



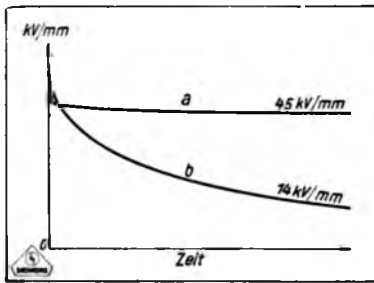
Massekabel, also des Gewohnten, erstrebenswert. So gelang 1925 die Herstellung eines 100 kV-Kabels, das noch heute in den Versuchsanlagen der T. H. Braunschweig ungestört seinen Dienst verrichtet.

Die weiteren Untersuchungen an Massekabeln führten zur Erkenntnis ihrer Unvollkommenheit und der Grenzen ihrer praktischen Anwendung.

**2. Die Lehren der Massekabel.**

Wir verstehen unter **Massekabeln** solche Kabel, deren Papierisolierung bei Raumtemperatur mit zähflüssiger Tränkmasse angefüllt ist.

Wenn man die Unvollkommenheit der Massekabel mit wenigen Worten kennzeichnen will, so besteht sie darin, daß die Massekabel trotz sehr hoher Durchschlagfestigkeit unverhältnismäßig geringe Lebensdauer haben. Kennzeichnend für die Lebensdauer ist die sogenannte Dauer-Durchschlagsspannung, das heißt diejenige Spannung, bei der das Kabel nach unendlicher Zeit durchschlägt. In Abb. 2 b ist der Verlauf der Durchschlagsspannung in Abhängigkeit von der Dauer der Beanspruchung dargestellt. (Der Maßstab für die Zeit ist logarithmisch, so daß der Anfang Minuten, das



a = Ölkabel, b = Massekabel.

Abb. 2. Hochspannungskabel. Dauer-Durchschlagfestigkeit von Öl- und Massekabeln.

Ende aber Jahre bedeutet.) Bemerkenswert ist dabei der sehr starke Abfall der Durchschlagsspannung mit der Dauer der Beanspruchung. Der Anfangswert entspricht einer elektrischen Beanspruchung von etwa 60 kV/mm, der Endwert einer solchen von nur etwa 14 kV/mm. Man darf daher die Beanspruchung bei Betriebsspannung nur zu etwa 4 kV/mm wählen, wenn man vor unliebsamer Überraschung sicher sein will. So geringe Beanspruchung des Isolierstoffes ergibt aber für Höchstspannungskabel Abmessungen, die praktisch und wirtschaftlich nicht tragbar sind. Bei Kabeln für niedere Hochspannung bis etwa 15 kV ist die Beanspruchung bei Betriebsspannung tatsächlich noch geringer, da die Isolierdicke bei diesen Kabeln nicht nach der elektrischen, sondern nach der mechanischen Festigkeit zu bemessen ist. Hieraus erklärt sich zwanglos die Tatsache, daß solche Kabel sich im praktischen Betriebe ausgezeichnet bewähren.

Forscht man nach den Ursachen für dieses eigenartige Verhalten der Masse-Isolierung, so findet man zunächst die Tatsache, daß das elektrische Feld unmittelbar keinen bemerkenswert

schädlichen Einfluß auf die Isolierung ausübt, daß es sich vielmehr um die verhängnisvolle Wirkung ganz kleiner Hohlräume handelt. Diese Hohlräume, mögen sie mit Luft gefüllt oder luftleer sein, unterbrechen die Gleichmäßigkeit der Isolierung, so daß in ihnen oberhalb bestimmter elektrischer Feldstärken Strahlung (Ionisierung) auftritt, wie wir sie zum Beispiel bei der Spannungsprüfung ungeschirmter Isolatoren bemerken. Diese Strahlung bewirkt teils örtliche Erwärmung, teils chemische Veränderung der Isolierung, die vielfach erforscht und auch künstlich dargestellt wurde.<sup>5)</sup> Es handelt

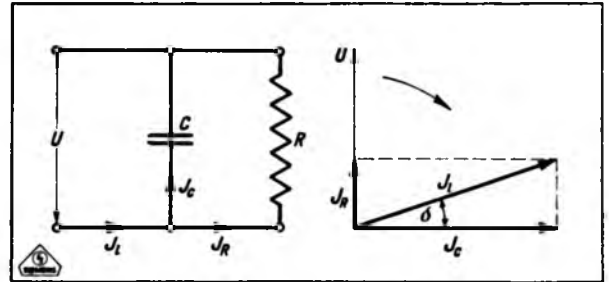


Abb. 3. Ersatzschema eines Kabels.

J<sub>L</sub> = Leerlaufstrom, J<sub>C</sub> = Ladestrom, J<sub>R</sub> = Verluststrom.  
Dielektrischer Verlust = U J<sub>L</sub> sin δ  
= U<sup>2</sup> ω C tg δ

sich dabei um unaufhaltsam fortschreitende Vorgänge, die den ständigen Rückgang der Isolierfähigkeit zur Folge haben. Ein Maß für diese Veränderung der Isolierung ist bekanntlich der dielektrische Verlust und sein Verlauf in Abhängigkeit von der Feldstärke. Hätte ein Kabel keine elektrischen Verluste, so wäre sein Leerlaufstrom als reiner Ladestrom um genau 90° gegen die Spannung verschoben, tatsächlich fehlt aber an 90° ein kleiner Winkel, der in Abb. 3 mit δ bezeichnet ist. Sieht man von dem durch den Widerstand des Kabelleiters verursachten Spannungsabfall wegen seiner Geringfügigkeit ab, so ist die Tangente des Winkels δ, die zum Beispiel mit der bekannten Scherbrücke direkt gemessen werden kann<sup>6)</sup>, ein Maß für den dielektrischen Verlust.

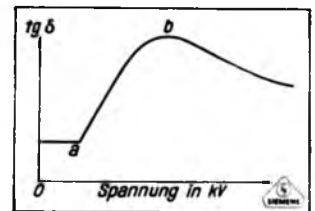


Abb. 4. Massekabel. Verlustwinkel und Spannung.

Abb. 4 zeigt den für ein Massekabel kennzeichnenden Verlauf von tg δ in Abhängigkeit von der Spannung. Bis zum Punkte a bleibt tg δ nahezu konstant, steigt dann bis zum Höchstwert b und fällt von da aus wieder ab. Nach der Theorie müßte nun asymptotisch ein konstanter Wert erreicht werden<sup>7)</sup>, doch schlägt das Kabel vorher durch. Den Punkt a nennt man Ionisierungsknick, bei der zu ihm gehörigen Feldstärke beginnt die vorher erwähnte Strahlung in den dem

<sup>5)</sup> Industrial and Engineering Chemistry (1929) Juni-Heft, S. 49; El. World 91 (1928) S. 701 und 100 (1932) S. 152.

<sup>6)</sup> E. u. M. 49 (1931) S. 677.

<sup>7)</sup> Am. Inst. El. Eng. 47 (1928) S. 29.

Leiter zunächst liegenden Hohlräumen der Isolierung.

Mit zunehmender Spannung schreitet die Strahlung radial fort, bis beim Punkt *b* der Bleimantel erreicht ist, das heißt also bis alle Hohlräume ionisiert sind. Bei weiterer Steigerung der Spannung strebt die Ionisierung einem Sättigungszustande zu, wodurch sich der folgende Abfall von  $tg \delta$  erklärt<sup>8)</sup>. Wie leicht einzusehen, ist das Kabel nur für Spannungen bis zum Punkt *a* betriebssicher, doch darf man mit der Dauerbeanspruchung selbst soweit nicht gehen, da die Ionisierungsspannung beim Massekabel nicht unverändert bleibt, sondern mit der Zeit zurückgeht.

Das nächste Ziel der Forschung war, die Ursache der Hohlräume aufzufinden. Sie liegt in der unverhältnismäßig hohen Wärmeausdehnung der Tränkmasse.<sup>9)</sup> Sobald das Kabel im Tränkgefäß auf eine bestimmte Temperatur heruntergekühlt ist, vermag die Tränkmasse, die sich stärker als das Papier zusammenzieht, wegen ihrer großen Zähigkeit nicht mehr nachzufließen, Hohlräume in der Papierisolierung sind die notwendige Folge. Da nun die Abkühlung von außen nach innen fortschreitet, so werden die inneren Windungen des Kabelblockes und die dem Leiter benachbarten Schichten zuletzt gekühlt, so daß an diesen Stellen die Hohlraumbildung am stärksten ist. So wird schon bei seiner Geburt in das Kabel der Todeskeim gelegt, denn am Leiter ist bekanntlich auch das elektrische Feld am stärksten. Auch das nachfolgende Umpressen des Kabels mit Blei kann an diesem Zustande nichts ändern, ja, wegen der dabei unvermeidlichen äußeren Erwärmung des Kabels bilden sich auch Hohlräume unter dem Bleimantel. Es ist also auf die allgemein übliche Weise der Kabelherstellung gar nicht möglich, ein wirklich voll getränktes Massekabel zu erzielen. Wie leicht einzusehen, wird sich dieser Vorgang bei Kabeln mit sehr dicker Isolierung, also bei Höchstspannungskabeln besonders stark bemerkbar machen.

Man hat nun versucht, durch verschiedene Mittel, zu denen auch das bei den viel gebrauchten H-Kabeln angewendete gehört, diesem Übel beizukommen, leider jedoch ohne Erfolg. Selbst bei den H-Kabeln kann man nur die Hohlräume unter dem Bleimantel unschädlich machen, die innerhalb der Isolierung bleiben bestehen.

Man hat ferner versucht, die Kabel unter starkem Druck sowie mit dünnflüssigem Öl statt der üblichen Tränkmasse zu füllen. Hierdurch gelang es tatsächlich, vollgetränkte Kabel zu erzielen, die einen ausgezeichneten Verlauf von  $tg \delta$  ohne Ionisierungsknick ergaben. Aber leider blieben die Kabel nicht in diesem guten Zustande, sie verschlechterten sich fortschreitend im Betriebe, bis

sie gegen die üblichen Massekabel keinen wesentlichen Unterschied mehr zeigten.

Auch hier ist die große Wärmeausdehnung des Öles die Ursache der Verschlechterung. Wird ein vollgetränktes Kabel mit Strom belastet, also erwärmt, so vergrößert sich freilich das Fassungsvermögen des Bleimantels, allein diese Vergrößerung reicht nicht aus, den Überschuß an Öl aufzunehmen. Der Bleimantel wird aufgetrieben, denn hier wirken Molekularkräfte, die bekanntlich unüberwindlich sind. Dagegen hilft auch keine Panzerung des Bleimantels, denn das Öl läßt sich praktisch nicht zusammenpressen. Je größer also der äußere Widerstand, desto größer auch die inneren Triebkräfte. Bei wirklich vollgetränkten Kabeln erreichen diese Triebkräfte ganz erstaunliche Höhe. Temperaturschwankungen in den Fabrikräumen genügen bereits, um bei solchen Kabeln bemerkenswerte Änderungen der elektrischen Eigenschaften herbeizuführen. Bei einem Ölkabel, bei dem diesem Umstande nicht bis in alle Einzelheiten Rechnung getragen war, gelang es nicht, die Muffen zuverlässig abzudichten. Versuche ergaben schon bei geringer Erwärmung Drücke von über 25 at.

Bei diesen Untersuchungen ist man auch auf eine Erscheinung gekommen, die manche unerwartete Störung in Kabelnetzen großer Leistung zu erklären vermag. Es ist eine bekannte Tatsache, daß ein schwerer Kurzschluß in solchen Netzen weitere Kabeldurchschläge zur Folge haben kann. Bei solchen Kurzschlüssen erwärmen sich die Kabelleiter sehr stark. Bisher hielt man in der Kabeltechnik Erwärmungen bis zu 150° für zulässig. Durch diese plötzliche Erwärmung werden in den Kabeln hohe Drücke hervorgerufen, die unter Umständen den Bleimantel an schwachen Stellen aufplatzen lassen. Beim Abkühlen saugt das Kabel an dieser undichten Stelle, je nach Beschaffenheit der Umgebung, mehr oder weniger Feuchtigkeit ein. Es braucht dann lange Zeit, unter Umständen viele Monate, bis sich dieser Fehler zum Erdschluß und Durchschlag des Kabels auswächst. Da es sich hier um Anlagen großer Leistung handelt, brennt dabei das Fehlerstück so gründlich aus, daß die wahre Ursache der Störung bisher verborgen blieb. Wie leicht einzusehen, ist dieser Vorgang in Kabelnetzen geringerer Leistung unbekannt, da dort die Kurzschlußströme nicht die erforderliche Höhe erreichen.

Von einem im Grundwasser liegenden Drehstrom-Massekabel für 24 kV wurde der Bleimantel mit drei Löchern versehen<sup>10)</sup>. Das Kabel wurde täglich 10 Stunden lang erheblich belastet. Es dauerte ein Jahr, bis das Kabel durchschlag. Bis drei Wochen vor dem Durchschlag zeigte sich keine wesentliche Änderung des Isolationswiderstandes, der fortlaufend überwacht wurde. Dieser Versuch kennzeichnet treffend die Vorgänge im praktischen Betriebe.

Fassen wir die von den Massekabeln gegebenen Lehren zusammen, so ergibt sich eigentlich nur die einzige: daß die in den Masseka-

<sup>8)</sup> E. Kirch, Das Glimmen in Dielektriken. VDE-Fachberichte (1929) S. 111; s. a. E. u. M. 47 (1929) S. 1002.

