

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 35 (1944)  
**Heft:** 3

**Artikel:** Die 150-kV-Leitung Innertkirchen-Wimmis-Mühleberg der Bernischen Kraftwerke A.-G.  
**Autor:** Oertli, H. / Köchli, W.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1056934>

### **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:** 25.12.2024

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

RÉDACTION:  
Secrétariat de l'Association Suisse des Electriciens  
Zurich 8, Seefeldstrasse 301

ADMINISTRATION:  
Zurich, Stauffacherquai 36 + Téléphone 5 17 42  
Chèques postaux VIII 8481

Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et sans indication des sources

XXXV<sup>e</sup> Année

N<sup>o</sup> 3

Mercredi, 9 Février 1944

## Die 150-kV-Leitung Innertkirchen-Wimmis-Mühleberg der Bernischen Kraftwerke A.-G.

Von H. Oertli und W. Köchli, Bern

621.315.1 (494)

Die in den Oberhasli-Kraftwerken Handeck und Innertkirchen erzeugte Energie wird durch die 150-kV-Leitungen Innertkirchen-Bickigen (erstellt 1927/28) und Innertkirchen-Mühleberg (erstellt 1942) übertragen. Die erste Leitung ist in Höhen über 1000 m ü. M. durch Rauheif gefährdet; die zweite Leitung musste ähnlich ungünstige Verhältnisse vermeiden. Die nachfolgende Beschreibung behandelt im ersten Teil: die Linienführung der 150-kV-Leitung Innertkirchen-Mühleberg, die Bauart der Leitung, die Tragwerke (normale und besondere), die Stromleiter (Aluminiumstahlseile), die Isolatoren (Kapfen-Klöppel-), die Materialbeschaffung und die Herstellung der Masten. Im zweiten Teil wird der Bau der Leitung beschrieben. Die 150-kV-Leitung Innertkirchen-Mühleberg steht seit dem 4. Januar 1943 im Betrieb.

L'énergie produite par les usines de Handeck et d'Innertkirchen dans le Oberhasli est transportée par les lignes à 150 kV d'Innertkirchen à Bickigen (établie en 1927/28) et d'Innertkirchen à Mühleberg (établie en 1942). A plus de 1000 m d'altitude, la première de ces deux lignes est sujette au givrage; quant à la seconde, il a fallu également éviter certains désagréments. L'auteur décrit tout d'abord le tracé de la ligne à 150 kV d'Innertkirchen à Mühleberg, le genre de construction, les supports (normaux et spéciaux), les conducteurs (aluminium-acier), les isolateurs (à capot et tige), l'approvisionnement en matières premières et la confection de l'armature métallique des pylônes. Dans la seconde partie de son exposé, l'auteur décrit la construction de la ligne, qui fut mise en exploitation le 4 janvier 1943.

Das Werk Handeck der Kraftwerke Oberhasli AG. (KWO) kam im Jahre 1929 in Betrieb. Für den Abtransport der in diesem Werke erzeugten Energie diente die von den Bernischen Kraftwerken AG. (BKW) in den Jahren 1927/1928 erstellte 150-kV-Leitung Innertkirchen-Bickigen. Mit dem Bau des Kraftwerkes Innertkirchen der KWO<sup>1)</sup> wurde eine zweite 150-kV-Leitung nötig, um die gesamte Leistung von rund 200 000 kW der beiden Werke Handeck und Innertkirchen in die Netze der KWO-Aktionäre, also der BKW und der Städte Basel, Bern und Zürich, übertragen zu können.

Die erste 150-kV-Oberhasli-Leitung führt von der Freiluftstation Innertkirchen der KWO über Hasliberg, Brünig, Kringenpass, durch das obere Entlebuch und das Ober- und Unter-Emmental nach der Freiluftstation Bickigen der BKW. Die Leitung verläuft auf grösseren Strecken in Höhenlagen über 1000 m; den höchsten Punkt erreicht sie im Kringensattel auf 1915 m ü. M. Es zeigte sich schon in den ersten Betriebsjahren, dass die in über 1000 m verlaufenden Leitungsstrecken durch Rauheif gefährdet waren. Um die Betriebssicherheit zu erhöhen, bauten die BKW den am meisten gefährdeten Leitungsabschnitt beidseitig des Kringenspasses um. Fig. 1 und 2 zeigen Rauheifansätze an den Masten Nr. 196 auf dem Kringenpass am 9. Februar 1935, nach erfolgtem Umbau; diese ausserordentlichen mechanischen Belastungen hatten keine Störungen zur Folge.

Die BKW nahmen die Studien für eine zweite 150-kV-Leitung bereits 1930 auf. Es ist selbstverständlich, dass diese zweite Leitung Gegenden ver-

meiden musste, die ähnlich ungünstige meteorologische Verhältnisse aufweisen, die bei der ersten

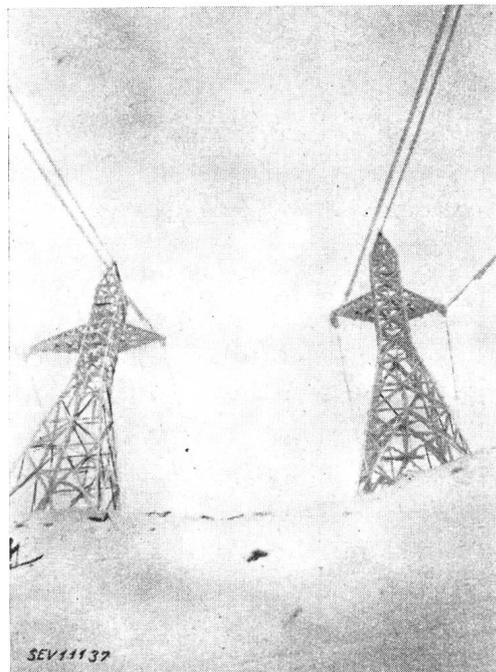


Fig. 1.

150-kV-Leitung Innertkirchen-Bickigen  
(erste Oberhasli-Leitung)

Masten Nr. 196 II und III im Kringensattel 1915 m ü. M.  
am 9. 2. 35

Leitung angetroffen wurden. Als weitaus sicherste Linie ergab sich auf Grund der mehrjährigen Studien eine solche an den südlichen Ufern des Brien-

<sup>1)</sup> Siehe Literatur, S. 81 dieser Nummer.

zensees und des Thunersees. Der höchste Punkt dieser Linie liegt auf der Schweibenalp ungefähr 1100 m ü. M.

Um die Rauhreifverhältnisse an dieser Stelle abzuklären, richtete das Elektrizitätswerk der Stadt Bern in verdankenswerter Weise im Jahre 1937 eine Meßstation ein. Die seither gemessenen Zusatzlasten überschritten nie das Mass (2 kg pro m Leiterlänge), das die Verordnung über Starkstrom-

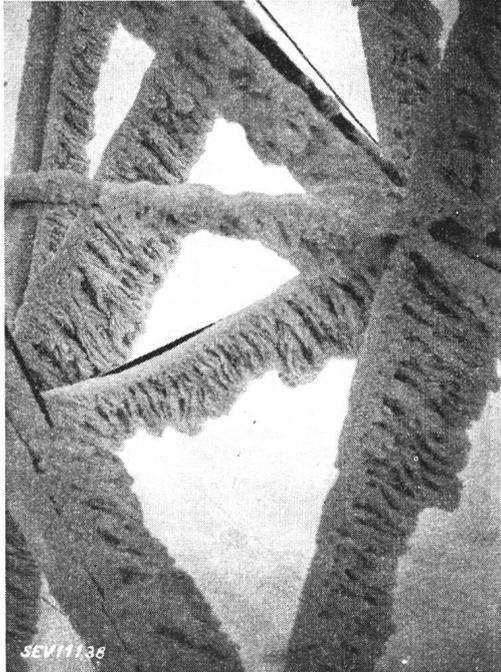


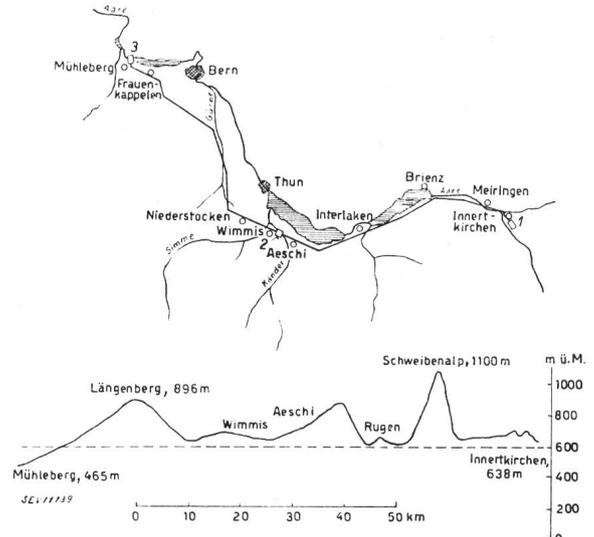
Fig. 2.  
150-kV-Leitung Innertkirchen-Bückigen  
(erste Oberhasli-Leitung)  
Rauhreif am Untersatz des Mastes Nr. 196 III am 9. 2. 35

anlagen als Grundlage für die Berechnung der Stromleiter und der Tragwerke vorschreibt.

Das Starkstrominspektorat genehmigte die von den BKW im Einvernehmen mit den Elektrizitätswerken Basel und Bern (welche nach dem bestehenden Transportvertrag je einen Sechstel der Baukosten zu übernehmen haben) gewählte Linienführung am 3. August 1940. Gegen diese Genehmigung wurde vom Heimatschutz und von einer Anzahl der berührten Gemeinden Einsprache erhoben. Nach eingehender Prüfung der Vorlage durch die eidgenössische Kommission für elektrische Anlagen erteilte der Bundesrat am 25. Februar 1941 dem eingereichten Projekt seine Genehmigung, wobei er zur Bedingung machte, dass über die Linienführung im einzelnen eine Verständigung mit den betroffenen Gemeinden zu erfolgen habe.

