

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 47 (1956)  
**Heft:** 14

**Artikel:** Bündelleitungen. II. Teil  
**Autor:** Mors, H.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1058214>

#### **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:** 22.02.2026

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

vermeiden, wenn im Kurzschlussfall die Teilleiter infolge der auftretenden grossen elektro-dynamischen Kräfte zusammenschlagen.

#### Literatur

[1] *Markt, G. und B. Mengele: Drehstromfernübertragung mit Bündelleitern.* E u. M. Bd. 50(1932), Nr. 20, S. 293...298.  
 [2] *Roser, H.: 25 Jahre 220-kV-Betrieb im RWE-Netz.* ETZ-A Bd. 76(1955), Nr. 1, S. 5...9.

[3] *Boll, G. und W. Fleischer: Die Übertragungsspannung im deutschen Verbundnetz.* ETZ-A Bd. 76(1955), Nr. 1, S. 10...13.

[4] *Die 400-kV-Forschungsanlage Rheinau. Teil I: Planung und Ausführung.* Heidelberg: 400-kV-Forschungsgemeinschaft e. V. 1955.

[5] *Boll, G. und H. Roser: The Technical Problems of the German 380-kV-System.* Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques (CIGRE), Paris 1956, Rapp. 409.

#### Adresse des Autors:

Dipl. Ing. S. Hammel, Regierungsbaurat a. D., in Firma Brown Boveri & Cie., A.-G., Augusta-Anlage 7...11, Mannheim 2.

## II. Teil

Von H. Mors, Mannheim

### A. Mastbild

Die Leiterabstände und Leiterquerschnitte sind vor allem bei den 380-kV-Leitungen verhältnismässig gross. Der Bau der Tragwerke verursacht daher grosse Kosten. Die Aufwendungen werden um so grösser, wenn auf Grund besonderer meteorologischer Bedingungen nicht mehr mit der normalen Zusatzlast gerechnet werden kann, sondern grössere Zusatzlasten als Regel- oder Ausnahmelasten berücksichtigt werden müssen. Es ist daher notwendig, dass solche erhöhte Zusatzlasten möglichst genau den örtlichen Gegebenheiten angepasst werden. Bei Annahme der Zusatzlasten infolge Eis-, Rauhreif- und Schneebefang bleiben zusätzliche Windlasten unberücksichtigt.

Die Mastlänge wird durch die Grösse des Durchhanges bestimmt. Dieser kann bei Annahme erhöhter Zusatzlasten und ungleicher Belastung der Spannfelder weit über das normale Mass anwachsen; dazu kommt der Sicherheitsabstand zum Boden, der normalerweise bei 220-kV-Leitungen mit 8 m und bei 380-kV-Leitungen mit 9 m bemessen wird. Bei ungleicher Belastung der Spannfelder durch erhöhte Zusatzlasten werden besondere Festlegungen getroffen. Das Mastkopfbild richtet sich nach der Länge der Isolatorenketten und dem Ausschwingwinkel der Seile.

Die Anordnung der Leitungen in zwei Ebenen zum sogenannten Donaumastbild wird für 220- und 380-kV-Leitungen bevorzugt. Die Anordnung in einer Ebene, die in Gegenden, die durch erhöhte Zusatzlasten gefährdet sind, vorzuziehen wäre, kommt wegen der dafür erforderlichen Traversenausladungen nicht in Frage. Die Anordnung der Leitungen in drei Ebenen ist ebenfalls nicht üblich. Denn die Trassenverhältnisse sind in Deutschland nicht so beengt, dass man mit Rücksicht auf die Trassenführung an Hängen und vermehrten Waldauhieb auf diese Anordnung übergehen müsste. Dazu kommt, dass die grössere Höhe der Masten mit Anordnung der Leitungen in drei Ebenen die Tragwerke verteuert. Vor allem werden die Tragmaste schwerer; nach den deutschen Freileitungsvorschriften sind nämlich die massgebenden Windbelastungen auf Maste und Leitungen für Höhen über 40 m, die dann in jedem Falle überschritten werden, wesentlich höher anzunehmen.

In Fig. 13 sind die gebräuchlichen Mastbilder schematisch aufgezeichnet. Zunächst wird ein Rohrgittermastgestänge für eine 220-kV-Leitung mit Zweierbündeln, die in Norddeutschland erstellt

wurde, gezeigt [Leitung Nr. 1<sup>1)</sup>]; daneben sind 220-kV-Maste für eine Leitung mit Zweierbündeln, die durch den Schwarzwald verläuft, skizziert (Leitung Nr. 2). Die Maste der Leitung Nr. 2 haben einen besonderen Schutz gegen Blitzeinschläge durch zwei Erdseile, die an den Spitzen des oberen Auslegers befestigt sind. Anschliessend ist das Mastbild für 380-kV-Leitungen mit Viererbündeln (Leitungen Nrn. 3 und 4), das von der Deutschen Verbundgesellschaft genormt ist, dargestellt. Ausserdem ist das Mastbild für eine 380-kV-Leitung mit Zweierbündeln, die durch eine Gegend mit erhöhter Zusatzlast verläuft, eingetragen (Leitung Nr. 5). Das letzte Mastbild muss als Sonderfall betrachtet werden; es wurde für eine 10-kV-Hochstromleitung im Industriegebiet und eine Belegung mit Viererbündeln entworfen (I. Teil, Fig. 12).

Die Phasenabstände ergeben sich nach einer empirisch gefundenen Formel der deutschen Freileitungsvorschrift in Abhängigkeit von der Grösse des Durchhanges und der Länge der Tragkette zusammen mit einem Sicherheitszuschlag. Sofern Leitungen verschiedenen Querschnittes, verschiedenen Werkstoffes oder ungleicher Durchhänge verlegt werden, ist zur Nachprüfung dieser Abstände noch eine Ausschwinguntersuchung vorzunehmen. Dabei ist zu prüfen, dass auch dann keine unzulässige gegenseitige Näherung der Leitungen auftreten kann, wenn die vom Wind abgekehrten Leitungen mit bis zu 20 % geringerer Windgeschwindigkeit getroffen werden, während die dem Wind zugekehrten Leitungen voll ausschwingen.