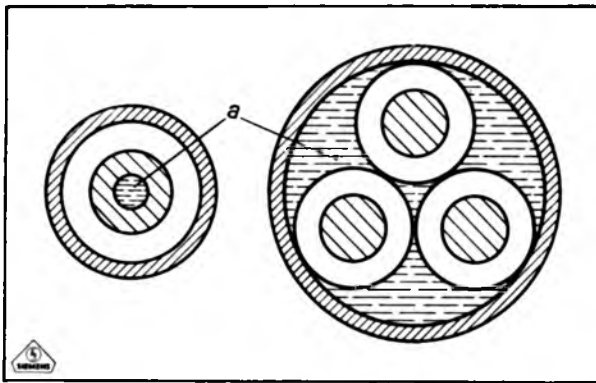
<sup>9)</sup> Am. Inst. El. Engs. 45 (1926) S. 627; N. A. Allen, J. Inst. El. Engs. London 65 (1927) S. 483; C. F. Hirschfeld, A. A. Meyer, L. H. Connell, Study of the Mechanism of Cable Deterioration Ass. of Edison Illum. Cos., New York 1928.

<sup>10)</sup> ETZ 51 (1930) S. 1590.

beln durch Erwärmung hervorgerufenen Triebkräfte die Wurzel aller Übel sind. Diese Lehre führt uns zwangsläufig zu den Ölkabeln.

### 3. Die Ölkabel, Eigenschaften und Leistungen.

Unter Ölkabeln verstehen wir Kabel, deren Papierisolierung mit dünnflüssigem Öl getränkt ist, das sich entsprechend der Erwärmung zwanglos ausdehnen und sich beim Abkühlen ohne Bilden von Hohlräumen zusammenziehen kann. Es bedarf kaum des Hinweises, daß bei diesen Kabeln alle bei Aufbau und Herstellen der Massekabel bewährten Regeln und Erfahrungen angewendet werden. Es sind jedoch bei ihnen Längskanäle *a* angeordnet (Abb. 5), die teils innerhalb, teils außerhalb des Leiters verlaufend, dem Öl freie Bewegung ermöglichen. An den Endverschlüssen und, wenn nötig, auch an den Muffen stehen diese Kanäle mit Gefäßen in Verbindung, in die das Kabel beim Erwärmen Öl abgibt und beim Abkühlen ansaugt. Bei dem ersten 100 kV-Ölkabel der Sie-



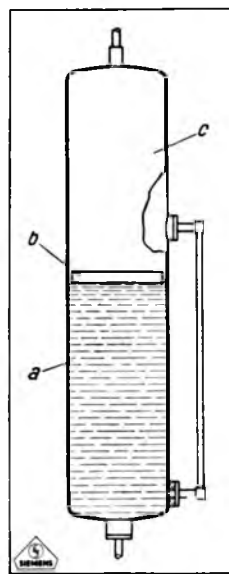
*a* = Ölkanal.

Abb. 5. Hochspannungs-Ölkabel. Querschnitte.

mens-Schuckertwerke A.-G.,  $3 \times 10$  km Einfachkabel, das seit August 1928 in ungestörtem Betriebe ist, stehen diese Ausdehnungsgefäße durch eine Chlorkalzium-Vorlage mit der Luft in Verbindung. Das Kabel ist mit gewöhnlichem Transformatoröl gefüllt. Da die Luftbewegung in der Trockenvorlage äußerst gering ist, erfüllt diese ihren Zweck sehr gut. In Zeiträumen von ungefähr einem Jahre dem Kabel entnommene Ölproben erwiesen deren unveränderte Durchschlagfestigkeit. Zu den gleichen Zeiten wurden auch die dielektrischen Verluste gemessen, die fortschreitende Verringerung des  $\text{tg } \delta$  erkennen lassen. Diese Verringerung, die nicht etwa durch Meßungenauigkeit vorgetäuscht, sondern tatsächlich vorhanden ist, ist auf sogenanntes Nachtränken des Kabels zurückzuführen. Bei diesem Kabel standen die Erfahrungen, die in späteren Ölkabelanlagen gesammelt wurden, nicht zur Verfügung, es hatte daher nach der Fertigstellung noch ganz geringe Lufteinschlüsse. Zahlreiche Versuche und Beobachtungen haben gezeigt, daß diese geringen Luftreste im Laufe der Zeit vom Öl aufgelöst und die winzigen Hohlräume ausgefüllt werden. Dieser Vorgang klingt im Laufe der Zeit ab. Das Kabel

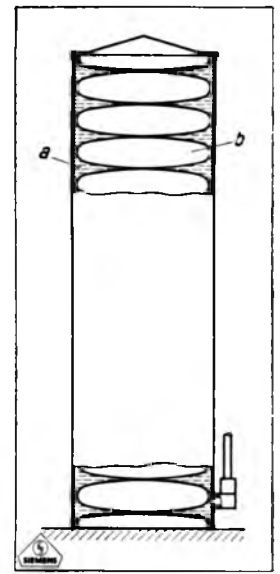
hat 18,5 mm Isolierdicke. Die Feldstärke am Leiter ist 5,6 kV/mm, bei Erdschluß 10 kV/mm.

Bei dem zweiten 100 kV-Ölkabel für die gleiche Anlage und von gleicher Länge ist das Öl in den Ausdehnungsgefäßen von der Luft abgeschlossen. Wie bereits erwähnt, hat das Isolieröl die Fähigkeit, Gase aufzulösen<sup>11)</sup>, und zwar in sehr verschiedener Menge, von Kohlensäure am meisten, von Luft und Stickstoff weniger und, soweit wir bis jetzt feststellen konnten, von Helium am wenigsten. In den Ausdehnungsgefäßen (Abb. 6), steht das Öl unter Heliumabschluß. Die Gefäße enthalten einen Metallschwimmer, der die Berührungsfläche des Heliums mit dem Öle auf einen schmalen Spalt beschränkt. Wie ersichtlich, dient das Helium als elastischer Puffer, durch dessen Umfang man den für das Kabel zugelassenen Druck beherrschen kann. Das Kabel hat nur 16 mm Iso-



*a* = Öl, *b* = Schwimmer, *c* = Helium.

Abb. 6. Ausdehnungsgefäß mit Heliumpuffer für Ölkabel.



*a* = Öl, *b* = Schwellkörper.

Abb. 7. Ausdehnungsgefäß mit Schwellkörpern für Ölkabel.

lierdicke, die Feldstärke am Leiter ist 6,4 kV/mm, bei Erdschluß 11 kV/mm.

Die höchste Isolierfestigkeit erreicht man durch Verwenden völlig entgasten Öles, das dauernd unter Luftabschluß zu halten ist und darum Ausdehnungsgefäße besonderer Ausführung erfordert (Abb. 7). Diese Ausdehnungsgefäße enthalten Schwellkörper nach Art der bekannten Barometerkapseln, nur daß sie nicht wie diese luftleer, sondern mit Luft von geringem Überdruck gefüllt sind. Das sich im Kabel beim Erwärmen ausdehnende Öl schafft sich Raum durch Zusammendrücken der Kapseln. Auch hier kann durch Größe und Anzahl der Kapseln, also durch ihren Raumbedarf der im Kabel zugelassene Druck beherrscht werden.

Die Leistung völlig entgasten Öles an Isoliervermögen ist in der Tat erstaunlich. Ein Einfach-

<sup>11)</sup> L. Emanueli, High Voltage Cables, London 1929, S. 28.

kabel für 66 kV, 130 mm<sup>2</sup> mit 8.5 mm Isolierdicke ergab bei einer Fertigung von mehr als 100 km eine Dauerdurchschlagfestigkeit von mehr als 36 kV/mm. Bei einem Drehstromkabel für 50 kV, 150 mm<sup>2</sup>, mit nur 7 mm Isolierdicke schlug nach 37stündigem Spannen mit 225 kV gegen Blei nicht etwa die dünne Isolierung durch, sondern der von Hand aufgewickelte Teil eines Endverschlusses. Die Dauerdurchschlagfestigkeit dieses Kabels ist demnach größer als 45 kV/mm<sup>12</sup>). In Abb. 2a ist dieser Wert im Vergleich mit den früher erwähnten, bei Massekabeln ermittelten dargestellt. Dabei ist besonders bemerkenswert, daß das Ölkabel den Grenzwert bereits nach wenigen Stunden erreicht, der dann völlig unabhängig von der Zeit ist.

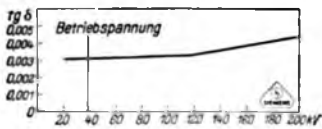


Abb. 8. 66 kV-Einfach-Ölkabel. Verlustwinkel (tg  $\delta$ ) und Spannung.

Ebenso günstig sind die dielektrischen Verluste dieser Kabel. Abb. 8 zeigt den Verlauf von tg  $\delta$  bei dem erstgenannten Kabel für 66 kV, wo die Messungen bis zu 200 kV gegen den Bleimantel durchgeführt wurden, das heißt bis zum fünf-fachen seiner normalen Spannung.

Bemerkenswert ist auch die geringe Änderung des tg  $\delta$  mit der Temperatur, die aus Abb. 9,

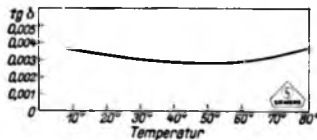


Abb. 9. 50 kV-Drehstrom-Ölkabel. Verlustwinkel (tg  $\delta$ ) und Temperatur.

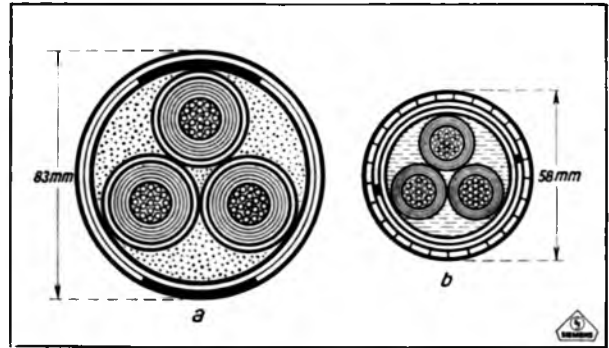
am 50 kV-Kabel aufgenommen, ersichtlich ist. Sie ermöglicht in Verbindung mit dem bereits beschriebenen Druckausgleich beim Erwärmen, die viel höhere Belastung des Ölkabels gegenüber dem Massekabel. Während letzteres bei ungefähr 50° die Grenze seiner Stabilität erreicht<sup>13</sup>), sind für das Ölkabel Temperaturen von 70 bis 80° dauernd zulässig. Man kommt dabei auf Belastungen von 3 bis 4 A/mm<sup>2</sup>. Als besonders bemerkenswert ist hervorzuheben, daß die dielektrischen Verluste des Ölkabels nach solchem Erwärmen mit den vor dem Erwärmen gemessenen identisch sind. Vorübergehendes Erwärmen auf 100° als Folge von Überlast oder Kurzschlüssen hat ebenfalls

<sup>12</sup>) Dieser Wert ist inzwischen bei einer Nachlieferung des gleichen Kabels wesentlich übertroffen worden. Ein Stück davon (mit nur 7 mm Isolierdicke) wurde 50 Stunden mit 225 kV und anschließend je 100 Stunden mit 235, 245, 255, 265 und 275 kV Wechselstrom gespannt. Die Beanspruchung in der letzten Spannungsstufe war 55 kV/mm. Da bei dem Kabel noch keine Anzeichen baldigen Durchschlages zu bemerken waren (es zeigte nur 12° Temperaturzunahme) wurde der Dauerversuch abgebrochen, um das Kabel für andere Zwecke zu erhalten.

<sup>13</sup>) R. A p t, Isolierte Leitungen und Kabel. Berlin 1928. S. 173.

keinen ungünstigen Einfluß auf die elektrischen Eigenschaften des Ölkabels. Überschreiten dieses Grenzwertes ist wegen der damit verbundenen Dampfbildung im Kabel nicht ratsam, wenn auch unmittelbare Gefahr für das Kabel nicht besteht, da der Öldampf beim Abkühlen kondensiert und etwaige Reste vom Öl aufgelöst werden. Als Faustregel kann gelten, daß das Ölkabel bei gleicher Spannung und gleichem Leiterquerschnitt die doppelte Übertragungsleistung des Massekabels hat, soweit letzteres überhaupt für die gewählte Spannung betriebsicher ausgeführt werden kann. Diese starke Belastbarkeit des Ölkabels, das, wie schon gesagt, auch gelegentlich Überlast ohne weiteres hinnimmt, ist von besonderem Wert, wenn es gilt, sehr große Leistungen aus Kraftwerken herauszubringen, oder durch enge und von Leitungen anderer Art stark belegte Straßenprofile hindurch zu führen.

In Fällen, in denen diese Eigenschaft des Ölkabels nicht ausgenutzt werden kann, weil der Leiterquerschnitt durch den zugelassenen Span-



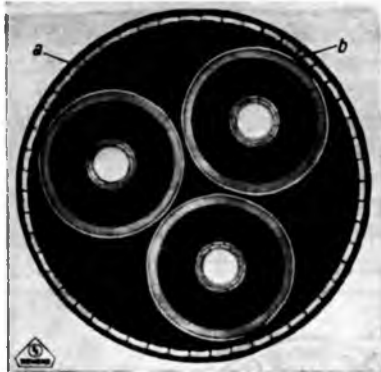
a = Massekabel, b = Ölkabel.

Abb. 10. Drehstromkabel für 30 kV und für gleiche Übertragungsleistung.

nungsabfall vorgeschrieben ist, bietet das Ölkabel neben seiner unbedingten Betriebsicherheit noch den weiteren Vorteil, daß man Überlast und gegenseitiges Anheizen dicht nebeneinander liegender Kabel nicht zu berücksichtigen braucht. Beim Ölkabel hat man hinsichtlich Belastung eben viel freiere Hand als beim Massekabel, weswegen man auch den Betrieb belästigende Einrichtungen zum Temperaturüberwachen entbehren kann.

