

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 16 (1925)
Heft: 4

Rubrik: Mitteilungen SEV

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 16.01.2026

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

und inbestimmten Zeitabständen der Gasgehalt bestimmt. Es ergab sich der in vorstehender Figur dargestellte Verlauf.

Es geht daraus hervor, dass nach 3 tägigem Stehenlassen bei Luftzutritt der normale Zustand bereits erreicht ist.

b) *Der Wassergehalt.* Die Resultate lassen erkennen, dass bei kleinem Wassergehalt des Anlieferungsöles mit beiden Reinigungsarten praktisch dasselbe erreicht wird. (Das Oel zeigt im Anlieferungszustand kein Knistern beim Erhitzen im Reagenzglas und färbt entwässertes Kupfersulfat nicht, wohl aber ist es merklich durch Fasern und Staub verunreinigt.) Bei höherem Wassergehalt zeigt sich aber die Zentrifuge weit überlegen. Das mit Wasser berieselte Oel war nach zweimaligem Behandeln in der Filterpresse, wobei nach der ersten Filtration die Filter gewechselt wurden, noch trüb. Es klärte sich auch nach mehrwöchigem Stehen nicht. Dagegen war schon das einmal zentrifugierte Oel vollständig klar. Eine damit gefüllte gut verschlossene Flasche wurde mehrere Monate (Spätherbst bis Winter) im Freien stehen gelassen. Es war nicht die geringste Trübung zu konstatieren.

Aus dem Gefundenen darf somit wohl geschlossen werden, dass durch die Einführung der Zentrifuge die bestehenden Verfahren für die Reinigung der Transformeröle von Feuchtigkeit und mechanischen Verunreinigungen eine wertvolle Bereicherung erfahren haben.

Vorliegende Arbeit wurde in den Laboratorien der Maschinenfabrik Oerlikon durchgeführt.

Wirtschaftliche Mitteilungen. — Communications de nature économique.

Aus den Geschäftsberichten bedeutenderer schweiz. Elektrizitätswerke.

Geschäftsbericht d. St. Gallisch-Appenzellischen Kraftwerke pro 1924 (1. Dez. 1923 bis 30. Nov. 1924). Die im Berichtsjahre verbrauchte Energiemenge betrug 59,5 Mill. kWh gegenüber 54,1 Mill. im Vorjahr, wovon 34,2 Mill. in den eigenen Anlagen erzeugt und der Rest von den Nordostschweizerischen Kraftwerken bezogen wurde. Der Gesamtanschlusswert ist von 77 339 kW im Anfang des Jahres auf 83 620 kW am Ende des Berichtsjahres gestiegen. Die gesamten Einnahmen aus dem Betriebe beliefen sich auf Fr. 5 243 823 gegenüber Fr. 4 923 824 im Vorjahr.

Die gesamten Betriebsausgaben (einschliesslich Zinsen) betrugen Fr. 3 898 430. Von der Differenz werden Fr. 746 185 zu Amortisationen aller Art und Einlagen in den Reserve- und Erneuerungsfonds verwendet und Fr. 595 000 (7 %) an die Aktionäre verteilt.

Die Stromerzeugungs- und Verteilanlagen inkl. Liegenschaften stehen mit Fr. 25 670 824 zu Buche. Wie im Zeitpunkt der Gründung der Gesellschaft beträgt das Aktienkapital 8,5 und das Obligationenkapital 10 Mill. Fr.

Am Anfang des Geschäftsberichtes gibt die Direktion einen interessanten Vergleich zwischen der Situation Ende 1914 und Ende 1924, woraus ersichtlich ist, dass in diesem Zeitraume die Eigenproduktion von 21,95 Mill. kWh auf 34,2 Mill. kWh, der Fremdstrombezug von 6,95 Mill. kWh auf 25,3 Mill. kWh, der Anschlusswert von 30 275 kW auf 83 620 kW und die Maximalbelastung von 8760 kW auf 20 700 kW gestiegen sind.

Alle Vergrösserungen in den Energieerzeugungs- und Verteilanlagen konnten ohne Erhöhung des Aktien- oder Obligationenkapitals vorgenommen werden.

Vom Eidg. Departement des Innern erteilte **Stromausfuhrbewilligung**¹⁾. Das eidgenössische Departement des Innern hat am 19. März 1925 den *Officine Elettriche Ticinesi S.A.* in Bodio/Baden die *vorübergehende Bewilligung* (V 4) erteilt, über den Rahmen der Bewilligungen No. 50 vom 1. April 1921 und No. 69 vom 28. Dezember 1923 und der vorübergehenden Bewilligung V 3 vom 17. Februar 1925 hinaus (bisher insgesamt täglich max. 400 000 Kilowattstunden mit einer Leistung von 18 000 Kilowatt), aus ihrem Kraftwerk Tremorgio täglich max. 48 000 Kilowattstunden mit einer Leistung von max. 2000 Kilowatt an die *Società Lombarda per distribuzione di energia elettrica* in Mailand (Lombarda) auszuführen. Die Bewilligung wurde unter anderem unter der Bedingung erteilt, dass während ihrer ganzen Dauer die Energieausfuhr durch die Kraftwerke Brusio A.-G. (K.W.B.) an die Lombarda sowie der Fremdstrombezug der K.W.B. von den Rhätischen Werken für Elektrizität in Thusis täglich um mindestens 25 000 Kilowattstunden kleiner sind als vor dem Inkrafttreten der Bewilligung. Diese von den beteiligten Werken vorgeschlagene Massnahme verfolgt den Zweck, täglich mindestens 25 000 Kilowattstunden aus den Anlagen der Rhätischen Werke für Elektrizität in Thusis ins Netz des Elektrizitätswerkes der Stadt Zürich und der Nordostschweizerischen Kraftwerke A.-G. über-

¹⁾ Bundesblatt No. 12, pg. 827.

zuführen und daselbst die Energieknappheit zu mildern. Die vorübergehende Bewilligung V 4 wurde rückwirkend auf 16. März 1925 in Kraft erklärt. Sie kann jederzeit ohne irgendwelche Entschädigung zurückgezogen werden. Die Be-

willigung V 4 ist auf alle Fälle nur gültig, solange die Aushilfslieferung zugunsten der Energieversorgung nordwärts der Alpen erfolgt und mindestens 25 000 Kilowattstunden pro Tag beträgt.

Briefe an die Redaktion. — Communications à l'adresse de la rédaction.

Wir erhalten von Herrn Dr. H. Stäger-Baden zum Thema:

„Fortschritte in der Reinigung von Isolierölen“ die folgende Mitteilung:

Auf die Erwiderung des Herrn W. R. Chadburn im Bulletin des S. E. V. 1925, No. 1, Seite 56, möchte ich mit folgenden Mitteilungen und Richtigstellungen antworten.

Ich will hier keine Diskussion eröffnen über die Durchschlagsfestigkeit von Isolierölen und die damit zusammenhängenden Erscheinungen, da das an dieser Stelle zu weit führen würde. In der erwähnten Erwiderung habe ich jedoch vermisst, dass kein Wort gesagt wurde über den Dispersitätsgrad der die elektrischen Eigenschaften der Isolieröle wesentlich beeinflussenden Verunreinigungen, auf den in meinen Ausführungen grosses Gewicht gelegt worden ist. Auf diesen Punkt ist schon von Friese, den auch Hr. Chadburn als Autorität zitiert, mit Nachdruck hingewiesen worden.

Alle Mineralöle besitzen eine gewisse Hygroskopizität und nehmen daher Feuchtigkeit aus der Luft auf wegen der Berührung der Wassermoleküle mit der Oeloberfläche. Die Wasseraufnahme findet nur statt bis zu einem gewissen Sättigungsgrad, wobei dann ein Gleichgewicht zwischen Luftfeuchtigkeit und Wassergehalt des Oeles sich einstellt. Die Wasseraufnahmefähigkeit wächst mit der Temperatur, so dass oft die bekannte Erscheinung der Trübung von warmen Ölen bei der Abkühlung zu beobachten ist, worauf schon Gurwitsch, wohl eine der grössten Autoritäten auf dem Gebiete der Mineralöle, hingewiesen hat. Groschuff hat sogar nachgewiesen, dass bei einer Erhöhung der Temperatur von 18 auf 94 Grad die 20fache Wassermenge aufgenommen werden kann. Diese Erscheinung ist wohl leicht erklärlich, wenn man berücksichtigt, wie stark die Oberflächenspannung des Oeles gegen Wasser bei erhöhter Temperatur herabgesetzt wird. Unter Berücksichtigung dieser Tatsache ist es auch verständlich, dass Konvektionsströme dabei nicht die Rolle spielen, die ihnen Hr. Chadburn zuschreiben möchte. Die ermittelten Werte für die Aufnahmefähigkeit des Wassers stellen also effektiv das Lösungsvermögen bei der betreffenden Temperatur dar. Auch die Erscheinung des Umrührens, die in der Erwiderung angeführt worden ist, ist nicht ausschlaggebend für den Vorgang, den man damit erklären wollte; die Aufnahme des Wassers durch das Oel ist abhängig von der Diffusionsgeschwindigkeit, die aber bei normaler Temperatur infolge der verhältnismässig grossen Viskosität und der entsprechenden Oberflächenspannung sehr klein ist, währenddem beim Rühren immer wieder neue

Oelschichten mit dem Wasser in Berührung kommen und sich damit die Aufnahme von Wasser günstiger gestalten kann.

Wenn Hr. Chadburn verlangt, dass das gereinigte Oel in industriellen Betrieben in saubere Gefässe abgefüllt werden müsse, damit es seine guten Eigenschaften behalte, so muss ich dasselbe für eine fachmännisch durchgeführte Filtration verlangen und ich behaupte hier ausdrücklich, dass gerade in der Beziehung im Betrieb oft schwer gesündigt wird.

Da uns in Europa immer sehr viel davon erzählt wird, wie viele solcher Zentrifugen in Amerika im Gebrauch seien und welche glänzenden Resultate bei den dort durchgeführten Versuchen erzielt worden seien und da auch Hr. Chadburn in seiner Erwiderung die hohen Durchschlagswerte von 120 bis 140 kV/cm als normal bezeichnet, so möchte ich mir hier erlauben, einige Mitteilungen zu machen über Beobachtungen und Urteile, die ich selbst in Amerika gemacht und gehört habe. Vor allem möchte ich ausdrücklich betonen, dass das Lob bei weitem nicht so allgemein ist, wie es bei uns den Anschein hat und dass die Verbreitung der Zentrifuge auch nicht so gross ist, wie man annehmen könnte. So sind z. B. die neuesten Zentralen mit Filterpressen ausgerüstet. Die beiden grossen Konzerne Westinghouse Electric and Manufacturing Co. und die General Electric Co. haben einlässliche Versuche mit den Zentrifugal-separatoren ausgeführt und ich möchte hier einige Zahlen und Bemerkungen aus einem Versuchsberichte der erstgenannten Firma wiedergeben. Um den Einfluss der Temperatur zu studieren, wurde verschmutztes und wasserhaltiges Oel, das vor dem Behandeln eine Durchschlagsfestigkeit von 6,6 kV aufgewiesen hatte ($\frac{1}{10}$ engl. Funkenstrecke), zentrifugiert und zwar unter folgenden Bedingungen (garantiert war eine Leistungsfähigkeit von 330 Gallonen pro Stunde):

Gallonen pro Stunde	80	144	230	260
Temperatur °C	39	39	28	27
Durchschlagsspanng. kV	28,2	30,1	10,2	8,7

Daraus ergibt sich nach Auffassung der Westinghouse Co. die Notwendigkeit der Erwärmung des Oeles, ganz abgesehen davon, dass keine übermässig höheren Werte der Durchschlagsfestigkeit erzielt wurden als auch mittelst der Filterpresse erreichbar wären. Ähnlich ausgefallen sind auch die folgenden Versuche, bei denen mit verschiedenen Durchflussmengen gearbeitet worden ist:

Gallonen pro Std.	155	206	275	410	500	550
Temperatur °C	38	40	37	49	46	43
Durchschlagsspannung kV	28,2	27,6	27,6	27,6	22,6	22,6

Auch diese Werte sind nicht übermässig hoch und die Versuche zeigen, dass, wenn man in das Gebiet kommt, wo ein Vergleich mit der Leistungsfähigkeit der Filterpresse überhaupt erst möglich ist, die Durchschlagsfestigkeit bereits etwas nachlässt. Dabei wurde, wie der Berichtersteller ausführt, nicht berücksichtigt, dass die zur Zentrifuge gelieferte Heizvorrichtung eine für diesen Zweck viel zu kleine Leistung besass. Der Versuchsbericht fasst die Haupteinwände gegen die Zentrifuge wie folgt zusammen: Die grossen Kosten und die geringe Leistungsfähigkeit, d. h. dass, wenn das Oel nicht zu schmutzig und nicht zu nass sei, die Reinigung mit der Filterpresse viel rascher vorgenommen werden könne. So habe ich denn auch in Amerika Oelreinigungsvorschriften gesehen, nach welchen die grössten Mengen Wasser und Schmutz mittelst einer Zentrifuge entfernt werden und das Oel nachher zur *Reinigung* durch die Filterpresse geht. Bei diesen Versuchen ist man aber nicht so in die Tiefe gegangen wie bei den unsrigen. Vor allem wurde dem Dispersitätsgrad des Wassers und dem öllöslichen Schlamm keine Aufmerksamkeit geschenkt, sondern es handelte sich nur um Betriebsversuche, so dass diese Punkte in dem erwähnten Bericht auch nicht berücksichtigt worden sind. Auf die Bemerkungen der General Electric Co., die noch einen weiteren wichtigen Punkt in die Diskussion hineingeworfen hat, komme ich unten in anderem Zusammenhange zu sprechen.

Ferner muss ich auch die Behauptung des Hrn. Chadburn zurückweisen, dass sich die Wasserteilchen beim Zentrifugieren zusammenschliessen und dadurch dann wieder eine Grösse erhalten, bei welcher sie durch Zentrifugalkraft ausgeschleudert werden können. Der Vorgang verläuft tatsächlich folgendermassen: Wir haben neben dem Wasser in Lösung solches in hochdisperssem kolloidalem Verteilungszustand. Die Teilchen in diesem Zustand sind nach in der Kolloidchemie allgemein gültigen Auffassungen elektrisch geladen und zwar lädt sich dasjenige Medium mit der höheren Dielektrizitätskonstante, in diesem Falle also das Wasser, positiv auf. Diese Tröpfchen folgen wohl der Brown'schen Bewegung, sie werden aber infolge ihrer gleichartigen Ladung abgestossen und an der Vereinigung gehindert. Die Emulsion ist also im Gegenteil beständig und verändert sich nicht im Sinne des Hrn. Chadburn. Im günstigsten Fall findet eine Verschiebung und Konzentrationsänderung statt, wie in der Originalarbeit bereits ausgeführt worden ist.

Die von uns erhaltenen ungünstigen Werte sind nicht abhängig von einer ungeeigneten Zentrifuge, wie Hr. Chadburn meint, sondern sie können auch mit in De Laval Separatoren behandelten Oelen erreicht werden, sie sind ganz einfach im Wesen des Vorganges begründet. Was nun die Spezialkonstruktion anbelangt, so möchte ich betonen, dass heute verschiedene andere Zentrifugen im Handel sind, die bedeutend einfacher sind in ihrer Konstruktion, aber auch nicht über die dem Verfahren als solchem anhängenden Mängel hinwegkommen.

Im folgenden möchte ich noch die Spezialpunkte aus der Antwort des Hrn. Chadburn widerlegen:

Zu 1. Die Angaben stimmen nicht ganz, wie ja auch aus dem oben erwähnten Versuch der

Westinghouse Co. hervorgeht, vor allem aber nicht, wenn man die Leistungsfähigkeit und die erforderliche Heizung in Berücksichtigung zieht. Genauere Angaben über diesen letzten Punkt finden sich in den Berechnungen des Hrn. Knecht im Bulletin des S.E.V. 1924, No. 10, Seite 525.

Zu 2. Die unglaublich hohen Durchschlagsfestigkeiten sind Werte, die wesentlich vom Dispersitätsgrad des Wassers abhängig sind, wie schon im Originalbericht erläutert wurde, und sind stark von der Zeit abhängig. Die gleichen Werte können bei filtriertem Oel bei fachmännischer Behandlung auch erreicht werden. Dass übrigens bei Betriebsversuchen mit der Zentrifuge (siehe obige Angaben von Westinghouse) die Resultate keine staunenerregenden sind, beweisen die oben besprochenen Untersuchungen.

Zu 3. Man kann die Zentrifuge allerdings ohne Ueberwachung laufen lassen. Die Reinigung erfordert jedoch einen gelernten Mann.

Zu 4. Aus 3 ergibt sich somit ohne weiteres, dass die De Laval-Konstruktion wesentlich vom menschlichen Faktor abhängig ist, da nur gelernte Leute das Zusammensetzen der Ringe auf richtige Art und Weise besorgen können. Es kommt als weitere Komplikation hinzu, dass, je nach der Mischung von Wasser und Oel und dem gewünschten Endeffekt, verschiedene Ringsysteme verwendet werden müssen. Die Auswahl der richtigen Ringe ist wohl auch vom menschlichen Faktor abhängig.

Zu 5. Dies ist der einzige Punkt, mit dem ich mich einverstanden erklären kann.

Zu 6. Die Behauptung, dass öllösliche Säuren, die als Oxydationsprodukte im Mineralöl vorkommen, durch das Zentrifugieren entfernt werden können, ist falsch. Es stehen eine grosse Menge von Versuchsergebnissen zur Verfügung, die das eindeutig beweisen. Es ist aber auch, rein vernunftsmässig betrachtet, ganz unmöglich, dass in der Zentrifuge diese Säuren entfernt werden können. Ihr spez. Gewicht ist sehr wenig verschieden von demjenigen des Oeles. Die Säuren sind in Wasser unlöslich. Sie haben allerdings eine verhältnismässig grosse Affinität zu Wasser, halten dieses aber adsorptiv in starkem Masse zurück. Da bei höheren Temperaturen wesentlich mehr Wasser gelöst wird, so haben wir den wiederholt erwähnten Effekt der nachträglichen Dispersitätsgradänderung desselben in erhöhtem Masse und das Waschen der Oele mit Wasser ist aus diesem Grunde vollständig falsch und ungeeignet.

Einer der Hauptnachteile ist im weiteren die Nichtentfernung des öllöslichen Schlammes. Wir haben bei der Besprechung der Versuche der Westinghouse Co. gesehen, dass die Zentrifuge bei tieferen Temperaturen infolge der geringeren Ausbeute unwirtschaftlich arbeitet und der gewünschte Effekt nicht erreicht wird und dass darum die Entfernung des öllöslichen Schlammes durch Arbeiten bei niedriger Temperatur unmöglich ist, währenddem derselbe bei der Filterpresse ohne spezielle Umstellung aus dem Oele entfernt wird. Durch die Entfernung der von Hrn. Chadburn als Schlammkern bezeichneten Fasern usw. wird die Zersetzung des Oeles und die damit zusammenhängende Verschlammung in keiner Weise

beeinflusst. Diese Erscheinung steht im Zusammenhang mit der Konstitution der Oele und ist eine rein chemische Reaktion.

Einen weiteren wichtigen Punkt möchte ich hier noch nachtragen. Im kalten Oel sind 16 bis 18 Volum % Sauerstoff löslich. Die Löslichkeit nimmt bei erhöhter Temperatur bis zu einem gewissen Grade noch zu. Gleichzeitig ist aber auch die Reaktionsfähigkeit grösser geworden. Beim Zentrifugieren findet nun eine innige Mischung mit Luft statt, so dass diese Reaktionen speziell stark in Erscheinung treten können. Daher schreibt auch die General Electric Co. in einem Bericht über die

Zentrifuge folgendes: Der heutige Transformatorbau sucht möglichst geschlossene Oelsysteme zur Anwendung zu bringen, um die Zersetzung des Oeles zu verhindern und damit einen möglichst einwandfreien Betrieb der für die Kraftversorgung so wichtigen Transformatoren zu gewährleisten. Durch das Zentrifugieren aber wird nun gerade dieser Vorteil illusorisch gemacht. Wie weit diese Oxydation unter Umständen gehen kann, geht daraus hervor, dass mir ein Lackfabrikant erzählte, dass, wenn er Leinöl zentrifugiere, ein typischer Geruch nach verbranntem Oel zu beobachten sei.

Miscellanea.

Troisième session de la Conférence internationale des grands réseaux à haute tension 1925 à Paris. Le secrétariat général de la Conférence nous demande de publier la note suivante:

„Les dates définitives des séances de la prochaine session viennent d'être arrêtées comme suit par le Bureau de la Conférence:

Séance d'ouverture: mardi 16 juin, à 16 heures.
Séances de travail: mercredi 17, jeudi 18, vendredi 19 juin.

Repos et éventuellement excursions: samedi 20 et dimanche 21 juin.

Séances de travail: lundi 22, mardi 23 et mercredi 24 juin.

Séance de clôture: jeudi 25 juin, à 10 heures du matin.

Il est rappelé que la Conférence a pour objet d'étudier *tous les problèmes qui concernent la construction et l'exploitation des grands réseaux de transport d'énergie électrique à haute tension* et que ces études sont réparties entre trois sections.

1^{re} section: Production de l'énergie

2^{me} section: Construction des lignes

3^{me} section: Exploitation des réseaux.

La Conférence n'a fixé ni limite inférieure, ni limite supérieure aux tensions dont elle entend s'occuper et son programme, fixé par elle-même, est le même qu'en 1921 et 1923.

La Conférence vient d'enregistrer l'adhésion de trois nouveaux pays qui ne s'étaient pas fait inscrire jusqu'ici: la Roumanie, les Indes et l'Australie, ce qui porte à 23 le nombre des pays adhérents.

Le registre des inscriptions à la Conférence est ouvert depuis le 1^{er} janvier dernier.

Le secrétariat général de la Conférence, boulevard Malesherbes 25, à Paris, enverra à première demande tous les renseignements nécessaires, et en particulier, une notice détaillée sur la session.