Der Ausschwingwinkel ergibt sich aus dem Verhältnis der Grösse der waagrechten Windlast zur senkrechten Gewichtslast der Seile. Es ist üblich, mit Rücksicht auf Geländeunebenheiten und die dabei möglichen Kettenentlastungen die Gewichtsbelastung um ein bestimmtes Mass kleiner als die Windlast anzunehmen. Z. B. wurde bei Festlegung der Mastbilder für 380-kV-Leitungen die Belastungslänge für das Seilgewicht mit 250 m gegenüber der Belastungslänge für die Windlast mit 350 m angenommen. Dementsprechend vergrössert sich natürlich der Ausschwingwinkel. Daraus ergeben sich wohl etwas grössere Leiterseilabstände und Traversenausladungen; anderseits wird aber in den meisten Fällen vermieden, dass im Verlauf der Trasse Kettenentlastungen durch den Einbau von Belastungsgewichten oder Vergrösserung der Mastlänge oder gar erhöhte Anzahl von Abspannmasten ausgegli-

<sup>1)</sup> Die Leitungs-Nummern stimmen mit denen der Tabellen I, II und III des I. Teiles dieser Veröffentlichung überein.

chen werden müssen. Eine Verkleinerung der Ausschwingwinkel aus der Überlegung heraus, dass bei den grösseren Spannweiten die maximalen Windgeschwindigkeiten nur mit begrenzter Angriffsbreite wirksam werden, ist nach den Vorschriften nicht zulässig, da hierüber Erfahrungen fehlen. Die

üblichen Ausschwingwinkel erscheinen aber reichlich bemessen; es ist daher beabsichtigt, durch Versuche, mit denen im vergangenen Jahr begonnen wurde<sup>2)</sup>, eine Zuordnung von Windgeschwindig-

<sup>2)</sup> CIGRE-Bericht Nr. 220 (1956). Mors, Baer, Erich: Sollicitation des conducteurs exposés à la poussée du vent. Station expérimentale Hornisgrinde.