Die geringere Isolierdicke ergibt eine wesentliche Verkleinerung des Gesamtdurchmessers der Ölkabel, wodurch wieder deren Ausführung als Drehstromkabel und in größeren Längen erreicht wird als es bei der gleichen Spannung und Übertragungsleistung bei Massekabeln möglich ist. Abb. 10 gibt den Vergleich der Querschnitte solcher Kabel für 30 kV. Der Vorteil der größeren Längen liegt in der Ersparnis von Muffen, der bei Ölkabeln soweit ausgenutzt werden kann, als es ihre Transportmöglichkeit gestattet. So wurde ein Drehstromkabel für 50 kV und 40 000 kVA Übertragungsleistung in Längen von 1200 m und im Gewichte von 32 t hergestellt und verlegt. Mehr zum Abschrecken, denn als Anregung zu seiner Verwendung, zeigt Abb. 11 den Querschnitt eines Drehstromölkabels für 132 kV und 85 000 kVA

Übertragungsleistung, das in Längen von 300 m und im Gewichte von 22 t hergestellt werden kann. Sein Außendurchmesser ist 135 mm. Das Kabel ist als sogenanntes Dreibleimantelkabel ausgeführt. Die Einfachkabel (120 mm<sup>2</sup> Leiterquerschnitt, 14 mm Isolierdicke) sind über dem Bleimantel mit dünnem Aldrey-Band als Schutz gegen inneren Druck bewickelt. Als Zugschutz in der Längsrichtung hat das Kabel eine Armierung aus Stahlflachdrähten. Drehstromkabel mit gemeinsamem Bleimantel sind mit Stahl-Band als Druckschutz bewickelt. Dieser Druckschutz er-



*a* = Zugschutz aus Stahlflachdraht, *b* = Innendruckschutz aus Aldreyband.

Abb. 11. Drehstrom-Ölkabel 132 kV, 85 000 kVA.

möglicht beim Ölkabel das Überwinden größerer Gefälle ohne zu häufiges Unterbrechen der Ölsäule durch sogenannte Sperrmuffen. Abb. 12 zeigt ein Einfach-Ölkabel für 100 kV unter Innendruck von 90 at, das erst bei 100 at platzte. Von den Muffen und ihrer Verbindung mit dem Kabel muß



Abb. 12. 100 kV-Einfach-Ölkabel unter 90 at Innendruck.

natürlich entsprechende Festigkeit gefordert werden. Eine 100 kV-Verbindungs-muffe wurde mehrere Wochen unter 50 at Innendruck gehalten, sie platzte bei 97 at.

Das Verlegen der Ölkabel gestaltet sich nicht anders als das der Massekabel, es ist besonders einfach, wenn die Ölkabel, wie üblich, Zugschutz haben. Es brauchen auch niedere Temperaturen nicht gescheut werden. Beim Verlegen des zweiten 100 kV-Kabels in Nürnberg brach starker Frost herein. Die Kabel wurden ohne Anwärmen bei  $-10^{\circ}$  verlegt, da dies wegen der höheren Schmierfähigkeit des Öles bei tiefen Temperaturen ganz gefahrlos ist. Für den Transport sind die Kabeltrommeln mit Ausdehnungsgefäßen ausgerüstet.

Ebenso einfach ist das Einfügen der Muffen. Hierbei hat sich das von den Siemens-Schuckert-

werken ausgebildete und vorzugsweise angewendete Gefrier-Verfahren<sup>14)</sup> sehr gut bewährt. Die Kabelenden werden von Gefrier-muffen umgeben, die mit flüssiger Luft gefüllt, das Öl im Kabel zum Erstarren bringen. So tiefes Abkühlen ist nötig, da das Isolieröl der Kabel erst bei  $-40$  bis  $-50^{\circ}$  erstarrt. Wie sorgfältige Untersuchungen ergaben, ist dieses Verfahren für die Isolierung der Kabel völlig unschädlich, es ist übrigens das einzige, das sich bei Drehstrom-Ölkabeln mit gemeinsamem Bleimantel (vgl. Abb. 5) als praktisch brauchbar erwiesen hat, da alle anderen Verfahren große Geschicklichkeit des Monteurs erfordern, um beträchtliche Ölverluste zu vermeiden. Bei diesen Kabeln werden die Adern durch Überschieben einer Dichtungskappe in den Muffen zu Einzelkabeln aufgelöst. Die Muffen sind inzwischen so vervollkommen worden, daß ihre Herstellung zum Beispiel für 30 kV nicht mehr als zwei Drittel der Zeit erfordert, die für die Muffe eines Massekabels gleicher Spannung nötig ist.

Abb. 13 zeigt eine Drehstrom-Sperrmuffe für 45 kV. In ihr wird der Ölfluß so vollkommen abgesperrt, daß keine Summierung des Öldruckes stattfindet. Eine oder bei Bedarf auch beide Seiten der Sperrmuffe werden an Ausdehnungsgefäße an-

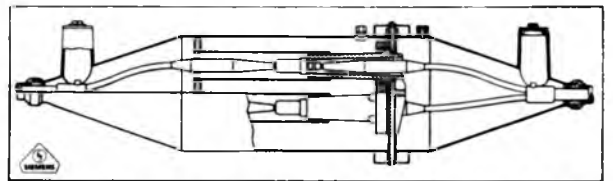


Abb. 13. Sperrmuffe für Drehstrom-Ölkabel 45 kV.

geschlossen, die zusammen mit der Sperrmuffe im Erdboden vergraben sind. Auf diese Weise kann man große Gefälle der Kabelstrecke beliebig unterteilen, so daß in den Teilstrecken der für Ölkabel zugelassene Innendruck eingehalten werden kann.

Auf die Endverschlüsse der Ölkabel braucht nicht weiter eingegangen zu werden, da sie sich von den bei Transformatoren und Schaltern üblichen Durchführungen nicht unterscheiden. Sie sind mit den Ölkämen und Ausdehnungsgefäßen der Kabel verbunden, so daß sie unter dem gleichen Öldruck stehen wie diese.

Bei den ersten Ölkabeln traten vereinzelt Undichtigkeiten der Bleimäntel auf. Sie sind begründet in der Arbeitsweise der üblichen Bleipressen. Diese formen, je nach ihrer Bauart, die Bleimäntel mit einer oder zwei Längsnähten. Die Nähte haben im allgemeinen die gleiche Festigkeit wie der übrige Bleimantel. Wenn jedoch geringe Verunreinigungen, wie Bleioxid, zufällig in die Naht gelangen, so kann dadurch das vollkommene Binden gestört werden und eine schwache Stelle zurückbleiben. Zum Auffinden solcher Stellen werden die Ölkabel vor und nach dem Armieren lange Zeit unter hohem Innendruck gehalten. In seltenen Fällen sind die schwachen Stellen so klein, daß sie

<sup>14)</sup> D. R. P. Nr. 498 289, Erfinder K. Schlecker.

diese scharfe Prüfung aushalten und erst nach mehrmaligem Biegen des Kabels aufplatzen. Das Prüfverfahren berücksichtigt dieses Verhalten. Durch zweckdienliche Änderung der Bleipressen und des Preßverfahrens sowie durch Auswahl besonders geeigneter Bleisorten war es möglich, diese Bleimantelfehler fast völlig zum Verschwinden zu bringen. Bei einer Fertigung von 108 km Einfach-Ölkabeln für 66 kV traten bei den ersten 3 km, bei denen versuchsweise eine Bleilegierung angewendet worden war, vereinzelt Bleirisse auf. Nach zweckentsprechender Änderung verlief die scharfe Prüfung des Restes von 105 km der nur mit Korrosionsschutz versehenen, nicht armierten Kabel mit 7 at während 12 Stunden ohne Störung.

Solche Bleirisse kommen auch bei Massekabeln vor. Sie werden dort meistens erst bemerkt, wenn es zu spät ist, wenn nämlich das Kabel durchgeschlagen ist, oder wenn es in seiner Isolierfestigkeit nicht mehr zu behebbenden Schaden erlitten hat. Bei Ölkabeln sind solche Undichtigkeiten des Bleimantels völlig unschädlich, da durch sie nur das ständig unter Druck gehaltene Isolieröl austreten, aber keine Feuchtigkeit eingesaugt werden kann. Bei einem 100 kV-Kabel blieb ein während der Hauptbelastungszeit aufgetretener Bleimantelriß mehrere Monate hindurch bestehen, da die Zeit für seine Beseitigung ungünstig war. Dem Kabel hat das nicht geschadet, wie spätere Messungen des Isolationswiderstandes und der dielektrischen Verluste erwiesen, es war nur nötig, von Zeit zu Zeit das Öl in den Ausdehnungsgefäßen aufzufüllen. Beim Aufsuchen solcher Bleifehler leistet das vorher beschriebene Gefrierverfahren gute Dienste.

Zum Erkennen solcher Undichtigkeiten sind die Ausdehnungsgefäße an den Endverschlüssen und Sperrmuffen mit Manometern versehen, die man auch mit etwa vorhandenen Meldeinrichtungen verbinden kann.

Alles in allem erfordert der Betrieb der Ölkabel nur wenig Aufmerksamkeit, ihr höchstes Lob ist es, daß die Besitzer mit der Zeit vergessen, überhaupt Höchstspannungskabel in ihrem Betriebe zu haben. So zum Beispiel kennzeichnen sich stundenlange Erdschlüsse im angeschlossenen Freileitungsnetz nur durch Drucksteigerung in den Ausdehnungsgefäßen. So waren die 100 kV-Kabel in Nürnberg mehrfach solchen Erdschlüssen ausgesetzt, die in ihrer Wirkung auf das Kabel dem plötzlichen Zuschalten von 30 000 kVA gleichzuachten sind.

Nach der Erkenntnis, daß das Entscheidende für Betriebsicherheit und Lebensdauer beim Starkstromkabel der durch die Wärme bedingte Ausdehnungsvorgang ist, mußte zu einer Lösung gegriffen werden, die den sich ausdehnenden Massen Raum schafft. Es gibt keinen Zweig der Ingenieur Tätigkeit, dem nicht Vernachlässigung dieses Grundsatzes, der Forderung eines Naturgesetzes, schwere Nackenschläge eingetragen hätte. Das Ölkabel ist im Grunde genommen nichts anderes als ein Massekabel, dem die Möglichkeit ungehinder-

ten Ausdehnens und Zusammenziehens seiner Tränkmasse gegeben ist.

Beim Ölkabel können alle Betriebsverhältnisse, von der elektrischen Festigkeit und Erwärmung angefangen bis zu seiner Druck- und sonstigen mechanischen Beanspruchung zuverlässig berechnet werden. Darum ist man auch in der Lage, für jede Anwendung die zweckmäßigste und wirtschaftlichste Anordnung anzugeben. Ihre Verlegung ist einfach und besonders bei Anwenden der möglichen großen Längen sparsam. Sie erziehen aber die Monteure zur Sauberkeit, denn nur mit dieser lassen sich die von Ölkabeln gebotenen Höchstleistungen wirklich ausnutzen. Bei ihnen gibt es keine mildtätige Isoliermasse, die wie bei den Massekabeln die Sünden zudeckt.

#### 4. Ausgeführte Anlagen und Erfahrungen.

Die erste Ausführung war die etwa 10 km lange 100 kV-Ölkabelübertragung der Großkraftwerk Franken A.-G. in Nürnberg. Sie dient zum Verbinden der im Westen der Stadt endigenden Freileitungen mit der Transformatorstation im Osten. Sie besteht

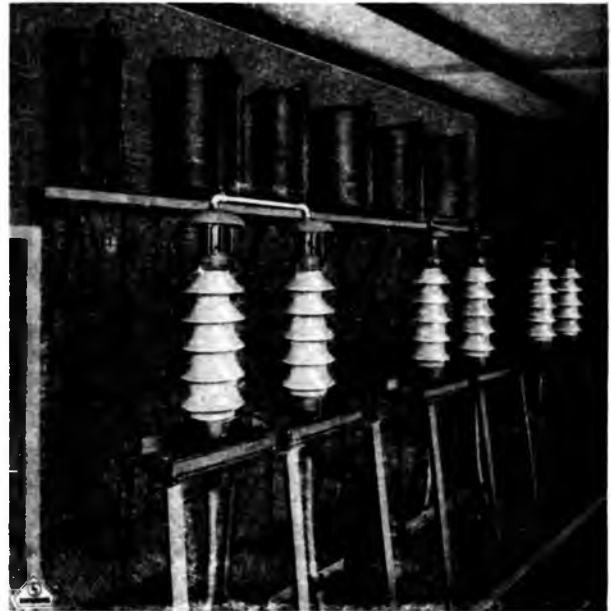


Abb. 14. 100 kV-Kabel, Trennstelle Hohe Marter (Großkraftwerk Franken A.-G.)

aus drei Einfachkabeln mit Hohlleitern von 185 mm<sup>2</sup>. Die Isolierdicke der Kabel ist 18,5 mm, der Außendurchmesser 81 mm. Die Übertragungsleistung ist 40 000 kVA, demnach die Stromdichte 1,25 A/mm<sup>2</sup>. Die Kabel haben nur Korrosionsschutz. Abb. 14 zeigt die einzige Ausgleichstation am höchsten Punkt des Kabels bei einem Drittel seiner Länge. Die Ausgleichgefäße stehen durch eine Trockenvorrichtung mit der Luft in Verbindung. In Betrieb seit August 1928<sup>15)</sup>.

