Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 47 (1956)

Heft: 12

Artikel: Die Maste der Gotthardleitung nach zwanzigjähriger Betriebszeit

Autor: Dreier, M.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1060095

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: 08.08.2025

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

47. Jahrgang Nr. 12 Samstag, 9. Juni 1956

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

GEMEINSAMES PUBLIKATIONSORGAN
DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS (SEV) UND
DES VERBANDES SCHWEIZERISCHER ELEKTRIZITÄTSWERKE (VSE)

Die Maste der Gotthardleitung nach zwanzigjähriger Betriebszeit

Von *M. Dreier*, Baden

621.315.668.2.004.6(494)

Die 150/225/380-kV-Gotthardleitung war Ende 1932 fertiggestellt. Ihre Maste wurden 1953 eingehend kontrolliert. Der Verfasser beschreibt deren Zustand nach zwanzigjähriger Betriebszeit, gibt an, wie einzelne Mängel behoben wurden, und zieht daraus Schlüsse, die für die Konstruktion von Masten für Hochgebirgsleitungen allgemeine Gültigkeit haben.

La ligne à 150/225/380 kV franchissant le massif du Gothard a été terminée avant la fin de 1932. Ses pylônes ont été contrôlés en détail en 1953. L'auteur décrit leur état après vingt ans de service, indique comment les diverses insuffisances ont été éliminées et en tire des conclusions générales valables pour la construction des pylônes des lignes en haute montagne.

A. Allgemeine Daten

Die Gotthardleitung beginnt in Lavorgo, überquert den St.-Gotthard-Pass (2120 m ü. M.) und endigt in Amsteg. Die 56 km lange Leitung, deren Maste für eine spätere Betriebsspannung von 380 kV vorgesehen sind, wurde anfangs Januar 1933 dem Betrieb übergeben [1; 2][1]). Sie wurde bis Herbst 1955 mit einer Spannung von 150 kV betrieben; am 5. Oktober 1955 erfolgte die Umschaltung auf 225 kV. Im Hinblick darauf waren im Jahre 1953 die 230-mm²-Kupferleiter durch 550-mm²-Aldrey-Seile ersetzt und das Isolations-Niveau erhöht worden. Bei dieser Gelegenheit verstärkte man — zur Vergrösserung der Torsionsfestigkeit — die Eckstiele einiger Tragmaste. Diese waren nämlich — entsprechend den Schweizer Vorschriften [2]) — nicht auf Leiterbruch dimensioniert worden. Ferner erhöhte man gleichzeitig die Spitzen der Abspannmaste, die das Erdseil tragen, um einen bessern Blitzschutz zu erzielen.

B. Die Kontrolle der Maste

Um den Zustand der Maste nach gut zwanzigjähriger Betriebszeit der Leitung festzustellen, damit vor dem Übergang auf 225 kV eventuell nötige Reparaturen oder Verstärkungen hätten angeordnet werden können, und um weitere Erfahrungen über das Verhalten von Masten im Hochgebirge zu sammeln, wurden im Sommer 1953 sämtliche Maste der Gebirgsstrecke von Airolo bis Göschenen überprüft. Zwei Leitungswärter bestiegen hiezu diese 60 Tragwerke und kontrollierten systematisch jeden Stab und jeden Knotenpunkt. Von jedem Mast wurde ein Protokoll aufgenommen und darin die festgestellten Unregelmässigkeiten, wie z. B. Durchbiegungen von Stäben, vermerkt. Im folgenden soll vom Resultat dieser Kontrolle die Rede sein.

[1]) siehe Literatur am Schluss der Arbeit.
[2]) Verordnung über die Erstellung, den Betrieb und den Unterhalt von elektrischen Starkstromanlagen vom 7. Juli 1933, Kapitel VI, Leitungen.

