 × 2,84	1070	197,6	19 × 3,64 oder 37 × 2,65	514
0,116	150	19 × 3,18	1336	247,1	37 × 2,92	642
0,094	185	37 × 2,51	1650	310.0	61 × 2,50	810

Betreffend zulässige Minimalquerschnitte.

Die Anwendung des nach den Bundesvorschriften zulässigen absoluten Minimalquerschnitts von 12 mm² Al setzt als selbstverständlich voraus, dass in allen Fällen der Anwendung dieses Minimaldrahts die Vorschriften über dessen Beanspruchung eingehalten werden, d. h. der Durchhang nie kleiner gewählt werde, der Leiter bei keiner Temperatur schärfer gespannt werde, als diesen Vorschriften entspricht. Der „Niederspannungs-Minimal-Leiter" wird nun besonders häufig in den *Ortsnetzen,* besonders für die grosse Mehrzahl der *Haus-Zuleitungen,* verwendet. Die letztern dienen dabei sehr oft gleichzeitig zur Aufnahme eines einseitigen Zugs der Haupt- oder Strassen-Leitungen, da wo diese Ecken bilden, also zur „Verankerung" von Eckstangen oder Dachständern. Solange der Minimaldraht dabei nicht stärker gespannt wird als die Vorschrift erlaubt, ist dagegen nichts einzuwenden. Leider werden aber, wie die Erfahrung zeigt, solche Zuleitungen oft ohne Rücksicht hierauf ganz unsinnig angespannt, und es sind Fälle vorgekommen, wo deshalb bei starker Schneelast eine Menge solcher Zuleitungen aus 3 mm Cu-Draht in Ortsnetzen rissen. Derartige Ueberanstrengung durch zu straffes Spannen hält dann natürlich auch das 12 mm² Al-Seil nicht aus.

Ein *vorschriftsgemäss* (d. h. so, dass bei — 20° die Sicherheit gegen Zerreissen ohne zusätzliche Beanspruchung noch 5 fach ist) gespannter Minimaldraht hat bei *50 m* Spannweite

als 3 mm Cu-Draht

bei 0° und Schneelast bezw. Winddruck nach den Regeln der schweiz. Telegraphen-Verwaltung [1]) noch 1,2 fache

bei — 5° und Schneelast bezw. Winddruck nach den Regeln des V. D. E. [2]) noch 2 fache

als 12 mm² Al-Seil

bei 0° und Schneelast bezw. Winddruck nach den Regeln der S. T. V. [1]) noch 1,3 fache

bei — 5° „ „ „ „ „ „ des V. D. E. [2]) noch 2 fache

Sicherheit gegen Bruch, wogegen die Sicherheit gegen die Streckgrenze 0,8 hievon beträgt, die Streckgrenze also erreicht und überschritten werden kann. Bei gelegentlich, wenn auch selten beobachteten noch grösseren zusätzlichen Belastungen, wie sie z. B. auf Seite 163 erwähnt sind, kann bei diesen Minimalquerschnitten gleicherweise bei Cu wie bei Al die Bruchgrenze überschritten werden.

Mit Rücksicht auf die geringe Sicherheit gegenüber Zusatzbeanspruchung durch Schnee, Eis und Wind und auf die leider erfahrungsgemäss nicht völlig zu beseitigende Unachtsamkeit und Verständnislosigkeit mancher Monteure ist daher zu empfehlen, mit dem Minimalquerschnitt nicht so tief zu gehen wie die Vorschrift gestatten würde und auch bei Niederspannung nicht unter 22 mm² Querschnitt zu verwenden. Die gegenüber den gesamten Leitungskosten verschwindend kleinen Mehrkosten werden sich durch grössere Sicherheit gegen Störungen reichlich bezahlt machen.

Betreffend die gebräuchlichen Querschnitte für Al-Leitungen und deren Konstanten.

Die Tabelle 5 sei hier noch für grössere Querschnitte ergänzt:

Tabelle 5.

Widerstand, Zerreissfestigkeit und Gewicht von Al-Seilen [3])

die gebräuchlichen Cu-Leitern aequivalent sind.

Querschnitt mm²	Zusammensetzung: Drahtzahl × Durchmesser mm	Widerstand pro km bei 15° C Ω	Zerreiss-festigkeit kg za.	Gewicht pro km kg za.
22	7 × 2,0	1,316	396	57,5
26,5	7 × 2,19	1,082	472	68,5
32,9	7 × 2,45	0,875	593	85,5
40,0	7 × 2,70	0,723	709	104,0
50,0	7 × 3,0	0,578	885	130,0
55,0	19 × 1,92	0,526	970	143,0
66,5	19 × 2,11	0,435	1170	173,0
82,4	19 × 2,35	0,349	1450	214,0
115,3	19 × 2,78	0,249	2040	300,0
156,5	19 × 3,24	0,184	2710	407,0
197,6	19 × 3,64 oder 37 × 2,65	0,145	3350*	514,0
247,1	37 × 2,92	0,116	4180*	642,0
310,0	61 × 2,50	0,094	5250*	810,0

*) Die Festigkeit der 37drähtigen Seile aus dünneren Drähten ist etwas grösser als die der 19 dickern Drähte gleichen Gesamtquerschnitts. Da aber zuverlässige Angaben über jene erhöhte Stärke nicht vorliegen, sind hier sicherheitshalber die geringeren Zerreissfestigkeiten, wie sie für die Seile aus dickern Drähten ausgewiesen sind, eingesetzt.

