

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 25 (1934)
Heft: 4

Artikel: Einige Betriebserfahrungen mit Aldrey-Leitungen
Autor: Thomas, Maurice
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060135>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 03.04.2025

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

bleiben, wobei sie allen Unbilden der Witterung ausgesetzt sind.

Wir hoffen, dass diese Ausführungen gezeigt haben, dass die verdienstvollen Forschungen über die

Blitzschläge und ihre Folgen schon heute erlauben, uns ein Gesamtbild des Verhaltens von Niederspannungsnetzen zu machen, welches zum mindesten qualitativ der Wirklichkeit nahe kommen dürfte.

Einige Betriebserfahrungen mit Aldrey-Leitungen¹⁾.

Von Maurice Thomas, Zürich.

621.315.53 : 621.315.55 : 621.315.1

Mit der Entwicklung der Hoch- und Höchstspannungsleitungen hat die Anwendung der Aluminiumlegierung «ALDREY» ständig zugenommen. Die bestehenden Aldreyleitungen wiesen am 21. Dezember 1932 eine Leiterlänge von rund 13 300 km mit einem Gesamtgewicht von 5100 t auf.

Der Verfasser berichtet über Betriebserfahrungen mit Aldreyleitungen in verschiedenen Ländern: Nur in Deutschland sind anfänglich Drahtbrüche vorgekommen, die auf Materialermüdung durch Schwingung infolge unrichtiger Wahl der Klemmen und auf Montagefehler zurückzuführen waren. Hierauf sind einige besondere Eigenschaften des Leitermaterials Aldrey erwähnt. Anhand von Rechenbeispielen werden unrichtige Ansichten über Aldrey widerlegt. U. a. wird die Neigung zum Zusammenschlagen von Leitern aus Leichtmetall im Wind und die Gefahr des Verbrennens der Leiter in Flammbögen behandelt.

Aldrey hat in den vergangenen 8 Jahren seine Brauchbarkeit bewiesen und steht heute als gleichwertiges, meist sogar überlegenes Leitermaterial neben allen bisher bekannten.

1. Einleitung.

Die Verwendung der Aluminiumlegierung «Aldrey» als Leiter von elektrischen Fernleitungen hat in den letzten Jahren ständig zugenommen. Tabelle I gibt die Mengen in Tonnen und Seillängen an, die in den verschiedenen Ländern zur Anwendung gelangt sind.

Aldrey-Leitungen am 21. Dezember 1932.

Tabelle I.

Land	Starkstromleitungen		Telephonleitungen	
	t	km	t	km
Italien	1 814,4	4 042	10,6	410,0
Schweiz	1 383,4	2 122	2,3	118,0
Spanien	1 089,2	3 393	2,3	90,0
Deutschland	556,2	1 893	—	—
Oesterreich	104,4	272	—	—
Frankreich	85,5	1 098	—	—
Andere Länder	60,6	435	—	—
Total	5 093,7	13 255	15,2	618,0

Aldreyseile sind hauptsächlich für Hochspannungsleitungen bis 220 kV angewendet worden. Tabelle II enthält die Angaben über Stranglängen der Leitungen in der Schweiz gegen Ende 1932 aus den verschiedenen gebräuchlichen Leitermaterialien, und zwar für Leitungen über 30 und über 125 kV. Während nur 9,9 % aller Leitungen über 30 kV aus Aldrey bestehen, ist in den Leitungen über 125 kV das Aldrey am meisten vertreten, nämlich mit 37,2 %. Leitungen für so hohe Spannungen werden erst in den letzten Jahren gebaut, woraus sich hier

L'emploi de l'alliage d'aluminium, appelé «Aldrey», s'est particulièrement développé du fait de la construction toujours plus fréquente de lignes à haute et très haute tension. Il existait au 21 décembre 1932 environ 13 300 km de conducteurs en Aldrey, représentant un poids de 5100 t. L'auteur cite les expériences faites sur les lignes en Aldrey dans divers pays: excepté au début de son emploi en Allemagne, cet alliage a donné complète satisfaction. Dans ce pays, les ruptures des fils à la suite d'oscillations des câbles doivent être attribuées à l'emploi d'armatures non appropriées et à des défauts de montage.

Il est fait ensuite mention de quelques propriétés spéciales de l'Aldrey; puis l'auteur réfute par le calcul des arguments souvent invoqués par les détracteurs de l'Aldrey, en particulier la tendance des câbles à se heurter par l'effet du vent et le danger de fusion par suite d'un arc électrique.

L'Aldrey a prouvé durant ces huit dernières années son utilité et il peut être considéré comme équivalent, quelquefois même supérieur aux autres matériaux connus actuellement.

die starke Anwendung von Aldrey erklärt. Dieses Leitermaterial hat teilweise auch in Kabeln oder als Einzeldrähte für Niederspannungs- und Telephonleitungen Anwendung gefunden.

Leitermaterial der Schweizer Leitungen über 30 und über 125 kV.

Tabelle II.