1. Füllstäbe

Die für die Maste der Gotthardleitung verwendete Form und Konstruktionsart, nämlich Portalmaste aus Winkeleisen mit horizontal liegenden Traversen von 18 bis 25 m Länge — entsprechend Leiterabständen von 9 bis 12,5 m — und mit einer Grundfläche von im Mittel 9 × 6 m, bedingt zahlreiche Füllstäbe (Fig. 1). Dies sind Konstruktionselemente, die primär keine Kräfte zu übertragen haben, sondern lediglich die Kraftstäbe stützen, d. h. deren Knicklänge unterteilen sollen. An diesen Füllstäben wurden die hauptsächlichsten Unregelmässigkeiten festgestellt.

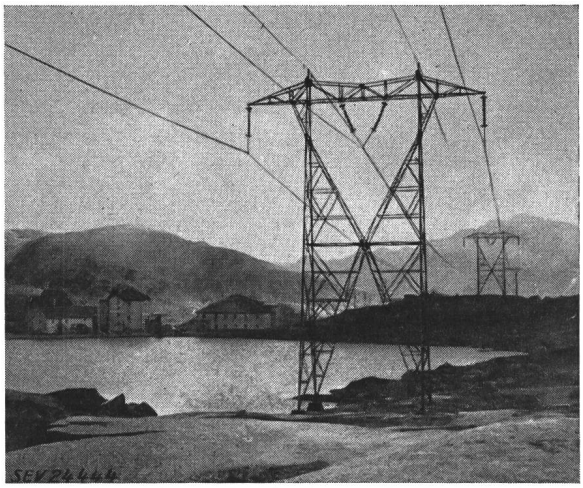

Fig. 1
Tragmast beim St. Gotthard-Hospiz

Fig. 2 zeigt einen verbogenen Füllstab. Die Ausbiegung dieses Winkelprofiles 80 × 80 × 8 mm betrug 11 cm. Seine Lage im Mast ist in Fig. 6 ersichtlich. An mehr als der Hälfte aller kontrollierten Maste waren an den entsprechenden Stäben ähnliche Ausbiegungen — allerdings nicht überall in dieser Grössenordnung, aber immer nach unten ge-

richtet — vorhanden. Je kürzer die Mastbeine, d. h. je näher diese Stäbe am Boden angeordnet sind, um so grösser war in der Regel ihre Durchbiegung. Auch war diese an Stellen, wo grössere Schneehöhen aufzutreten pflegen, grösser als in weniger

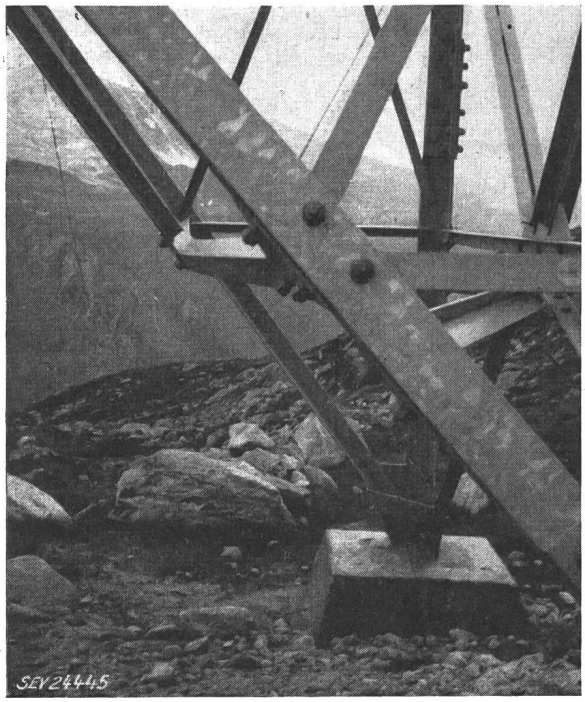

Fig. 2
Ausgebogener Füllstab (Bildmitte)