---

[1]) Diese zusätzliche Beanspruchung wird gleich der einer Schneewalze vom Durchmesser 8 cm und dem spez. Gewicht von 0,16 angenommen.

[2]) Der V. D. E. rechnet als Zusatzlast nach der Formel: Zusatzgewicht in gr pro laufenden $m = 190 + 50\, d^{(mm)}$ wo d = Draht- bezw. Seildurchmesser.

[1]) [2]) Ueber die Einzelheiten der Wirkung dieser Zusatzlasten siehe auch Seite 163.

[3]) Bedauerlicherweise hat sich in der letzten Nummer ein *Druckfehler* in diese Tabelle eingeschlichen, indem die Zahlen der Rubriken „Zerreissfestigkeit" und „Gewicht" verwechselt wurden. Wir geben deshalb die Tabelle berichtigt hier nochmals vollständig wieder.

Durchhänge und Sicherheiten.

Das vollkommen biegsame Seil nimmt bei freier Aufhängung zwischen zwei Stützpunkten bekanntlich die Form einer Kettenlinie an. Bei den im Freileitungsbau gebräuchlichen Spannweiten und Durchhängen darf die Kettenlinie für diese Berechnungen mit hinreichender Genauigkeit durch die Parabel ersetzt werden. Für gleich hoch liegende Stützpunkte sei bezeichnet:

mit l die Spannweite (Sehne zwischen den Stützpunkten)
„ b_0 bezw. b_t die Bogenlänge zwischen den Stützpunkten
„ f_0 „ f_t der Durchhang
„ s_0 „ s_t die spezifische Zugbeanspruchung des Drahtes bezw. Seils je bei $t_0{}^0$ bezw. t^0 C
„ γ das spezifische Gewicht des Drahtes
„ E der Elastizitätsmodul des Materials
„ α der Wärmeausdehnungskoeffizient des Materials

und es gilt alsdann für diesen Fall

$$f_t = \frac{l^2 \gamma}{8\, s_t} \tag{1}$$

woraus die bekannte Tatsache folgt, dass *die Durchhänge von Freileitungen für bestimmtes Material und Spannweite für gleiche spezifische Zugbeanspruchung für alle Durchmesser oder Querschnitte gleich sind.*

Die Zugbeanspruchung s_t des Drahtes ist nun zwar an den verschiedenen Punkten der Seillänge nicht genau gleich. In der Formel (1) bedeutet s_t die Beanspruchung im tiefsten Punkte. Die tatsächlich maximale Zugbeanspruchung findet faktisch nicht am tiefsten Punkt, sondern am Aufhängepunkt statt, ist also etwas grösser als s_0 bezw. s_t. Die Theorie lehrt, dass sie gleich $s_t + \gamma f$ ist. Der Unterschied ist aber gering. Für den sehr extrem gewählten Fall einer Spannweite von 200 m bei der hohen Temperatur von 20° C, wobei z. B. für Al-Leiter, gespannt nach der Tabelle 6, der Durchhang 520 cm und $s_t = 273$ kg/cm² beträgt, ergibt sich die Spannung am Aufhängepunkt zu $273 + 0{,}00284 \times 520 = 274{,}5$ kg/cm²; der Zuschlag beträgt also selbst in diesem ungünstigen Falle nur 5,4 ‰. Es darf daher zur Vereinfachung der Rechnung für die praktischen Fälle s_t in der Formel (1) als Wert der maximalen Zugbeanspruchung angenommen werden, wenn auch für sehr grosse Spannweiten eine Nachrechnung bei Zusatzlast empfehlenswert ist.

Diese Gleichung (1) liefert in erster Linie für die maximal zulässige Zugbeanspruchung (z. B. nach Schweizer Vorschrift bei niedrigster Temperatur) den Durchhang, und sodann, nachdem für eine andere Temperatur s_t errechnet ist, den zugehörigen veränderten Durchhang. Für die zur Berechnung der Veränderung der Zugbeanspruchung notwendige Kenntnis der Aenderung der Drahtlänge findet sich zunächst als Ausdruck für die Bogenlänge überhaupt:

$$b_t = l + \frac{8}{3}\frac{f_t^2}{l} \tag{2}$$

Erhöhung der Temperatur dehnt den Leiter entsprechend dem Wärmeausdehnungskoeffizienten α, vergrössert damit b_t und f_t; da aber dadurch auch die Zugspannung im Drahte sich ändert, bewirkt die Elastizität des Materials hieraus eine zweite, vom Elastizitätsmodul abhängige Veränderung der Länge, die im umgekehrten Sinne wirkt, sodass die wahre Veränderung der Bogenlänge bekanntlich nur mit Berücksichtigung beider Einflüsse berechnet werden kann, nach der aus der Theorie resultierenden Formel:

$$b_t - b_0 = (t - t_0)\, \alpha\, b_0 - (s_0 - s_t)\frac{b_0}{E} \tag{3}$$

Die Rechnungen nach dieser Formel erfordern recht viel Arbeit. Man sucht daher nach vereinfachten Methoden zu rechnen.