Leitermaterial	über 30 kV		125 kV u. mehr	
	Leitungslänge			
	km	%	km	%
Kupfer	4650	63,5	185	10,8
Bronze	35	0,5	—	—
Aluminium	935	12,8	410	24,0
Aldrey	720	9,9	635	37,2
Stahl-Aluminium	975	13,3	480	28,0
Total	7315	100	1710	100

2. Historisches.

Die ersten Leitungen zur Uebertragung von elektrischer Energie werden aus Kupfer hergestellt. Schon vor und hauptsächlich während des Weltkrieges, als das Kupfer teuer wurde, kamen Leiter aus Aluminium zur Anwendung. Die Erfahrungen damit waren nicht restlos gut, da man die besondern Eigenschaften dieses neuen Materials noch zu wenig kannte. Die begangenen Fehler wurden aber erkannt und überwunden. Nur hatte das verwendete Reinaluminium eine zu kleine Festigkeit. Leitungen daraus bekamen zu grosse Durchhänge und zu kleine Mastabstände. Deshalb war man bestrebt, durch die bekannten Stahl-Aluminiumseile diesen Uebelstand zu umgehen. Die Kombination Stahl-Aluminium stellt einen wesentlichen Fortschritt gegenüber Reinaluminiumseilen dar und hat sich im Leitungsbau sehr gut eingeführt. Auch gegen-

¹⁾ Uebersetzung eines Berichtes der «Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques à haute tension», Paris, 1933.

über Kupferseilen ermöglichen die Stahl-Aluminiumseile eine bedeutend wirtschaftlichere Bauweise.

Als weiteren Fortschritt ist die Aluminiumlegierung «Aldrey» anzusprechen, die bei einer Leitfähigkeit, die nur wenig niedriger ist als die von Reinaluminium, eine 1,75fache Zerreißfähigkeit aufweist. Praktisch hat ein Aldreyseil die gleiche Festigkeit wie ein widerstandsgleiches, normales Stahl-Aluminiumseil (Verhältnis Stahl — Aluminium = 1 : 6 oder 1 : 4,3). Da das Aldreyseil aber etwa 35 % leichter ist, ist ohne weiteres anzunehmen, dass die Masten der Leitung noch niedriger oder die Spannweite noch grösser gewählt werden kann, die Bauweise also noch wirtschaftlicher wird.

An der «Conférence internationale des Grands Réseaux» von 1927 hat Herr Prof. Dr. Wyssling einen Bericht über eine grosse Aldreyleitung der Schweizerischen Bundesbahnen vorgelegt. Seither sind noch viele Aldreyleitungen dem Betrieb übergeben und viele Erfahrungen mit diesem Material gesammelt worden. Hier soll über einige der interessantesten Leitungen und Erfahrungen berichtet werden.

3. Beispiele von Aldreyleitungen.

Die älteste Aldreyleitung ist diejenige von *Chippis nach Turttmann*. Sie wurde im Jahre 1925 montiert und stand seither anstandslos in Betrieb. 1932 wurde sie nachkontrolliert, wobei einige Seilstücke heruntergenommen und auf alle technischen Daten nachgeprüft wurden. Man fand, dass das Material

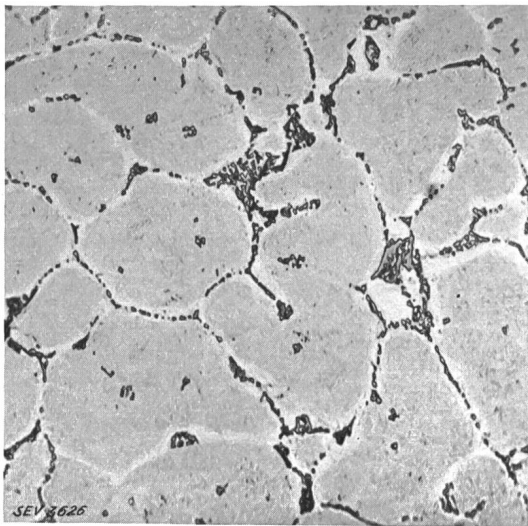


Fig. 1.

250fache Vergrößerung eines Schliffes von Aldrey, das während 15 Minuten auf 520° C gegläht, dann abgekühlt und dann während 4 Stunden auf 150° C angelassen wurde.

keinerlei Alterung erfahren hatte und die mechanischen und elektrischen Werte noch vollständig denjenigen vor 7 Jahren entsprachen. Dies war auch zu erwarten, denn Aldreydraht wird nach dem Ziehen künstlich gealtert, indem er während 4 Stunden einer Temperatur von 150° C ausgesetzt wird. Kupfer-

ferdraht z. B. wird im harten Zustand, wie er von den Ziehbanken kommt, zu Seilen verarbeitet.