exponierten Lagen. Es muss daraus geschlossen werden, dass die Durchbiegungen infolge Schneeauflast entstanden sind. Damit in diesen Stäben bleibende Deformationen auftreten können, ist eine Mittellast von mindestens 500 kg oder eine gleichmässig auf den ganzen Stab verteilte Belastung von ca. 200 kg/m nötig. Es braucht also beachtliche Schneemengen, um diese Durchbiegungen hervorzurufen. Man versteht jedoch diese Kräfte, wenn man weiss, dass im Gebirge Schneehöhen bis 4 m, besonders an Verwehungsstellen, keine Seltenheit sind und wenn man bedenkt, dass sich dieser Schnee im Frühling nicht mehr auf den Boden abstützen kann, sondern sich als Naßschnee im Mast festhängt, weil die unterste Schicht infolge der Bodenwärme wegschmilzt.

Ungünstig wirkt sich aus, dass in der Mitte dieses Füllstabes zwei weitere Füllstäbe angeschlossen sind, welche den ersten wohl in einer Ebene halten, aber die Ausbiegung in der andern Ebene dadurch begünstigen, dass sie das Kompaktbleiben grösserer Schneemengen und somit eine Vergrösserung der Auflast bewirken.

Einfache, nicht in einer Ebene gehaltene Füllstäbe zeigten keine systematischen Verkrümmungen, und zwar weil:

a) hier das Ansetzen grösserer Schneemengen nicht möglich ist und

b) diese einfachen Stäbe bei der Dimensionierung auf maximalen Schlankheitsgrad ohnehin biegungssteifer werden als die beschriebenen. Denn, nimmt man an, dass für die Dimensionierung einzig das Verhältnis der Knicklänge zum Trägheitsradius $\lambda \leq 200$ bestimmend war, so ist für die einfachen Füllstäbe λ_η, für die in einer Ebene gehaltenen jedoch λ_x massgebend. Wählt man aber zwei Stäbe so, dass beim einen $\lambda_\eta = 200$ und beim andern $\lambda_x = 200$ beträgt, so stellt man fest, dass das minimale Widerstandsmoment W_η des ersten Stabes fast dreimal so gross ist als das Widerstandsmoment, bezogen auf die x-Achse W_x des zweiten.

Die Stäbe, welche die Gurtungen mit dem Schnittpunkt der Hauptdiagonalen in der Wand senkrecht zur Leitungsrichtung verbinden, wiesen ebenfalls bei vielen Masten Durchbiegungen auf. Auch hier sind in der Mitte der freien Länge wohl Horizontal-, aber keine Vertikalstäbe angeschlossen (Fig. 1 und Fig. 8). Man muss annehmen, dass sich auch hier, wo der «Bodenschnee» nicht hinreicht, Zusatzlast in einem solchen Ausmass angesetzt hat, dass es zu Durchbiegungen dieser Füllstäbe kam. Hiefür ist eine Schneeauflast von rund 150 kg/m oder eine Mittellast von 300 kg nötig.

2. Stösse

Bei den Tragmasten sind die Hauptdiagonalen in den Breitwänden gestossen. Fig. 3 zeigt, dass diese Stösse nur mit Aussenlaschen ausgebildet wa-

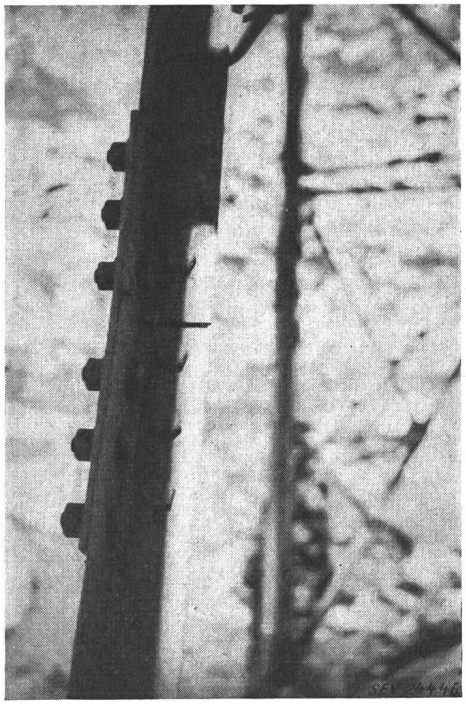

Fig. 3
Stoss der Hauptdiagonalen
(Der Knick kann durch Anlegen eines Lineals festgestellt werden)

