

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 53 (1962)  
**Heft:** 5

**Artikel:** Höchstspannungskabel für Energieübertragung  
**Autor:** Hilgendorff, H.J. / Seiffe, F.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-916915>

### **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:** 01.04.2025

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

der Gesamtwirkungsgrad, bezogen auf die zu beleuchtenden Fahrbahnflächen, sehr klein und trotzdem muss nicht unbedingt von einer unwirtschaftlichen Beleuchtung gesprochen werden, da durch den räumlichen Eindruck, den der Autofahrer durch das Licht bei Auf- und Abfahrten gewinnt, die Unfallgefahr stark vermindert wird. Die bessere Übersichtlichkeit verleiht ein Gefühl der Sicherheit. Auch Blendungserscheinungen sind bei Aufhängehöhen von 30 und mehr Meter so gut wie ausgeschlossen. Allerdings muss wahrscheinlich mit erhöhten Kosten für Reparaturen und Wartung gerechnet werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass in den nächsten Jahren die Zahl der zu beleuchtenden Hochstrassen innerorts und auch von Grosskreuzungen zu-

nehmen wird, wobei noch nicht zu übersehen ist, welche der drei bisher durchgeführten Beleuchtungsarten in der Praxis künftig bevorzugt wird.

#### Literatur

- [1] Hössle, F.: Beleuchtung der neuen Hochstrasse in Ludwigs-hafen/Rh. Lichttechnik 12(1960)3, S. 121...123.
- [2] Stösser, J.: Die Beleuchtung der Weinlandbrücke in Andelfingen. Elektr.-Verwertg. 33(1958)11/12, S. 273...277.
- [3] Züllig, H. T.: Ein Schritt näher zur ortsfesten Autobahnbeleuchtung. Elektr.-Verwertg. 33(1958)11/12, S. 279...282.
- [4] Spriewald, W. und R. Niedenführ: Die Beleuchtung des Tunnels und des ersten Abschnittes der innerstädtischen Autobahn Westberlins. Lichttechnik 11(1959)2, S. 72...76.
- [5] Jajnski, P.: Tunnelbeleuchtung zur Verkehrssicherung. Lichttechnik 11(1959)2, S. 67...71.
- [6] Guanter, J. und G. Rieder: Beleuchtung zweier Strassentunnel auf der Strecke Thusis-Rongellen. Bull. SEV 50(1959)6, S. 225...232.

Adresse des Autors:  
H. Gertig, Ingenieur, Osram GmbH, Windenmacherstr. 6, München (Deutschland).

## Höchstspannungskabel für Energieübertragung

Von H. J. Hilgendorff und F. Seiffe, Köln

621.315.211.3/4.027.8

*Der Bedarf an Höchstspannungskabeln ist sehr gross geworden und steigt noch stark an. Es werden die drei wichtigsten Kabeltypen: Ölkabel, Druckkabel und Gasinnendruckkabel beschrieben und ihr elektrisches Verhalten erläutert. Weiter wird darauf eingegangen, wo im besonderen ihre Anwendungsgebiete liegen. Für den Bereich der Fertigung von Höchstspannungskabeln wird beschrieben, durch welche mannigfachen Prüfungen und Kontrollen während der Fabrikation eine laufende Fertigung ermöglicht wird. Die üblichen Abnahmeprüfungen werden erwähnt.*

*Les besoins en câbles pour très hautes tensions sont devenus très grands et continuent à augmenter fortement. Les auteurs décrivent les trois types de câbles les plus importants: sous faible pression d'huile, sous haute pression d'huile et à pression interne de gaz, ainsi que leur comportement électrique. Ils indiquent quels sont leurs domaines d'utilisation, puis les multiples essais et contrôles qui permettent une fabrication continue de ces câbles. Pour terminer, ils mentionnent les essais de réception usuels.*

### 1. Einleitung

Der Anwendungsbereich normaler Starkstromkabel mit imprägnierter Papierisolation ist hinsichtlich der Betriebsspannung begrenzt. Hiefür ist im wesentlichen die Wärmeausdehnung der Imprägniermasse verantwortlich zu machen. Bei wechselnder Strombelastung und Erwärmung der Kabel können kleine Hohlräume in der Isolation entstehen, die bei Betriebsspannungen bis etwa 50 kV ungefährlich sind, da hier die elektrische Feldstärke in der Isolation noch gering ist. Bei höheren Betriebsspannungen kann infolge dieser Hohlraum-bildung eine Ionisierung eintreten, die die Isolation des Kabels nachhaltig schädigt. Versucht man die Dicke der Isolation wesentlich zu erhöhen, um die elektrische Feldstärke herabzusetzen, so ergeben sich vor allem mechanische Schwierigkeiten. Man hat sich daher mit Erfolg bemüht, Kabel für den Spannungsbereich über 50 kV herzustellen, bei denen auch unter hoher elektrischer und thermischer Beanspruchung keine Ionisierung auftritt. Derartige Kabel werden als sog. Höchstspannungskabel in beachtlichem, stets steigendem Umfang hergestellt. Sie dienen zur wirtschaftlichen Übertragung elektrischer Energie bei hohen Spannungen in dicht besiedelte Gebiete und zur Einführung von Freileitungen in Schaltstationen und Kraftwerke.

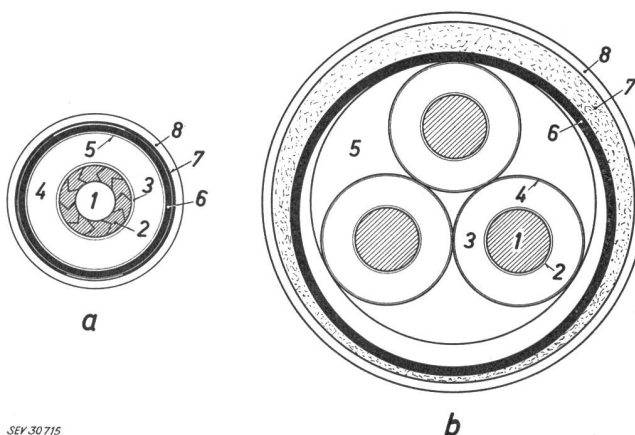
Das Ölkabel «atmet» im Betrieb Öl ein und aus. Um bei grösseren Höhenunterschieden den statischen Öldruck im Kabel zu begrenzen, unterteilt man die Kabelstrecke durch sog. Sperrmuffen in einzelne Abschnitte, deren Ölspesung von einander unabhängig ist. Auf gleiche Weise begrenzt man bei längeren Strecken den bei plötzlich einsetzender Strombelastung und Erwärmung des Kabels auftretenden dynamischen Öldruckstoss und den beim Abschalten des Kabels einsetzenden Druckabfall im Kabel. Eine Ölkabelanlage muss daher nicht nur in elektrischer Hinsicht, sondern auch auf ihren statischen und dynamischen Öldruck hin berechnet werden. Bei den in Europa im allgemeinen üblichen

### 2. Kabelsysteme für Höchstspannungsanlagen

#### 2.1 Ölkabel

Bei Ölkabeln [1]<sup>1)</sup> vermeidet man Hohlraumbildung und Ionisierung, indem die Papierisolation von dünnflüssigem, in den Ölkanälen des Kabels beweglichem und unter Überdruck stehendem Isolieröl durchtränkt wird. Jede thermische Volumenänderung des Kabels ist mit einem entsprechenden Ölfluss aus den zur Kabelanlage gehörenden Öldruckbehältern zu dem Kabel oder aus dem Kabel zu den Behältern gekoppelt.

<sup>1)</sup> Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.