Auch wurden bei der Kontrolle der Drähte unter dem Mikroskop keine Korrosionserscheinungen festgestellt. Trotzdem Aldrey als Legierung angesprochen werden muss, haben wir es doch mit einem

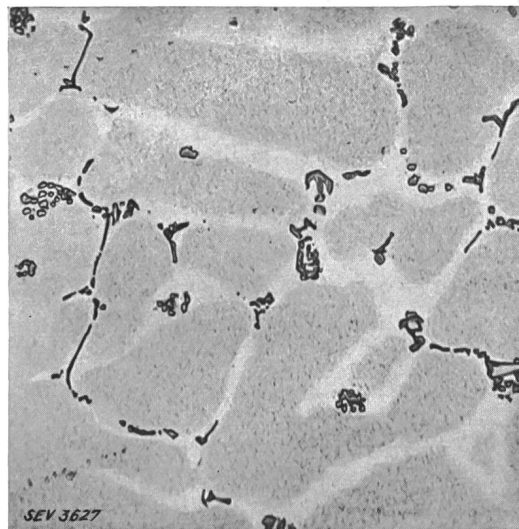


Fig. 2.

Wie Fig. 1, aber während 30 Minuten auf 520° C gegläht.

sehr reinen Aluminium von 98,7 % Reinheit zu tun, gebunden mit 0,3 % Eisen und in bestimmtem Verhältnis 1 % Silicium und Magnesium. Bei der thermischen Behandlung mit genauester Temperatur und Zeit wird erreicht, dass diese Bestandteile in den Aluminiumkristallen fest in Lösung gehen, also sich nicht als fremde Metalle zwischen die Kristalle legen. Wenn sie aber in Lösung sind, können sie nicht zu Korrosion Anlass geben. Deshalb ist Aldrey ebenso korrosionsfest wie das reinste Aluminium. Das beobachtete Resultat war also zu erwarten. Der hier beschriebene Vorgang des in-Lösunggehen der Zusätze in die Kristalle ist aus Fig. 1 und 2 gut ersichtlich.

Bei der Aldrey-Draht- und -Kabelfabrikation muss streng darauf geachtet werden, dass sie nie in Berührung mit Kupfer kommen, da durch Kupfersplitter Korrosionserscheinungen stattfinden könnten.

Die 132 kV-Bundesbahnleitung von *Vernayaz nach Rapperswil*, wovon bereits die Rede war, wurde nach 4 Betriebsjahren einer sehr strengen Kontrolle durch die Eidg. Materialprüfungsanstalt in Zürich unterworfen. An der Leitung entnommenen Kabelstücken wurde die Elastizitätsgrenze, die Streckgrenze, die Festigkeitsgrenze und die Dehnung kontrolliert. Die gefundenen Werte unterschieden sich fast nicht von denjenigen, die bei der Prüfung bei Anlass der Lieferung erhalten wurden und blieben alle in der Toleranzgrenze.

Eine weitere Aldreyleitung, deren nähere Betrachtung sich rechtfertigt, ist die *Leitung Bachgaden-Zürich* des Elektrizitätswerkes der Stadt Zü-

rich. Die Leitung hat Seile von 350 mm² Querschnitt und ist seit 5 Jahren in Betrieb. Im Jahre 1932 ist deren Garantiezeit abgelaufen und bei dieser Gelegenheit wurde die Leitung vom Besitzer genau untersucht. Besonders fürchtete man hier Brüche infolge Schwingungen. Deshalb wurden fast alle Tragklemmen abgenommen und die Seile besichtigt. Dabei wurde aber kein einziger Drahtbruch gefunden. Ueberhaupt wurden bis heute erst an einigen Aldreyleitungen Deutschlands Schwingungsbrüche konstatiert. Noch in keinem andern Land wurde auch nur ein Drahtbruch entdeckt. Die Leitungen Deutschlands, die Schwingungsbrüche zeigten, stellen nicht ganz 5 % aller Aldreyleitungen dar. Man hat festgestellt, dass bei richtiger Wahl der Klemme und richtiger Montage auch in Deutschland keine Drahtbrüche mehr vorkommen.

Die Leitung Bachgaden-Zürich ist auch deshalb besonders interessant, weil sie die im Jahresmittel stärksten beanspruchte Aldreyleitung aller Länder ist. Tabelle III enthält Angaben über einige Leitungen verschiedener Länder. Dabei sind einesteils die Berechnungsgrundlagen nach den Landesvorschriften angegeben und andernteils enthalten die Kolonnen rechts die errechneten Beanspruchungen bei dem gleichen gemeinsamen Zustand, nämlich bei 0° C ohne Zusatzlast, für verschiedene Spannweiten. Man sieht daraus, wie verschieden sich die Vorschriften auf die effektiven Beanspruchungen auswirken. Nur anhand dieser Zahlen kann man vergleichen, ob in den einzelnen Ländern dem Material mehr oder weniger zugetraut wird.

Unter den vielen Aldreyleitungen in der Schweiz wäre vielleicht noch die Leitung *Löntschi-Grynau* der Nordostschweizerischen Kraftwerke zu erwähnen, die einige grosse Spannweiten aufweist. Die normalen Mastdistanzen betragen 350 m und die grösste Spannweite 890 m bei 300 m Höhendifferenz.

