

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 24 (1933)
Heft: 9

Artikel: Das Auswechseln von Holzmasten an unter Spannung stehenden Hochspannungsleitungen, die dabei bestehenden Unfallgefahren elektrischer Natur und ihre Verhütung
Autor: Wettstein, M.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059520>

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: 03.04.2025

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

Das Auswechseln von Holzmasten an unter Spannung stehenden Hochspannungsleitungen, die dabei bestehenden Unfallgefahren elektrischer Natur und ihre Verhütung.

Von M. Wettstein, Zürich.

614.8:621.315.1.0046

Die Untersuchungen der EKZ haben gezeigt, dass das Arbeiten an unter Spannung stehenden Hochspannungsleitungen unter ungünstigen Umständen gewisse Gefahren in sich birgt und deshalb Vorsichts- und Schutzmassnahmen getroffen werden müssen. Als Schutzmassnahme hat sich nur die Erhöhung des im fraglichen Stromkreis eingeschalteten Widerstandes als wirksam und zweckmässig erwiesen.

Beim Stellen der neuen Masten kann ein Berühren oder Umfassen des Mastes während der kritischen Zeit ohne weiteres vermieden werden. Das Personal ist aber in diesem Sinne sorgfältig zu instruieren. Durch Messungen ist festgestellt worden, dass die zur Verwendung gelangenden Werkzeuge, die sogenannten Sticher, einen Widerstand aufweisen, der für Betriebsspannungen bis ca. 15 kV genügend hoch ist, um die Arbeitenden bei einem Berühren der Leitungsdrähte durch den zu stellenden Mast zu schützen. Bei höheren Betriebsspannungen empfiehlt es sich, den elektrischen Widerstand der Holzteile der Sticher durch eine Behandlung mit Oel zu erhöhen.

Das blosser Berühren der alten Masten lässt sich nicht vermeiden. Bei Hochspannungen bis ca. 15 kV wird dies auch nicht gefährlich sein. Das Arbeiten an einem Mast, der elektrisiert, sollte aber grundsätzlich unterlassen werden. Bei höheren Spannungen machen sich Isolationsdefekte durch zischendes Geräusch und durch Brandspuren bemerkbar. Selbstverständlich muss auch in einem solchen Fall das Arbeiten am betreffenden Mast unterbleiben, bzw. auf die Zeit, während welcher die Leitung ausgeschaltet ist, verschoben werden. Unbedingt ist ein Umfassen der Masten beim Verschieben zu unterlassen. Das Verschieben kann mittels eines in Oel imprägnierten Holzhebels bewerkstelligt werden. Bei zweckmässiger Anwendung dieses Werkzeuges ist nach menschlichem Ermessen jede Gefahr ausgeschlossen.

Wichtig ist, dass das Personal über die Gefahren, die beim Arbeiten an unter Spannung stehenden Leitungen vorhanden sind, aufgeklärt wird und ihm für die Ausführung der Arbeiten geeignete Werkzeuge zur Verfügung gestellt und entsprechende Instruktionen erteilt werden.

Einleitung.

Die andauernde Steigerung der Anwendung der Elektrizität für die Arbeitsumsetzung und die Wärmeerzeugung in der Industrie, im Gewerbe und insbesondere im Haushalt (elektrische Küche) bedingt immer mehr eine möglichst ununterbrochene Lieferung der elektrischen Energie. Die Zeiten, während welchen Reparaturen und Unterhaltungsarbeiten besonders an den Uebertragungsleitungen vorgenommen werden können, müssen wegen der damit verbundenen Ausserbetriebsetzung grösserer oder kleinerer Absatzgebiete auf ein Minimum beschränkt werden. Bei Ueberlandwerken, welche die elektrische Energie im allgemeinen bis zu mittleren Hochspannungen auf Holzmastenleitungen übertragen, können jedoch Abststellungen für die Auswechslung schadhafte gewordenen Masten nicht umgangen werden. Um die Abststellungszeiten möglichst einzuschränken, ist man dazu übergegangen, weitgehende Vorarbeiten an den unter Spannung stehenden Leitungen vorzunehmen.

Das Auswechseln der Holzmasten an unter Spannung stehenden Hochspannungsleitungen.

Zu diesen Vorarbeiten gehört besonders das Aufstellen der neuen Leitungsmasten. Um das beste-

Les études entreprises par les EKZ ont montré que les travaux effectués sur des lignes à hautes tensions sous tension peuvent devenir dangereux dans des circonstances défavorables, de sorte qu'il est nécessaire de prendre des mesures de précaution et de protection. Comme mesure de protection, l'augmentation de la résistance insérée dans le circuit en question s'est révélée suffisante et efficace.

Lorsqu'on dresse un nouveau poteau, on peut éviter sans autre de toucher ou de saisir celui-ci au moment critique, mais il est nécessaire d'instruire soigneusement le personnel dans ce sens. Des mesures ont montré que les gaffes utilisées pour dresser les poteaux ont une résistance qui, pour des tensions jusqu'à 15 kV, est suffisante pour protéger les monteurs lors d'un contact accidentel du poteau à dresser avec la ligne sous tension. Pour de plus hautes tensions, il est recommandable d'augmenter la résistance des gaffes en traitant le bois à l'huile.

Il est impossible d'éviter de toucher les poteaux à remplacer. Pour des tensions jusqu'à 15 kV, un attouchement ne sera pas dangereux. Par contre il faudra toujours éviter de travailler à un poteau qui électrise. Pour des tensions plus élevées, les défauts d'isolement se font remarquer par un bruissement ou par des brûlures. Il va de soi que dans des cas pareils, on ne travaillera pas au poteau en question, ou bien on attendra un moment où la ligne ne sera pas sous tension. Lors de déplacement, on se gardera de saisir un des poteaux; on se servira dans ce but de leviers en bois imprégné d'huile. En se servant de cet instrument, on aura écarté dans la limite du possible tout danger pour les personnes.

Il est très important que le personnel soit informé des dangers qu'il court lors de travaux sur des lignes sous tension, qu'il dispose d'un outillage approprié et qu'il soit instruit à fond sur la manière de s'en servir.

hende Leitungstrasse unverändert beibehalten zu können, müssen die alten Masten abgesägt und seitlich verschoben werden, so dass die neuen Masten den Standort der alten einnehmen können. Wie die Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ) solche Arbeiten früher vorgenommen haben, sei kurz beschrieben und durch Fig. 1 bis 5 erläutert.