Eine bekannte *Annäherungsformel* liefert die ungefähre Annahme, dass die Aenderung der Bogenlänge $b_t - b_0$ gegenüber den beiden Einzeländerungen, deren Differenz sie bildet, vernachlässigbar sei (also im Grunde genommen die beiden entgegengesetzten Aenderungen einander gleichzusetzen seien), sodass nach (3) nun folgt:

$$s_t = \sim s_0 - (t - t_0)\, \alpha\, E \tag{4*}$$

Diese ziemlich häufig (z. B. auch in den ersten Schriften der Al-Lieferanten) angewandte Näherungsformel liefert ohne weiteres in einfachster Rechnung für eine neue Temperatur t die neue Zugspannung. Die Bogenlänge ist dabei ausgefallen, die Aenderung der Beanspruchung scheint von der Spannweite unabhängig. Das liegt an der gemachten Vernachlässigung.

Rechnet man *genau,* indem man in der Gleichung (3) die Bogenlängendifferenz gemäss (2) ausdrückt und für die f die Werte aus (1) einsetzt, wobei man immerhin in den Gliedern auf der rechten Seite von (3) das b_0 durch l ersetzt, was auf das Resultat in den praktischen Fällen keinen merklichen Einfluss ausübt, so ergibt sich:

$$s_t = s_0 - (t - t_0)\, \alpha\, E + \frac{l^2 \gamma^2}{24} E \left(\frac{1}{s_t^2} - \frac{1}{s_0^2}\right) \tag{4}$$

Der Vergleich dieser Formel (4), die als genau angesehen werden darf, zeigt, dass die Annäherung nach (4)*, ausgehend von einer Maximalbeanspruchung s_0 bei niedriger Temperatur, bei höheren Temperaturen etwas kleinere Beanspruchungen zeigt, als sie wirklich vorkommen. Ja die Beanspruchung wird nach der Natur der Formel bei einer gewissen Temperatur scheinbar zu Null! Mit dieser Annäherung dürfte daher unter allen Umständen nur für ganz kleine Temperaturdifferenzen gerechnet werden.

Den z. T. ganz fatalen fälschenden Einfluss der Annäherungsformeln zeigen die folgenden Vergleichszahlen: Für ein Aluminiumseil, das bei —20° so gespannt ist, dass 5fache Sicherheit gegen Bruch besteht (ohne zusätzliche Beanspruchung), das also dann 1800 : 5 = 360 kg/cm² Zugspannung hat, ergibt die Rechnung

	für eine Spannweite von 30 m				für eine Spannweite von 60 m			
bei einer Temperatur von	— 20°	0°	+ 10°	+ 20°	— 20°	0°	+ 10°	+ 20°
bei Berechnung nach:	eine Zugspannung von kg/cm²							
Näherungsformel (4)* .	360	112	∽ 0	negativ	360	112	∽ 0	negativ
Genauer Formel (4) . .	360	162	111	85	360	210	168	141
	einen Durchhang von cm							
Näherungsformel (4)* .	8,9	28,5	theoretisch unendlich gross		35,5	114,0	theoretisch unendlich gross	
Genauer Formel (4) . .	8,9	19,7	28,8	37,6	35,5	40,8	76,1	90,6

Die Annäherung nach (4)*, bei welcher der Einfluss der Spannweite ausgeschaltet ist, zeigt demnach, wenn sie für Berechnung der Zugkräfte benützt wird, geringere Beanspruchungen als sie wirklich vorkommen, sodass die daraus berechneten Durchhänge grösser als notwendig ausfallen, d. h. eine grössere als die verlangte Sicherheit in sich bergen, z. T. in einem technisch ungünstigen, unwirtschaftlichen Grade.

Richtigerweise wird man daher besser überall mit der genauen Formel (4) rechnen, die allerdings für die Unbekannte s_t vom dritten Grade ist und daher viel Rechnungsarbeit erfordert.

Die Tabelle 6 der Durchhänge auf Seite 130 ist in dieser genauen Weise berechnet. Es folge hier noch eine Ergänzung derselben für grössere Spannweiten:

Tabelle 6.

Durchhang von Al-Seilen, die 5fache Sicherheit gegen Bruch aufweisen.

Spannweite in m	bei minus 20° C						bei minus 30° C					
	60	80	100	120	160	200	60	80	100	120	160	200
bei Temper. von												
— 30°	—	—	—	—	—	—	35	63	99	142	252	394
— 20°	35	63	99	142	252	394	41	97	140	190	310	428
0°	41	97	140	190	310	428	76	115	161	214	238	490
+ 10°	76	115	161	214	238	490	91	133	181	236	265	520
+ 20°	91	133	181	236	265	520	105	149	200	258	390	549
+ 30°	105	149	200	258	390	549	117	169	219	279	413	577

Die Vergrösserung der Länge der Leitung durch den Durchhang wird den Praktiker noch interessieren. Sie ist unbedeutend. Der Unterschied zwischen der Bogenlänge und der Sehnenlänge ist aus

$$b_t = l + \frac{8}{3}\frac{f_t^2}{l}$$

gegeben, oder der *Zuschlag zur Spannweite*, der zur wirklichen Leiterlänge führt, ist

$$\beta\,(^0/_{00}) = 0{,}2665\left(\frac{f_t^{(cm)}}{l^{(m)}}\right)^2$$

Dieser Zuschlag beträgt z. B. für den sehr extremen Fall von 200 m Spannweite und 20° Montage-Temperatur bei Montierung nach der vorstehenden Tabelle für Al 1,8‰ oder 36 cm auf die 200 m, für den Normalfall der Holzstangenleitung mit 50 m Spann-

weite und 20° Temperatur 0,54 ‰ (2,7 cm auf die 50 m). Da diese Beträge weit innert der Grenzen der Genauigkeit der Kenntnis der Länge einer zu erstellenden Leitung liegen, kann von einer genauern Berechnung derselben für die Praxis Umgang genommen werden.