ren. Das Fehlen der Innenlaschen bedingte eine exzentrische Kraftübertragung, weshalb auch bei diesen Stössen durchwegs mehr oder weniger grosse Knicke festgestellt wurden. Diese waren besonders gross bei den Druckdiagonalen der Tragwinkelmaste, wo die grössten Kräfte auftreten. In einem

Fall wurde z. B. an der Rückenkante ein Abstand zwischen den beiden gestossenen Profilen von 3,5 mm und aussen an den beiden Flügeln ein solcher von 7,5 mm gemessen. Ausbiegungen aus der Achse von 3 bis 4 cm an der Stoßstelle waren keine Seltenheit.

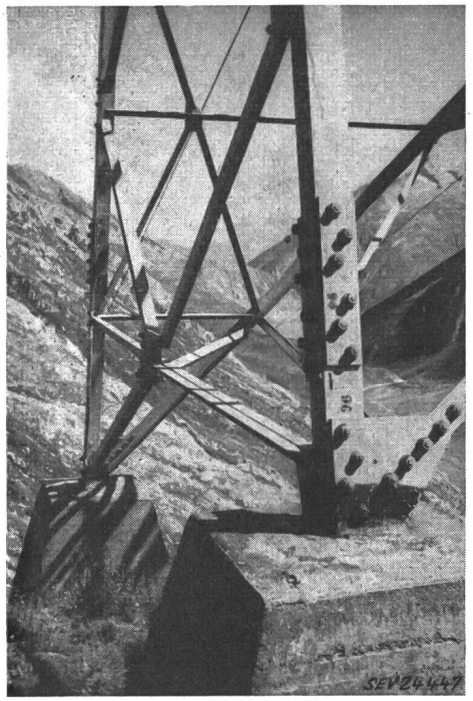

Fig. 4
Kurze Beine eines Mastes am Steilhang

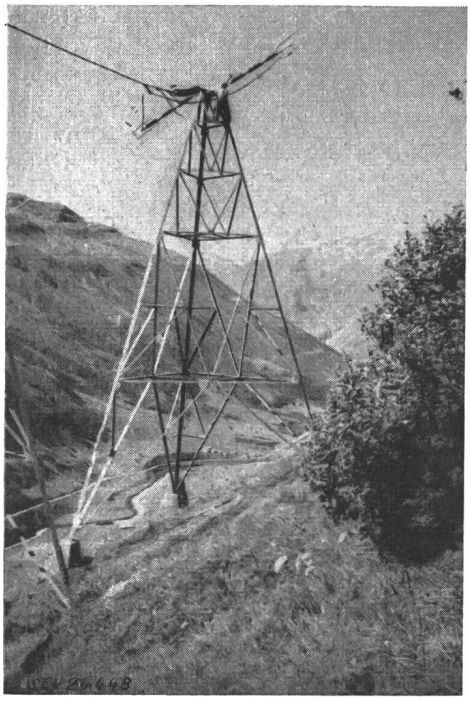

Fig. 5
Mast der Urserenkreuzung
Spannweite 1037 m

3. Ausbildung der Mastbeine

Die beiden bergseitigen Beine einiger weniger Maste an Steilhängen waren gemäss Fig. 4 konstruiert. Der unterste Herzpunkt der Schmalwand war in Bodennähe angeordnet. Demnach waren nebst den unter 1. beschriebenen Füllstäben auch wichtige Kraftstäbe dem Schnee und dessen Kriechdruck ausgesetzt. Die Auswirkungen dieser Kräfte waren einerseits an Stabverkrümmungen und anderseits daran erkennbar, dass der Herzpunkt nach innen gedrückt war.