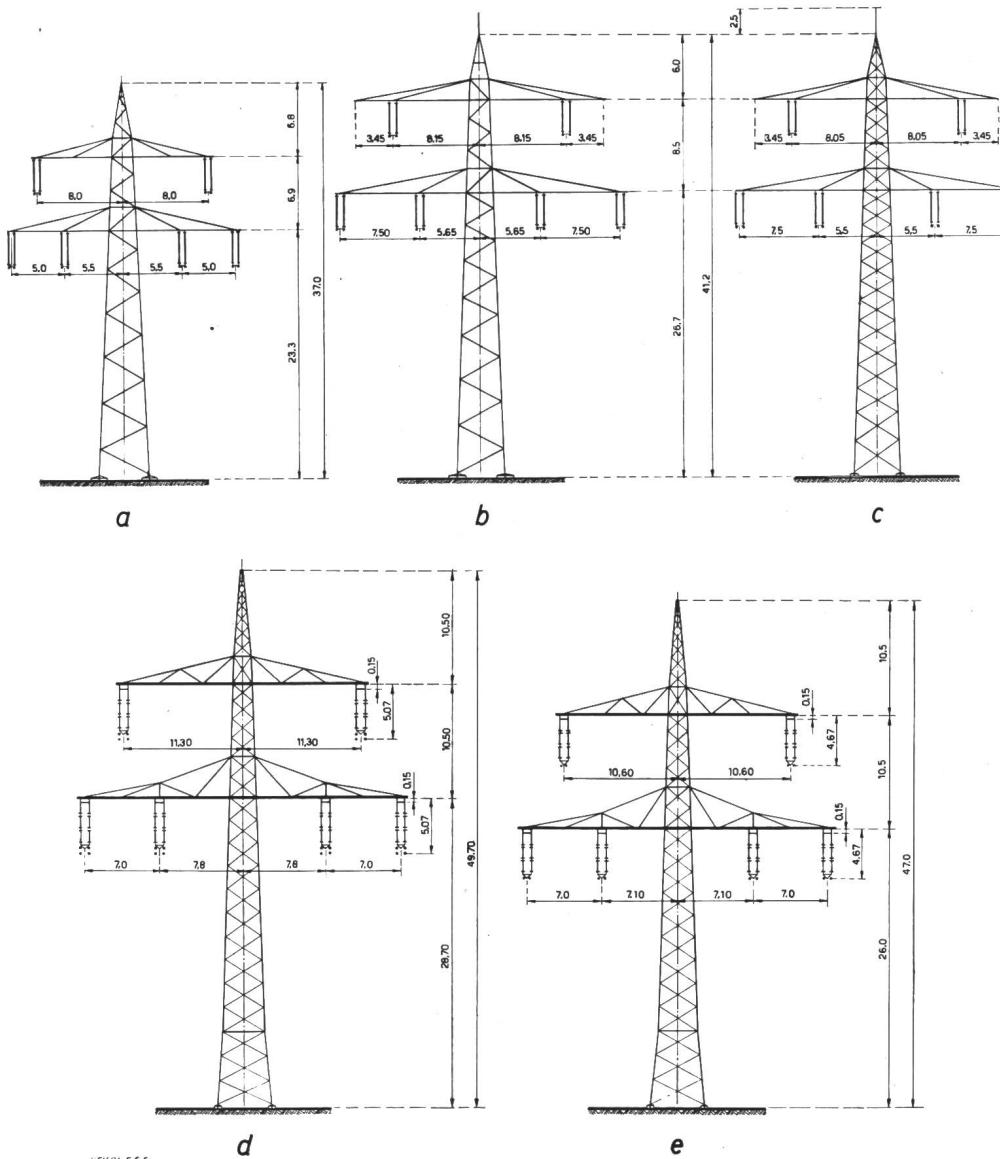


Fig. 13  
Mastbilder  
Angaben über die in Fig. 13 gezeigten Leitungen

Teil der Fig. 13	a	b	c	d		e	Einheit
Leitung Nr.	1	2		3 <sup>1)</sup>	4 <sup>1)</sup>	5	
				1. Ausbau 2 Stränge 220 kV	End-Ausbau 2 Stränge 380 V	End-Ausbau 2 Stränge 380 kV	
Leiterseile	Zweierbündel aus Stahl-Aluminium-Seilen Al/St 32/185	Zweierbündel aus Stahl-Aluminium-Seilen Al/St 40/240	Zweierbündel aus Stahl-Aluminium-Seilen Al/St 40/240	Zweierbündel Stahl-Aluminium Al/St 40/240 bzw. 50/210	Viererbündel Stahl-Aluminium Al/St 40/240 bzw. 50/210	Zweierbündel Stahl-Aluminium Al/St 447/143	mm <sup>2</sup>
Erdseil	1 × Stahl-Aluminium Al/St 72/99	2 × Stahl 70	2 × Stahl 70	1 × Stahl-Aluminium Al/St 40/240	1 × Stahl-Aluminium Al/St 40/240	1 × Stahl-Aldrey Aldrey/St 122/70	mm <sup>2</sup>
Maste	betongefüllte Rohrgittermaste	betongefüllte Rohrgittermaste	Winkelstahl-gittermaste	Winkelstahl-gittermaste	Winkelstahl-gittermaste	Winkelstahlmaste	
Isolation	2 × Langstab-isolatoren VKL 75/14	7 × Vollkern-isolatoren VKL 75/2	7 × Vollkern-isolatoren VL 75/2	2 × Langstab-isolatoren VKL 75/14	3 × Langstab-isolatoren VKL 75/14	3 × Langstab-isolatoren VKL 75/14	
Spannweite	320	360	360	350	350	350 <sup>2)</sup>	m
Baujahr	1953–1954	1953	1953	—	—	1954	

<sup>1)</sup> Regelausführung

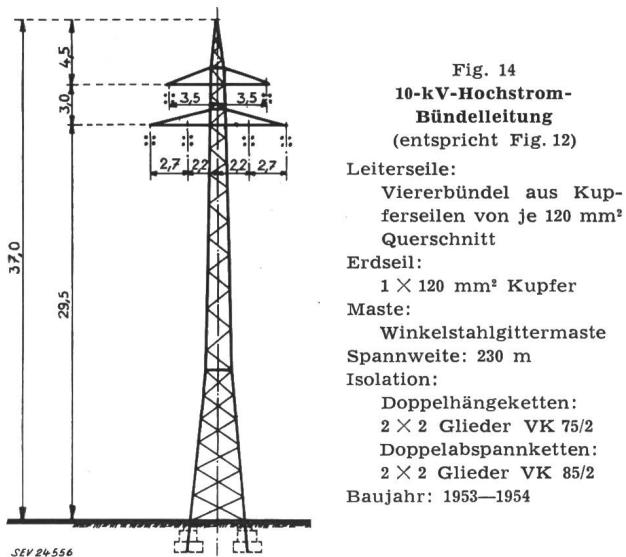
<sup>2)</sup> Die Leitung verläuft durch Gebiete mit erhöhter Zusatzlast

keit und Spannweite zum Ausschwingwinkel für deutsche Witterungsverhältnisse zu finden.

Der Sicherheitsabstand der ruhenden und der ausgeschwungenen Leitungen zu geerdeten Bauteilen muss bei Betrieb mit starr geerdetem Sternpunkt mindestens  $0,8 U_n/125$  in m sein. Bei Betrieb mit nicht starr geerdetem Sternpunkt muss der Sicherheitsabstand der ruhenden Leitungen mindestens  $U_n/125$  in m betragen. Wenn die Leitungen ausschwingen, ist dann der Sicherheitsabstand mit mindestens  $U_n/150$  in m zu bemessen.  $U_n$  ist die Nennspannung in kV.

Bei der Bestimmung der horizontalen Versetzung der Leiter wird berücksichtigt, dass auch bei einem infolge ungleicher Zusatzbelastung vergrösserten Durchhang der oberen Leiter keine gegenseitige unzulässige Näherung zu den darunter liegenden Leitungen auftreten darf. Im allgemeinen wird eine horizontale Versetzung von etwa 1 cm/kV als ausreichend angesehen. Mit so entworfenen Mastbildern wurden gute Erfahrungen gemacht.

Bei Beurteilung der Schutzwirkung der Erdseile gegen direkte Blitzeinschläge in die Leitungen werden die Empfehlungen der Studiengesellschaft für Höchstspannungsanlagen als massgebend angesehen. Der Schutzraum für Anordnung eines Erdseiles und zweier Erdseile für die in Fig. 13 gezeigten Mastbilder ist in Fig. 14 aufgezeichnet. Im allgemeinen wird die Anordnung eines Erdseiles als ausreichend erachtet. Bei dem Bau der oben erwähnten 220-kV-Leitung durch den Schwarzwald (Leitung Nr. 2) liessen besondere Erfahrungen es ratsam erscheinen, die Schutzwirkung durch Anordnung zweier Stahl-Erdseile mit  $70 \text{ mm}^2$  Querschnitt zu erhöhen.



Für Freileitungen mit einem Erdseil, die mit starrer Nullpunktterdung betrieben werden, sieht man, wie erwähnt, zur Abführung der hohen Kurzschlussströme Seile mit grösserer Leitfähigkeit, in der Regel Stahl-Aluminiumseile, vor. Nach Möglichkeit werden die Erdseile mit kleinerem Durchhang gespannt als die Leiterseile, so dass die Schutzwirkung im Spannfeld verbessert wird.

## B. Seilspannung

Die Leiterseile werden in der Regel so gespannt, dass 75 % der nach den Freileitungsvorschriften zulässigen Höchstzugspannung <sup>3)</sup>, bezogen auf die Zusatzbelastung  $0,18 \sqrt{d}$  in kg/m bei  $-5^\circ\text{C}$ , nicht überschritten werden, worin unter  $d$  der Seildurchmesser in m verstanden ist. Diese Seilspannungen sind in Kreuzungen über Eisenbahnen, Wasserstrassen usw. höchstens zugelassen; außerdem hat es sich im Laufe der zurückliegenden Jahrzehnte erwiesen, dass so gespannte Leitungen ohne besonderen Schwingungsschutz wie armor rods, Schwinghebel-dämpfer und dgl. schwingungssicher sind. Es kann angenommen werden, dass Bündelleiter infolge der gegenseitigen Kopplung der Teilleiter durch die Feldabstandhalter weniger zu Schwingungen neigen als Einzelseile, die den gleichen Querschnitt und Durchmesser wie die Teilleiter haben. Tatsächlich wurde bei Versuchen in einem Weitspannfeld <sup>4)</sup> ermittelt, dass bei gleicher Seilspannung Zweifachbündelleiter durch Schwingungen nur etwa 40 % der zusätzlichen Beanspruchung erfahren, die sich unter den gleichen Bedingungen bei den Einzelseilen, die den gleichen Querschnitt und Durchmesser wie die Teilleiter haben, einstellt. Außerdem wurde festgestellt, dass die betreffenden Bündelleiter bei einer Seilspannung von  $11 \text{ kg/mm}^2$  — bezogen auf VDE-Zusatzlast bei  $-5^\circ\text{C}$  — nur so schwingen wie die Einzelseile, die mit  $9 \text{ kg/mm}^2$  gespannt sind. Die Versuche werden z. Z. auf einer Versuchsanlage mit drei normalen Spannfeldern <sup>5)</sup> fortgeführt.