SEV 30715

Fig. 1

#### Querschnittzeichnungen von 110-kV-Ölkabeln

- a Einleiter-Ölkabel mit Bleimantel  
1 Ölkanal; 2 Kupferleiter; 3 halbleitendes Russpapier; 4 Isolation; 5 Abschirmung; 6 Bleimantel; 7 Druckschutzbandage; 8 nahtlose PV-Hülle
- b Dreileiter-Ölkabel mit gewelltem Aluminiummantel  
1 mehrdrähtiger Kupferleiter; 2 halbleitendes Russpapier; 3 Isolation; 4 Abschirmung; 5 Ölfüllung; 6 gewellter Aluminiummantel; 7 Korrosionsschutz (plastische Masse und Kunststoff-Folien); 8 nahtlose PVC-Hülle

Ölkabelanlagen treten an den Öldruckbehältern Drücke von 0,3 bis 2 oder bis 3 kg/cm<sup>2</sup> Überdruck auf. In Fig. 1 sind die beiden typischen Bauformen des Ölkabels im Schnitt gezeigt. Dreileiter-Ölkabel fertigt man seit einigen Jahren in zunehmendem Masse auch mit einem gewellten Aluminiummantel an Stelle eines Bleimantels an [2]. Hierdurch wird der Kabelaufbau besonders einfach. Die Stahlspiralen zur Bildung der Ölkanäle und die Druckschutzbandage über dem Bleimantel können fortfallen, da Aluminium mechanisch fest genug ist, um den Innendruck des Kabels und auch von aussen wirkende Druckbeanspruchung aufzunehmen. Solche Kabel wiegen ausserdem besonders wenig und lassen sich daher auch leicht auslegen.

Eine besondere Bauart hat das von Möllerhøj erfundene und in Dänemark gefertigte Öl-Flachkabel [3]. Bei diesem liegen drei einzeln abgeschirmte Adern flach nebeneinander. Der gemeinsame Bleimantel umgibt die drei Adern. Die flachen Flanken des Bleimantels sind mit elastischen Druckbandagen versehen. Das Kabel kann infolge einer gewissen Ausbiegung der Flanken des Bleimantels die im Betrieb auftretende Öldehnung aufnehmen. Es benötigt daher keine Ölbehälter. Solche Kabel sind sowohl als Land- als auch als Wasserkabel seit 1941 in einer Reihe von Anlagen verlegt worden.

Ölkabel sind als Dreileiterkabel bis zu Spannungen von 150 kV und als Einleiterkabel bis zu Spannungen von 380 kV bzw. 400 kV in Betrieb (z. B. in Harspang/Schweden) [4].

Das Ölkabel ist von Emanuelli 1918 erfunden und in den folgenden Jahren zur Betriebsreife entwickelt worden.

Die ersten Ölkabel [5] wurden 1927/28 in Italien (Papigno, 130 kV) und in Deutschland (Nürnberg 100 kV) verlegt.

## 2.2 Druckkabel

Das Druckkabel liegt in einem Stahlrohr, das mit trockenem Stickstoffgas mit 15 kg/cm<sup>2</sup> Überdruck gefüllt ist [6; 7]. Dieser Druck wirkt über die Kabelmäntel auf die einzeln mit je einem Blei- oder Kunststoffmantel versehenen Kabeladern. Die Kabelmäntel dienen dabei als Membran zur Druckübertragung auf

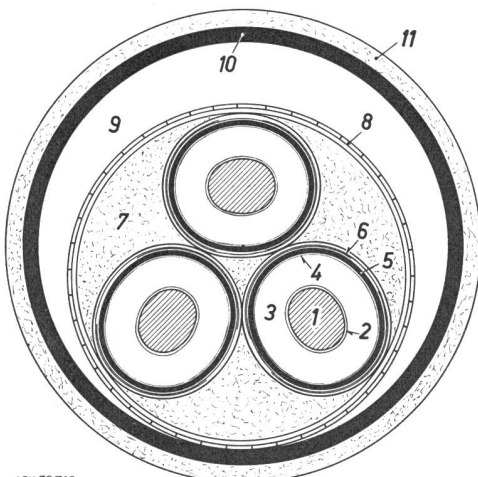
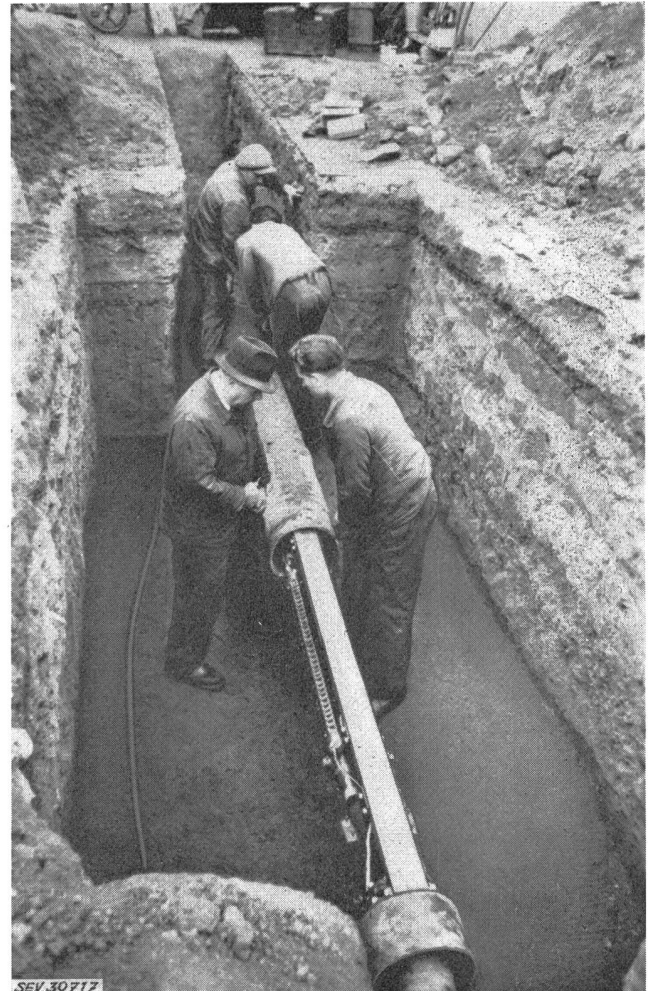


Fig. 2

Querschnittszeichnung eines 110-kV-Druckkabels

1 ovaler, mehrdrähtiger Kupferleiter; 2 halbleitendes Russpapier; 3 Isolation; 4 Abschirmung; 5 Bleimantel; 6 Kupferbandage und Korrosionsschutz; 7 Zwickelfüllung; 8 Flachdrahtbewehrung; 9 Stickstoff, 15 kg/cm<sup>2</sup>; 10 Stahlrohr; 11 Korrosionsschutz



SEV 30717

Fig. 3

Schliessen einer Druckkabelmuffe

die imprägnierte Papierisolation. Zur besseren Druckübertragung haben die Kabeladern einen ovalen Querschnitt (Fig. 2). Auf diese Weise werden auch beim Druckkabel Hohlraumbildung und Ionisierung in der Isolation verhindert. Sperrmuffen und Druckbehälter sind bei einer solchen Druckkabelanlage nicht erforderlich. Die Kabelmuffen liegen innerhalb der Stahlrohrleitung, die dort einen entsprechend grösseren Durchmesser hat (Fig. 3). Höhenunterschiede auf der Kabelstrecke sind beim Druckkabel bedeutungslos [8]. Auf Steilstrecken verwendet man besonders zähflüssige Imprägniermassen für die Papierisolation.

Die Stahlrohrleitung wird aus einzelnen Muffenrohren gebildet, die gasdicht zusammengeschweisst werden. Die erste Stickstoff-Füllung des Rohres wird im allgemeinen nur in grossen Zeitabständen aus Stahlflaschen von einem Ende der Kabelanlage aus ergänzt. Das Rohr erhält einen besonderen Korrosionsschutz (Glasvlies-Bitumen).

Druckkabel sind bisher bis zu Spannungen von 225 kV in Betrieb (z. B. Romainville — Noisy le Sec im Netz von Paris) [9].

Das Druckkabel ist nach einer Idee von Höchstädter durch Schürer und Vogel zur Betriebsreife entwickelt worden [10].

Die ersten Druckkabel wurden 1934/1935 in Deutschland (Halle, 60 kV), in Dänemark (Hellerup, 55 kV) und in Norwegen (Oslo, 110 kV) verlegt.

### 2.3 Gasinnendruckkabel

Das Gasinnendruckkabel arbeitet zur Unterdrückung der Ionisierung ebenfalls mit Stickstoff unter 15 kg/cm<sup>2</sup> Überdruck. Das Gas wirkt hier jedoch unmittelbar auf die Isolation ein und füllt die sich bildenden oder gegebenenfalls absichtlich erzeugten Hohlräume innerhalb des Kabels. Gasinnendruckkabel mit Bleimantel erhalten daher eine kräftige Druckschutzbandage. Werden sie mit Aluminiummantel gefertigt [11], so erübrigt sich eine solche Bandage, da Aluminium eine ausreichende Festigkeit besitzt. Gasinnendruckkabel werden auch ähnlich wie das Druckkabel im Stahlrohr verlegt. Hier entfallen dann die Kabelmäntel, da das Gas nicht von der mit zähflüssiger Imprägniermasse oder «non draining compound» imprägnierten Papierisolation ferngehalten zu werden braucht. Das Kabel wird in diesem Fall für den Transport mit einem provisorischen Bleimantel versehen.

