

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 24 (1933)  
**Heft:** 9

**Artikel:** Betrieb und Unterhalt von Hochspannungsleitungen und Verteilungsanlagen : Referat über die Erfahrungen der Bernischen Kraftwerke A.-G., Bern (BKW)  
**Autor:** Köchli, W.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1057235>

#### **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:** 09.01.2026

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

# ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

# BULLETIN

## RÉDACTION:

Secrétariat général de l'Association Suisse des Electriciens  
et de l'Union de Centrales Suisse d'électricité, Zurich 8

## EDITEUR ET ADMINISTRATION:

Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei S. A., Zurich 4  
Stauffacherquai 36/38

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

XXIV<sup>e</sup> Année

N<sup>o</sup> 9

Vendredi, 28 avril 1933

## Betrieb und Unterhalt von Hochspannungsleitungen und Verteilungsanlagen.

(Aus der Betriebsleiterkonferenz des SEV vom 16. Dezember 1932 in Olten.)

### Referat über die Erfahrungen der Bernischen Kraftwerke A.-G., Bern (BKW).

Von *W. Köchli*, Bern.

Zur Ueberwachung der Hochspannungsleitungen und der Verteilungsnetze haben die BKW einen besonderen Kontrolldienst organisiert, der vom Referenten näher erläutert wird. Es wird gezeigt, welche Massnahmen zur Verhütung von Störungen durch defekte Isolatoren, angefaulte Leitungsstangen und andere Ursachen getroffen und wie solche Störungen in kürzester Zeit behoben werden können.

621.315.1.0046 + 621.316.1.0046  
Les Forces Motrices Bernoises ont organisé pour la surveillance des lignes à haute tension et des réseaux de distribution un service de contrôle spécial. L'auteur expose les mesures prises par ce service pour éviter les dérangements provenant d'isolateurs défectueux, de poteaux pourris et d'autres dégâts ainsi que pour remédier dans le plus bref délai à de tels dérangements.

#### Kontrolldienst.

Die Verteilungsanlagen der Bernischen Kraftwerke umfassen auf Ende 1931 2066 km Hochspannungsleitungen mit Spannungen von 4, 8, 11, 16 und 45 kV und 2827 km Niederspannungsleitungen, die sich auf 489 eigene Ortsnetze mit 822 Transformatorenstationen verteilen. An Leitungstragwerken waren auf den gleichen Zeitpunkt vorhanden: 105 400 Leitungsstangen aus Holz und 1150 Gittermasten.

Alle Hochspannungsleitungen bis 45 kV Spannung sind als Regelleitungen gebaut. Gittermasten sind nur bei Leitungswinkeln, bei Bahnkreuzungen und auf Leitungsstrecken verwendet, wo das Terrain Weitspannungen notwendig macht, oder wo die Bodenverhältnisse, z. B. Sumpfboden, für eine solide Fundierung der Stangen Schwierigkeiten boten. Im letzteren Fall wurde die ungünstige Strecke mit Gittermasten gebaut, wobei die Fundamente auf Pfahlrosten erstellt wurden. Die Abstände der Phasenleiter betragen bei den

45-kV-Leitungen 110 cm und bei den  
16-kV-Leitungen 100 cm.

Die Leiter eines Systems bilden ungefähr ein gleichseitiges Dreieck.

Das ganze Netz der BKW ist in 6 Betriebskreise eingeteilt. Jede Betriebsleitung hat in dem ihr zugeordneten Gebiet neben anderen Aufgaben auch den Betrieb und Unterhalt der Hochspannungsleitungen und Verteilungsanlagen zu besorgen.

Die durch die Bundesvorschriften vorgeschriebenen periodischen Revisionen der Anlagen werden

bei allen Betriebsleitungen nach einheitlichen Grundsätzen ausgeführt. Hochspannungsleitungen mit Spannungen bis 16 kV werden jeden zweiten Monat, Hochspannungsleitungen für 45 kV jeden Monat kontrolliert. Der Unterschied wird darum gemacht, weil bei 45-kV-Leitungen auch schon kleine Defekte zu Störungen führen können, die bei 16-kV-Leitungen und Leitungen mit niedrigerer Spannung noch keine Gefahr bilden. Es ist daher bei 45-kV-Leitungen wichtig, über auftretende Mängel sehr rasch orientiert zu werden.

Die periodischen Leitungskontrollen werden durch nebenamtlich angestellte Leute ausgeführt, die für diesen Dienst besonders instruiert werden. Jedem Streckenwärter wird eine Leitungsstrecke von 3 bis 5 km zugeteilt, je nach der Begehbarkeit der Strecke. Ein Kontrollgang soll bei Störung nicht mehr als 1 bis 2 Stunden Zeit beanspruchen.