La ligne du Service de l'électricité de la Commune de Lausanne, servant au transport d'énergie par courant continu, système série (tension 25 000 volts, courant 150 A constants) entre la centrale du Bois-Noir (St-Maurice) et la station transformatrice de Pierre-de Plan-(Lausanne), a été démolie récemment. Cette ligne, de 55 km de longueur, constituée par deux câbles de cuivre de 150 mm² de section, à 37 brins, a été en service pendant un quart de siècle environ. On a pu se rendre compte au bout de ce temps:

1^o que l'âme centrale, de 7 brins, était demeurée intacte et brillante, sans traces d'oxydation;

2^o que la couche de 12 brins ne laissait voir que des marques insignifiantes de fatigue mécanique aux endroits où le câble avait été plié; le cuivre n'était pour ainsi dire pas oxydé.

Il est intéressant de constater que la couronne extérieure des câbles métalliques nous assure une protection excellente des fils intérieurs contre les influences atmosphériques. Les deux couches périphériques d'un câble de 37 fils garantissent en tous cas une étanchéité absolue des 7 fils centraux, ce qui est à noter tout spécialement pour les câbles mixtes, dont l'âme d'acier est ainsi parfaitement protégée par l'enveloppe d'aluminium.

Schweizer Mustermesse. Die IX. Schweizer Mustermesse findet vom 18. bis 28. April 1925 in Basel statt.

Normalienentwürfe und Normalien.

Mineralöle für Transformatoren und Schalter.

Schweizerische Lieferungsbedingungen und Anforderungen an solche, mit einem Vorwort von

Dr. H. Stäger, Baden (Schweiz)

über die Herkunft und die Eigenschaften der Oele und die Prüfungsmethoden derselben in verschiedenen Ländern.

Einleitung.

Die Erdkruste besteht in ihrer Grundmasse aus mineralischen, feuerbeständigen Stoffen. Daneben enthält sie aber auch organische Substanzen, die verbrennlich sind und in fester, flüssiger, oder gasförmiger Form auftreten können, die sogenannten Organoide, Organolithe oder Kaustobiolithe. Unter diese Gruppe der in der Natur vorkommenden organischen Mineralien haben wir das sogenannte Bitumen zu rechnen, zu dem dann seinerseits wieder das Erdöl oder Mineralöl gehört. Grosse Mengen des letztgenannten werden in Transformatoren und Schaltern als Isolieröle und im Maschinenbau als Schmieröle verwendet. Um einen allgemeinen Ueberblick über die Herkunft der so wichtigen Bau- und Werkstoffe zu bekommen, soll hier zuerst der genetische Zusammenhang, das Vorkommen in der Natur und die Bearbeitung behandelt werden.

Unter Bitumen versteht man nach Engler¹⁾: organogene fossile Stoffe von fester, flüssiger oder gasförmiger Aggregatform, welche in der Hauptsache aus Kohlenstoff und wasserstoffhaltigen Verbindungen bestehen und ausserdem fast immer Sauerstoff, Stickstoff und Schwefel enthalten. Die Einreihung des uns hauptsächlich interessierenden

sache in Form von Oelen in der Natur vorkommen, unter der Begriffsbezeichnung Erdöl oder Steinöl und von Oelen, die sekundär aus Mineralien bzw. aus fossilen Grundstoffen durch pyrogene Reaktionen hergestellt werden.

Als Ergänzung dazu möchte ich noch die Definition geben, wie sie auf Grund einer Rundfrage vom Verein Deutscher Chemiker 1922⁴⁾ angenommen worden ist: Unter dem Begriff Mineralöl werden im allgemeinen Handelsgebrauch ebenso wie in der wissenschaftlichen und technischen Literatur diejenigen ölartigen Stoffe verstanden, die im Gegensatz zu tierischen und pflanzlichen Fettstoffen nicht verseifbar sind. Chemisch sind die Kohlenwasserstoffe, aus denen sie aufgebaut sind, vorwiegend aliphatischer und naphtenischer Natur. Sie entstammen dem Mineralreich, indem sie vorgelagert als Erdöl vorkommen, oder aus dem sie durch destruktive Destillation der darin enthaltenen bituminösen Stoffe gebildet werden.

Die verseifbaren tierischen und pflanzlichen Oele und Fette sind Stoffwechselprodukte, die Mineralöle dagegen unverseifbare Kohlenwasserstoffe, die im Laufe geologischer Perioden sich gebildet haben. Längere Zeit haben hauptsächlich

Rohbitumina

Verseifbare		Unverseifbare			
Sapropelwachs Algenwachs Braunkohlenbitumen Montanwachs	Erdgas		Erdöl		Naturasphalt
	Hauptbestandteil Methan		Destillate	Rückstand	feste, zähflüssige Kohlenwasserstoffe, zum Teil schwefelhaltig
			Petroleum Paraffin Benzin Schmieröle Isolieröle	Schmieröle (Zylinderöle) Erdölpech Petrokoks	
				fest Ozokerit daraus die Destillate: Paraffin, Oel und Kabelwachs	

Erdöles in diese grosse Körperklasse ergibt sich aus der nachfolgenden Zusammenstellung, die von Holde²⁾ angegeben worden ist.

Durch Destillation wird aus dem Erdöl das eigentliche Mineralöl gewonnen, aus dem dann die Isolieröle durch geeignete Behandlung hergestellt werden. Wir haben oben eine Definition für den Begriff Bitumen gegeben; im folgenden soll noch eine genaue Fassung des Begriffes Mineralöl angeführt werden, da heute viele ungenaue Definitionen in der Literatur zu finden sind.

Frank³⁾ sagt: Mineralöl ist die Bezeichnung für eine Gruppe von Körpern, die in der Haupt-

zwei Theorien über die Entstehung dieser Körper die Literatur beherrscht: Die *anorganische*, von Mendeleeff, Sabatier und Senderens begründet, die annimmt, dass durch Einwirkung von Kohlenstoff auf Metalle sich Metallkarbide in der Natur gebildet haben, die sich unter der Einwirkung von Wasser in Kohlenwasserstoffe zersetzen. Durch Vereinigung mehrerer einfacher Moleküle (Polymerisation) sollen dann die Erdöle entstanden sein. Moissan gelang es tatsächlich, durch geeignete Versuchsbedingungen diesen ähnliche Produkte darzustellen. Die anorganische Theorie war nicht imstande, gewisse beobachtete Tatsachen und Eigenschaften zu erklären, und so ist man heute allgemein zur *organischen* Theorie übergegangen, die hauptsächlich von Engler und Höfer

¹⁾ Engler-Höfer, das Erdöl, Bd. I, 5.

²⁾ Holde, Kohlenwasserstofföle und Fette. 6. Auflage. Berlin 1924.

³⁾ Die Isolierstoffe der Elektrotechnik. Springer, 1924, Seite 337.

⁴⁾ Z. f. ang. Ch., Seiten 35 und 306 (1922).

begründet worden ist. Diese Forscher leiten die Mineralöle ab von abgestorbenen tierischen und niedern pflanzlichen Organismen. Bei der Verwesung derselben werden zunächst die stickstoffhaltigen Eiweissstoffe unter Bildung von Ammoniak und löslichen Verbindungen zersetzt, zurück bleiben die beständigen Wachs- und Fettstoffe, die das eigentliche Ausgangsmaterial für das Erdöl bilden. Engler ist es auch experimentell gelungen, Fett- und Waskörper ohne Kohlenstoffabscheidung in Kohlenwasserstoffe überzuführen⁵⁾. (Er führte die Versuche so aus, dass er ein knieförmig gebogenes, zugeschmolzenes Rohr mit dem einen Schenkel im Kanonenofen auf 400° erhitzte und in dem ausserhalb des Ofens befindlichen Schenkel ein Druckdestillat aus Benzin, Petroleum, Schmieröl und Pechstoffen erhielt.) Für die Bildung in der Natur sind keine so hohen Temperaturen anzunehmen, dagegen bedeutend längere Zeiten und grosse Drucke. Der anorganischen Theorie war es vor allem nicht möglich gewesen, die optische Aktivität (Drehung der Ebene des polarisierten Lichtes), die oft an solchen Oelen zu beachten ist, zu erklären. Marcussen war dies im Zusammenhang mit der organischen Auffassung jedoch imstande zu tun, auf Grund der Annahme, dass diese durch Cholesterin verursacht werde (Cholesterin ist ein kompliziert gebauter Alkohol, der als steter Begleiter der tierischen Fette vorkommt und bei der Zersetzung optisch aktive Spaltprodukte ergibt. Die pflanzlichen Fettstoffe werden von einem ähnlichen Körper, dem Phytosterin, begleitet). Diese rein chemische Bildungstheorie ist in neuerer Zeit ergänzt worden durch die Untersuchungen von Potonié. Er hat nachgewiesen, dass der sogenannte Faulschlamm (Sapropel), der in stagnierenden Gewässern, in denen Pflanzen-⁶⁾ und Tierleichen infolge Sauerstoffmangels verfaulen statt verwesen, als erste Stufe der Erdölbildung zu betrachten ist. Die Nichtfettstoffe (Eiweiss und Zellulose) faulen zuerst weg, und dadurch entsteht eine Anreicherung von Fettkörpern. Dabei bildet sich ein graugrüner Schlamm, der durch überlagernde Schichten unter Druck gesetzt wird und eine feste, schiefrige Struktur erhält (Scheratorf, Saprokoll, Faulkohlen). Diese Umwandlung bezeichnet man als Bituminisierung. Sie erfolgt also nicht katastrophal durch massenhaftes Absterben und Anreichern von Leichen, sondern durch täglich gegebene Bedingungen. Das so entstandene feste Bitumen ergibt dann erst sekundär das flüssige Erdöl. Aus diesem Umwandlungsprozess haben wir zwei charakteristische Hauptperioden festzuhalten:

- Uebergang von fettartigen Harz- und Wachsresten über lösliche Uebergangsformen in unlösliches, hochmolekulares Bitumen.
- Abbau dieser hochmolekularen Komplexe durch Wirkung von Druck und Wärme.

Auf diesen Tatsachen hat Engler die folgende Einteilung der Bitumina begründet:

⁵⁾ Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft, Seiten 21, 22, 26 und 30.

⁶⁾ Dabei sind hauptsächlich die niedern Pflanzen (Plankton, Wasserpflanzen und Algen) von Bedeutung, da diese mehr Fettstoffe enthalten als die höhern Landpflanzen und damit dem Tierreiche näher stehen.

- Anabitumen, das in Bildung begriffene Bitumen (Sapropelwachs, Pyropissit, Leichenwachs), das löslich ist und aus Wachsen und freien Säuren besteht, mehr oder weniger Kohlenwasserstoffe enthält.
- a) Polybitumen. Polymerisations- und Kondensationsprodukte, die unlöslich sind (bituminöse Gesteine, Bogheadkohle). Es enthält hochmolekulare, polymerisierte, zum Teil oxydierte Kohlenwasserstoffe.
- b) Katabitumen. Das unter 2 a) genannte Bitumen beginnt zu zerfallen und wird in der Wärme löslich.
- Elgonobitumen. *Erdöl*, bestehend aus Kohlenwasserstoffen mit Resten der unter 1 und 2 genannten Arten.
- Oxybitumen oder Asphalt. Durch Oxydation und Polymerisation aus 3 entstanden.

Die Gesamtmetamorphose ist aber nicht unbedingt an diese Genesis gebunden. Es können auch Zwischenstufen übereinandergreifen und damit genetisch nicht aufeinanderfolgende Bitumen miteinander verbinden. Daraus ist denn auch die grosse Mannigfaltigkeit der Rohöle erklärt, wie wir weiter unten noch sehen werden.

Auf Grund dieser Feststellung ist es erklärlich, dass die Erdöle nicht an spezielle geologische Zeiten gebunden sind, sondern in den verschiedensten Schichten auftreten können. Infolge des flüssigen Zustandes sind sie allerdings nicht fähig, Schichten zu bilden, sondern sie bedürfen eines Trägers; wo sie also vorkommen, bilden sie sogenannte Imprägnationslagerstätten, d. h. sie durchtränken die Poren und Klüfte poröser Gesteine⁷⁾. Es ist ganz ausgeschlossen, dass dichte Gesteine erdölführend sind. Es kommen dafür hauptsächlich Sande und poröse Sandsteine, also Sedimente, in Betracht. Eine wichtige Forderung, die weiterhin noch erfüllt werden muss, damit sich grosse Ansammlungen bilden können, ist das Vorhandensein von dichten Schichten, die das poröse Gestein einschliessen. Vor allem muss eine abschliessende Unterlage wie Ton, Tonschiefer und dergleichen vorhanden sein. Fig. 1 gibt ein geologisches Profil,

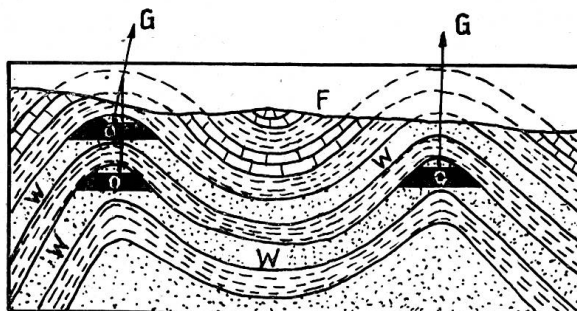


Fig. 1.

O = Oel. W = Wasser. G = Gas. F = Oberfläche.

das das Vorkommen von Erdöl in Vereinigung mit Wasser in einer sogenannten Antiklinale zeigt: Das Wasser sammelt sich zu unterst als spezifisch schwerere Flüssigkeit, darauf schichtet sich das Oel und das dieses begleitende Erdgas, die gasförmigen Zersetzungsprodukte. Wenn kein

⁷⁾ Ausführliches findet der Interessent in Höfer, das Erdöl, Bd. II. Blumer, Erdöllagerstätten, Enke 1923.

Wasser vorhanden ist, dann kann das Oel auch in einer Synklinale vorkommen, wie Fig. 2 zeigt.

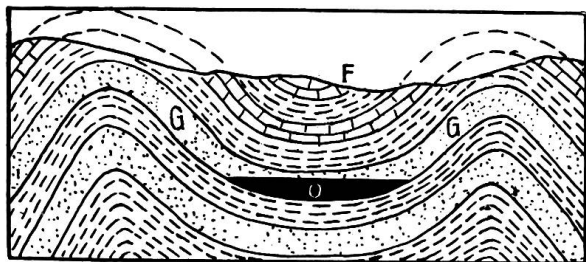


Fig. 2.

O = Oel. G = Gas. F = Oberfläche.

Als allgemeine Regeln für das Vorkommen von Erdöl können folgende genannt werden:

1. Es kommt in Sedimentgesteinen aller geologischen Formationen vom Silur an aufwärts vor.

2. Das Erdöl hat keine Beziehungen zu vulkanischen oder eruptiven Vorgängen in der Erdkruste. Es scheinen jedoch in gewissen Kohlenablagerungen verwandtschaftliche Beziehungen zwischen Kohle und Erdöl zu bestehen.

3. Die grössten Lagerstätten sind an Orten zu erwarten, wo die Schichtenfolge möglichst ungestört ist.

4. Bei gefalteten Schichten tritt es hauptsächlich in Antiklinalen auf.

5. Eine wichtige Bedingung für produktive Gas- und Oelfelder ist die undurchlässige Deckschicht.

6. Gewöhnlich wird das Oel von Salzwasser in der gleichen Schicht begleitet.

Die ölführenden Schichten werden zur Gewinnung des Erdöles angebohrt und dieses wird durch Pumpen gewonnen. Oft genügt der vorhandene Gasdruck, um es an die Oberfläche zu befördern. So entstehen z. B. die sogenannten Springer, bei denen das Oel in grossen Mengen, ähnlich wie bei artesischen Brunnen das Wasser, ausgeworfen wird.

Je nach dem Fundorte sind auch die Röhöle verschieden zusammengesetzt, d. h. sie enthalten verschiedene Gruppen von Kohlenwasserstoffen. Obwohl die in einer Region gebohrten Oele gewöhnlich eine ähnliche Zusammensetzung haben, so hat man doch auch schon die Beobachtung gemacht, dass Verschiedenheiten in einem und demselben Bohrloch vorhanden sein können. Die beste Klassifizierung der Röhöle hat Höfer⁸⁾ gegeben. Er unterscheidet folgende Haupttypen:

1. Methanöle, die mehr als 66% Paraffinkohlenwasserstoffe enthalten (also von kettenförmiger Struktur sind).
2. Naphtenöle, mit mehr als 66% Naphtenen (ringförmigen, gesättigten Kohlenwasserstoffen).
3. Naphmethanöle, weder Naphten noch Methan mehr als 66%.
4. Erdöl abnormaler Zusammensetzung.

Geologisch ergibt sich, dass die Naphtenöle die jüngsten sind. Daraus bilden sich die Naphmethanöle, und als die ältesten haben wir die Methanöle anzusehen. Es scheint sehr unwahr-

scheinlich, dass für die verschiedenen Oeltypen verschiedene Ursprungsmaterialien vorhanden waren, wie ja die Naphmethanöle beweisen. Auf Grund obiger Klassifizierung können wir die verschiedenen Oelgebiete unterscheiden. So z. B. finden wir Oele von Typus 1 in Pennsylvanien, West-Virginien, solche von Typus 2 in Texas, Louisiana, Kalifornien und Russland, von Typus 3 in Ohio, Indiana, Illinois, in gewissen rumänischen Gegenden. Als Fundstelle für 4 kann Borneo (armatische Konstitution) bezeichnet werden. Die erbohrten Röhöle können aber nicht ohne weiteres in brauchbare Mineralöle verarbeitet werden. Sie sind nicht nur verschieden in bezug auf ihre Zusammensetzung vom chemischen Standpunkte aus, d. h. sie enthalten nicht nur verschiedene Körperklassen je nach dem Fundorte, sondern unterscheiden sich auch durch verschiedene Zusammensetzung der einzelnen Fraktionen bei der Destillation. So gibt es Oele, die sehr viel leichtflüssige Bestandteile enthalten und damit zur Benzinfabrikation geeignet sind. Andere wiederum enthalten mehr schwerflüchtige Anteile, aus denen Schmieröle gewonnen werden können. Es sollen hier an Hand einiger Analysen die Unterschiede gezeigt werden: Ein pensylvanisches Rohöl war z. B. folgendermassen zusammengesetzt (Angaben von Redwood⁹⁾):

Spez. Gewicht . . .	= 0,789
Benzin	= 32%
Kerosin (Petroleum)	= 64,4%
Destillationsrückstand	= 3,6%

Ein anderes pensylvanisches Rohöl ergab bei der Probedestillation folgende Zusammensetzung:

Spez. Gewicht . . .	= 0,810
Benzin	= 20%
Kerosin	= 50%
Schmieröl	= 25,5%
Koks	= 1,2%

Russisches Erdöl aus der Gegend von Tiflis hatte folgende Zusammensetzung (nach Angabe von Schädler):

Spez. Gewicht . . .	= 0,90
Benzin	= 5,9%
Kerosin	= 23,5%
Schmieröl	= 60,1%
Rückstand	= 10,5%

oder ein anderes aus dem Gouverneme Elisavetpol:

Spez. Gewicht . . .	= 0,95 – 0,96
Heizöl	= 40%
Zylinderöl	= 40%
Goudron (Pechartige Stoffe)	= 15%
Verlust	= 5%

Um für die verschiedenen Verwendungszwecke geeignete Oele herstellen zu können, ist vor allem die Auswahl der richtigen Rohmaterialien ausserordentlich wichtig. Inwiefern das für die Fabrikation von Transformatoren und Schalterölen von Bedeutung ist, werden wir weiter unten in anderem Zusammenhange sehen.

Es soll hier noch mit einigen Worten auf die Verarbeitung der Röhöle eingegangen werden. Diese werden in Kesseln stehender oder liegender Bauart in einzelne Fraktionen zerlegt. Es

⁸⁾ Chemiker-Zeitung 46, 42 (1922).

⁹⁾ Petroleum, Bd. I, 196 (1904).

muss dabei aber speziell darauf geachtet werden, dass keine unerwünschten Zersetzungen stattfinden. Heute sind allgemein für diesen Zweck gebräuchlich die Vakuumdestillation oder die Destillation mit überhitztem Wasserdampf, wobei dieser möglichst überhitzt sein muss, damit er die dem Feuer ausgesetzten Wandungen der Destillationsgefässe dauernd bestrahle und so eine gewisse Schutzschicht bilde zwischen der heissen Kesselwandung und dem Oel. Diese beiden Verfahren können auch vereinigt werden, und für spezielle Zwecke wird dann eine kombinierte Vakuumwasserdampfdestillation durchgeführt. So werden einzelne Fraktionen erhalten, und aus diesen Konzentraten können dann die eigentlichen Gebrauchsöle aufgearbeitet werden.