Die Entwicklung des Gasinnendruckkabels wurde vor allem in England betrieben, nachdem dieses Kabel erstmals von den Amerikanern *Fisher* und *Atkinson* vorgeschlagen worden war [12]. Die ersten Gasinnendruckkabel wurden 1937 in England verlegt (33 kV und 132 kV). Gasinnendruckkabel sind für Spannungen bis zu 138 kV in Betrieb (z. B. das 25 km lange See-Kabel bei Vancouver/Canada) [13].

### 3. Elektrisches Verhalten

In Fig. 4 ist das unterschiedliche elektrische Verhalten der beschriebenen Kabel als Funktion ihrer elektrischen Durchschlagsfeldstärke in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt. Druckkabel und Ölkabel weisen die günstigsten Werte [7; 14] auf. Ausserdem zeigen sie im Gegensatz zu normalen Papierbleikabeln keine Alterung. Die Langzeitwerte werden bei ihnen schnell erreicht und bleiben dann konstant. Gasinnendruckkabel haben, wie Fig. 4 zeigt, bei gleicher Betriebsfeldstärke (d. h. bei gleicher Isolationsdicke und gleicher Betriebsspannung) eine geringere Wechselspannungsfestigkeit als Öl- oder Druckkabel. Im normalen Betrieb reicht diese Festigkeit jedoch aus, wenn die elektrische Feldstärke an der Leiteroberfläche 9 kV/mm nicht übersteigt [11]. Die geringere elektrische Festigkeit nimmt man vielfach in Kauf, wenn dadurch ein Preisvorteil erreicht wird oder sich andere Vorteile ergeben. Beispielsweise ist ein Gasinnendruckkabel besonders als Seekabel geeignet, da weder Ölbehälter noch eine Stahlrohrleitung erforderlich sind.

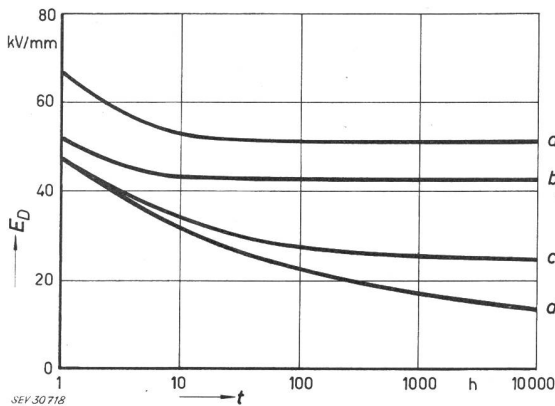


Fig. 4

Elektrische Durchschlagsfeldstärke  $E_D$  in Abhängigkeit von der Zeit  $t$   
 a Druckkabel; b Ölkabel; c Gasinnendruckkabel; d normales Papierbleikabel

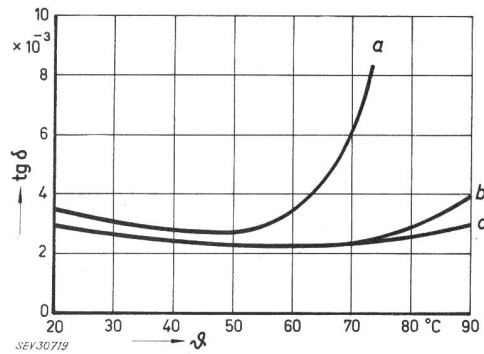


Fig. 5

Verlustfaktor  $\text{tg } \delta$  in Abhängigkeit von der Temperatur  $\theta$   
 a normales Papierbleikabel; b Druckkabel; c Ölkabel

Bei Öl- und Druckkabeln und unter der erwähnten Einschränkung in Bezug auf den Sicherheitsfaktor (Verhältnis der Dauerdurchschlagfeldstärke zur Betriebsfeldstärke) auch bei Gasinnendruckkabeln ist es daher möglich, mit verhältnismässig geringen Isolationsdicken hohe Spannungen zu beherrschen. Ein 110-kV-Öl- oder Druckkabel hat z. B. etwa die gleiche Isolationsdicke wie ein normales Papierbleikabel für 45 kV. Die Stoßspannungsfestigkeit der genannten Kabeltypen ist ebenfalls verhältnismässig hoch und liegt bei etwa 100 kV/mm. Höchstspannungskabel sind daher auch recht widerstandsfähig gegen Wanderwellen, die durch Schaltvorgänge oder durch Blitzschlag in angeschlossene Freileitungen hervorgerufen werden. Trotzdem verzichtet man auf die Anbringung von Überspannungsableitern meistens nicht. Gleichzeitig mit der hohen elektrischen Festigkeit erreicht man eine erhöhte Beständigkeit gegenüber thermischen Beanspruchungen (Fig. 5). Bei Höchstspannungskabeln kann daher unter normalen Bedingungen im Dauerbetrieb eine Temperaturerhöhung des Leiters durch die Übertragungsverluste von 50 °C zugelassen werden. Bei normalen Papierbleikabeln sind z. B. nach VDE 0255/460 im Spannungsbereich von 30 kV bis 60 kV nur 25 °C zugelassen. Auch andere Kabelnormen schreiben ähnliche Temperatur-Grenzen vor. Höchstspannungskabel können daher höher mit Strom belastet werden als normale Starkstromkabel. In besonderen Fällen sind sie daher bereits bei 30-kV-Anlagen wirtschaftlicher [15].

### 4. Anwendungen

Bei kurzen Strecken sind Ökabelanlagen im allgemeinen billiger als Druckkabel. Wegen des höheren Betriebsdruckes werden die Endverschlüsse von Druckkabeln teurer als die von Ölkabeln. Bei kurzen Strecken spielen diese Mehrkosten eine grössere Rolle als bei längeren Strecken [16; 17]. Einleiter-Ölkabel, die heute in Erde im allgemeinen gebündelt verlegt werden (zwei Kabel dicht nebeneinander und das dritte Kabel in der Mitte unmittelbar darüber), sind um etwa 6...8 % höher belastbar als Dreileiter-Ölkabel oder als Druckkabel, für die im allgemeinen eine gleiche Strombelastbarkeit angegeben wird. Diese Werte ergeben sich aus der gegebenen Wärmeableitung im Erdboden. Für Gasinnendruckkabel werden gewöhnlich um etwa 5 % niedrigere Strombelastungswerte angegeben als für Dreileiter-Druck- oder -Ölkabel, da die Isolierung von Gasinnendruckkabeln einen höheren Wärmewiderstand hat.

Bei kurzen Einleiter-Ölkabelstrecken, bei denen die Kabel einen isolierenden äusseren Korrosionsschutz