Der zur Auswechslung gelangende Holzmast wird zuerst in senkrechter Richtung zur Leitung beidseitig mittels eines Hanfseiles verankert (Fig. 1). Als Anker werden in der Regel Erdbohrer verwendet. Hierauf wird der alte Mast unmittelbar über dem Boden abgesägt (Fig. 2) und auf die Seite geschoben (Fig. 3). Alsdann wird der Stangenstumpf mittels einer Winde aus dem Boden gehoben, der neue Mast im frei gewordenen und ausgeweiteten Mastloch aufgerichtet (Fig. 4), verkeilt und mit dem alten Mast durch Annageln von Brettern gekuppelt (Fig. 5). Die Arbeiten, die während der Abststellungszeit ausgeführt werden müssen, beschränken sich dann lediglich auf das Umsatteln der Isolatoren und der Drähte vom alten auf den neuen Mast. Durch dieses Vorgehen kann die Abststellungszeit in ganz bedeutendem Masse abgekürzt werden.

Bei der Vornahme der Vorbereitungsarbeiten lässt sich nun aber nie ganz vermeiden, dass beim Stellen der neuen Masten gelegentlich einmal einer



Fig. 1.

Das Ankerseil wird am Mast und nachher an zwei links und rechts von der Leitung in den Boden eingetriebenen Ankern befestigt.

mit der unter Spannung stehenden Leitung in Berührung kommt. Ausserdem können sich auf den alten Leitungsmasten defekte Isolatoren befinden, wobei diese Defekte sehr oft nicht beachtet werden können und auch von den Erdschlusskontrollappa-



Fig. 2.

Der Mast wird unmittelbar über dem Boden abgesägt.

raten nicht angezeigt werden. Besonders in Drehstromnetzen mit nicht geerdetem Nullpunkt ist der Erdschlussstrom, der über die Masten zur Erde

fliesst, bei Betriebsspannungen bis etwa 15 kV in der Regel so gering, dass an den Holzmasten keine sichtbaren Brandspuren entstehen. Bis jetzt wurde im allgemeinen angenommen, dass das Arbeiten an unter Spannung stehenden Leitungen ungefährlich sei, denn man glaubte, in den Holzmasten eine genügend hohe Isolation zu besitzen. Ein Unfall, der bei Arbeiten an einer 50-kV-Leitung vorgekommen ist, hat nun die EKZ veranlasst, beim Freileitungspersonal eine Umfrage zu veranstalten, um zu er-



Fig. 3.

Der Mast wird auf die Seite geschoben.

fahren, ob auch im 8-kV-Netz Elektrisierungserscheinungen beobachtet worden seien. Dies wurde von allen Seiten bestätigt, und zwar sollen Elektrisierungserscheinungen vorgekommen sein, die selbst von

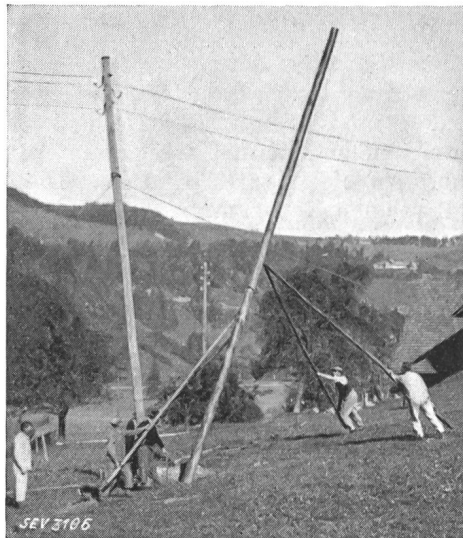


Fig. 4.

Der neue Mast wird im Stangenloch des alten Mastes aufgerichtet.

den Monteuren als äusserst stark empfunden wurden. Leider hat es das Personal unterlassen, die Vorgesetzten hievon in Kenntnis zu setzen. Eine

genaue Untersuchung der vorkommenden Verhältnisse erschien somit als dringend geboten.

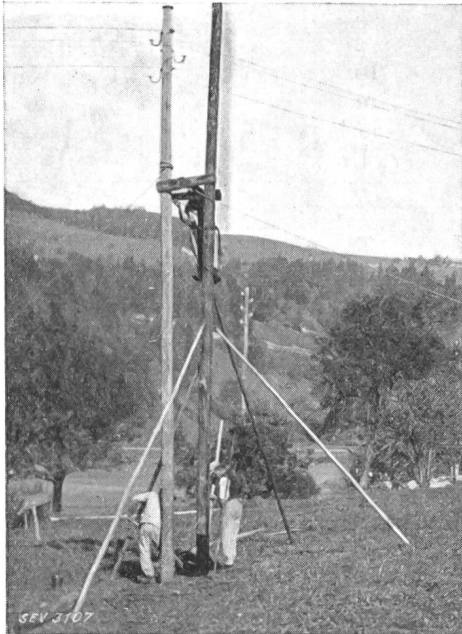


Fig. 5.
Der neue Mast wird im Boden verkeilt und mittels Brettern mit dem alten Mast gekuppelt.

Untersuchung über die Gefahren, die beim Arbeiten an unter Spannung stehenden Holzmastenleitungen bestehen können.

a. Allgemeines.