Die ausgeführte Leitung verläuft nun (Fig. 3) von der Freiluftstation Innertkirchen an rechtsseitig der Aare, kreuzt diese über der Aareschlucht und folgt durch das Aaretal zwischen Meiringen und Brienz immer dem linksseitigen Talhang. Vom oberen Ende des Brienzensees steigt die Leitung zur Schweibenalp hinauf und zieht sich dann absteigend dem linken Ufer des Brienzensees entlang nach Bönigen, mit Ausnahme einer kurzen Strecke

immer in grösserm Abstand vom Seeufer. Die Leitung kreuzt das Bodeli nördlich von Wilderswil (Fig. 36), führt über den Rugen an den Schiffahrtskanal zwischen Interlaken und dem Thunersee (Fig. 4), folgt dem Kanal und auf eine kurze Strecke dem linken Ufer des Thunersees, steigt von Därligen an wieder hoch an den Nordabhang des Morgenberghornes hinauf bis nach Krattigen, über-



No. 6103 BRB 3. 10. 1939 \*)  
Fig. 3.  
150-kV-Leitung Innertkirchen-Wimmis-Mühleberg  
Situationsplan und Längenprofil  
1, 2, 3 Freiluftstationen Innertkirchen, Wimmis, Mühleberg

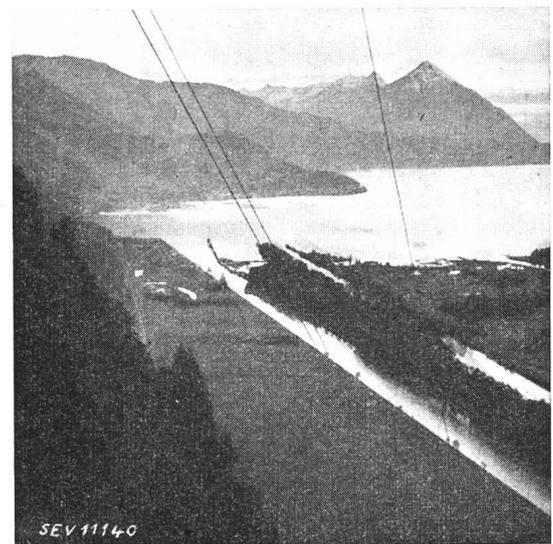


Fig. 4.  
Blick vom Rugen nach Westen auf die Masten Nr. 147 u. ff.

kreuzt die Hochfläche zwischen Aeschi und Hondrich, steigt in das Kandertal hinunter und schliesst bei Wimmis an die dort neu erstellte 150-kV-Freiluft-Schalt- und Transformatorenstation an<sup>2)</sup>.

\*) Die Bewilligung No. 6103 BRB 3. 10. 1939 wurde erteilt für die Fig. 3, 4, 14, 15, 16, 29, 30, 32, 35, 36 und 38 dieses Artikels.

<sup>2)</sup> Es ist vorgesehen, eine Beschreibung der Unterstation Wimmis in einer spätern Nummer des Bulletin SEV zu veröffentlichen. Vergleiche Brown Boveri Mitt. 1943, Nr. 5/6, S. 126/127.

Von der Freiluftstation Wimmis aus folgt die Leitung dem Stockental (Fig. 14 und 15) und dem Gürbetal, verlässt dieses bei Rümliigen und steigt auf den Längenberg hinauf. Sie führt dann mit allgemeiner Richtung Nordwest bei Oberscherli und Frauenkappelen vorbei nach der Freiluftstation Mühleberg der BKW.

**Bauart und Material der Leitung**

Die neue Leitung Innertkirchen-Wimmis-Mühleberg ist wie die 150-kV-Leitung Innertkirchen-Bickigen eine Weitspannleitung mit eisernen Gittermasten.

**Tragwerke**

Die BKW wählten für die 150-kV-Leitung Innertkirchen-Mühleberg Stromleiter aus gleichem Material und von gleichem Querschnitt wie für die früher erstellten 150-kV-Leitungen. Für die Anordnung der Stromleiter an den Tragwerken konnten daher die beim Bau und Betrieb dieser Leitungen gewonnenen Erfahrungen unmittelbar verwendet werden.

Bei der 150-kV-Leitung Innertkirchen-Bickigen waren die Stromleiter ursprünglich bei nahezu

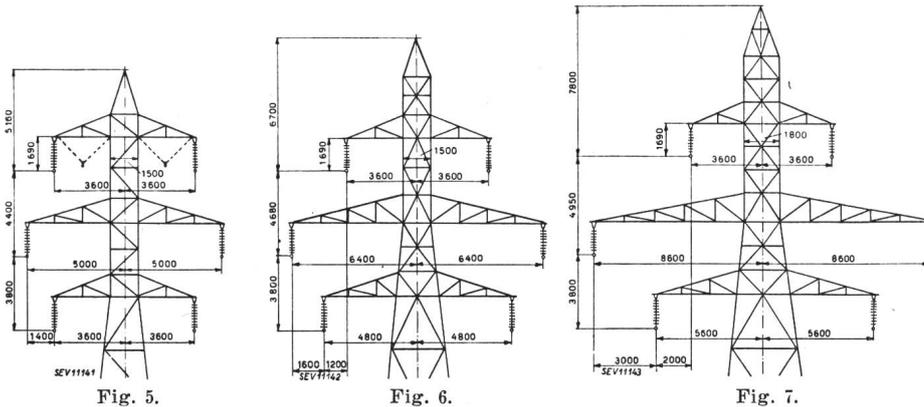


Fig. 5.

Fig. 6.

Fig. 7.

**Fig. 5..7. Stromleiteranordnung der 150-kV-Leitungen**

Fig. 5. Innertkirchen-Bickigen. Gestrichelt Dreieckaufhängung. — Fig. 6. Innertkirchen-Mühleberg. Masten T 300 für Spannweiten bis ca. 300 m. — Fig. 7. Innertkirchen-Mühleberg. Masten T 400 für grössere Spannweiten

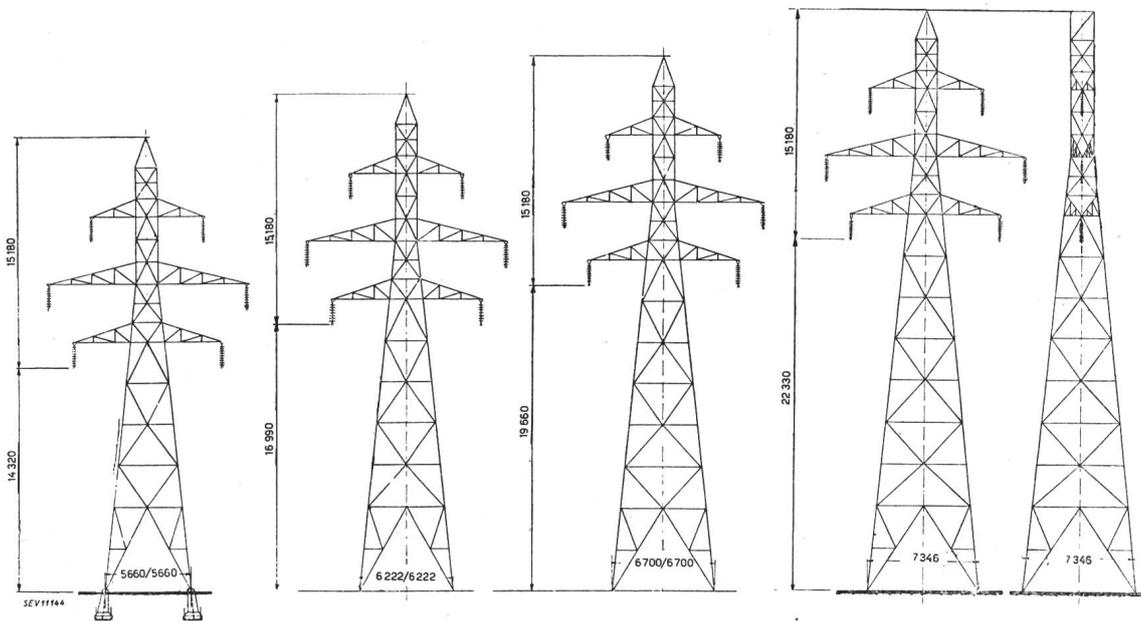
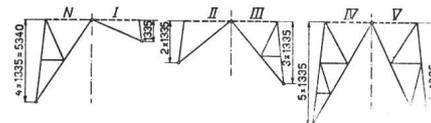


Fig. 8.

**150-kV-Leitung Innertkirchen-Mühleberg**

Tragmasten T<sub>300</sub><sup>14</sup>, T<sub>300</sub><sup>17</sup>, T<sub>300</sub><sup>20</sup> und T<sub>300</sub><sup>23</sup> für Spannweiten bis ca. 300 m.  
 Die Gewichte betragen mit normalen Füßen: 7,4, 8,3, 9,0 und 10,0 t.  
 Der Mastkopf ist bei allen vier Masten gleich, gemäss Fig. 6.  
 Die Höhenabstufung der Füße I, II, III, N, IV, V ist bei allen Masten ungefähr gleich wie beim Mast rechts aussen



Länge der Leitung Innertkirchen-Mühleberg	98,8 km
Anzahl Gittermasten	383
Grösste Spannweite (Nr. 66/67, oberes Ende Brienzersee)	534 m
Kleinste Spannweite (Nr. 145/146, Rugen)	42 m
Mittlere Spannweite	257,3 m

allen Masten entsprechend Fig. 5 aufgehängt. Auf Grund der Betriebserfahrungen und von Versuchen über das Abfallen von Zusatzlasten nahmen die BKW später im wesentlichen folgende Aenderungen bei den Masten der grössern Spannfelder vor.

Ersatz von Hängeisolatorenketten der obersten Stromleiter durch sogenannte Dreieckaufhängungen;

Ersatz von Hängeisolatorenketten durch Halbabspannungen (siehe die Mitteilung der BKW im Bulletin SEV 1931, Nr. 13, S. 309...311, «Die Trapezhalbabspannung für Höchstspannungsleitungen»);

auf dem Leitungsabschnitt Dundelalp-Kringen-Fontanenalp Ersatz der Sechseiter-Masten durch entsprechend vermehrte Zweileiter-Masten.

