

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 66 (1948)
Heft: 40

Artikel: Neue Hochspannungs-Leitungsmasten
Autor: Motor Columbus AG (Baden)
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-56806>

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: 08.07.2025

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

Neue Hochspannungs-Leitungsmasten

Nach Mitteilungen der Motor-Columbus A.-G., Baden

1. Die Konstruktion

DK 621.315.668.1

Die meisten Weitspannleitungen sind bisher mit Gittermasten aus Winkeleisen gebaut worden, wozu erhebliche Stahlmengen erforderlich sind. So werden z. B. für eine einsträngige 150 kV-Leitung nach üblicher Bauart und berechnet für schweizerische Verhältnisse 18 bis 20 t/km Stahl benötigt. Die Kosten der Masten allein betragen ungefähr die Hälfte der Gesamtkosten einer Leitung. Unter diesen Umständen war eine systematische Untersuchung der Möglichkeiten angezeigt, den Eisenbedarf und die Erstellungskosten solcher Leitungsmasten zu verringern.

Die Nachprüfung der Beanspruchungen der einzelnen Konstruktionselemente an einer grossen Anzahl ausgeführter Gittermasten üblicher Bauart aus Winkeleisen zeigte eine geringe, mit zunehmender Betriebsspannung stark abnehmende Materialausnutzung (Bild 1). Der verwendete Stahl darf nach den geltenden Vorschriften auf Zug, Druck und Biegung mit 1800 kg/cm² beansprucht werden. Massgebend für die Profilwahl ist jedoch die Knicksicherheit. Höhere Betriebsspannungen erfordern grössere Leiterabstände und ergeben demzufolge grössere Knicklängen, weshalb das Material von Masten für hohe Spannungen weniger hoch auf Druck beansprucht wird als das bei niedrigeren Spannungen. Winkeleisen haben sich im Bau von Gittermasten dank ihrer verhältnismässig vorteilhaften Preise und der konstruktiv einfachen Verbindungsmöglichkeiten zwischen den einzelnen Bauteilen allgemein verbreitet. Es muss aber festgestellt werden, dass sie ein für Knickung ungünstiges Profil aufweisen und daher zu hohem Materialverbrauch führen.

Das ideale Bauelement für auf Knickung beanspruchte Teile ist bekanntlich das Rohr. Stahlrohre wurden denn auch schon wiederholt für den Bau von Leitungsmasten verwendet. Leider hat aber der verhältnismässig hohe Rohrpreis bis heute die Verbreitung von Rohrmasten beeinträchtigt. Trotz des kleineren Gewichtes ergaben sich bei Rohrmasten ungefähr die selben Gesamtkosten für fertig erstellte Leitungen wie bei Gittermasten aus Winkeleisen.

Bei der Festigkeitsberechnung der Masten spielt naturgemäss der Winddruck eine massgebende Rolle. Er wirkt sich auf senkrecht getroffene ebene Flächen wie sie bei Winkeleisenkonstruktionen vorkommen stärker aus als bei Rohren. Die Verordnung über Starkstromanlagen (vom 7. Juli 1933) schreibt denn auch für ebene Flächen den massgebenden Winddruck zu 100 kg/m² vor, während für rohrförmige Tragwerkteile und Isolatoren 70 kg/m² einzusetzen sind. Diese Zahlen sind für Teile, die mehr als 30 m über Boden liegen, um 25 % zu erhöhen. Abgesehen von diesen geringeren Flächenbelastungen ergeben Rohrmasten dank ihrer günstigeren Knickprofile wesentlich kleinere Anströmflächen und dementsprechend kleinere belastende Kräfte.

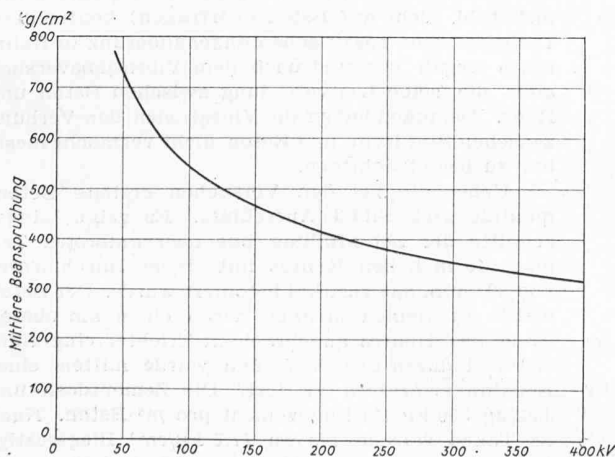


Bild 1. Mittlere Zug- bzw. Druckbeanspruchungen von Winkeleisenmasten verschiedener bestehender Leitungen in Abhängigkeit der Betriebsspannung. (Mittelwert = Summe der Produkte von Spannung mal Gewicht jedes Stabes, geteilt durch Gesamtgewicht aller Stäbe)