Bei einer Untersuchung der Gefahren, die während des Arbeitens an unter Spannung stehenden Holzmastenleitungen entstehen können, muss man sich zuerst ein Bild über den Verlauf des für einen Unfall massgebenden Stromes machen. Kommt auf

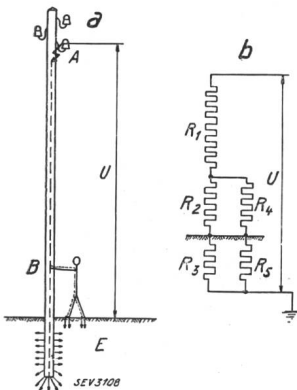


Fig. 6.
 R_1 Widerstand des Holzmastes zwischen Fehler A und Berührungsstelle B .
 R_2 Widerstand des Holzmastes zwischen Berührungsstelle B und Erdübergangsstelle.
 R_3 Erdübergangswiderstand des Holzmastes.
 R_4 Widerstand des menschlichen Körpers.
 R_5 Erdübergangswiderstand des menschlichen Körpers.

einem Holzmast ein Leitungsdraht infolge eines defekten Isolators oder eines defekten Bundes mit der betreffenden Isolatorenstütze in Berührung, so fliesst ein Strom vom Draht über den Mast zur Erde. Die Grösse des Stromes ist von der zwischen Mast und Erde herrschenden Spannungsdifferenz, vom elektrischen Widerstand des Mastes und vom Uebergangswiderstand zwischen Mast und Erde

abhängig. Wird ein solcher Mast berührt oder umfasst, so teilt sich der Strom bei der Berührungsstelle (Fig. 6 a und b). Der eine Teil fliesst über den untern Mastteil und der andere über den menschlichen Körper zur Erde. Der Widerstand des untern Mastteiles (R_2) samt Erdübergangswiderstand (R_3) und der Widerstand des menschlichen Körpers (R_4) inklusive dessen Erdübergangswiderstand (R_5) sind somit parallel geschaltet. Als Gesamtwiderstand zwischen Leitung und Erde muss die Reihenschaltung, bestehend aus dem Widerstand des obern Mastteiles (R_1) und dem resultierenden Widerstand des untern Mastteiles ($R_2 + R_3$) und des menschlichen Körpers ($R_4 + R_5$) betrachtet werden.

Beim Verschieben des Mastes muss dieser vom Boden abgehoben werden. In diesem Fall setzt sich der zwischen Leiter und Erde bestehende Widerstand aus dem Widerstand des obern Mastteiles (R_1), demjenigen des menschlichen Körpers (R_4) und dem Uebergangswiderstand zur Erde (R_5) zusammen. In gleicher Weise setzen sich die Widerstände zusammen, wenn beim Stellen eines neuen Mastes derselbe mit der Leitung in Berührung kommt und er gleichzeitig berührt oder umfasst wird. Da diese Masten in der Regel auf Steinunterlagen aufgestellt werden, so wird der Uebergangswiderstand vom Mast zur Erde sehr gross sein und demgemäss der über den untern Teil des Mastes zur Erde fliessende Strom so klein werden, dass er bei der Rechnung vernachlässigt werden kann.

Um in einem gegebenen Fall zu untersuchen, welcher Spannung der menschliche Körper ausgesetzt ist, bzw. von welchem Strom der Körper durchflossen wird, müssen also bekannt sein: die zwischen Leitungsdraht und Erde herrschende Spannung und die elektrischen Widerstände des betreffenden Mastes, des menschlichen Körpers und die Uebergangswiderstände des Mastes und des menschlichen Körpers zur Erde.

Für die Beurteilung der Unfallgefahr sollte man aber in erster Linie wissen, welche Spannung, bzw. welche Stromstärke für den menschlichen Körper gefährlich ist. Hierüber sind die Meinungen noch sehr geteilt. Die Versuche, die bei den EKZ seinerzeit durchgeführt worden sind und deren Resultate im Bulletin des SEV 1929, Nr. 13, veröffentlicht wurden, haben aber gezeigt, dass bei allen Versuchspersonen, die einer Wechselspannung von 50 Per./s ausgesetzt wurden, bei einem Strom von 15 mA, der durch den Körper floss, ein Verkrampfen der Glieder eintrat und deshalb die umfassten Elektroden nicht mehr losgelassen werden konnten. Es ist nun anzunehmen, dass bei einer andauernden Einwirkung dieses verhältnismässig geringen Stromes auch eine Schädigung des menschlichen Körpers eintritt. Mit zunehmender Stromstärke wird auch in kürzerer Zeit eine Schädigung zu erwarten sein. Beim Umfassen von unter Spannung stehenden Gegenständen dürfte deshalb ein Stromdurchgang durch den menschlichen Körper

von 15 mA als maximal zulässig erachtet werden. Beim blossen Berühren dürfte die maximal zulässige Stromstärke wohl wesentlich höher liegen, weil in einem solchen Fall die Zeitdauer der Berührung nur sehr kurz sein wird.

b. Ermittlung der massgebenden Widerstände.

Die erwähnten Untersuchungen der EKZ zeigten ferner, dass der Widerstand des menschlichen Körpers unter ungünstigen Verhältnissen bis auf ca. 2000 Ω sinken kann. Ungünstige Verhältnisse in diesem Sinn sind aber beim Arbeiten im Freien sehr oft gegeben (nasses Schuhwerk, schwitzende Körperteile). Es können deshalb schon verhältnismässig niedrige Spannungen verhängnisvoll werden.

Um sich über die Grössenordnung der elektrischen Widerstände der Holzmasten zu orientieren, wurden von den EKZ ebenfalls eingehende Versuche durchgeführt. Da zu erwarten war, dass der Widerstand des Holzes von der Art der Imprägnierung abhängig sein werde, wurden sowohl Holzmasten, die mit Kupfervitriol, als auch solche, die mit Teeröl imprägniert waren, untersucht. Ferner war anzunehmen, dass die Widerstände des Mastes von der Feuchtigkeit des Holzes abhängig sein werden. Ausserdem werden bei den Anschlussstellen gewisse Uebergangswiderstände vorhanden sein, denn die Masten können wegen der verhältnismässig grossen Querschnitte nicht mehr als lineare Leiter wie z. B. Kupferdrähte aufgefasst werden. Die Stromlinien werden bei den Uebertrittstellen zu den Klemmen zusammengedrängt, so dass die spezifische Beanspruchung an diesen Stellen grösser wird und daraus ein scheinbar grösserer Widerstand entsteht. Dieser Uebergangswiderstand muss somit auch von der Grösse der Berührungsfläche abhängig sein. Um alle diese Verhältnisse kennen zu lernen, wurden an einzelnen Masten 3 Messungen vorgenommen, und zwar:

1. bei vollständig trockenen Masten,
2. bei Benetzung der Uebergangsstellen, im übrigen aber trockenen Masten,
3. bei vollständig benetzten Masten.

Ferner wurde bei einer Messung an einem Mast die eine Klemmbride durch einen auf den Mast aufgelegten Kupferdraht ersetzt, so dass die Berührungsfläche verhältnismässig klein wurde.