Die Diagonalen der zwei talseitigen Beine der Maste der Urserenkreuzung waren ebenfalls bis 5 cm aus der Achse ausgebogen (Fig. 5). Für diese Stäbe sind zu schlanke U-Profile (λ bis 240) gewählt worden, die überdies exzentrisch, nur an einem Schenkel angeschlossen und nur in der Ebene senkrecht zur i_{min}-Achse ausgefacht sind. Diese Ausfachung ist wohl richtig für reine Knickbeanspruchungen, kann den Stab aber gegen Ausbiegungen infolge Kriechschneedruckes nicht halten (siehe talseitige Diagonalen in Fig. 5).

4. Verzinkung

Sämtliche Maste der Gotthardleitung, die ein Totalgewicht von etwa 2000 t aufweisen, sind vollständig feuerverzinkt. Ausser einigen eng begrenzten Beschädigungen der Zinkhaut, die auf unsachgemässe Behandlung beim Transport und der Montage zurückzuführen sind, wurde die Verzinkung überall in einwandfreiem Zustand angetroffen.

C. Behebung der Schäden

Wenn auch das Ausmass der festgestellten Schäden nicht alarmierend war, wollte die Besitzerin der Leitung, die Aare-Tessin A.-G., Olten und Bodio, diese doch beheben lassen, und zwar besonders im Hinblick auf die Vergrösserung der Belastungen beim Übergang auf 225 kV.

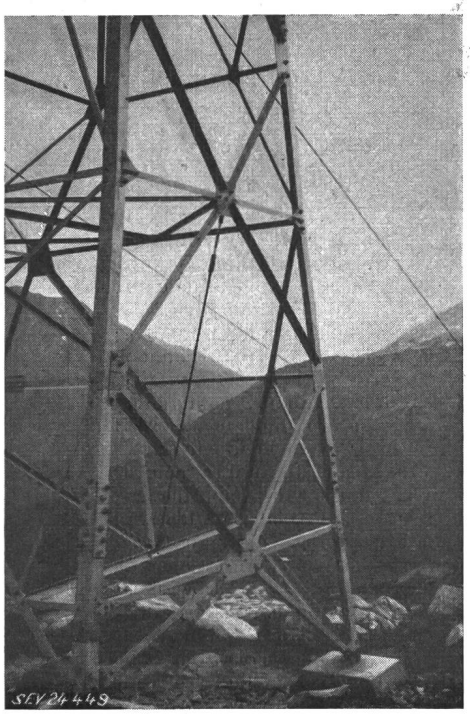

Fig. 6
Montiertes Spannseil mit Spannschloss

1. Füllstäbe

Verkrümmungen von Füllstäben bewirken Zwängungen und Ausbiegungen von Kraftstäben, d. h. eine Verminderung der Knickfestigkeit derselben. Ein Ersetzen der gemäss Fig. 2 verbogenen Stäbe durch grössere Profile hätte wohl eine Vergrösserung der Biegefestigkeit bewirkt. Man zog jedoch eine andere, einfachere und zugleich wirksamere Massnahme vor: der Knotenpunkt in der Mitte des ausgebogenen Stabes wurde durch ein Spannseil mit dem Herzpunkt in der Schmalwand auf der Höhe des Haupt-Horizontalverbandes verbunden (Fig. 6). Die Seil-Endlaschen wurden bei schlaffem Seil mit bereits vorhandenen Schrauben befestigt, hierauf das Spannschloss angezogen bis der Füllstab beinahe gerade war (Fig. 7). Die beschriebene Konstruktion ermöglichte das Richten der krummen Stäbe ohne deren Ausbau, dabei erhielt das Seil zugleich die nötige Vorspannung. Der Füllstab ist nun in der Mitte einwandfrei gehalten.