Die geringere Schwingungsanfälligkeit der Bündelleiter kann derzeit durch Erhöhung der Verlegespannung wirtschaftlich nicht ausgenutzt werden, da, wie erwähnt, in Kreuzungen begrenzte Höchstzugspannungen vorgeschrieben sind und die Abspannmasttypen in der Trasse immer verhältnismässig häufig vorkommen. Die Abspannmaste würden aber trotz der kürzeren Mastlänge bei Erhöhung der Seilzugspannung schwerer; dieses Mehrgewicht kann durch die Gewichtseinsparung bei den Tragmästen nur ungenügend ausgeglichen werden.

Wenn die Leitungen durch Zusatzlasten höher beansprucht werden, ergeben sich unter Berücksichtigung der obigen Gesichtspunkte Seilspannungen, die gegebenenfalls bis zu den höchstzulässigen Zugspannungen anwachsen. Wenn man außer den regelmässig auftretenden Zusatzlasten sogenannte Ausnahmezusatzlasten berücksichtigen muss, die nur gelegentlich auftreten, die aber bei der Festlegung der Verlegespannung beachtet werden müssen, können in diesem Falle die Seilzugspannungen sogar bis in die Nähe der Dauerzugfestigkeit anwachsen.

## C. Mastkonstruktionen

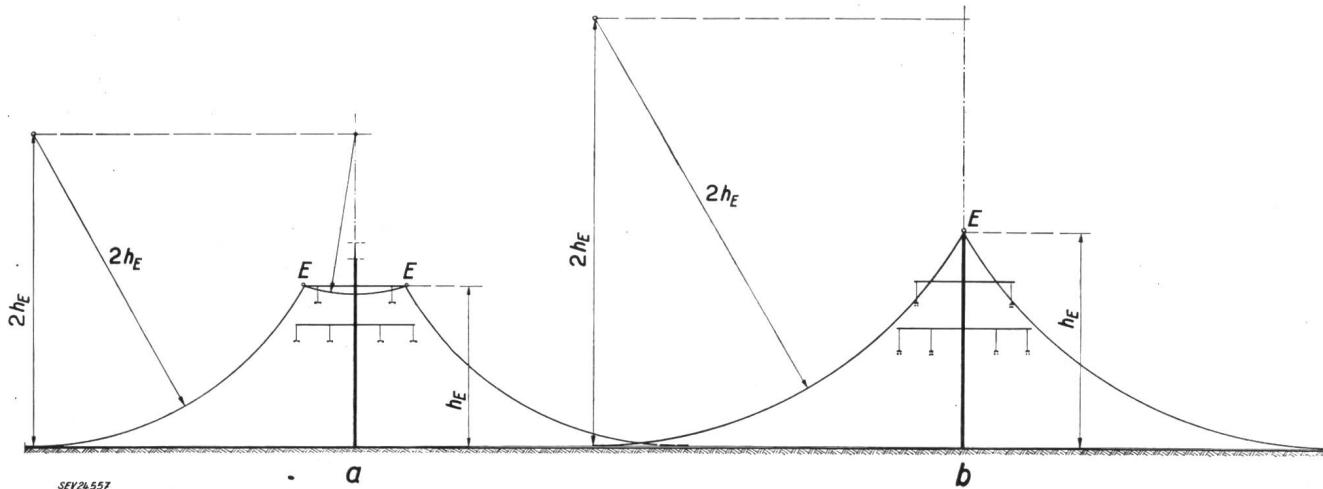
Nach Kriegsende wurden die deutschen Freileitungsvorschriften überarbeitet und dem Stand der

<sup>3)</sup> (Höchstzugspannung für Al/St 5,7...6 nach VDE 0210: 11 kg/mm<sup>2</sup>).

<sup>4)</sup> CIGRE-Bericht Nr. 209 (1954) Mors, Baer, Erich: Recherches théoriques et expérimentales sur les balancements et vibrations affectant les lignes à grandes portées.

<sup>5)</sup> CIGRE-Bericht Nr. 220 (1956); siehe Fussnote 2 auf S. 625.

Technik angeglichen. Dabei erfasste man die Belastungsannahmen genauer und erhöhte die zulässigen Beanspruchungen erheblich. Es erschien angebracht, die Verminderung der Sicherheitsgrade für grosse Tragwerke durch Versuche als zulässig zu bestätigen. Diese wurden 1950/51 im Auftrag der Deutschen Verbundgesellschaft durchgeführt<sup>6)</sup>. Durch das Ergebnis der Versuche wurden die getroffenen Berechnungsannahmen bestätigt. Auf diese Weise konnten bei der Erstellung neuer Freileitungsanlagen wesentliche Einsparungen erzielt werden.

Fig. 15  
Schutzzräume von Erdseilen

a Schutzzraum von zwei Erdseilen; 220-kV-Zweierbündel-Leitung  
b Schutzzraum eines Erdseiles; 380-kV-Viererbündel-Leitung

Die Mastkonstruktionen bestehen meist aus Winkelstahl. Soweit es der Transport zulässt, werden die oberen Mastteile schussweise oder wandweise genietet. Auf diese Weise lässt sich der Zusammenbau der Maste auf der Baustelle beschleunigen.