Wir haben schon am Anfang bei der Zusammenstellung über die Bitumina gesehen, in welche Kategorie die uns interessierenden Öle einzu-reihen sind. Die dort gegebene Tabelle soll im folgenden noch erweitert werden, da wir jetzt auch die einzelnen aus dem Erdöl abgeschiedenen Destillationsprodukte klassifizieren können.

und Harzstoffe enthalten, die aus sauerstoff-, schwefel-, stickstoffhaltigen Verbindungen aufgebaut sind; oft bilden sich noch trotz vorsichtigster Destillation Zersetzungsprodukte, die mit den erstgenannten Verbindungen die Qualität der Öle wesentlich verschlechtern. Sie werden durch diese Stoffe vor allem sehr unbeständig gegen Temperatur- und Oxydationseinflüsse. Gerade für Isolieröle muss aber eine gute Widerstandsfähigkeit in dieser Richtung verlangt werden. Der ganze Komplex von unerwünschten Beimischungen muss daher im Aufarbeitungsprozess entfernt werden, was bei der sogenannten Raffination geschieht. Von allen vorgeschlagenen Reinigungsmethoden hat sich bis heute die kombinierte Schwefelsäure-Aetznatronraffination am besten bewährt und sie ist auch am weitesten verbreitet. Weiter oben haben wir gesehen, dass die Erdöle aus Kohlenwasserstoffen der Paraffin- und Naphtenreihe aufgebaut sind. Diese beiden sind gegen Schwefelsäure in reinem Zustande sehr resistent, währenddem die eben erwähnten Beimischungen und die ungesättigten Verbindungen

Fraktion	Verwendungszweck
1. Benzin und leichtflüchtige Destillate a) Petroläther. b) Rigolin. c) Lösungsbenzine. d) Benzine	für Kautschuk-, Fett-, Lacklösungsmittel, Lösungsmittel für Laboratorien. für Explosionsmotoren-Betriebsstoff.
2. Kerosin und Leuchtöle a) Leuchtöle b) Brennöle c) Weisskerosine.	für Beleuchtung und Heizung (Lampen und Oefen). für stehende Explosionsmaschinen. für „Craking“ (Zersetzung unter Hitze und Druck in Benzin).
3. Schwere, nicht viskose Öle: a) Gasöl b) Absorptionsöl. c) Dieselmotorenöl.	für Herstellung von Pintsch und Blaugas (Oelgas). für „Craking“ zur Hausbeheizung, Verschneiden von Schmierölen, Reinigung von Maschinen, Absorption von Benzol und Benzin aus Erdgas, Dieselmotoren-Betriebsstoff.
4. Schwere viskose Destillate a) Medizinische Öle b) Emulgierende Öle c) Schmieröle d) Isolieröle e) Vaseline f) Paraffine.	für Salben, Cremen, Medikamente. für Bohröle, Kühlöle. für alle möglichen Schmierzwecke. für elektrische Isolation. für Compound-Kabelvergussmassen.
5. Flüssige Rückstände a) Heizöle b) dickflüssige Rückstände. c) Zylinderöle	für Brennmaterial für Kraftzentralen. für Strassenteerung (Macadam). für Wasserdichtungen. für Heissdampf-Zylinderschmierung.
6. Halbfeste und feste Rückstände . . a) Asphalt b) Pech c) Koks.	für Strassenimprägnierung, Wasserdichtungsmittel. für Kohlenbürsten, Kohlenelektroden, im Baugewerbe.

Von allen oben angeführten Fraktionen interessiert uns hier nur Nr. 4, die das Ausgangsmaterial zur Herstellung der Isolieröle enthält.

Man darf keineswegs glauben, dass bei der Destillation der Rohöle gebrauchsfähige Öle entstanden seien. In allen diesen einzelnen Fraktionen sind mehr oder weniger grosse Mengen Asphalt

von dieser angegriffen werden, in wasserlösliche Verbindungen übergehen und so ausgewaschen werden können. Die in der ersten Reinigungsstufe zugesetzte Säure wird in der zweiten durch Aetznatron neutralisiert und schliesslich auch dieses Reagenz ausgewaschen. Um die letzten Reste von schädlich wirkenden Beimischungen zu entfernen,

werden die raffinierten Öle noch filtriert. Als Filtermedien kommen dabei gewisse in der Natur vorkommende, sehr adsorptiv wirkende Kieselsäureverbindungen, wie Fullererde und Filtrol zur Verwendung. Dieser Prozess kann verschieden durchgeführt werden, entweder so, dass man das zu reinigende Öl mit der betreffenden Filtersubstanz mischt und die Mischung durch Filterpressen trennt, oder dadurch, dass man das Öl perkoliert, d. h. langsam durch dicke Filterschichten durchfließen lässt.

Damit wären wir am Endpunkte der Besprechung der Gewinnung und Herstellung von Isolierölen angelangt und können nun die Frage behandeln, wie die so gewonnenen Öle verwendet werden und was für Bedingungen sie im Betriebe von Schaltern und Transformatoren zu genügen haben.

Bevor wir jedoch dazu übergehen, soll noch darauf aufmerksam gemacht werden, dass neben Mineralölen auch noch die unter dem Sammelnamen Harzöl bekannten Öle in Transformatoren verwendet werden. Obschon sich die vorliegenden Normalien zur Lieferung von Isolierölen nicht auf diese beziehen, so ist es vielleicht doch von Nutzen, wenn hier noch einige Worte darüber gesagt werden, umso mehr als wir im nächsten Abschnitt Gelegenheit haben, einige Vergleiche mit den heute gebräuchlichen Mineralölen zu machen. Wie wir oben gesehen haben, sind die letzteren durch Destillation und Raffination aus dem in der Natur vorkommenden Erdöl, aus Kohlenwasserstoffen bestehende Stoffe. Die Harzöle dagegen werden erhalten bei der Destillation von Kolophonium bei direkter Erhitzung. Dabei entstehen neben leicht flüchtigem, dünnflüssigem Harzspiritus oder Pinolin schwerere öartige Destillationsprodukte, die oberhalb 300° überdestillieren und als Harzöle bezeichnet werden. Im Gegensatz zu den Mineralölen bestehen diese bis zu 30% aus mitgerissenen sauren Harzanteilen und zum Rest aus ringförmigen Kohlenwasserstoffen. Um sie als Isolieröle brauchbar zu machen, müssen die so erhaltenen Rohöle ebenfalls raffiniert, d. h. gereinigt werden, und zwar geschieht dies mit Hilfe von Säuren, Aetznatron und Aetzkalk. Wir werden weiter unten auf die speziellen Eigenschaften der Harzöle noch näher eingehen.

Verhalten der Isolieröle im Transformator.

Wie schon in der Einleitung angedeutet wurde, müssen an Öle, die im Betriebe von Transformatoren verwendet werden sollen, die höchsten Anforderungen gestellt werden. Sie müssen nicht nur gewisse physikalische Eigenschaften, wie eine bestimmte Viskosität (die eine gute Kühlwirkung verbürgen soll), oder eine hohe Durchschlagsfestigkeit (von der die gute Isolierfähigkeit abhängig ist) besitzen, sondern vor allem auch müssen sie chemisch sehr beständig sein. Durch den Sauerstoff der Luft, mit dem das Öl in Berührung kommt, oder der in ihm gelöst sein kann, wird es oxydiert, d. h. zersetzt. Gewisse Reaktionsprodukte beeinflussen vor allem die erste der beiden oben genannten Forderungen in ungünstigem Sinne. Andere wieder, so das eventuell gebildete Wasser, beeinträchtigen die Durchschlagsfestigkeit. Es können sich aber auch Zer-

setzungsprodukte bilden, die die Isoliermaterialien angreifen.

Als wichtigste Eigenschaften können daher die folgenden gelten:

- I. Die Öle müssen neutral sein und dürfen die Isoliermaterialien nicht angreifen.
- II. Um die Brandgefahr einzuschränken, sollen Flamm- und Brennpunkt nicht gewisse minimale Werte unterschreiten.
- III. Bei niedriger Viskosität sollen sie kältebeständig sein.
- IV. Bei längerer Erwärmung dürfen keine Säure noch feste Reaktionsprodukte gebildet werden.
- V. Die Öle sollen gute Isolierfähigkeit aufweisen.

Von diesen Anforderungen werden nicht alle in gleichem Masse bei der folgenden Besprechung berücksichtigt werden müssen, da I, II und III von den Ölfabrikanten bei richtiger Auswahl der Rohmaterialien ohne weiteres eingehalten werden können. Es handelt sich vor allem darum, für die Oellieferungsbedingungen die für beide Parteien, Ölfabrikanten und Konstrukteur, günstigsten Bedingungen herauszufinden und vorzuschreiben.

Zu Punkt I sind weiter keine Bemerkungen zu machen. Die nötigen Angaben finden sich in den vorliegenden Normalien genügend erläutert. Im Zusammenhang mit den andern, in der Wärme sich abspielenden Reaktionen werden wir dann auf diejenigen Zersetzungsprodukte zu sprechen kommen, die die Isolation zerstören.

Zu Punkt II. Der Flammpunkt ist diejenige Temperatur, bei der aus dem erhitzten Öl genügend Dämpfe entweichen, um an der Oberfläche ein explosives Gemisch zu bilden. Dabei muss man sich aber immer vor Augen halten, dass dies nicht der Punkt ist, bei dem das Öl weiterbrennt, nachdem die zündende Flamme entfernt worden ist. Das ist erst der Fall beim Brennpunkt. Der Flammpunkt gibt nur einen Hinweis auf die Temperatur, bei der aus der Flüssigkeit so viel Dämpfe entwickelt werden, dass die untere Explosionsgrenze erreicht ist. Theoretisch würde der „wahre Flammpunkt“ diese Temperatur genauer umschreiben, wobei unter wahren Flammpunkt der Wärmegrad zu verstehen ist, bei dem eine Luftmenge über einer unendlich grossen Ölmenge bei unendlich kleinem Wärmeanstieg ein explosives Gasgemisch ergibt¹⁰⁾. Praktisch ist das aber nicht der Fall, weil die gebräuchlichen Apparate gewöhnlich höhere Temperaturen angeben und oft ziemlich weit auseinanderliegende Werte erhalten werden.

Für die Bestimmung des Flammpunktes hat sich der Apparat von Marcusson sehr eingebürgert. Er ist in den Normalien genau beschrieben und abgebildet, so dass hier nicht darauf eingegangen werden muss; dagegen wollen wir hier noch einige Bemerkungen über die Bedeutung des Flammpunktes anführen. Vor allem muss hier die irrige Auffassung bekämpft werden, dass Brände in Transformatoren durch den niedrigen Flammpunkt verursacht würden. Wir haben oben bereits gesagt, dass beim Flammpunkt wohl die untere Explosionsgrenze erreicht sei, das Öl aber nach Entfernen der Flamme nicht von selbst

¹⁰⁾ Ubbelohde, Festschr. d. III. Petroleumkongresses 1907.

weiterbrennt. Der Brennpunkt liegt aber bei den hier in Betracht kommenden Oelen 20 bis 30° höher. Es ist also kein technisch wichtiger Grund vorhanden, möglichst hohe Flammpunkte zu fordern, um so mehr nicht, als dadurch grosse Gruppen von guten Mineralölen von der Verwendung als Transformatorenöl ausgeschaltet werden. Stern¹¹⁾ sagt in seinen Bemerkungen zu den deutschen Vorschriften für Schalter- und Transformatorenöle mit Recht: Brände in Schaltern und Transformatoren sind meines Erachtens nie durch einen Flammpunkt von 140° verursacht worden. Bei den mir bekannten Bränden ist stets zuerst ein elektrischer Lichtbogen aufgetreten. Er erwähnt dann einen Brandfall, bei dem das verwendete Öl einen Flammpunkt von 170° hatte und fügt bei, dass die Temperatur des Lichtbogens von ganz anderer Grössenordnung sei und sich das Öl auch dann entzündet hätte, wenn der Flammpunkt 50 bis 100° höher gewesen wäre.

Im Betriebe soll das Öl nicht wärmer werden als 95° C. Beim Auskochen wird eine Temperatur von max. 110° C angewendet, so dass die Festlegung des Flammpunktes auf 145° im offenen Tiegel in den schweizerischen Vorschriften ohne Bedenken gerechtfertigt ist.

Zur Ergänzung sollen an dieser Stelle noch einige Worte über den Verdampfungsverlust gesagt werden. Früher wurde die Forderung gestellt, dass der Verdampfungsverlust, d. h. die Gewichtsabnahme, bei fünfständigem Erhitzen auf 100° nicht grösser als 0,4% sein dürfe. Diese Bestimmungen sind aber heute fast überall fallen gelassen worden¹²⁾. Zur Begründung ist zu sagen: Der Verdampfungsverlust wird mit der Zeit der Erhitzung immer kleiner, die flüchtigen Bestandteile gehen weg, und damit ist der Verdampfung Einhalt geboten. Zudem ist er je nach der Art der Ausführung des Versuches wesentlich verschieden und es können bis zu 50% falsche Resultate erhalten werden, ganz abgesehen davon, dass der Laboratoriumsversuch mit den Betriebsverhältnissen gar nicht übereinstimmt. Das Öl im Transformator kommt bei gewissen Konstruktionen nur an sehr kleinen Querschnitten in Berührung mit der Aussenluft. Die im Innern des Ölkastens verdampfenden Mengen bleiben zum allergrössten Teil im Kasteninnern und kondensieren sich am Deckel. Stern gibt an, dass eine Verdampfungskurve, die während 30 Stunden bei 100° aufgenommen wurde, ergab, dass die Verluste nach 30 Stunden nur etwa $\frac{1}{3}$ grösser als nach 5 Stunden waren. Bei einem Transformator, der durch Krümmung mit der Aussenluft in Verbindung steht, berechnet sich der jährliche Verlust bei 100° Betriebstemperatur und 5 t Ölfüllung zu 30 cm³. Eingehende Versuche, die in England¹³⁾ ausgeführt worden sind, haben gezeigt, dass die Menge des Oeles, die beim Versuch angewendet wird, einen wesentlichen Einfluss auf den Verdampfungsverlust ausübt. Diese Versuche haben auch gezeigt, dass der Verdampfungsverlust in keinem Zusammenhang mit der Feuchtigkeit des Oeles steht, wie oft behauptet wird. Die Schlussfolgerung in diesem Berichte ist, dass der Ver-

dampfungsverlust keine Bedeutung hat, da er mit den Betriebsverhältnissen keine Analogie zeigt. Damit sind wohl die Argumente, die Mathis¹⁴⁾ für die Bestimmung des Verdampfungsverlustes ins Feld führt, widerlegt. Auf Grund obiger Überlegungen findet man auch in den vorliegenden Lieferungsbedingungen des S. E. V. keine Vorschriften über diesen Gegenstand.

Zu Punkt III. Die Leichtflüssigkeit muss von einem Transformatorenöl gefordert werden, damit eine genügende Kühlwirkung durch ausreichende Zirkulation zustande kommt. Diese Eigenschaft ist bei der heute üblichen Bauart für Freilufttransformatoren speziell wichtig. Analytisch wird sie gemessen durch die sogenannte Viskosität, deren Bestimmung ebenfalls in den vorliegenden Lieferungsbedingungen genau beschrieben ist. Ein gutes Öl soll nach diesen eine Viskosität von 8° E. bei 20° max. aufweisen. Wie verschieden in der Beziehung die Öle verschiedener Herkunft und Zusammensetzung sein können, ersehen wir aus Fig. 3. Kurve 1 gibt den Verlauf der Vis-

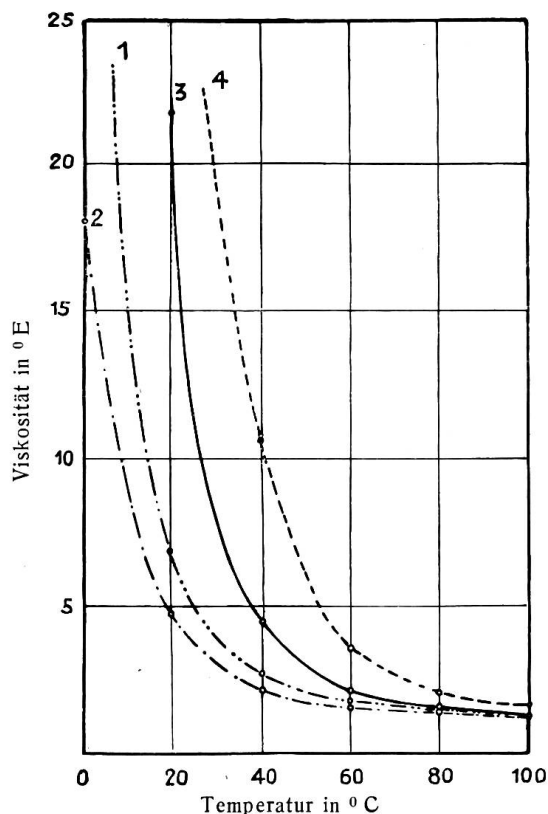


Fig. 3.

kosität bei verschiedenen Temperaturen für ein Methanol, d. h. ein Öl, das aus Paraffinkohlenwasserstoffen zusammengesetzt ist. 2 ist der Viskositätsverlauf für ein Naphtenöl und 3 für ein Harzöl¹⁵⁾. Dabei zeigt sich deutlich, dass die Naphtenöle die flachste und damit günstigste Viskositäts-Temperaturkurve besitzen. Aus 4 ersehen wir, wie stark die Viskosität eines Harzöles in verhältnismässig kurzer Zeit infolge Eindickung geändert wird, währenddem für beide Typen von Mineralölen in der gleichen Zeit

¹¹⁾ E. T. Z. 43, 141 (1922).

¹²⁾ Die Transformatoren- und Schalteröle, Berlin 1923. Mineralöljer for Elektroteknisk Bruk, Kristiania 1923.

¹³⁾ Journal of the Institute of E. E. Vol. 67, 661 (1923).

¹⁴⁾ Revue Générale de l'Electricité, 582 (1923).

¹⁵⁾ Brauen, E. T. Z. 35, 145 (1914).

keine praktische Vergrößerung in der innern Reibung festzustellen ist. Bei höhern Temperaturen sind die Unterschiede ohnehin nicht mehr

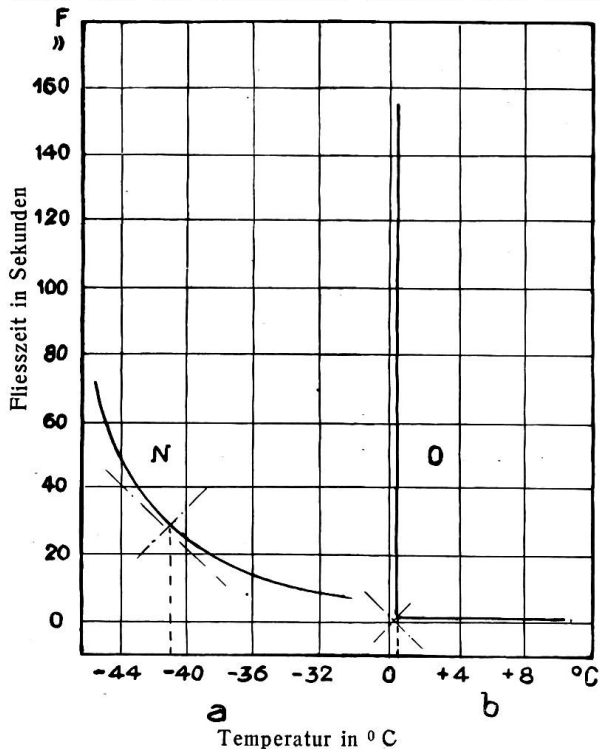


Fig. 4.

N = Naphtenöl. O = Oel mit Paraffinbasis.

sehr gross. Wenn wir dagegen die Kurve nach der entgegengesetzten Seite verfolgen, so werden die Unterschiede immer grösser und grösser, und die beiden Typen von Mineralölen unterscheiden

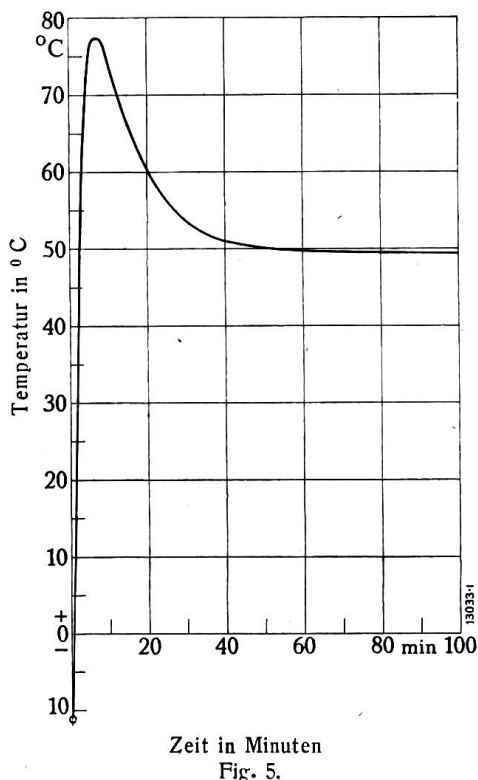


Fig. 5.

sich nun ganz gewaltig. Fig. 4 veranschaulicht das Fliessvermögen bei tiefen Temperaturen. Bei Oelen auf Paraffinbasis (Methanölen) haben wir einen scharfen Knickpunkt in der Kurve; bei einer bestimmten Temperatur scheidet sich das im Oel enthaltene Paraffin und die bei gewöhnlicher Temperatur flüssigen Kohlenwasserstoffe aus, bilden ein netzartiges Gewebe und verhindern dadurch das Fliessen der noch flüssigen Bestandteile. Bei den Naphtenölen dagegen haben wir keinen entsprechenden „Stockpunkt“, das Oel bekommt nach und nach sirupöse Konsistenz, scheidet aber keine festen Stoffe aus und fliesst auch noch bei sehr tiefen Temperaturen. Wie schon oben gesagt, spielt diese Eigenschaft speziell für Freiluftaufstellung von Transformatoren eine wichtige Rolle. Harzöle bleiben auch bei verhältnismässig tiefen Temperaturen immer noch fließende Flüssigkeiten. Um einen Vergleich mit der Praxis zu bekommen, wurden Versuche mit gestocktem Oel bei -11°C und Heizelementen im Versuchsstand der A.-G. Brown Boveri¹⁰⁾ durchgeführt. Fig. 5 zeigt den Verlauf der Temperatur in Abhängigkeit von der Zeit unter diesen Bedingungen. Es findet verhältnismässig rasch eine Einstellung des Gleichgewichtszustandes statt. Bei Transformatoren sind die Verhältnisse noch günstiger, weil die Oberfläche und die Wärmekapazität der wärmeerzeugenden Teile viel grösser ist. Das Auftreten von Störungen ist dagegen eher möglich bei Transformatoren mit Oelumlaufrückführung. Die Rohrleitungen stellen dem gestockten Oel einen grossen Widerstand entgegen, so dass unter Umständen der Druck der Oelzirkulationspumpe nicht mehr ausreicht, um jenes vorwärts zu treiben und genügend in Bewegung zu halten. Dadurch kann schliesslich die Kühlung vollständig unterbunden sein. Bei der Aufstellung der Oellieferungsbedingungen durch den S. E. V. wurde diesem Punkt spezielle Aufmerksamkeit geschenkt und die Vorschriften so scharf gemacht, dass Oele, die diese Eigenschaft haben, von der Verwendung ausgeschlossen sind.