Der gute Erfolg mit diesem Kabel veranlaßte die Großkraftwerk Franken A.-G. ein zweites gleich langes und dem gleichen Zwecke dienendes, aber auf etwas anderem Wege geführtes 100 kV-Kabel für die gleiche Übertragungsleistung ausführen zu lassen. An diesem Kabel wurden die inzwischen gemachten Erfahrungen verwertet. Es erhielt einen Hohlleiter von nur 120 mm<sup>2</sup> Querschnitt bei 16 mm Isolierdicke, ferner Quer- und Längsarmierung aus Aldrey und darüber Korrosionsschutz, Abb. 15. Sein Außendurchmesser ist 76 mm. Die Kabel

<sup>15)</sup> Siemens-Jahrbuch 1929, S. 95 und El.-Wirtsch. 28 (1929) S. 357; E. u. M. 48 (1930) S. 684.

wurden in Längen bis zu 800 m verlegt. Außer der Ausgleichstation am höchsten Punkt bei etwa einem Drittel seiner Länge ist der Rest durch Sperrmuffen ungleich geteilt, da an dieser Stelle später eine Transformatorstation errichtet werden wird. Die Sperrmuffen als auch das ferne Ende der Kabel haben Ausdehnungsgefäße mit Heliumpuffer. Abb. 16 zeigt die gemeinsame Endstation beider Kabel. Der Einheitlichkeit halber erhielt das erste Kabel an dieser Stelle ebenfalls Ausdehnungsgefäße mit Heliumpuffer. Diese Anordnung hat sich sehr gut bewährt, denn bei den Belastungsversuchen wurde festgestellt, daß das neue Kabel ohne weiteres für eine Übertragungsleistung von 70 000 kVA,



Abb. 15. Ölkabel 100 kV, 70 000 kVA. (Nr. 2 der Großkraftwerk Franken A.-G.)

das sind 3 A/mm<sup>2</sup>, zu verwenden ist, und daß bei Erweiterung der Ausdehnungsgefäße die Möglichkeit einer weiteren erheblichen Steigerung besteht. Beim Prüfen der Kabel mit 250 kV Gleichstrom gegen Blei wurde

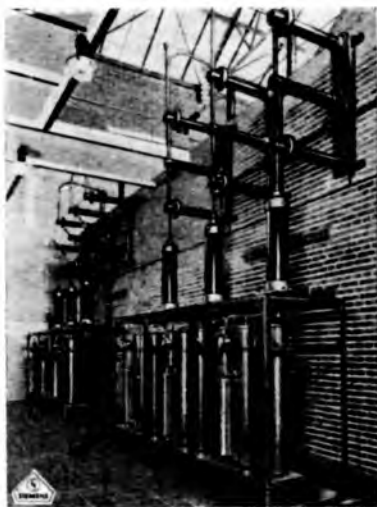


Abb. 16. 100 kV-Ölkabel. Endstation Tullnau (Großkraftwerk Franken A.-G.) Endverschlüsse mit Ausdehnungsgefäßen (Heliumpuffer).

nach 1 St. ein Isolationsstrom von nur 0,4 mA gemessen, wovon etwa die Hälfte auf die Ableitung von vier Endverschlüssen entfällt. Das Kabel hat demnach den hohen Isolationswiderstand von etwa 11 000 M $\Omega$ /km bei 15°.

Das Kabel wurde August 1931 dem Betriebe übergeben. Bei den Belastungsversuchen hatten sich einige Bögen dieses Kabels unterhalb der Endverschlüsse örtlich beschränkt erwärmt, was, irreführend durch eine andere Beobachtung, zunächst auf ungenügende leitende Verbindung der Armierungsdrähte mit dem Bleimantel gedeutet wurde. Bestärkt wurde diese Ansicht dadurch, daß die Erwärmung im Laufe des Versuches teils sich erheblich verringerte, teils ganz verschwand. Mit

Sicherstellung der Verbindungen glaubte man den Mangel behoben. Dem war jedoch nicht so, leider lag der Fehler sehr viel tiefer, wie durch Kontrollversuche an Kabelstücken im Versuchsfelde dargestellt wurde.

Der Hohlleiter des Kabels ist, wie Abb. 15 zeigt, aus zwei Lagen Flachdraht gebildet, zwischen denen sich eine Lage Papier zu Filterzwecken befindet. Beim Durchpressen des Öles vom Hohlleiter in die Papierisolierung hält diese Papierschicht etwaige Fasern, Metallfitter u. dgl. wirksam zurück. In den Muffen sind die Leiter miteinander verschweißt, wodurch ihre sichere Verbindung gewährleistet ist. Bei den Endverschlüssen werden dagegen die in der Hochspannungspraxis üblichen Kegelklemmen verwendet, um Öffnen des Endverschlusses zu erleichtern, falls einmal eine Abdichtung auszuwechseln ist. Diese Anordnung setzt voraus, daß die Papierzwischenlage weit genug abgeschnitten wird, wie Abb. 17 zeigt. Leider wurde dies an einigen Endverschlüs-

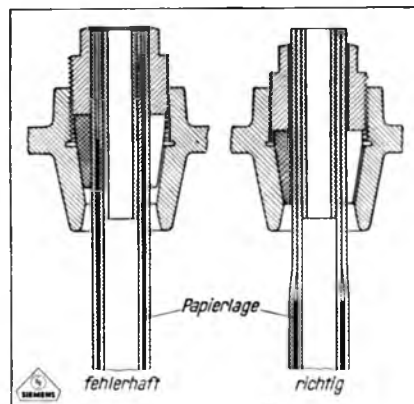


Abb. 17. 100 kV-Ölkabel. Kegelklemme im Endverschluß.

sen verabsäumt, so daß in ihnen zwischen den beiden Lagen des Hohlleiters keine leitende Verbindung bestand. Die Folgen waren recht übel. Beim Belasten des Kabels konnte nur der eine Teil des Hohlleiters Strom führen. Er kam daher auf Spannung gegen den anderen mit ihm in der letzten Muffe verbundenen Teil. Bei den großen Endlängen bis zu 800 m stieg diese Spannung bis zu 130 V. Wo nun an den Kabelbögen unterhalb der Endverschlüsse die Filterpapierlage etwas durchgerieben war, trat ein kräftiger Lichtbogen zwischen den beiden Teilen des Hohlleiters auf, der bis zum Zusammenschweißen anhielt, was wegen des störenden Öles mehr oder weniger lange Zeit erforderte. Damit war die Wärmeerscheinung zwar beseitigt, die Wirkung auf das Kabel aber verheerend. Nahezu die Hälfte der Isolierung ist an dieser Stelle in Kohle verwandelt und trotzdem hielt das Kabel die nachfolgende stundenlange Prüfung mit 250 kV Gleichstrom gegen den Bleimantel glatt aus, ein Zeichen für die bedeutende Isolierfähigkeit des Öles. Dieser Fehler wurde durch Abschneiden der beschädigten Enden und Ansetzen neuer behoben. Die nachfolgenden scharfen Prüfungen erwiesen die völlige Unversehrtheit des übrigen Kabels. Das Kabel ist seit August 1932 wieder in Betrieb.

Ich habe diesen Fehler mit aller Offenheit besprochen, weil er ein treffendes Beispiel ist für das Sprichwort von den kleinen Ursachen und den großen Wirkungen.

Eine bemerkenswerte Ölkabelanlage ist die 54 km lange Kraftübertragung von Buenos Aires nach La Plata mit Drehstrom von 66 kV. Drei Einfachkabel, dazu ein viertes als Reserve, mit  $130 \text{ mm}^2$  und 8,5 mm Isolierdicke übertragen 44 000 kVA. Die Stromdichte ist  $3 \text{ A/mm}^2$ , der Außendurchmesser der nur mit Korrosionsschutz versehenen Kabel ist 49 mm. Die Kabel sind in



Abb. 18. 66 kV-Drehstrom-Ölkabel. Übergang auf Freileitung.

Längen von 500 m gefertigt, sie sind abwechselnd durch Muffen und Sperrmuffen mit Ausdehnungsgefäßen verbunden. Diese Ausdehnungsgefäße, nach dem Schwellkörperprinzip, waren bei dem Transport der Kabel benutzt worden. Für diese Anlage hat die Siemens-Schuckertwerke A.-G. die Hälfte der Ölkabel, 108 km, mit den dazugehörigen Ausdehnungsgefäßen geliefert, die andere Hälfte, sowie die Muffen, Endverschlüsse und die Montage wurde von Pirelli, Mailand, ausgeführt. Die Kabelanlage ist seit dem Frühjahr 1932 in Betrieb.



Abb. 19. 50 kV-Drehstrom-Ölkabel (im Zürichersee verlegt).

Einige 66 kV-Anlagen verwenden Drehstrom-Ölkabel, die als Dreibleimantelkabel ausgeführt sind, als Ausführung aus Kraftwerken und Durchführung durch schwieriges Gelände in Verbindung mit den Freileitungen. Abb. 18 zeigt den Übergang des Ölkabels auf die Freileitung an einem Freileitungsmast der Nordwestdeutschen Kraftwerke A.-G. Der untere Querarm trägt die drei Endverschlüsse, unter denen die Ausdehnungsgefäße angebracht sind. Die Kabel haben  $50 \text{ mm}^2$  Leiterquerschnitt bei 9,5 mm Isolierdicke. Sie sind mit Aldrey-Band und Stahlflachdrähten armiert, ihr

Außendurchmesser ist 106 mm. Es handelt sich dabei um Kabelstrecken von 1100 bis 1500 m. Sie sind seit Mitte 1931 in Betrieb. Eine ähnliche Anordnung hat auch der Elektrizitätsverband Gröba gewählt, wo ein solches Kabel von 1200 m Länge seit November 1931 in Betrieb ist. Alle diese Anlagen, deren



Abb. 20. 50 kV-Drehstrom-Ölkabel-Verlegung im Zürichersee.

Ausdehnungsgefäße mit Heliumabschluß versehen sind, haben sich sehr gut bewährt.

Die 50 kV-Ölkabelanlage der Stadt Zürich hat bemerkenswerte Besonderheiten<sup>19)</sup>. Sie durchquert den



Abb. 21. 50 kV-Drehstrom-Ölkabel-Verlegung, Kabel (32 t) auf Benzinfässern im Schanzengraben (Zürich).

Zürichersee in einer Länge von 1140 m und durchläuft den anschließenden Schanzengraben mit einer Kabellänge von 1200 m. Der Höhenunterschied ist

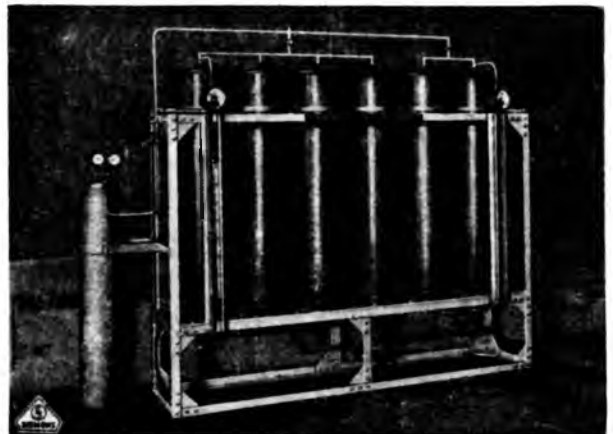


Abb. 22. 50 kV-Drehstrom-Ölkabel (Zürich) Ausdehnungsgefäße mit Helumpuffer.

etwa 57 m. Das Kabel, Abb. 19 zeigt den Querschnitt der Seestrecke, hat  $150 \text{ mm}^2$  bei nur 7 mm Isolier-

<sup>19)</sup> Bull. SEV 23 (1932) S. 197.

dicke. Es hat Querschuttschutz aus dünnem Stahlband und sehr schweren Längsschutz aus Z-Stahl, dazu einen besonders kräftigen Korrosionsschutz. Sein Außendurch-

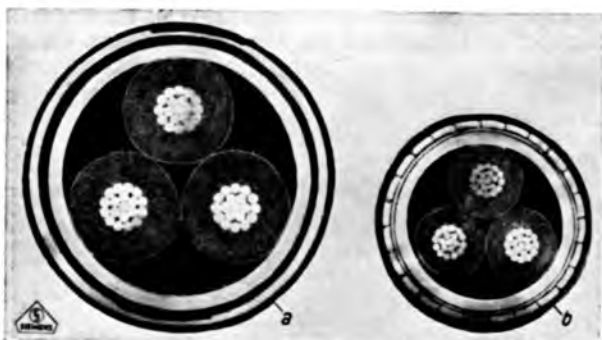


Abb. 23. Drehstromkabel für 30 kV und gleiche Übertragungsleistung.  
a = Massekabel, b = Ölkabel.

messer ist 91 mm. In Abb. 20 sieht man das von einem Dampfer geschleppte Schiff beim Verlegen des Ölkabels und eines Fernmeldekabels in bis zu 20 m Wassertiefe.



Abb. 24. 30 kV-Drehstrom-Ölkabelmuffe mit Ausdehnungsgefäßen.

Die zweite Wasserlänge von 1200 m wurde mit dem Schiff bis zur Mündung des Schanzengrabens geführt und dann auf paarweise zusammengebundenen leeren



Abb. 25. 30 kV-Drehstrom-Ölkabel. Übergangsmuffe von Öl- auf Massekabel.  
a = Ölkabel, b = Massekabel.

Benzinfässern in etwa 6 m Abstand ausgeschwemmt. Eine andere Art des Verlegens war wegen der tief auf

den Wasserspiegel gehenden Brücken über den Schanzengraben nicht möglich. Das Kabel wurde durch zwei flache Motorboote ausgezogen. Abb. 21 zeigt das schwimmende, 32 t schwere Kabel, das ständig unter einem Innendruck von 5 at stand. Nach völligem Auslegen wurden die Gurte der Fässer durchgeschnitten und das Kabel auf den Boden des Grabens gesenkt. Abb. 22 zeigt noch die Ausdehnungsgefäße mit Heliumflasche an einem Ende des Kabels. Die Übertragungsleistung ist 40 000 kVA bei einer Stromdichte von 3 A/mm<sup>2</sup>. Die Kabelanlage wurde Ende 1931 dem Betriebe übergeben.

Eine der neuesten Ölkabelanlagen ist das 7,5 km lange Drehstromkabel für 30 kV der Stadt Berlin. Abb. 23 zeigt den Querschnitt dieses Kabels im Vergleich zu den bisher üblichen 30 kV-Kabeln. Es hat 50 mm<sup>2</sup> Leiterquerschnitt bei 45 mm Isolierdicke. Mit



Abb. 26. Einfach-Ölkabel 220 kV, 220 000 kVA, 200 mm<sup>2</sup>.

dem üblichen Quer-, Längs- und Korrosionsschutz hat es nur 58 mm Außendurchmesser. Seine Übertragungsleistung ist 12 000 kVA, die Stromdichte 4,6 A/mm<sup>2</sup>. In Abb. 24 ist eine durch Eisgehäuse besonders geschützte Muffe mit daneben eingegrabenen Ausdehnungsgefäßen nach dem Schwelkörperprinzip zu sehen. In dem Straßenkasten befindet sich ein Druckanzeiger (Manometer) mit Anschluß an die Fernmeldeanlage des Elektrizitätswerkes. Besonders bemerkenswert ist die Verbindungsmuffe zwischen dem neuen Ölkabel und einem Massekabel die als Sperrmuffe ausgeführt ist. Abb. 25 zeigt die fertige Übergangsmuffe mit danebenstehendem Ausdehnungsgefäß vor dem Zuschütten der Grube. Auch hier ist der Dickenunterschied der beiden Kabelarten gut zu erkennen.