Für die neue 150-kV-Leitung Innertkirchen-Mühleberg konnte besonders wegen der Gelände-verhältnisse die sicherste Stromleiteranordnung — alle Stromleiter nebeneinander — nicht zur Anwendung gelangen. Die BKW wählten deshalb eine Stromleiteranordnung, die derjenigen der 150-kV-Leitung Innertkirchen-Bickigen ähnlich sieht, aber grössere Abstände zwischen den Stromleitern aufweist; siehe Fig. 6 und 7.

Damit trotz der grössern Auslegerlänge die Schutzwirkung des Erdseiles nicht kleiner ist als bei der 150-kV-Leitung Innertkirchen-Bickigen,

wurde das Erdseil höher gelegt; vgl. Fig. 5, 6 und 7. In den Spannungsfeldern ist das Erdseil höher über den Stromleitern als bei den Masten, da es weniger Durchhang hat als die Stromleiter.

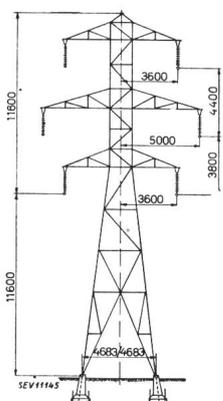


Fig. 9.

Tragmast T 11, nur für verhältnismässig kleine Spannweiten verwendet

Stromleiteranordnung wie bei der Leitung Innertkirchen-Bickigen (Fig. 5), Erdseil tiefer

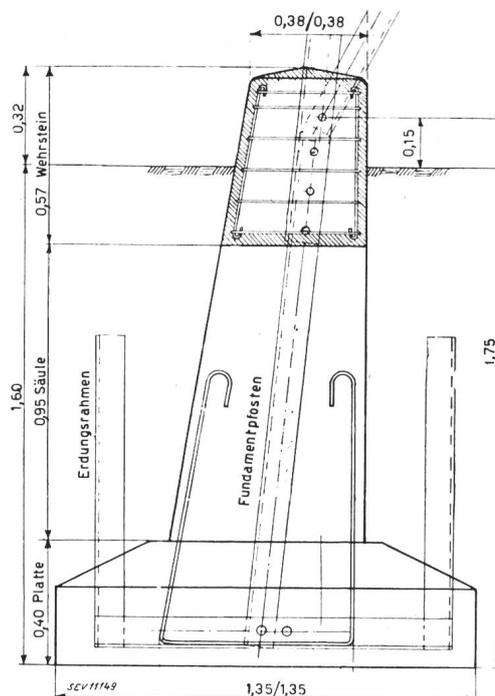


Fig. 13.

Tragmastfundament Grösse II

Die 150-kV-Leitung Innertkirchen-Mühleberg weist keine eigentlichen Abspannmasten auf; der Berechnung aller Tragmasten und aller Winkel-

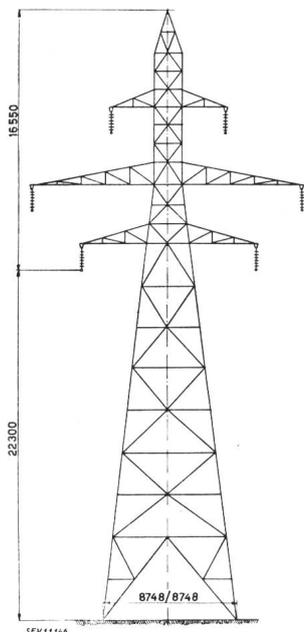


Fig. 10.

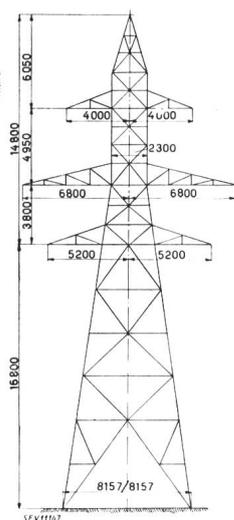


Fig. 11.

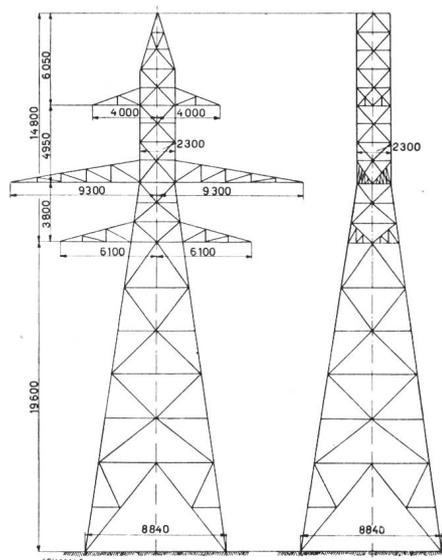


Fig. 12.

Fig. 10..12. Trag- und Winkelmasten der 150-kV-Leitung Innertkirchen-Mühleberg

Fig. 10. Tragmast T  $\frac{23}{400}$  für Spannweiten von ca. 400 m und mehr. Gewicht mit 4 normalen Füßen: 11,6 t. Stromleiteranordnung nach Fig. 7

Fig. 11. Winkelmast W  $\frac{17}{300}$  für Spannweiten bis ca. 300 m. Gewicht mit 4 normalen Füßen: 11,4 t

Fig. 12. Winkelmast W  $\frac{20}{400}$  für Spannweiten von ca. 400 m und mehr. Gewicht mit 4 normalen Füßen 13,6 t

Die Höhenabstufungen der Untersätze und Füße der Tragmasten T 400 und der Winkelmasten W 300 und W 400 sind ungefähr gleich wie bei den in Fig. 8 dargestellten Tragmasten T 300

masten wurde deshalb der Bruch desjenigen Stromleiters zu Grunde gelegt, der das grösste Biegemoment, bzw. das ungünstigste Torsionsmoment erzeugt, siehe Art. 95 der «Verordnung über Stark-

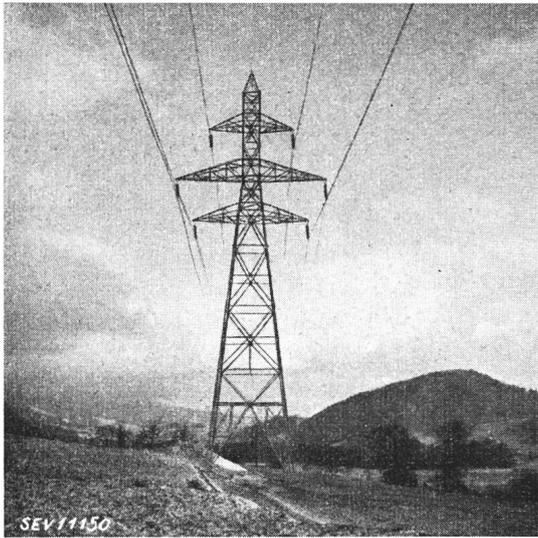


Fig. 14.  
Mast Nr. 224 bei Reutigen  
Tragmast T 20/300  
links 2 Füsse N; rechts 2 Füsse IV

stromanlagen». Die Tragmasten können für Leitungswinkel  $\leq 10^\circ$ , die Winkelmasten für Leitungswinkel  $\leq 30^\circ$  verwendet werden.

Die Abstufung der Mastgrössen beträgt rund 3 m, die Abstufung der Fusshöhen rund 1,3 m; siehe Fig. 8 bis 12 und die Bemerkungen dazu. Fig. 14,

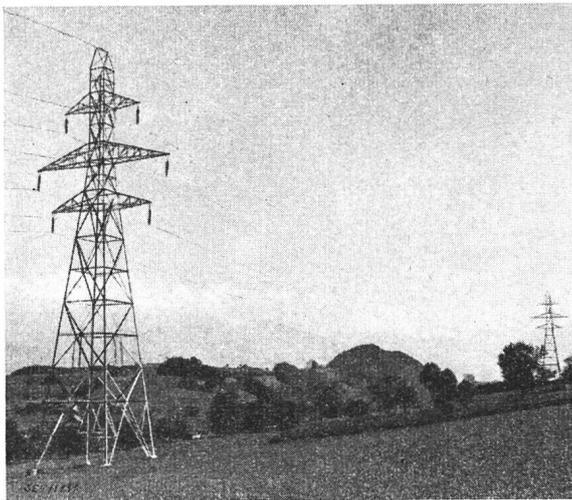


Fig. 15.  
Tragmasten bei Oberstocken  
Nr. 242 T 20/300; Nr. 241 T 17/300

15 und 36 sind Photographien von Tragmasten und Winkelmasten.

Alle Mastfundamente sind ähnlich dem in Fig. 13 dargestellten Tragmastfundament Grösse II. Sie bestehen aus dem Fundamentpfosten, dem Erdgerahmen, der Beton-Fundamentplatte, der Beton-

Fundamentsäule mit Armierungsrundeisen und dem aus dem Boden herausragenden, leicht armierten Beton-Wehrstein.

Rücksichten auf den Luftverkehr oder das Landschaftsbild führten dazu, auf einigen Strecken besonders niedrige Masten zu verwenden; siehe Fig. 9 und 36. Bei den niedrigsten Tragmasten T 11 sind die Stromleiter in gleicher Weise angeordnet wie bei der Leitung Innertkirchen-Bickigen.

Fig. 16 zeigt die beiden Spezialtragwerke Nr. 132 und 131 bei Wilderswil.

Auf der Leitung Innertkirchen-Mühleberg befinden sich im ganzen

313 Tragmasten  
68 Winkelmasten  
2 Spezialtragwerke

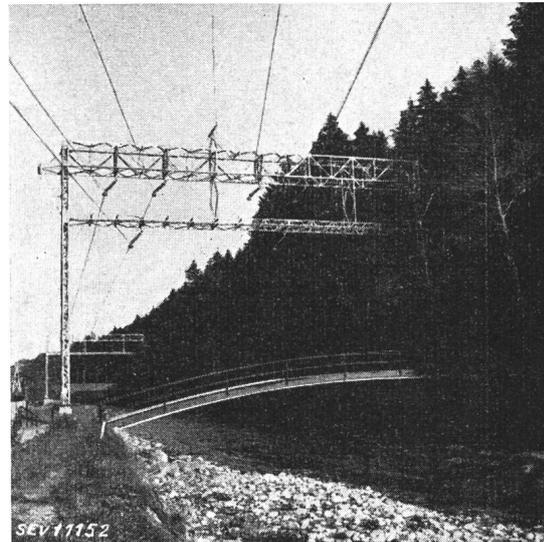


Fig. 16.  
Portalmasten bei Wilderswil  
Nr. 132 (vorn) und Nr. 131 (hinten)

An den Tragmasten sind die Stromleiter mit Hängeisolatorenketten aus je 9 Kappen-Klöppel-Isolatoren aufgehängt, siehe Fig. 14 und 17.