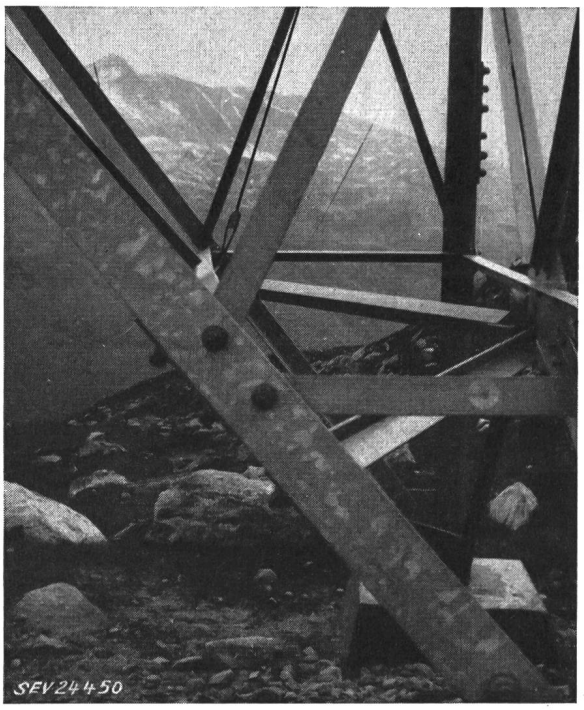

Fig. 7
Derselbe Füllstab wie in Fig. 2
jedoch nach der Montage des Spannseiles

Bei den Masten mit verbogenem Horizontalverband wurden die Trapeze über demselben durch zwei weitere Füllstäbe ausgefacht und somit die krummen Stäbe — nachdem sie am Mast gerichtet worden waren — an der kritischen Stelle gehalten (Fig. 8).

2. Stösse

Die Art der Ausbildung der Stösse hat auf die Knickstabilität des gestossenen Stabes einen grossen Einfluss [3]. Die beschriebenen Stösse wurden deshalb durch Innenlaschen verstärkt.

3. Mastbeine

An drei Masten an Steilhängen wurden die extrem kurzen Beine gemäss Fig. 9 neu konstruiert. An den Eckstielen musste dabei nichts geändert werden — was wichtig ist, weil diese feuerverzinkt sind —; für den Anschluss der neuen Stäbe wurden die bestehenden Bohrungen benützt. Das Auswechseln der Stäbe bei unter Spannung stehender Leitung bereitete keine Schwierigkeiten.

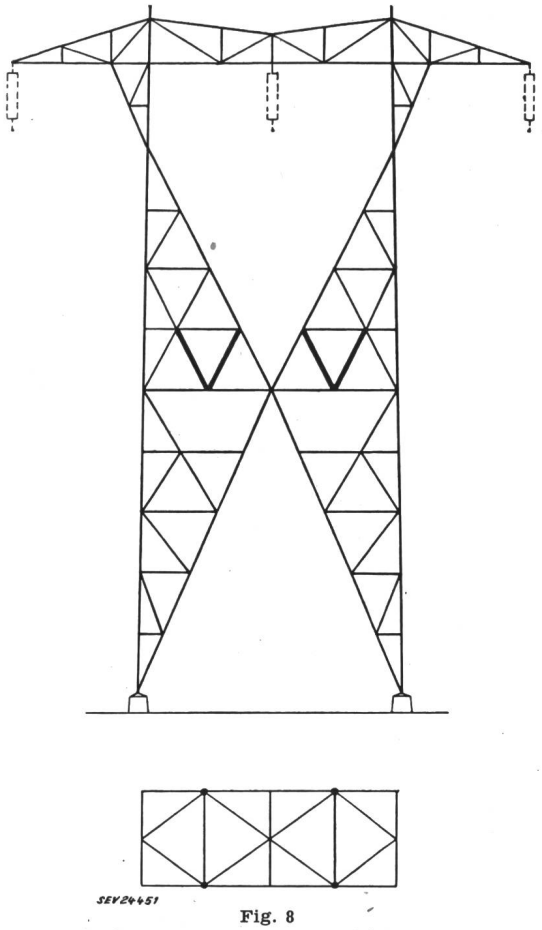

Fig. 8
Zusätzliche Ausfachungen zur Fixierung des Horizontalverbandes
——— neue Stäbe

Die Beine der Dreiecksmaste der Urserenkreuzung wurden durch zusätzliche Ausfachungen verstärkt.