Um auch wirtschaftliche Vorteile bieten zu können, mussten die Rohrkonstruktionen grundlegend verbessert werden. Im besondern war es nötig die Widerstandsfähigkeit der in Frage stehenden Rohrelemente gegen Knicken bedeutend zu heben. Dies gelang in ebenso origineller wie einfacher Weise durch Auffüllen der verhältnismässig sehr dünnwandigen Rohre mit Beton. Der Stahl übernimmt dabei vor allem die bei der Knickung auftretenden Zugspannungen. Selbstverständlich werden nur die auf Druck beanspruchten Teile mit Beton ausgefüllt.

Mit Beton ausgefüllte Rohrelemente ermöglichen viel grössere Knicklängen. Dadurch verringert sich die Anzahl der Knotenpunkte und der Konstruktionselemente. Die zu transportierenden Eisengewichte sind gegenüber Winkeleisenmasten bedeutend kleiner, was sich bei grossen Transportdistanzen und in schwierigem Gelände besonders günstig auswirkt.

Der Füllbeton muss eine bestimmte Granulometrie aufweisen. Er ist gegen die Unbilden der Witterung geschützt und stellt einen billigen und leicht transportierbaren Baustoff dar. Im allgemeinen werden die Rohre nach der Mastmontage gefüllt; nur Traversen und Diagonalen müssen zum voraus gefüllt werden. Durch Vibrieren des Betons beim Einfüllen wird eine grössere Dichte erreicht und die Festigkeit der Konstruktion weiter erhöht.

Besondere Sorgfalt erforderte die konstruktive Durchbildung der Knotenpunkte. Die Befestigung der Querstreben an den Hauptstützen musste in der selben einfachen Weise durch einen einzigen Bolzen ermöglicht werden, wie bei Winkeleisenkonstruktionen. Bild 2 zeigt die hierfür entwickelte Bauweise mit zwei verschiedenen Ausführungsarten der Rohrenden.

2. Erzielbare Ersparnisse

Die gegenüber Winkeleisenmasten erzielbare Ersparnis an Stahlgewicht steigt mit den Mastdimensionen, also mit der Betriebsspannung. Sie ist für eine einsträngige Leitung mit horizontaler Anordnung der Leiter grösser als für eine zwei-strängige. Vergleichsberechnungen ergaben Stahlgewichte bis nur 1/3 derjenigen gewöhnlicher Winkeleisenmasten.

Für das einzelne Bauelement ist der an einem Rohrstück durchgeführte Knickversuch aufschlussreich: Ein geschweisstes leeres Rohr von 4 m Länge, 200 mm Aussendurchmesser und 3,5 mm Wandstärke hat ein Gewicht von 17 kg/m. Die Knicklast beträgt 52 t. Wird das Rohr mit Beton gefüllt, so erhöht sich die Knicklast auf 140 t. Um diese Last unter der gleichen Knicklänge von 4 m aufzunehmen, wäre ein Winkeleisen von 200 × 200 × 20 mm notwendig, dessen Gewicht 60 kg/m betragen würde. Die Gewichtersparnis ist somit in diesem Fall 43 kg/m, d. h. 72 % des Gewichtes des Winkeleisens.

Ersparnisse in der gleichen Grössenordnung konnten auch bei ausgeführten Leitungen erreicht werden. Bei der 150 kV-Leitung, die über den Nufenenpass¹⁾ führt, ist eine 12 km lange Strecke mit Rohrmasten ausgerüstet. Das mittlere Stahlgewicht dieser Masten beträgt rd. 7,5 t pro km Leitung, während bei Verwendung von Winkeleisenmasten rd. 21,5 t Stahl pro km nötig gewesen wären. Die Stahlersparnis beträgt somit 65 % des Gewichtes der Winkeleisenmasten.

Naturgemäss ist die Kostenersparnis wesentlich kleiner als die Ersparnis an Stahlgewicht. Sie hängt bei Verwendung von ausbetonierten Rohrmasten an Stelle der üblichen Winkeleisen-Gittermasten in erster Linie vom Verhältnis der Rohrpreise zu den Winkeleisenpreisen ab. In der Schweiz und in einigen europäischen Ländern kosten neue Rohre doppelt so viel wie neue Winkeleisen. Dank der allgemeinen Verbreitung von Rohrkonstruktionen aller Art kann mit stets stärkerem Annähern der Rohrpreise an die der Winkeleisen gerechnet werden.