An den Winkelmasten sind die Stromleiter abgespannt; die Isolatorenketten bestehen hier aus 2mal 10 Kappen-Klöppel-Isolatoren; siehe Fig. 18 und 36.

Das Erdseil ist an allen Tragmasten und Winkelmasten abgespannt; siehe Fig. 19.

Die Abspannungen der Stromleiter und des Erdseiles sind so beweglich, dass bei Schwingungen der Seile diese nur unwesentlich auf Biegung beansprucht werden.

### Stromleiter

Für die 150-kV-Leitung Innertkirchen-Bickigen hatten die BKW wie für die früher erstellten Höchstspannungsleitungen Aluminiumstahlseile mit 170,5 mm<sup>2</sup> Aluminium und 40 mm<sup>2</sup> Stahl verwendet. Auf Grund der gemachten guten Erfahrungen und von Wirtschaftlichkeitsrechnungen wurde für die 150-kV-Leitung Innertkirchen-Mühleberg ebenfalls Aluminiumstahlseil von gleichem Querschnitt gewählt. Das Seil ist folgendermassen gebaut:

Stahlseele: 1 + 6 feuerverzinkte Stahldrähte 2,7 mm Ø, Dralllänge 160 mm, Linksschlag.  
 Aluminiummantel:  
 Innere Lage: 12 Aluminiumdrähte 2,7 mm Ø, Dralllänge 215 mm, Rechtsschlag.  
 Aeusserere Lage: 18 Aluminiumdrähte 2,7 mm Ø, Dralllänge 245 mm, Linksschlag.

Die Verseilung der Aluminiumdrähte erfolgte also im Gegenschlag. Vergleichende Versuche zeigten den Vorteil gegenüber der Gleichschlag-Verseilung; siehe Fig. 20. Bei dem Gleichschlag-Seil nimmt der ohmsche Widerstand für Wechselstrom mit wachsender Stromstärke zu; bei dem beschriebenen Gegenschlag-Seil hingegen ist er infolge der magnetischen Kompensation für alle praktisch vorkommenden Stromstärken gleich gross.

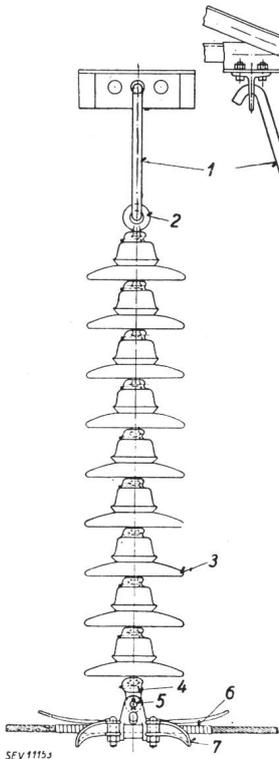


Fig. 17.

Hängeisolatorenkette und Belastungsgewichte

- 1 Normaler Auslegerhaken.
- 2 Aufhänge-Oese mit Klöppel.
- 3 Kappen-Klöppel-Isolatoren.
- 4 Klöppelplatte mit Oese.
- 5 Bolzen.
- 6 Aluminiumband.
- 7 Komplette Seilklemme.

Belastungsgewichte, links aus Gusseisen, rechts aus Schwerspat-Beton.

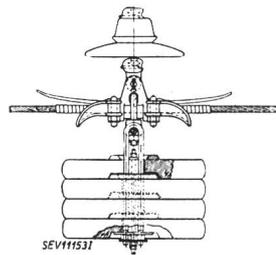


Fig. 18.

Abspannung der Stromleiter an den Winkelmasten

Fig. 21 zeigt in Funktion der Belastung die Uebertemperatur des Aluminiumstahlseils der 150-kV-Leitung Innertkirchen-Mühleberg. Danach kön-

nen auf jedem der zwei Leitungsstränge auch bei Sommertemperaturen dauernd ungefähr 80 MVA übertragen werden, ohne dass eine schädliche Erwärmung der Aluminiumdrähte auftritt.

Die Lieferantin des Aluminiumstahlseiles garantierte

Stahldrähte	
Bruchfestigkeit mindestens	125 kg/mm <sup>2</sup>
Aluminiumdrähte	
Bruchfestigkeit mindestens	18 kg/mm <sup>2</sup>
Mittelwert eines Seiles mindestens	19 kg/mm <sup>2</sup>
Aluminiumstahlseil	
Bruchlast mindestens	7500 kg
Elektr. Leitfähigkeit bei 20° C mindestens	170,5 × 35 $\frac{m}{\Omega}$

Fig. 21a zeigt die Ergebnisse eines Dehnungs- und Zerreißversuches an einem Aluminiumstahlseil.

Für die 150-kV-Leitung Innertkirchen-Mühleberg wählten die BKW den Seilzug der Aluminiumstahlseile so, dass bei einer gleichmässigen Zusatzlast von 2 kg/m die grösste Spannung im Aluminium höchstens 11 kg/mm<sup>2</sup> erreicht. Die Starkstrom-Verordnung würde für Aluminiumstahlseile zwar eine Beanspruchung von 13 kg/mm<sup>2</sup> zulassen; die BKW zogen aber vor, die genannte kleinere Beanspruchung zu wählen, die sich bei den früher gebauten 150-kV-Leitungen bewährt und zu keinen Schwingungsbrüchen geführt hat.

Die Verbindungsmuffe für die Aluminiumstahlseile ist in Fig. 22a dargestellt; sie besteht aus einem Rohr aus nichtrostendem austenitischem Stahl zur Verbindung der Stahlseelen und einem Rohr aus Pressaluminium zur Verbindung der Aluminiummütel. Die Rohre werden mit einer hydraulischen Presse auf die Seile gedrückt; siehe Fig. 23, 39 und 40. Das auf den Mitteldraht der Stahlseele aufgeschobene Stahlhülsen hat den Zweck, eine Keilwirkung zu erzeugen. Die erste Pressung der Stahl-

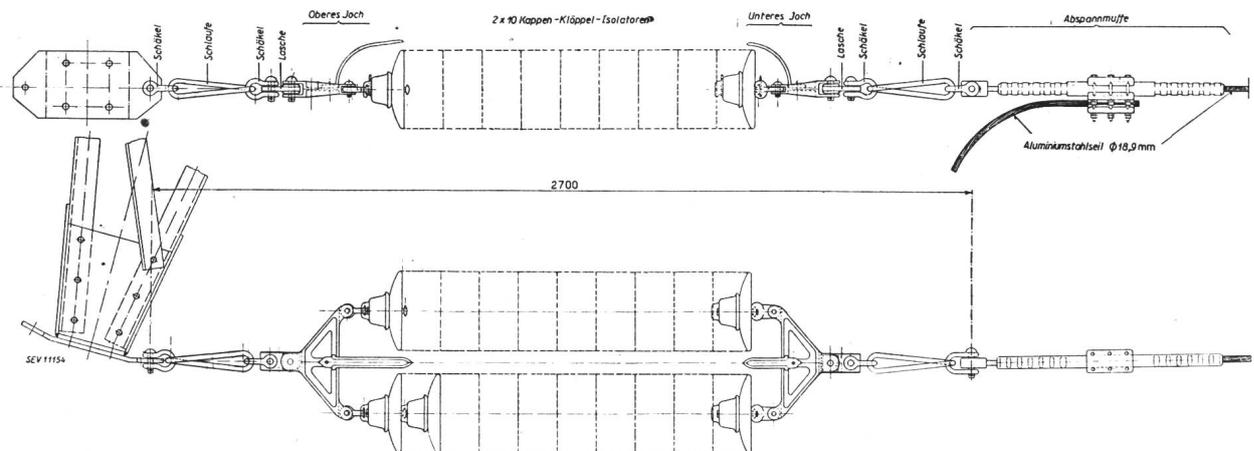
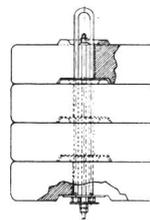


Fig. 21.

Abspannung der Stromleiter an den Winkelmasten

muffe ist in Fig. 23 dargestellt. Jede Hälfte einer Stahlmuffe erhält 5 Pressungen, jede Hälfte einer Aluminiummuffe 3 Pressungen.

Die Abspannmuffe für das Aluminiumstahlseil ist im wesentlichen gleich wie die Verbindungsmuffe; an Stelle des zweiten Aluminiumstahlseiles tritt ein Stahlstab, an den ein Kopfstück angeschraubt ist; siehe Fig. 22b und 18.

nung, bezogen auf 200 mm Messlänge, betrug 6 % und mehr. Entsprechend der gewählten Regulierung erreicht bei einer Zusatzlast von 2 kg/m die grösste Beanspruchung des Erdseiles 56 kg/mm<sup>2</sup>.

Die Verbindungsmuffe des Erdseiles ist ähnlich der oben beschriebenen Stahlmuffe, die zur Verbindung der Stahlseelen der Aluminiumstahlseile dient.

Fig. 19 zeigt die Erdseil-Abspannklemme.

**Isolatoren**

Der auf der 150-kV-Leitung Innertkirchen-Mühleberg verwendete Kappen-Klöppel-Isolator Typ Ohio Brass ist in Fig. 24 dargestellt.