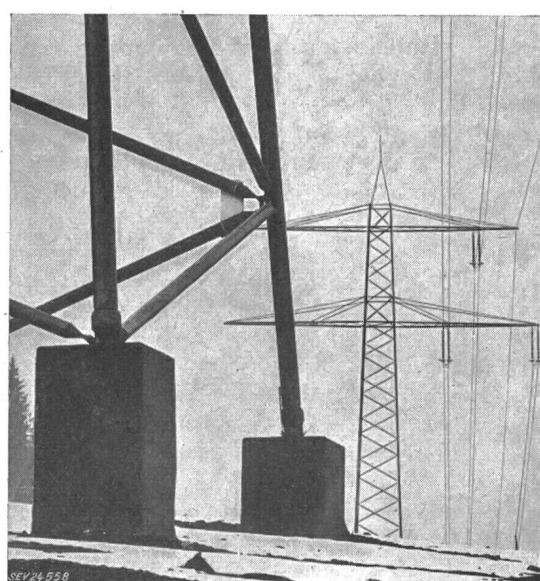
Für einige Leitungen wurden Rohrgittermaste nach der Bauart Motor-Columbus/Mannesmann-Werke verwendet<sup>7)</sup>. Diese Bauart hat gegenüber den früher üblichen Rohrgitterkonstruktionen den Vorteil, dass durch Betonfüllung der Eckstiele die Knickfestigkeit erhöht wird und ausserdem Wassersammlungen im Rohrinnern und dadurch verursachte Frostschäden zuverlässig vermieden werden können. Durch diese Bauweise kann Stahl eingespart werden, und zwar um so mehr, je stärker die Tragwerke belastet werden. Die leichteren Transportverhältnisse spielen für deutsche Geländeverhältnisse keine ausschlaggebende Rolle. Gerade schwerere Leitungen können mit Rohrgittermästen unter etwa gleichen oder etwas niedrigeren Kosten erstellt werden, als sie sich bei der Verwendung von Winkelstahlmästen ergeben. Das gefällige Aussehen der Rohrgittermaste entscheidet dann oft. Im Schwarzwald wurden z. B. in einer 220-kV-Leitung 91 und in Norddeutschland ebenfalls in einer 220-kV-Leitung 167 Rohrgittermaste erstellt.

<sup>6)</sup> Deutsche Verbundgesellschaft e. V. Heidelberg: Mastumbruch- und Fundamentversuche Wendlingen 1951/52. Schwaben-Verlag A.-G. Stuttgart.

<sup>7)</sup> An der Entwicklung dieser Bauweise beteiligte sich die Firma Brown, Boveri & Cie., A.-G., Mannheim, Abt. Leitungsbau.

In unebenem Gelände müssen die Mastfüsse angepasst werden; bei kleinerem Geländeunterschied genügt es, die Fundamente entsprechend höher zu ziehen; andernfalls müssen Zusatzkonstruktionen vorgesehen werden. Die Traversen der Maste für 380-kV-Leitungen werden in der Regel feuerverzinkt, um aus Sicherheitsgründen Anstricharbeiten in Nähe der unter Spannung stehenden Leitungen zu vermeiden. Eine vollständige Verzinkung der Maste ist nicht üblich. Um die Ausleger der 380-kV-Maste leichter begehbar zu machen, werden an

der unteren, weit ausladenden Traverse Gehstege und in Greifhöhe liegende Haltestäbe angeordnet; Steigeisen werden an einem Eckstiel bis zur Mastspitze vorgesehen. Zur Erleichterung der Arbeiten

Fig. 16  
220-kV-Tragmast in Rohrgitterkonstruktion

im Betrieb und als Sicherheitsmaßnahme werden die Phasen durch Schilder gekennzeichnet.

Fig. 16 zeigt einen 220-kV-Tragmast in Rohrgitterkonstruktion; in Fig. 17 ist ein 380-kV-Trag-

mast in Winkelstahlkonstruktion, vorläufig belegt mit einem System für 220 kV, dargestellt.

Tabelle IV gibt eine Übersicht über die auf einen km Leitungslänge bezogenen Stahlgewichte und Betonmengen der ausgeführten 220- und 380-kV-Leitungen mit Bündelleitern. Die Gewichte steigen beim Leitungsverlauf durch Gegenden mit erhöhter Zusatzlast an; interessant ist die Einsparung von Mastgewicht bei Verwendung der Rohrgittermaste Bauart Motor-Columbus/Mannesmann-Werke.

*Stahlgewichte und Betonmengen pro km-Leitung*  
Tabelle IV

Leitung Nr.	Mastart	Stahlgewichte t/km	Betonmengen m <sup>3</sup> /km
1	Rohrgittermaste	20,3	90,0
2 <sup>1)</sup>	a) Winkelstahlgittermaste	39 ... 51	89...130
	b) Rohrgittermaste	36,5...36,8	104...107
3 u. 4	Winkelstahlgittermaste	59,5...70,5	122...149
5 <sup>1)</sup>	Winkelstahlgittermaste	73,0	107,0

<sup>1)</sup> Die Leitung verläuft durch Gegenden mit erhöhter Zusatzlast.

#### D. Gründung

Um das gesamte Bauwerk wirtschaftlich auszuführen, wird das Verhältnis von Tragwerkskosten zu den Gründungskosten eingehend untersucht. Die Spreizung der Maste, die sich bei der Bemessung der Gründung massgebend auswirkt, wird dadurch beeinflusst und eingeengt, dass die Bodennutzung in Deutschland sehr intensiv ist, so dass sehr grosse Mastspreizungen mit entsprechend kleineren Fundamenten in der Regel nicht möglich sind.

Die Eckstiele werden einzeln durch Stufenfundamente gegründet. Im allgemeinen wird bei der Festlegung der Fundamenttypen nach der Tragfähigkeit des Baugrundes unterschieden und danach, ob die Fundamente in standfestem Boden an diesen anbetoniert werden können, oder in weniger standfestem Boden dadurch eine entsprechend geringere Einspannung im Boden erhalten, dass die Baugrube bis zur Sohle geschalt werden muss. Die Fundamenttypen für einen 380-kV-Trag- und Abspannmast sind in Fig. 18 aufgezeichnet. In Fig. 19 wird die Ausbildung einer Gründung mit Mastfuss im Hochwassergebiet gezeigt.

Um die Standsicherheit der einzelnen Fundamente gegen Zugbeanspruchung möglichst zutreffend zu erfassen, wurden verschiedene Fundamentversuche durchgeführt. Das Ergebnis dieser Versuche trug dazu bei, dass die Tragfähigkeit mit mehr Sicherheit beurteilt und Material eingespart werden kann. Sofern Leitungsstrecken mit hohem Grundwasserstand auftreten, ist auch an eine Gründung der 220- und 380-kV-Tragmästen mit Betonfertigteilfundamenten und zwar mit sogenannten Einsetzfundamenten (Fig. 18c) gedacht. Bei Verwendung solcher Gründungen lassen sich vor allem die erhöhten Aufwendungen für Wasserhaltung einsparen.