##### 5. Ausblick in die fernere Entwicklung.

Ich habe versucht, eine zusammenfassende Darstellung von dem gegenwärtigen Stande der Ölkabel-Technik zu geben. Dazu muß ich noch des 220 kV-Kabels gedenken, dessen Ausführung bereits 1931 gelang (Abb. 26). Das mit Quer- und Längsarmierung aus Aldrey versehene Kabel hat bei 24 mm Isolierdicke einen Außendurchmesser von 105 mm. Seine Übertragungsleistung ist 220 000 kVA bei 200 mm<sup>2</sup> Leiterquerschnitt. Abb. 27 zeigt den Endverschluß und die Muffe. Leider hat sich bisher für seine Anwendung keine Möglichkeit geboten.

Es geziemt nun wohl, einen Blick in die fernere Entwicklung der Ölkabel zu tun. Die bisher erzielten, über Erwarten hohen Dauer-Durchschlagfestigkeiten und die sehr geringen dielektrischen Verluste machen, soweit es die mechanische Beanspruchung zuläßt, weiteres Verringern der Isolierdicke möglich. So kann man schon jetzt ein Drehstrom-Ölkabel für 100 kV herstellen, das nicht dicker ist als vor 10 Jahren ein Drehstrom-Massekabel für 30 kV. Erhebliche Steigerung der Durchgangsleistung, die jetzt schon der von Freileitungen nahe kommt, ist dagegen nicht zu er-

warten, wie denn der allgemeine Wettbewerb des Erdkabels mit der Freileitung bei Drehstrom eine Utopie bleiben wird. Das verhindert allein schon die hohe Ladeleistung langer Kabelstrecken für Höchstspannung, für die meist keine Verwendung besteht und die darum mit bekannten Mitteln kompensiert werden muß.

Die Anwendung der Höchstspannungskabel wird auf die Einführung der Freileitungen in große

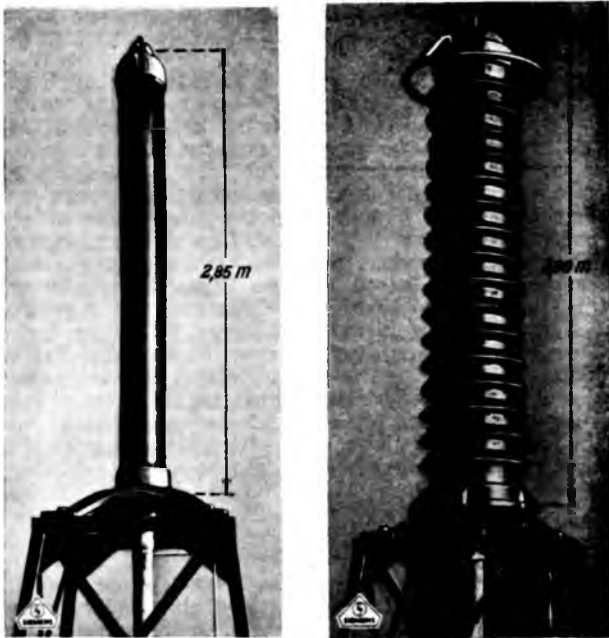


Abb. 27 a. 220 kV-Ölkabel. Endverschluß für Innenräume. Abb. 27 b. 220 kV-Ölkabel. Endverschluß für's Freie.

Städte, die Verbindung von Kraftwerken in diesen sowie auf streckenweisen Ersatz der Freileitungen an gefährdeten Stellen, zum Beispiel in Industriegebieten, bei Sturm-, Steinschlag- und Lawinengefahr im Gebirge, ferner beim Durchqueren von Gewässern und Sümpfen sowie bei Flugplätzen beschränkt bleiben. Auch bei großen Kraftwerken, bei denen die Ausführung zahlreicher Freileitungen zuviel Platz erfordert, beheben Höchstspannungskabel diese Schwierigkeit.

Ich betone an dieser Stelle ganz besonders den streckenweisen Ersatz von Freileitungen, der mit Ölkabeln ohne besondere Schutzeinrichtungen möglich ist, weil ich in früheren Jahren eine solche Leitungsführung scharf bekämpft habe, als noch die damals verfügbaren Massekabel die erforderliche Betriebsicherheit nicht erreichten.

Anders liegen die Dinge bei der jetzt vielfach erörterten Übertragung mit Gleichstrom-Höchstspannung. Hier kann das Ölkabel in aussichtsreichen Wettbewerb mit der Freileitung treten, denn die ausgeführten 100 kV-Ölkabel würden für die Übertragung mit 400 kV Gleichstrom ausreichen.

Ich habe mich bei meinen Darlegungen fast ausschließlich auf die Ausführungen und Erfahrun-



Abb. 27 c. 220 kV-Ölkabel. Verbindungsmuffe

gen der Siemens-Schuckertwerke gestützt, weil ich mit diesen am engsten verwachsen bin. Über die Leistungen anderer auf diesem Gebiete ist in der Fachliteratur<sup>17)</sup> ausgiebig berichtet, sie stehen somit jedem zur Verfügung. Wenn diese Leistungen vielleicht in einigen Fällen der Menge nach größer sind, so wird dies allein durch die wirtschaftliche Beschränkung Deutschlands begründet. Ich darf der Hoffnung Ausdruck geben, daß die wirtschaftlichen Verhältnisse bald den Ölkabeln die ihnen wegen ihrer hohen Leistungen gebührende umfangreiche Anwendung ermöglichen.

<sup>17)</sup> Trans. A. I. E. E. 47/1 (1928) S. 186; El. World 93 (1929) S. 97; El. Rev. 104 (1929) S. 905; L'Elettrotecnica 15 (1929) S. 609; Gen. El. Rev. 32 (1929) S. 328; El. World 96 (1930) S. 1088; Electrician 106 (1931) S. 432; Gen. El. Rev. 34 (1931) S. 410, 416; El. Rev. 109 (1931) S. 351; El. World 98 (1931) S. 684; El. Engg. 50 (1931) S. 874, 878, 800; Trans. A. I. E. E. 50 (1931) S. 1411, 1421; Atel. de Constr. El. de Charleroi (1931) H. 129, S. 53; El. Engg. 51 (1932) S. 83, 685.

## Rundschau.

### Dampfmaschinen, Dampfturbinen.

**Die Ljungströmturbine in Deutschland<sup>1)</sup>.** Von Ph. Reuter. Im Jahre 1930 haben die AEG, Siemens-Schuckert, BBC und die MAN die Internationale Ljungströmturbinen-Union A.-G. gegründet und damit ist auch die Herstellung dieser Turbine in Deutschland aufgenommen worden. Die wichtigsten Teile der Turbinen werden vorwiegend bei der MAN hergestellt, die schon früher Lizenzrechte besaß und auch bereits eine 2200 kW-Turbine für ihr Werk Gustavsborg gebaut hatte. Der neuen Gesellschaft stehen auch die Erfahrungen und Patente der A. B. Ljungströms Angturbin in Stockholm zur Verfügung, außerdem steht sie auch mit einer französischen Gruppe, zu der unter anderem die Alsthom und Sautter-Harlé gehören, in Verbindung. Die Stal-Turbinenfabrik in Finspong, eine Tochtergesellschaft der ASEA, steht außerhalb der Gruppe und liefert auch

<sup>1)</sup> Vgl. a. E. u. M. 46 (1928) S. 21, 31, 1182; 47 (1929) S. 3.

weiter Turbinen nach Deutschland. Bis 1. April 1932 sind von den eingangs genannten vier Fabriken 14 Kondensations- und Gegendruckturbinen mit zusammen 80 855 kW in Auftrag genommen, hiervon stehen 10 bereits im Betrieb. Hierzu kommen noch 22 Turbinen mit 155 260 kW, welche die Stal nach Deutschland geliefert hat. Alle Turbinen laufen mit 3000 U/min. Zehn Kondensations-turbinen haben Einzelleistungen von 12 000 bis 15 000 kW, drei Gegendruckturbinen von 7000 bis 8000 kW einen noch größeren Dampfdurchsatz. Der höchste Dampfdruck ist 41 atü, die höchste Dampftemperatur 400°. Insgesamt umfassen die Lieferungen der genannten Firmen einschließlich der Stal, jedoch ohne die der anderen Lizenznehmer von Ljungström in England, Italien, den Vereinigten Staaten usw., 394 Turbinen mit zusammen 1,3 Mill. kW. Eine Umfrage des Verfassers bei allen deutschen Ljungströmturbinenbesitzern, die für 30 Turbinen sachlich beantwortet wurde, ergab übereinstimmend, daß die Ljungströmturbine gegenüber der Axialturbine eine große Zahl von Vorzügen, wie niedrigen

Anschaffungspreis, geringes Gewicht und geringen Raumbedarf, leichte Wartung, geringe Empfindlichkeit gegen Last- und Temperaturschwankungen, große Regelfähigkeit und große Betriebssicherheit, niedrigen Dampfverbrauch u. a. m. aufweist, daß natürlich auch bei dieser Turbine Schäden vorkommen, daß aber insbesondere die befürchtete besondere Empfindlichkeit des Schaufel-systems gegen Fremdkörper oder bei einem einzelnen Schaufelschaden nicht vorhanden ist. Hinsichtlich des Dampfverbrauches wurde festgestellt, daß der Wirkungsgrad größer ist als bei Axialturbinen gleicher Leistung, und daß außerdem die gewährleisteten Werte fast immer unterschritten wurden. So wurde bei zwei 14 000 kW-Turbinen für 14 und 16 ata und 350° bzw. 330° ein thermodynamischer Wirkungsgrad, bezogen auf die Klemmenleistung von 77,3 und 76,9 vH ermittelt, gegenüber nur 67,5 vH bei einer gleich großen eingehäusigen Axialturbine, allerdings mit 1500 U/min, für 13 ata und 325°. Zum Vergleich bringt Reuter noch Angaben über die größte bisher gebaute Ljungströmturbine. Es ist dies eine von der Stal für das Reserve- und Spitzenwerk Västerås<sup>1)</sup> der schwedischen staatlichen Wasserkraftwerke gelieferte 50 000 kW-, 1500 U/min-Maschine (mit 30 000 kW wirtschaftlichster Leistung), die mit einem 130 t-Forsbladkessel<sup>2)</sup> mit Ölföderung verbunden, in etwa 10 min von der Erteilung des Anfahrkommandos und vom kalten Zustande aus die normale Leistung liefern muß. Der thermodynamische Wirkungsgrad dieser für Dampf von 20 ata und 400° bestimmten Turbine war bei 32 945 und 42 528 kW Klemmenleistung des Stromerzeugers 84,7 vH, bezogen auf diese Leistung, gegen 77 vH bei einer gleich großen 1500 U/min-Axialturbine für 14 ata und 350° bei 50 000 kW Leistung. Eine etwas kleinere 30 000 kW-, 3000 U/min-Stalturbine läuft seit mehreren Jahren in einem Werk der Stockholmer Stadt, Elektrizitätswerke. Den Schwierigkeiten, welche sich bei der Ljungströmturbine ergeben, wenn Anzapfdampf gesteuert entnommen werden soll, begegnete man dadurch, daß man — sofern dies zulässig war — ungesteuerten Anzapfdampf entnahm oder eine Gegendruck- und eine Kondensationsmaschine dampftechnisch hintereinander und elektrisch parallel-schaltete und die erstere mit einer Regelung für gleichbleibenden Gegendruck versah und den Dampf der Verbindungsleitung beider Turbinen entnahm, welche Anordnung sich durchaus bewährte.

I.  
(EL-Wirtsch. 31 (1932) S. 264.)

### Elektrische Maschinen, Transformatoren.

**Die Beseitigung von Störungen an Drehstrom-Gleichstrom-Umformern bei drehstromseitigen Spannungssenkungen.** Von Dr.-Ing. G. Boll, Mannheim. 1. Störungen und Abhilfe beim Alleinbetrieb der verschiedenen Umformerarten. Da die Spannungssenkungen vom Drehstromnetz von Einankerumformern auf das Gleichstromnetz übertragen werden, zeigen die Einankerumformer die Tendenz, sich gleichstromseitig zu entlasten, sobald die Drehspannung sinkt. Hiedurch geht auch drehstromseitig der Wirkstrom zurück. Außerdem erweist sich der Einankerumformer bei gesenkter Spannung als übererregt und gibt wechselstromseitig Blindleistung ab, und zwar so viel, daß trotz Rückganges des Wirkstromes eine Überlastung der Drehstromseite auftritt, die drehstromseitige Schalterauslösungen verursacht. Diese Überlastung kann dadurch verhindert werden, daß man die Erregung während der Spannungssenkung verkleinert. Besonders geeignet hiezu ist ein Schnellregler mit  $\cos \varphi$ -empfindlichem Meßsystem. Der Regler arbeitet so, daß er durch Beeinflussung der Erregung den  $\cos \varphi$  des Umformerstromes auf dem eingestellten Wert hält. Bei Spannungssenkungen vermindert er selbsttätig den Erregerstrom und beseitigt damit die Blindstromüberlastung. Motorgeneratoren halten die Gleichspannung so lange unverändert aufrecht, als sie annähernd die normale Drehzahl haben. Nun pflegt sich infolge der starken Verkopplung der Drehstrom-

netze die Frequenz bei drehstromseitigen Kurzschlüssen im allgemeinen nicht merklich zu ändern, so daß die Drehzahl der Motorgeneratoren und die Gleichspannung so lange unberührt bleiben, als der Motor im Tritt ist. Wenn der Motor aber in Tritt bleiben soll, dann muß er in der Lage sein, die ganze, gerade vorhandene Gleichstromlast auch bei gesenkter Drehspannung durch-zuziehen. Andernfalls fällt er unter großer Stromaufnahme außer Tritt, sobald die Drehspannung sinkt. Hier hilft die Maßnahme, den Umformer gleichstromseitig selbsttätig zu entlasten, und zwar in Abhängigkeit von der Drehspannung, so daß das Kippmoment nie überschritten wird. Die Veränderung der Gleichstromleistung geschieht am besten durch Verstellung der Erregung am Gleichstromgenerator.