#### Isolatoren.

Die Erfahrungen mit diesem Kontrolldienst zeigen, dass er genügt, um grobe Mängel rasch zur Kenntnis der Betriebsleitungen zu bringen. Als grobe Mängel sind zu bezeichnen: zerschlagene Isolatoren, an den Leitungen hängende Gegenstände, gebrochene, in den Drähten hängende Stangen, Bäume, die bei Wind die Drähte berühren können etc. Ausser diesen leicht feststellbaren Mängeln entstehen mit der Zeit Defekte, die nicht so leicht zu erkennen sind. Es handelt sich dabei um Rissbildung an den Isolatoren von 45-kV-Leitungen und um den Bruch von Binddrähten, mit denen die Drähte an den Isolatoren festgebunden

sind. Bei den älteren 45-kV-Leitungen aus den Jahren 1906/08 und 1912 sind Weitschirmisolatoren verwendet, bei denen die beiden Porzellanscherben zusammengekittet sind. Diese Isolatoren standen lange Zeit anstandslos im Betrieb, ohne dass Defekte bemerkt werden konnten. Dann traten in verhältnismässig rascher Folge Stangenbrände auf, die zum Teil nicht rechtzeitig bemerkt wurden und daher zu schweren Störungen durch Durchbrennen der Stangen führten (Fig. 1). Die eingehende Kontrolle bei ausgeschalteter Leitung zeigte, dass bei zahlreichen Isolatoren die obere Glocke Risse hatte. Die Ursache dieser Defekte sind Ermüdungs- oder Alterungerscheinungen des Zementes, der zum Zusammenkitten der beiden Porzellanscherben verwendet wurde. Um diese schadhaften Isolatoren zu ermitteln, werden nun die Isolatoren aller 45-kV-Leitungen in zweijährigen Zwischenräumen durch Leitungsmontoure genau nachgesehen.

Eine weitere Art von Defekten, die ebenfalls nur bei ausgeschalteter Leitung entdeckt werden konnten, entstanden bei der Befestigung des Leitungsdrahtes an den Isolatoren mit dem sogenannten Telegraphenbund (Fig. 2). Es hat sich gezeigt, dass der zu diesem Bund verwendete 2 mm starke Kupferbindedraht zu schwach ist, um die Beanspruchungen durch Wind und Schnee- oder Rauhreibbelastungen auf die Dauer auszuhalten. Der Bund wurde daher bei allen 45-kV-Leitungen durch den sogenannten Böglibund (Fig. 3) ersetzt. Das für das Bögli verwendete Drahtstück hat den gleichen Durchmesser wie der Leitungsdraht.



Fig. 1.  
Infolge Isolatordefekt durchgebrannte Stange einer 45-kV-Leitung.

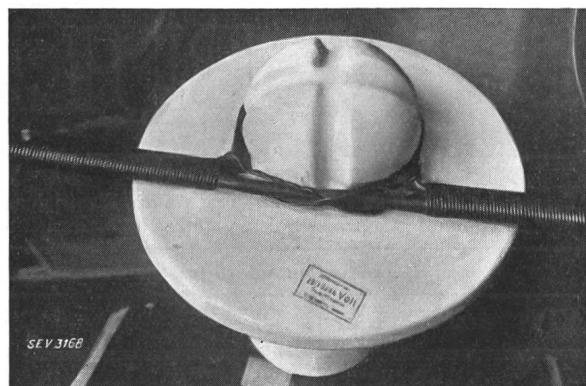


Fig. 3.  
Böglibund.  
Pro Bund sind 2×4 m Binddraht von 2,5 mm Ø nötig.

#### Leitungsstangen.

Die Kontrolle der Leitungsstangen wird durch speziell hierfür instruierte Leitungsmontoure ausgeführt. Für die Beurteilung des Zustandes der Stangen hat das Personal folgende Richtlinien zu beachten:

1. Die Stangen sind mit einem ca. 1 kg schweren Hammer abzuklopfen. Gesunde Stangen geben einen klaren Ton; ist der Ton dumpf, so sind die Stangen als kernfaul zu betrachten.
2. Stangen mit Windrissen, aus denen beim Beklopfen Holzmehl herausstäubt, sind ebenfalls als kernfaul vorzumerken.
3. Weisen die Stangen nach dem Zopf hin Löcher auf, so zeigt dies, dass die Stangen von Käfern befallen sind; die Löcher sind durch Spechte herausgehackt worden.

Der Umfang der Fäulnis wird mit dem Zuwachsbohrer (Fig. 4) festgestellt, mit dem Holz-

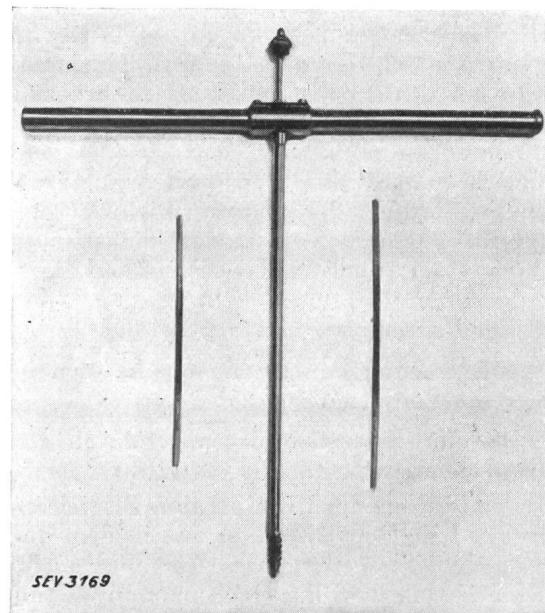


Fig. 4.  
Zuwachsbohrer für die Untersuchung angefaulter Leitungsstangen.

proben aus der Stange herausgebohrt werden. Die Sondierlöcher werden mit in Oel getränkten Holzpfropfen wieder verschlossen. Je nach dem Befund wird entschieden:

- a) ob eine angefaulte Stange ganz ersetzt werden muss;
- b) ob es sich lohnt, die angefaulten Stangen einer Nachimprägnierung zu unterziehen;
- c) ob ein Stangenfuss eingebaut werden soll.