In Italien ist die 220 kV-Leitung *Cardano-Cislago* der Società Idroelettrica Piemontese, die teilweise mit Aldreyleitungen von 360 mm² Querschnitt belegt ist, besonders hervorzuheben. Während bei Kupferleitern für diese hohe Spannung komplizierte Hohlseile angewendet werden müssten, sind hier Stahl-Aluminium- oder Aldrey-Vollseile noch bedeutend wirtschaftlicher. Nicht nur die Leiter selbst sind einfacher, sondern man spart auch an Masten, Klemmen, Isolatoren, Fundamenten und an Boden. Je nach der Konjunktur und den Vorschriften sind Aldrey-Vollseile auch für Spannungen bis 380 kV wirtschaftlich. Es existieren auch aus Aldrey sehr gute Hohlseilkonstruktionen.

Auch in Spanien hat Aldrey Eingang gefunden, und bis heute wurden keine Drahtbrüche auf den 3393 km in Betrieb befindlichen Leitungen, wovon einige seit Ende 1928 bestehen, festgestellt, trotzdem einige dieser Kabel anormal stark beansprucht wurden, und zwar infolge unrichtiger Klemmen und ausserordentlich starker Reifbildung.

4. Allgemeine Erfahrungen.

Man könnte noch viele Leitungen anführen und deren gutes Verhalten im Betrieb besprechen. Wir wollen hier lieber noch einige Schwierigkeiten und Bedenken erörtern, die im Leitungsbau, insbesondere bei Aldrey, eine Rolle spielen.

Schon im Abschnitt 3 ist erwähnt, dass in Deutschland, seitdem die *Klemmenfrage* gelöst ist, keine Ermüdungsbrüche mehr beobachtet worden sind. Theoretische und praktische Ueberlegungen führen dazu, die Tragklemmen möglichst leicht und beweglich auszuführen, damit sie den Schwingungen nur ein kleines Hindernis bieten. Neuerdings werden auch besondere Schutzvorrichtungen gegen Schwingungsschäden an Kupfer-, Stahl-Aluminium, Rein-Aluminium und Aldrey-Seilen auf den Markt gebracht. Bei Aldrey-Leitungen hat sich bis jetzt die einfache Umwicklung der Seile mit weichem Rein-Aluminium-Bund als hinreichender Schutz erwiesen. Schwingungsbrüche sind bis jetzt, wie schon erwähnt, nur an einigen Leitungen in Deutschland vorgekommen, die mit ungenügender Klemme und ohne Wickelband ausgerüstet waren.

Dieses Wickelband soll aus weichem Rein-Aluminium bestehen, etwa $\frac{1}{2}$ bis $\frac{2}{3}$ der Breite des Seildurchmessers haben und 1 bis 2 mm dick sein. Es ist sehr satt um das Seil zu wickeln und soll beidseitig etwa eine Windung über die Klemme vorstehen, damit man an der Leitung von unten kontrollieren kann, ob es richtig vorhanden ist und sich nicht verschoben hat. Will man das Wickelband weiter vorstehen lassen, so ist es durch einen Drahtbund oder eine leichte Klemme festzuhalten, damit es sich nicht aufwickeln kann und nicht lose auf dem Seil sitzt. Ein loser Gegenstand an einem Seil ist gefährlich, da er beim Schwingen des Seiles durch Scheuerwirkung das Seil verletzen kann.

Eine Eigenschaft der meisten Leitermaterialien, insbesondere aber des Aldrey, ist diejenige der *Festigkeitszunahme bei Abnahme der Temperatur*. Wenn ein Aldreydraht von +20° auf -60° C abgekühlt wird, nimmt seine Festigkeit um 10 % zu. Die Zunahme erfolgt proportional dem Temperaturrückgang. Dies ist günstig, denn die grössten Beanspruchungen der Leitermaterialien erfolgen bei tiefen Temperaturen, weil dann wegen der Verkürzung der Seile entsprechend ihrem Wärmeausdehnungskoeffizienten die Durchhänge klein werden.

Schon bei der Besprechung der Leitung Turtmann-Chippis in Abschnitt 3 ist von der künstlichen *Alterung* des Aldrey die Rede, die sich in einer unmerklichen Festigkeitsabnahme im Betrieb zeigt, während andere Leitermaterialien auffallenden Rückgang der Festigkeit ergeben. Man hat Versuche angestellt, um die Einwirkung höherer Temperaturen, die bei dauernder Ueberlastung der Leitung und gleichzeitig starker Sonnenbestrahlung im schlimmsten Fall auftreten können, auf die