Auf das Resultat der Errechnung von Zugbeanspruchungen und Durchhängen hat ausser dem spezifischen Gewicht γ und dem Wärmeausdehnungskoeffizient α, die als sehr sicher gemäss Tabelle 2 bestimmte Werte gelten dürfen, noch der *Elastizitätsmodul* Einfluss. Die Angaben über diesen weichen voneinander ab. Der Grund der Unsicherheit liegt darin, dass über den Zusammenhang zwischen dem totalen Elastizitätmodul eines Seiles und demjenigen des Einzeldrahts keine sichern Versuchsresultate vorliegen. So rechnen die Tabellen des V. D. E. mit dem Werte E = 7150 kg/mm², der früher für massive Drähte bestimmt wurde. Nach neueren Angaben scheint der wahre Wert nicht so hoch zu sein, und die Al-Industriegesellschaft gibt für Seile heute den Wert 5400 kg/mm² an, mit dem wir rechneten. Hält man diese Angabe nicht für sicher genug erwiesen, so muss der Einfluss einer Aenderung von E auf die errechneten Resultate bestimmt werden. Es ist aus der Formel (4) unter Berücksichtigung der Grössenverhältnisse der Glieder zu erkennen, dass bei Ausgang von bestimmter Beanspruchung bei Minimaltemperatur der errechnete Wert der Zugspannung bei höherer Temperatur um so kleiner und der daraus berechnete Durchhang um so grösser wird, je grösser E angenommen wird. Den zahlenmässigen Einfluss zeigt folgende Zusammenstellung.

Für eine Al-Leitung von 50 m Spannweite, gespannt mit 5facher Sicherheit bei — 20° C, ergeben sich je nach Annahme des Elastizitätsmoduls

Tabelle 7.

bei einer Temperatur in C von	— 20°	0°	+ 10°	+ 20°	— 20°	0°	+ 10°	+ 20°
Bei Zugrundelegung eines Wertes von	Spezifische Zugspannung kg/cm²				Durchhang cm			
E = 5000 kg/mm²	360	202	156	127	24,7	43,9	56,8	69,8
5400 „	360	196	151	124	24,7	45,3	58,8	71,6
7150 „	360	162	148	115	24,7	54,8	60,0	77,6

Für die hier angenommenen grossen Unterschiede für E treten also immerhin beträchtliche Differenzen der errechneten Durchhänge auf, und zwar in dem Sinne, dass eine Leitung, montiert nach einer Montagetabelle unter Annahme eines zu kleinen E, kleinern Durchhang hätte, bei niedrigeren Temperaturen grössere Zugspannungen aufweisen würde als man sie zulassen wollte. Damit entsteht die Frage, in welchem Masse die Sicherheit gegen Bruch dadurch beeinträchtigt würde. Unsere Rechnungen haben bezüglich der Sicherheiten, welche Al-Leitungen bei tiefster Temperatur noch hätten, falls sie nach unserer Montage-Tabelle 6 montiert sind, wenn der Elastizitätsmodul nicht 5400 kg/mm² betrüge, sondern höher wäre, ergeben was folgt:

Die Sicherheit gegen Bruch bei — 20°C betrüge

wenn E in kg/mm² beträgt:		5400	6000	7000
bei Spannweiten von m	30	5,0	4,6	4,0
	40	5,0	4,6	4,2
	50	5,0	4,7	4,3

Die Zahlen zeigen, dass der Einfluss von erhöhtem E um so kleiner ist, je grösser die Spannweite, und dass, da der wahrscheinliche Wert für Seile doch nicht viel von 5400 abweichen wird, unsere Tabelle 6 genügende Gewähr für betriebssichere Aufhängung von Al-Seilen bietet.

Es folgt dies auch aus der Gegenüberstellung mit den *Montage-Tabellen des V. D. E.* Wir stellen zum Vergleich hier einige der zugelassenen Durchhang-Zahlen des V. D. E. neben diejenigen der von uns, auf Grund der Schweizer Vorschriften mit Annahme einer Minimaltemperatur von — 20° aufgestellten Werte:

Tabelle 8.

Durchhang f von Al-Seilen in cm und spezifische Zugspannung s in kg/mm²

bei einer Spannweite von m	40		60		80	
nach den Montagevorschriften:	f	s	f	s	f	s
vorliegenden Aufsatzes bei 0° für alle Querschnitte	32	1,8	41	2,1	97	2,3
des V. D. E. ebenfalls bei 0° für 25 mm² Querschnitt	30	1,9	115	1,1	235	0,9
für 240 „ „	14	3,7	31	4,0	53	4,2
vorliegenden Aufsatzes bei + 20° für alle Quersch.	54	1,0	91	1,4	133	1,7
des V. D. E. ebenfalls bei + 20° für 25 mm² Quersch.	52	1,0	140	0,9	257	0,9
für 240 „ „	32	1,7	60	2,1	80	2,5

Aus diesen Zahlen ist ersichtlich, dass der V. D. E. die Al-Leitungen bei grösseren Querschnitten mehr beansprucht als wir auf Grund der Schweizer Vorschriften einzuhalten haben, obwohl er mit E = 7150 rechnete. Der grosse Unterschied rührt einerseits davon her, dass der V. D. E. mit einer grössern maximalen Beanspruchung, nämlich von 7 kg/mm² als zulässig rechnet, gegenüber 18 : 5 = 3,6 kg/mm² nach bundesrätlicher Vorschrift, anderseits aber auch von abweichenden

Grundlagen der Vorschriften für die Sicherheit. Die Auffassungen über diesen Punkt weichen sehr von einander ab und dies führte zu sehr verschiedenen Vorschriften in den einzelnen Ländern. Dies ist namentlich mit Bezug auf die *Einschätzung der möglichen Zusatzbelastung* durch Schnee, Eis und Wind der Fall. Der für die Vorschriften für Freileitungen jeglicher Art sehr bedeutende Einfluss dieser Anschauungen sei daher hier, mit besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse beim Aluminium, noch erörtert.