Für verschiedene Leitungstypen wurde auf Grund von Vergleichsberechnungen eine Kostenersparnis von Rohrmasten gegenüber gewöhnlichen Winkeleisenmasten für schweizerische Verhältnisse von etwa 30 bis 40 % des Preises der Masten und von 15 bis 20 % des Preises der gesamten Leitung ermittelt. Für die Anwendung von ausbetonierten Rohrmasten liegt die untere wirtschaftliche Grenze in der Schweiz beim derzeitigen Verhältnis der Rohr- zu den Winkeleisenpreisen bei einer Betriebsspannung von etwa 50 kV.

¹⁾ SBZ 1947, Nr. 36, S. 498*.

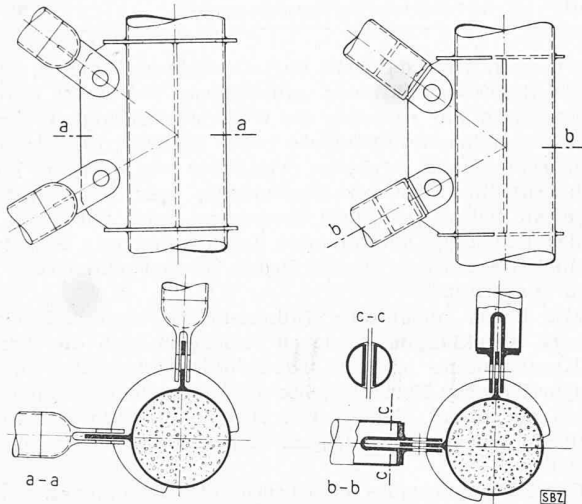


Bild 2. Ausführungsarten von Knotenpunkten. a Rohrenden aus angeschweissten Stahlgussstücken; b Eingeschweisste Klammern aus Flacheisen

3. Versuche

Durch zahlreiche, sorgfältig durchgeführte Versuche, die sich auf die einzelnen Konstruktionselemente sowie auch auf die fertig montierten Masten erstreckten und teils bei der Eidg. Materialprüfungsanstalt der E. T. H. in Zürich, teils auswärts unter Kontrolle von Beamten dieser Anstalt vorgenommen worden sind, hat man die Richtigkeit der theoretischen Berechnungen nachgeprüft und das Verhalten der neuen Konstruktion bei den ungünstigsten in Wirklichkeit möglichen Belastungen untersucht.

a) Knickversuche in der EMPA

Die Knickbelastung für leere Rohre und für Rohre mit vibrierter Betonfüllung wurde bereits im Jahre 1944 in der EMPA ermittelt und ergab die in Tabelle 1 zusammengestellten Werte. Das Ausbetonieren der Rohre erfolgte im Freien in senkrechter Lage. Die Knicklänge betrug 4 m. Die Rohre wurden bis zum Ausknicken belastet.

Knotenpunktverbindungen und Anschlüsse der Diagonalen an die Pfosten, wie sie z. B. Bild 2 zeigt, wurden bis zum Bruch belastet. Die Knotenver-

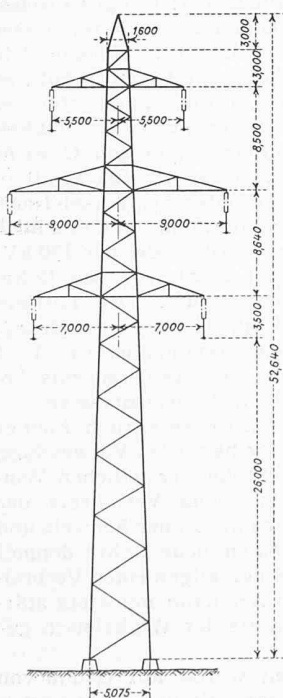


Bild 4. 52 m hoher Tragmast der 380 kV-Leitung Amsteg-Mettlen für 6 Hohlleitungen aus Kupfer von 450 mm² Querschnitt u. 46 mm Ø und einer Erdleitung aus Stahl von 88 mm² Querschnitt. Reduzierte Höhe in der Nähe des Flugplatzes Emmen. Die dicken Linien stellen den Versuchsmast dar. Für die Eckpfosten werden Rohre von rd. 100 bis 300 mm Aussendurchmesser und 3,5 bis 7 mm Wandstärke verwendet. Die Diagonalen werden ausbetoniert, wo grössere Knickkräfte auftreten.