2. Störungen und Abhilfe beim Parallelbetrieb verschiedener Umformerarten unter sich. Gleichrichter zusammen mit Einankerumformern ergeben die wenigsten Schwierigkeiten. Es genügt, die Einankerumformer mit  $\cos \varphi$ -Reglern zu versehen, um Flindstromüberlastungen zu vermeiden. Gleichrichter und Motorgeneratoren zeigen dagegen ein sehr verschiedenes Verhalten, insofern als die Spannung der Gleichrichter bei sinkender Drehspannung sofort heruntergeht, während die der Motorgeneratoren so lange konstant bleibt, als die Kippgrenze des Antriebsmotors nicht überschritten wird. Schon bei kleinen drehstromseitigen Spannungssenkungen werden die Gleichrichter stromlos, während die Motorgeneratoren den gesamten Strombedarf des Netzes zu übernehmen versuchen. Sie werden hiebei überlastet und durch ihre Überstromschalter abgeschaltet. Hiedurch überträgt sich der ganze Strom auf die Gleichrichter, so daß diese ebenfalls herausfallen. Abhilfe bringt auch hier die bereits erwähnte Einrichtung, welche den Motorgenerator bei sinkender Drehspannung entlastet. — Bei dem Parallelbetrieb zwischen Motorgeneratoren und Einankerumformern treten ganz ähnliche Erscheinungen auf wie bei dem mit Gleichrichtern. Sie sind aber dadurch verschärft, daß der Einankerumformer im Gegensatz zum Gleichrichter in der Lage ist, Rückstrom aufzunehmen. Die Stromabgabe des Motorgenerators ist also nicht durch die Stromaufnahme des Gleichstromnetzes begrenzt, sondern kann noch weit darüber hinaus ansteigen, indem Leistung an das Drehstromnetz über die Einankerumformer zurückgeliefert wird. Sind die Einankerumformer für die Aufnahme größerer Rückleistungen geeignet, so braucht der Stromregler des Motorgenerators nicht von der Drehspannung abhängig zu sein. Ist das Rückarbeiten aber nicht erlaubt, dann muß eine spannungsabhängige Herabsetzung des Stromes stattfinden.

3. Störungen und Abhilfe beim Parallelbetrieb der Umformer mit unabhängigen Gleichstromquellen. Arbeiten Einankerumformer mit konstanten Gleichstromquellen parallel, dann treten bei drehstromseitigen Spannungssenkungen heftige Rückströme auf, die durch Vorschalten eines Widerstandes zu begrenzen sind. Der große, infolge der Übererregung eintretende Blindstrom ist am besten durch den  $\cos \varphi$ -Regler zu bekämpfen. — Synchronmotorgeneratoren, die mit Batterien oder großen Turbo-gruppen konstanter Spannung parallel arbeiten, verlangen eine der Drehspannung proportionale Verringerung des Gleichstromes, damit die Gleichstromleistung und das Drehmoment proportional der Drehspannung zurückgehen. — Motorgeneratoren mit Asynchronmotor verlangen im gleichen Fall eine quadratische Herabsetzung des Stromes, damit bei konstanter Gleichspannung die Leistung quadratisch sinkt, wenn die Drehspannung zurückgeht.

Squz.  
(ETZ 53 (1932) S. 815.)

### Meßkunde.

**Resonanz-Frequenzmesser.** Von H. D. Hawkes. Das Instrument, in Wirklichkeit ein Differential-Induktions-Wattmeter, besitzt zwei differential wirkende Stromkreise, deren einer zum Beispiel auf 40 Hz, eine um 10 Hz niedrigere Frequenz als die Normalfrequenz 50, deren anderer auf eine um 10 Hz höhere Frequenz,

<sup>1)</sup> E. u. M. 44 (1926) S. 792.

<sup>2)</sup> E. u. M. 45 (1927) S. 622.

das ist 60 Hz abgestimmt ist. Eine Frequenzerhöhung im 1. Kreis über 40 Hz hinaus auf 50 bis 60 Hz (Abb. 1) hat ein Überwiegen der induktiven Reaktanz zur Folge und damit ein Sinken, sowie ein Nacheilen des Stromes hinter der Spannung um die Winkel  $\phi_1$  bzw.  $\phi_2$ . Umgekehrt ergibt in dem auf 60 Hz abgestimmten Kreis ein Sinken der Frequenz auf 50 bis Hz ein Vorherrschen der kapazitiven Reaktanz des Kreises und ein Fallen des Stromes bei einer Voreilung von  $\phi_3$  bzw.  $\phi_4$ . Schematisch gibt die Abbildung (rechts) das Instrument wieder.  $D_1$  und  $D_2$  sind zwei auf einer gemeinsamen, den Instrumentenzeiger tragenden Achse sitzende,

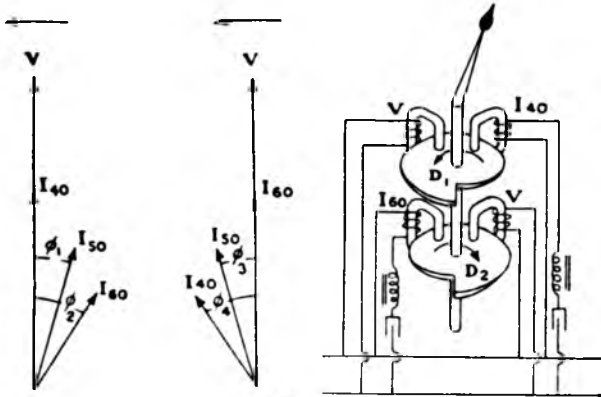


Abb. 1.

daunenartig ausgebildete Scheiben, auf die die Elektromagnete wirken. Die Spulen  $V$  werden direkt vom Netz erregt, die Stromspulen  $I$  haben jede in Reihe Kapazität, Induktanz und Widerstand, die so bemessen sind, daß bei auf 40 bzw. 60 Hz in Resonanz liegen. Die auf die daunenartig gestalteten Scheiben ausgeübten Drehmomente wirken so, daß  $D_1$  sich gegen den Uhrzeiger,  $D_2$  entgegengesetzt zu drehen sucht, so daß sich zufolge der Form der Scheiben eine der Frequenz entsprechende Stellung ergibt. Das von Elliott Brothers hergestellte Instrument besitzt eine Skala von  $220^\circ$  Ausdehnung für Frequenzänderungen, die um nur  $\pm$  oder  $- 2$  Hz von der Normalfrequenz abweichen. Die Genauigkeit ist derart, daß bei  $\pm 10$  vH Änderung in der Spannung keine Änderung in der Anzeige, bei  $\pm 20$  vH Spannungsänderung die Instrumentenanzeige sich um  $\pm 0,05$  vH ändert. Der Temperaturkoeffizient ist sehr gering  $- 0,005$  vH für  $1^\circ\text{C}$ .

Dr. M.

(El. Rev. 111 (1932) S. 187.)

**Elektrische Apparate.**

**Über gittergesteuerte Quecksilberdampf - Gleichrichter<sup>1)</sup>** berichtet H. D. Brown. Um die Gleichspannung von Mehrphasen-Gleichrichtern in Abhängigkeit von der Last zu regeln (zu kompondieren), werden der Primärspannung des Gitterwandlers Spannungen zugeetzt, die an Ballastwiderständen von drei Stromwandlern in den Zuleitungen zum Gleichrichtertransformator abgegriffen werden. Die dadurch erzielte Verdrehung des Spannungssternes bewirkt eine Verschiebung der Phase der Gitterwechselspannungen und damit der Zündzeitpunkte der Anoden. Durch Verwendung stromabhängiger Ballastwiderstände können verschiedene Charakteristiken erzielt werden. Die Netzspannung wird dem Gitterwandler über einen Phasenregler in solcher Phase zugeführt, daß die Steuerung durch die Kommutierungsoberrwellen des Primärstromes nicht gestört wird. Bei einer anderen Schaltung ist die Kurvenform des Stromes ganz ohne Einfluß. Hier werden die an den Stromwandlern abgenommenen Spannungen einem Hilfgleichrichter zugeführt. Die gleichgerichtete Spannung wird in Reihe mit einer Spannungsbatterie zwischen Hauptkathode und sekundärem Nullpunkt des Gitterwandlers eingefügt. Dadurch wird die Kurve der Gitterwechselspannung in Abhängigkeit von der Last parallel zur Ordinatenachse verschoben (ohne Phasenänderung). Damit verschiebt sich auch ihr Schnittpunkt

<sup>1)</sup> Vgl. a. E. u. M. 50 (1932) S. 317 ff., 596.

mit der Gitterkennlinie und somit der Zündzeitpunkt. Im Normalbetriebe nimmt das Gefäß von Eisengleichrichtern eine kleine positive Spannung gegenüber der Kathode an, die sich bei Rückzündungen in eine negative verkehrt. Diese Erscheinung wird zur Unterdrückung von Rückzündungen ausgenutzt, indem die erwähnte Spannungsdifferenz an das Gitter eines kleinen einanodigen Hilfsrohres gelegt wird (Hauptkathode an Gitter, Gefäß an Kathode). Dieses sperrt bei Umkehr seiner Gitterspannung sämtliche Hauptanoden durch Anlegen einer negativen Gleichspannung aus einer Batterie oder sonstigen Hilfsstromquelle an die Gitter des Gleichrichters. Dadurch werden entweder die Rückzündungen ganz unterdrückt oder doch der in ihrem Gefolge auftretende Kurzschlußstrom wesentlich eingeschränkt. In vielen Fällen konnte das Ansprechen des Ölschalters verhindert werden. In automatischen Stationen wird eine Rückschalteneinrichtung mit Zeitverzögerung vorgesehen, welche die Sperrspannung erst nach Wiederkehr ausreichenden Vakuums abschaltet und damit den Gleichrichter wieder in Betrieb setzt. Eine Einrichtung zur Erzeugung steil ansteigender Spannungsspitzen, insbesondere für die Steuerung von Umrichtern, besteht aus einem Gitterwandler, dessen Phasen durch Kupferoxydulgleichrichter so überbrückt sind, daß die negativen Spannungshalbwellen kurzgeschlossen werden. B. u. (Gen. El. Rev. 35 (1932) S. 439.)

**Fernmeldetechnik.**

**Der Kristall-Tonabnehmer.** Das Prinzip des elektrischen Kristall-Tonabnehmers<sup>1)</sup> ist das folgende: Zwei piezoelektrische Kristalle aus Rochelle-Salz, welche eine verschiedene Schwingrichtung aufweisen, werden, wie die Abb. 2 zeigt, am einen Ende fest eingespannt. Das andere Ende ist frei und kann seitliche mechanische Schwingungen ausführen. Zwischen beiden Kristallen befindet sich eine Metallfolie; auch die beiden freien Außenseiten des Doppelkristallsystems sind mit je einer Metallfolie bedeckt. Diese beiden letzteren Folien sind miteinander elektrisch verbunden. Die elektrische Spannung, welche entsteht, sobald das Doppelkristallsystem am freien Ende mechanische Schwingungen ausführt, wird einerseits von der Mittelelektrode, andererseits

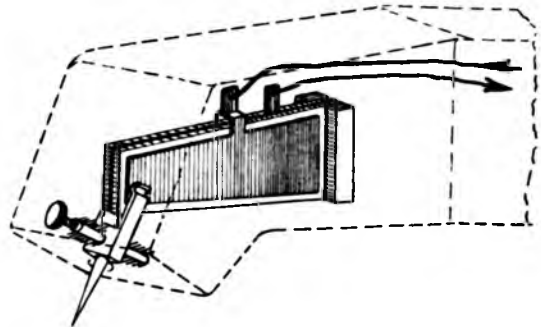


Abb. 2. Piezoelektrischer Kristall-Tonabnehmer von Neufeld und Kuhnke.

von den beiden Außenelektroden abgenommen. Diese mechanischen Schwingungen werden durch das Nadelssystem auf das Kristallsystem übertragen. Da die Kristalle natürlich starke mechanische Beanspruchungen nicht aushalten, also zum Beispiel beim Aufsetzen des Tonabnehmers auf die Schallplatte unter Umständen Beschädigungen erfahren können, so ist das Nadelssystem zunächst am Körper des Tonabnehmers gelagert. Die Nadel kann so wie bei anderen Tonabnehmern ohne Gefahr für das Kristallsystem auf die Platte aufgesetzt werden. Der Innenwiderstand des Kristallsystems liegt sehr hoch. Der Tonabnehmer kann demzufolge ohne Zwischerschaltung eines Transformators unmittelbar an das Gitter der ersten Röhre angeschlossen werden. Schon dadurch ergibt sich ein sehr hoher elektrischer Wirkungsgrad. Die vom Tonabnehmer gelieferte Wechselspannung beträgt etwa 5 V, ist demnach über dreimal so groß, wie diejenige elektromagnetischer Tonabnehmer. Die Spannung reicht aus,

<sup>1)</sup> E. u. M. 50 (1932) S. 587.

um zum Beispiel eine einzige Schutznetzdröhre voll auszusteuern. Die Vorteile des Doppelkristall-Tonabnehmers sind demnach vor allem sein großer Wirkungsgrad, große Spannung, so daß unter Umständen eine Verstärkerstufe gespart werden kann, geringe Beschädigung der Platten, da die Nadel außerordentlich fein gelagert werden kann und nicht, wie bei elektromagnetischen Tonabnehmern, stark abgedämpft werden muß, ferner eine sehr günstige Charakteristik, die praktisch von Resonanzstellen frei ist. F. Noack, Berlin.