Angefaulte Stangen wurden bis vor wenigen Jahren ersetzt, wenn  $\frac{1}{3}$  ihres Querschnittes beim Austritt aus dem Boden als durch Fäulnis zerstört festgestellt war. Da dieses Vorgehen die sehr verschiedenenartigen Beanspruchungen einer Stange nicht berücksichtigt, wurde es aufgegeben. Heute wird, nachdem der Umfang der Fäulnis einer Stange festgestellt ist, zum Ersatz einer angefaulten Stange geschritten, bei Hochspannungsleitungen, wenn der Sicherheitsfaktor im ungünstigsten Belastungsfall = 2 ist, bei Niederspannungsleitungen je nach Standort der Stange, wenn der Sicherheitsfaktor = 1 bis 2 ist. Der Sicherheitsfaktor wird je nach Standort der angefaulten Stange und nach dem Zustand der benachbarten Stangen nach oben oder unten variiert.

Die grossen Kosten für den Stangenersatz veranlassten die BKW, mit verschiedenen Verfahren Versuche zur Verlängerung der Lebensdauer der Stangen durchzuführen. Es wurden folgende Verfahren ausprobiert:

### 1. Anstrich mit Teeröl.

Die Stangen werden bis zum ersten Steinkranz freigelegt und die angefaulten Holzteile abgekratzt. Hierauf bleiben die Stangen einige Zeit zum Austrocknen so stehen. Sie werden dann mit Teeröl bis ca.  $\frac{1}{2}$  m über Boden angestrichen; das Oel wird mit grossen Lötlampen eingebrennt. Die Kosten dieses Verfahrens betragen rund 5 Fr. pro Stange.

### 2. Nachimprägnieren nach dem Cobra-Verfahren.

Bei diesem Verfahren wird als Holzkonservierungsmittel Fluornatrium und nitriertes Phenol verwendet, das mit einem einfachen Apparat unter Druck in das Holz hineingepresst wird. Die angefaulten Stangen werden bis zum ersten Steinkranz frei gelegt und sauber abgebürstet. Das Nachimprägnieren erfolgt bis auf eine Höhe von 25 cm über Boden durch Impfstiche, die in Abständen von ca. 10 cm angebracht werden. Die hohle Impfnadel, durch welche die Imprägniermasse in das Holz eingeführt wird, dringt ungefähr 6 cm tief ein. Pro Stange sind 50 bis 60 Impfstiche erforderlich. Die nachimprägnierten Stangen werden bis auf 1 m Höhe über Boden zweimal mit «Celloid», einem Teerprodukt, gestrichen, um das Wiederaustreten der Imprägniermasse aus dem Holz zu verhindern. Die Kosten dieses Verfahrens betragen pro Stange 7 bis 8 Fr.

### 3. Nachimprägnieren mit Bandagen.

Die Stangen werden ebenfalls bis zum ersten Steinkranz frei gelegt und abgebürstet. Um den freigelegten Stangenteil wird die Imprägnierbandage so gewickelt und mit Dachpappennägeln befestigt, dass die Bandage der Stange satt anliegt. Die Bandage enthält als Imprägniermittel Malenit. Die Bodenfeuchtigkeit dringt in die Bandage ein, löst das Malenit zu einer für die Holzpilzorganismen giftigen Lauge auf, die beim Eindringen in die Stange diese von neuem imprägniert. Die Kosten dieses Verfahrens betragen pro Stange 16 bis 17 Fr.

Im allgemeinen kann die Wirkung aller drei Verfahren als gut beurteilt werden. Eine Verlängerung der Lebensdauer der Stangen wird bestimmt erzielt, wie aus dem Verhalten von Teilstrecken einzelner Hochspannungsleitungen geschlossen werden kann, bei denen aufeinanderfolgende Strecken nicht oder nach einem der genannten Verfahren behandelt worden sind. Die erzielbare Verlängerung der Lebensdauer der Stangen ist verschieden und hängt in starkem Masse von der Art des Bodens ab, in dem die Stangen stehen.

Für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der Nachimprägnierung gibt die nachfolgende Formel Anhaltspunkte. Es bedeuten:

$K$  = Kosten des Ersatzes einer Leitungsstange;  
 $k$  = Kosten der einmaligen Nachimprägnierung der Stangen;  
 $n$  = Anzahl Jahre zwischen 2 Nachimprägnierungen;  
 $T$  = Lebensdauer der Stange ohne Nachimprägnierung;  
 $t$  = Verlängerung der Lebensdauer durch die Nachimprägnierung.

Es besteht Kostengleichheit, wenn

$$\frac{k}{n} \cdot (T + t) = \frac{K}{T} \cdot t$$

und das Nachimprägnieren rechtfertigt sich wirtschaftlich, wenn

$$t \geq \frac{T^2 \cdot k}{K \cdot n - T \cdot k} \text{ ist.}$$

Nach den Erfahrungen der BKW kann damit gerechnet werden, dass die Nachimprägnierung sechs Jahre wirksam bleibt. Die Kosten für den Ersatz einer Stange bei Hochspannungsleitungen für 16 und 45 kV betragen durchschnittlich 125 Fr. Die Lebensdauer der Stangen ohne Nachimprägnierung beträgt durchschnittlich 17 Jahre. Bei diesen Annahmen, die den wirklichen Verhältnissen in vielen Fällen entsprechen, wird die Nachimprägnierung also wirtschaftlich, wenn eine Verlängerung der Lebensdauer von

$$t = \frac{17^2 \cdot 7}{125 \cdot 6 - 17 \cdot 7} = 3,2 \text{ Jahren erzielt wird.}$$

Die erzielte Verlängerung der Lebensdauer wird in den meisten Fällen grösser sein als 3 bis 4 Jahre, so dass sich das Nachimprägnieren der Leitungsstangen bei Hauptleitungen jedenfalls rechtfertigt.