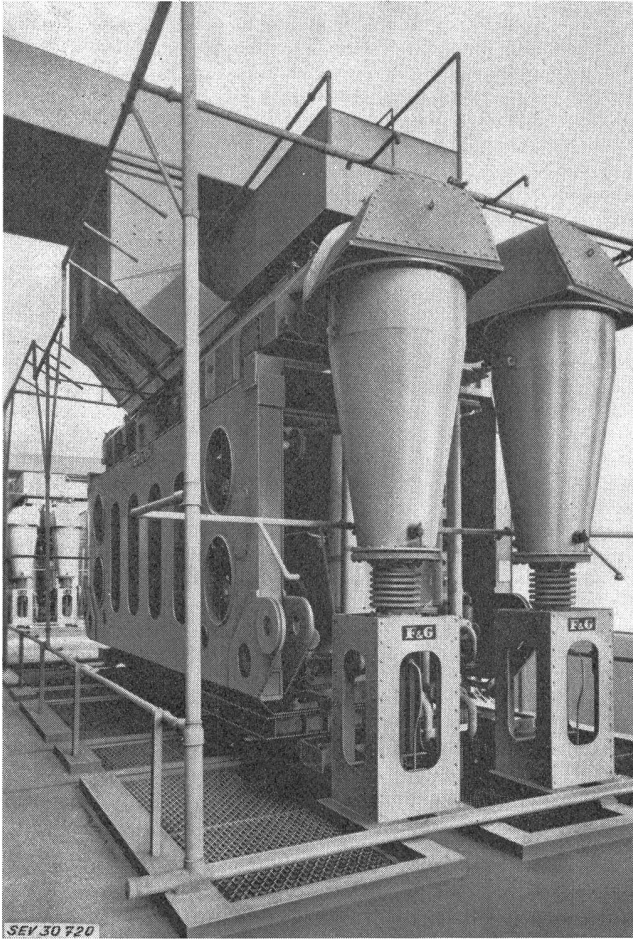


Fig. 6

Transformator-Endverschlüsse für 220-kV-Einleiter-Ölkabel (der dritte Pol ist an der rückwärtigen Stirnseite des Transformators eingeführt)

haben, z. B. eine nahtlose PVC-Hülle, kann man die Kabelmäntel an nur einem Streckenende erden und am anderen von einander und von Erde isoliert halten. Man verhindert so die Ausbildung eines induzierten Stromes im Bleimantel und verringert dadurch die Übertragungsverluste (Erwärmung des Kabels). Die Strombelastbarkeit kann somit noch gesteigert werden. Eine Grenze für dieses Verfahren bildet die Höhe der am isolierten Ende auftretenden induzierten Spannung im Kabelmantel, die im allgemeinen im ungestörten Betrieb 20 V nicht übersteigen soll. Die induzierte Spannung ist der Länge des Kabels proportional.

Druckkabel und Gasinnendruckkabel im Stahlrohr haben einige wesentliche Vorteile vor anderen Höchstspannungskabeln. Sie sind mechanisch gut geschützt, wie die Praxis gezeigt hat, selbst gegenüber den Angriffen eines Baggers. Sie haben einen ungewöhnlich günstigen Reduktionsfaktor (Kabelmantelschutzfaktor gegenüber elektromagnetischer Beeinflussung auf benachbarte Fernmeldekabel) in der Grössenordnung von 0,05. Man kann für die spätere Parallelverlegung eines zweiten Kabels gleich von Anfang an ohne zu grosse Mehrkosten ein zweites vorerst leer bleibendes Rohr mitverlegen und erspart sich auf diese Weise Erdarbeiten und Wiederherstellung der Strassendecke bei der späteren Auslegung des zweiten Kabels. Ölkabel oder Gasinnendruckkabel mit Aluminiummantel haben ebenfalls einen günstigen Reduktionsfaktor im Bereich von 0,08. Das Druckkabel bietet noch einen weiteren

wesentlichen Vorteil. Es kann im Notbetrieb nach Entweichen des Druckgases durch ein Leck noch 48 h bei voller Spannung und 75 % der Last in Betrieb bleiben.

Alle hier genannten Höchstspannungskabel können mechanisch, d. h. mit einer Winde in den Kabelgraben oder in das Stahlrohr eingezogen werden.

Höchstspannungskabel können unmittelbar in Transformatoren eingeführt werden (Fig. 6). Der Porzellanendverschluss des Kabels steht dabei in einem Anbaugehäuse unter Öl und kann daher zur Raumersparnis verhältnismässig klein gehalten werden. Ausserdem besteht nicht mehr die Gefahr, dass die Porzellanisolatoren der Endverschlüsse oder der Transformatordurchführungen verschmutzen und dadurch zu Störungen führen.

## 5. Herstellung

Der in der Einleitung erwähnte in progressiver Form ansteigende Bedarf an Höchstspannungskabeln hat für die Fertigung besondere Konsequenzen. Grundsätzlich sind die Fertigungsgänge in der Kabelherstellung für Kabel von 1 kV bis zu den höchsten Spannungen ähnlich; jedoch werden bei der Herstellung von Höchstspannungskabeln wesentlich höhere Ansprüche an die Fertigungsgenauigkeit gestellt.

Die ersten Höchstspannungskabel wurden meistens in Einzelanfertigung hergestellt. Jede Einzelheit wurde jeweils von der Fertigungsleitung begutachtet, viele Entscheidungen jedoch erst während der Fertigung gefällt. Auch in den nachfolgenden Jahren waren Kabel für Höchstspannung stets noch etwas Besonderes. Das ist heute völlig anders geworden, weil derartige Kabel wegen des grossen Bedarfs laufend hergestellt werden. Das ist möglich geworden, weil inzwischen bewährte Konstruktionen für die einzelnen Kabelbauformen vorliegen. Jede kontinuierliche Fertigung bedingt eine sorgfältige und lückenlose Fertigungsüberwachung und zahlreiche messtechnische Kontrollen. Trotzdem steht an erster Stelle immer noch das Können und die Zuverlässigkeit des Personals.

Im folgenden soll die Fertigung von Höchstspannungskabeln nicht im einzelnen beschrieben werden, da diese dem Interessierten ohnehin bekannt sein dürfte. Es soll vielmehr gezeigt werden, welche besonderen Massnahmen getroffen werden müssen, um Höchstspannungskabel zu fertigen, wobei besonders auf die verschiedenen Mess- und Kontrollverfahren eingegangen wird.

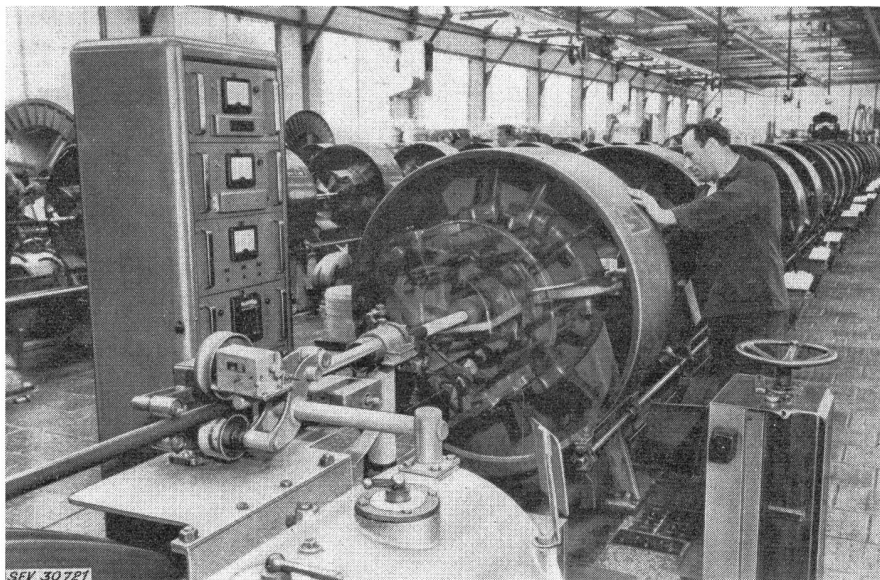
Vorweg sei noch kurz erwähnt, dass alle zum Aufbau von Kabeln verwendeten Materialien einer ständigen Prüfung unterzogen werden. Die laufende Kontrolle ist deshalb ausserordentlich wichtig, weil in einer grossen Kabelfabrik erhebliche Mengen verschiedener Materialien — täglich 100 t und mehr — durchgesetzt werden. Es würde in diesem Aufsatz zu weit führen, die Mannigfaltigkeit der Eingangs- und laufenden Kontrollen der Werkstoffe zu beschreiben. Es sei hier nur darauf hingewiesen, dass diese sehr wichtigen Prüfungen eine gute Organisation verlangen, weil sie nur dann ihren Zweck erfüllen, wenn sie lückenlos sind.

### 5.1 Leiterherstellung

Leiterverseilmaschinen haben gewöhnlich mehrere Verseilkörbe, um auch Leiter mit grossem Querschnitt in einem Arbeitsgang herstellen zu können. Leiter für Höchstspannungskabel werden als Hohlleiter für Einleiter-Ölkabel, als Ovalleiter für Druckkabel und als Rundleiter für Dreileiter-Ölkabel gefertigt. Um eine besonders hohe Sauberkeit des Litzendrahtes zu er-

reichen, laufen alle Leiter für Höchstspannungskabel durch eine Waschanlage. Eine nachgeschaltete Trocknungszone befreit den Leiter von allen Resten der Reinigungsflüssigkeit. Auf diese Weise wird der Schmutz, der sich durch Staubablagerung und auch durch Berühren auf den Leiterdrähten angesammelt hat, entfernt. Nach der Säuberung werden die Leiter sofort mit einer Lage halbleitenden Russpapiers bewickelt. Damit ist die erste Lage der nun folgenden Papierwicklung aufgebracht.