In den Ausführungsbestimmungen zu den Normen ist davon abgesehen worden, Viskositätskurven bei tiefen Temperaturen zu bestimmen. Man will nur bei einer tief genug gewählten Temperatur eine noch genügende Fliesszeit garantieren. Für Spezialfälle, wo man jedoch ein Interesse an einer solchen hat, kann man sie nach den Vorschriften der erwähnten Publikation ausführen und erhält dabei Kurven, wie sie in Fig. 4 abgebildet sind.

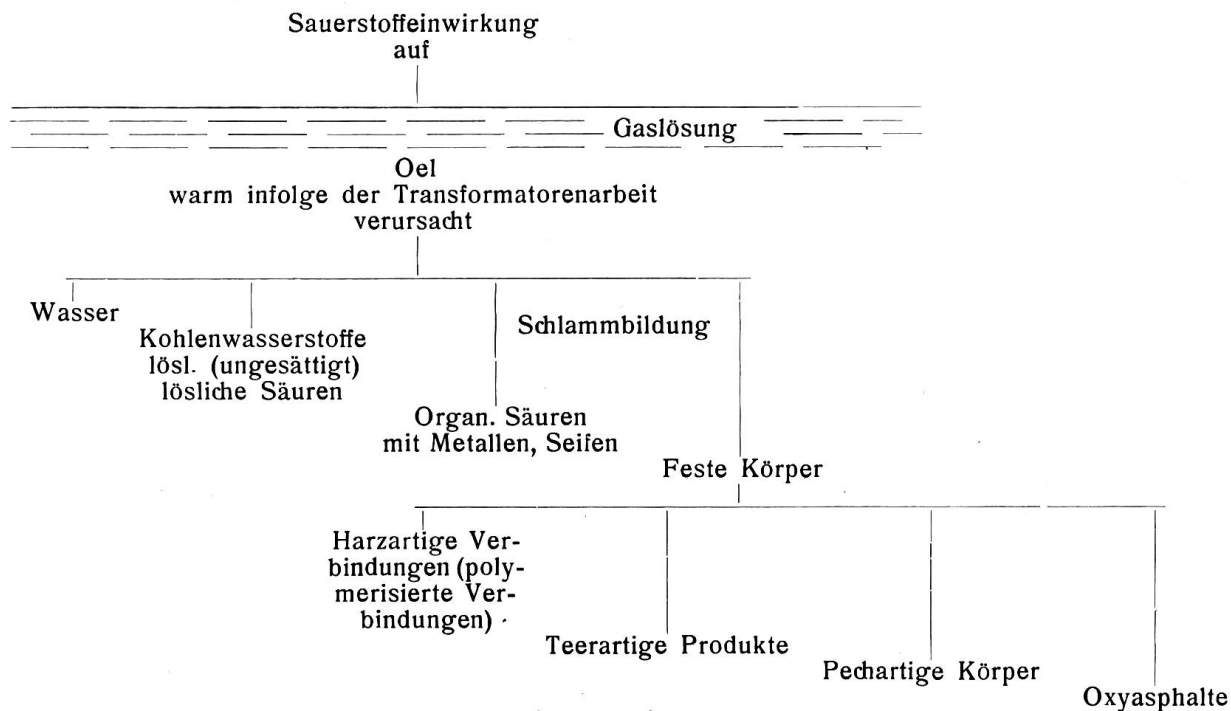
Zu Punkt IV. Wohl die schwerste Forderung, die an Isolieröle gestellt wird, ist die Beständigkeit gegen Temperatur und Oxydation, damit das Ausscheiden fester Reaktionsprodukte und der Angriff der Isoliermaterialien verhindert wird. Dieser ganze Fragenkomplex ist so ausserordentlich kompliziert und wichtig, dass wir uns hier etwas eingehender damit befassen müssen, um eine richtige Einstellung gegenüber den verschiedenen irrigen Meinungen, die heute noch in der Literatur verbreitet werden, zu bekommen.

In der Einleitung wurde gezeigt, wie verschiedene die einzelnen Rohmaterialien je nach Herkunft und Verarbeitungsart sein können. Dadurch

¹⁰⁾ BBC-Mitteilungen 9, 14 (1922).

ist aber auch von vorneherein festgelegt, dass die bei der Zersetzung solcher Stoffe entstehenden Produkte nicht einheitlicher Natur sein können: erstens reagieren die einzelnen Körperklassen, die in den verschiedenen Oelen enthalten sind, an und für sich verschieden, und zweitens können sich die verschiedensten gegenseitigen Reaktionen abspielen und damit das Reaktionsprodukt beeinflussen.

Oxydations- und Polymerisationsprodukt des Oeles und schlägt sich hauptsächlich auf den Wicklungen nieder. Diese Schlammart hat einen sehr schlechten Wärmeleitfähigkeitskoeffizienten, verhindert dadurch die Wärmeabfuhr und ist die Ursache von Ueberhitzungsstellen und von verschiedenen Betriebsstörungen. Die dritte Sorte endlich ist der kohlige Schlamm, der nur nach Durchschlägen auftritt.



Im Betrieb kann der Transformator maximal eine Temperatur von 95° erreichen. Das warme Oel ist in Berührung mit Luftsauerstoff, der als Oxydationsmittel wirkt. Es hat aber auch die Fähigkeit, 16 bis 18 Volumenprozent Sauerstoff im Oel enthalten sein kann. Als Reaktionsprodukte können entstehen: Wasser, öllösliche und ö unlösliche Säuren, die ihrerseits wieder die Fähigkeit besitzen, zu polymerisieren und kondensieren, und dadurch in neutrale Verbindungen übergehen. Diese hochmolekularen Säuren werden als Asphaltogensäuren bezeichnet, die neutralen Schlammteile können erdharzähnlichen Charakter haben oder den Oxydationsprodukten verwandt sein, die man unter den Sammelnamen Asphaltene und Carbene kennt. Um einen bessern Überblick über den Verlauf des Zersetzungsprozesses zu bekommen, soll hier ein Schema angeführt werden, das von Rodman¹⁷⁾ erstmals aufgestellt worden ist:

Dieser Autor unterscheidet verschiedene Arten von Schlamm¹⁸⁾: Einen verseifbaren, der sich hauptsächlich auf den Kühlschlangen absetzen soll, ein guter Feuchtigkeitsträger welcher die Bildung von Metalloxyden und Metallsalzen verursacht. Der unverseifbare oder asphaltische Schlamm kommt am häufigsten vor; er ist ein neutrales

Der Verfasser hat schon früher verschiedene Untersuchungen über Transformatorenöle publiziert¹⁹⁾ und dabei den Schlamm eingeteilt in einen solchen, der im heißen Transformatorenöl löslich ist und mehrheitlich aus verseifbaren Verbindungen besteht, jedoch aber auch unverseifbare Verbindungen enthält und in einem solchen, der auch im heißen Transformatorenöl nicht mehr löslich ist und mehrheitlich aus unverseifbaren Verbindungen besteht. Daneben bilden sich öllösliche Säuren und lösliche, ungesättigte Kohlenwasserstoffe, sowie flüchtige Reaktionsprodukte, die speziell für die Isolation gefährlich werden können. Diese letztern sind nicht durch exakte analytische Methoden zu erfassen, sie können nur an ihren Wirkungen erkannt werden. Die Prüfung, die diese erfassen will, muss daher die Zerstörung der Isolationsmaterialien messend verfolgen können. Auf diese Zusammenhänge wird jedoch weiter unten näher eingegangen.

Aus obigen Ausführungen ergibt sich, dass es sehr schwierig ist, einwandfrei alle Reaktionsprodukte und die verschiedenen Einflüsse derselben zu erfassen, was aber für die Begutachtung von Transformatorenölen unbedingt wichtig ist. Die ganze Frage kompliziert sich noch wesentlich, wenn man bedenkt, dass die Zersetzungen ganz verschieden verlaufen können, je nach dem Ausgangsmaterial und dem Raffinationsgrad des

¹⁷⁾ Electric Journal 51 (1923).

¹⁸⁾ Transaction of the American Electrochemical Society 40, 99 (1922).

¹⁹⁾ BBC-Mitteilungen 9, 159 (1922).

Helvetica Chimica acta 6, 62, 386, 893 (1923).

Oeles. In bezug auf diesen letzten Punkt ist zu sagen, dass gleiche Ausgangsöle bei gleichen Versuchsbedingungen sich bei der Oxydation vollständig verschieden verhalten können, je nach der Art der vorhergegangenen Raffination, je nachdem sie z. B. hoch oder weniger hoch raffiniert sind. Die dabei entstehenden Zersetzungsprodukte sind entsprechend ebenfalls grundverschieden in ihrer Konstitution.

Um dem Verbraucher von Isolierölen gewisse Sicherheit zu geben, haben verschiedene elektrotechnische Verbände Lieferungsbedingungen aufgestellt, und darin auch Prüfmethode angegeben, die speziell die Beständigkeit der Öle in der Wärme unter dem Einfluss von Luftsauerstoff betreffen. Im folgenden sollen kurz die verschiedenen Prüfarten besprochen werden, um die neuen hier vorliegenden schweizerischen Normalien zu begründen.

1. *Französische Prüfmethode.*²⁰⁾ Die zu untersuchenden Öle werden in Reagenzgläsern während 135 Stunden an der Luft bei 150° erhitzt und der dabei gebildete Schlamm nach Filtration gravimetrisch bestimmt. Zur Kritik dieser Methode ist vor allem zu sagen, dass die Temperatur viel zu hoch ist. Wir werden weiter unten in andern Zusammenhänge den Beweis erbringen, dass für die Zersetzung der Isolieröle eine ziemlich genau umschriebene kritische Temperatur existiert, oberhalb welcher andere Reaktionsprodukte entstehen als wie sie im Transformatorenschlamm enthalten sind. In der allgemeinen Uebersicht wurde bereits gesagt, dass nicht nur Schlamm als Reaktionsprodukt auftritt, sondern auch öllösliche Säuren, die aber bei dieser Methode gar nicht berücksichtigt werden. Es können so Öle als gut bezeichnet werden, die gerade für den Betrieb von Transformatoren absolut ungeeignet sind. Auf diesen Punkt werden wir bei der Besprechung der englischen Prüfart noch zurückkommen.

Bei den normalen Zersetzungen verfärben sich die Transformatorenöle. Diese Verfärbung soll nach der französischen Vorschrift durch Verdünnen einer ausgekochten Oelprobe mit Amylalkohol und Vergleichen mit dem Ursprungsöl gemessen werden. Dabei darf ein bestimmter Wert nicht überschritten werden. Dazu ist zu sagen, dass diese Messung der Verfärbung vollständig falsch ist, da die die Farbe der Öle verursachenden Verbindungen vor und nach dem Erhitzen grundverschieden voneinander sind und damit eine Vergleichsbasis nicht mehr besteht. Ganz abgesehen davon steht die Verschlammung in keinem Zusammenhang mit der Verfärbung. Der Verfasser hat schon Öle untersucht, die absolut nicht verschlammten, auch nicht bei einer Dauerprobe, dagegen schon nach kürzester Zeit schwarz waren. (Die färbenden Stoffe konnten sich in diesem Falle gelöst im Oel erhalten und flockten beim Erkalten nicht aus.)

2. *Belgische Prüfmethode.*²¹⁾ Diese schreibt vor, die Öle 10 Stunden in einem genau dimensionierten Gefäss auf 200° zu erhitzen und nachher

den gebildeten Schlamm zu ermitteln. Schon oben wurde gesagt, dass die Temperatur von 150° zu hoch sei, bei 200° wird der Fehler noch viel grösser. Wir sind bei dieser Temperatur bereits im Gebiete der pyrogenen Zersetzungen, die Reaktionspunkte ergeben, die mit dem Schlamm im Transformator gar nichts zu tun haben. Demgemäss sind die Resultate, die mit dieser Methode erhalten werden, auch vollständig falsch und geben kein Bild über das Verhalten eines Oeles im Betrieb. Sollten bei diesem Verfahren überhaupt Schlammprodukte entstehen, so sind sie im günstigsten Fall carbonartiger Natur, mehrheitlich aber koksartig. Solche Stoffe entstehen im normalen Transformatorenbetrieb niemals.

Gleich ungeeignet für die Begutachtung ist auch die von Waters²²⁾ angegebene Verkokungszahl, zu deren Bestimmung das Versuchsöl 2 1/2 Stunden bei 250° C an der Luft erhitzt werden soll. Nach dem Abkühlen wird der Schlamm mit Petroläther ausgefällt, filtriert und gewogen. Für diese Methode gilt das eben Gesagte in noch erhöhtem Masse.

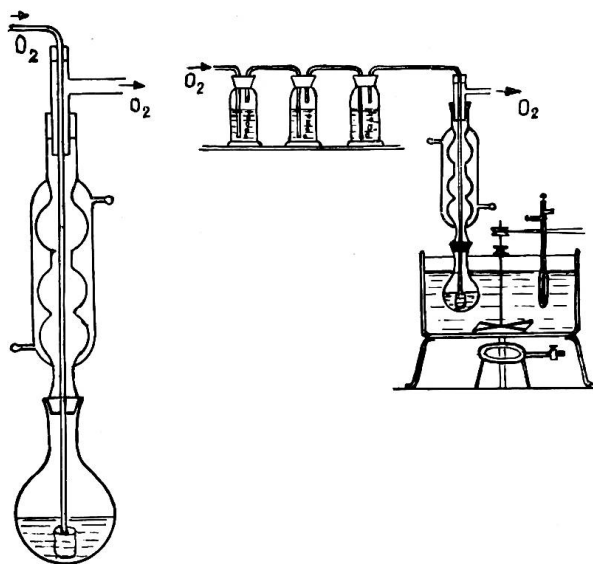


Fig. 6.

3. *Englische Prüfmethode.*²³⁾ (Sludge Test nach Dr. Michie.) Nach dieser wird die Oelprobe auf 145° in einem Ölbad unter Durchleiten von mit Kupfer als Katalysator²⁴⁾ während 45 Stunden erhitzt. Der dabei sich bildende Schlamm wird ausgefällt und gewogen. Zur Reinigung des Sauerstoffes wird die genaue Reihenfolge der vorgeschalteten Waschflaschen angegeben, wie aus Fig. 6 zu ersehen ist. Wir wollen uns hier etwas eingehender mit dieser Methode befassen, da sie wesentlich neue Gesichtspunkte für die Transformatorenölprüfung enthält. Der Hauptunterschied gegenüber den beiden vorhergehenden liegt in der Anwendung eines Katalysators, einer Kupferspirale und in der forcierten Oxydation (Durchleiten von Sauerstoff). Was die Versuchstempe-

²⁰⁾ Cahier des charges pour la fourniture des huiles pour transformateurs. Union des Syndicats de l'Electricité, Paris.

²¹⁾ Conditions auxquelles doivent satisfaire les huiles pour transformateurs et interrupteurs. Comité électrotechnique Belge.

²²⁾ Circular Bureau of Standards No. 99 (1920).

²³⁾ Journal of the Institute of E. E. (1923).

²⁴⁾ Unter Katalysator versteht man einen Stoff, der ohne sich selbst an der Reaktion zu beteiligen, dieselbe wesentlich zu beschleunigen vermag.

ratur anbelangt, so ist auch hier die gleiche Kritik anzubringen wie bei der französischen und belgischen Methode. Eingehende Versuche der British Electrical and Allied Research Association²⁵⁾ haben denn auch einwandfrei festgestellt, dass die Temperatur von 150° zu hoch ist, und es wird eine neue maximale Prüftemperatur von 120° vorgeschlagen. Durch Versuche im Laboratorium der A.-G. Brown Boveri wurde vor längerer Zeit gezeigt, dass der kritische Punkt für die Zersetzung von Mineralölen, wie sie im Transformatorenbau verwendet werden, zwischen 115 und 120° liegt. Unterhalb dieser Temperatur verläuft die Reaktion als oxydative Polymerisation, d. h. es bilden sich unter dem Einflusse des Sauerstoffes unter erhöhter Temperatur hochmolekulare Reaktionsprodukte sauren und neutralen Charakters. Oberhalb des kritischen Punktes hingegen entstehen vor allem leicht flüchtige, niedermolekulare Verbindungen, die zum Teil bei der Versuchstemperatur flüchtig sind. Daneben entstehen aber auch sehr viele Säuren, die in dem zu prüfenden Oel zurückbleiben und sich durch die hohe Säurezahl zu erkennen geben. Dieser Vorgang ist aber im Gegensatz zum erstgenannten als destruktive Destillation zu bezeichnen und in seinem ganzen Wesen verschieden vom Verschlammsprozess im Transformator. Mit dieser Methode werden dementsprechend auch bestimmt raffinierte Oele als gut befunden. Vor allem ausgezeichnet verhalten sich bei dieser Behandlung die sogen. Weissöle, die sehr hoch ausraffiniert sind, aber damit sehr geringen Widerstand gegenüber oxydativen Einflüssen aufweisen. Nach unserer Auffassung findet bei dieser forcierten Refinement schon ein gewisses „Craking“ statt, d. h. ein Abbau der hochmolekularen Kohlenwasserstoffe in niedermolekulare, oder wenn das nicht der Fall ist, so werden doch zum mindesten die Molekülverbände so gelockert, dass das Oel sehr unbeständig wird. Wenn wir nun ein so behandeltes Mineralöl mit Sauerstoff blasen, so bilden sich nur saure Reaktionsprodukte, wie schon Brauen²⁶⁾ nachgewiesen hat. Die gebildeten Säuren haben persäureähnlichen Charakter, d. h. es sind sehr unbeständige Verbindungen, die bei erhöhter Temperatur unter Abgabe von aktivem Sauerstoff leicht zerfallen. Der so entwickelte Sauerstoff zerstört die Isolation vollständig und begünstigt die Weiteroxydation des Oeles ausserordentlich. Der Verbraucher muss vor der Verwendung solcher Oele direkt gewarnt werden. (Für die Betriebsleute sei hier erwähnt, dass die wasserklaren Oele von diesem Typus sind.) Es sind dies aber gerade Eigenschaften, die ein Transformatorenöl nicht haben darf. Zahlenwerte über den Angriff auf Baumwolle werden weiter unten angegeben. Diese Reaktionen sind überhaupt schon reichlich untersucht worden²⁷⁾ und es bestehen verschiedene Patente, die speziell während des Krieges wichtig waren und nach denen auf dem gleichen Wege aus Mineralölen Fettsäuren hergestellt werden. In dem oben erwähnten Bericht schlagen die englischen Forscher vor, beim Blasen den

Sauerstoff durch Luft zu ersetzen, da sie grosse Unterschiede in den entsprechenden Reaktionsprodukten herstellen könnten.

4. *Deutsche Prüfmethode.* (Verteerungszahl.) Während 70 Stunden wird bei 120° C Sauerstoff durch eine bestimmte Menge Oel hindurchgeleitet. Mit alkoholischer Natronlauge (Kisslingsche Lauge) werden aus dem geblasenen Oel ein Teil der Reaktionsprodukte ausgezogen und schliesslich nach Ausfällen mit Säuren gewichtsmässig bestimmt. Währenddem bei den oben betrachteten Prüfmethode immer nur der gebildete Schlamm berücksichtigt worden ist, werden durch die Verteerungszahl nur die sauren Reaktionsprodukte erfasst. Auf die Wirkung eines Katalysators wird verzichtet. Neben dieser Schiedsmethode sind noch andere im Gebrauch; so wird z. B. statt mit Sauerstoff geblasen an der Luft erhitzt oder die Oxydation mit Natriumsuperoxyd durchgeführt. Die drei Methoden geben jedoch speziell bei hochraffinierten Oelen verschiedene Resultate. Bei der Kritik der englischen Methode haben wir gesagt, dass es vollständig verfehlt ist, nur auf den Schlamm allein zu achten, da dadurch Oele ausgewählt werden, die sehr hoch ausraffiniert sind und infolge ihrer grossen Unbeständigkeit für diesen Verwendungszweck nicht zu empfehlen sind. Solche Oele würden allerdings bei der Verteerungszahl nicht als gut bezeichnet. Ebenso verfehlt ist es aber, nur die sauren Reaktionsprodukte zu bestimmen, da, wie schon von verschiedenen Seiten nachgewiesen worden ist, kein Zusammenhang besteht zwischen Verteerungszahl, Säurebildung und Verschlamung. Diese Untersuchungen des Verfassers sind in der Zwischenzeit von verschiedenen Seiten bestätigt worden (englische und amerikanische Berichte und vor allem durch grosse Versuche an der Prüfungsanstalt für Brennstoffe an der Eidg. Technischen Hochschule, Zürich, Prof. Dr. Schläpfer). Es hat sich oft in der Praxis gezeigt, dass Oele mit gleicher Verteerungszahl sich im Betriebe ganz verschieden verhielten.

5. *Amerikanische Prüfmethode* (Life Test). In den deutschen Lieferungsbedingungen wird bei der Wärmebeständigkeitsprüfung nur auf die gebildeten Säuren geachtet. Im Gegensatz dazu wird bei dieser neuestens von Snyder²⁸⁾ vorgeschlagenen Prüfung nur der Schlamm in Betracht gezogen. Oelproben werden in einem geschlossenen Prüfapparat, in den Luft eingeführt werden kann, so lange auf 120° C erhitzt, bis eine Schlammabildung zu beobachten ist. Auf Grund der Untersuchungen, die als Grundlage für diesen Vorschlag gelten, sagt Snyder, die Verteerungszahl ergebe keine einwandfreien Resultate, weil die von ihm untersuchten Reaktionsprodukte grösstenteils neutraler und nicht saurer Natur waren, was mit den obigen Ausführungen übereinstimmt. Im weitern betont er, was für unsere Auffassung ebenfalls sehr wichtig ist, dass die Oelprüfung durch keine Mittel (erhöhte Temperatur oder forcierte Oxydation durch Blasen mit Sauerstoff) beschleunigt werden darf, da sich unter solchen Bedingungen andere Reaktionsprodukte bilden, als wie sie im Transformator entstehen. Weil aber bei der englischen Ausführungsbestimmung die beiden Faktoren kombiniert angewendet

²⁵⁾ a. a. O.

²⁶⁾ a. a. O.

²⁷⁾ Grün u. Wirth, Z. f. ang. Ch. 33, 291 (1920), 36, 125 (1923).
Türnikoff, Z. f. ang. Ch. 37, 300 (1924).
Siebeneck, Petroleum 78, 1193 (1923).