Versuche an Hängeketten aus Isolatoren schweiz. Herkunft gaben folgende Resultate:

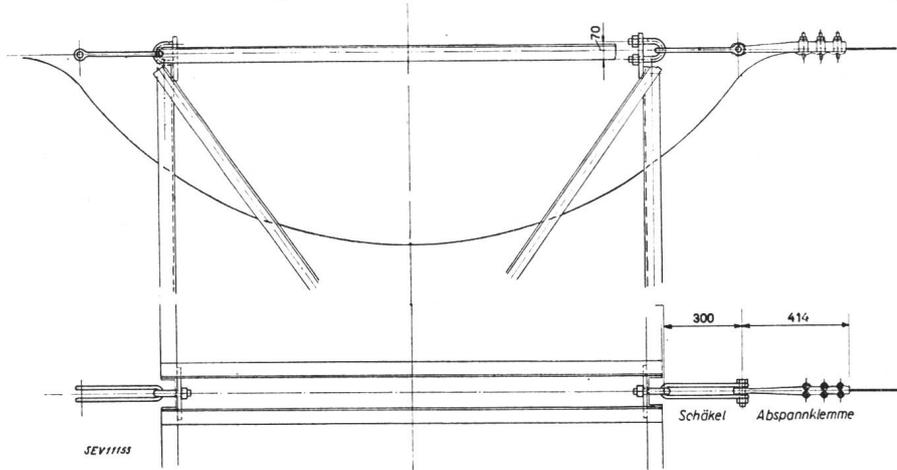


Fig. 19. Erdseilausspannung

**Erdseil**

Dieses hat einen Querschnitt von 60 mm<sup>2</sup> und besteht aus 7 feuerverzinkten Stahldrähten von 3,3 mm Durchmesser, für die die Lieferantin eine

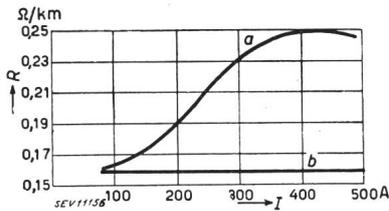


Fig. 20.

Aluminiumstahlseil (170,5 + 40) mm<sup>2</sup>  
Wirkwiderstand je km einfache Länge bei Wechselstrom 50 Per./s  
Seiltemperatur ca. 18° C.

- a Gleichschlagseil
- b Gegenschlagseil der 150-kV-Leitung Innertkirchen-Mühleberg

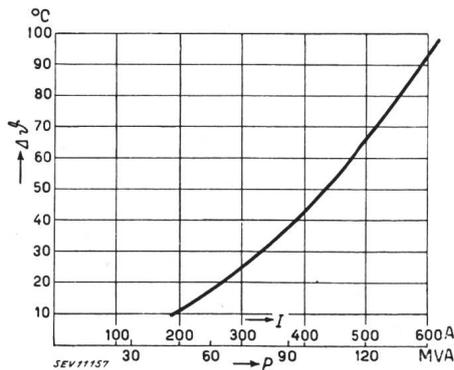


Fig. 21.

Aluminiumstahlseil (170,5 + 40) mm<sup>2</sup>  
der 150-kV-Leitung Innertkirchen-Mühleberg  
Übertemperatur  $\Delta\theta$  in Funktion der Belastung, gemessen in geschlossenem Raum  
(Die zulässige Höchsttemperatur des Aluminiumstahlseiles beträgt 75° C.)

- I Stromstärke.
- P Scheinleistung eines Leitungsstranges bei 138,5 kV.

Bruchfestigkeit von mindestens 125 kg/mm<sup>2</sup> garantierte. Bei den Zerreißversuchen wurde diese Festigkeit durchweg überschritten; die Bruchdeh-

Anzahl Glieder	Wechselstrom 50 Hz Ueberschlagspannung trocken			Stossprüfung 1/50 μs		Stossfaktor	
	eff. Wert kV	Scheitelwert kV $\sqrt{2}$	unter Regen*) eff. Wert kV	50% Stoss-überschlagspg. (Scheitelwert) pos. Stoss kV	neg. Stoss kV	pos. Stoss	neg. Stoss
7	426	602	290	608	633	1,01	1,05
8	467	660	322	678	715	1,03	1,08
9	516	730	340	777	791	1,065	1,085
10	572	809	355	839	874	1,04	1,08

\*) Berechnung: Regenhöhe 3 mm/min. Einfallwinkel 45 Grad. Spez. Widerstand des Regenwassers 10000 Ohm · cm.

Beim mechanisch-elektrischen Versuch war die mittlere Bruchlast der geprüften Isolatoren-Elemente rund 7500 kg bei 75 kV Spannung. Die mittlere Durchschlagspannung unter Oel betrug rund 150 kV. Die Isolatoren hielten die Temperatursturzprobe (25 Tauchungen von je 5 min Dauer abwechselnd in Schmelzwasser und siedendem Wasser) anstandslos aus.

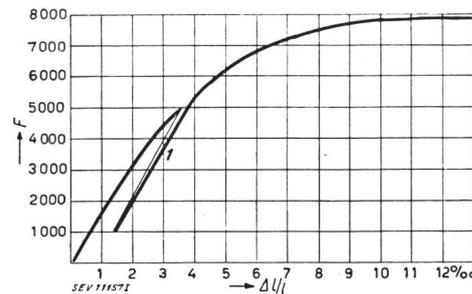


Fig. 21a.

Dehnungs- und Zerreißversuch an einem ca. 60 m langen Gegenschlag-Aluminiumstahlseil (170,5 + 40) mm<sup>2</sup> mit zwei Abspannmuffen nach Fig. 22b.

F Seilzug.  $\Delta l/l$  Dehnung.  
1 Belastung auf 5000 kg, dann entlastet und wieder neu belastet. Bruch des Seiles im Spannungsfeld ca. 28 m vor der ersten Abspannmuffe. Erster Drahtbruch bei 7880 kg.

**Materialbeschaffung, Herstellung der Masteneisen**

Für die 150-kV-Leitung waren im wesentlichen nötig:

- Masteneisen rd. 3800 Tonnen
- Zink rd. 380 Tonnen

Schrauben	rd. 140 Tonnen
Zement für die Fundamente	rd. 670 Tonnen
Aluminiumstahlseile rd. 600 km oder	rd. 490 Tonnen
Stahlseile für Erdseil rd. 100 km oder	rd. 47 Tonnen
Isolatoren 33 350 Stück oder	rd. 170 Tonnen
Armaturen	rd. 150 Tonnen

deren Verhältnisse der zweiten Oberhaslleitung die geeignete Tragwerkart zu finden. Die Zeit dafür stand nicht mehr zur Verfügung. Diese Verhältnisse führten zur Prüfung der Frage, die Strecke Wimmis-Mühleberg, also ungefähr die halbe Lei-

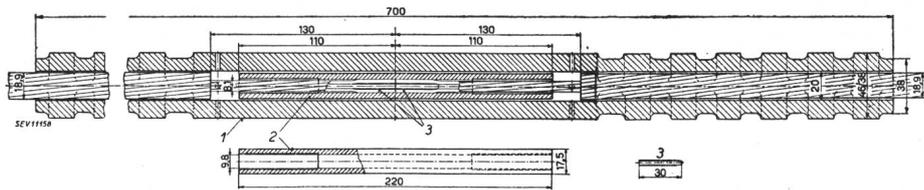


Fig. 22a.

**Verbindungs-muffe für Aluminiumstahlseile (170,5 + 40) mm<sup>2</sup>**

- 1 Aluminiummuffe (nicht rostend).
- 2 Stahlmuffe (nicht rostend).
- 3 Stahlhülsen (nicht rostend).

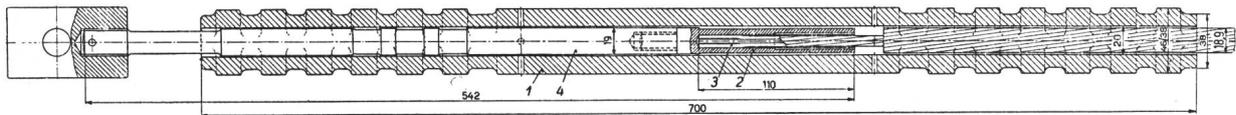


Fig. 22b.

**Abspannmuffe für Aluminiumstahlseile (170,5 + 40) mm<sup>2</sup>**

- 1 Aluminiummuffe (Pressalumin.)
- 2 Stahlmuffe (nicht rostend)
- 3 Stahlhülse (nicht rostend)
- 4 Stahlstab (feuerverzinkt).

Die BKW bestellten das meiste Material bereits im Sommer 1939. Die Stromleiter, Erdseile, Isolatoren, Schrauben und weiteres Material, das wir nicht im einzelnen aufzählen, konnten trotz mancher Schwierigkeiten rechtzeitig für den Leitungsbau bereitgestellt werden.

Dagegen schien es nicht möglich, die für die Masten erforderlichen Profileisen zu erhalten. Von den

Tragwerken aus Holz zu erstellen und auf dieser Strecke nur 3 Stromleiter zu verlegen. Diese Notlösung hätte für den Betrieb so grosse Nachteile gehabt, dass sie aufgegeben werden musste.

Während diesen Untersuchungen wurden die Bemühungen für die Beschaffung des fehlenden Eisens unablässig fortgesetzt. Durch Lieferungen

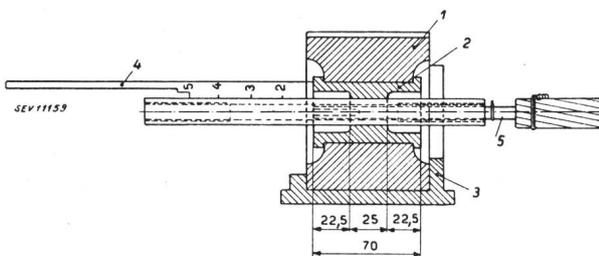


Fig. 23.

**Pressen der Stahlmuffe**

(Ausschnitt aus den «Vorschriften für das Muffen» der BKW)

- 1 Grosse Matrize für Aluminiummuffe
- 2 Matrize für Stahlmuffe
- 3 Anschlagwinkel
- 4 Lehre
- 5 Seil.

im Sommer 1939 bestellten Eisen konnte nur ein Teil hereingebracht werden. Der Beschaffung der fehlenden Eisen stellten sich so grosse Schwierigkeiten entgegen, dass die rechtzeitige Erstellung der Leitung in Frage gestellt war. Es wurden daher Studien für die Ausführung der Tragwerke in Eisenbeton durchgeführt und Höchstspannungsleitungen mit Eisenbetonmasten im Ausland besichtigt. Es ergab sich aus diesen Studien und Verhandlungen, dass Probeausführungen und eingehende Versuche nötig gewesen wären, um für die beson-

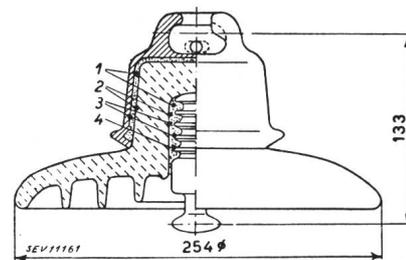


Fig. 24.