Masstab 1: 600

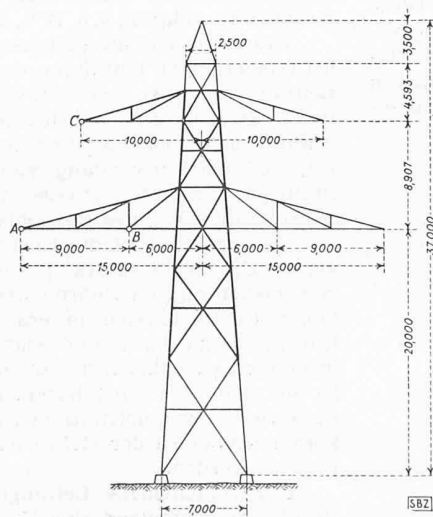


Bild 5. 37 m hoher Abspannmast der 380 kV-Leitung Amsteg-Mettlen für 6 Hohlleitungen aus Kupfer von 450 mm² Querschnitt u. 46 mm Ø und einer Erdleitung aus Stahl von 88 mm² Querschnitt. Reduzierte Höhe in der Nähe des Flugplatzes Emmen. Die dicken Linien stellen den Versuchsmast dar. Für die Eckpfosten werden Rohre von rd. 100 bis 300 mm Aussendurchmesser und 3,5 bis 7 mm Wandstärke verwendet. Die Diagonalen werden ausbetoniert, wo grössere Knickkräfte auftreten.



Bild 3. Rohrbeton-Schliffe zeigen gute Verteilung der Zuschlagstoffe

Tabelle 1. Gemessene Knicklasten in t an leeren und ausbetonierten Stahlrohren

Rohrart	Aussen- durchmesser mm	Wand- stärke mm	Knickbelastung der Rohre	
			leer t	ausbetoniert t
Gezogen	110	2,5	15,0	28,5
Geschweisst	100	2,5	10,0	22,3

bindungen blieben bei diesen Versuchen im wesentlichen intakt; die Brüche erfolgten mehrheitlich in den anschliessenden, auf Zug beanspruchten Rohrteilen. Die Konstruktionsart der Knotenpunkte hat sich demnach bewährt.

b) Betonuntersuchungen

Die granulometrische Zusammensetzung, die Zement- und Wasserdosierung des Füllbetons sowie der Verbund zwischen Stahlrohr und Beton beeinflussen sowohl das statische Verhalten der Rohrmasten als auch den Widerstand gegen Witterungseinflüsse. Durch Vibrationsversuche hat man den Verbund zwischen Stahlrohr und Füllbeton geprüft. Dazu wurden an der EMPA gefüllte Stahlrohre von 110 mm Aussendurchmesser, 3,5 bis 2,8 mm Wandstärke, 1,75 m Länge, bei 1,20 m Stützweite über einer Million Lastwechseln von 50 bis 150 kg in halber Stützweite ausgesetzt. Dabei erfolgten sechs Lastwechsel pro Sekunde. Der pervibrierte Füllbeton war rund 22 Monate alt. Anschliessend hat man den Verbund zwischen Beton und Rohr durch vertikales Belasten des Stahlrohres bis zu 10 t (Last an den Enden nur auf Stahl, nicht auf Beton übertragen) kontrolliert. Die gemessene spezifische Längenänderung in Rohrmitten ergab vor und nach dem Vibrationsversuch stets die selbe Lastverteilung zwischen Beton und Rohr. Demnach haben die Vibrationen den Verbund zwischen Stahlrohr und Beton nicht vermocht messbar zu beeinträchtigen.

Ueber die bei den Versuchen erzielte Betonqualität gibt Bild 3 Aufschluss. Es zeigt Längsschnitte der Betonfüllung aus dem untersten Teil eines 40 m hohen Rohres mit einem Durchmesser von 203 mm, das vertikal betoniert wurde. Der Beton wurde in kleinen Mengen durch einen am oberen Ende des Rohres angebrachten Trichter eingefüllt, fiel frei durch das Rohr und wurde mittels eines Schalungsvibrators vibriert. Die Zementdosierung betrug 300 kg Portlandzement pro m³ Beton. Nach 28 Tagen wurden bis zu 77,7 kg/cm² Biegefestigkeit und 563 kg/cm² Würfeldruckfestigkeit ermittelt. Sämtliche Betonschnitte zeigen eine sehr gute Verteilung der Zuschlagstoffe und geben den Beweis, dass trotz der grossen Fallhöhe kein Entmischen des Betons eintrat.