Fig. 7  
Wickelmaschine für Höchstspannungskabel  
(im Vordergrund ein Isolierdicken-Kontrollgerät)



Nach Einrichten der Maschine auf einen bestimmten Leiterquerschnitt wird von den ersten hergestellten Metern ein Leiterstück herausgeschnitten und auf der Thomson-Messbrücke auf den elektrischen Widerstand hin kontrolliert. Die der Bauvorschrift entsprechende Dimensionierung der einzelnen Drähte bzw. des verseilten Leiters wird so überprüft. Eine kontinuierliche Widerstandsmessung während der Leiterherstellung wird bei der zu fordernden hohen Messgenauigkeit ausserordentlich kostspielig und ist auch nicht erforderlich, da durch vorgeschaltete Kontrollen der Leitfähigkeit und des Durchmessers des verwendeten Leiterdrahtes eine Fehlermöglichkeit ohnehin sehr gering ist. Der Bruch eines Litzendrahtes innerhalb der Verseilmaschine wird sofort bemerkt. Eine automatisch arbeitende Drahttriss-Kontrolle schaltet in solchem Falle die Maschine schnell ab, damit der Draht noch vor dem Verseilpunkt im elektrischen Stumpfschweissverfahren wieder zusammengeschweisst werden kann.

### 5.2 Bewicklung

Die Präzision der Papierwicklung ist bei Höchstspannungskabeln von ganz entscheidender Bedeutung, weil die elektrische Beanspruchung hier höher als bei Massekabeln ist. Die Qualität des ausgewählten Isolierpapiers wird daher ständig überwacht. Im Zulieferbetrieb der Wickerei — das ist das Papierlager und die Papierschniderei, wo die Papierstreifen für die Isolierwicklung aus breiten Papierbahnen geschnitten werden — beachtet man beim Umgang mit Höchstspannungskabelpapier besondere Vorsicht und eine pedantische Ordnung in der Lagerhaltung, um Verwechslungen der Papiersorten unbedingt zu vermeiden.

Zweckmässig wird die Papier-Isolierung in einem Arbeitsgang aufgebracht; Wickelmaschinen für Höchstspannungskabel haben daher eine verhältnismässig grosse Anzahl von Papierspinnern (Fig. 7).

Die Biegeempfindlichkeit eines Kabels wächst schnell mit der Isolierwandstärke. Durch richtige Dimensionierung der Zugspannung beim Wickeln der Isolierpapiere kann die Biegebarkeit des Kabels verbessert werden. Bei falscher Einstellung dieser Zugspannungen könnten die inneren Papierlagen faltig werden, oder es könnten beim Biegen der Kabel Risse an den Isolierpapieren auftreten. Solche Fehler hätten nach-

teilige Folgen für die elektrische Festigkeit der Isolierung.

Fig. 7 zeigt eine Wickelmaschine für Höchstspannungskabel. Im Vordergrund ist die Kontrolleinrichtung für den Kabeldurchmesser in zwei aufeinander senkrecht stehenden Ebenen zu sehen. Der dahinter stehende Meßschrank lässt den Maschinenführer die Abweichung vom mittleren Solldurchmesser und eine eventuelle Ovalität erkennen. Das Gerät kann auch für ovale Kabeladern von Druckkabeln eingestellt werden, so dass das Einhalten einer vorgegebenen Ovalform kontrolliert werden kann. Bei einem Papierriss wird die Wickelmaschine automatisch abgeschaltet.

### 5.3 Trocken- und Imprägnierprozess

Neben einer exakten Wicklung ist eine sorgfältige Trocknung und Imprägnierung entscheidend für die elektrische Qualität von Kabeln. Da sich bei diesen Arbeitsgängen viele Vorgänge dem Augenschein entziehen, sind vor allem hier vielfältige Messungen nötig.

Die Adern von Druck- und Gasinnendruck- sowie Einleiter-Ölkabeln werden sofort nach Aufbringen der Isolierung in die Trocken- bzw. Tränkgefässe eingerollt. Dreileiter-Ölkabel müssen vorher noch verseilt werden. Alle diese Arbeitsvorgänge werden unter Einhaltung grösster Sauberkeit verrichtet.

Die Leiter mehrerer Kabellängen, die einen grösseren Stapel im Tränkgefäss bilden, werden elektrisch in Serie geschaltet, damit sie im dampfbeheizten Vakuum-Kessel zusätzlich elektrisch beheizt werden können. Während des Einrollens der Kabel legt man in das Trockengefäss an mehreren Stellen flexible und robuste Widerstandsthermometer ein. Die Lage dieser Thermometer wird nach der Erfahrung so gewählt, dass während des Trockenprozesses sowohl die heissesten als auch die kühlest Stellen im Kessel erfasst werden. Die Temperatur des Trockenkessels wird mit diesen Widerstandsthermometern und ausserdem durch Messung des Widerstandes des Kabelleiters mit Hilfe einer Thomson-Brücke ständig kontrolliert. Gleichzeitig wird der Druck im Trockenkessel gemessen. Grundsätzlich wird von jeder Kesselcharge ein Temperatur-Zeit-Diagramm angefertigt, damit der Betriebsingenieur den jeweiligen Betriebszustand der Anlage sofort überblicken kann. Die Kesselcharge wird ausser-



Fig. 8

Teilansicht einer Lager-, Misch- und Entgasungsanlage für Kabeltränkmassen

dem noch durch schreibende Instrumente überwacht, wobei Druck, Temperatur, statische Kapazität des Kabels und dessen Isolationswiderstand aufgezeichnet werden. Davon unabhängig wird der Druck, der am Saugstutzen des Kessels herrscht, von einem registrierenden Instrument festgehalten. Jede Unregelmässigkeit an der Vakuumpumpe kann somit schnell erkannt werden.

Die Zeitdauer der elektrischen Leiterheizung wird protokolliert und zur Kontrolle durch ein schreibendes Messgerät registriert. Ebenfalls werden die Dampftemperatur und der Dampfdruck der Kesselheizung automatisch aufgeschrieben. Die Dampftemperatur wird durch besondere Anlagen konstant gehalten. Das Bild, das die Gesamtheit der Messwerte ergibt, ist entscheidend dafür, ob der Trocknungsprozess als beendet betrachtet werden kann.

Während Druck- und Gasinnendruckkabel anschliessend mit heisser Masse bzw. heissem Öl getränkt werden, wird beispielsweise das Dreileiter-Ölkabel mit gewelltem Aluminiummantel in diesem vorgetrockneten Zustand mit einem Aluminiummantel umpresst, worauf später noch kurz eingegangen wird.

Man hat heute gewöhnlich umfangreiche Anlagen zur Verfügung, um die verschiedenen Tränkmittel für den Imprägnierprozess bereitzuhalten. Auf Fig. 8 ist ein Ausschnitt aus dieser Vorrats-, Misch- und Entgasungsanlage zu sehen. Das angelieferte Öl wird je nach

Verwendungszweck als reines Öl verarbeitet oder mit Naturharz oder Kunststoffen gemischt. Alle Imprägniermittel laufen mit höherer Temperatur durch Entgasungskolonnen, von denen zwei in Fig. 8 zu sehen sind. Rechts in Flurhöhe sieht man eine Fassabfüllanlage für Kunststoffzusätze. Diese Vorrichtungen, deren ganzer Umfang dem Bildausschnitt nicht zu entnehmen ist, werden in mannigfacher Weise überwacht. An zahlreichen Stellen sind die Bedienungsschaltungen zwangsläufig verriegelt und so gegeneinander abgesichert, dass keine Rohrleitungen platzen, kein Behälter überlaufen und in den Förderpumpen keine Kavitation entstehen kann. Ein grosses Leuchtbild, das die gesamte Lager-, Misch- und Entgasungsanlage mit allen Einzelheiten darstellt und den jeweiligen Betriebszustand wiedergibt, stellt eine Hilfe für den Bediener und eine Kontrolle für den Überwachenden dar. Auf Fig. 8 ist unten das Gehäuse eines Photoapparates sichtbar, der das gesamte Leuchtbild bei jeder Änderung einer Ventilstellung oder sonstigen Schaltung photographiert. Man hat dadurch die Möglichkeit, Schaltstellungen auch nachträglich zu kontrollieren.