*Einbau von Stangenfüssen.*

Die BKW verwenden ausschliesslich den von Roll-Stangenfuss aus Gusseisen. Die Verwendung erfolgt nach folgenden Richtlinien:

verwenden, d. h. überall dort, wo der Einbau einer neuen Stange grosse Kosten verursacht.

Fig. 5 bis 8 zeigen das Vorgehen beim Einbau eines Stangenfusses.

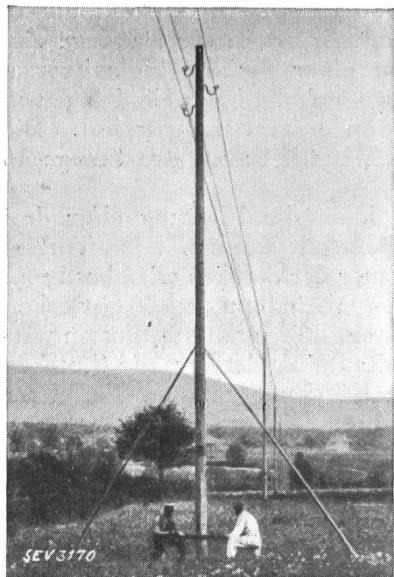


Fig. 5.

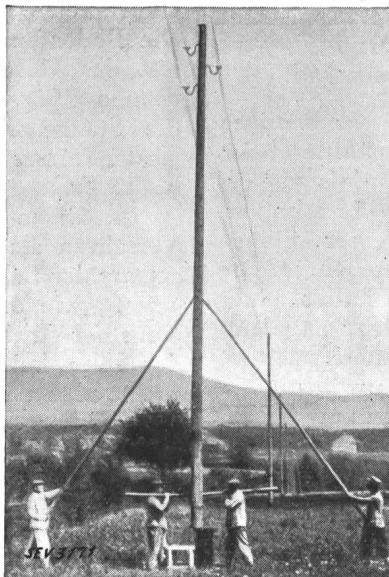


Fig. 6.

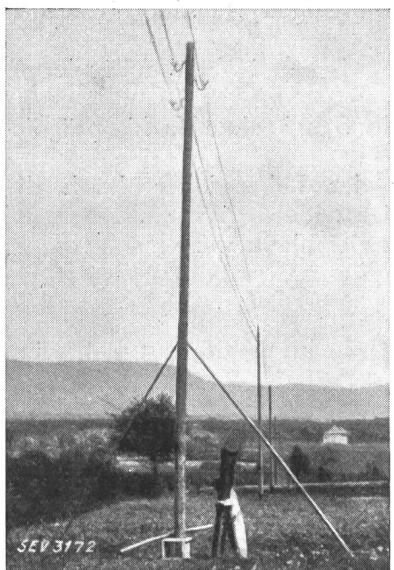


Fig. 7.

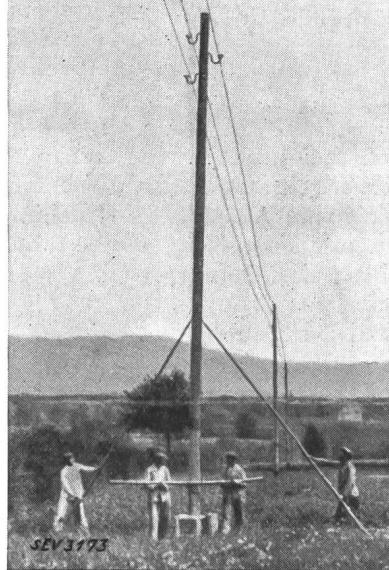


Fig. 8.

Einbau eines gusseisernen Stangenfusses bei unter Spannung stehender Leitung.

Die Stangen, bei denen Stangenfüsse eingebaut werden, müssen im oberen Teil, d. h. von ca. 0,3 m über Boden an, vollständig gesund sein.

Stangenfüsse sind dort zu verwenden, wo ungünstige Bodenverhältnisse ein rasches Faulen der Stangen ohne Füsse erwarten lässt, also z. B. in der Nähe von Abwässern und in nassem, schwerem Boden.

Stangenfüsse sind ferner bei Stangenstationen, Stangenschaltern und bei Eckpunkttragwerken zu

verwenden, d. h. überall dort, wo der Einbau einer neuen Stange grosse Kosten verursacht.

Fig. 5 bis 8 zeigen das Vorgehen beim Einbau eines Stangenfusses.

**Arbeiten an Hochspannungsleitungen.**

**Kurzschliessen und Erden der Leitung.**

Bei den BKW werden alle Arbeiten an ausgeschalteten Hochspannungsleitungen nach schriftlichen Arbeitsprogrammen ausgeführt. Die Schalt- und Arbeitszeiten werden darin nach Telegraphenzeit festgesetzt. Zwischen Ausschalten und Beginn der Arbeit und zwischen Schlusszeit der Arbeit und Einschalten der Leitung wird eine Zwischenzeit von je 15 Minuten eingeschoben. Die Arbeit darf erst aufgenommen werden, nachdem die Leitungen an der Arbeitsstelle kurzgeschlossen und geerdet wurden. Wird auf Holzstangen geerdet, so erfolgt das Erden mit der Wurf-Kurzschlussvorrichtung; auf Gittermasten erfolgt das Erden mit der Erdungsstange.