Die schweizerischen Vorschriften nehmen, wie bereits erwähnt, angesichts der Unsicherheit über die vorkommende zufällige Beanspruchung, keine bestimmte solche an, sondern schreiben einfach für die niedrigste Temperatur eine sehr hohe — 5fache — Sicherheit gegen Bruch für den Draht *ohne* Zufallslast vor. Dadurch werden die rechnerischen spezifischen Zugbeanspruchungen und die einzustellenden Durchhänge unabhängig vom Drahtquerschnitt.

Die deutschen Vorschriften des V. D. E. legen sowohl den Fall niedrigster Temperatur *ohne* Zusatzbeanspruchung als einen solchen *mit* letzterer, kombiniert aus Schneebelastung und Winddruck denkbar, bei — 5° Celsius zu Grunde, mit einer Sicherheit von za. 2,6 gegen Bruch. Diese Zusatzlast *wächst* nach der Formel:

$$\text{Zusatzlast in gr pro laufenden m} = 190 + 50\, d^{(mm)}$$

mit dem Durchmesser des Leiters.

Diese Zusatzlast soll der Leiter bei — 5° C mit der höchstzulässigen Beanspruchung von 7 kg/mm² tragen entsprechend einer Sicherheit gegen Bruch von rund 2,6. Diese Art der Annahme hat zur Folge, dass die absolute Zugspannung in diesem belasteten Zustande nicht mehr dem Drahtquerschnitt proportional ist und daher der einzuhaltende Durchhang nicht nur mit Temperatur und Spannweite variiert, sondern auch *für jeden Querschnitt* sich eine *besondere* Montagetabelle ergibt.

Die angenommene Form der Zusatzlast — proportional dem Durchmesser — ist nur für Winddruck zutreffend, für die oft weit mehr ausmachende Belastung durch „Schneewalzen" nach den Erfahrungen bei uns aber *durchaus nicht.* Ebensowenig zutreffend scheint uns der in den österreichischen „Sicherheitsvorschriften für Elektrische Starkstromanlagen" empfohlene, für grössere Querschnitte, besonders bei Al hohe Werte ergebende Ansatz: Zusatzlast = 15 gr/mm² Drahtquerschnitt und laufenden m. Langjährige Erfahrungen in Jura und Alpen zeigen, dass an dünnen Drähten sich ebensodicke Schneewalzen ansetzen wie an dicken. Besonders unsere Telegraphendirektion weiss da von ihren, gegenüber Starkstromleitungen recht dünnen Drähten in den Bergen sehr viel, zunächst fast unglaublich klingendes zu erzählen. Der Autor dieser Zeilen neigt daher, wie auch nach seinen Erfahrungen, der Ansicht zu, dass die Zufallslast aus Schnee *unabhängig vom Drahtdurchmesser* sei.

Eine derartige Annahme führt allerdings auch nicht zur Unabhängigkeit des Durchhangs vom Querschnitt, sie stellt aber die wahren Verhältnisse richtiger dar. Die rechnerische Behandlung aller derartigen Zusatzbeanspruchungen lässt sich auf eine einfache Form zurückführen:

Ist q_1 der Querschnitt und p_1 das Gewicht pro Längeneinheit des Leiters, p_2 das der Schneewalze, während q_2 den Querschnitt der letztern mit Inbegriff des Leiters bedeute, so ist nach der bekannten Formel [siehe (2)] die Zugspannung im Draht:

$$P = \frac{(p_1 + p_2)\, l^2}{8\, f}$$

und die spezifische Zugspannung

$$s = \left(\frac{p_1 + p_2}{q_1}\right) \frac{l^2}{8\, f}$$

Sind nun γ_1 und γ_2 die spezifischen Gewichte des Leiters bzw. des Schnees, so kann $p_1 = \gamma_1\, q_1$ und $p_2 = \gamma_2\,(q_2 - q_1)$ gesetzt werden, also

$$s = \left(\gamma_1 + \gamma_2 \frac{q_2 - q_1}{q_1}\right) \frac{l^2}{8\, f}$$

Hierin kann man $\gamma_r = \gamma_1 + \gamma_2 \frac{q_2 - q_1}{q_1}$ als das „scheinbare resultierende spezifische Gewicht" bezeichnen und es schreibt sich damit

$$s_t = s_0 - \alpha\, E\,(t - t_0) + \frac{l^2\, \gamma_r^2}{24\, s_t^2} \cdot E - \frac{l^2\, \gamma_1^2}{24 s_0^2} \cdot E$$

woraus man, ausgehend von einem Zustand s_0, t_0 *ohne* Zusatzlast, die Spannung s_t bei Zusatzlast und veränderter Temperatur berechnen kann. Wie man sieht, kommt es dabei nur auf den Wert γ_r gegenüber γ_1 an, und der Einfluss ist für alle Zusatzbelastungen, die dasselbe γ_r ergeben, der gleiche. (Zur bequemen Bestimmung der verschiedensten Fälle können mit Vorteil Kurven dienen, welche γ als Funktion der Querschnitte darstellen.) Auch der Winddruck lässt sich in analoger Weise berücksichtigen.