D. Schlussfolgerungen

Die Belastungsbedingungen, denen die Maste von Hochgebirgsleitungen unterliegen, sind besonders streng. Die wirklich auftretenden Belastungen kommen hier — vielleicht im Gegensatz zu den Verhältnissen bei Talleitungen — an die in der statischen Berechnung der Maste angenommenen heran, oder übersteigen diese sogar. Um so wertvoller sind deshalb die Lehren, welche aus dem Verhalten von Tragwerken abgeleitet werden können, die schon mehr als zwanzig Jahre diesen härtesten klimatischen Bedingungen ausgesetzt waren.

Die hauptsächlichsten, auf Grund der erwähnten Beobachtungen ableitbaren Folgerungen, die bei der Konstruktion von Gittertragwerken im Gebirge berücksichtigt werden sollten, seien nachstehend zusammengefasst:

1. Füllstäbe sind nach Möglichkeit zu vermeiden, und zwar besonders im Tragwerk-Unterteil.

2. Der Schlankheitsgrad auch von Füllstäben soll in keinem Fall grösser als 200 gewählt werden.
3. Jeder Stab soll bei normalem Sicherheitsgrad einer vertikal gerichteten Schneeauflast von ca. 150 kg/m standhalten können. Für Stäbe im Bereich des Bodenschnees soll dieser Wert auf 200 kg/m erhöht werden.
4. Der Ausbildung der Mastbeine im Bereich von Kriechschnee ist besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Hier sind Konstruktionen aus aerodynamisch günstigen Profilen, die nur die absolut notwendigen Kraftstäbe aufweisen, im Vorteil.
5. Die Knotenpunkte, Stabanschlüsse und -stösse sollen sorgfältig und möglichst ohne exzentrische Kraftübertragung ausgebildet werden.
6. Die Feuerverzinkung kann auch im Gebirge als zuverlässiger und dauerhafter Rostschutz angesprochen werden.

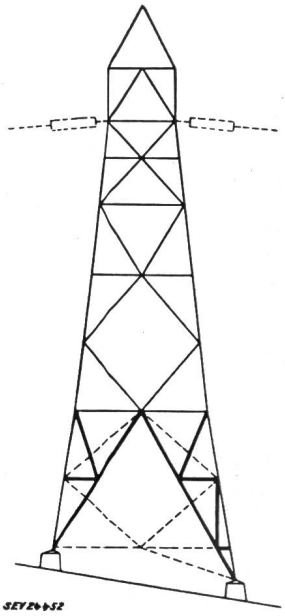

Fig. 9
Höherlegen des Herzpunktes bei Masten mit extrem kurzen Beinen
----- ursprüngliche Konstruktion
——— neue Stäbe

Fig. 10 zeigt ein Tragwerk, das die obigen Forderungen erfüllt. Ähnliche Maste wurden für die zweite Alpenleitung der Aare-Tessin A.-G., nämlich für die 225/380-kV-Lukmanierleitung, verwendet [4]. Bei diesen Masten bestehen die Eckstiele aus Stahlrohren, welche nach der Montage des Masts mit Beton gefüllt werden; die Hauptdiagonalen sind Stahlseile und die übrigen Stäbe leere Rohre. Mit Ausnahme von 5 Stäben im Horizontalverband weist der ganze Mastschaft keine Füllstäbe auf. Der Bodenschnee hat ausser den Seilen keine Angriffsflächen und der Kriechschnee nur die zylindrischen — also strömungstechnisch günstigen — und robusten Eckstiele. Auch die Windangriffsfläche ist auf ein Minimum reduziert. Sämtliche Stäbe sind genau zentrisch angeschlossen, und auch die Eckstielstösse sind frei von exzentrisch wirkenden Kräften.