Um gleichzeitig eine allfällige Abhängigkeit der Mastwiderstände von der Spannung bzw. vom Strom kennen zu lernen, wurden die Widerstände nicht mit der Messbrücke gemessen, sondern aus einer variablen, an den betreffenden Mast gelegten Spannung und den gemessenen Strömen berechnet. Die Anordnung der Messeinrichtung ergibt sich aus Fig. 7. Die Masten wurden auf zwei isolierende Stützpunkte A und B aufgelegt. An zwei in einer Distanz von 5 bzw. 9 m von einander entfernten, um den Mast gepressten Briden wurde ein regulierbarer Transformator angeschlossen. Die Spannung konnte zwischen 0 und 9000 V reguliert werden. Es war somit möglich, den Widerstand mit in weiten Grenzen veränderlichen Spannungen zu messen.

Die Messungen mit variabler Spannung ergaben, dass die Widerstände bis zu einer angelegten Spannung von ca. 9000 V spannungsunabhängig sind.

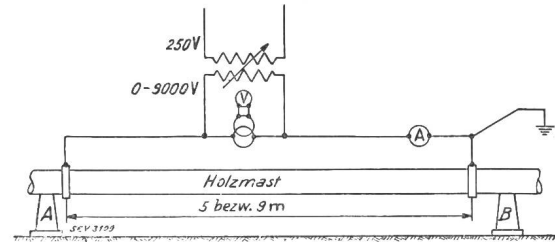


Fig. 7.

Die Messungen an Masten, die mit Kupfervitriol imprägniert waren, ergaben folgende Resultate:

1. Der Widerstand eines aus dem Jahr 1929 stammenden, ein Jahr im Freien gelagerten Mastes «A» betrug für eine Klemmendistanz von 5 m:
 - a) bei vollständig trockenem Mast 424 000 Ω
 - b) Klemmstellen befeuchtet 331 000 Ω
 - c) ganzer Mast befeuchtet 71 000 Ω
2. Aehnliche Werte ergaben die Messungen an einem aus dem Jahr 1903 stammenden Mast «B». Die Widerstände bei gleich grosser Klemmendistanz betragen:
 - a) bei vollständig trockenem Mast 495 000 Ω
 - b) Klemmstellen befeuchtet 230 000 Ω
 - c) ganzer Mast befeuchtet 83 000 Ω
3. Die Messungen an einem zweiten, aus dem Jahr 1903 stammenden Mast «C» ergaben bei 5 m Klemmendistanz:
 - a) bei vollständig trockenem Mast 975 000 Ω
 - b) bei benetzten Klemmstellen 740 000 Ω
4. An einem aus dem Jahr 1921 stammenden Mast «D» wurden gemessen:
 - a) bei vollständig trockenem Mast . . . ca. 1 700 000 Ω
 - b) bei benetzten Klemmstellen ca. 1 430 000 Ω
 - c) ganzer Mast befeuchtet ca. 173 000 Ω
5. An einem aus dem Jahr 1929 stammenden, ebenfalls ein Jahr im Freien gelagerten Mast «E» wurden gemessen:
 - a) bei einer Klemmendistanz von 9 m und bei vollständig trockenem Mast 665 000 Ω
 - b) bei gleicher Klemmendistanz und bei benetzten Klemmstellen 457 000 Ω
 - c) bei 5 m Klemmendistanz und benetzten Klemmstellen 232 000 Ω
 - d) bei 9 m Klemmendistanz, eine Klemme durch einen auf den Mast aufgelegten und leicht angespressten 5,5-mm-Kupferdraht ersetzt, die Klemmstelle benetzt und die Berührungsstelle des Drahtes trocken . . . 710 000 Ω
6. Ein neu gelieferter Mast «F» ergab bei einer Klemmendistanz von 5 m und bei benetzten Klemmstellen einen Widerstand von 6 000 Ω

Die Messung an einem neuen mit Teeröl imprägnierten Mast ergab bei 5 m Klemmendistanz 1 000 000 Ω. Durch ein Benetzen der Klemmstellen und des ganzen Mastes konnte der Widerstand nicht beeinflusst werden.

Aus den Versuchen an Masten, die mit Kupfervitriol imprägniert waren, geht deutlich hervor, dass beim Benetzen der Klemmstellen eine wesentliche Abnahme der Widerstände eintritt. Damit ist die Annahme, dass bei den Uebergangsstellen eine Erhöhung des Widerstandes für den Stromdurchgang eintreten müsse, bewiesen. Die Messungen mit 5 und 9 m Klemmendistanz in der Versuchsreihe 5 zeigen, dass bei benetzten Klemmstellen der Wider-

stand des Mastes ungefähr proportional der Länge ist, d. h. durch das Benetzen der Klemmstellen konnte der Uebergangswiderstand derart herabgesetzt werden, dass er im Verhältnis zum Mastwiderstand einen unbedeutenden Wert annahm. Die Messungen mit benetzten Klemmstellen ergeben somit angenähert die reinen Mastwiderstände und die Differenz der Messungen mit und ohne Benetzung der Klemmstellen angenähert die Grösse der beiden Uebergangswiderstände. Ferner bestätigt Versuch *d*) der Versuchsreihe 5, dass diese Uebergangswiderstände in wesentlichem Masse von der Grösse der Berührungsfläche abhängig sind. Aus den Messungen mit trockenen und ganz benetzten Masten geht ferner hervor, dass der Widerstand der Masten durch das Benetzen bis auf ca. 10 % des ursprünglichen Wertes sinken kann. Die Widerstände der trockenen Masten variieren, wie die Messungen mit befeuchteten Klemmstellen zeigen, ungefähr zwischen 6000 und 1 500 000 Ω . Unerwartet niedrige Widerstände weisen frisch mit Kupfervitriol imprägnierte Masten auf. Die mit Teeröl imprägnierten besitzen dagegen sehr hohe Widerstände. Wie sich diese Widerstände jedoch mit dem Altern der Masten ändern, konnte leider nicht festgestellt werden.

Die Uebergangswiderstände von den Leitungsmasten zur Erde und vom menschlichen Körper zur Erde sind in weitgehendem Masse von der Bodenbeschaffenheit abhängig.