Das gemeinschaftliche aller dieser Ansätze für die Zufallslast ist das, dass letztere offenbar *spezifisch* um so mehr belasten, ein je kleinerer Metallquerschnitt sie zu tragen hat. (Das ist auch nach der deutschen V. D. E.-Formel der Fall, weil die Zusatzlast nicht mit dem *Querschnitt*, sondern nur mit dem *Durchmesser* des Drahts sich vermindert.) In der vorangehenden Betrachtung drückt sich dies dadurch aus, dass der Wert von γ_r (und damit s) *um so grösser wird, je kleiner (bei gleichbleibenden Materialien)* q_1 *gegenüber* q_2 *wird.*

Nimmt man daher eine *bestimmte Spannweite* an, bei der *ohne* Zusatzlast bei bestimmter, z. B. Schneefall-Temperatur noch eine bestimmte Sicherheit gegen Bruch vorhanden ist, für alle Querschnitte des Metalls, und denkt sich nun eine „Schneewalze" bestimmten Durchmesser hinzu, so wird *die Sicherheit gegen Bruch nun um so mehr vermindert sein, je kleiner der tragende Metallquerschnitt ist,* und es wird einen kleinen Querschnitt geben, bei dem die Streckgrenze überschritten wird, und einen noch kleinern, der eben zum reissen kommt. (Grundsätzlich dasselbe trifft auch zu, wenn der Durchmesser der Schneewalze mit dem *Durchmesser* des Metalls linear abnimmt.)

Anders betrachtet: Geht man von unseren Bundesvorschriften aus, die bei niedrigster Temperatur für alle Spannweiten gleiche Sicherheit ohne Zufallslast verlangen, so ergeben sich ebenso für *höhere* Temperaturen dabei um so höhere spezifische Zugspannungen, je *grösser die Spannweiten* sind. Tritt nun die weitere Verminderung der Sicherheit ein, welche eine Zufallslast bringt, so ist zu erwarten, *dass die Gefahr der Ueberschreitung der zulässigen Beanspruchung durch Zufallslast beim gleichen Leiterquerschnitt um so grösser ist, je grösser die Spannweite.*

Es bleibt zu untersuchen, ob bei vorkommenden Zufallslasten durch Schnee oder Eis (und eventuell Winddruck dazu) und den dadurch auftretenden Zugspannungen diejenigen Al-Querschnitte, die dadurch bei bestimmter Spannweite zur Ueberschreitung der zulässigen Beanspruchung, d. h. über die Streckgrenze oder bis zum Bruch beansprucht werden, allenfalls noch grösser als die bisher vorgesehenen Minimalquerschnitte seien, oder ob, wenn man die letzteren ins Auge fasst, deren Streckung oder Bruch unter Zufallslast schon bei gebräuchlichen Spannweiten eintrete.

Das Resultat dieser Untersuchung hängt von den Annahmen über die Zusatzlast ab. Wir verzichten auf Angabe von Resultaten nach den österreichischen Ansätzen oder denen des V. D. E., da diese sich zweifellos zu weit von der Wirklichkeit entfernen. (Die Vorschriften des V. D. E. ergeben übrigens geringere Beanspruchungen als die nachstehenden Annahmen).

Das Starkstrominspektorat des S. E. V. hat gelegentlich, unseres Wissens nach Angabe und Erfahrungen der Schweiz. Telegraphenverwaltung, mit Zusatzlast einer Schneewalze von 8 cm Dicke und 0,16 spez. Gewicht, auftretend bei 0°, ohne Wind, als äusserste Beanspruchung gerechnet. In nachstehender Tabelle sind die Ergebnisse für diesen Zustand zusammengestellt:

Tabelle 9.

Spez. Zugspannung s in kg/mm² und Sicherheiten σ gegen Bruch für Al-Seile, *gespannt nach Bundesvorschrift (5fache Sicherheit bei — 20°) bei Belastung mit einer Schneewalze von 8 cm Durchmesser und* $\gamma_2 = 0{,}16$ *bei 0° C.*

Bei der Spannweite m		30		40		50		80		120		160		200		220	
Querschnitt in mm² (aequiv. Cu)	Al	s	σ	s	σ	s	σ	s	σ	s	σ	s	σ	s	σ	s	σ
(50)	82,4	3,5	5,1	4,0	4,5	4,6	3,9	6,0	3,0	7,5	2,4	8,7	2,1	9,6	1,9	10,0	1,8
(30)	50,0	4,5	4,0	5,3	3,4	6,1	3,0	8,1	2,2	10,3	1,7	12,0	1,5	13,5	1,3	14,1	1,3
(20)	32,9	5,6	3,2	6,7	2,7	7,1	2,5	10,2	1,8	13,0	1,4	15,4	1,2	17,3	1,0	**18,2**	< 1
(12)	22,0	7,1	2,5	8,5	2,1	9,7	1,9	13,1	1,4	16,7	1,1	**19,8**	< 1				
(7)	12,5	10,0	1,8	12,0	1,5	13,8	1,3	**18,6**	< 1								