**Kappen-Klöppel-Isolator Typ Ohio Brass**

- 1 Kittung mit Spezialzement
- 2 Besandete Kittstellen
- 3 Elastische Zwischenschichten
- 4 Federnde Tragrippen am Klöppel.

von Eisenbaufirmen ab ihren Lagern, von Handelsfirmen der Eisenbranche ab ihren Schweizer Lagern und besonders durch Walzungen der von Roll'schen Eisenwerke in Gerlafingen konnte schliesslich der vollständige Bedarf bis zum Frühjahr 1942 gedeckt werden.

Die Verzögerungen, die im Bezug der Profileisen eingetreten waren, hatten zur Folge, dass die Bearbeitung so viel als möglich beschleunigt werden musste. Es wurden dazu 24 Eisenbauwerkstätten herangezogen. Durch Firmen des Verbandes

schweizerischer Brückenbau- und Stahlhochbau-Unternehmungen (VSB) wurde ein Teil der Winkelmasten fertig bearbeitet geliefert. Im übrigen wurden die Masteneisen serienweise bearbeitet, unter Verwendung zweckentsprechender Lehren, so dass die in verschiedenen Werkstätten bearbeiteten Masteneisen einwandfrei zusammenpassten.

hatte eine weitere Verzögerung der Bauarbeiten zur Folge.

**Ausführung**

Die Bauarbeiten konnten auf der Strecke Innertkirchen-Wimmis (Baulose Nr. 1...7) erst im März 1942 in grösserem Maßstab aufgenommen werden, auf dem grössten Teil der Strecke Wimmis-Mühleberg (Baulose Nr. 8...12) erst nach der Getreideernte im Spätsommer 1942. Die Notwendigkeit, Kulturschaden mehr als je zu vermeiden, erschwerte die Bauarbeiten sehr. Die BKW übertrugen die Montagearbeiten neun Leitungsbau-firmen. Von Anfang März bis Mitte Dezem-

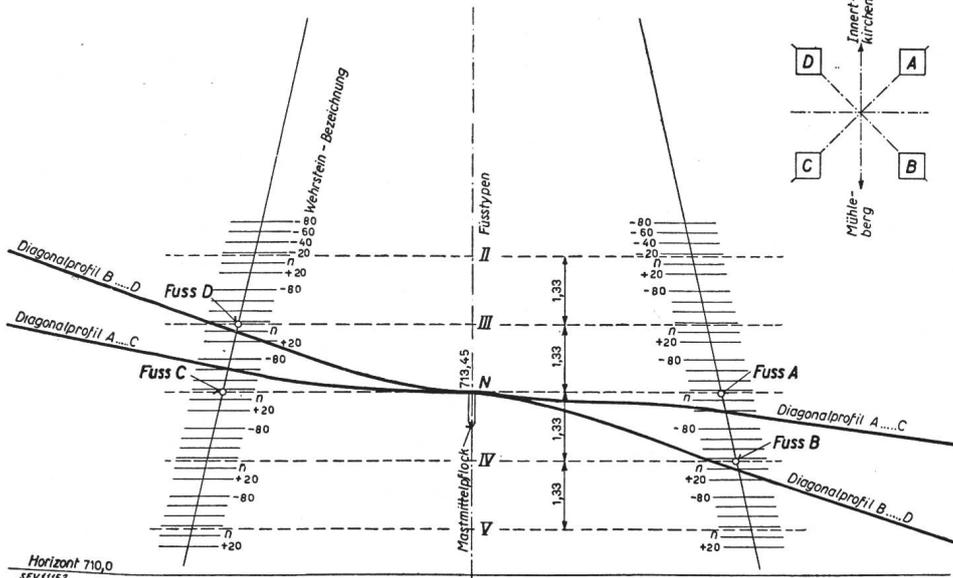


Fig. 25. Schema zur Bestimmung der Mastfusstypen. Beispiel für einen Tragmast T 20/300 in geneigtem Gelände. Fusstypen II, III, N, IV und V siehe Fig. 8

Mit Ausnahme der Fundamenteisen wurden alle Masteneisen feuerverzinkt. Ein grosser Teil der verzinkten Eisen wurde durch Lithoformbehandlung mit einem Zinkphosphat-Ueberzug versehen, der die verzinkten Eisen dunkelte und mattierte und eine gute Unterlage für Farbanstriche ergab.

ber 1942 waren an der Leitung im Minimum 30, im Maximum 220, im Mittel 160 Mann beschäftigt. Für die Montage der Leitung wurden rund 450 000 Arbeitsstunden aufgewendet.

**Bestimmung der Masttypen und Fusstypen**

Die Masttypen (Tragmasten und Winkelmasten verschiedener Grösse) wurden auf Grund der Situationsplne und Längenprofile bestimmt, die Fusstypen an Hand der Diagonalprofile der betreffenden Maststandorte; siehe das Beispiel Fig. 25.

Für die vorliegenden Diagonalprofile ergeben sich folgende Fusstypen:

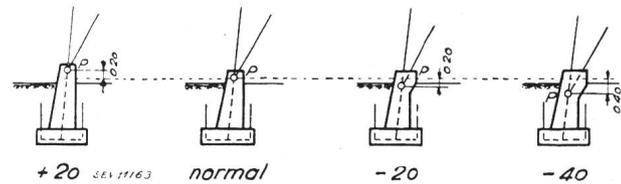


Fig. 26.

Lage des Anschlusspunktes der Fussdiagonalen im Fundament und Bezeichnung der Wehrsteine

**Bau der Leitung**

**Vorarbeiten**

Die Absteckung der Linie, die Anfertigung der Situationsplne und die Aufnahme des Längenprofiles erfolgten im Sommer und Herbst 1940. Die Situationsplne wurden, soweit Katasterpläne benutzt werden konnten, im Maßstab 1 : 1000 erstellt, im übrigen nach Photographien im Maßstab 1 : 2000; die Ordinaten der Längenprofile wurden im Maßstab 1 : 500 aufgetragen. Im Frühjahr 1941 wurden die Masten abgesteckt, worauf die Verhandlungen mit den Grundeigentümern über die Maststandorte und die Ueberleitung aufgenommen werden konnten. Diese Verhandlungen beanspruchten den ganzen Sommer und Herbst 1941. Der Bau der Leitung konnte daher nicht, wie vorgesehen, im Herbst 1941 begonnen werden. Der ausserordentlich kalte und schneereiche Winter 1941/42

Fuss	a) Fusstyp	oder b) Fusstyp	oder c) Fusstyp	für a) b) c) Wehrsteine
A	N	IV	III	+ 20 Erklärung
B	IV	V	N	n der Wehrstein-
C	N	IV	III	- 60 bezeichnung
D	III	N	II	n in Fig. 26

In dem in Fig. 25 dargestellten Fall sowie in ähnlichen Fllen, wo die Gelndeneigungen kleiner oder nicht wesentlich grösser waren, konnte durch Wahl der nächst grössern oder nächst kleineren Fusstypen die Höhe der Stromleitenaufhngungen über Boden um rund 1,3 m gehoben oder gesenkt werden. Von dieser Möglichkeit wurde Gebrauch gemacht, wenn in den anschliessenden Spannfeldern die Höhe der Stromleiter über dem Boden knapp oder unnötig gross war.

**Fundamente**

Im Gelände wurden die Tragmastfundamente nach dem Schema Fig. 27 und die Winkelmast-

fundamente nach einem ähnlichen Schema abgesteckt.

Die Fundamentgruben für alle 383 Masten erforderten das Ausheben bzw. Aussprengen von 5100 m<sup>3</sup> in Erdboden und von 736 m<sup>3</sup> in Fels. Für die Fundamente waren 2270 m<sup>3</sup> Beton nötig, pro

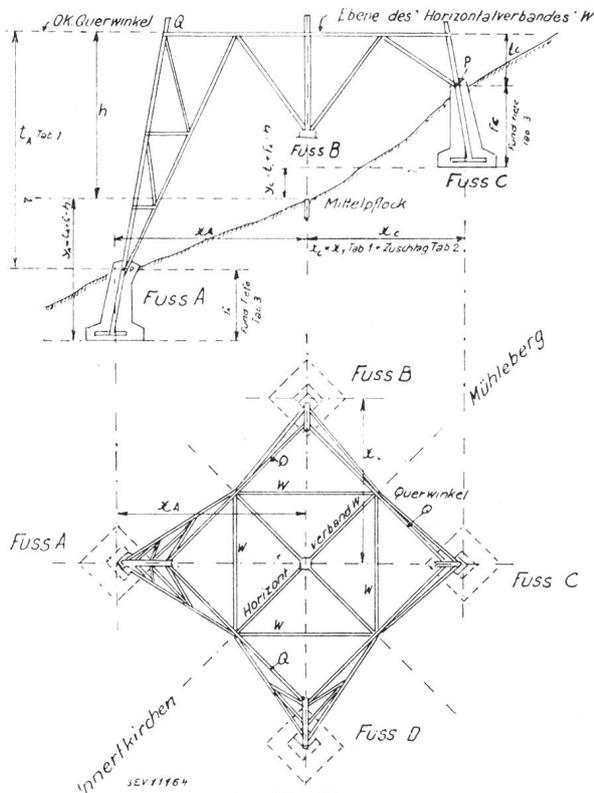


Fig. 27.

Tragmastfundamente, Schema der Absteckung

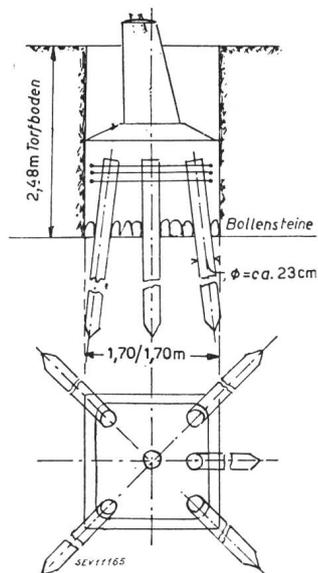


Fig. 28.