Die *Wurf - Kurzschlussvorrichtung* besteht aus dem Erdungsseil aus flexilem Kupferseil von  $50 \text{ mm}^2$  Querschnitt und 13 m Länge und dem Kurzschlußseil vom entsprechenden Querschnitt und 3,5 m Länge mit eingeflochtenen Klemmen und einer Gummikugel am Ende. Beide Seile sind auf einer Traggabel mit isoliertem Griff aufgewickelt. Das Erden mit der Wurf - Kurzschlussvorrichtung erfolgt in der Weise, dass der Monteur zuerst den Erdbohrer in möglichst günstigem Erdreich bis zum Handgriff eintreibt. Er besteigt dann die Stange und wickelt laufend das Erdungsseil vom Griff. Wenn sich der Monteur ca. 1,5 m unter dem untersten Leitungsdraht befindet, wirft er das Seil über die Drähte, wobei er es im Moment des Wurfes loslässt. Hat sich das Seil um die Drähte geschlungen, so wird es mit den vorhandenen Klemmen noch an die Drähte festgeklemmt. Zum Kurzschliessen hat der Monteur stets Gummihandschuhe anzuziehen und darauf zu achten, dass er mit dem zum Erdbohrer führenden Erdungsseil nicht in Berührung steht.

Die *Erdungsstange* besteht aus zwei zusammenschraubbaren lackierten Hartpapierrohren mit

einem Handgriff aus ölimprägniertem Hartholz. Die Länge der Stange ist 3,2 m, der Durchmesser 38 mm; der Isolationswiderstand beträgt über 2000 Megohm. Die Stange wird in nassen Zustände mit 250 kV geprüft. Sie hat ein Kopfstück,



Fig. 9.  
Kurzschiessen und Erden einer 45-kV-Leitung mit der Wurf-Kurzschlussvorrichtung.

Der Monteur ist zum Werfen des Seiles bereit.

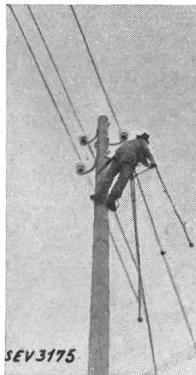


Fig. 10.  
Kurzschiessen und Erden einer 45-kV-Leitung mit der Wurf-Kurzschlussvorrichtung.

Der Monteur ist zum Werfen des Seiles bereit.



Fig. 11.  
Kurzschiessen und Erden einer 45-kV-Leitung mit der Wurf-Kurzschlussvorrichtung.

Der Monteur hat das Seil geworfen. Es hat sich um die Leitungsdrähte geschlungen.

auf welches die Erdungsklemmen aufgesetzt werden können. Zur Erdungsklemme gehören 4 m flexibles Kupferseil von 50 mm<sup>2</sup> Querschnitt, ein Klemmstück zum Anklemmen an der Mastkonstruktion und ein Klemmstück zum Anklemmen am Stromleiter.

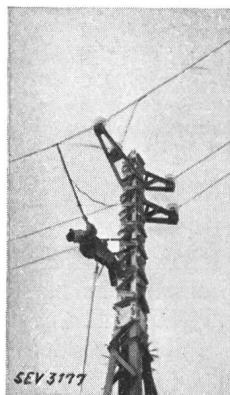


Fig. 12.  
Kurzschiessen und Erden einer 45-kV-Leitung auf Gittermast.

Der Monteur klemmt das Kopfstück des Erdungsseiles mit der Erdungsstange am Seile fest.



Fig. 13.  
Kurzschiessen und Erden einer 45-kV-Leitung auf Gittermast.

Der Monteur hat das erste Erdungsseil angeklemmt und kann nun in gleicher Weise die übrigen Leiter erden.

Das Erden mit Wurf-Kurzschlussvorrichtung und mit der Erdungsstange zeigen die Fig. 9 bis 13.

#### Durchführung der Arbeiten.

Die stets zunehmende Anwendung der Elektrizität in Haushalt, Gewerbe und Industrie hat zur Folge, dass es immer schwieriger wird, die Leitun-

gen zur Vornahme von Unterhaltsarbeiten auszuschalten. Es ist daher nötig, alle Arbeiten möglichst weitgehend vorzubereiten, um die Ausschaltzeit auf ein Minimum zu beschränken, und während der Ausschaltzeit selbst mit zahlreichem Ar-

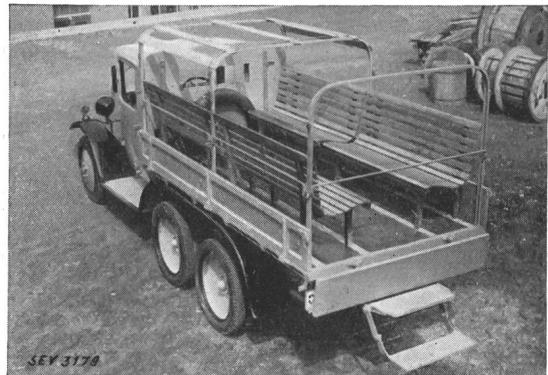


Fig. 14.  
Lastwagen «Morris» mit aufgesetzten Bänken für Personaltransport.



Fig. 15.  
Wie Fig. 14, jedoch mit Verdeck für Fahrt bei schlechtem Wetter.