Die Betonfundamente werden in der Regel nicht bewehrt; die Eckstiele gehen bis zur Sohle durch. Neben Stampfbeton verwendet man auch Rüttelbeton, der mit Hilfe von Tauchrüttlern verdichtet wird. Die Zementzugabe pro m<sup>3</sup> Beton beträgt in

der Regel 200 kg; auf eine einwandfreie Güte der Zuschlagstoffe wird grosser Wert gelegt. Wenn der Beton besonders geschützt werden muss, genügt in der Regel die Verwendung von Sonderzementen wie «Trasszement» oder «Thurament», ausserdem werden mitunter Schutzanstriche auf Bitumenbasis vorgenommen.

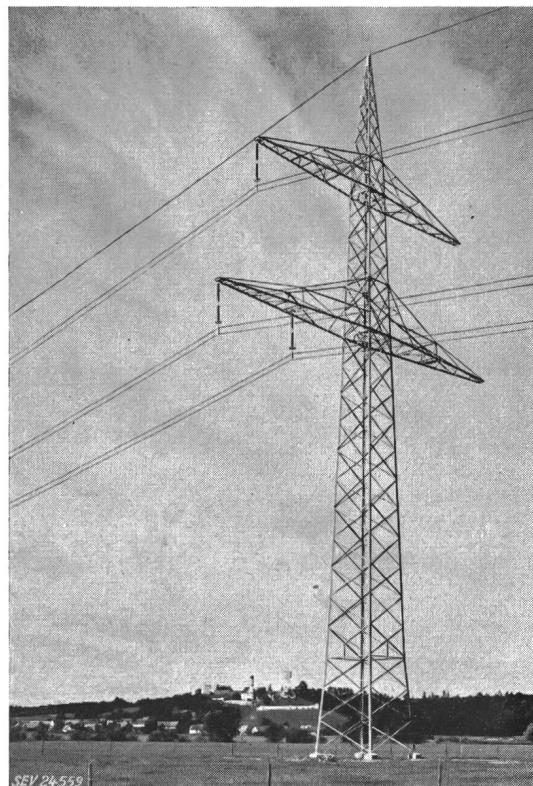


Fig. 17  
380-kV-Tragmast in Winkelstahlkonstruktion

Die für die bisher ausgeführten Leitungen benötigten Betonmengen pro km sind in der Tabelle IV angegeben.

#### E. Erdung

Blitz einschläge in das Erdseil oder in den Mast sollen durch niederohmige Widerstände nach der Erde abgeleitet werden. Der Ausbreitungswiderstand darf einen bestimmten Wert nicht überschreiten.

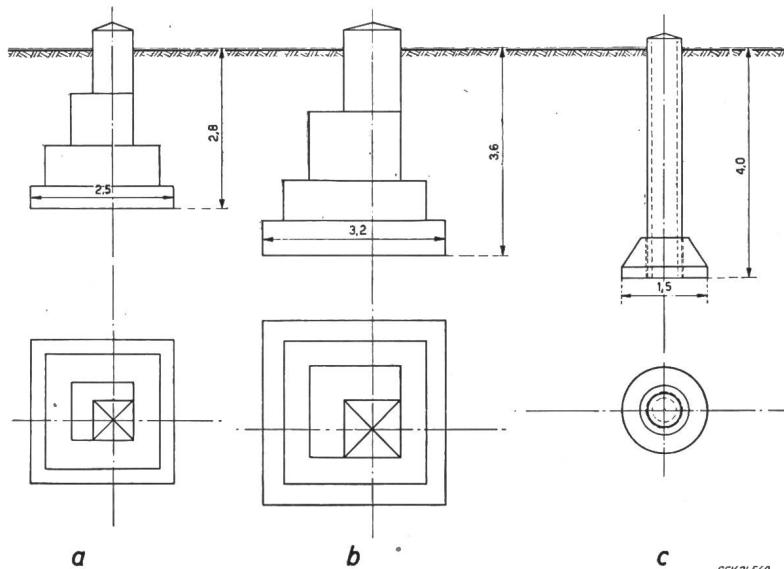
Da die 220- und 380-kV-Leitungen künftig grundsätzlich mit starr geerdetem Sternpunkt betrieben werden, muss bei Erdschluss eine schnelle Abschaltung erfolgen. Um Schritt- und Berührungsspannung herabzusetzen, erhalten die Masterdungen eine Potentialsteuerung, für welche beispielsweise zusätzlich zu einem am Mastfundament eng anliegenden Erdungsband aus verzinktem Bandeisen mit den Abmessungen etwa 40 × 4 mm in 0,1 m Tiefe unter Erdoberfläche Ringerder in 1 m Entfernung von den Betonfundamenten in 0,2...0,5 m Tiefe verlegt werden. In der Nähe verkehrsreicher Fahrwege, in Ortschaften usw. dürfen besonders vorgeschriebene Schritt- und Berührungsspannungen nicht überschritten werden. Fig. 20 zeigt in schematischer

Darstellung einen Ringerder um eine Gründung mit Einzelfundamenten. In der Regel reichen diese Massnahmen aus; Zusatzerder, wie Bodenseile zur weiteren Verbindung von Mast zu Mast, wurden bis jetzt noch nicht benötigt.

### F. Montage

Die Winkelstahlmaste werden in der Regel gestockt; für die Montage der verhältnismässig schweren Mastwände, Mastschüsse und Traversen benötigt man einen oder zwei Stockbäume mit Längen bis zu 20 m. Die Rohrgittermaste werden ebenfalls mit Hilfe von Stockbäumen im unteren Teil stab- oder wandweise hochgeschraubt; danach werden für den

Fig. 18  
Fundamente in normalem Baugrund für  
380-kV-Leitungen  
c Einsetzfundamente für Tragmaste  
a für Tragmaste  
b für Abspannmaste



oberen Mastteil ganze Schüsse und die Traversen hochgezogen und montiert.

Der Seilzug erfolgt schleiffrei, d. h. die Seile werden über Seillaufrollen gezogen und durch Abbremsen an der Seiltrommel und mittels einer zusätzlichen Bremseinrichtung bodenfrei gehalten. Die Seilspannung beträgt etwa 60 % der Höchstzugspannung. Eine sichere Verbindung mit Feld-

stellen mit stark befahrenen Strassen und Eisenbahnen müssen durch sorgfältig ausgeführte Gerüste abgedeckt und geschützt werden.