²⁸⁾ American Society for Testing Materials, 1923.

werden, so führe diese zu besonders falschen Werten. Interessant ist aber gerade, dass auch die Versuchsbedingungen des Life Testes keine richtigen Resultate bedingen, da eben, wie bei den unter 1, 2. und 3. genannten Methoden nur der Schlamm berücksichtigt wird. Die gleichen Weissöle, wie sie durch den Michie Test ausgewählt werden, sind natürlich auch bei dieser Probe sehr gut: Sie geben keine Spur von Schlamm, dagegen hohe Säuregehalte und starke Peroxydation, die die Isolation schädigen.

Aus den Kritiken der verschiedenen heute gebräuchlichen Prüfmethode ergeben sich folgende Leitsätze für neu einzuführende Lieferungsbedingungen:

a) Die Temperatur soll während des Versuches 120°C max. nicht übersteigen, da oberhalb derselben unter Umständen schon eine starke Destruktion eintreten kann.

b) Da die Reaktionsprodukte sehr verschiedenartig sind und mit dem Raffinationsgrad zusammenhängen, so ist es unmöglich, ein Öl zu begutachten auf Grund einer Gruppe von Reaktionsprodukten, *entweder* Säuren *oder* Schlamm. Es müssen berücksichtigt werden: lösliche Säuren, ausgefällte Säuren, Schlamm und eventuell peroxydartige Reaktionen.

c) Alle Beschleunigungsmittel, wie Blasen mit Sauerstoff oder Luft, geben andere Reaktionsprodukte als sie normalerweise entstehen. Es können nur Dauerprüfungen unter den den Betriebsbedingungen möglichst ähnlichen Bedingungen zu zuverlässigen Resultaten führen.

Alle diese Punkte werden berücksichtigt bei der Methode, wie sie seit mehreren Jahren mit Erfolg von der A.-G. Brown Boveri angewendet worden ist und in etwas modifizierter Form von der Normalkommission des S. E. V. angenommen und in den vorliegenden Normalien aufgeführt ist.

6. *Schweizerische Prüfmethode.* Die genauen Ausführungsbestimmungen der Prüfung sind in vorliegenden Lieferungsbedingungen enthalten. Es sollen hier nur kurz die hauptsächlichsten Versuchsbedingungen angeführt werden. Ein grösseres Ölquantum (1 Liter) wird auf 115°C (max. Betriebstemperatur $+20^{\circ}\text{C}$) in einem Kupfergefäß während 2 Wochen an der Luft erhitzt. In der Hälfte der Prüfzeit wird die erste Probe gezogen. In dem Öl befindet sich auf Glasröhrchen aufgewickelter Baumwollgarn, dessen Festigkeitsänderungen gemessen werden, um damit Anhaltspunkte über die oben mehrfach erwähnten Peroxydwirkungen, d. h. den Angriff des Oeles auf Baumwolle zu bekommen. In den gezogenen Ölproben wird der Gehalt an öllöslichen Säuren bestimmt.

Zur Begründung dieser Methode kann gesagt werden, dass alle unter a, b und c erwähnten Punkte berücksichtigt worden sind. Der einzige beschleunigende Faktor ist die verhältnismässig grosse Kupfermenge, die katalytisch den Verschlammungsprozess beschleunigt. Von Stäger und Bohnenblust²⁹⁾ wurde in einer grösseren Untersuchung nachgewiesen, dass die Reaktionsprodukte, die unter katalytischem Einfluss von verschiedenen Metallen entstehen, mit denjenigen

übereinstimmen, die im Betriebe erhalten werden. Ausgenommen davon ist Blei, das einen ganz andern Reaktionsverlauf verursacht. Auch die Untersuchungen von Hill³⁰⁾ führten zum gleichen Resultat. Es wird also durch die Anwendung von Kupfer keine Fehlerquelle in die Prüfung hineingebracht. An dieser Stelle sollen noch einige Versuchsergebnisse zum Vergleiche der verschiedenen oben angeführten Methoden und der damit erhaltenen Resultate angeführt werden. Vorweg wollen wir jedoch den Verlauf der Zersetzung bei verschiedenen Oelen (Säurebildung und Schlamm-bildung) während 1000 Versuchsstunden verfolgen. Fig. 7 gibt uns ein Bild für die Säurebildung mit verschiedenen Metallen als Katalysatoren. Bei Ver-

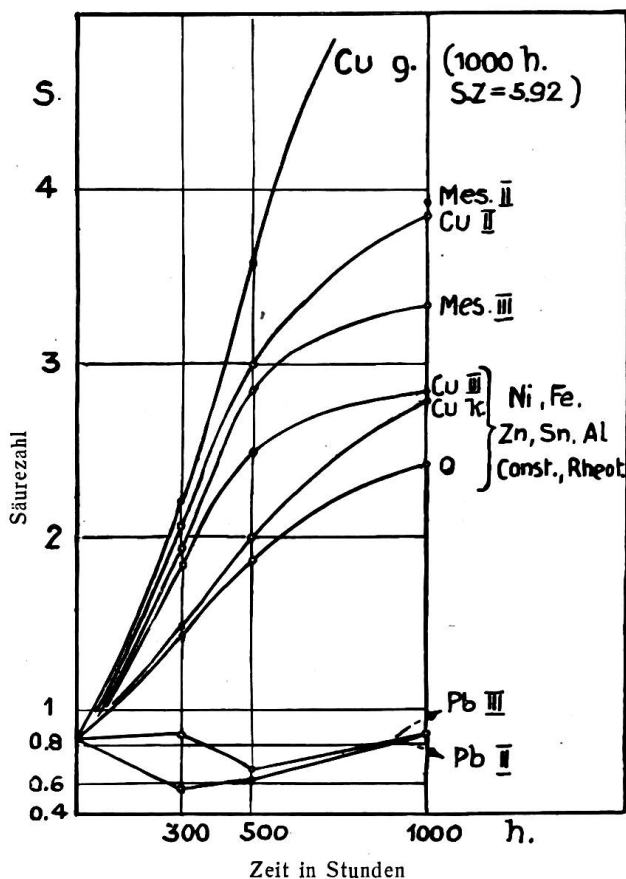


Fig. 7.

suchen, bei denen diese täglich verfolgt wurde, hat sich gezeigt, dass sie kein kontinuierlicher, sondern ein stufenweise verlaufender Vorgang ist, und als Resultierende ergibt sich das erwähnte Kurvenbild. Wenn wir damit Fig. 8 vergleichen, so sehen wir deutlich, dass die Schlamm-bildung erst dann eigentlich recht beginnt, wenn die Säurebildung verzögert wird. Kurve 8 steigt stark an, wenn diejenigen in Fig. 7 schon abzuflachen beginnen, d. h. also die beiden Reaktionen verlaufen nicht im gleichen Sinne. Daher auch das schlechte Uebereinstimmen der Verteerungszahl und Schlamm-bildung. In der Beilage haben wir die Aufnahmen zweier verschiedener Oele mit absolut gleicher Verteerungszahl nach genau gleicher Behandlung.

²⁹⁾ Bulletin des S. E. V. 15, 93 (1924).

³⁰⁾ Electrical World 81, 747 (1923).

Das nächste Beispiel soll zeigen, wie die französische Methode irreführen kann: So ergab ein Oel A nach diesen Prüfbedingungen 0,13% Schlamm bei einer Säurezahl von 0,28 und ein

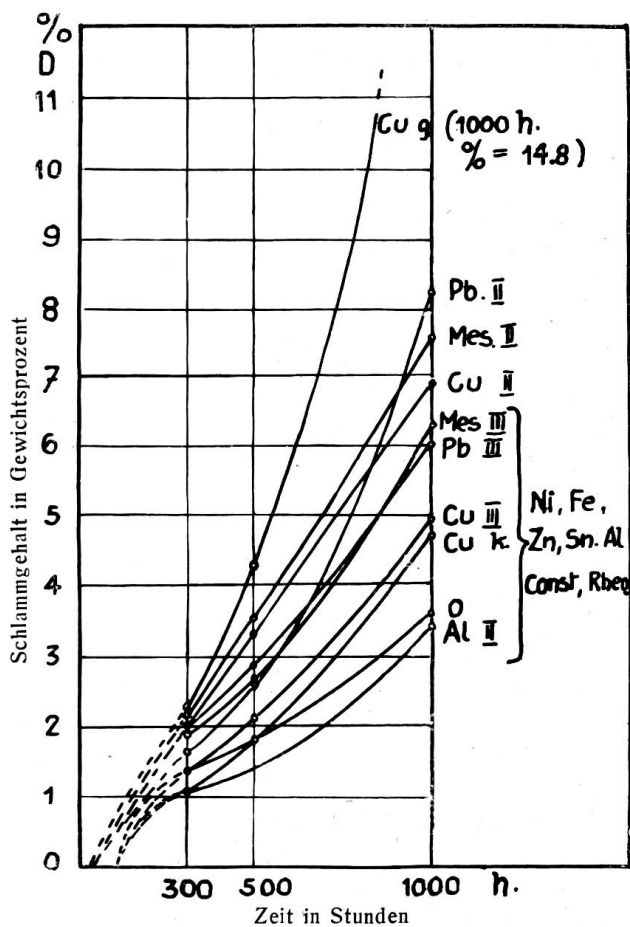


Fig. 8.

anderes Oel B einen Schlamm von 0,17% bei einer Säurezahl des Oeles von 1,18. Die Verteerungszahlen der beiden Oele waren 0,09 und 0,12. Die beiden Oele wären nach der französischen Methode unter alleiniger Berücksichtigung des Schlammes praktisch gleichwertig. Es zeigt sich aber eine grosse Verschiedenheit, sobald wir nur noch die gebildeten Säuren in die Betrachtung einbeziehen. Auf Grund der Verteerungszahl müssen sie ebenfalls als nahezu gleichwertig bezeichnet werden. Bei 115° C an der Luft im Kupfergefäss erhitzt zeigten beide nach 300 Stunden keinen Schlamm, A eine Säurezahl von 0,4 und B eine solche von 0,26 und eine bezügliche Abnahme der Festigkeit der eingelegten Baumwolle von 42% bei A und 15% bei B. In bezug auf Schlammbildung wären die beiden Oele auch nach dieser Prüfung gleichwertig, nicht aber unter Berücksichtigung des Einflusses auf Baumwolle.

An dieser Stelle soll noch etwas eingehender über die Einwirkung von Peroxyden auf Cellulose (Baumwolle) berichtet werden. Diese wird durch Oxydation in sogenannte Oxycellulose übergeführt, die in reinem Zustande ein weisses Pulver darstellt. Mit fortschreitender Bildung dieses Körpers ist eine entsprechende Abnahme der mechanischen Festigkeit verbunden. Es wurde versucht,

die Oxycellulose, die sich auf diesem Wege bildet, analytisch durch die sogenannte Kupferzahl zu erfassen, wie das in der Zellstoffindustrie gebräuchlich ist. Je höher die Kupferzahl, umso höher der Gehalt an Oxycellulose⁸¹⁾. Diese Prüfung ist nur von geschulten Leuten durchzuführen. Mit ihr parallel geht die Abnahme der Zerreiissfestigkeit und diese kann verhältnismässig einfach bestimmt werden. Fig. 9 zeigt einen Zerreiissapparat, wie er für diesen Zweck verwendet werden kann. In der Tabelle auf Seite 200 seien noch einige Versuchsergebnisse vergleichsweise mitgeteilt.

Aus dieser Zusammenstellung ist ersichtlich, dass Oele, die beinahe gleiche Verteerungszahl haben, vollständig verschiedene Eigenschaften haben können, wie sich aus dem verschiedenen Verhalten gegenüber Baumwolle ergibt. Deutlich kommt auch der Einfluss des Blasens mit Sauerstoff zum Ausdruck. Oel 1 ist nach der englischen Prüfmethode als absolut einwandfrei, ja sogar als sehr gut zu bezeichnen, ist auch in bezug auf Schlammbildung sogar nach 1000stündiger Versuchsdauer sehr gut, nicht aber unter Berücksichtigung seiner Neigung zur Peroxydation und der damit verbundenen starken Säurebildung und Zerstörung der Baumwolle. So konnten z. B. die Zerreiissproben nach 1000 Versuchsstunden überhaupt nicht mehr ausgeführt werden, da die Baumwolle vollständig zerstört war (die Werte waren ja nach

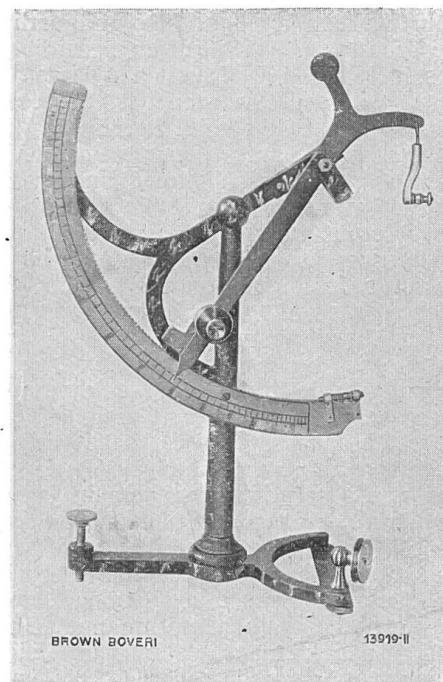


Fig. 9.

100 Stunden schon sehr schlecht). Oel 2 hat beinahe die gleiche Verteerungszahl, verhält sich dagegen bei der englischen Schlammprobe schlechter, ist aber nach 1000stündigem Auskochen sowohl in bezug auf Schlammbildung, als Angriff auf

⁸¹⁾ Unter Kupferzahl versteht man die Anzahl g Kupfer, die 100 g Cellulose (bezw. Oxycellulose) aus Fehlingscher Lösung auszuscheiden vermögen.

	Zerreissfestigkeit		Kupferzahl	Verteerungszahl	Sludgezahl	Säurezahl	Schlamm- gehalt
	Ablieferung	n. 100 St.	n. 1000 Std.			n. 1000 Std.	n. 1000 Std.
Oel 1							
Temp. 120° C							
Blasen mit Sauerstoff	240 g	0	9,0	0,18	0	36	0
An der Luft erhitzt		56 g	7,9			12,2	0
Oel 2							
geblasen mit Sauerstoff	240 g	190 g	2,2	0,15	0,1		0
An der Luft erhitzt		235 g	1,2			0,38	0

Die Baumwollfestigkeit bei Oel 1 betrug nach 1000 Stunden beim Blasen mit Sauerstoff noch 120 g; nach dem Erhitzen an der Luft noch 145 g.

Baumwolle ebenfalls als gut zu bezeichnen, ganz im Gegensatz zu Oel I. Dieses war auch nach der amerikanischen Methode geprüft worden und zwar mit folgendem Resultat: Nach 42 Tagen war keine Schlammbildung zu konstatieren, die Säurezahl war hingegen auf 46 angestiegen und die eingelegte Baumwolle war schon nach ca. 4 Tagen vollständig zerstört, so dass Zerreissproben nicht mehr ausgeführt werden konnten. Also auch nach dieser Probe wäre das Oel als gut zu bezeichnen, ob-
schon es in Tat und Wahrheit als Transformatorenöl nicht verwendet werden darf. Es ist somit die oben geübte Kritik wohl berechtigt. (Es soll ausdrücklich darauf aufmerksam gemacht werden, dass eine grosse Zahl ähnlicher Untersuchungen durchgeführt worden sind und die Laboratoriumsversuche übereinstimmende Resultate mit den Betriebserfahrungen ergeben haben.) Schon oben haben wir darauf aufmerksam gemacht, dass das sog. Blasen der Oele mit Sauerstoff andere Reaktionsprodukte erzeugt als z. B. das Blasen mit Luft oder gar das Erhitzen an der Luft. Diese Erscheinung wurde auch durch die schon mehrfach erwähnten englischen Untersuchungen bestätigt. Dabei hat sich nämlich gezeigt, dass der mit Sauerstoff gebildete Schlamm zähflüssiger, kolloidaler, lakähnlicher Natur ist, währenddem mit Luft immer dunkelgefärbte, pulverige Schlammprodukte entstehen. Die Zersetzungsprodukte, die beim Erhitzen an der Luft erhalten werden, sind auch von diesem letzteren Typus und stimmen überein mit dem im Betrieb entstehenden Schlamm. Um einen Ueberblick zu bekommen, sollen noch einige Elementaranalysen angeführt werden, die uns Auskunft geben über die Zusammensetzung der Ausgangs- und der Reaktionsprodukte:

Ein beliebig ausgewähltes Oel hatte folgende chemische Zusammensetzung:

Kohlenstoff (C) 86,24%, Wasserstoff (H) 13,32%, Sauerstoff (O) 0,23%, Schwefel (S) 0,21%.

Nach 1000 stündigem Erhitzen im Kupfergefäss unter Luftzutritt war ca. 7% Schlamm gebildet worden, der folgende Zusammensetzung hatte: C 62,4%, H 9,54%, O 25,93%, S 1,66%.

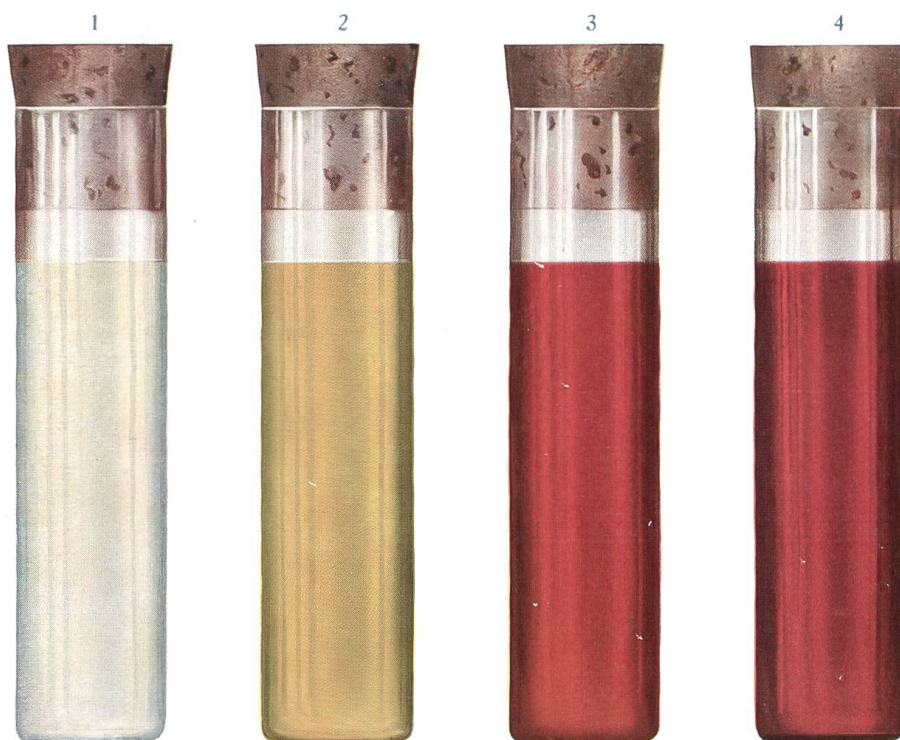
Das Oel an und für sich war auch wesentlich sauerstoffreicher geworden, wie aus folgender Analyse hervorgeht:

C 83,9%, H 13,19%, O 1,8%, S 0,12%.

Der Schlamm enthielt 12% verseifbare Säuren. Der Rest bestand aus unverseifbaren Oxydations- und Polymerisationsprodukten. Eine Schlammprobe aus einem ähnlichen Oel, das nach mehrjährigem Betrieb zur Untersuchung kam, enthielt 14% Säuren und 1,5% Asche, der Rest setzte sich aus unverseifbaren Oxydationsprodukten zusammen. Daraus ersehen wir deutlich, dass die Zusammensetzung der Laboratoriums- und Betriebszersetzungsprodukte weitgehend übereinstimmen. Brauen hat gezeigt, dass speziell Blei befähigt ist, sehr leicht Salze zu bilden mit den bei der Oxydation entstehenden Säuren und dass diese dann ihrerseits die weitere Verschlammung beschleunigen. Frank³²⁾ hat das Bild eines verschlammten Transformators veröffentlicht und dazu bemerkt, dass die Verbleiung des Transformatorenkastens die Verschlammung verursacht hätte. Demgegenüber können verschiedene andere Veröffentlichungen erwähnt werden, in denen ähnliche Bilder enthalten sind. (A. S. E. A.-Zeitung, Mineralöl, Electrical World). Diese Verschlammungen sind aber nicht durch Blei verursacht. Fig. 10 zeigt eine ähnliche Aufnahme eines verschlammten Transformators, was bei schlechten Oelen oder Nachfüllungen von schlechten Oelen normalerweise auftreten kann ohne die Mitwirkung von Blei. Es darf also nicht etwa die Meinung aufkommen, dass nur in verbleiten Transformatorenkästen Verschlammungen stattfinden können. Wie die Untersuchungen von Stäger und Bohnenblust gezeigt haben, bilden auch Kupfer und Zink Salze mit den bei der Zersetzung gebildeten Säuren. In untersuchten Schlammproben wurden aber sehr oft auch Eisensalze nachgewiesen. So enthielt z. B. die oben erwähnte Asche ca. 80% als Eisenoxyd berechnete Eisensalze. In einigen Fällen wurde auch direkt Eisenoxyd gefunden. Oele, die z. B.