Fundament C des Mastes Nr. 250 bei Pohlern

Mast durchschnittlich 5,92 m<sup>3</sup> oder pro Mastfuss 1,48 m<sup>3</sup>.

Mit Ausnahme von 4 Masten, die in Torfgebiet standen, konnten sämtliche Masten normal fundiert werden. Bei den genannten 4 Masten wurde es nötig, die Fundamentplatten auf einen Pfahlrost abzustützen; siehe Fig. 28 und 29.

Für die Pfähle wurden Rottannenstämmen von ca. 23 cm Durchmesser verwendet. Mit einem 330 kg schweren Rammbären und einer Fallhöhe von 2,0...4,5 m konnten die Pfähle

3,5...10,0 m tief eingerammt werden.

Für die Fundamente schrieben die BKW hauptsächlich folgende Betonmischungen vor:

für die Platten und Säulen:

250 kg Portlandzement auf 800 l Kies von max. 50 mm Korngrösse und 400 l Sand und

für die aus dem Boden herausragenden Wehrsteine:

250 kg Portlandzement auf 600 l Kies von max. 20 mm Korngrösse und 600 l Sand.

### Mastmontage

Die BKW übergaben die Masteneisen den Leitungsbauunternehmern auf dem Lagerplatz der Verzinkerei Däniken bei Olten (Fig. 30) und auf dem Lagerplatz Interlaken.

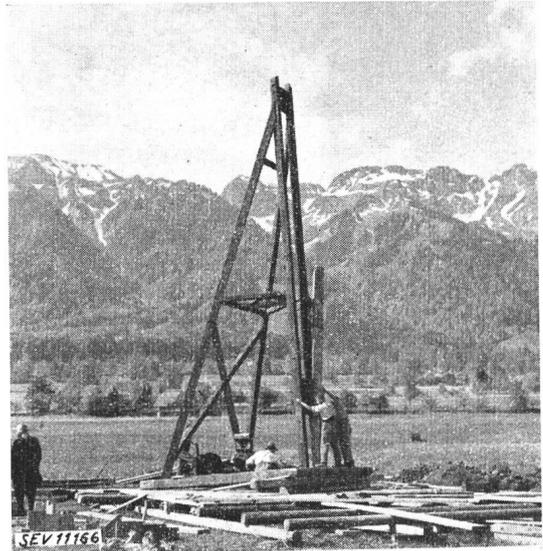


Fig. 29.

Mast Nr. 250 bei Pohlern. Einbringen eines Pfahls für ein Pfahlfundament (19. 5. 42)

Die Eisen wurden erst an den Maststandorten durch Schrauben zusammengesetzt.

Die Eckpfosten der Mastfüsse wurden samt den Fundamenteisen und Erdungsrahmen in die Fundamentgruben gestellt; durch Hinzufügen und Verbinden der Diagonalen und Horizontalstäbe der

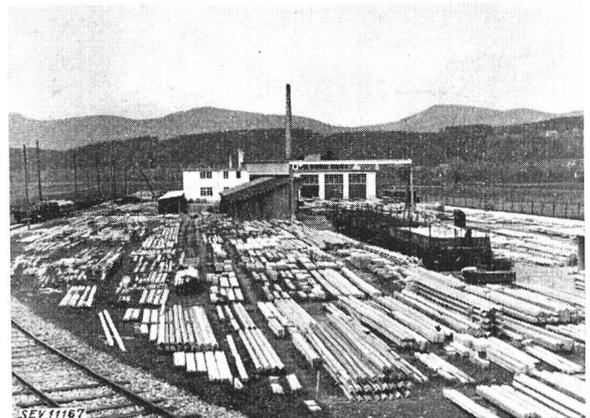


Fig. 30.

Masteneisen-Lagerplatz Däniken (Verzinkerei Kummeler & Matter A.-G.) 28. 4. 42

Füsse und des Horizontalverbandes entstand ein geschlossener Mastteil; siehe Fig. 31 und 32.

Das Einrichten erfolgte nach der Anleitung Fig. 33 und 34.

In den Punkten 2, 4, 6 und 8 des Querkreuzes (Fig. 34) wurden Senkschnüre aufgehängt und in

den Achsen  $a-c$  und  $b-d$  der Mastabsteckung (Fig. 33) Visierstäbe aufgestellt. Der Mast wurde so lange geschoben, bis die Senkschnüre in der Flucht der Visierstäbe lagen, was durch Visieren von blos-

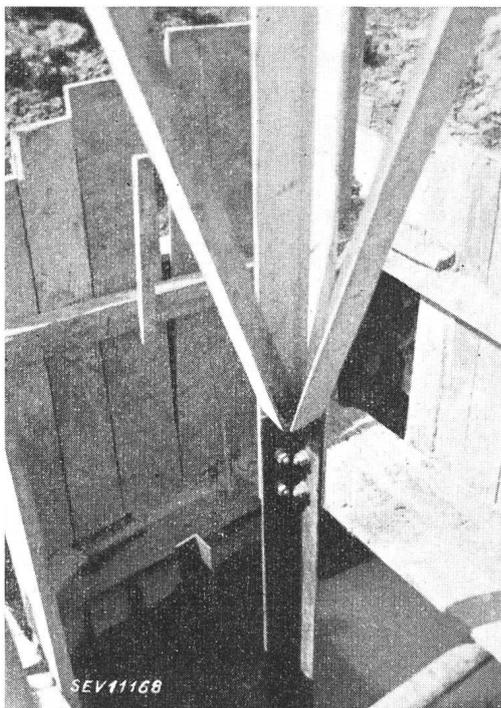


Fig. 31.  
Mastfuss, in die Fundamentgrube gestellt

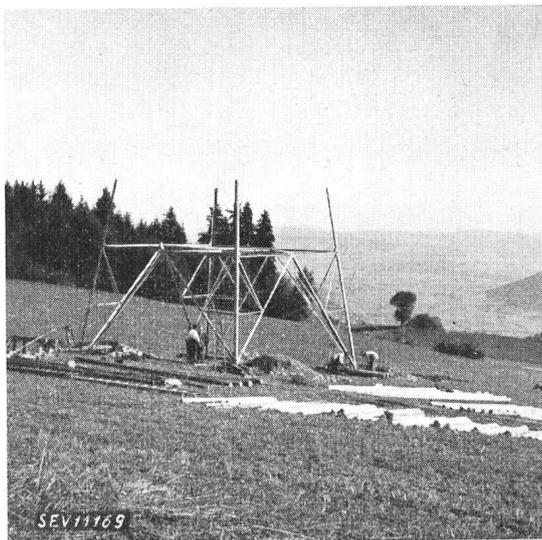


Fig. 32.  
Mast Nr. 299 auf dem Längenberg  
Die Mastfüsse werden zum Betonieren eingestellt

sem Auge mit genügender Genauigkeit festgestellt werden konnte. Die Eckpfosten hatten den richtigen Anzug, wenn die acht Punkte 1...8 des Horizontalverbandes in einer horizontalen Ebene lagen. Die Höhenlage wurde mit dem Nivellierinstrument kontrolliert; die Abweichung eines Punktes vom Mittelwert der acht Punkte durfte höchstens  $\pm 2$  mm betragen.

Nach dem Einstellen wurden die Mastfüsse gegen Verrutschen gesichert und hierauf betoniert.

Der weitere Aufbau der Masten erfolgte 4...6 Tage nach dem Betonieren der Fundamente. Die

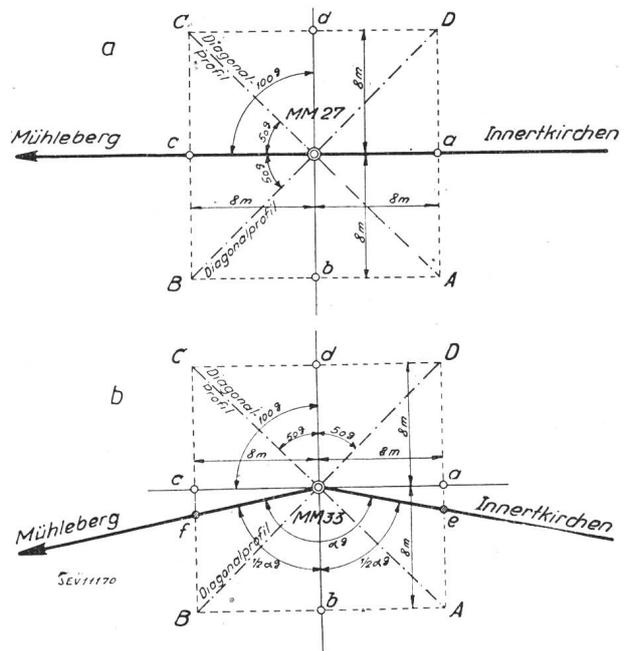


Fig. 33.

Mastabsteckung

- a Tragmast
- b Winkelmast
- o Bodenpfahl mit Nagel
- ⊙ Bodenpfahl mit Nagel und Beipfahl
- ⊖ Pflock, 30 cm vorstehend.

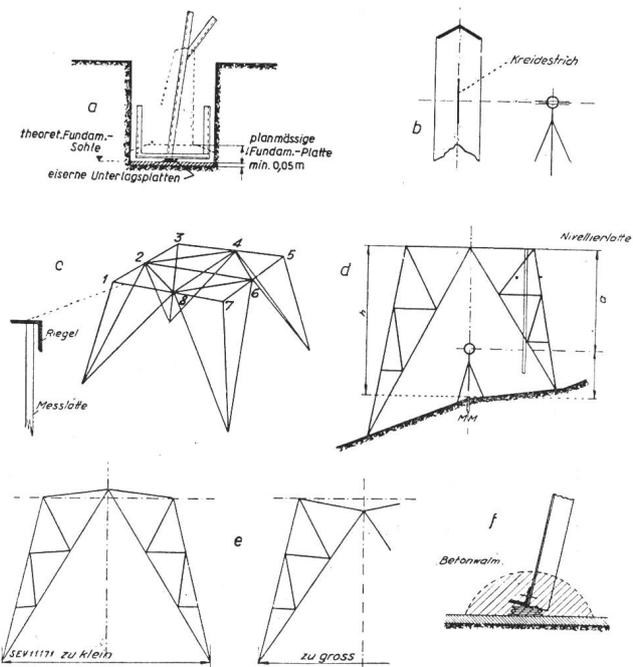


Fig. 34.