Land	Leitung	Kabel			Mittl. Spanne- weite m	Grösste Beanspruchung		Beanspruchung in kg/mm ² bei 0° ohne Zusatzlast bei Spannweiten in mm von				
		q mm ²	Aufbau	d mm		kg/mm ²	nach Landesvorschrift	100	150	200	250	300
Schweiz	ITAG : Turtnann – Chippis	135	f 30 Drähte zu 2,4 mm Ø	15,4	220	18	0° + 2 kg/m	15,5	12,0	8,1	5,15	4,2
	SBB : Puidoux – Rapperswil	240	37 „ 2,87 „	20,1		12	0° + 2 kg/m	10,0	7,8	5,8	4,5	3,95
	EWZ : Dübendorf – Eichhalde	180	37 „ 2,48 „	17,36		16	0° + 2 kg/m	—	—	9,07	6,53	5,09
	„ : Bachgaden – Zürich	350	48 „ 3,05 „	24,9	225	15	0° + 2 kg/m	—	13,45	12,3	10,9	9,6
	„ : Samstagern – Bachgaden	350	48 „ 3,05 „	24,9	270	7 max 13	0° ohne Zusatzlast 0° + 2 kg/m	7	7	7	7	7
NOK : Löntsch – Grynau	230	37 „ 2,81 „	19,7	350	7,5 max 18	10° ohne Zusatzlast 0° + 2 kg/m	8,8	8,7	8,6	8,5	8,4	
Deutschland	OWAG : Insterburg – Tilsit	70	19 „ 2,1 „	10,5	220	12	— 5° + 180 √d	9,4	7,3	5,4	4,2	3,8
	ESAG : Cunrau – Salzwedel	127	37 „ 2,1 „	14,7	350	13,25	— 5° + 180 √d	—	10,7	9,56	8,85	7,24
	Wüleg : Fellbach – Pinache	205	37 „ 2,6 „	18,2	250	9	— 5° + 180 √d	—	5,8	5,25	4,75	4,45
	AIAG : Schwörstadt – Rheinfelden	228	37 „ 2,8 „	19,6	—	10	— 5° + 180 √d	—	7,58	7,05	6,25	—
	MEW : Grünberg – Schwiebus	120	19 „ 2,8 „	14,0	220	12	— 5° + 180 √d	—	9,15	7,8	6,65	5,65
	„ : Finow – Pasewalk	120	19 „ 2,8 „	14,0	300	12	— 5° + 180 √d	—	9,15	7,8	6,65	5,65
	ESAG : Nachterstedt – Halberstadt	95	19 „ 2,5 „	12,5	260	10	— 5° + 180 √d	—	5,63	4,32	3,68	3,38
Italien	SIP : Cardano – Cislago	380	61 „ 2,82 „	25,4	—	10	0° + 2 kg/m	6,64	6,45	5,27	4,5	4,2
	SIC : Moline – Porto – Marghera	198	37 „ 2,61 „	18,3	200	11,6	0° + 2 kg/m	7,1	6,05	4,2	3,4	3,06
	„ : San Silvestro – Moline	160	30 „ 2,61 „	16,7	—	11	0° + 2 kg/m	6,25	3,75	2,73	2,4	2,27
	SFIAC : Pelos – Fadalto	153,2	30 „ 2,55 „	16,2	—	11	— 18° + 1,63 kg/m	5,35	3,49	2,87	2,61	2,48
	ADRIATICA : Maser – Marghera	201	37 „ 2,63 „	18,4	230	11	0° + 2 kg/m	—	5,33	3,68	3,10	2,84
	„ : Marghera – Paluello	201	37 „ 2,63 „	18,4	230	10	— 15° + 0,75 kg/m	—	6,75	6,05	5,55	5,19
	AFL : Sesto S. Giovanni – Bobbio – Pontremoli e Bobbio – Genova	153,2	30 „ 2,55 „	16,2	bergriges Gelände Ebene	8	— 20° + 1,62 kg/m	2,23	1,89	1,79	1,745	1,725
Spanien	Salto del Alberche : Puente Nuevo – Madrid	228	37 „ 2,79 „	19,5	320	12	0° + 0,75 · 125 kg/m ² Wind	10,85	9,7	8,1	6,82	5,9
	Salto del Alberche : Puente Nuevo – Segovia – Avila	70	19 „ 2,17 „	10,85	220	10	0° + 0,706 · 125 „ „	6,07	3,33	2,62	2,36	2,23
	Salto del Alberche : Madrid – Cara- banchel – Cuatro Vientos	35	7 „ 2,54 „	7,6	—	10	0° + 0,706 · 125 „ „	3,29	1,98	1,67	1,57	1,53
	CSE : Empalme – Alcalá del Rio	63,3	14 „ 2,4 „	10,5	185	10	— 5° + 0,5 · 125 „ „	6,98	4,95	3,77	3,28	3,06
	„ : Viar – Llerena { Peñarroya Villafranca	90,3	19 „ 2,46 „	12,5	—	10	— 5° + 0,6 · 125 „ „	6,98	4,95	3,77	3,28	3,06
„ : Buitreras – San Fernando	150	27 „ 2,66 „	16	200	10 12	— 5° + 0,5 · 125 „ „	2,6 10,78	7,68 10,22	7,00 9,48	6,40 8,70	5,78 7,95	
Oesterreich	Ö. B. B. : Pass Thurn	182	4 26 „ 2,7 „ 2,8 „	17,5	—	12,6	— 5° + 180 √d	—	9,4	9,4	8,7	7,8
	Ö. B. B. : Gastein	182	37 „ 2,5 „	17,5	—	12,6	— 5° + 180 √d	—	9,4	9,4	8,7	7,8
	Lasberg	25	7 „ 2,15 „	6,5	—	10	— 5° + 180 √d	2,2	—	—	—	—