Der Druck in den Vorratsbehältern wird automatisch geregelt und laufend kontrolliert. Die Temperaturen werden durch schreibende Messgeräte aufgezeichnet. Alle zur Tränkung bereitliegenden Imprägniermassen werden auf konstanten Temperaturen gehalten. Die Temperaturregelung erstreckt sich auch auf die Rohrleitungen der Anlage.

Vor jeder Tränkung einer Kesselcharge wird aus dem unter Vakuum stehenden Vorratsbehälter mit entgaster und gefilterter Imprägniermasse eine Probe entnommen und im Hochspannungslaboratorium untersucht.

#### 5.4 Kabelummantelung

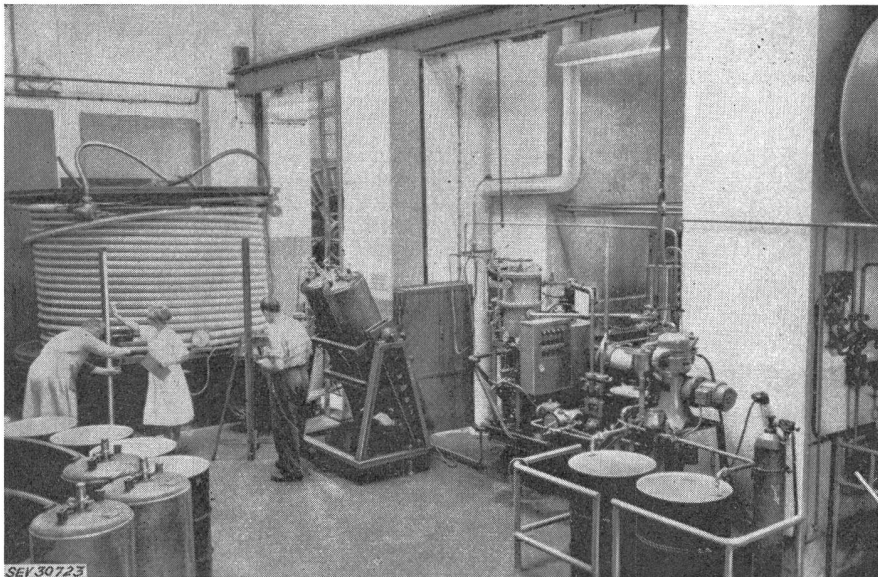
Entscheidend für die Qualität des Blei- oder Aluminiummantels ist neben einer chemischen Kontrollanalyse des Metalls vor allem die Fertigungstechnik der Pressenbedienung. Die Werkzeuge der Presse werden auf die geforderte Wandstärke und den Durchmesser des Kabelmantels genau eingerichtet. Bei der Nahtprobe des Bleimantels wird ein Stück des Kabelmantels auf mindestens den doppelten Durchmesser aufgetrieben, ohne dass eine Naht zu erkennen sein darf. Vom Anfang und vom Ende jeder Länge wird eine Probe abgeschnitten und die geometrische Dimension des Kabelmantels nachgeprüft. Ausserdem geht ein zweites Probestück zur Prüfung ins Laboratorium, wo wiederum die Legierung, das Gefüge und die Nahtbindung untersucht werden. Man prüft die Wandstärke des Bleimantels auch mitten in der Kabellänge durch ein Ultraschall-Messgerät.

Die elektrische Heizung der Presse wird thermostatisch geregelt, und die Temperatur mit einem schreibenden Gerät registriert.

#### 5.5 Nachtrocknen und Imprägnieren

Bei Ölkabeln, die erst nach dem Aufbringen des Kabelmantels mit Öl imprägniert und gefüllt werden, z. B. bei Dreileiter-Ölkabeln mit gewelltem Aluminiummantel, wird die Dichtigkeit des Kabelmantels durch eine Überdruckfüllung mit einem getrockneten inerten Gas nachgeprüft.

Das Kabel wird nun in eine dampfbeheizte Trockenkammer gebracht, wobei die Nachtrocknung wiederum durch Wärme und Vakuum erfolgt. Vakuumleitungen



Links wird an einer liegenden Trommel mit einem Dreileiter-Aluminiummantelkabel der Füllfaktor bestimmt. An den Enden des Kabels sind die Endverschlüsse mit den Vakuumleitungen zu erkennen. In etwa Bildmitte ist ein Mann damit beschäftigt, die Druckvolumenfunktion — die sog. Tankcharakteristik — an zwei Öldruckbehältern aufzunehmen. Die Behälter sind zum Einbau in die Trommel für den Transport des Kabels und zum späteren Einbau in die Kabel-

Fig. 9  
Füllprobe am Ölkabel und Überprüfung von Öldruckbehältern

werden an die beiden Enden des Kabelmantels gelötet, die Durchführungen für den Anschluss von Messleitungen und für eine zusätzliche elektrische Heizung des Leiters besitzen. Auch dieser Nachtrockenprozess wird eingehend überwacht. In vorgeschriebenen Abständen werden Temperaturen und Druck gemessen. Da dieser Nachtrockenprozess gewöhnlich länger dauert und die Änderungsgeschwindigkeit der einzelnen Messgrößen gering ist, kann man hier auf schreibende Instrumente verzichten. Die Temperaturmessungen umfassen die Messung der Leitertemperatur (Widerstandsmessung) und die Messung der Temperatur des Kabelmantels mittels mehrerer an geeigneten Stellen angebrachter Widerstandsthermometer.

Die an beiden Kabelenden saugende Vakuumpumpe ist gegen Betriebsunterbrechung durch Energieausfall gesichert, damit keine feuchte Luft in das Innere des Kabels gelangen und den Nachtrockenprozess beeinträchtigen kann.

Wenn die Trocknung nahezu beendet ist, werden eine Reihe Kontrollmessungen ausgeführt. Bei ausreichender Trockenheit wird sich die Leitfähigkeit der Isolierung nicht mehr ändern. Da die Messung der Leitfähigkeit nicht unmittelbar einfach möglich ist, bestimmt man durch Messung der statischen Kapazität und des Isolationswiderstandes die Zeitkonstante der Isolierung, welche der Dielektrizitätskonstanten proportional und der Leitfähigkeit des Dielektrikums umgekehrt proportional ist. Die Bestimmung der Zeitkonstanten wird mehrmals wiederholt, damit man sicher ist, dass der erwartete Wert erreicht wird und sich nicht mehr ändert. Eine ergänzende Prüfung stellt die Druck-Grenzwertmessung dar. Hier wird bei einer festgelegten Temperatur der Druckanstieg des von der Pumpe abgesperrten Kabelinneren beobachtet. Bei bestimmten von den geometrischen Abmessungen des Kabels abhängigen Endwerten wird die Trocknung als beendet angesehen. Ist das der Fall, wird die Tränkung von einem Kabelende her vorgenommen. Am fertiggefüllten Kabel wird der sog. Füllfaktor gemessen, um sich zu vergewissern, dass die Tränkung vollständig ist. Das Kabel wird an beiden Enden abgeschlossen und der Druckabfall als Funktion einer abgelassenen definierten Ölmenge bestimmt. Auf Fig. 9 ist ein Teil der Anlagen zum Imprägnieren von Ölkabeln zu sehen.

strecke bestimmt. Die Tankcharakteristik ist wichtig für den am verlegten Kabel einzustellenden Öldruck. Im rechten Teil des Bildes ist eine transportable Öldurchlaufentgasungsanlage zu sehen.

Das Ölkabel wird vor seiner Verwendung in einer grossen stationären Anlage hoch entgast und getrocknet; sein Gasgehalt ist auch nach dem Tränken des getrockneten Dielektrikums noch immer gering und liegt unter dem vorgeschriebenen Richtwert. An jeder getränkten Kabellänge wird dieser Wert nachgewiesen.