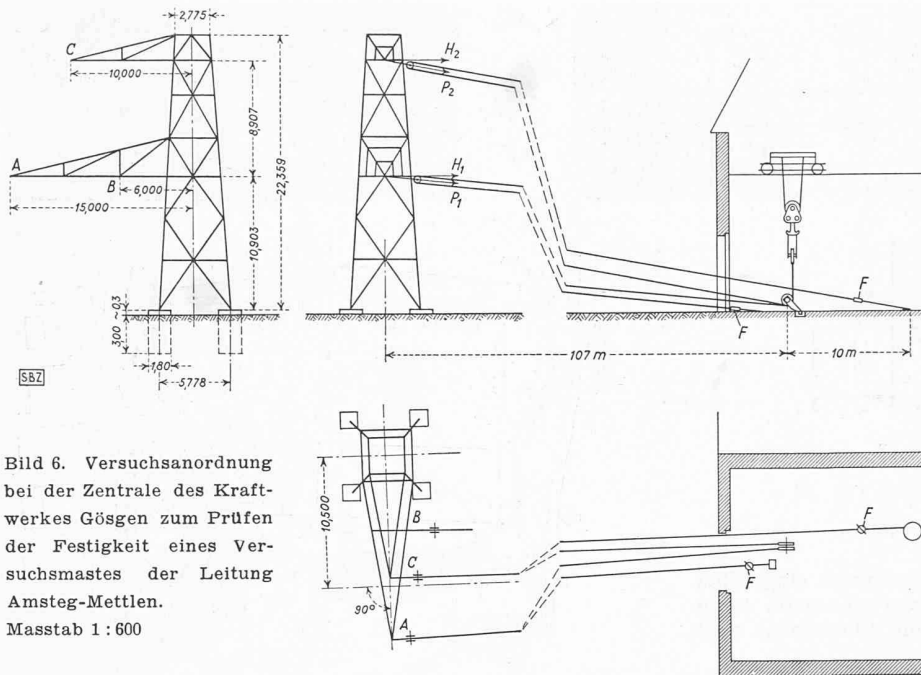


Bild 6. Versuchsordnung bei der Zentrale des Kraftwerkes Gösigen zum Prüfen der Festigkeit eines Versuchsmastes der Leitung Amsteg-Mettlen.
Masstab 1:600

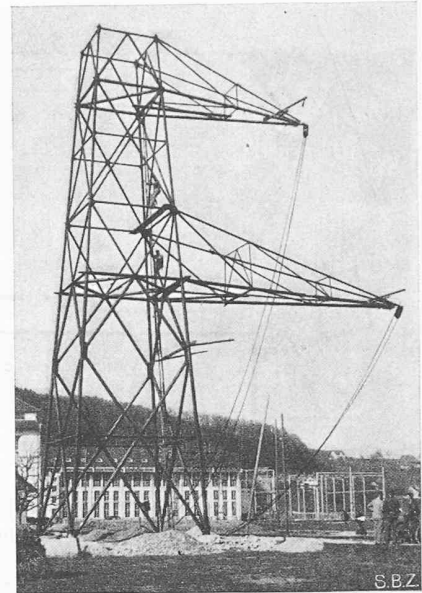


Bild 7. Versuchsmast beim Montieren der Zugseile, hinten die Zentrale des Kraftwerkes Gösigen

c) Versuche mit den fertig montierten und ausbetonierten Masten

Zum Prüfen des Verhaltens der fertig montierten und ausbetonierten Masten wurden verschiedene Masttypen nach der auf Bild 4 dargestellten Versuchsordnung geprüft. Dadurch sollte den Bauherren der verschiedenen Leitungen sowie den zuständigen Behörden der Beweis für die in den amtlichen Vorschriften verlangte Sicherheit der neuen Konstruktion erbracht werden. Bei diesen Versuchen wurden jeweiligen die Belastungen schrittweise gesteigert und die Deformationen gemessen. Aus ihnen konnten die Beanspruchungen der einzelnen Teile berechnet werden. In einzelnen Fällen wurde die Belastung bis zum Bruch gesteigert.