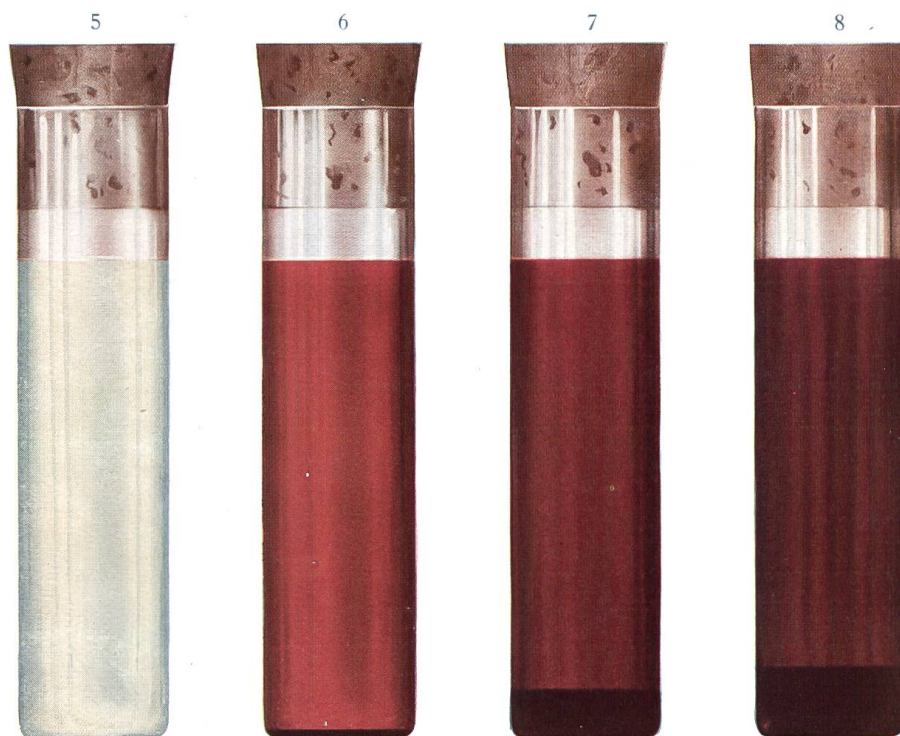
³²⁾ Siehe den Artikel: Das Mineralöl in der Sammlung: Die Isolierstoffe der Elektrotechnik. Springer, Berlin 1924.

Beilage
zum Vorwort zu den Normalien zur Prüfung und Bewertung von Mineralöl.



Gutes Öl (Teerzahl 0,12%).

1 = Anlieferungszustand; 2, 3, 4 = Nach 100, 200, 300 Stunden Auskochzeit 112° C.



Schlechtes Öl (Teerzahl 0,12%).

5 = Anlieferungszustand; 6, 7, 8 = Nach 100, 200, 300 Stunden Auskochzeit 112° C.

stark zur Peroxydation neigen, oxydieren auch Eisenteile, mit denen sie in Berührung kommen und daher rührt der Eisenoxydgehalt des Schlammes. Ein interessanter Fall ist noch folgender: Auf den Widerstandsdrähten eines mit Oel gefüllten Anlassers hatte sich ein Schlamm gebildet, der einen Schmelzpunkt von 105° C aufwies, sehr hart war und ca. 35% Eisenoxyd neben 65% normalen Oelzersetzungsprodukten enthielt (daraus konnten 48% Asphaltogensäuren isoliert werden). Das Oel selbst hatte aber nur eine Säure-

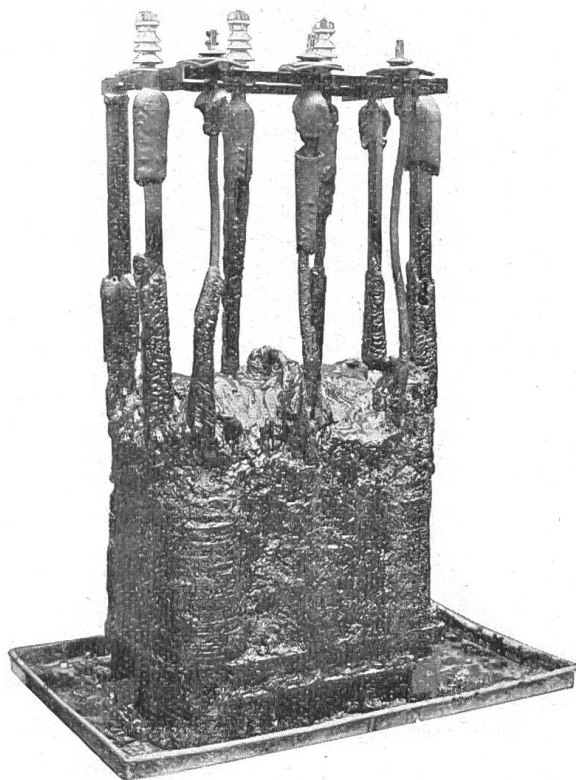


Fig. 10.

zahl von 1,74, die auf eine verhältnismässig geringe Bildung von öllöslichen Säuren hinweist.

Es soll im folgenden noch kurz auf eine Frage eingetreten werden, die neuerdings wieder in der Literatur aufgetaucht ist: Die Beeinflussung der Schlammbildung durch das elektrische Feld. Vor einiger Zeit hat Andersen³³⁾ in einer Untersuchung nachweisen wollen, dass tatsächlich die Schlammbildung wesentlich durch die elektrischen Verhältnisse beeinflusst werde. Von Rodman³⁴⁾ ist jedoch dargetan worden, dass das nicht der Fall ist. Er hat einwandfrei bewiesen, dass hohe Periodenzahlen (bis 1 000 000) und hohe Spannungen (100 000 Volt) keinen Einfluss ausüben. Auch Versuche des Verfassers haben keine Aenderung der Verschammung durch das elektrische Feld ergeben. Es konnte allerdings konstatiert werden, dass ein gewisser präzipitierender Einfluss ausgeübt wird, d. h., dass unter der Einwirkung desselben unter Umständen ein rascheres Ausflocken des hochdispersen, feinverteilten Schlammanteiles stattfindet. Der sich verhältnismässig langsam vollziehende Ausscheidungsprozess geht etwas rascher vor sich

und die Ausflockung findet in kürzerer Zeit statt. Damit ist aber keine Aenderung des quantitativen Endresultates verbunden, sondern es verschiebt sich nur das Verhältnis von öllöslichem zu unlöslichem Anteil zugunsten des letzteren. Die Gesamtergebnisse, die erhalten werden ohne den Einfluss des elektrischen Feldes, weichen also nicht von denen der Praxis ab.

Bei dieser Gelegenheit soll noch auf einen andern Punkt aufmerksam gemacht werden, der in der Praxis oft eine grosse Rolle spielt: Es ist das Nachfüllen von Transformatoren. Infolge des Verdampfungsverlustes muss von Zeit zu Zeit etwas Oel nachgefüllt werden. Dabei muss unbedingt darauf geachtet werden, dass nicht solches von schlechter Qualität zugegeben wird, wie das leider so oft geschieht. Ein Zusatz von geringen Mengen begünstigt die Zersetzung der gesamten Oelmenge in ungünstigem Sinne. Es könnten hier verschiedene Beispiele aus der Praxis angeführt werden. Wir wollen uns jedoch darauf beschränken, nur ein paar vergleichende Zahlenwerte anzugeben. Zwei Oele 1 und 2, von denen das eine sehr stark und das andere gar nicht zur Verschammung neigte, wurden in verschiedenen Verhältnissen zusammengemischt, um den gegenseitigen Einfluss festzustellen. No. 1 hatte nach 1000 stündigem Auskochen an der Luft bei 110° C keine Spur von Schlamm gebildet. No. 2 unter den gleichen Bedingungen dagegen 35%. Eine Mischung nach der gleichen Behandlung, bestehend aus:

$\frac{3}{4}$ No. 1 und $\frac{1}{4}$ No. 2	19 % Schlamm
$\frac{1}{2}$ No. 1 „ $\frac{1}{2}$ No. 2	27 % „
$\frac{1}{4}$ No. 1 „ $\frac{3}{4}$ No. 2	34 % „

Die obige Behauptung ist wohl durch diese Daten einwandfrei bewiesen. Es muss also im Betrieb immer darauf geachtet werden, dass Transformatoren niemals mit schlechterem Oel nachgefüllt werden.

Da die Mineralöle mehr oder weniger hygroskopische Flüssigkeiten sind, so müssen Transformatoren, um einen guten Isolationswert zu bekommen, mit dem Oel ausgekocht werden. Da dabei oft Oele durch unexakte Behandlung verdorben werden, so wollen wir an dieser Stelle noch ein paar Worte darüber sagen³⁵⁾.

Die einfachste Methode ist die Erhitzung des Oeles samt Transformator bei ungehindertem Luftzutritt, wobei einfach unter dem Kasten ein Feuer gemacht wird. Dabei wird das Oel aber bereits voroxydiert und ist nachher bedeutend weniger widerstandsfähig, es neigt stärker zur Zersetzung im Betriebe. Bei Oelen, die zur Peroxydation neigen, kann aber bei dieser Behandlung auch die Baumwolle beschädigt werden, da für eine einwandfreie Trocknung eine Temperatur von 110° C notwendig ist und dabei, wie wir oben gesehen haben, der Angriff auf Baumwolle schon sehr energisch sein kann. Die Verhältnisse ändern sich nicht, wenn das offene Feuer unter dem Transformator durch Heizwiderstände in demselben ersetzt wird. Besser sind die Verfahren, die unter Luftabschluss arbeiten. Mit gutem Erfolg wird z. B. das Koksgriesverfahren angewendet. Die Oeloberfläche wird mit einer 10–15 cm dicken Schicht von trockenem und gereinigtem, besonders behandeltem Koksgries bedeckt. Dieses wird auf

³³⁾ A. S. E. A. Tidning 16, 92 (1924).

³⁴⁾ Electric Journal (1923).

³⁵⁾ Siehe auch BBC-Mitteilungen 8, 116 (1921).

dukte beschleunigen. Da man heute noch nicht weiss, welche Grundkörper überhaupt die Schlamm-bildung verursachen und welche es sind, die die weitere Zersetzung eines voroxydierten Oeles speziell befördern, so ist es zum mindesten sehr schwierig, sagen zu können, von welchem Punkt an ein Oel nicht mehr zu gebrauchen ist. So soll hier z. B. ein gebrauchtes Oel angeführt werden, das nach einer bestimmten Anzahl von Betriebs-jahren 10% Schlamm bildete und eine Säurezahl von 5,2 aufwies, bei einer Durchschlagsfestigkeit von 42 kV/5 mm. Ein anderes Oel hatte in der gleichen Zeit keinen Schlamm gebildet, dagegen eine Säurezahl von 18,5 bei einer Durchschlagsfestigkeit von 22 kV/5 mm. Demgegenüber kann ein drittes angeführt werden, das in derselben Zeit 22% Schlamm bildete bei einer Säurezahl von 2,1 und ebenfalls nur eine Durchschlagsfestigkeit von 23 kV/5 mm aufwies. In diesem letztgenannten Falle war der Schlamm ausserordentlich stark hygroskopisch, d. h. er zog ziemlich viel Feuchtigkeit an, dadurch wurde der Feuchtigkeitsgehalt des Oeles erhöht und die Ursache der schlechten Durchschlagsfähigkeit liegt somit im Wassergehalt und nicht im Zersetzungsgrad. Von der Heyden und Typke³⁶⁾ teilen in einer Publikation einige Erfahrungen in der Beziehung mit und kommen zum Schluss, dass in den letzten Jahren niemals Oele vorgelegen hätten, die nach dem Filtrieren und Trocknen Durchschlagsfestigkeiten unter 35 kV/5 mm aufgewiesen hätten. Sie empfehlen eine Säurezahl von 1,4 als Grenze für die Verwendungsfähigkeit unter Berücksichtigung der Zerstörung der Baumwolle. Nach unserer Auffassung und Erfahrung kann man bei dieser Begutachtung noch viel weniger als im Anlieferungszustand nur auf ein Kriterium abstellen. Bis heute können für die Begutachtung gebrauchter Oele noch keine einwandfreien Angaben gemacht werden. Versuche, um diesen Punkt aufzuklären, sind im Gange. Bis jetzt lässt sich nur sagen, dass wohl die hier vorgeschlagenen Normalien durch neue Prüfmethode erweitert werden müssen, da in teilweise zersetzten Oelen noch verschiedene reaktionsfähige Körper vorhanden sind, die erst während der Zersetzung gebildet worden sind (z. B. ungesättigte Kohlenwasserstoffe).

Ganz anders verläuft die Reaktion bei den Harzölen. Bei diesen bildet sich kein ausflockbarer Schlamm, sondern zähflüssige Polymerisationsprodukte, die im Oel löslich sind neben löslichen Säuren. Es findet, wie früher schon gesagt wurde, verhältnismässig rasch ein Erhöhen der Viskosität statt, bis schliesslich die ganze Masse fest wird, wie aus Fig. 13 zu ersehen ist. So polymerisierte Oele, die im Laboratorium untersucht wurden, hatten z. B. einen Schmelzpunkt von 83° C, waren also bei gewöhnlicher Zimmertemperatur vollständig erstarrt. Von einer Kühlwirkung kann in einem solchen Falle nicht mehr die Rede sein. Die Bildung der Säuren kann zum Teil auch über Peroxyde erfolgen, die bei der Zersetzung, wie schon verschiedentlich gesagt, die Baumwolle zerstören. Das Verdünnen eingedickter Harzöle hat nur einen momentanen Erfolg. Die Fähigkeit, Wasser anzuziehen, ist bei beiden Oelsorten ungefähr gleich. Diese erwähnten unangenehmen Eigenschaften

haben das Harzöl langsam vom Gebrauch ausgeschlossen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass bei der in den vorliegenden Lieferungsbedingungen des S. E. V. beschriebenen Methode, die auf Grund

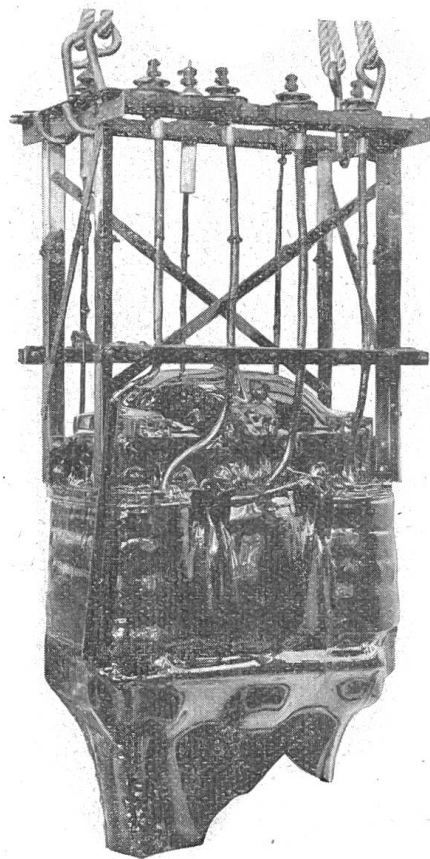


Fig. 13.

von Vergleichsversuchen zwischen Laboratorium und Betrieb ausgearbeitet worden ist, die drei oben angeführten massgebenden Punkte *a*, *b* und *c* möglichst gut berücksichtigt worden sind. Damit ist aber auch eine Gewähr für einwandfreie Prüfungen geleistet.

Zu Punkt V:

Die elektrische Festigkeit³⁷⁾.

Sorgfältige und sehr eingehende Versuche verschiedener Laboratorien und Autoren haben ergeben, dass die elektrische Durchschlagsfestigkeit nur in verhältnismässig geringem Masse vom chemischen Aufbau der Mineralöle abhängig ist. Von ausschlaggebender Bedeutung ist dagegen der Gehalt an Feuchtigkeit und an festen Verunreinigungen, wie Staub, Faserteilchen u. dgl. Versuche von Friese³⁸⁾ und Schröter³⁹⁾ haben gezeigt, dass absolut reine und wasserfreie Mineralöle elektrische Durchschlagsfestigkeiten von 230 bzw. 300 kV/cm aufweisen. Solche Werte können aber nur unter Abschluss der atmosphärischen Luft erzielt werden.

³⁷⁾ Dieser Abschnitt wurde durch die Materialprüfanstalt des S. E. V. verfasst.

³⁸⁾ Friese, Wissenschaftliche Veröffentlichungen aus dem Siemenskonzern, Band I, Seite 45, 1921.

³⁹⁾ Schröter, Archiv für Elektrotechnik, Band XII, S. 67, 1923.

³⁶⁾ E. T. Z. 45, 1059 (1924).

Die Mineralöle sind in einem gewissen Masse hygroskopisch und nehmen daher, insbesondere bei erhöhter Temperatur, aus der Atmosphäre Feuchtigkeit auf, welche die Durchschlagsfestigkeit ganz bedeutend herabsetzt. Bei einem Feuchtigkeitsgehalt von ca. 0,5 ‰ sinkt die Durchschlagsfestigkeit bereits etwa auf den fünften oder sechsten Teil derjenigen des absolut trockenen Oeles, bei weiterer Zunahme der Feuchtigkeit nimmt sie asymptotisch bis auf ca. $\frac{1}{10}$ der oben genannten Maximalwerte ab. Ein noch grösserer Wassergehalt bewirkt dagegen kein weiteres Sinken der dielektrischen Festigkeit mehr.

Die oben zitierten Versuche von Friese haben ergeben, dass es für die Beeinflussung der elektrischen Festigkeit von wesentlicher Bedeutung ist, in welcher Form das Wasser im Oele enthalten ist. Von der eigentlichen Lösung des Wassers im Oel über das Gebiet der sehr feinen Verteilung, welche noch ausserhalb der mikroskopischen Sichtbarkeit liegt bis zur mikroskopisch sichtbaren und an der Trübung des Oeles auch von Auge erkennbaren Emulsion sind nun alle Zwischenstufen möglich. Für die Herabsetzung der elektrischen Festigkeit besonders gefährlich ist das Gebiet der hochdispersen Verteilung, welche sich hauptsächlich dann einstellen kann, wenn die Feuchtigkeit im Dampfzustand in das Oel hineingelangt. Im Oel gelöstes oder emulgiertes Wasser ist dagegen weniger nachteilig. Aus diesem Grunde ist beispielsweise eine gelegentliche Kondenswasserbildung am Deckel eines Transformators für die Isolierfähigkeit des Oeles nicht sehr gefährlich, weil die Wassertropfen zufolge ihrer relativ grossen Oberflächenspannung durch das Oel hindurchfallen, ohne dass dieses bei niedriger Temperatur eine grössere Menge Feuchtigkeit in sich aufnehmen würde.

Aus der vorstehenden Betrachtung ergibt sich, dass praktisch die Mineralöle immer etwas Feuchtigkeit enthalten. Dazu kommt noch der weitere für die Oelprüfung erschwerende Umstand, dass gewisse, wenn auch vielleicht mikroskopisch feine mechanische Verunreinigungen (Staub- und Faserteilchen), nicht zu vermeiden sind. Die Erfahrung lehrt deshalb, dass die an ein und demselben Oelmuster ausgeführten elektrischen Durchschlagsproben Spannungswerte ergeben, die meistens sehr erheblich voneinander abweichen. Die Resultate dieser Durchschlagsversuche sind daher unbefriedigend und zu einer Beurteilung der Isolieröle schlecht geeignet.

Aus diesem Grunde und in Anlehnung an die übrigen Vorschriften des S. E. V. betreffend Isolationsprüfungen sehen die vorliegenden Normalien von der anderwärts üblichen Ermittlung der Durchschlagsspannung ab und setzen an deren Stelle eine halbstündige Dauerprüfung des Oeles im Kugelprüfapparat, bei welcher ein Lichtbogenüberschlag nicht auftreten soll. Die Festlegung der in den S. E. V.-Normalien vorgesehenen Prüfspannung erfolgte unter Berücksichtigung der in Transformatoren und Schaltern üblichen elektrischen Beanspruchung der Oele. Aus einer sehr langen Reihe von Versuchen ergab sich, dass bei der vorgeschriebenen Prüfspannung im allgemeinen im Verlauf der ersten Minuten des Versuches auch bei praktisch reinen und wasserfreien

Oelen schwache momentane Funkenentladungen durch die zwischen den Elektroden liegende Oelschicht auftreten. Diese Entladungen sind zweifellos auf geringe Spuren von Wasser oder auf mikroskopisch kleine feste Verunreinigungen zurückzuführen. Ist das Oel nicht unzulässig feucht oder mechanisch verunreinigt, so werden die Funkenentladungen mit fortschreitender Prüfzeit immer seltener und hören schliesslich ganz auf. In den elektrischen Funken wird die Feuchtigkeit verdampft bzw. werden die Verunreinigungen verbrannt; es findet also gewissermassen eine Reinigung des Oeles im elektrischen Felde statt. Ist dagegen der Feuchtigkeitsgehalt des Oeles oder die Verunreinigung durch Staub oder Faserstoffe unzulässig gross, so treten auch gegen Ende der vorgeschriebenen Prüfzeit fortgesetzt weitere Entladungen auf, oder es stellt sich schon innerhalb der Prüfzeit ein eigentlicher Lichtbogenüberschlag zwischen den Elektroden ein, der eine bedeutende Verkohlung der durchschlagenen Oelschicht zur Folge hat und welcher den im Primärkreis des Prüftransformators liegenden automatischen Schalter zum Auslösen bringt.

Weil es den Anschein hat, dass die nach der genannten Vorschrift geprüften Oele im elektrischen Feld homogenere Eigenschaften erhalten, ist zu erwarten, dass auch die unmittelbar daran anschliessenden bestimmten Durchschlagsspannungen gleichmässiger ausfallen, und es ist deshalb vorgesehen, nach der halbstündigen Prüfung mit 30 kV, die Spannung weiter bis zum Durchschlag zu steigern, ohne dass aber die ermittelten Durchschlagswerte vorläufig zur massgebenden Beurteilung des Oeles herangezogen werden.

Zusammenfassend sei nochmals darauf hingewiesen, dass der elektrischen Festigkeitsprüfung nur in dem Sinne eine Bedeutung beizulegen ist, als sie über Feuchtigkeitsgehalt und mechanische Verunreinigungen der Oele einen gewissen Aufschluss gibt, sie kann aber niemals dazu dienen, Mineralöle sonstwie qualitativ zu beurteilen, da auch sehr ungeeignete Oele im reinen und trockenen Zustand eine ebenso hohe elektrische Festigkeit aufweisen, wie hochwertige Isolieröle. Gelegentlich zu Propagandazwecken angeführte, sehr hohe Durchschlagsspannungen sind also unter Berücksichtigung des hier Gesagten richtig einzuschätzen.

Verhalten der Isolieröle im Schalter.