#### Magnetismus und Elektrizitätslehre, Physik.

**Optische Untersuchung der Funkenzündung in Luft von Atmosphärendruck mittels des unterdrückten Durchbruches.** Die Townsendsche Theorie der Funkenbildung, welche eine gleichzeitige hinreichende Ionisation der Funkenbahn als Kriterium der Funkenbildung verlangt, wurde später durch die Anschauung ersetzt, daß die Vereinigung von anodischem Ionenschwarm und kathodischem Glimmlicht, die mit verschiedenen Geschwindigkeiten gegeneinander vordringen, den Funken einleitet, eine Anschauung, welche durch die Untersuchungen von L. v. Hámos, F. G. Dunnington, H. Roser, E. Marx und P. Rosenlöcher bei äußerst kleinen Elektrodenabständen ihre Bestätigung fand. Für Elektrodenabstände bis zu 40 cm und bei völlig ungestörtem Feld untersuchte W. Holzer mit einer Quarzoptikkamera die zeitliche Ausbildung der Funkenzündung in Luft nach der Methode des unterdrückten Durchbruches. Eine Abschneidefunkenstrecke liegt parallel der zu untersuchenden Funkenstrecke, so daß an derselben der Funkenvorgang nicht voll zur Ausbildung gelangt. Ein Stoßgenerator erzeugt die Spannungswelle, die Einwirkungszeit wird durch einen Kathodenstrahloszillographen gemessen. Für die Funkenbildung im gleichförmigen Feld ergeben sich zwei zeitliche Hauptstadien: ein keulenförmiges Anodenbüschel wächst gegen die Kathode zu; nach Berührung mit dem Kathodenglimmlicht breitet sich ein querschnittsgleicher Funkenkanal von hoher Leuchtkraft gegen die Kathode aus. Es sind auch gegeneinander wachsende Büschel und im Feldraum selbst zündende Funken möglich (Perlschnurblitz). Im ungleichförmigen Feld gelten für Durchbruch- und Anfangsspannung folgende Gesetzmäßigkeiten: „Entladungen aus Kathoden mit hoher Feldstärke in der Umgebung sind in der Durchbruchspannung dem homogenen Feld ähnlich. Entladungen aus Anoden mit hoher Feldstärke in der Umgebung sind ein einheitlicher Entladungstypus, welcher durch niedere Durchbruchspannungen und stabile Entladungsformen gekennzeichnet ist.“

Drei Ausbildungsstadien entsprechend werden drei typische Kopfgeschwindigkeiten nachgewiesen: die erste Büschelaufbaugeschwindigkeit, die Büschelbildungsgeschwindigkeit und die eigentliche Funkeneschwindigkeit. Es werden erstmalig für ein ungleichförmiges Feld Zahlenwerte für die Kopfgeschwindigkeiten angegeben, welche mit zunehmendem Elektrodenabstand größer werden. Im wesentlichen wird durch die Untersuchungen bestätigt, daß der Mechanismus der Funkenbildung primär ein Elektronenstoßphänomen ist. Gewisse Stadien der Entladung und typische Bildungsmöglichkeiten lassen es notwendig erscheinen, den Einfluß von Temperaturionisation stärker zu betonen. Dr. Götz.

(Z. f. Phys. 77 (1932) S. 676.)

#### Energiewirtschaft.

**Elektrizitätsversorgung des Irischen Freistaates.** Der irische Freistaat dürfte eines der wenigen Länder sein, in dem der Verbrauch an elektrischer Energie noch im Ansteigen begriffen ist. Einige Zahlen werden deshalb von Interesse sein. Im Geschäftsjahr 1931/32, das am 4. April endet, wurden insgesamt 152,7 Mill. kWh bei einer Spitze von 55,7 MW erzeugt, welche an zwei Tagen im Dezember auftrat; davon wurden 4,6 Mill. kWh im Dampfkraftwerk Dublin und 0,9 Mill. kWh in Dieselanlagen erzeugt, der Rest im Wasserkraftwerk Ardnacrusha (Shannonwerk<sup>1)</sup>). Dies bedeutet eine Steigerung von 14,5 vH in der Zahl der kWh gegenüber dem Vorjahr und von 17 vH für die Spitze.

<sup>1)</sup> Vgl. E. u. M. 43 (1925) El.-Werk, S. 326; 45 (1927) S. 640; 48 (1930) S. 301.

Diese Ziffern dürften im laufenden Geschäftsjahr um etwa 12 vH und 15 vH weiter ansteigen. Die gesamte Niederschlagshöhe im Einzugsgebiet des Shannonwerkes betrug 97 cm im abgelaufenen Geschäftsjahr, die gesamte Abflußmenge aus dem Stausee 6500 Mill. m<sup>3</sup> entsprechend einer durchschnittlichen Abflußmenge von 202 m<sup>3</sup>/s, wovon 100 m<sup>3</sup>/s in den Turbinen verarbeitet wurden. Bei einer durchschnittlichen Gefälle von 28,75 m betrug die Wassermenge 21,5 m<sup>3</sup>/kWh.

Diese unerwartet rasche Entwicklung der Elektrizitätsversorgung des Landes machte die Bestellung eines vierten Maschinensatzes im Shannonwerk notwendig. Bestellt wurde eine Kaplan turbine für 30 000 PS für ein Prutgefälle von 25,5 m und 167 U/min direkt gekuppelt mit einem Drehstromgenerator für 25 MVA bei 10,5 kV,  $\cos \varphi = 0,9$  und 50 Hz. Zur Aufstellung des neuen Satzes ist die Erweiterung des Krafthauses samt Fundierungen und die Montage einer vierten Rohrleitung notwendig. Die Kaplan turbine muß auch beim Höchstgefälle von 32,5 m 33 000 PS leisten. Diese Leistung ist durch die Höhenlage, welche durch die bereits fertigen Bauten gegeben ist, und die dadurch bedingte Rücksicht auf die Kavitationsicherheit begrenzt. Das hohe Gefälle (das höchste, das bis jetzt von einer Kaplan turbine erreicht wird) erfordert besondere Maßnahmen bezüglich Schaufelform und -zahl, Wahl des Werkstoffes und Pemessung der relativen Schluckfähigkeit, um Kavitationschäden mit Sicherheit zu vermeiden. Die Bauarbeiten werden von der Siemens-Bau-Union durchgeführt. Die Turbine wird von Voith und der Generator samt Zubehör von Siemens-Schuckert Berlin geliefert. Der neue Maschinensatz soll Ende 1933 in Betrieb genommen werden; das Bauprogramm wurde bisher eingehalten. In diesem Jahre wurde eine 38 kV-Schaltanlage für die Transformatorstation der Stadt Dublin (48 MVA Leistung) von der AEG, Berlin, gebaut, welche in kurzer Zeit in Betrieb kommen wird. —n.

## Patentbericht.

### Radiotechnik.

#### Metall-Legierungen.

#### Magnetische Legierungen. (Schluß aus Heft 1, Seite 15.)

Zur Herstellung von Pulvern aus Eisen oder Eisenlegierungen in großen Mengen für den Aufbau magnetischer Massekerne wird nach einem Patent der „H. m. e. t. a. g.“, Berlin, das durch Schmelzen gewonnene Metall, am besten durch Auswalzen, Strecken, Ziehen und Zerschneiden, in Form von Stücken geringer Abmessungen gebracht. Diese Stücke werden zuerst im Vakuumofen bei Rotglut behandelt, dann in einer Atmosphäre von Stickstoff, Wasserstoff, Ammoniak oder anderen geeigneten Gasen geglüht und endlich durch einen Mahlprozeß in Pulverform übergeführt.

(O. P. Nr. 121 448.)

Hohe magnetische Permeabilität und hohen Widerstand für die Kerne von Niederfrequenztransformatoren zeigt nach Smith, Garnett und Holden, eine Legierung mit 40 bis 50 vH Eisen, 42 bis 58 vH Nickel, 1 bis 5 vH Silizium oder Aluminium und 1 bis 5 vH eines widerstandserhöhenden Elementes, wie Chrom, Wolfram, Vanadium, Molybdän, sowie gegebenenfalls noch 1 vH Kupfer. (O. P. Nr. 120 840.)

Eine Legierung derselben Erfinder mit nahezu konstanter Permeabilität in Feldern bis zu 1 Gauß, niederen Hysteresisverlusten und hohem Widerstand enthält 62 bis 75 vH Nickel, 10 bis 22 vH Eisen, 11 bis 20 vH von widerstandserhöhenden Elementen, gegebenenfalls noch 5 vH Kupfer. (Brit. P. Nr. 371 960.)

Die Siemens & Halske A.-G., Berlin, erhielt ein Patent auf eine magnetische Legierung aus 0,5 bis 3,5 vH Kobalt, 30 bis 64 vH Nickel, Rest Eisen, andere Elemente und Verunreinigungen müssen unter 5 vH liegen.

(Brit. P. Nr. 370 630, Amerik. P. Nr. 1 857 970.)

#### Kupferlegierungen.

Dr. W. Kroll, Luxemburg, und M. Lissauer & Cie., Köln, schlagen vor, für Leitungsdrähte, beson-

ders wenn große Entfernungen überspannt werden sollen, titanhaltige Kupferlegierungen mit höchstens 4 vH Titan und Zusätzen von Nickel, Chrom, Mangan, Eisen, Kobalt oder Molybdän bis je 10 vH oder Silizium, Magnesium, Aluminium bis 5 vH zu verwenden, die aus einem Temperaturbereich von 650 bis 1000°C abgeschreckt oder an der Luft abgekühlt und danach bei etwa 250 bis 600°C gealtert wurden.

(Ö. P. Nr. 122 471.)

Nach einem Patent der Vereinigte Deutsche Metallwerke A.-G., Einsal b. Altena, erhalten Kupfer-Beryllium-Legierungen mit 0,1 bis 2 vH Beryllium und 11 bis 40 vH Nickel durch Abschrecken von Temperaturen über 900°C und künstliches Altern zwischen 350 und 700°C größere Härte und Festigkeit als metallisches Kupfer. Die vergüteten Legierungen besitzen auch gute elektrische Leitfähigkeit.

(D. R. P. Nr. 539 762 u. Nr. 543 667.)

Zum Gießen von Lagerschalen und Buchsen für hohen Achsdruck, sowie schnelllaufende Wellen empfehlen Böntgen & Grah, Wald, Rheinland, Legierungen aus 75 bis 83 vH Kupfer, 6 bis 12 vH Zinn, 6 bis 12 vH Nickel und 0,5 bis 4 vH Mangan.

(D. R. P. Nr. 498 889.)

Für Feindrähte, die mit einer isolierenden Lack-schicht versehen werden sollen, empfiehlt die Siemens & Halske A.-G., Berlin, die Verwendung von Kupfer, dem vor dem Gießen etwa 0,5 vH Kalzium zugesetzt wird.

(D. R. P. Nr. 490 231.)

#### Bleilegierungen.

Bleilegierungen, die insbesondere für Kabelmäntel verwendet werden, sind unter anderem die nachfolgenden:

Czeija, Nissl & Co., Wien, empfehlen eine aus 10 bis 50 vH Kupfer und 90 bis 50 vH Antimon bestehende Vorlegierung, die mit soviel Blei verschmolzen wird, daß die Endlegierung neben Blei 0,8 bis 1,2 vH Antimon und bis zu 0,5 vH Kupfer enthält.

(Ö. P. Nr. 121 525.)

Beckinsale und Waterhouse, London, empfiehlt eine Bleilegierung mit bis 2 vH Cadmium, bis 5 vH Zinn, bis 3 vH Antimon. Die Legierung wird durch Erhitzen auf mindestens 150° und Abschrecken vergütet.

(Ö. P. Nr. 115 617.)

Die Siemens-Schuckertwerke A.-G., Berlin, empfiehlt ein Herstellungsverfahren für eine Bleilegierung, die 98 vH oder mehr Blei, bis 1 vH Antimon und als Rest eine dritte Komponente, die zum Beispiel aus der chemischen Verbindung Kadmium-Antimon besteht, enthält.

(Brit. P. Nr. 362 973.)

#### Legierungen verschiedener Zusammensetzung.

Ein Verfahren der Kemet Laboratories Company, New York, gestattet die Herstellung äußerst duktiler Legierungen des Wolframs oder Molybdäns oder beider mit Thorium in jedem beliebigen Verhältnis. Zum Beispiel lassen sich solche Legierungen mit bis zu 5 vH Thorium zu außerordentlich dünnen Drähten verarbeiten, wie sie für Kathodenglühdraht in kleinen Audionröhren benötigt werden. Nach dem Verfahren wird Thoriumhydrid in Mischung mit den zuzulegenden Metallen unter hohem Druck gepreßt und der Preßling in Wasserstoffatmosphäre mindestens auf die Dissoziationstemperatur des Hydrides erhitzt.

(D. R. P. Nr. 505 964.)

Als Material für metallene Federn und für der Reibungsbeanspruchung unterworfenen, vorzugsweise elektrischen Strom führende Teile von technischen Anordnungen, zum Beispiel für Lager, Kollektoren und Schleifkontakte, empfiehlt die Siemens & Halske A.-G., Berlin Legierungen mit überwiegendem Nickel-, Kobalt- oder Eisengehalt und Beryllium.

Legierungen auf der Grundlage Nickel, Kobalt, Eisen und Beryllium, welche mindestens zwei Metalle der Eisengruppe (Eisen, Nickel, Kobalt) in Mengen über 10 vH enthalten, werden für den gleichen Zweck empfohlen.

(D. R. P. Nr. 475 009, 475 083, 545 173 u. 545 174.)

Ein für verschiedene elektrotechnische Zwecke, zum Beispiel für Schalter oder Kontakte gut verwendbares Material ist nach einem Patent der Interna-

tional Nickel Comp., New York, eine Legierung aus 1 bis 50 vH Kupfer, unter 25 vH Palladium, Rest Silber.

(Brit. P. Nr. 354 239 u. 354 216.)