Als ein erstes Versuchsobjekt ist ein Abspannmast der 380 kV-Leitung Amsteg-Mettlen (Bild 5) zu nennen, von dem für die Versuche nur der stark ausgezogene Teil ausgeführt worden ist. Der normale Seilzug beträgt 7 t. Nach der Verordnung über Starkstromanlagen vom 7. Juli 1933 müssen Abspannmasten der vorliegenden Art dem einseitigen Zug von zwei Seilen standhalten und zwar bei den beiden ungünstigsten Aufhängepunkten dieser Seile. Diese Punkte sind das Ende des untern (längeren) Auslegers (Punkt A) und der Punkt B ungefähr in der Mitte des untern Auslegers bzw. der Punkt C am Ende des oberen Auslegers. Die Belastungen wurden mit Federwaagen F (Bild 6) gemessen, die in die Drahtseile, nahe bei ihren Befestigungsstellen eingebaut worden sind.

Für einen ersten Versuch wählte man die Punkte A und B und steigerte die Belastung schrittweise bis auf den doppelten Wert des normalen Drahtzuges, also bis auf 14 t pro Aufhängepunkt. Dabei konnten weder eine nennenswerte bleibende Deformation noch irgendwelche Anzeichen einer übermässigen Beanspruchung festgestellt werden.

Bei einem späteren Versuch hat man die beiden Ausleger an ihren Enden, also an den Punkten A und C, mit je 14 t belastet; dabei betrugen die Deformationen am Ende des untern Auslegers 17,4 cm, am Ende des oberen Auslegers 18,2 cm und an der Mastspitze 1,8 cm. Der Bruch trat im untern Ausleger (Bild 8) bei einer Belastung von 2×17 t auf; die unmittelbar vorher gemessene Deformation betrug bei A 21,1 cm.

Aehnliche Versuche sind an je einem Probemast der 60 kV-Leitung Perpignan-Villefranche und der 50 kV-Leitung Davos-Filisur durchgeführt worden. Sie haben die gute Eignung der gewählten Konstruktionen für die Aufnahme der verlangten Belastungen deutlich gezeigt.

4. Ausführungen

Mit Beton gefüllte Rohrmasten wurden zuerst in der Schweiz an einzelnen Masttypen, wie z. B. bei einem Winkel-Abspannmast in Koblenz einer für 150 kV vorgesehenen Lei-

tung und bei gewissen Masten der 50 kV-Leitung Biasca-Acquarossa angewendet. Als erste Leitung in dieser Ausführung ist die bereits oben erwähnte 12 km lange Tessiner Talstrecke der 150 kV-Leitung über den Nufenenpass zu nennen.

Eine Anzahl grösserer und kleinerer Anlagen befindet sich gegenwärtig im Bau. Die im Jahre 1932 erstellte einsträngige Gotthardleitung, die damals noch auf Gittermasten aus Profileisen verlegt wurde, wird gegenwärtig als zweisträngige Leitung von Amsteg bis Mettlen, d. h. um 52 km, verlängert. Die 159 Masten des neuen Teilstückes werden ausschliesslich als ausbetonierte Rohrmasten konstruiert, einige mit einer Masthöhe von 67 m. Gewisse Spannweiten erreichen 850 m. Es werden vorläufig 6×350 mm² Kupferseile und ein Erdseil aus Stahl von 80 mm², verwendbar für eine Betriebsspannung von 220 kV, verlegt. Die Masten sowie ihre Fundationen sind aber für eine Betriebsspannung von 380 kV dimensioniert. Beim Uebergang auf diese Spannung sollen sechs Kupferhohlseile ausgelegt werden.

Weiter sind die 50 kV-Leitungen Davos-Filisur und Littau-Wolhusen mit ausbetonierten Rohrmasten ausgerüstet. Die erstgenannte hat eine Länge von 18 km. Die 88 Rohrmaste und die Leiter dieser Anlage wurden trotz der teilweise schwierigen Zugänglichkeit im Gebirge in rd. drei Monaten montiert. Die einsträngige Leitung Littau-Wolhusen von 15 km Länge weist 66 Rohrmasten auf. Neben diesen beiden Leitungen wurden noch 49 Tragwerke der 150 kV-Leitung Töss-Winkeln als Rohrmasten gebaut.