Für den Seilzug der Bündelleiter können grundsätzlich die gleichen Maschinen, wie sie sonst üb-

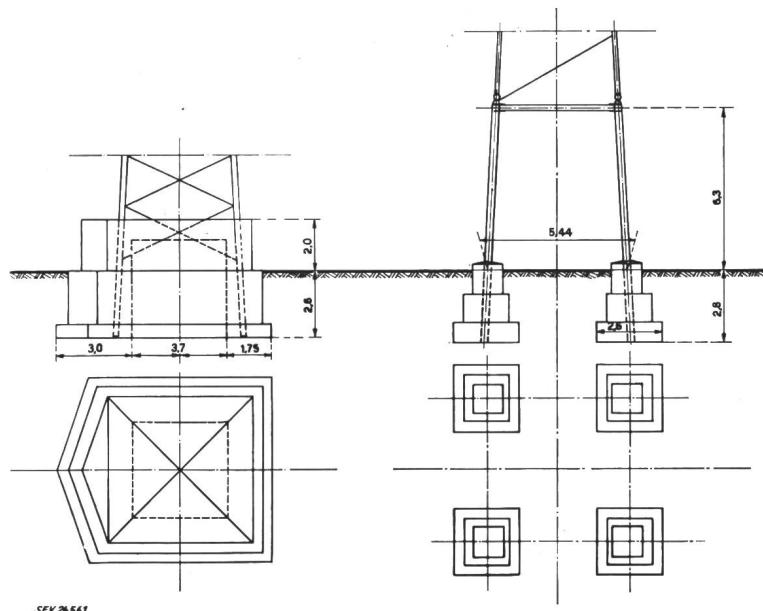


Fig. 19  
Ausführungsbeispiele für Hochwasserfundamente

telefonen zwischen Zug- und Bremseinrichtung muss gewährleistet sein. An Kreuzungen mit anderen Starkstromleitungen, Eisenbahnen, Strassen, Autobahnen, Wasserstrassen und ähnlichen Hindernissen werden besondere Massnahmen getroffen. Wenn eine gekreuzte Starkstromleitung abgeschaltet werden kann, empfiehlt es sich, deren Leiterseile während des Seilzugs abzunehmen. Kreuzungs-

Kupplung mit einem entsprechenden Motorfahrzeug angetrieben. Eine Mehrfachseilbremse und eine Regulierwinde während des Ausziehens eines Zweierbündels ist aus Fig. 21 ersichtlich.

Die Feld-Abstandhalter werden mit Hilfe von Montagewagen, die von Hand oder motorisch angetrieben sind, eingebaut. Es wird dabei besonders darauf geachtet, dass ein Herausspringen der Rol-

len aus den Seilen mit Sicherheit vermieden wird und einwandfrei gebremst werden kann. Die Wagen haben sich auch in verhältnismässig grossen Steigungen in Weitspannfeldern gut bewährt. Fig. 22

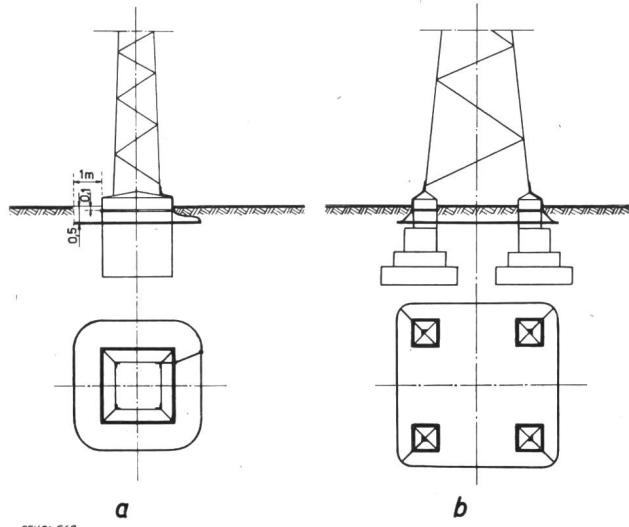


Fig. 20  
Ringerder

a um ein Blockfundament  
b um ein Vierblockfundament

zeigt das Setzen der Abstandhalter in einer Leitung mit Zweierbündeln in waagrechter Anordnung; Fig. 23 stellt das Umsetzen eines Montagewagens für Zweierbündel in senkrechter Anordnung an einer Hängekette dar.

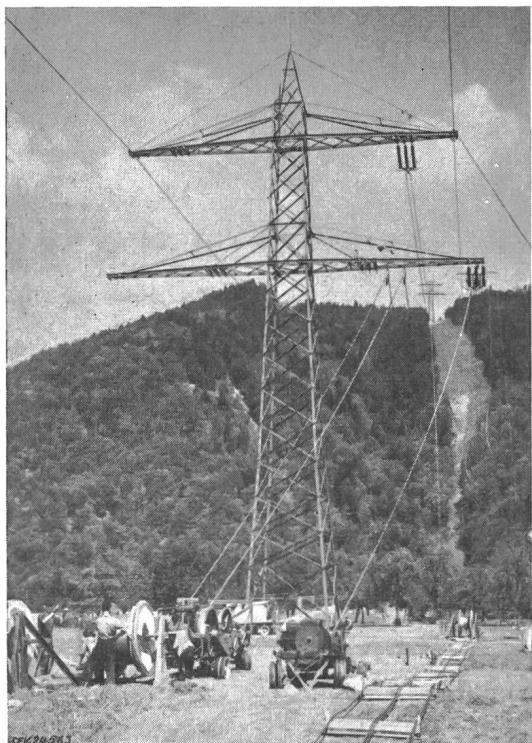


Fig. 21  
Seilzugarbeiten  
Ausziehen eines Zweierbündels



Fig. 22  
Setzen der Feldabstandhalter im Zweierbündel  
mit waagrechter Anordnung

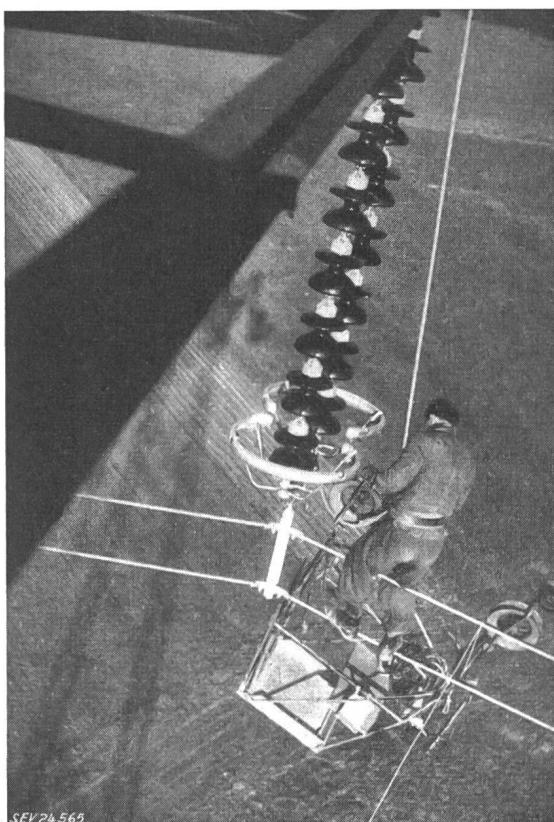


Fig. 23  
Setzen der Feldabstandhalter  
Umsetzen des Montagewagens für Zweierbündel mit  
senkrechter Anordnung an einer Hängekette