Die Erfahrungen mit den Masten der Gotthardleitung zeigen also unter anderem, dass ausser den in der Verordnung über Starkstromanlagen vorgeschriebenen Belastungen besonders im Gebirge noch andere Einflüsse wirksam sind, welche die Sicherheit der Tragwerke vermindern können. Um den beschriebenen Einflüssen beizukommen, wäre es aber nicht der richtige Weg, den ohnehin schon reichlichen — für die Torsionsbelastung der Abspannmaste vielleicht zu reichlichen — Sicherheitsfaktor oder die bisher angenommenen Belastungen noch zu erhöhen. Vielmehr hat sich der Konstrukteur zum vornherein von sämtlichen Beanspruchungsarten klar Rechenschaft zu geben und diese bei der Berechnung und konstruktiven Ausbildung seiner Tragwerke in ihrer richtigen Wirkungsweise und nicht durch Einführen eines sogenannten Angstfaktors bei einer andern Belastungsart zu berücksichtigen. Der Sicherheitsfaktor soll nur so gross gewählt werden, als die noch verbleibenden Ungewissheiten in den Belastungen und dem verwendeten Material es erfordern. Nur auf diese Weise können zugleich wirtschaftliche und allen Erfordernissen des Betriebs gerecht werdende Bauwerke geschaffen werden.

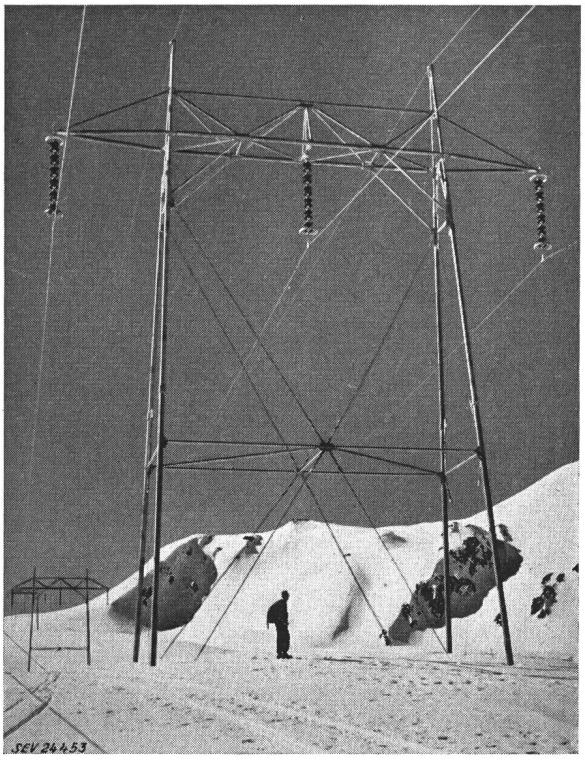

Fig. 10
Tragmast der 225-kV-Leitung auf dem San Giacomo-Pass

Literatur

[1] *Niesz, H.:* La ligne à haute tension du Gothard et sa construction. Mém. Soc. Ing. civ. France Bd. 89(1936), Nr. 2, S. 207...237.
[2] *Motor-Columbus A.-G.:* Von der Gotthardleitung und ihrem Bau. NZZ Jg. 1933, 24. Oktober, Nr 1924.
[3] *Dreier, M.:* Essais de pylônes d'Erlinsbach. Contribution à l'étude du degré d'encastrement des membrures principales des pylônes en treillis. Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques (CIGRE), Paris 1956, Rapp. 212.
[4] *Vögeli, R.* und *R. Leresche:* Die neue Alpenleitung der Atel. Bull. SEV Bd. 42(1951), Nr. 3, S. 77...81.

Adresse des Autors:
M. Dreier, Ingenieur, Motor-Columbus A.-G., Baden.