Das ummantelte und imprägnierte Öl- und Druckkabel ist nun bezüglich seiner elektrischen Verwen-

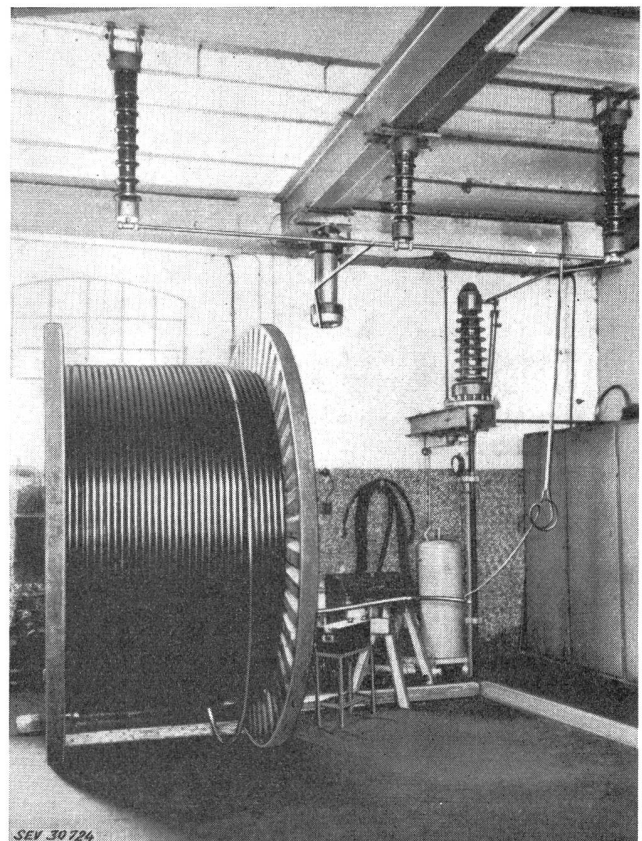


Fig. 10  
Hochspannungs-Zwischenprüffeld für Verlustfaktor-Kontrolle



dung fertig. Man kann daher schon vor der Weiterverarbeitung nachprüfen, ob die geforderten elektrischen Werte eingehalten werden. Bei einer Zwischenprüfung mit Hochspannung misst man den Verlustfaktor als Funktion der Spannung, den Isolationswiderstand, die statische Kapazität und den Leiterwiderstand. Gleichzeitig werden die Dicke der Isolierung und des Kabelmantels sowie der Aufbau der Papierwicklung kontrolliert. Fig. 10 zeigt das relativ kleine Zwischenprüffeld,

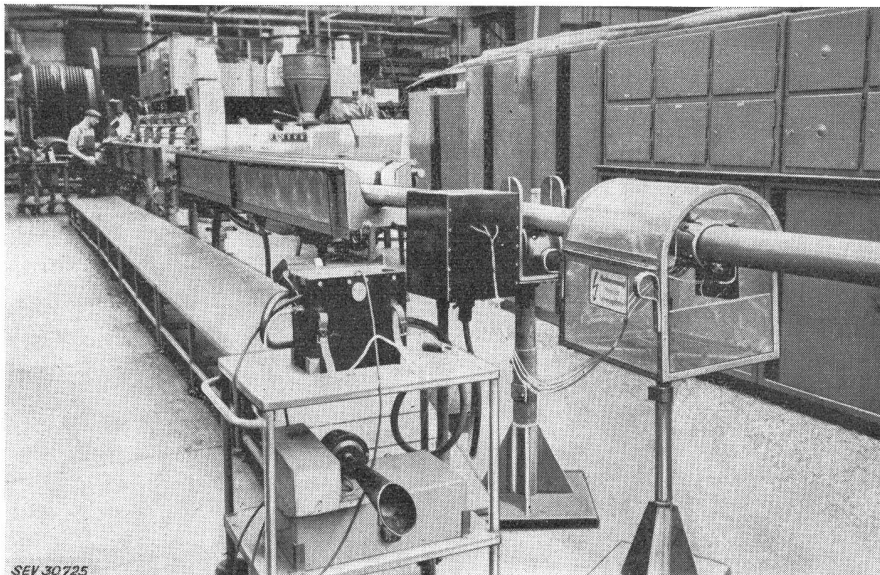


Fig. 11  
Kunststoffmantel-Spritzmaschine mit  
Hochspannungs-Durchlaufkontrolle

das sich innerhalb der Kabelfabrik befindet und seine Meßspannung über ein Ölkabel vom Hochspannungsprüffeld der Kabelabnahmeleitung erhält. Diese Hochspannungszwischenprüfung stellt eine weitere Sicherung für eine einwandfreie Serienfertigung dar.

#### 5.6 Aufbringen des Korrosionsschutzes und der Armierung

Für die Prüfung des Korrosionsschutzes und der Armierung ist nur ein geringer Aufwand nötig. Ein Korrosionsschutz, der absolut dicht sein soll, z. B. eine äussere nahtlose Kunststoffhülle eines Kabels, wird im Durchlaufverfahren geprüft. Durch Beanspruchung mit Hochspannung kann jede Pore in solch einem Kunststoffmantel oder auch in einer Schicht aus gewickelten Kunststoffbändern sofort erkannt werden.

Fig. 11 zeigt eine solche Hochspannungs-Durchlaufprüfeinrichtung am Auslauf einer Kunststoffspritzmaschine.

### 6. Abnahme-Prüfungen

Unabhängig von den bereits geschilderten Prüfungen im Rahmen der Fertigungsüberwachung werden bei Öl-, Druck- und Gasinnendruckkabeln im allgemeinen folgende Abnahmeprüfungen an jeder Herstellungslänge vorgenommen:

a) Messung des Kupferwiderstandes mit einer Thomas-Brücke und Spiegelgalvanometer. Der spezifische Kupferwiderstand soll bei Leitern unter 1000 mm<sup>2</sup> Querschnitt und bei 20 °C den Wert von 17,92 Ωmm<sup>2</sup>/km nicht überschreiten. In diesem Wert sind die erforderlichen Zuschläge für die Widerstandserhöhung durch die Verseilung der Leiter aus einzelnen Drähten und für die Verseilung der Adern von Dreileiterkabeln enthalten.

b) Messung des Isolationswiderstandes mit dem Spiegelgalvanometer und mit Hilfe eines Vergleichswiderstandes. Mindestwerte werden im allgemeinen nicht vorgeschrieben, da der Isolationswiderstand bei Höchstspannungskabeln normalerweise sehr hoch liegt.

c) Messung der Gleichstrom-Kapazität zwischen Leiter und Aderabschirmung mit dem Spiegelgalvanometer nach der ballistischen Methode. Auch hier werden keine besonderen Sollwerte vorgeschrieben. Es wird im allgemeinen erwartet, dass der Messwert den im Angebot genannten Wert um nicht mehr als 8% übersteigt.

d) Messung des Verlustfaktors mit der Scheringbrücke bei verschiedenen Spannungen. Im allgemeinen wird ein Mindest-

wert für den Verlustfaktor vereinbart, der bei Nennspannung nicht überschritten werden darf, z. B. der Wert von 0,005. Darüber hinaus kann festgelegt werden, dass der Anstieg des Verlustfaktors mit steigender Meßspannung gewisse Werte nicht übersteigen darf. Bei Ölkabeln werden diese Messungen meist zwischen der halben und der doppelten Phasen-Spannung zwischen Leiter und Abschirmung ausgeführt. Bei Druckkabeln, die bei der Stückprüfung wegen des sonst unverhältnismässig hohen Aufwandes ohne Druck geprüft werden, liegen die Messspannungen entsprechend niedriger, meistens zwischen 0,25  $U_0$  und  $U_0$ . Dabei ist  $U_0$  die im ungestörten Betrieb zwischen Leiter und Aderabschirmung liegende Phasenspannung. Da die Messwerte von der Messtemperatur und die Höhe des Anstieges von der Kapazität des Kabels abhängen, sind entsprechende Korrekturfaktoren zu berücksichtigen.

e) Bei der Verlustfaktormessung mit der Scheringbrücke wird gleichzeitig die Wechselspannungs-Kapazität bestimmt.

f) Hochspannungsprüfung zwischen Leiter und Aderabschirmung über eine Zeit von 15 Minuten, bei Ölkabeln unter Öldruck mit  $1,73 U_0 + 10$  kV und bei Druckkabeln ohne Druck mit  $U_0$ .