Analoge Werte für Kupferleiter: *Tabelle 10.*

Bei der Spannweite m		30		40		50		80		120		160		200		220	
Querschnitt in mm² (aequiv. Al)	Cu	s	σ	s	σ	s	σ	s	σ	s	σ	s	σ	s	σ	s	σ
(82,4)	50	6,7	4,0	7,5	3,6	8,5	3,2	10,6	2,5	12,2	2,2	13,1	2,1	13,7	2,0	13,9	1,9
(50,0)	30	8,3	3,4	9,6	2,9	10,7	2,6	13,8	2.0	16,0	1,7	17,6	1,6	18,6	1,5	19,0	1,4
(32,9)	20	10,4	2,8	12,1	2,4	13,7	2,1	17,8	1,6	21,3	1,4	23,5	1,2	**25,1**	< 1		
(22,0)	12	13,9	2,2	16,5	1,8	18,5	1,8	24,4	1,2	**29,6**	< 1						
(12,5)	7	19,3	1,7	23,1	1,4	26,3	1,2	**34,8**	< 1								

Es wurden nun freilich ausnahmsweise noch stärkere Schneebelastungen beobachtet. Konstatiert wurden z. B. *) Schneewalzen von 13 cm Durchmesser mit 0,17 spez. Gewicht. Rechnen wir mit solchen, so ergibt sich, dass das Al von 22 mm² bei den für Holzgestänge noch zugelassenen 50 m Spannweite zum Reissen kommt, das 12 mm²-Seil schon bei etwas über 25 m Spannweite. Für die vorgeschriebenen Cu-Minimaldrähte von 4 bezw. 3 mm tritt aber das Reissen auch ungefähr unter denselben Bedingungen ein. Auch Schneewulste von 20 cm Durchmesser sind schon beobachtet worden, deren spez. Gewicht aber jedenfalls weit kleiner ist. Es sind uns Bestimmungen desselben nicht bekannt, ebensowenig solche von Durchmessern eigentlicher Eiswalzen, die höheres spezifisches Gewicht haben aber nur in geringen Dicken zu „Glatteiszeiten" auftreten. Wir dürfen uns wohl füglich, abgesehen von ganz seltenen Fällen, mit den vorstehend rechnerisch ermittelten Fällen als äussersten Annahmen begnügen

Aus der Zusammenstellung geht hervor, dass bei den Zufallslasten durch Schnee und dgl., mit denen wir, abgesehen von ganz aussergewöhnlichen Fällen, bei uns zu rechnen haben, für Spannweiten bis zu den für Holzgestänge zugelassenen 50 m, Al-Draht von 12 mm² noch nicht über die Streckgrenze hinaus beansprucht wird und erst in Spannweiten von etwa 80 m reisst, und dass für den Minimaldraht von 22 mm² Al dieselben Verhältnisse bei etwa 90 bezw. 150 m Spannweite eintreten, während Al-Querschnitte von 50 und mehr mm² dabei auch in den grössten, etwa bei Eisenmasten gebräuchlichen Spannweiten noch nicht überanstrengt werden -- alles bei Spannen nach den in Tabelle 6 angegebenen Montagemaassen entsprechend den Bundesvorschriften.

Bemerkenswert ist nun aber auch der *Vergleich zwischen der Sicherheit von Al und von Cu,* der sich aus den obenstehenden Tabellen ergibt: Er zeigt, dass die *Sicherheit auch bei Zufallslast* bei demjenigen Al-Leiter, der einem Cu-Draht elektrisch aequivalent ist, *gar nicht geringer ist als beim Cu-Leiter,* sondern wesentlich gleich, eher etwas grösser. *Geringer* ist die Sicherheit beim Al nur, wenn man *denselben absoluten Querschnitt* von Cu zum Vergleich heranzieht. Darauf scheinen sich die bisher überall geäusserten Angaben zu gründen, das Al sei für Zufallslast weniger sicher. Bei andern gebräuchlichen Annahmen über Zusatzbeanspruchung ergeben sich ähnliche Resultate.

Unsere Berechnungen ergeben die weitere Tatsache, dass *bei den vorkommenden zusätzlichen Beanspruchungen die Al-Seile,* gespannt entsprechend Bundesvorschriften, *durchaus nicht geringere, sondern dieselbe, z. T. um weniges grössere Sicherheit gegen Bruch bieten als die ebenso behandelten Cu-Drähte.* Es dürfte damit ein weiteres Bedenken gegen Al statt Cu für Freileitungen dahinfallen.

Zu den Montage-Vorschriften.

Mit Rücksicht auf die beim Al etwas erhöhte Möglichkeit des Durchschmelzens von Leitungen durch Lichtbogen ist zu empfehlen, auf *genügende Entfernung von Baumästen,* namentlich bei Hochspannungsleitungen, besonders sorgfältig zu sehen.

Verbindungen.

Bei den Verbindungen aus Flachrohr wird zweckmässig *vor* dem Verdrillen zwischen den beiden Leitern eine Längsrille gedrückt oder mit Holzkeil geschlagen, um die Röhre

*) *F. Köstler,* Burgdorf.

auch dort gut anliegend zu machen. Das Verdrillen soll in der Richtung des Seildralls geschehen.