R. G. Waltenberg, H. E. Holbrock u. B. Bressner, New Jersey, erhielten ein Patent auf eine für Kontakte und Schalter geeignete Legierung aus 70 bis 90 vH Iridium, Rest eines oder mehrere der Elemente Platin, Palladium, Ruthenium. Für den gleichen Zweck kann auch eine Legierung mit 50 bis 90 vH Ruthenium neben anderen Platinmetallen verwendet werden.

(Amerik. P. Nr. 1 850 818 u. 1 850 818.)

Folien, Membranen und dergleichen, die Kathodenstrahlen und Röntgenstrahlen durchlassen, werden nach Rohm & Haas, A.-G., Darmstadt, aus Legierungen von 97 bis 85 vH Beryllium mit 3 bis 15 vH Gold erhalten.

(Brit. P. Nr. 313 527.)

## Literaturberichte.

<sup>4050</sup> **Potentialfelder der Elektrotechnik.** Von F. Ollendorff, Berlin. VIII und 395 S. mit 244 Abb. im Text. Verlag J. Springer, Berlin 1932. Preis geb. RM. 32.—.

Das Buch stellt eine erweiterte Wiedergabe der Vorlesungen dar, die der Verfasser an der Technischen Hochschule in Berlin gehalten hat. In diesen Vorlesungen wurde versucht, die Potentialfelder der Elektrotechnik vom physikalisch-mathematischen Standpunkte aus zu beschreiben. Damit dies geschehen kann, werden im ersten Hauptabschnitte die physikalischen Grundlagen in zwei Kapiteln (Begriff der Potentialfelder und Grundgesetze elektrischer Potentialfelder) kurz wiederholend zusammengefaßt. Die beiden folgenden Hauptabschnitte bieten nun in 15 Kapiteln eine große Zahl von Aufgaben der Elektrostatik, der stationären Strömung und der Magnetostatik. Der zweite Hauptabschnitt, der die Konstruktion von Potentialfeldern bespricht, behandelt Quellenfelder, Dipolfelder, die Polarisation, molekulare Dipole, stetig verteilte Quellen, gestreckte Leiter und zweidimensionale Gitterfelder. Der dritte Hauptabschnitt ist den Randwertaufgaben gewidmet. Er umfaßt komplexe Potentiale, die Feldausbildung an scharfen Kanten, die Potentialgleichung in Kartesischen Koordinaten, Kugelfelder, die Koordinaten des abgeplatteten Rotationsellipsoides und des gestreckten Rotationsellipsoides, Zylinderfelder und endlich die räumliche Spiegelung. Den Schluß des Buches bildet ein Verzeichnis des wichtigsten Schrifttums, das etwa 125 Anführungen enthält.

Das Buch stellt hohe Anforderungen an den Leser. Aber niemand wird es ohne großen Gewinn an der Hand legen. Für eine neue Auflage wäre meiner Meinung nach, zu überlegen, ob die Zusammenfassung der physikalischen Grundlagen, die dem Buche vorangestellt sind, nicht zu kurz geraten ist. Die Grundlagen, die hier gefordert werden, sind noch nicht so allgemein Besitz der Elektrotechniker geworden, daß eine kurze Zusammenstellung genügen könnte; die Heranziehung eines Hilfsbuches aber ist doch recht mißlich. Um den Leserkreis der „Potentialfelder“ zu erweitern, wird es sich empfehlen, die Schwierigkeiten, die manchem Leser schon beim Durcharbeiten des Einleitungsabschnittes entgegenreten, zu vermindern. Prof. Dr. Ing. Heinrich Sequenz.

<sup>4025</sup> **Das österreichische Elektrizitätsrecht.** (Auf Grund amtlicher Quellen bearbeitet und mit Erläuterungen versehen.) Von Karl Kosseg. I. Teil: Starkstromrecht. II. Teil: Telegraphen-, Fernsprech- und Radiorecht. Mit Anhang: Eisenbahnteilungsgesetz. XVIII und 528 S. Leykam-Verlag, Graz 1932. Preis S 10/50.

Den früher erschienenen „Neuen Elektrizitätsrechtlichen Vorschriften“, die durch die geänderte Gesetzeslage mannigfach überholt sind, lassen Autor und Verlag jetzt die vorliegende Gesetzesammlung folgen. Man lenkt gerne die Aufmerksamkeit darauf, weil auch diese Ausgabe eine, ebenso handliche wie übersichtliche Zusammenstellung der jetzt geltenden Elektrizitätsgesetzlichen Normen enthält. Es ist dabei zu berücksichtigen, daß die Ausgabe der grundstürzenden Wandlung nachstrebt, die der Gesetzesstoff durchgemacht hat. Darüber ist unlängst in der Zeitschrift eingehend berichtet wor-

den<sup>1)</sup>. Den volltönenden Titel eines Elektrizitätsrechtes sollte sich das Buch jedoch nicht beilegen. Zwischen Gesetz und Recht ist nämlich ein Unterschied. Die Sammlung ist ein Gesetzbuch, aber noch kein Rechtsbuch. Sie bringt den Text der Gesetze und Verordnungen, desgleichen die Motive der seinerzeitigen Regierungsvorlagen und hier und da sind auch verwaltungsrechtliche Entscheidungen eingestreut. Allein Anwendung und Auslegung wie überhaupt die Doktrin, welche den Rechtsstoff durchleuchtet, ist nicht Sache und wohl auch nicht die Aufgabe dieses Werkes. Diese überläßt es der Rechtsfindung und der Rechtsforschung. Indessen auch in dieser Aufmachung ist die Arbeit sehr verdienstvoll, denn sie rollt gewissermaßen auf laufendem Band die Gesetzgebung für Stark- und Schwachstrom auf, berücksichtigt sogar schon den Rundfunk und läßt es sich schließlich angelegen sein, in einem ausführlichen Sachregister den Finger auf alle wissenswerten Partien zu legen, wo sie aufzuschlagen und nachzulesen sind. Eine Ausstellung sei immerhin angemerkt: Neben den Regulativen über das Meß- und Eichwesen, welche für einen wichtigen Zweig der Elektrizitätsindustrie Bedeutung haben, hält der Blick vergeblich Ausschau nach dem Gesetz über begünstigte Bauten vom 16. Oktober 1914 RGBl. Nr. 284. Möglich, daß der Verfasser sich denkt, daß diese aus der Kriegszeit stammende Ausnahmsverordnung obsolet geworden ist und in die heutigen Verhältnisse nicht mehr paßt. Allein das wäre ein Irrtum, denn die Erfahrung lehrt, daß gerade im Bezirk der Elektrizitätswirtschaft beim Ausbau von Wasserkraften ständig von diesem Gesetz Gebrauch gemacht wird und mehr, als die gesetzestreuere Kritik gutheißen mag. Im übrigen aber ist der Auflage nichts besseres zu wünschen, als daß die Sammlung auch weiter nicht zur Ruhe komme und mit der Ausbreitung der Elektrifizierung auch die Fortbildung des Gesetzesstoffes fortschreite. Es ist noch mancherlei nachzuholen.

Dr. Heinrich Schreiber.

<sup>4495</sup> **Winden und Krane.** Aufbau, Berechnung und Konstruktion. Für Studierende und Ingenieure. Von Dipl.-Ing. R. H ä n c h e n. Heft 3: Lastaufnahmemittel. Elektrische Ausrüstung der Winden und Krane. Ortsfeste und tragbare Winden. 82 S. mit 154 Abb. Preis RM. 7.75. — Heft 4: Laufkatzen und Laufkrane. 86 S. mit 158 Textabb. Preis RM. 8.—. — Heft 5: Tor- bzw. Bockkrane. Konsolkrane und ortsfeste Drehkrane. 94 S. mit 248 Textabb. Preis RM. 8.—. — Heft 6: Fahrbare Drehkrane. Schwimmkrane und Sonderkrane. 92 S. nebst vollständigem Sach- und Inhaltsverzeichnis. mit 122 Abb. Verlag von J. Springer, Berlin 1932. Preis RM. 8.—.

In diesen Teillieferungen werden bei den Lastaufnahmemitteln die Tragbalken, Zangen und Greifer, die Lastmagnete und Gießgefäße, bei der elektrischen Ausrüstung der Winden und Krane die Motoren, ihre Schaltungen und Steuergeräte, die Bremslüfter, Endauschalter, Überstromauslöser usw. eingehend behandelt. Bei den Winden werden die Zahnstangen- und Schraubenwinden, die Hebebocke und Druckwasserhebezeuge, die verschiedenen Flaschenzüge, die Räderwinden für Hand- und motorischen Antrieb, sowie die Spille gebracht. Bei den Laufkatzen werden die Trägerkatzen, sowie die Kranlaufwinden, bei den Laufkranen die Hand- und elektrischen Krane, sowie die Laufkrane mit erweitertem Fahrbereich entwickelt. Die Torkrane werden in ihrer Bedeutung im Eisenbahnbetrieb, auf Fabriksböden usw. als Umladekrane entsprechend beleuchtet, die Verladebrücken und Kabelkrane führen ganz moderne Konstruktionen vor Augen, während die Wandlaufkrane, ebenso wie die ortsfesten Drehkrane die Gelegenheit bieten, die verschiedensten Fachwerke granhisch zu berechnen. Bei den fahrbaren Drehkranen werden Ein- und Mehrmaschinenkrane, fahrbare Turm- und Tordrehkrane und deren Abarten beleuchtet. Von den Schwimmkranen werden solche für Schüttgutumschlagung, aber auch Schwerlastkrane behandelt. Die Sonderkrane schließlich umfassen die Hafenkran-

Schiffswerftkrane und Krane zur Schiffausrüstung, die Eisenbahnkrane, auch solche für Lokomotivbekohlung und Entaschung, die Hüttenwerkskrane für Hochofen-, Stahl- und Walzwerke. Die empfehlenden Worte, welche der Besprechung der Hefte 1 und 2<sup>1)</sup> mitgegeben wurden, brauchen hier nicht wiederholt zu werden. Der Gesamtaufbau des Werkes ist bei der Vielseitigkeit des Stoffes als geradezu selten harmonisch zu bezeichnen.

Dr. H. Baudisch.

<sup>4557</sup> **Querschnitte durch die Ingenieurforschung.** Sonderdrucke, zusammenfassender Bericht über VDI-Forschungshefte. I und 47 S. mit 18 Abb. VDI-Verlag G. m. b. H., Berlin 1932. Preis RM. 3.—.

Im Jahrgang 1931 der vom VDI herausgegebenen Zeitschrift „Forschung“ ist in sechs zusammenfassenden Aufsätzen ein Überblick über dasjenige gegeben worden, was auf besonders wichtigen Gebieten der technischen Forschung von 1901 bis 1930 in den „Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens“, von denen bereits über 350 Hefte vorliegen, erschienen ist. Diese überaus wertvollen Übersichten sind im vorliegenden Band vereinigt und dadurch in dankenswerter Weise weiteren Kreisen der Technik zugänglich gemacht. Die Aufsätze behandeln über 400 Arbeiten auf dem Gebiete der technischen Hydrodynamik (Dr. Erk), der technischen Thermodynamik (Prof. Dr. Jakob), der Verbrennung und Verbrennungskraftmaschinen (Dr. Lindner), der Dampfkessel, Wärmekraft und Wärme-arbeitsmaschinen (Prof. Dr. Loschge), des Wärmedurchgangs (Prof. Dr. Nußelt) und der Werkstoffe und Festigkeitsfragen (Prof. Dr. Thum). Die Namen der Verfasser bürgen dafür, daß der Leser wirklich einen umfassenden Einblick in die Forschung auf dem behandelten Gebiete erhält.

Jellinek.

<sup>1)</sup> Vgl. Die Besprechung der Hefte 1 und 2 in F. u. M. 50 (1932) S. 196.

## Vereins-Nachrichten.

### Persönliches.

Der Bundespräsident hat dem Sektionsschef im Bundesministerium für Handel und Verkehr, Generaldirektion für die Post- und Telegraphenverwaltung, Ing. Rudolf Stampfl das Große Ehrenzeichen mit dem Stern für Verdienste um die Republik Österreich verliehen.

### VORTRAG.

Mittwoch, den 25. Jänner d. J., um 18 Uhr, im großen Saale des Österr. Ingenieur- und Architekten-Vereines, Wien, I., Eschenbachgasse 9, Vortrag des Herrn Dr. techn. Milan Vidmar, ordentl. Professor an der Jugoslawischen Universität Ljubljana, über: „Der wirtschaftliche Aufbau des Transformators.“

Inhaltsangabe: Entwicklung der Theorien für den Entwurf des Transformators. — Alte Theorie unter Zugrundelegung von Leistung und VOLLSTVERLUSTEN. — Rechtfertigung für diese Theorie. — Vervollständigung durch Aufstellung des sogenannten Jochgesetzes. — Neue Theorie unter Zugrundelegung der Jahresverluste an Stelle der VOLLSTVERLUSTE. — Aufstellung der neuen Entwurfsgesetze mit einfachsten Mitteln. — Verhältnis der Kosten der Jahresverlustarbeit zu den Zinsen und Abschreibungen des Transformators. — Kapitaldienst des Transformators. Die Vereinsleitung.

### Metallmarkt.

Berlin (Nach N. Fr. Presse) Mk. je 100 kg.							
Kupfer	30 XII.	2.1	3.1.	4.1.	5.1	6.1.	
Electrolytic	48 $\frac{1}{2}$	48 $\frac{1}{2}$	48 $\frac{1}{2}$	48	47 $\frac{1}{4}$	47	
London (Nach „Mining Journal“ v. 6 I.) je t (1016 kg)							
Kupfer:		Pf.	sh	d	Pf.	sh	d
Electrolytic		33	12	6	33	17	6
Wire bars		33	17	6	—	—	—
Zinn:							
Engl pig common		11	15	0	—	—	—

<sup>1)</sup> Vgl. Riehl, Die Neuordnung des österreichischen Elektrizitätsrechtes, F. u. M. 50 (1932) S. 402 ff.