Umfangreiche Untersuchungen, welche die EKZ zur Ermittlung des spezifischen Widerstandes des Erdbodens durchgeführt haben, haben gezeigt, dass derselbe für die im Kanton Zürich vorkommenden Bodenarten je nach Art, Temperatur und Feuchtigkeit zwischen 2200 und 85 000 $\frac{\Omega \cdot \text{cm}^2}{\text{cm}}$ variiert.

Der Erdübergangswiderstand eines Leitungsmastes kann aus der Formel

$$R = \frac{2,3 \lg \frac{2 l}{r}}{2 \pi l} \cdot S$$

berechnet werden. Hierin bedeuten

- l* die Eingrabbtiefe des Mastes in cm,
- 2 r* den Durchmesser des Mastes in cm und
- s* den spezifischen Widerstand des Erdbodens in $\frac{\Omega \cdot \text{cm}^2}{\text{cm}}$.

Für eine Eingrabbtiefe von 150 cm und einen Stangendurchmesser von 20 cm (*r* = 10 cm) ergeben sich für den Bereich der erwähnten spezifischen Widerstände Uebergangswiderstände von 8 bis 306 Ω . Diese Widerstände sind im Verhältnis zu den Mastwiderständen derart klein, dass sie bei der Berechnung des zwischen Leitungsdraht und Erde fliessenden Stromes ohne weiteres vernachlässigt werden können.

Der Uebergangswiderstand vom menschlichen Körper zur Erde lässt sich ebenfalls rechnerisch

ermitteln. Nimmt man an, dass die Schuhsohlen leitend seien und die Füsse beieinander stehen, so kann man die Berührungsfläche durch eine Kreisfläche von ca. 25 cm Durchmesser ersetzt denken. Für eine solche Kreisfläche beträgt der Uebergangswiderstand

$$R = \frac{1}{2 d} \cdot s = \frac{1}{2 \cdot 25} \cdot s = \underline{0,02 s \Omega}$$

Der Uebergangswiderstand variiert demnach zwischen 44 und 1700 Ω . Bei sehr niedrigem Widerstand des menschlichen Körpers dürften für die Berechnung des Stromdurchganges durch den Körper die grösseren Werte der Uebergangswiderstände allerdings nicht vernachlässigt werden. Da die Untersuchung sich aber auf die ungünstigsten Fälle (kleine Erdwiderstände) beziehen muss, so spielen diese Uebergangswiderstände ebenfalls keine nennenswerte Rolle.

c) Ermittlung der zwischen Leiter und Erde herrschenden Spannung.

Die zwischen dem betrachteten Leiter und der Erde herrschende Spannung, die für die weitere Untersuchung bekannt sein muss, ist vom angewandten System, von der Betriebsspannung und der Erdung oder Nichterdung des Systems abhängig. *Alle weiteren Untersuchungen beziehen sich nun ausschliesslich auf ein Drehstromsystem mit isoliertem Nullpunkt.* Bei diesem System ist die Spannung zwischen jedem Leiter und der Erde gleich

der Phasenspannung, sofern kein Erdschluss besteht. Tritt ein Erdschluss auf, so ändert sich die Spannung zwischen dem erdgeschlossenen Polleiter und der Erde je nach dem Verhältnis des zwischen Leiter und Erde eingeschalteten Widerstandes zu der parallel geschalteten

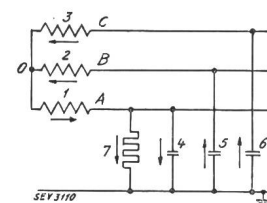


Fig. 8. Widerstandsdiagramm.

Kapazität von 0 bis zur Phasenspannung. Für die Berechnung solcher Spannungen wird das Widerstandsdiagramm Fig. 8 benützt. Hierin bedeuten 1, 2 und 3 die Energiequelle, 4, 5 und 6 die kapazitiven Widerstände zwischen den einzelnen Leitern und der Erde und 7 den Ohmschen Widerstand (Leitungsmast) zwischen dem einen Leiter und der Erde.

Ist der Widerstand 7 ein rein Ohmscher Widerstand, so bewegt sich der Punkt *E* im Spannungsdiagramm (Fig. 9) auf einem über der Spannung *U*₁ geschlagenen Kreisbogen. Wählt man nun einen beliebigen Punkt auf dem Kreisbogen, so sind die Richtungen und Grössen der Spannungsvektoren der einzelnen Leiterelemente gegeben. Sind auch die kapazitiven Widerstände 4, 5 und 6 gegeben (alle drei gleich gross angenommen), so können die über die drei Kapazitäten fliessenden Ströme berechnet werden. Die Lage dieser Stromvektoren im Stromdiagramm (Fig. 10) ist durch die Lage der

Spannungsvektoren gegeben. Aus dem Stromdiagramm kann somit ohne weiteres der Stromvektor des über den Widerstand R_7 fließenden Stromes gefunden und aus diesem und der zwischen den Punkten A und E liegenden Spannung der zugehörige Widerstand R_7 berechnet werden. Berechnet man nun für eine Anzahl Punkte des Kreises die zugehörigen Widerstände R_7 und trägt diese als Funktion der Spannungsdifferenzen $A - E$ in

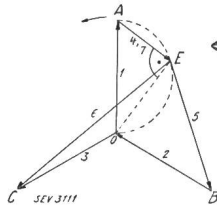


Fig. 9. Spannungsdiagramm.

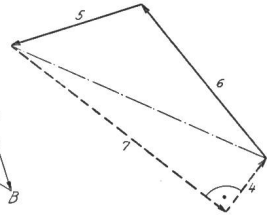


Fig. 10. Stromdiagramm.

einer Kurve auf, so kann umgekehrt aus dieser Kurve für jeden beliebigen Widerstand zwischen Leitung und Erde die zugehörige Spannungsdifferenz abgelesen werden. Diese Kurve hätte aber nur Gültigkeit für die der Rechnung zugrunde gelegte Netzspannung und Netzkapazität. Berechnet man dagegen eine solche Kurve für die Phasenspannung = 100, so ergeben sich die zwischen dem erdgeschlossenen Leiter und der Erde auftretenden Spannungen direkt in Prozenten der Phasenspannung. Trägt man diese Spannungen ferner nicht in Funktion des Widerstandes, sondern als Funktion des Verhältnisses dieses Widerstandes zum kapazitiven Widerstand eines Leiters gegen Erde auf, so erhält man eine Kurve, die für jede beliebige Netzspannung und jede beliebige Netzkapazität anwendbar ist.