Anleitung zum Einstellen der Mastfüsse

- a Vorbetonierte Platte zum Abstellen des Fusses
- b Kreidestrich zum Anvisieren im Innern des Eckpfostenwinkels
- c, d Nivellieren des Querkreuzes
- e Beurteilung der Fussabstände
- f Sichern eines Mastfusses.

Maststäbe wurden mit einem Seilzug, schwerere mit einer Seilwinde hochgezogen und mit den bereits bestehenden Mastteilen verschraubt; siehe Fig. 35. Knotenbleche wurden in der Regel bereits am Bo-

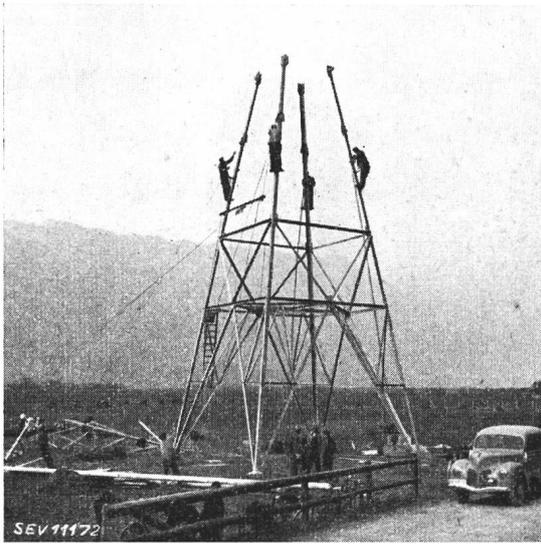


Fig. 35.  
Aufbau des Winkelmastes Nr. 133 bei Wilderswil

den an den Stäben befestigt. Die Mastausleger wurden am Boden fertig zusammengestellt und dann hochgezogen und mit der Mastsäule verschraubt.

#### Montage der Stromleiter und des Erdseiles

Das Ausziehen und Spannen des Aluminiumstahlseiles und des Erdseiles erfolgte in üblicher Weise mit motorisch angetriebenen Winden.

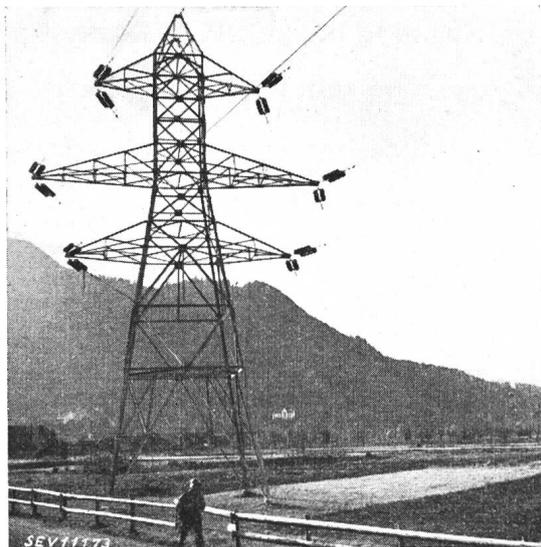


Fig. 36.  
Winkelmast Nr. 133, W 11/300 bei Wilderswil  
hinten Tragmasten T 11 (kaum sichtbar)

Die Seile wurden auf den Seiltrommeln oder auf besonderen Seilbremsen (Fig. 38) so stark abgebremst, dass sie beim Ausziehen den Boden nicht berührten; die nötige Zugkraft betrug ungefähr 500 kg.

Die Stromleiter wurden auf konstanten Horizontalzug zwischen den Abspannpunkten und derart einreguliert, dass bei 2 kg/m Zusatzlast der Horizontalzug  $\leq 3100$  kg und der grösste Leiterzug



Fig. 37.  
Seilzugmaschine auf dem Baulos 12

$\leq 3330$  kg, bzw. die Spannung in den Aluminiumdrähten  $\leq 11$  kg/mm<sup>2</sup> beträgt.

In der Ebene ist bei dieser Zusatzlast der Horizontalzug 3100 kg, der grösste Leiterzug kleiner als 3330 kg; bei grossen Höhenunterschieden ist der Horizontalzug kleiner als 3100 kg, der grösste Leiterzug 3330 kg. Der kleinste Horizontalzug (2600 kg) ist im Spannfeld Nr. 146 (Rugen) —

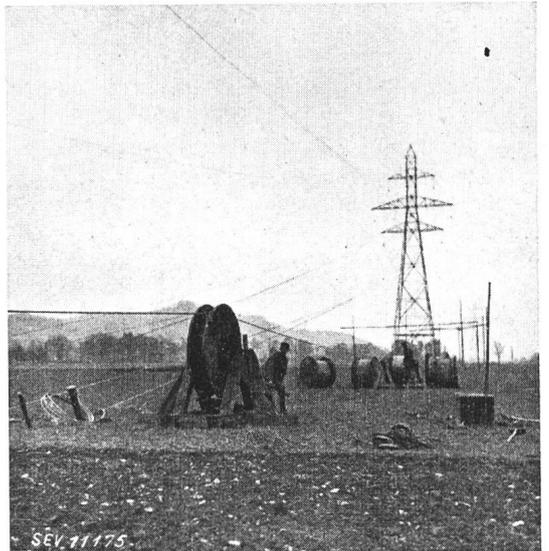


Fig. 38.  
Seilbremse auf dem Baulos 9  
Spannfeld 275/276 bei Burgistein

Nr. 147 (Winkelmast am Schiffahrtskanal); siehe Fig. 4.

Die Verbindungen und Abspannungen der Stromleiter und Erdseile wurden mit Hilfe von hydraulischen Pressen erstellt; s. Fig. 39 und 40.

Am 15. Dezember 1942 war die 150-kV-Leitung Innertkirchen-Mühleberg auf sämtlichen Baulosen betriebsbereit; seit dem 4. Januar 1943 steht sie im Betrieb.



Fig. 39.

Pressen einer Stahlmuffe zur Verbindung der Stahlseele

Jeder Leitungsstrang ist in Innertkirchen und Mühleberg mit Schnelldistanzrelais und Druckluftschneckschaltern ausgerüstet, so dass bei Störungen die fehlerhafte Leitung in kürzester Zeit automatisch abgeschaltet wird.

Ein Stromleiter wird für die Uebertragung der hochfrequenten Energie einer leitungsgerichteten Telefon- und Fernmess-Anlage verwendet.

Im Zusammenhang mit der 150-kV-Leitung Innertkirchen-Mühleberg wurde von den BKW auch die 150-kV-Leitung Bassecourt-Brislach und vom Elektrizitätswerk der Stadt Bern die Leitung Müh-



Fig. 40.

Pressen einer Aluminiummuffe

leberg-Bern erstellt. Für Bassecourt-Brislach wurde grösstenteils das durch den Abbruch der BKW-Leitung Pieterlen-Bickigen freigewordene Material verwendet. Für Mühleberg-Bern wurden das Mast-eisen, das Leitermaterial und die Isolatoren durch die BKW gleichzeitig mit dem Material für Innertkirchen-Mühleberg beschafft.

## Die Kleinspannungslampe für allgemeine Beleuchtungszwecke

Von Erwin Frey, Zürich

621.32.027.2

Im Bulletin SEV 1943, Nr. 25, S. 782, wurde über die Diskussionsveranstaltung des SBK vom 1. Dezember 1943 berichtet, in welcher der Verfasser über die höchst aktuelle Frage der Beleuchtung mit Kleinspannung referiert hat.

Der folgende Artikel gibt Aufschluss über die Zusammenhänge der Entwicklung, physikalische Eigenschaften, Betriebssysteme und grundsätzliche Anwendung der Kleinspannungslampe für allgemeine Beleuchtungszwecke. Es wird erklärt, weshalb die Kleinspannungs-Glühlampe gegenüber der Normallampe wirtschaftlicher ist und weshalb das Licht visuell weisser erscheint. Eine Anzahl von Tabellen orientieren über die praktisch messbaren Betriebswerte. Die Vor- und Nachteile der Betriebssysteme werden erörtert.

Schliesslich wird die Kleinspannungslampe in einer Betriebskostenrechnung mit der modernen Gasentladungslampe verglichen. Die Kleinspannungsbeleuchtung wird für bestimmte Anwendungsgebiete empfohlen. Abschliessend wird über die Perspektiven für die weitere generelle Anwendung der Kleinspannungslampe im Hinblick auf die fortschreitende Entwicklung der Gasentladungslampe berichtet.

Dass gerade heute im Zuge der Entwicklung der modernen Gasentladungslampen zur Erzeugung von künstlichem Tageslicht die Beleuchtung mit Kleinspannung in Erscheinung treten konnte, bildet einen Fragenkomplex, der im folgenden dargelegt und beantwortet werden soll.

A l'assemblée de discussion du CSE, le 1<sup>er</sup> décembre 1943, dont il a été fait mention dans le Bulletin ASE 1943, No. 25, p. 782, M. Frey avait présenté un rapport sur l'éclairage sous faible tension.

L'article ci après fournit des renseignements sur le développement, les propriétés physiques, les systèmes d'exploitation et le principe d'application des lampes à faible tension destinées à l'éclairage en général. L'auteur indique pourquoi la lampe à incandescence à faible tension est plus économique que la lampe normale et la lumière qu'elle fournit paraît plus blanche. Les valeurs qui peuvent être mesurées figurent dans des tables. Les avantages et les désavantages des systèmes d'exploitation sont exposés.

L'auteur compare ensuite les frais d'exploitation des lampes à faible tension avec ceux des lampes modernes à décharge. L'éclairage à faible tension est recommandé pour certains domaines d'application. Pour terminer, l'auteur signale les perspectives d'une application généralisée des lampes à faible tension, en tenant compte du développement des lampes à décharge.

### Fragen

1. Wann und unter welchem Blickwinkel kam man auf die Idee zur Anwendung der Kleinspannung für allgemeine Beleuchtungszwecke?

2. Seit wann ist die Kleinspannungsbeleuchtung für Allgemeinbeleuchtung in der Schweiz bekannt und in welchem Umfange hat sie sich bis heute entwickelt?