Festigkeitsproben solcher Verbindungen an verschiedenen Querschnitten, vorgenommen in der Techn. Hochschule Darmstadt, haben Zerreissfestigkeiten derselben zwischen 85 und 97 % derjenigen des Leiters selbst ergeben, gegenüber 85 % welche z. B. die Normen des V. D. E. fordern. Den elektrischen Widerstand solcher Verbindungen hat *Sengel* in Darmstadt im ungespannten Zustand als ganz unwesentlich grösser, in gespanntem Zustand des Leiters stets kleiner als denjenigen eines Leiterstücks gleicher Länge gefunden.

Abzweigungen.

Die beschriebenen Flachrohrverbindungen mit Nietung, die übrigens auch statt genietet mit Mutterschrauben gepresst werden können, werden für Abzweigungen *zweiteilig* geliefert, damit sie nachträglich auf die Hauptleitung aufgelegt werden können. Sogenannte „Schellenklemmen" aus drei Al-Platten mit senkrecht zu einander stehenden Rillen für die Hauptleitung und die rechtwinklige Abzweigung, mit vier starken Mutterschrauben an den Ecken zusammengezogen, werden ebenfalls verwendet.

Befestigung an den Isolatoren.

Das Blech zum Umwickeln der Seile gegen Durchscheuern ist am besten Hart-Al in ca. 10 mm breiten Streifen von ca. 1 mm Dicke, spiralig aufgewunden. Für die Herstellung des Bügels oder „Bögli" beim Bügel- oder „Bögli"-Bund wird vorteilhaft Al-Draht von ovalem Querschnitt, je nach der Leiterstärke von 4 bis 10 mm Dicke und 8 bis 18 mm Breite verwendet.

Als ein sehr gut „beweglicher", nachgiebiger Bund, der zum Ausgleich verschiedener Beanspruchungen z. B. bei ungleichen Spannweiten günstig sein mag, wird ein besonderer „Seilbund" empfohlen: Ein Stück Leitungsseil wird rund um den Isolator geschlungen und die Enden beiderseits eine angemessene Länge in Richtung der Leitung vorstehen gelassen, unter aufbiegen kurzer Enden. Der Leiter wird dann mit Bindedraht an diese parallel verlaufenden Enden auf der ganzen Länge der letztern gebunden.

Verbindungen zwischen Al und Cu.

Eine praktische, durch einfache Verschraubung fertig montierbare Verbindung ist auf dem Markt *), bei welcher der Al-Leiter zwischen Al-Klötze, der Cu-Leiter zwischen Kupferklötze gepresst wird, und beide, senkrecht übereinander angeordneten Klemmstücke eine gut eingepasste Berührungsfläche zwischen Al und Cu besitzen, die von oben durch eine Kappe aus wettersicherem Isoliermaterial geschützt ist, während das ganze mit einer kräftigen Schraube zusammengezogen wird.

*) Konstruktion der Süddeutschen Kabelwerke in Frankfurt, mit Kappe aus „Tenacit".

Zusammenstellung bemerkenswerter bestehender Aluminium-Freileitungen.

Eigentümer und Ort der Anlage	Betriebs-spannung	Leiter-konstruktion und Querschnitt	Totale Länge der Strecken za. km	Totales Gewicht za. t	Jahr der Erstellung
Nordamerika:					
Hydro Electric Power Commission of Ontario, Canada	100 000 V	7dräht. Seil: 85 u. 107 mm²	107 + 1330	160	
Niagara Falls Power Co. . .	22 000 V	37dräht. Seil: 250 mm²	35	132	1901—1904
Shawinigan Falls Water Co. Canada	50 000 V	Seil: 50÷230 mm²	136	250	1903
Niagara Lockport. & Ontario Power Co, Buffalo . . .	30 000 V 60 000 V		3200		
Electric Power House, San Francisco	60 000 V	Seil: 37×2,9 mm ∅	248	320	
Colgate-Oakland, Californien	40 000 V	7dräht. Seil	230	200	
Edison Electric Ill. Co, Boston	7 000 V	Kabel: 37 mm²	40	133	
Norwegen:					
Kraftanlage am Rjukanfos	10 600 V	Seil: 150 u. 300 mm²	5	165	1910
Frankreich:					
Entreprise Electrique Vallée du Rhône	13 000 V 60 000 V		400 100		
Soc. du Sud Electr., Avignon	13 500 V		117		
EntrepriseElectriqueDauphiné Centre	60 000 V				
Deutschland:					
Landeshauptstadt der Provinz Pommern, Stettin		Seil: 7×2,2 mm ∅ 19×2,2 mm ∅	3000	300	
Städt. Elektrizitätswerk Trier		Seil: 19×2,0 mm ∅	300	100	
Ruhrtalsperren-Gesellschaft, Düren (Motor A.-G. Baden)		Seil: 19×1,5 mm ∅ 7×2 mm ∅	300	30	
Schweiz:					
Rhätische Elektrizitätswerke .	8 000 V	Seil: 85 mm²			1910
Aluminium Industrie A.-G. Neuhausen (Chippis) . .	9 000 V 40 000 V	Seil: 105 mm²	12	21	1913/14
Elektrizitätswerk der Stadt Aarau	4 300 V	Seil: 170 mm²	2,5	6	1914
Elektrizitätswerke des Kantons Zürich	40 000 V	Seil: 85 mm²	5,3	4	1914
Elektrizitätswerke Olten-Aarburg (Niedergösgen-Waldshut)	45 000 V	Seil: 170 mm²	36	52	1916