Die Commission Electrotechnique Internationale (CEI) ist damit beschäftigt, Abnahmebedingungen für Höchstspannungskabel auszuarbeiten. Endgültige Empfehlungen liegen jedoch noch nicht vor. Wenn bei der Verlustwinkelmessung und bei der Höchstspannungsprüfung von Druckkabeln geringere Spannungen angewendet werden als bei Ölkabeln, so bedeutet das keine geringere Prüfbeanspruchung des Druckkabels. Ohne Druck entspricht nämlich ein 110-kV-Druckkabel nur etwa einem normalen Papierbleikabel mit 45 kV Nennspannung. Die geringere Prüfspannung stellt daher beim Druckkabel ohne Druck sogar eine etwas höhere spezifische Beanspruchung dar als die höhere Prüfspannung beim Ölkabel.

Bei besonders grossen Lieferungen können noch weitere Prüfungen vereinbart werden, die an einer etwa 15 m langen Kabelstrecke mit Endverschlüssen im Laboratorium durchgeführt werden. Hierzu gehören beispielsweise die Messung des Verlustfaktors in Abhängigkeit von der Temperatur und von der Spannung, eine Hochspannungsprüfung über 24 h mit  $2,5 U_0$  ( $U_0$  Phasenspannung) und eine Stoßspannungsprüfung mit  $6 U_0 + 40$  kV.

Darüber hinaus sind bei den grossen Kabelfabriken mit jeder der gefertigten Bauformen von Höchstspannungskabeln ausführliche Typenprüfungen gemacht

worden, deren Prüfprotokolle vorgelegt werden können, so dass bei normalem Lieferumfang auf besondere Typenprüfungen verzichtet werden kann.

#### Literatur

- [1] Brauns, H.: Die 220-kV-Kabelanlage im Goldenbergwerk. Projektierung der Anlage. F & G-Rdsch. —(1955)38, S. 229...230.  
Buss, G. und W. Ochel: Die 220-kV-Kabelanlage im Goldenbergwerk. Das Kabel und seine Garnituren. F & G-Rdsch. —(1955)38, S. 231...239.
- [2] Lücking, H. W. und W. Ochel: Expérience acquise en câbles à très haute tension sous gaine ondulée en aluminium. Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques (CIGRE), 18. Session 1960, Bd. 2, Rapp. 224.
- [3] Møllerhøj, J. S.: Flat Pressure Cable. Proc. IEE-A 103(1956)8, S. 134...145; Diskussion S. 146...152.
- [4] Anonym: Die schwedischen 380-kV-Kabel. Elektr.-Wirtsch. 53(1954)17, S. 525...527.
- [5] Emanuelli, L.: High Voltage Cables. London: Chapman & Hall 1929.
- [6] Brauns, H.: Das 110-kV-Druckkabel Brauweiler-Köln. F & G-Rdsch. —(1951)33, S. 267...271.
- [7] Lücking, H. W.: Der Entwicklungsstand des Druckkabels nach 25jähriger Betriebsbewährung. ETZ-A 79(1958)20, S. 761...768.
- [8] Brauns, H.: Die 110-kV-Druckkabelanlagen in Stuttgart. F & G-Rdsch. —(1956)41, S. 12...15.
- [9] Capdeville, P., L. Domenach, M. Heupgen und R. Laroche: Développements des câbles à pression en France. Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques (CIGRE), 16. Session 1956, Bd. 2, Rapp. 226.
- [10] Höchstädter, M., W. Vogel und E. Bowden: Das Druckkabel, ein Fortschritt im Bau von Hochspannungsanlagen. ETZ 53 (1932)7, S. 145...150; 8, S. 169...174.
- [11] Heinemann, H. J.: Gasinnendruckkabel mit gewelltem Aluminiummantel. Elektr.-Wirtsch. 59(1960)8, S. 222...226.
- [12] Atkinson, R. W.: The Dielectric Field in an Electric Power Cable. Trans. AIEE 38,II(1919), Juli, S. 971...1016; Diskussion S. 1017...1036.
- [13] Anonym: The British Columbia-Vancouver Island 138 kV-Submarine Power Cable. Engineer, London 203(1957)5284, S. 678...681.
- [14] Domenach, L.: Câbles de 220 à 400 kV. Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques (CIGRE), 15. Session 1954, Bd. 2, Rapp. 217.
- [15] Hilgendorff, H. J.: Wirtschaftlichkeitsberechnungen für Hochspannungskabelanlagen. F & G-Rdsch. —(1958)43, S. 109...113.
- [16] Jürgens, W.: Zur Wirtschaftlichkeit von 110-kV-Kabeln. ETZ-B 13(1961)11, S. 293...296.
- [17] Brauns, H.: Câble à pression et câble à remplissage d'huile. Comparaison technique et économique. Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques (CIGRE), 15. Session 1954, Bd. 2, Rapp. 206.

#### Adressen der Autoren:

Dr. Hans-Joachim Hilgendorff, Technische Planungsabteilung Felten & Guillaume Carlswerk AG, Köln-Mülheim (Deutschland), und Dipl.-Ing. Friedhelm Seiffe, Starkstromkabelfabrik Felten & Guillaume Carlswerk AG, Köln-Mülheim (Deutschland).

## M. VON DOLIVO-DOBROWOLSKY

1862—1919

Vor 100 Jahren, am 3. Januar 1862, wurde Michael von Dolivo-Dobrowolsky in Petersburg geboren. 1880 begann er mit dem Studium des Maschinenbaues am Rigaer Polytechnikum, das er 1881 verliess. Bis 1884 studierte er an der Technischen Hochschule Darmstadt, wo er sich besonders mit der Elektrotechnik beschäftigte. Anschliessend trat er in die «Deutsche Edison-Gesellschaft für angewandte Elektrizität» ein, aus der 1887 die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft (AEG) hervorging. Hier stiess er während seiner Tätigkeit auf eine theoretische Arbeit des Italiener Ferraris, die sich mit mehrphasigen Wechselströmen befasste und die ihn zu eigenen praktischen Versuchen anregte. Anfangs 1889 war die nach seinen Angaben gebaute dreiphasige Maschine in den Werkstätten der AEG fertiggestellt. Dolivo-Dobrowolsky selbst hat dem von ihm hiebei angewandten System eines dreifach verketteten Wechselstroms den Namen «Drehstrom»-System gegeben.

Hinter dieser bedeutendsten Schöpfung treten die zahlreichen anderen Arbeiten von Dolivo-Dobrowolsky etwas zurück, obwohl auch sie wertvolle Beiträge zur Entwicklung der Elektrotechnik bedeuten. Bereits 1889 hatte er im Prinzip den Drehstromtransformator angegeben. Von ihm stammen ferner Konstruktionen von Mess- und Schaltgeräten sowie Untersuchungen zum Problem der Gleichstrom-Höchstspannungsübertragung, dem in neuester Zeit wieder besonderes Interesse zugewandt wird.



## Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

### Digital registrierender Beleuchtungsmesser

[Nach W. Gründler: Ein digital registrierender Beleuchtungsstärkemesser. Lichttechnik 13(1961)5, S. 261...262]

Ein aus elektronischen Bauelementen zusammengesetzter Beleuchtungsstärkemesser zeigt die Messwerte digital an. Diese lassen sich auf einen Registrierstreifen drucken, so dass sich bei umfassenden Messungen in Innenräumen die Messwerte mit Rechenmaschinen weiterverarbeiten lassen.

Das Gerät muss zur Bewertung der Beleuchtungsstärke  $E$  auf einem Flächenelement  $dA_2$ , entsprechend dem Grundgesetz

$$E = \frac{d\Phi}{dA_2} = \int_{(2\pi)} L \cdot \cos t \cdot d\omega$$

folgende Bedingungen erfüllen:

1. Bewertung der Strahlung nach der spektralen Hellempfindlichkeitsfunktion des menschlichen Auges ( $V_\lambda$ -Treue).
2. Bewertung der im Raum verteilten Leuchtdichten entsprechend dem Raumwinkel  $d\omega \cdot \cos t$ , unter dem sie vom Messort aus erscheinen ( $\cos \cdot t$ -Treue).
3. Linearer Zusammenhang zwischen Beleuchtungsstärke und Messwert.
4. Genügend lange zeitliche Konstanz, Unabhängigkeit des Messwertes von den üblichen Schwankungen der Umgebungstemperatur und der Netzspannung.

Es werden deshalb folgende Massnahmen getroffen:

- a) Verwendung eines  $V_\lambda$ -korrigierten Selen-Photoelementes.