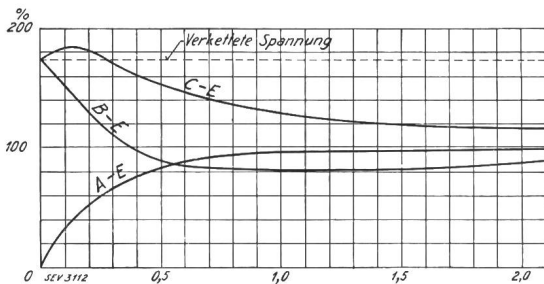


Fig. 11.

Darstellung des Spannungsverlaufes zwischen den drei Leitern und der Erde bei einem einpoligen Erdschluss über einen Ohmschen Widerstand in nicht geerdeten Drehstromnetzen.

Die auf diese Art berechnete Kurve ist in Fig. 11 dargestellt. In der gleichen Figur sind auch noch die Spannungen, die zwischen den beiden andern Leitern und der Erde auftreten, dargestellt. Man kann somit aus Fig. 11 auch die Spannungen ablesen, die die Erdschlusskontrollinstrumente in einem gegebenen Fall anzeigen.

Die Kurve $A - E$ zeigt, dass für eine Verhältniszahl gleich oder grösser als 1 die Spannung zwischen Leiter und Erde angenähert gleich gross wie die Phasenspannung ist. Bei einem Erdschluss über einen Leitungsmast wird diese Voraussetzung im allgemeinen zutreffend sein. Nimmt man beispielsweise ein kleines Netz von nur 20 km Stranglänge an, so beträgt die Kapazität zwischen Leiter und Erde bei normalem Abstand zwischen Leiter und Erde ca. $0,13 \mu F$, bzw. der kapazitive Widerstand bei 50 Per./s ca. $24\,500 \Omega$. Abgesehen von ganz frisch imprägnierten Masten sind die Mastwiderstände grösser als der berechnete kapazitive Widerstand; die Verhältniszahl wird also grösser als 1 sein. Ausserdem ergeben grössere Netze kleinere kapazitive Widerstände. In solchen Fällen ist die Bedingung für das Auftreten der Phasenspannung zwischen Leiter und Erde auch bei den niedrigsten Mastwiderständen erfüllt. Es kann deshalb bei allen weiteren Untersuchungen mit dieser Spannung gerechnet werden. Allerdings ist noch zu berücksichtigen, dass beim Auftreten eines zweiten Erdschlusses an einem andern Pol die Spannung an der in Betracht kommenden Stelle bis zur verketeten Spannung ansteigen kann.

d) Untersuchung der Gefahrenmomente.

Nachdem nun der für den Menschen unter besonderen Umständen gefährliche Strom (15 mA), der zwischen Leiter und Erde eingeschaltete Widerstand und das Verhältnis der Betriebsspannung zur wirksamen Spannung bekannt sind, kann zur Untersuchung über die Gefahren, die beim Arbeiten an unter Spannung stehenden Hochspannungsleitungen vorhanden sind, geschritten werden.

In erster Linie soll geprüft werden, bei welchen Betriebsspannungen das Umfassen eines Mastes gefährlich werden kann, wenn aus irgendeinem Grund ein Leiter mit einer Isolatorenstütze in Berührung gekommen ist. Zu diesem Zweck sind in Tabelle I für zwei verschieden grosse Mastwiderstände und drei verschiedene Widerstände des menschlichen Körpers die Spannungen zwischen Leiter und Erde berechnet, die notwendig sind, um einen Strom

Tabelle I.

Widerstand des Mastes zwischen Berührungsstelle und Isolatorstütze (5,0 m Länge)	100 000 Ω			500 000 Ω		
	2 000	20 000	100 000	2000	20 000	100 000
Widerstand des menschlichen Körpers Ω	2 000	20 000	100 000	2000	20 000	100 000
Spannung zwischen Berührungsstelle und Erde bei 15 mA Stromdurchgang V	30	300	1500	30	300	1500
Strom im untern Mastteil (Widerstand 35 000 bzw. 175 000 Ω) mA	0,85	8,5	43	0,17	1,7	8,5
Strom im obern Mastteil mA	15,85	23,5	58	15,17	16,7	23,5
Spannung zwischen Leiter und Berührungsstelle V	1585	2350	5800	7585	8350	11750
Spannung zwischen Leiter und Erde V	1615	2650	7300	7615	8650	13250

chen Fällen muss der betreffende Mast umfasst und beim Verschieben vom Boden abgehoben werden, so dass der menschliche Körper mit dem Mast in Reihe geschaltet wird. Besteht zur gegebenen Zeit auf dem betreffenden Mast ein Isolationsdefekt und sind Mast und Boden infolge Regen oder nebligem Wetter nass, so ist ein Unfall auch bei mässigen Hochspannungen durchaus möglich. Dabei ist besonders zu bedenken, dass bereits gesprungene Isolatoren beim Verschieben der Masten durch das Rütteln und Zerren an den Drähten gänzlich zerstört werden können und der Draht mit der Isolatorenstütze direkt in Berührung kommen kann. Das Verschieben der Leitungsmasten in der bis jetzt üblichen Weise kann somit gefährlich sein.

Wird beim Stellen eines neuen Mastes der Mast umfasst und kommt er mit einem unter Spannung stehenden Leiter in Berührung, so ist die Gefahr besonders gross, weil die neuen Masten unter Umständen sehr kleine Widerstände aufweisen. Besonders bei regnerischem oder nebligem Wetter sind schon bei verhältnismässig niedrigen Spannungen Unfälle denkbar.