Fig. 16.  
Der Lastwagen fährt von der Strasse ins Gelände.

beitspersonal in möglichst kurzer Zeit eine grösstmögliche Arbeitsleistung zu erzielen. Nach Beendigung der Arbeiten ist das für die Ausschaltzeit zugezogene Personal samt dem Werkzeug rasch

wieder an die Arbeitsstelle zu verbringen, von der es für die konzentrierte, beschleunigt durchgeführte Arbeit an der Leitung weggenommen



Fig. 17.

Der Lastwagen fährt mit aufmontierten Raupen über eine verschneite Alpweide.

wurde. Bei Störungen an Hochspannungsleitungen ist es ebenfalls nötig, das Personal für die Reparatur in kürzester Zeit an die Arbeitsstelle zu bringen.



Fig. 18.

Der Lastwagen fährt mit aufmontierten Raupen über eine verschneite Alpweide.

Diesen Anforderungen stellen sich im Gebiet der Bernischen Kraftwerke bei einer Anzahl Leitungen grosse Schwierigkeiten entgegen, da diese Leitungen zum Teil durch abgelegene Gegenden führen, ohne Bahn oder Automobilverkehr. Einzelne Teilstrecken dieser Leitungen sind daher namentlich im Winter nur mit grossem Zeitaufwand erreichbar. Um diesen Schwierigkeiten zu begegnen, haben die BKW vorläufig für eine Betriebsleitung einen Lastwagen angeschafft, der in kürzester Zeit für Personaltransport hergerichtet werden kann. Der Wagen ist nicht an Strassen gebunden und kann im Winter durch Aufbringen von Raupen auf die Hinterräder auch ungebahnnte Strassen und selbst Alpweiden befahren (Fig. 14 bis 18).

Im Wagen ist eine Winde eingebaut, mit der sich der Wagen selbst über sonst unüberwindbare Stellen hinweghelfen kann. Die Winde kann auch zur Montage und Demontage von Gittermasten und Stangenschaltern, zum Auswechseln von Stangen

und ähnlichen Arbeiten vorteilhaft benutzt werden (Fig. 19 und 20).



Fig. 19.

Ersetzen einer faulen Leitungsstange mit Flaschenzug.

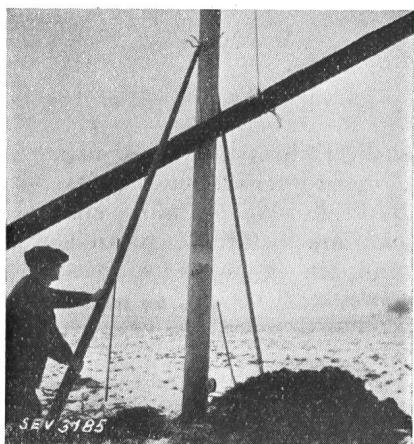


Fig. 20.

Ersetzen einer faulen Leitungsstange mit Hilfe des Lastwagens und zweier Rollen.

### Hochspannungsleitungen.

Die als Regelleitungen gebauten Hochspannungsleitungen sind im allgemeinen sehr betriebs sicher. Die Ursachen der auftretenden Störungen können ihrer Häufigkeit nach in die folgenden drei Kategorien eingeteilt werden:

1. Gewitter.
2. Böswilligkeit oder Fahrlässigkeit von Dritt Personen.
3. Vögel.

Die Gewitter verursachen in der Hauptsache Defekte an Isolatoren auf geerdeten Tragwerken, also bei Gittermasten und Stangenschaltern.

Bei den Gittermasten der 45-kV-Leitungen sind Stützisolatoren der Weitschirmtype mit einer Ueberschlagsspannung unter Regen von 125 kV verwendet. Die Isolatoren sind direkt auf den eisernen Auslegern montiert. Bei Gewittern treten an diesen Isolatoren häufig Defekte durch

Ueberschläge auf. Durch das Anbringen von Schutzringen aus Kupferdraht an der Isolatorenstütze und auf dem Isolatorenkopf wurde versucht, diese Lichtbogenschäden zu verhindern. Um das Durchschmelzen des Leitungsrahtes bei den Ueberschlägen zu vermeiden, wurden auf die Leitungsdrähte Winkeleisen geklemmt. Es ist mit diesen Vorkehrten gelungen, die Zahl der Isolatoren schäden in erheblichem Masse zu reduzieren und das Durchschmelzen des Leitungsrahtes bei Ueberschlägen vollständig zu verhindern. Dagegen nahm die Zahl der Störungen durch Krähen zu, obwohl bei der Formgebung der Schutzringe getrachtet wurde, den Krähen das Abstehen auf den Ringen zu erschweren. Die Stützisolatoren an Masten von 45-kV-Leitungen werden nun sukzessive durch viergliedrige Hängeisolatorenketten ersetzt mit einer Ueberschlagsspannung von 141 kV unter Regen.

Die 16-kV-Leitungen sind mit einem Isolator der Beznau-Type mit 50 kV Ueberschlagsspannung unter Regen ausgerüstet. Der gleiche Isolator ist auf den Freileitungsschaltern verwendet. Bei den Schaltern ist das Gestell geerdet. Die weitaus grösste Zahl der Störungen entsteht bei den 16-kV-Leitungen dadurch, dass bei Gewittern an Isolatoren der Freileitungsschalter Ueberschläge auftreten, wobei die Isolatoren zerstört werden. Um die Zahl dieser Störungen zu reduzieren, werden die neuen Schalter mit einem grösseren Isolator ausgerüstet, der 76 kV Ueberschlagsspannung unter Regen besitzt. In die Schalterantriebsstangen werden Isolatoren eingebaut und es wird nicht mehr das Schaltergestell geerdet, sondern der Schalterantrieb.