Festigkeit des Materials zu bestimmen. Dazu wurden verschiedene Leitermaterialien während 180 Tagen auf konstanter Temperatur gehalten. Die Kurven Fig. 3 und 4 zeigen den Rückgang der Festigkeit in Funktion der Zeit und der Temperatur für Kupfer, Rein-Aluminium und Aldrey. Da-

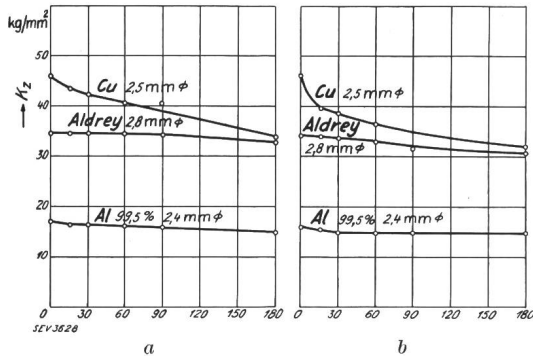


Fig. 3.

Einfluss einer Erwärmung während 180 Tagen auf die Zugfestigkeit von Kupfer-, Reinaluminium- und Aldreydrähten (Festigkeit in Funktion der Erwärmungsdauer).
 a Erwärmung auf 75 bis 80° C. b Erwärmung auf 100° C.

bei ist das günstige Verhalten von Aldrey auffällig. Prozentual nimmt seine Festigkeit bedeutend weniger ab als die von Kupfer.

Man hört oft den Vorwurf, dass Leiter aus Leichtmetall mehr Neigung zum Zusammenschlagen hätten, da sie im Winde mehr ausschwingen. Als Kriterium wird der horizontale Abstand des Ausschwingens eines Leiters aus der Vertikalebene der Leitung anzusprechen sein. Eine einfache Rech-

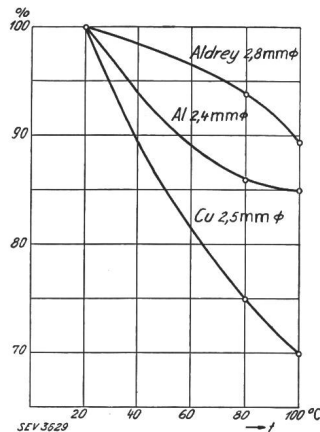


Fig. 4.

Einfluss einer Erwärmung während 180 Tagen auf die Festigkeit v. Kupfer-, Reinaluminium- und Aldreydrähten (Festigkeit in Funktion der Temperatur).

nung zeigt, dass dieser horizontale Abstand für Aldrey kleiner ist als für ein Kupferseil, das mit gleicher Sicherheit gegen Bruch nach den schweizerischen Vorschriften gespannt wird und das dem gleichen Winddruck ausgesetzt ist. Trotzdem das widerstandsgleiche Aldrey-Seil dem Wind eine grössere Angriffsfläche bietet und leichter ist, hat es doch einen bedeutend kleineren Durchhang (Figur 5). Der Auslenkwinkel wird wohl grösser, aber das horizontale Mass des Ausschwingens ist kleiner und damit auch die Neigung zum Zusammenschlagen. Die Vergrösserung der Abstände der Leiter

kann nur durch die möglichen grösseren Spannweiten bei Aldrey, nicht aber durch die grössere Gefahr des Berührens gerechtfertigt werden.

Bei allen Leitermaterialien, speziell aber bei Aldrey, soll darauf geachtet werden, dass die Leiter nicht senkrecht übereinander angeordnet werden. Wenn Schnee auf den Seilen liegt und er vom unteren Seil plötzlich abfällt, schnellst dieses in die Höhe und will den Durchhang, den es ohne diese Zusatzbelastung haben muss, annehmen. Das Seil wird aber um etwa die doppelte Differenz der beiden Durchhänge hochschlagen, noch etwas auf- und abschwngen und nur langsam seine neue Gleichgewichtslage einnehmen. Diese Differenz ist abhängig vom Elastizitäts-Modul (E-Modul) des Seilmaterials, und zwar ist sie gross für kleinen E-Modul und umgekehrt. Da Aldrey einen verhältnismässig kleinen E-Modul hat, ist beim Entwurf der Masten daran zu denken.

Ob die Gefahr des *Verbrennens der Leiter* in Flammenbögen grösser ist bei Aldrey als bei Kupfer, ist nicht erwiesen. Verschiedene Versuche haben das Gegenteil ergeben. Wenn man überlegt,

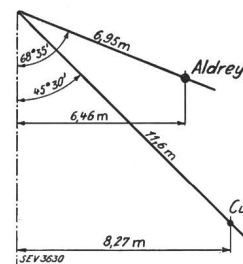


Fig. 5.