Auch im Ausland hat sich die neue, durch Patente und

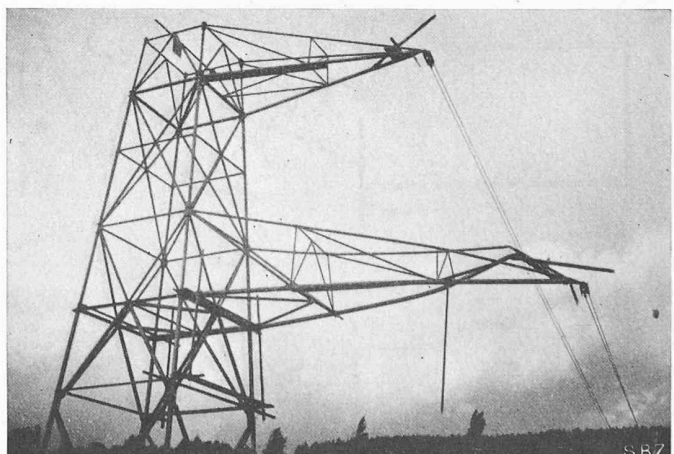
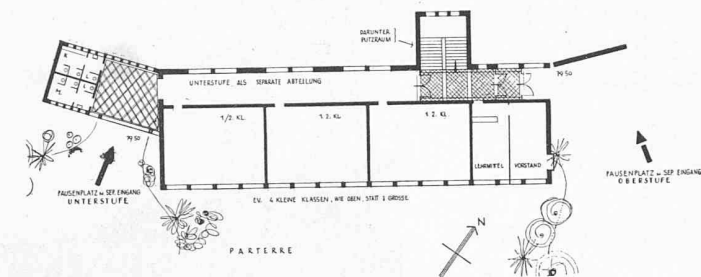
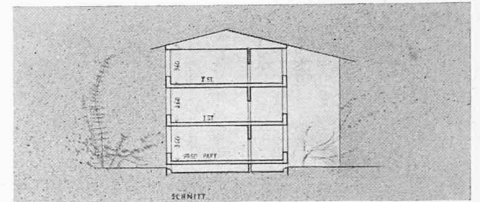
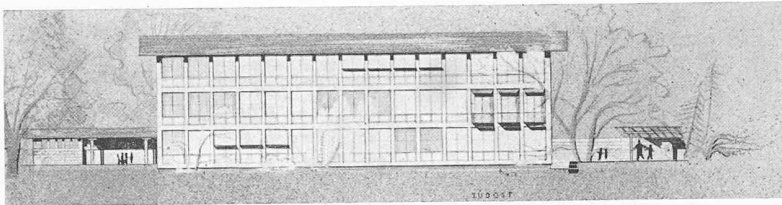


Bild 8. Versuchsmast mit durch Ueberbeanspruchung zerstörtem unterm Ausleger



Klassentrakt, Grundriss, Ansicht und Schnitt 1:700

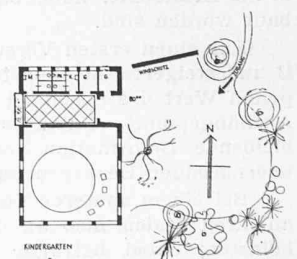
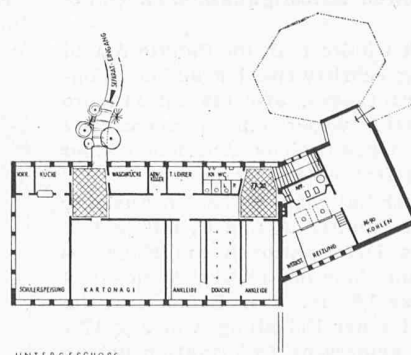
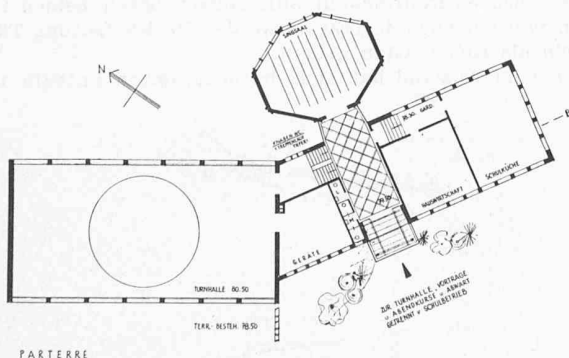
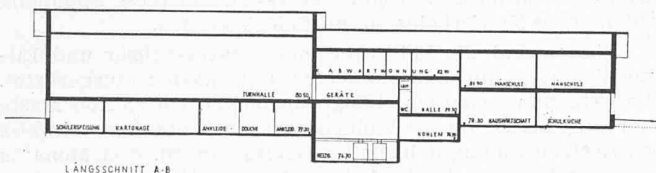
Patentanmeldungen geschützte Konstruktionsart eingeführt. So bauen die französischen Staatsbahnen eine erste 45 km lange 60 kV-Leitung auf Rohrmasten von Villefranche nach Perpignan.