#### Transformatorenstationen.

Von den 822 eigenen Transformatorenstationen des BKW-Netzes sind 387 Gebäudestationen und 435 Stationen auf Stangen.

Die grosse Zahl der Stangenstationen ist durch die Art des Verteilungsgebietes der BKW bedingt, das stark landwirtschaftlichen Charakter hat. Auf Stangenstationen werden Transformatoren mit einer Leistung bis zu 100 kVA aufgestellt. Die Eisenblechkästen, in welchen die Niederspannungsapparate installiert sind, sind im Maximum für drei abgehende Sekundärleitungen ausgebaut. Mit diesem Ausbau genügen die Stangenstationen für die Energieversorgung einer grossen Zahl von Anlagen.

Im Betrieb der Stangentransformatorenstationen mit 16 kV Betriebsspannung hat sich folgende Schwierigkeit ergeben: Da die Stationen noch nicht nach den neuen, im Entwurf vorliegenden Bundesvorschriften erstellt sind, sind die Niederspannungsseile nicht für 4000 Volt gegenüber den Hochspannungsinstallationen isoliert. Es sind normalerweise 4 Erdleitungen vorhanden:

- 1 für den Ueberspannungsschutz der Hochspannungsseite,
- 1 für die Eisenkonstruktionen der Hochspannungsseite,
- 1 für die Eisenkonstruktionen der Niederspannungsseite,

1 für die Ueberspannungssicherung und die Niederspannungs-Ueberspannungsschutzapparate.

Die Schwierigkeit besteht darin, die zwei Hochspannungs-Erdleitungen gegenüber den Niederspannungs-Erdleitungen und den Eisenkonstruktionen der Niederspannungsseite ausreichend zu distanzieren. Beim Ansprechen der Hochspannungs-Ueberspannungsschutzapparate oder bei Ueberschlägen auf der Hochspannungsseite besteht bei nicht sehr sorgfältiger und reichlicher Distanzierung die Gefahr eines Uebertrittes des Hochspannungsstromes in die Niederspannungsanlage, wobei dann die Hochspannung durch die Niederspannungsleitungen in die Hausinstallationen hinein getragen wird. Nachdem einige derartige Störungen aufgetreten waren, wurden bei den Stangenstationen Strebstangen angebracht und die Hochspannungs-Erdleitungen auf diesen Streben in die Erde geführt, also mit sehr grossen Abständen von allen Niederspannungsanlageteilen.

Schwierigkeiten bieten im Betrieb sowohl der gemauerten als der Stangenstationen mit 16 kV Betriebsspannung auch die Ueberspannungsschutzapparate und die Sicherungen der Transformatoren auf der Hochspannungsseite.

In der Mehrzahl der Stationen waren bis vor kurzer Zeit als Ueberspannungsschutz der Hochspannungsanlage Hörner in Verbindung mit Wasserwiderständen eingebaut. Versuchsweise waren in Stationen, die sich als besonders durch Ueberspannungen gefährdet herausgestellt hatten, auch andere Apparate aufgestellt. Alle diese Apparate haben sich nicht bewährt. Die BKW sind nun dazu übergegangen, die Zahl der mit Hochspannungs-Ueberspannungsschutzapparaten ausgerüsteten Stationen zu beschränken und verwenden, wo sie doch solche benützen, einen Apparat, der auf Ventilwirkung beruht.

Die verwendeten Hochspannungssicherungen besitzen als Schutzorgan einen Silberdraht, der auf einen Presspannstreifen aufgezogen ist. Für kleine Stromstärken werden die Durchmesser des Schmelzdrahtes so gering, dass Koronaerscheinungen auftreten, die zur Zerstörung des Schmelzdrahtes führen. Ein weiterer Mangel der Sicherung ist, dass sie bei Spannungen über 10 kV nicht ordnungsmässig abschaltet. Der Lichtbogen reisst nicht ab, was in den meisten Fällen zur Zerstörung des Porzellansrohres führt. Versuche mit verschiedenen Fabrikaten von Hochspannungssicherungen haben bei Spannungen von 13 kV und einer Kurzschlussleistung von ca. 30 000 kVA auch bei diesen anderen Sicherungssystemen das gleiche Versagen ergeben.

Die übrigen Anlageteile der Transformatorenstationen haben sich bewährt.

#### Verteilungsnetze.

Mit der starken Verbreitung der Elektrizität erwies sich als schwierigstes Problem, ein ausgedehntes Sekundärnetz in gutem Zustande zu halten, da die Unterbrechungen der Energielieferung der

Zahl und Dauer nach auf das kleinste Mass beschränkt werden müssen. Um dies zu erreichen, werden bei den BKW folgende Massnahmen angewendet:

Die Arbeiten werden durch kleine Arbeitsgruppen sorgfältig und so vorbereitet, dass in der Ausschaltzeit nur diejenigen Arbeiten ausgeführt werden, die bei im Betrieb befindlicher Anlage tatsächlich nicht ausgeführt werden können. Für die rasche Durchführung der Arbeiten wird das Personal auf die Arbeitsstelle zusammen gezogen.