Ausschwingen eines Kupfer- und eines Aldreyseils infolge von Wind.

Windstärke: 120 kg/m² bei + 40° C.
 Kupferseil: 100 mm² (19·2,59 mm Ø).
 Aldreyseil: 178,5 mm² (37·2,48 mm Ø).
 Bruchsicherheit: 2 bei 0° C und mit 2 kg/m Zusatzlast.
 Spannweite: 250 m.

dass der Schmelzpunkt von Kupfer 1064 und von Aldrey 658° C, die Hitze eines Flammenbogens aber mehrere 1000° beträgt, so beachtet man, dass diese ca. 400° Differenz keinen grossen Unterschied ergeben können. Um ein Seilstück zu schmelzen, braucht man eine gewisse Wärmemenge, damit das Seil die Schmelztemperatur erreicht und dann noch die Schmelzwärme, damit es vom festen in den flüssigen Aggregatzustand übergeht. Die spezifische Wärme von Kupfer beträgt zwischen + 70° C und der Schmelztemperatur 0,110 kcal/kg und von Aldrey 0,247 kcal/kg. Die Wärmemenge zum Schmelzen beträgt für Cu 42 kcal/kg und für Aldrey 93 kcal/kg. Wir wollen ein 1 m langes 100 mm²-Kupferseil mit einem gleich langen, widerstandsgleichen Aldrey-Seil von 178,5 mm² vergleichen. Um diese Stücke auf die Schmelztemperatur zu bringen und zu schmelzen, müssen dem Kupferseil 142 kcal und dem Aldrey-Seil 122 kcal zugeführt werden. Man sieht, dass diese Werte nicht weit auseinanderliegen. Auch die Wärmeleitfähigkeiten sind für widerstandsgleiche Querschnitte praktisch gleich und, wenn man auch die grössere Abstrahlungsfläche des Aldrey-Seiles berücksichtigt, wird man zum Resultat kommen, dass es zum Schmelzen äquivalenter Cu- und Aldrey-Seile ungefähr die gleiche

Wärmemenge braucht. Diese theoretischen Ueberlegungen bestätigen also die Versuchsergebnisse.

Zum Schluss soll noch anhand eines Beispiels ein weiterer Vorteil der Aldrey-Leitung hervorgehoben werden. Wenn für eine Spannung von 110 kV ein Kupferseil von 100 mm² nur aus Gründen der *Coronaverluste* gewählt werden muss, für die Uebertragungsleistung aber der gleiche Querschnitt in Aldrey genügen würde, stellt sich der Erstellungspreis der Leitung aus 100 mm² Aldrey bedeutend günstiger.

Wenn aber die 100 mm² Kupferseil auch für die Uebertragungsleistung verlangt werden, müsste für Aldrey der widerstandsgleiche Querschnitt, nämlich 178,5 mm², in Frage kommen. Die 178,5 mm²-Aldrey-Leitung wird bei gleichem Kabelpreis je nach Leitungsbauvorschriften und Gelände 5 bis 10 % billiger als die 100 mm²-Kupferleitung. Dabei besteht aber der wichtige Vorteil, dass die Aldrey-Leitung auch mit höherer Spannung betrieben werden könnte, falls später einmal die zu übertragende Leistung erhöht werden müsste. Das 178,5 mm²-Aldrey-Seil kann unter gleichen Annahmen mit einer ca. 27 % höheren Spannung, also mit 140 kV, betrieben werden. Bei gleichem effektivem Verlust kann die Uebertragungsleistung um 27 % und bei gleichem prozentualen Verlust um 60 % erhöht werden. Eine Aldrey-Leitung kann also eine 60 % grössere Leistung übertragen als die widerstandsgleiche Kupferleitung.

Endlich stellt Aldrey einen dauernden Wert dar und kann leicht eingearbeitet werden.

Diese Ausführungen haben gezeigt, dass die verschiedenen Bedenken, die man anfänglich gegen die Verwendung der Aluminiumlegierung Aldrey im Leitungsbau hatte, in der Praxis nicht eingetreten sind und dass auch die theoretischen Ueberlegungen sich dadurch bestätigen. Aldrey hat in den acht Jahren seine Brauchbarkeit bewiesen und steht heute als gleichwertiges, meist sogar überlegenes Leitermaterial neben allen bisher bekannten.

Literatur.

- Peck junior, F. W., Dielectric phenomena in high voltage engineering, 1920, p. 199.
Legierter Aluminiumdraht «Drahtlegierung 3». Mitt. der Aluminium-Industrie A.-G., Neuhausen (Schweiz. Bauzeitung, t. 87, 1926, p. 323).

Wyssling, Eine Weitspannleitung der SBB für 132 kV aus hochleitender, zäher Aluminiumlegierung (Rapport No. 55 de la Conférence Internationale des Grands Réseaux électriques, Paris, 1927 [Sonderdruck]).

Zeerleder, A. v., et Bosshard, M., Neue Wege im Freileitungsbau (Z. f. Metallkunde, t. 19, 1927, p. 459).