Das Einregulieren des Durchhanges erfolgt in der Regel durch Einvisieren mittels Messlatten; bei grossen Durchhängen und Höhenunterschieden muss der Durchhang mit Nivellierinstrumenten eingemessen werden. Um das sogenannte Recken der Seile zu berücksichtigen, ist es üblich, das Seil mit etwa 3 % kleinerem Durchhang zu verlegen.

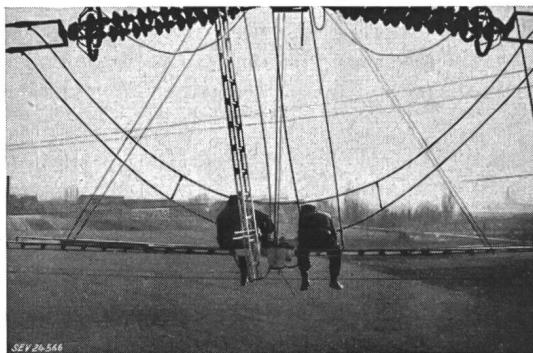


Fig. 24  
Schliessen der Stromschlaufe eines Zweierbündels mit senkrechter Anordnung

Als zugfeste Feldverbinder werden in der Regel die Kerbverbinder eingebaut. Für das Stahlaluminiumseil 240/40 werden z. B. zwei Kerbverbinder mit je 52 cm Länge benötigt. Die Erfahrung zeigt, dass unter dem mechanischen Zug der Kontakt-

druck so verstärkt wird, dass keine Störungen auftreten. In den zugentlasteten Verbindungen der Stromschlaufen ist vor allem dafür zu sorgen, dass der Kontaktdruck genügend gross ist, damit immer eine metallische Berührung zwischen Klemme und Seil vorhanden ist und eine Verschlechterung des Kontaktes durch Oxydation zuverlässig vermieden wird. In der Regel werden Kerbverbinder oder Deckelstromklemmen, mit kräftigen Federplatten zur Erzielung eines ausreichenden Kontaktdruckes versehen, eingebaut. Die sogenannte Alutherm-Schweissverbindung hat sich bis jetzt noch nicht im grossen Umfang durchgesetzt. Bei dieser Art der Verbindung erhält man an der Verbindungsstelle einen homogenen Gusskörper, der mindestens die gleiche Leitfähigkeit wie die verbundenen Seile hat. Für die zugentlastete Stromschlaufenverbindung braucht keine zusätzliche Verstärkung vorgesehen werden. Fig. 24 zeigt das Schliessen der Stromschlaufe eines Zweierbündels.

Mit dem Bau der ersten Bündelleitungen wurde in Deutschland vor 5 Jahren begonnen. Abgesehen von ganz vereinzelten Fällen, in denen infolge von Böen und Stürmen Zweierbündel umschlugen, ohne dass dadurch die Betriebsfähigkeit beeinträchtigt wurde, sind Störungen bis heute nicht bekannt geworden.

Adresse des Autors:

Dipl. Ing. H. Mors, Oberingenieur der Brown, Boveri & Cie., A.-G., Augusta-Anlage 7...11, Mannheim.

## L'échauffement des conducteurs câblés de lignes aériennes

Par V. Lang, Baden

621.315.145 : 621.3.017.71

*Description d'un abaque permettant de déterminer rapidement l'échauffement d'un conducteur quelconque, en fonction de la charge et pour différentes vitesses de vent.*

*Es wird die Verwendung eines Diagramms beschrieben, welches für einen beliebigen Leiter und für verschiedene Windgeschwindigkeiten, die Leiter-Erwärmung in Funktion der Belastung rasch abzulesen ermöglicht.*

Le constructeur de lignes aériennes a souvent besoin de déterminer, d'une manière simple et rapide, la température maximum d'un conducteur câblé chargé par le courant, pour différentes vitesses de vent. L'abaque (fig. 1) qu'utilise depuis plus de 20 ans la S. A. Motor-Columbus, Baden, est d'un emploi universel et suffisamment précis pour les différentes lignes aériennes. Il répond parfaitement aux exigences de la pratique. Nous en expliquerons brièvement la construction et en donnerons un exemple d'utilisation.

Les courbes de températures sur lesquelles est basé cet abaque, et qui indiquent la température des conducteurs en fonction de l'échauffement pour différentes vitesses de vent, ont été déterminées expérimentalement dans une petite soufflerie. Pour des raisons d'ordre technique, il n'avait été possible de procéder au soufflage que dans le sens longitudinal des conducteurs chauffés par court-circuitage, ce qui permettait d'obtenir une répartition uniforme du vent sur une longueur de mesure suffisante et des vitesses de vent jusqu'à 12 m/s. On avait

essayé des conducteurs câblés en différents métaux et de différentes sections.

Les résultats de ces mesures permirent de déterminer les coefficients  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  et les exposants  $a$  et  $b$  de l'équation (1) relative à la chaleur, pour l'état stationnaire. On sait que cet état s'établit dès que la température maximum du conducteur est atteinte, pour une intensité de courant donnée, et que toute l'énergie par effet Joule se dissipe dans l'air.

Dans ces conditions, on a :

$$I^2 R = Q = k_1 \cdot \Delta t^a (1 + k_2 v^b) + k_3 \left[ \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 \right] \quad (1)$$

où  $Q$  est la quantité de chaleur dissipée dans l'air, en  $\text{W}/\text{m}^2$  de surface du conducteur,

$\Delta t$  la surélévation de température du conducteur, en  $^{\circ}\text{K}$ ,

$v$  la vitesse du vent, en  $\text{m}/\text{s}$ ,

$T_1$  la température de l'air, en  $^{\circ}\text{K}$ , et

$T_2$  la température du conducteur, en  $^{\circ}\text{K}$ .