Die grösseren Sekundärnetze werden in zahlreiche Stränge unterteilt und die einzelnen Stränge selbst wieder durch Einbau von Schaltern oder Trennern unterteilbar gemacht. Diese Massnahme muss für jedes Netz sorgfältig geprüft werden, da das Unterteilen in viele Stränge rasch zu einer sehr erheblichen Verteuerung der Anlage führt und

lässige Sicherungsmassnahmen ausreichend geschützt sind. Als solche Schutzmassnahmen sind bei den BKW vorgeschrieben:

Das Abdecken der spannungsführenden Leiter mit Gummischläuchen und Lederkappen mit Ausnahme desjenigen Leiters, an dem gearbeitet wird.

Die Anwesenheit von wenigstens drei Mann, wovon zwei Mann selbständige Leitungsmontiere sein müssen. Der eine Mann hat das Erden und Kurzschiessen der Leitung, an der gearbeitet wird, so vorzubereiten, dass dasselbe augenblicklich erfolgen kann, wenn der Arbeitende zufällig oder aus Versehen zwei spannungsführende Drähte erfassen sollte. Der dritte Mann hat den Arbeitenden zu beaufsichtigen.

Arbeiten unter Niederspannung dürfen nur auf Stangen vorgenommen werden, an denen keine Erdleitungen vorhanden sind.



Fig. 21.  
Abladen eines Transformators vom Lastwagen mit Hilfe des Dreibeines aus Stahlrohren.

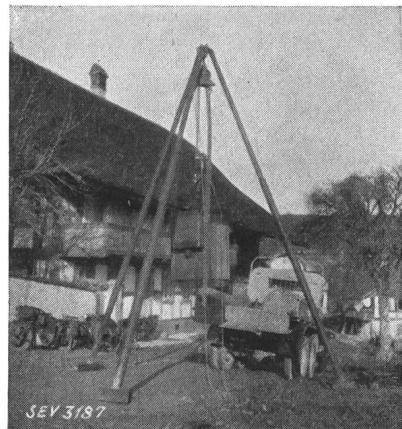


Fig. 22.

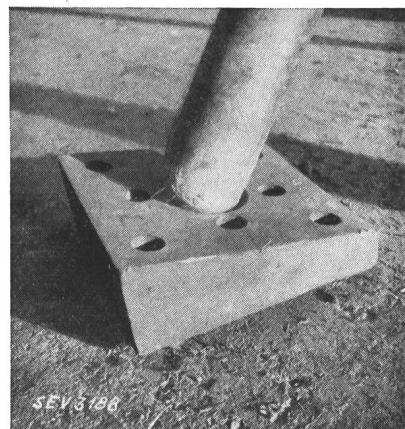


Fig. 23.  
Abstützen des Dreibeines am Boden.

auch oft dazu zwingt, die einzelnen Stränge auf Teilstrecken auf die gleichen Stangen zu montieren, wodurch der Vorteil der vielen Stränge zum Teil wieder verloren geht. Die von den einzelnen Transformatorenstationen gespeisten Netzteile werden über Schalter oder Trenner verbunden, wobei normalerweise die Leitungen als offene Leitungen betrieben werden. Die Arbeitsstellen werden wenn möglich mit Kabeln überbrückt. Defekte Transformatoren werden mit Hilfe eines Dreibeines aus Stahlrohren rasch ersetzt (Fig. 21 bis 23).

Gewisse einfache Arbeiten werden unter Spannung durchgeführt.

Die Vorschriften erlauben ausnahmsweise Arbeiten an Niederspannungsanlagen unter Spannung auszuführen, wenn die Arbeitenden durch zuver-

lässige Sicherungsmassnahmen ausreichend geschützt sind. Als solche Schutzmassnahmen sind bei den BKW vorgeschrieben:

Das Abdecken der spannungsführenden Leiter mit Gummischläuchen und Lederkappen mit Ausnahme desjenigen Leiters, an dem gearbeitet wird.

Die Anwesenheit von wenigstens drei Mann, wovon zwei Mann selbständige Leitungsmontiere sein müssen. Der eine Mann hat das Erden und Kurzschiessen der Leitung, an der gearbeitet wird, so vorzubereiten, dass dasselbe augenblicklich erfolgen kann, wenn der Arbeitende zufällig oder aus Versehen zwei spannungsführende Drähte erfassen sollte. Der dritte Mann hat den Arbeitenden zu beaufsichtigen.

Arbeiten unter Niederspannung dürfen nur auf Stangen vorgenommen werden, an denen keine Erdleitungen vorhanden sind.

Das Monteurpersonal wird durch eintägige Instruktionskurse, die in Abständen von durchschnittlich  $1\frac{1}{2}$  Jahren abgehalten werden, für seine Aufgaben geschult. Diese Kurse bezwecken speziell, dem Personal Verständnis für die Wirkungsweise und Behandlung der vorhandenen Apparate und des Materials beizubringen. An Hand der Unfallstatistik des Starkstrominspektors und von Unfällen, die sich im eigenen Betriebe ereignet haben, wird das Personal in diesen Kursen auch speziell über Unfallverhütung und erste Hilfe bei elektrischen Unfällen instruiert. Aus den Erfahrungen hat sich ergeben, dass es angezeigt ist, die Kurse in etwas kürzeren Zeitabständen zu wiederholen und die einzelnen Kurse nicht mit zu viel verschiedenen Themen zu belasten.

*Herr M. Wettstein, Oberbetriebsleiter der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ), berichtete an der Konferenz kurz über Versuche der EKZ, die zur Abklärung der elektrischen Gefahren beim Auswechseln von Holzmasten an unter Spannung stehenden Leitungen durchgeführt wurden. Unserem Wunsche freundlich entsprechend, arbeitete er inzwischen sein Diskussionsreferat zu nachstehendem Aufsatz aus. — Red.*