Es wird heute noch oft die Meinung vertreten, dass in Schaltern irgend ein Mineralöl verwendet werden könne und dass man für diesen Zweck nicht so sorgfältig auf hochqualifizierte Oele achten müsse wie bei Transformatoren, da ja beim Schalter ganz andere Betriebsbedingungen vorhanden seien. Diese Auffassung muss aber unbedingt bekämpft werden, denn auch der störungsfreie Schalterbetrieb ist nur gewährleistet, wenn alle verwendeten Baustoffe möglichst einwandfrei ausgewählt worden sind. Die Normalienkommission hat sich denn auch eindeutig in diesem Sinne entschieden, so dass in den vorliegenden Lieferungsbedingungen kein Unterschied zwischen Schalter- und Transformatoröl gemacht wird, sondern für alle in der Elektrotechnik verwendeten Isolieröle die gleichen Lieferungsbedingungen Gültigkeit haben sollen.

Bei dem Verhalten von Transformatorenölen im Betrieb haben wir speziell auf die für diesen Zweck verlangte grosse Beständigkeit gegen Oxydation bei erhöhter Temperatur hingewiesen. Solches Verhalten ist im Schalter nicht von Bedeutung. Da diese Eigenschaft in gewissem Grade zusammenhängt mit der Raffinationsart und auch im Schalter keine schlecht raffinierten Öle verwendet werden sollen, so kommt indirekt diese Eigenschaft auch für Schalteröle in Betracht. Gewissermassen im Zusammenhang damit steht auch die Bildung von Kohle beim Abschaltvorgang. Als zweites Zersetzungsprodukt entsteht daneben noch ein Gemisch von Gasen, die sogenannten Schaltergase, die infolge ihrer mehr oder weniger grossen Explosionsfähigkeit gefährlich werden können. Um ein möglichst rasches Nachfliessen des Oeles und damit ein rasches Löschen des Lichtbogens zu ermöglichen, soll das Schalteröl eine nicht zu hohe Viskosität besitzen, vor allem auch bei tieferen Temperaturen nicht zu stark eindicken oder gar fest werden. Speziell für Freiluftaufstellung müssen wir unbedingt eine grosse Kältebeständigkeit verlangen. Zu diesen Eigenschaften kommt selbstverständlich noch dazu eine gute Isolierfähigkeit.

Daraus ergeben sich als Hauptforderungen für Isolieröle, die in Schaltern gebraucht werden sollen:

- I. Die Schalteröle sollen gut ausraffiniert sein, damit an den Schaltkontakten keine unerwünschten teerartigen Ausscheidungen entstehen.
- II. Das Öl soll keine zu hohe Viskosität aufweisen.
- III. Es soll sehr kältebeständig sein.
- IV. Schalteröle sollen gute Isolierfähigkeit besitzen.

Zu Punkt I. In der Einleitung wurde davon gesprochen, dass normalerweise die Mineralöle nicht nur aus Kohlenwasserstoffen bestehen, sie sind begleitet von Harz- und Asphaltstoffen. Diese bestehen zum grossen Teil aus ungesättigten Verbindungen oder Oxydationsprodukten, daneben sind aber auch noch ungesättigte Kohlenwasserstoffe im Öl enthalten. Es ist der Zweck der Raffination, diese Stoffe nach Möglichkeit zu entfernen, so dass in den Endprodukten hauptsächlich gesättigte Kohlenwasserstoffe paraffin- oder naphthenartiger Natur enthalten sind. Wir haben bei der Besprechung des Verhaltens der Isolieröle im Transformator gesehen, wie mannigfaltige Reaktionsprodukte bei der Oxydation bei erhöhter Temperatur entstehen können und was für schwerwiegende Betriebsstörungen durch diese verursacht werden können. Diese Zersetzungsprodukte kommen im Schalter nicht zur Ausbildung und würden auch nicht den gleichen Einfluss ausüben. Mit dem Abschaltvorgang ist dagegen im Schalteröl eine starke Zersetzung verbunden und die dabei entstehenden Reaktionsprodukte sind: Gase, niedere flüssige Kohlenwasserstoffe und Kohle.

Bei der pyrogenen Zersetzung von Mineralölen in glühenden Röhren entstehen niedere Kohlenwasserstoffe und Gase. Durch den elektrischen Lichtbogen findet die Zersetzung in ähnlicher Weise statt, so bilden sich vor allem in grosser Menge die sogenannten Schaltergase. Diese be-

stehen in der Hauptsache aus Wasserstoff, wie von den verschiedensten Autoren⁴⁰⁾ nachgewiesen worden ist. So haben die Untersuchungen am Eidg. Materialprüfungsanstalt für Brennstoffe bei verschiedenen Gasen folgende Zusammensetzung ergeben:

Gasprobe Nr.	1	2	3	4	5
Wasserstoff . . .	64,7	63,1	62,4	65,7	53,0
Methan	3,2	4,0	4,5	3,7	4,9
Schwere Kohlenwasserstoffe (Aethylen) . . .	23,3	26,3	25,6	25,0	34,4
Kohlensäure . . .	1,5	0,3	0,6	0,6	0,6
Sauerstoff	2,4	1,2	1,2	1,0	1,2
Stickstoff	4,9	5,1	5,7	4,0	5,9
Totales Volumen	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Damit sollen noch verglichen werden zwei andere Analysen, für die Rodman⁴¹⁾ folgende Werte angibt:

Wasserstoff	65,6	68,25
Methan	2,36	2,81
Ungesättigte Kohlenwasserstoffe	22,38	19,05
Kohlensäure	1,85	0,42
Sauerstoff	2,11	2,38
Stickstoff	5,6	6,18
Kohlenoxyd	0,8	0,24

Bei allen diesen Untersuchungen ist nicht angeführt worden, mit was für Ölen diese ausgeführt worden sind, sodass man keinen Anhaltspunkt hat, ob sich Methanöle wesentlich verschieden verhalten von Naphtenölen. Als Schlussfolgerung für die Praxis kann jedoch gesagt werden, dass man aus dem gleichen Öl bei gleichen Abschaltverhältnissen praktisch gleich zusammengesetzte Schaltergase erhält, den Hauptanteil derselben bildet Wasserstoff. Nach Untersuchungen von Bauer und anderen hat es sich auch gezeigt, dass die produzierte Gasmenge proportional der Schalterarbeit ist. Von diesem Autor ist auch die Vermutung ausgesprochen worden, dass der Wasserstoffgehalt der Schaltergase mit der Schalterarbeit nach einem noch unbekannten Gesetze anwächst. Für diese Vergleiche kann aber nicht ohne weiteres ein solches Gesetz angenommen werden, bevor man nicht genaue Untersuchung unter Berücksichtigung der Konstitution der verwendeten Öle durchgeführt hat. Die Bildung des Wasserstoffes ist wesentlich abhängig von der Zusammensetzung, d. h. vom Verhältnis Kohlenstoff:Wasserstoff im Öl. Sobald ungesättigte Verbindungen vorhanden sind, stellt sich dieses zugunsten des Kohlenstoffes ein. Es muss sich in diesem Falle viel mehr Kohlenstoff im Verhältnis zum Wasserstoff abscheiden gegenüber einem Öl, in dem nur gesättigte Öle enthalten sind.

Dieses Gemisch von Gasen ist unter gegebenen Bedingungen explosiv, ist also dann auch die Ursache von Schalterexplosionen. Infolge der

⁴⁰⁾ Siehe Bauer, Untersuchungen an Oelschaltern II, Zürich 1917.

⁴¹⁾ Electrical World Vol. 79, 1272 (1922).

leichten Entflammbarkeit der untersten Glieder der Paraffinkohlenwasserstoffreihe (z. B. Methan als Sumpfgas) werden speziell bei Schalterölen grosse Bedenken geltend gemacht gegen Öle mit niederem Flammpunkt. Dieser Punkt, der wie oben bereits gesagt, ungefähr die untere Explosionsgrenze angibt, hat aber auch in dem Falle nicht die Bedeutung, die ihm beigemessen wird, da der Dampfdruck bei Betriebsbedingungen nur sehr gering ist. So wurde er z. B. bei einem Öl mit einem Flammpunkt von 140°C zu 0,2 mm bestimmt bei Raumtemperatur. Auch wenn Öltröpfchen in fein verteilter Form vorhanden sein sollten, so sind diese nicht der Grund zur Explosion. So haben z. B. Haber und Wolff⁴²⁾ nachgewiesen, dass bei inhomogenen Nebeln ein grosser Sauerstoffüberschuss vorhanden sein muss, um eine vollständige Verbrennung einzuleiten, und zwar muss dieser umso grösser sein, je grösser die Nebeltröpfchen sind. Die Einleitung einer Explosion von dieser Seite aus ist, wie Rodman durch Versuche nachgewiesen hat, ausgeschlossen. Er konnte keine Explosionsgrenze feststellen für Luft über einem unter normalen Betriebsbedingungen arbeitenden Transformator. Zur Einleitung einer explosiv verlaufenden Verbrennung müssen verschiedene Bedingungen erfüllt sein. Wird ein entzündbares Gemenge von brennbaren Gasen oder Flüssigkeiten mit Sauerstoff oder Luft an einer Stelle rasch auf immer höhere Temperaturen erhitzt, so entzündet sich das Gemisch bei einer bestimmten Temperaturgrenze, der sogenannten Zündungstemperatur und es findet eine sehr schnell verlaufende Vereinigung der brennbaren Stoffe mit Sauerstoff statt, das Gasgemisch entzündet sich und verbrennt. Dabei wird eine bestimmte Wärmemenge frei, die Verbrennungswärme, die dem Verbrennungsprodukt eine hohe Temperatur erteilt, die Verbrennungstemperatur. Werden hierbei durch Wärmeübertragung von der brennenden Gaszone auf die benachbarten Gasteile auf die Entzündungstemperatur gebracht, so können auch diese sich entzünden und die Verbrennung pflanzt sich explosionsartig fort. Die Wärmeübertragung von der brennenden Gasschicht zur benachbarten erfordert Zeit. Demgemäss pflanzt sich die Entzündung mit einer gewissen Geschwindigkeit fort, der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Explosion. Findet die Explosion in einem geschlossenen Raume statt, so erzeugen die Reaktionsprodukte einen gewissen Gasdruck, den Explosionsdruck. Damit eine Explosion wirklich stattfinden kann, müssen alle diese Werte einen für die verschiedenen Gemische charakteristischen Betrag erreichen. Gekennzeichnet wird derselbe vor allem durch die untere, bzw. obere Explosionsgrenze. Bei diesen ist die Reaktionsgeschwindigkeit am geringsten und am grössten ist sie ungefähr in der Mitte zwischen beiden. Die Explosionsgrenze ist eine Funktion der Entzündungstemperatur und der Anfangstemperatur der Gasmischung, der Verbrennungswärme, der Wärmekapazität ihrer Verbrennungsprodukte und der Wärmeverluste. Diese Funktion lässt sich ausdrücken durch folgende Gleichung:

$$E = 100 \frac{c(T_e - t) + W_v}{V}$$

E = Explosionsgrenze

c = mittlere Wärmekapazität der Verbrennungsprodukte

T_e = Entzündungstemperatur

t = Temperatur des Raumes (Anfangstemperatur der Gasmischung)

V = Verbrennungswärme der Volumeneinheit des Dampfes

W_v = Wärmeverlust pro Volumeneinheit.

Wenn alle diese Grössen bekannt wären, könnte man für jede Gasmischung die Explosions-

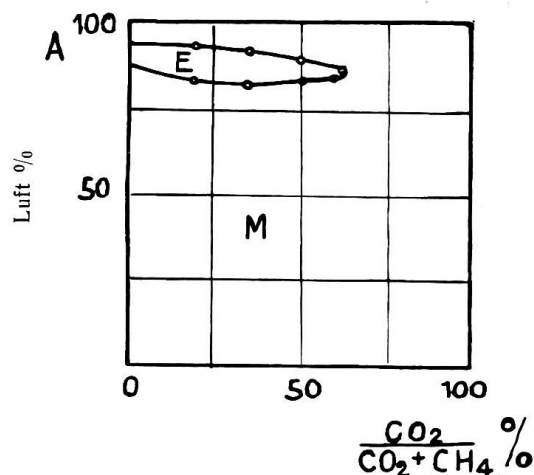


Fig. 14.

M = Methan. E = Explosionsbereich.

grenze berechnen, da das aber nicht der Fall ist, muss sie experimentell bestimmt werden. Einen Weg dazu hat Asch⁴³⁾ angegeben, der für die uns

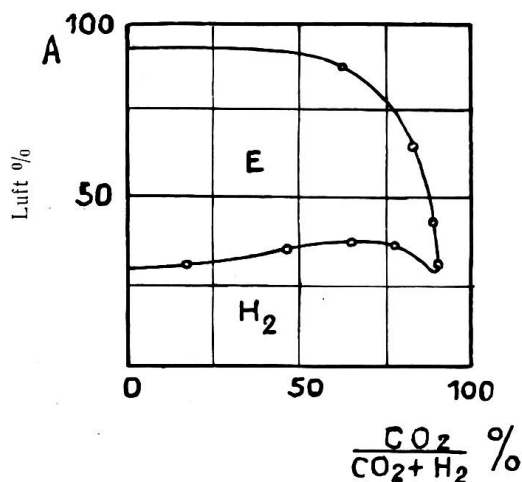


Fig. 15.

H₂ = Sauerstoff. E = Explosionsbereich.

hier interessierenden Stoffe, Methan und Wasserstoff, die in Fig. 14 und 15 dargestellten Explosionsbereiche ermittelt hat. Aus diesen Kurven ist deutlich zu ersehen, dass ein Gemisch mit Wasserstoff in viel weiteren Grenzen explosibel ist als ein solches mit Methan, so dass also auch bei Schaltergasen der Wasserstoff gefährlicher sein wird als die aus dem Öl entstandenen niederen

⁴²⁾ Z. f. ang. Ch. 36, 375 (1923).

⁴³⁾ Zeitschr. f. Techn. Physik 4, 468 (1923).

Kohlenwasserstoffe. Die Wasserstoffentwicklung steht aber nicht im Zusammenhang mit dem Flammpunkt, sondern nur mit der Konstitution der in den Oelen enthaltenen Kohlenwasserstoffe, d. h. von dem Verhältnis Kohlenstoff : Wasserstoff. Wasserstoff würde also auch bei einem hoch entflammaren Mineralöl gebildet werden. Damit dürfte wohl der gemeinsame Flammpunkt von 145° C, wie er durch die vorliegenden Lieferungsbedingungen gefordert wird, reichlich gerechtfertigt sein. Um einen Ueberblick zu bekommen über die explosiblen Mischungsverhältnisse, sollen hier die Explosionsgrenzen einiger, den Elektrotechniker besonders interessierenden Mischungen angeführt werden:

	Untere Grenze	Obere Grenze
Methan + Luft	5,4	13,7
Wasserstoff + Luft	7,9	69,4
Wasserstoff + Sauerstoff	8,3	93,5
Aethylen + Luft	4,0	22,0
Acetylen + Luft	2,8	65,9
Transformatorenöldampf + Luft .	2,5	8,0
Schaltermaschinen + Luft . . .	2,5	72,0
Luft über Oel unter normalen Betriebsbedingungen	Keine Explosionsgrenzen	

Neben den sogenannten Schaltergasen, deren Hauptbestandteil Wasserstoff ist und die daneben noch gesättigte und ungesättigte gasförmige Kohlenwasserstoffe enthalten, bilden sich im Oel auch noch niedrigere Kohlenwasserstoffe, die flüssig sind, wie folgendes Beispiel zeigt, von denen das erste an der Eidg. Prüfungsanstalt für Brennstoffe in Zürich und das zweite im Laboratorium der A.-G. Brown Boveri untersucht wurde.

	Eigenschaften im Anlieferungszustand	nach 500 Abschaltungen	nach 650 Abschaltungen
Spez. Gewicht	1) 0,887 2) 0,892	0,890	0,886
Flammpunkt	1) 156° 2) 148°	110°	112°
Siedeanalyse:			
0–300°	1) 1,6 % Gew.	} 31,5	
300–350°	28,0 % "		
350–370°	27,4 % "		
Rückstand	43,0 % "	47,4	
Siedeanalyse:			
0–300°	2) 2,3 % "		12,0 %
300–350°	31,0 % "		32 %
350–370°	29,0 % "		31 %
Rückstand	37,7 % "		25,0 %

Wir sehen aus diesen Zahlen deutlich, dass der Flammpunkt der Schalteröle in der Nähe der Schaltkontakte entnommen, wesentlich zurückgegangen ist, d. h. dass durch den Abschaltlichtbogen das hochmolekulare Oel zu niedermolekularen Kohlenwasserstoffen abgebaut wird. Bei Anwesenheit von gewissen ungesättigten Kohlen-

wasserstoffen, d. h. also bei schlecht gereinigten Oelen, wird dieser Vorgang noch erleichtert, dazu können sich unter Umständen auch pechartige Rückstände auf den Schaltkontakten ausscheiden, die dann schliesslich in koksartige Rückstände übergehen und den Schaltvorgang verschlechtern.

Als drittes Zersetzungsprodukt erhalten wir im Schalter die Kohleausscheidung. Die bis jetzt vorliegenden Untersuchungen haben nie die Herkunft und den Reinigungsgrad der Öle berücksichtigt, so dass heute nicht einwandfrei gesagt werden kann, welcher Typus von Mineralölen sich am günstigsten verhält. Koronabildungen oder Lichtbogen im Oel erzeugen amorphe Kohle, die je nach der Zusammensetzung des Oeles verschiedene Verteilungsgrade aufweisen kann und damit sich mehr oder weniger lang suspendiert im Oel zu halten vermag. Hohe Spannungen und kleine Stromstärken ergeben fein verteilte Kohle, während niedere Spannungen und hohe Stromstärken grosse Kohlepartikelchen ausscheiden. Die grobe Sorte enthält noch niedere ungesättigte Kohlenwasserstoffe mit geringem Wasserstoffgehalt und geringem spez. Widerstand. Diese Verbindungen sind durch Adsorption an der Oberfläche der Kohleteilchen festgehalten. Graphitartige Kohlenabscheidung entsteht dann, wenn ein Lichtbogen in der Nähe der Oberfläche verläuft, wo atmosphärischer Sauerstoff hinzutreten kann. Dieser „graphitisierte“ Kohlenstoff hat eine grössere Leitfähigkeit als amorphe Kohle und er ist chemisch einzureihen zwischen amorphe Kohle und Graphit.

Zu Punkt II. Damit die unter I erwähnten Produkte infolge einer langen Lichtbogendauer nicht in überreicher Menge entstehen, muss das Oel möglichst dünnflüssig sein, damit es rasch nachfließt und den Lichtbogen löscht. Die vorgesehene Viskosität von 8° E bei 20° C verbürgt in der Beziehung gute Eigenschaften.

Zu Punkt III. Bei der Besprechung der Verhältnisse im Transformator haben wir gesehen, wie stark die Viskositätskurven für Methan- und Naphtenöle bei tieferen Temperaturen auseinandergehen und wie die ersteren einen scharf ausgeprägten Stockpunkt oder Festpunkt haben, während die Naphtenöle auch bei sehr tiefen Temperaturen nicht fest werden, sondern syrupartige Konsistenz annehmen. Diese Eigenschaft ist speziell für einen einwandfreien Schalterbetrieb wichtig. In den vorliegenden Lieferungsbedingungen wurde daher auch die Kälteprüfung so vorgeschrieben, dass das Oel auch unter ungünstigsten Betriebsbedingungen den Anforderungen genügt. Die Erschwerung des Abschaltvorganges in gestocktem oder sehr dickflüssigem Oel hat eine Verzögerung der Abschaltgeschwindigkeit und damit eine Verlängerung der Lichtbogendauer zur Folge. Fig. 16 zeigt den Einfluss der Konsistenz auf die Ausschaltzeit. Die Versuche, die mit einem Oel durchgeführt wurden, dessen Stockpunkt bei – 3° C lag, zeigen, dass für eine bestimmte Abschaltleistung bei – 8° C die Abschaltzeit ca. 80 % grösser ist als in dünnflüssigem Oel. Allen diesen Gefahren ist man durch Verwendung von kaltebeständigen Oelen im Sinne der vorliegenden Lieferungsbedingungen nicht ausgesetzt.

Zu Punkt IV sei auf den Abschnitt „Die elektrische Festigkeit“ auf Seite 203 und 204 verwiesen.

Nachdem die wichtigsten Punkte über die Verwendung von Mineralölen in den Schaltern besprochen worden sind, kann zusammenfassend gesagt werden: Um Verwechslungen und falsche Nachfüllungen zu vermeiden, ist es sehr vorteilhaft, nur ein Isolieröl zu verwenden. Die Eigen-

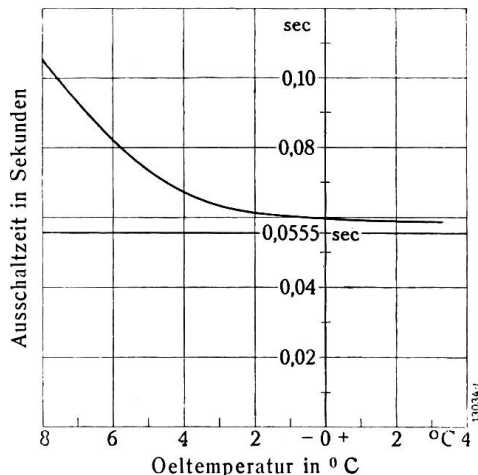


Fig. 16.

schaften, die für die Verwendung im Transformator gefordert werden müssen, sind nicht sehr verschieden von den Eigenschaften der Schalteröle. Es sollen in beiden Fällen gut gereinigte und raffinierte Mineralöle zur Verwendung kommen, die bei guter Kältebeständigkeit und entsprechender Viskosität im einen Falle für genü-

gende Kühlung und im andern Falle für rasches Nachfliessen und damit Lösens des Lichtbogens sorgen. Für die Transformatorenöle wird der hohe Reinigungsgrad gefordert, um gute Temperaturbeständigkeit zu bekommen, für die Schalteröle dagegen will man eine möglichst gute Raffination und damit die Abwesenheit ungesättigter Verbindungen, damit keine teerartigen Ausscheidungen auf den Kontakten und keine übermässig grosse Menge von Kohle beim Abschalten entstehen. Bei ungesättigten Kohlenwasserstoffen ist das Verhältnis zugunsten des Kohlenstoffes, so dass aus diesen prozentual mehr Kohle entsteht als bei gesättigten.