Schmitt, Hochleitfähige vergütbare Aluminiumlegierungen in der Freileitungstechnik (ETZ, t. 48, 1927, p. 1176).

Fuchs et Kaufmann, Lichtbogenwirkungen an Freileitungseilen (ETZ, t. 49, 1928, p. 126).

Bohner, H., Zugfestigkeit und elektrische Leitfähigkeit von Reinaluminium und Aluminiumleichtlegierungsdrähten in Abhängigkeit von mechanischer und thermischer Behandlung (Hauszeitschrift der VAW, t. 1, 1929, p. 12).

Dusaugy, A., Rupture accidentelle des conducteurs aériens: comparaison des conducteurs de cuivre et d'aluminium (RGE, t. 24, 1928, p. 36).

Vallauri, G., et Giacobini, Impiego dei conduttori in alluminio nelle grandi linee elettriche (Annali dei Lavori Pubblici, No. 10, 1929, p. 930).

Zeerleder, A. v., et Bourgeois, P., Effect of temperature attained in overhead electric transmission cables (Journal Inst. of Metals, t. 42, 1929, p. 321).

Schmitt, Die Aluminium-Demonstrationsleitung auf Sylt (Hauszeitschrift der VAW, t. 1, 1929, p. 31).

Pape, H. M., Beanspruchung schwingender Drahtseile unter besonderer Berücksichtigung der Beanspruchungen an den Tragklemmen von Freileitungen (Mitteilung Nr. 7 des Wöhler-Institutes, Braunschweig, 1930).

Pester, F., Die Festigkeitseigenschaften von elektrischen Leitungsdrähten bei tiefen Temperaturen (Z. f. Metallkunde, t. 22, 1930, p. 261).

Zeerleder, A. v., Einfluss der Korona-Erscheinungen auf Freileitungsdrähte (Bull. SEV, t. 22, 1931, p. 215; Hauszeitschrift der VAW, t. 3, 1931, p. 267).

Kocherhans, E., Aluminium im Freileitungsbau (STZ, 1931, p. 465).

Strand, O., Ueber das Problem der Phasenabstände bei elektrischen Leitungen (ETZ, t. 52, 1931, p. 889).

Porter, J. H., Aluminium busbars resist power arcs (Electr. World, t. 98, 1931, p. 104).

Wöhr, F., Korona an Kupfer- und Aluminiumseilen (Hauszeitschrift der VAW, t. 3, 1931, p. 266).

Wöhr, F., Die Einwirkung von Kurzschlußströmen auf die Festigkeit von Leitungsseilen aus Aluminium und Kupfer (Hauszeitschrift der VAW, t. 3, 1931, p. 271).

Pothhoff, K., Koronaverluste an Kupfer- und Aluminiumseilen (Elektrizitätswirtschaft, septembre 1931).

Pramaggiore, C., Conduttori in lega di alluminio. I conduttori in Aldrey (Alluminio, t. 1, 1932, p. 80).

Nefzger, J., Die Leitungsschwingungen — Versuche zur Lösung der Klemmfrage (Techn. Mitteilungen der Firma J. W. Hofmann, Kötzschenbroda-Dresden, März 1932).

Pester, F., Festigkeitsprüfungen an Stangen und Drähten bei tiefen Temperaturen (Z. f. Metallkunde, t. 24, 1932, p. 67, 115).

Wirtschaftlichste Verteilung der Blindlast auf verschiedene Kraftwerke.

Von Albert Egli, Basel.

621.311.1.004

Es wird gezeigt, dass beim Energiebezug von mehreren Kraftwerken über verschiedene Leitungen eine bestimmte günstigste Blindlastverteilung möglich ist, die minimale Jahreskosten der Uebertragungsverluste herbeiführt. Diese Verteilung richtet sich nur nach den kW-Kosten im betreffenden Betriebsmoment bei den für die Energielieferung in Betracht kommenden Elektrizitätswerken und nach den Ohmschen Widerständen der Uebertragungsleitungen vom gemeinsamen Netz bis zu den Generatoren. Die günstigste Blindlastverteilung ergibt sich also dann, wenn die Blindlastleistungen der einzelnen Energiebezüge umgekehrt proportional dem Produkt kW-Preis für den Betriebsmoment mal Ohmschen Widerstand der Uebertragungsleitung ist.

L'auteur démontre que, lorsque l'on achète l'énergie de plusieurs usines par l'intermédiaire de différentes lignes, il est possible d'obtenir une répartition optimum de la charge réactive, pour laquelle les frais annuels provenant des pertes de transport sont minimum. Cette répartition n'est basée que sur les frais de puissance active au moment donné de l'exploitation des usines entrant en considération pour la livraison d'énergie et sur les résistances ohmiques des lignes de transport entre le réseau commun et les générateurs. La répartition de la charge réactive est la plus favorable lorsque les puissances réactives des différentes lignes sont inversement proportionnelles au produit des frais de puissance active au moment donné par la résistance ohmique de la ligne considérée.