Als ganz bedeutende und besonders interessante Anlage sei hier die zweite Alpenleitung mit drei Leitern und zwei Erdseilen erwähnt, die vom Werk Piottino über den Lukmanier- und den Mittelplattenpass nach Amsteg führen wird. Sie wird vorerst für eine Betriebsspannung von 220 kV ausgerüstet; die Masten und Fundamente sind aber bemessen für eine künftige Spannung von 380 kV. Mit den Bauarbeiten ist schon begonnen worden. Neben diesen bereits in Ausführung begriffenen Leitungen verfolgt Motor-Columbus die Studien für grössere Bauvorhaben im In- und Ausland.

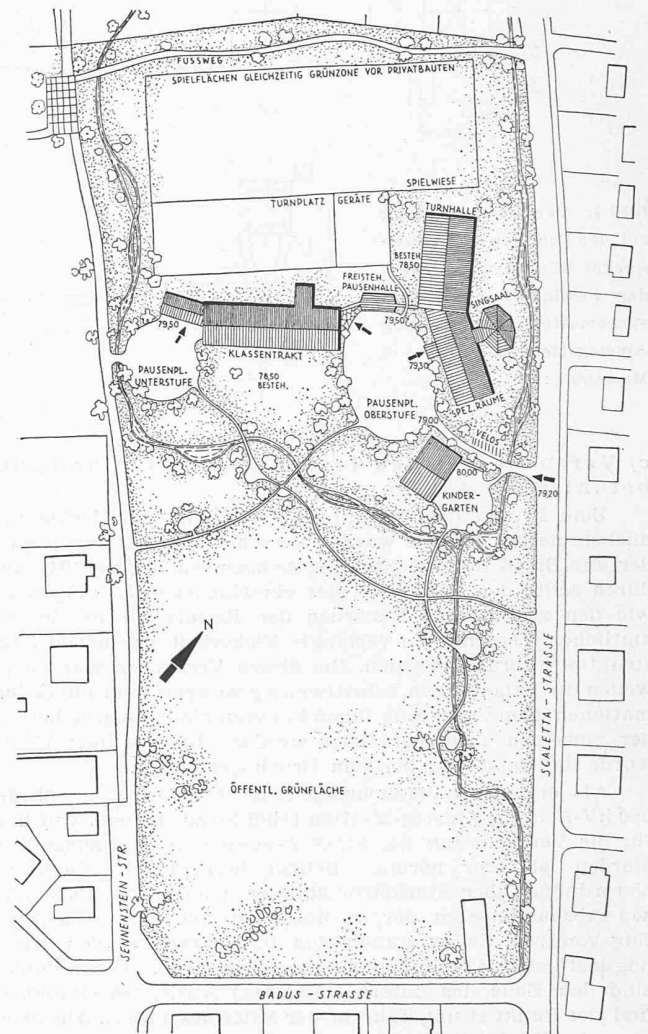
Wettbewerb für Schulhausbauten der Stadt Chur

D K 727.1(494.26)

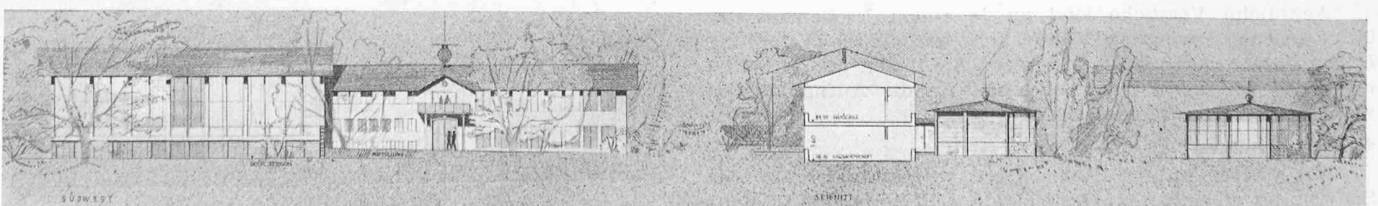
Zwei unter bündnerischen und in Graubünden niedergelassenen Fachleuten ausgetragene Wettbewerbe (s. S. 102 u. 447 lfd. Jgs.) bezweckten die seit Jahren notwendige Erstellung zweier Schulhäuser, auf dem Papon'schen Gut und



Oben: Kindergarten
Links und unten: Turnhalle
und Spezialzimmertrakt 1:700



Lageplan 1:2000



1. Preis (4000 Fr.) Entwurf Nr. 34. Verfasser Arch. J. PADRUETT, Zürich