Den geschilderten Gefahren steht nun allerdings die Tatsache gegenüber, dass ausser dem an einer 50-kV-Leitung vorgekommenen Unfall mit tödlichem Ausgang noch keine Unfälle bekannt geworden sind, die bei Arbeiten an Leitungen mittlerer Hochspannungen im genannten Sinn vorgekommen sind, obschon bis jetzt eine ganz bedeutende Zahl von Holzmasten auf die beschriebene Art ausgewechselt worden ist. Es ist dies offenbar dem Umstand zuzuschreiben, dass die Bedingungen für die Herbeiführung eines Unfalles (beim Arbeiten an alten Masten: Isolatorendefekt, nasser Mast, nasses leitendes Schuhwerk des Arbeitenden; beim Stellen des neuen Mastes: Berühren des Mastes mit einem Leitungsdraht und gleichzeitiges Umfassen des Mastes) nicht sehr oft erfüllt sind.

Schutzmassnahmen.

Um das Arbeiten an unter Spannung stehenden Leitungen trotz der Erkenntnis der Gefahren auch weiterhin durchführen zu können, wurden von den EKZ geeignete Schutzmassnahmen gesucht. Dabei kommen zwei Massnahmen in Frage:

1. das Erden der Masten,
2. das Isolieren des menschlichen Körpers entweder von der Erde oder von den Masten, an denen gearbeitet wird.

Leider zeigt aber die Untersuchung, dass ein Erden der Masten nicht zum Ziel führt. Werden z. B. die Isolatorenstützen eines Mastes an Erde gelegt und beträgt der Erdwiderstand an der Erdungsstelle 100Ω , was für provisorische Erdungen noch als niedrig bezeichnet werden muss, und besitzt das betreffende Netz eine Stranglänge von 50 km, so beträgt das Verhältnis des Erdungswiderstandes zum kapazitiven Widerstand ca. 0,01. Für dieses Verhältnis ergibt sich aus Kurve Fig. 11 eine Spannung zwischen Leiter und Erde von ca. 3 %

der Phasenspannung. Für ein 8-kV-Drehstromnetz beträgt diese Spannung somit 3 % von $4600 \text{ V} = 138 \text{ V}$ und der Erdschlußstrom 1,38 A. Ist die Leitungslänge des betreffenden Netzes 200 km, so wird die in Frage kommende Verhältniszahl ca. 0,04 und dementsprechend die Spannung zwischen Leiter und Erde gleich 12 % der Phasenspannung, in einem 8-kV-Netz also ca. 550 V (5,5 A Erdschlußstrom). Wäre der Erdwiderstand doppelt so gross, so würde auch die Spannung zwischen Erdleitung und Erde ungefähr den doppelten Wert annehmen. Es könnten also sehr gefährliche Spannungen auftreten. Da nun ein Berühren der Erdleitung beim Arbeiten kaum vermieden werden kann und es von den Arbeitenden auch nicht verstanden würde, dass eine Einrichtung, die zu ihrem Schutz angebracht wird, selbst gefährlich sein kann, so kann die Anwendung eines solchen fragwürdigen Schutzes nicht in Betracht kommen. Es drängt sich nun aber sofort der Gedanke auf, nicht die Isolatorenstützen, sondern den Leitungsmast ca. 2 bis 3 m über dem Boden zu erden, so dass der Erdschlußstrom durch den Widerstand des vorgeschalteten Mastteiles so stark herabgesetzt würde, dass keine gefährliche Spannung zwischen Erdleitung und Erde mehr bestehen könnte. Versuche in dieser Richtung haben aber gezeigt, dass auch ein solches Vorgehen wegen der Unsicherheit, die die Verbindung zwischen Holzmast und Erdleitung in sich birgt, sehr unzuverlässig wäre. Es kann deshalb nur die Isolierung in Frage kommen. Eine Isolierung des Arbeitenden vom Erdboden ist kaum denkbar, dagegen ist eine hinreichende Isolierung des Arbeitenden vom Leitungsmast sehr wohl durchführbar.

Das Stellen eines neuen Mastes kann einwandfrei erfolgen, ohne dass der Mast im kritischen Moment umfasst werden muss. Es fragt sich dabei nur, ob die für das Stellen der Masten notwendigen Werkzeuge, d. h. die Sticher, eine genügende Isolierung aufweisen, so dass bei einem zufälligen Berühren des betreffenden Mastes mit der Leitung die Arbeitenden nicht gefährdet werden. Um dies festzustellen, wurden an neuen und alten Stichern Messungen vorgenommen. Dabei zeigte sich, dass diese Werkzeuge auf eine Länge von 3,3 m in betetztem Zustand einen Widerstand von ungefähr

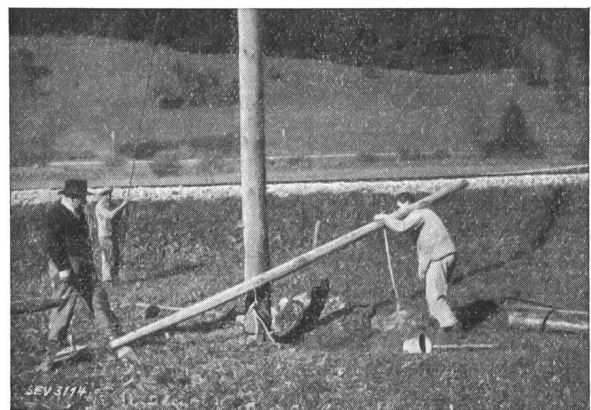


Fig. 13.

1 000 000 Ω aufweisen. Dieser Widerstand mit dem in Reihe geschalteten Widerstand des Leitungsmastes, der noch in Frage kommt, genügt für Spannungen bis ca. 15 kV sicher als Schutz für die Arbeitenden. Für höhere Spannungen würde es sich empfehlen, das Holz der Sticher mit Mineralöl zu imprägnieren. Beim Arbeiten an alten Masten kann, wie bereits erwähnt, insbesondere das Verschieben des Mastes gefährlich werden, weil in diesem Fall der Mast umfasst werden muss. Die Verschiebung muss deshalb mit einem isolierenden Werkzeug vorgenommen werden. Dieses Werkzeug muss einfach und leicht transportabel sein. Allen diesen Bedingungen entspricht eine einfache Holzstange, die mit einem Seil an den betreffenden Mast

derart befestigt wird, dass sie als einarmiger Hebel benützt werden kann. Mit diesem Hebel lässt sich der Mast leicht heben und seitlich verschieben (Fig. 13).

Zur Erhöhung der Sicherheit müssen diese Hebel allerdings in Mineralöl ausgekocht werden. Die Widerstandsmessung an einem imprägnierten Hebel ergab für eine Messlänge von 2 m einen Widerstand von ca. 8 000 000 Ω gegenüber ca. 440 000 Ω in unimprägniertem Zustand.

Das Arbeiten mit diesem Hebel bietet, wie die bisherigen Erfahrungen der EKZ gezeigt haben, keine praktischen Schwierigkeiten. Wird das Personal aufgeklärt und instruiert, so gewöhnt es sich sehr rasch an seine Handhabung.

Auszug aus der Diskussion.

Stalder (Kraftwerke Oberhasli A.-G.) wirft die Frage auf, ob es bei Arbeiten an Freileitungen nötig ist, das die Arbeiten ausführende Personal ausser durch eine schriftliche Mitteilung auch noch durch eine telephonische Meldung über den Zeitpunkt der Abschaltung und Wiedereinschaltung der Leitung zu verständigen.

Kleiner (Generalsekretariat des SEV und VSE) beantwortet diese Frage in dem Sinne, dass nach dem neuesten Entwurf der bundesrätlichen Verordnung betreffend Erstellung, Betrieb und Unterhalt der elektrischen Starkstromanlagen bei Reparaturen an einer Leitung diese nur nach telephonischer Verständigung mit dem die Reparatur ausführenden Personal unter Spannung gesetzt werden darf. Das bisher übliche Arbeiten nach «Zeitprogramm» ist demnach künftig verboten. Da telephonische Verständigung in besonderen Fällen fast unmöglich ist, tun die Betriebsleiter gut, jetzt schon die künftige Organisation solcher Arbeiten zu überlegen. Der Sprechende möchte dann folgende Fragen zur Diskussion stellen:

- a) An welcher Spannungs-kategorie von Leitungen kommen am häufigsten Störungen vor?
- b) An welchen Stellen der Isolatoren zeigen sich am häufigsten Risse?
- c) Bewähren sich Niederspannungsleitungen aus Aluminium?

Habich (Schweizerische Bundesbahnen) beantwortet die Frage b) von Kleiner in dem Sinne, dass im 60-kV-Netz der SBB an den Isolatoren hauptsächlich Kopfrisse beobachtet werden.

Zur Frage des Vogelschutzes bemerkt der Sprechende, dass die SBB bei der 132-kV-Leitung vom Wallis nach Rapperswil mit der Verwendung von Blechen, auf welche 16 cm lange Nägel senkrecht aufgeschweisst sind (wie Drahtbür-

sten), sehr gute Erfahrungen gemacht haben. Alle andern Vogelschutzvorrichtungen haben sich nicht restlos bewährt.

Dutoit (Elektrizitätswerk Olten-Aarburg) kommt auf die Kathodenstrahl-Oszillographen-Kommission zu sprechen. Diese Kommission wurde vor ca. vier Jahren von Mitgliedern des SEV und VSE gegründet zum Studium der Ueberspannungserscheinungen an Freileitungsanlagen und der Mittel zu ihrer wirksamen Bekämpfung. In den letzten Jahren wurden in diesem Zusammenhang u. a. auch eine Reihe von Ueberspannungsableitern geprüft. Die Versuche zeigten, dass bei der Wahl von Ueberspannungsableitern heute noch die grösste Vorsicht am Platze ist, da die meisten Ableiter nur in sehr beschränktem Masse stoßsicher sind.

Koehli erklärt in seinem Schlusswort, dass die BKW die Arbeiten an Freileitungen in ähnlicher Weise organisiert haben wie die EKZ. Fälle, wo Personal der BKW bei den Arbeiten elektrisiert worden wäre, sind dem Sprechenden jedoch nicht bekannt. Zu der Frage von Stalder und der Antwort von Kleiner bemerkt der Sprechende, dass die geforderte telephonische Meldung vor der Wiedereinschaltung einer Leitung oft eine Verlängerung der Stromunterbrechungszeit zur Folge haben kann. In abgelegenen Gegenden steht nicht immer ein Telefon zur Verfügung. Auch kann bei einer Störung an einer Freileitung das Telefon gleichzeitig gestört sein. Seiner Ansicht nach sollte eine schriftliche Vereinbarung über die Aus- und Einschaltzeiten einer Leitung für die Vornahme von Reparaturen genügen.

Da das Wort nicht weiter verlangt wird, dankt der Vorsitzende den Herren Referenten und Diskussionsrednern für ihre Ausführungen und den übrigen Konferenzteilnehmern für ihr Erscheinen. Er schliesst sodann die Konferenz um 16.40 Uhr.

Technische Mitteilungen. — Communications de nature technique.

Incendie d'un interrupteur à huile à l'Usine du Chanet à Boudry du Service de l'Electricité de Neuchâtel.

C'est avec grand plaisir que nous publions l'article qui suit puisqu'il contient le bref récit d'un accident intéressant et des idées pour y parer à l'avenir; il est susceptible d'intéresser tous les agents d'exploitation et nous désirons vivement que les chefs d'exploitation des services d'électricité veuillent bien publier au Bulletin leurs bonnes et mauvaises expériences comme M. Martenet va le faire dans ce qui suit.

(La rédaction.)

Un interrupteur à bain d'huile, triphasé, 4 kV, 200 A, a subitement pris feu le 22 février 1932 à 15 heures; les flammes sortaient de l'interrupteur et avaient une hauteur de

2 à 3 mètres, l'huile en feu se répandait à l'étage inférieur et enflamma une boîte d'extrémité de câble sous plomb.

Le feu a pris lors d'un déclenchement mais l'huile devait, nous semble-t-il, déjà avoir été chauffée par un mauvais contact, il ne s'est pas produit d'explosion mais simplement un incendie. La fumée était telle que l'on ne pouvait que difficilement s'approcher du foyer de l'incendie; on réussit à dissiper un peu cette fumée en brisant les vitres des fenêtres de l'usine depuis l'extérieur. On fit usage d'extincteurs chargés au tétrachlorure de carbone, mais sans grand résultat, chaque décharge éteignait le feu un moment mais sitôt après il reprenait avec autant de violence. 20 extincteurs furent ainsi déchargés mais sans succès. Finalement, on réussit à s'approcher assez près de l'interrupteur pour pouvoir dévisser le bouchon de vidange; l'huile s'écoula par les canalisations préparées à cet effet lors de la construction