Da die Öle, die für die beiden Verwendungszwecke in der Elektrotechnik in Betracht kommen, so viele gemeinsame Punkte haben, wurde eine Trennung der Schalter- und Transformatorenöle in den vorliegenden Lieferungsbedingungen des S.E.V. fallen gelassen und die für beide Gruppen massgebenden Eigenschaften so ausgewählt und durch solche Prüfmethode festzulegen versucht, dass dem Verbraucher die möglichst grösste Garantie gewährleistet wird für sorgfältige Auswahl der bezüglichen Betriebsstoffe und damit für störungsfreien Betrieb.

Der Vollständigkeit halber soll hier noch angeführt werden, dass Harzöle in Schaltern nicht verwendet werden können wegen ihren schlechten Viskositätseigenschaften bei tiefen Temperaturen und vor allem wegen des prozentual grossen Kohlenstoffgehaltes und der damit zusammenhängenden übermässig grossen Verkohlungs beim Abschaltvorgang.

Normalien zur Prüfung und Bewertung von Mineralöl für Transformatoren und Schalter¹⁾.

Aufgestellt durch die Normalienkommission des S.E.V. und V.S.E.²⁾.

Der Schweizerische Elektrotechnische Verein setzt die folgenden Normalien auf den 1. Juli 1925 in Kraft. Wenn eine erste, auf Grund dieser Normalien vorgenommene Prüfung zu Beanstandungen führt, so nimmt die Materialprüfanstalt des Vereins im Auftrage eines der Interessenten eine Nachprüfung vor, welche endgültig entscheidend ist.

Um diese Nachprüfung des Prüfbefundes durch die Materialprüfanstalt zu ermöglichen, sind gleichzeitig zwei Oelproben zu entnehmen, deren eine plombiert und mit dem Abfülldatum versehen, für die Prüfung durch die Materialprüfanstalt reserviert bleibt.

I. Allgemeine Angaben.

1. Nachdem das zu prüfende Öl am Abnahmeort eingetroffen ist und sich während mindestens

¹⁾ Diese Normalien sind durch die Verwaltungskommission des S.E.V. und V.S.E. zur Vorlage an die XL. Generalversammlung des S.E.V. genehmigt. Das Generalsekretariat S.E.V. und V.S.E., Zürich, Seefeldstr. 301 ersucht, ihm Äusserungen zu diesen Normalien vor dem 25. Mai 1925 schriftlich formuliert zukommen zu lassen.

²⁾ Diese Kommission besteht aus den Mitgliedern: Dr. K. Sulzberger, Zürich, Präsident; Dr. G. A. Borel, Cortaillod; L. Dénéreaz, Territet; H. Egli, Zürich; A. Schaetz, Bern und P. Weingart, Klosters. — Mitarbeiter der Kommission für die Aufstellung dieser Normalien sind: A. Mosser, Zürich; Prof. Dr. P. Schläpfer, Zürich; E. Schwank, Baden; Dr. H. Staeger, Baden.

24 Stunden hat setzen können, soll dem Versandgefäss eine Probe von mindestens 2 Liter durch den Besteller oder von demselben Beauftragte entnommen werden. Auf sein Verlangen und seine Kosten soll dem Lieferanten ermöglicht werden, bei der Probeentnahme anwesend zu sein.

Wenn das Öl von dem Transformatoren- oder Schalterlieferanten mitgeliefert wird und das Auskochen desselben im Apparat durch den Lieferanten erfolgt, kann die Entnahme der Oelprobe aus dem betriebsbereiten aber noch nicht in Betrieb genommenen Apparat verlangt werden.

2. Jede Oelprobe wird in der angegebenen Reihenfolge den im folgenden genannten Prüfungen unterworfen. Das Öl entspricht diesen Normalien erst, wenn es alle Prüfungen bestanden hat.

II. Art und Umfang der Prüfungen.

1. **Der Gehalt an mechanischen Beimengungen.** Das Öl soll, weder bei Zimmertemperatur noch bei ca. 110° C eine Trübung oder Schlieren aufweisen und keine von blossen Auge wahrnehmbaren festen Körper enthalten.

2. **Die Viskosität** soll, nach Engler bestimmt, bei 20° C unter 8 liegen.

3. **Das Verhalten in der Kälte.** Die Fliesszeit bei -20° C darf höchstens 10 Sek. betragen³⁾.

³⁾ Définition der Fliesszeit siehe III/3.

4. *Der Flammpunkt* soll, nach Marcusson bestimmt, über 145° C liegen.

5. *Die elektrische Festigkeit.* Das Oel soll vor Vornahme der Prüfung während einer halben Stunde in gedecktem Prüfgefäss ruhen. Es soll bei Zimmertemperatur zwischen Kugeln von 12,5 mm Durchmesser bei 5 mm Abstand einer von 0 bis 30 kV_{eff} mit der Geschwindigkeit von 1 kV_{eff} pro Sekunde ansteigenden Wechselspannung ausgesetzt werden. Die Wechselspannung von 30 kV_{eff} ist darauf während 30 Minuten konstant zu halten. Während der letzten 5 Minuten sollen keine Funkenentladungen auftreten, noch soll irgend ein Geräusch wahrnehmbar sein.

6. *Der Gehalt an chemischen Beimengungen.* Das Oel soll weder Mineralsäure noch Alkalien enthalten. Es soll weniger organische Säure enthalten als einer Säurezahl von 0,1 entspricht. Wenn die Probeentnahme aus dem betriebsbereiten Apparat erfolgt, so soll die Säurezahl kleiner als 0,2 sein.

7. *Das Verhalten in der Wärme.* Eine Oelprobe von 1000 cm³ wird in ein zylindrisches Prüfgefäss aus Kupferblech eingefüllt. In das Oel werden zwei Baumwollfäden, Garnnummer 90/2, Drall 90 ÷ 100 pro 10 cm, von je ca. 10 m Länge hineingehängt. Das Prüfgefäss wird bei Luftzutritt während 168 Stunden (1 Woche) auf einer Temperatur von 115° C gehalten. Darauf wird die Probe gut umgerührt und es werden derselben 50 cm³ und 1 Baumwollfaden entnommen. Mit dem letzteren werden 15 Zerreißproben vorgenommen. Das Oel soll keinen Schlamm aufweisen; seine Säurezahl soll kleiner sein als 0,3; die mittlere Festigkeitsabnahme des Baumwollfadens soll kleiner sein als 20%. Sind diese Bedingungen eingehalten, so wird die grosse Oelprobe während weiteren 168 Stunden auf einer Temperatur von 115° C gehalten, darauf die ganze Probe gut durchgerührt. Sodann wird derselben eine kleinere Probe entnommen, mit 3 Teilen Normalbenzin gut durchgemischt und so lange mittelst einer Zentrifuge ausgeschwungen, bis eine klare Trennung des Schlammes von der Flüssigkeit erfolgt ist und keine Kompression des Schlammes mehr stattfindet. Die Schlammmenge soll kleiner sein als 0,3 Volumen % bezogen auf das Oelquantum, die Säurezahl des Oeles (ohne Schlamm) soll kleiner sein als 0,4 und die totale mittlere Festigkeitsabnahme des Baumwollfadens kleiner als 30%.

III. Beschreibung der Prüfmethoden.

1. *Der Gehalt an mechanischen Beimengungen.* Die eingesandten Musterflaschen werden zunächst bei durchfallendem Tageslicht darauf untersucht, ob von blossen Auge irgend eine Verunreinigung oder Trübung wahrnehmbar ist. Alsdann werden die Flaschen tüchtig geschüttelt und vom Inhalt einer derselben in ein Reagenzglas abgefüllt. Dieses letztere wird nochmals in gleicher Weise wie der ganze Flascheninhalt auf Verunreinigungen geprüft. Darauf ist das Oel im Reagenzglas über einer Gasflamme vorsichtig zu erhitzen und von Zeit zu Zeit hinsichtlich einer Trübung oder Schlierenbildung in beschriebener Weise zu beobachten. Die Erwärmung ist so lange fortzusetzen, bis das Oel die Temperatur von 110° C erreicht hat.

2. *Die Viskosität* wird mittelst des Engler'schen Viskosimeters bestimmt und ist die Verhältniszahl

der Zeiten, welche zum Ausfliessen von 200 cm³ Oel und 200 cm³ destillierten Wassers von 20° C nötig sind. Das Engler'sche Viskosimeter besteht, wie aus Fig. 1 ersichtlich ist, aus zwei zentrisch angeordneten Messingschalen, die als Oelbehälter *e* und als Wasserbad *c* dienen, je einem Thermometer *t*₁ und *t*₂ für den Wasser- und Oelbehälter, einem Dreifuss mit Ringbrenner *g* und einem Messkolben *k*. Im Innern des Oelgefässes sind in gleicher Höhe vom Boden desselben drei Spitzen *p* angebracht, die zur Abmessung der Oelprobe und gleichzeitig zur wagrechten Aufstellung des Apparates dienen. Durch den Blechdeckel des Oelgefässes ist das zum Abschluss der Ausflussöffnung *a* benützte Holzstäbchen *s* im Zentrum und das zur Messung der Oeltemperatur verwendete Thermometer seitlich eingeführt. Der Hohlraum zwischen innerem und äusserem Blechgefäss wird mit gewöhnlichem Leitungswasser gefüllt. Mittelst einer Rührvorrichtung *r* wird ein guter Temperatursausgleich im Wasserbad erzielt, dessen Temperatur mittelst der Wärmequelle so einreguliert wird, dass die Oelprobe eine Temperatur von 20° C annimmt. Um während der Erwärmung auch das Oel zu rühren, wird der Deckel von Zeit zu Zeit gedreht, wobei das eingesetzte Thermometer das Durchrühren bewirkt. Die Oelprobe wird dann durch rasches Anheben des Holzstäbchens zum Ausfliessen gebracht, wenn sowohl seine Temperatur, wie diejenige des Wasserbades 20° C beträgt. In dem unter die Ausflussöffnung gestellten Messkolben wird genau 200 cm³ des ausfliessenden Oeles aufgefangen und die zum Ausfliessen nötige Zeit mittelst einer Stoppuhr gemessen. Es sollen mit jedem Oel mindestens zwei Messungen ausgeführt werden, wobei die ermittelten Ausflusszeiten nicht mehr als 2 Sekunden von einander abweichen dürfen. Von Zeit zu Zeit soll der Eichwert des Viskosimeters mit destilliertem Wasser von 20° C nachkontrolliert werden. Die Ausflusszeit für 200 cm³ muss dabei dem Eichschein des Apparates entsprechen. (Ihr Wert liegt zwischen 50 und 53 Sekunden). Der innere Behälter und insbesondere seine Ausflussöffnung müssen vor der Anwendung des Apparates mit Alkohol und Aether sorgfältig gereinigt werden.

3. *Das Verhalten in der Kälte.* Eine Oelprobe von 5 cm³ soll während mindestens 10 Minuten in einem Reagenzglas von 15 mm lichte Weite und 15 cm Länge mindestens 5 cm tief in eine Kältemischung von - 20° C eintauchen. Das Reagenzglas wird darauf mittelst eines wärmeisolierenden Halters aus der Kältemischung herausgenommen und sofort in die umgekehrte senkrechte Lage gekippt. Die Zeit, in welcher das vordere Ende der Oelzunge einen Weg von 10 cm zurücklegt, heisst die Fliesszeit.

Dieser Versuch soll bei Zimmertemperatur vorgenommen werden, wobei das Reagenzglas vor natürlicher oder künstlicher Wärmebestrahlung und Luftzug nach Möglichkeit geschützt werden soll. Die Art der Kältemischung spielt dabei keine wesentliche Rolle.

4. *Der Flammpunkt.* Es ist darunter diejenige Temperatur verstanden, bei der die bei sorgfältiger Erwärmung sich schon unterhalb des Siedepunktes aus den Oelen entwickelnden Dämpfe entzünden. Die Bestimmung des Flammpunktes geschieht

nach Marcusson im offenen Tiegel (siehe Fig. 2). Der Apparat besteht aus einer auf drei Füßen ruhenden Sandbadschale *s* und einem zylindrischen Porzellantiegel *c* von je 4 cm Durchmesser und Höhe, welcher die Oelprobe aufnimmt und mittelst eines zentrierten Ringes *r* in das Bad eingesetzt wird. An dem Gestell des Sandbades ist ein Halter für das Thermometer *t* und eine Vorrichtung zur horizontalen Führung einer Zündflamme *f* befestigt. Zwei mit Asbest belegte Schutzmäntel *m* haben den Zweck, Luftströmungen vom Oelgefäß abzuhalten und eine Beeinflussung der Messergebnisse durch von der Wärmequelle aufsteigende Wärme zu vermeiden. Zur Vornahme der Prüfung wird der Porzellantiegel bis zu einer Marke, welche 10 mm unter dem Tiegelrand angebracht ist, mit dem zu untersuchenden Oel gefüllt, in den Ring eingesetzt und bis zur Höhe des Oelspiegels in feinen Sand eingebettet. Hierauf wird das Thermometer so eingesetzt, dass seine Quecksilberkugel vollständig im Oel eintaucht, das Thermometer aber weder den Boden noch die Seitenwand des Tiegels berührt. Das Sandbad wird alsdann mittelst einer regulierbaren Wärmequelle *g* erhitzt. Bis zur Erreichung von zirka 120° C darf der Temperaturanstieg 4 bis 5° C, von hier weg bis zur Entflammung nur noch 2° C pro Minute betragen. Die kleine wagrechte, auf eine Länge von 5 mm einregulierte Zündflamme wird von Grad zu Grad langsam über den Oeltiegel einmal hin und her geführt. Als Flammpunkt ist diejenige Temperatur zu notieren, bei der zum ersten Mal ein Aufflammen der aus dem Oele austretenden Dämpfe wahrgenommen wird. Der Versuch soll zwei Mal ausgeführt werden; die erhaltenen Werte dürfen nicht mehr als 2° C von einander abweichen. Dabei ist jedes Mal frisches Oel zu nehmen.

5. *Die elektrische Festigkeit.* Als Prüfapparat wird eine Kugelfunkenstrecke verwendet, wie in Fig. 3 wiedergegeben. Der Apparat soll vor der Prüfung mit Benzin, nachher mit Aether ausgewaschen und durch leichtes Erwärmen oder Ausblasen getrocknet werden. Alsdann ist derselbe mit einem Teil des zu untersuchenden Oeles zu spülen und dann mit frischem Oel so zu füllen, dass die Kugel *e* zirka 2 bis 3 cm hoch überdeckt sind.

6. Der Gehalt an chemischen Beimengungen.

- a) Zur qualitativen Prüfung auf freie Mineralsäure werden 100 cm³ des Oeles von Zimmertemperatur mit der gleichen Menge siedend heissen destillierten Wassers in einem Messkolben gebracht und eine Minute lang stark durchgeschüttelt. Nach Trennung der Flüssigkeiten werden 20 bis 30 cm³ Wasser abpipetiert, nach vollständiger Klärung mit einigen Tropfen Methylorange (Lösung von 0,3 g Methylorange in einem Liter destillierten Wassers) versetzt. Mineralsäure bewirkt Rosafärbung. Tritt diese nicht ein, so wird qualitativ auf den Alkaligehalt durch Neutralisation mit $\frac{1}{10}$ normaler Säure (Salz- oder Schwefelsäure) geprüft, bis eine schwache Rosafärbung eintritt. Sind hierzu mehr als zwei Tropfen nötig, so ist Alkali vorhanden.
- b) Quantitative Prüfung auf den Gehalt an organischen Säuren.

- a) *Versuchsausführung bei hellfarbigen Oelen*
Durch den in einen durchbohrten Korkstopfen eingefügten Tropftrichter, welcher bis zu der an der obren Verengung angebrachten Marke 20 cm³ fasst, werden 20 cm³ Oel in einen Erlenmeyerkolben von zirka 300 cm³ Inhalt eingefüllt. Das an der Wandung des Tropftrichters nach dem Einfüllen anhaftende Oel wird mit mindestens 100 cm³ einer neutralisierten Mischung von 1 Teil 96-prozentigem Alkohol und 2 Teilen Benzol, in welche 5 cm³ des Indikators Alkaliblau 6B gegeben wurde, in den Kolben gespült. In den Kolbeninhalt wird aus einer geeichten Bürette $\frac{1}{10}$ Normal-Kalilauge tropfenweise zugesetzt, bis eine deutliche Rotfärbung eintritt, die auch nach mehreren Sekunden langem Schütteln nicht mehr verschwindet. Es bezeichne *n* (KOH) die Anzahl cm³ $\frac{1}{10}$ Normal-Kalilauge, die zur Neutralisation des Oeles notwendig sind und γ das spezifische Gewicht des Oeles. Die Säurezahl *S* berechnet sich dann nach der Formel:

$$S = \frac{\text{Gewicht KOH}}{\text{Oelgewicht}} = \frac{n \text{ (KOH)} \times 5,615}{\gamma \times 20}$$

- β) *Versuchsausführung bei dunkelfarbigem Oelen:* 20 cm³ Oel werden in einen mit Glasstopfen verschliessbaren Messzylinder mit 40 cm³ neutralisiertem 96prozentigem Alkohol (bei dickflüssigen Oelen unter Erwärmung) gehörig durchgeschüttelt und 6 Stunden stehen gelassen. Nach erfolgter Trennung der beiden Flüssigkeiten werden 20 cm³ Alkohol abgegossen und mit $\frac{1}{10}$ *n* Kalilauge, wie unter *a* beschrieben, titriert. Die doppelte Anzahl der verbrauchten cm³ $\frac{1}{10}$ *n* KOH-Lösung ergibt in die Formel unter *a* eingesetzt eine erste Teilsäurezahl. Nach Abgiessen des in dem Messzylinder verbliebenen Alkoholrestes werden 40 neue cm³ neutralisierter Alkohol zugesetzt. Es wird eine zweite Titration vorgenommen und wie bei der ersten die Teilsäurezahl ermittelt. Die beschriebene Operation ist so oft zu wiederholen, bis die letzte Teilsäurezahl kleiner als 10% des in den Normalien festgesetzten Wertes der zulässigen Säurezahl ist. Die Summe der bei sämtlichen Titrationen gefundenen Teilsäurezahlen entspricht der effektiven Säurezahl des Oeles.

7. *Verhalten in der Wärme.* Zur Vornahme der Erwärmungsprobe dient ein Heizapparat, gemäss Fig. 4 mit automatischer Temperaturregelung *t*, welche derart funktioniert, dass das Oel in keinem Prüfgefäß während der ganzen Dauer der Prüfung grössere Temperaturabweichungen von 115° C als $\pm 2^\circ$ C aufweist. In das Oel *e* werden die zwei Baumwollfaden, auf zwei kleinen Rähmchen aus Glas möglichst frei gespannt eingesetzt. Von der gleichen Baumwollspule werden 15 kleine Proben entnommen, im frischen Oel getränkt und einer Zerreissprobe unterzogen. Das unbedeckte Prüfgefäß wird alsdann in den Heizapparat *a* eingesetzt, wobei darauf zu achten ist, dass es auf die ganze Oelhöhe vom Wärmemittel *d* (z. B. Oel) umspült wird und dass ein ungehinderter Frischluft-Zutritt gewähr-

leistet ist. Zur Bestimmung der Schlammmenge wird die ganze Oelprobe gut durchgerührt, so dass allfällig vorhandener Schlamm gleichmässig verteilt ist. Davon wird eine Probe in ein konisches, graduiertes Zentrifugenglas abgefüllt. Nach Erkalten wird dieses Oelmuster mit 3 Teilen Normalbenzin gut durchgemischt und zentrifugiert. Die Trennung der Flüssigkeit vom Schlamm erfolgt in der Regel rasch. Wenn der Schlamm sehr flockig ist, so findet nach der Trennung während der ersten Minuten des weitem Ausschwingens eine Kompression des Schlammes statt. Zum Ausschwingen sollte eine Zentrifuge angewendet werden mit mehreren tausend Umdrehungen pro Minute ($\omega^2 r > \text{ca. } 100 \text{ cm/sec}^2$). Der übrige Teil des Oeles im Prüfgefäss wird in eine Glasschale abgegossen, auf Zimmertemperatur abgekühlt und dann filtriert. Vom filtrierten Oel wird gemäss 6b die Säurezahl bestimmt.

Die Prüfgefässe sollen folgende Dimensionen besitzen: lichte Weite 100 mm, Höhe 210 mm, Wandstärke ca. 0,6 mm. Sie dürfen nicht gelötet, sondern müssen getrieben sein.

Vor deren Verwendung müssen sie gut gereinigt werden, jedoch nicht durch ein chemisches Beizverfahren. Am besten werden sie mit Benzin gewaschen, dann getrocknet und unmittelbar vor dem Gebrauch mit dem zu prüfenden Oel gespült.

Erläuterungen

zu den Normalien zur Prüfung und Bewertung von Mineralöl für Transformatoren und Schalter.

I. Allgemeine Angaben.

ad 1. Bei der Probeentnahme ist insbesondere auf folgendes zu achten:

- a) Die Entnahme der Probe erfolgt mittelst eines Hebers aus den untersten Schichten des Versandgefässes bzw. des betriebsbereiten Apparates.
- b) Die Probe ist in höchstens 3 Flaschen aus farblosem Glas abzufüllen. Die Flaschen müssen mittelst neuen sauberen Korkzapfen verschlossen und mit der Plombe des Bestellers oder der Prüfstelle versehen sein. Die Probe ist eindeutig zu bezeichnen und mit dem Abfülldatum zu versehen.
- c) Alle beim Abfüllen zu verwendenden Geräte müssen unmittelbar vor Gebrauch sorgfältig gereinigt, vollständig getrocknet und vor dem Einfüllen der Probe mit dem zu prüfenden Oel gespült werden. Die Reinigung wird am besten mit Benzin vorgenommen. Es ist insbesondere darauf zu achten, dass weder Fasern (von Putzlappen usw.) noch Staub in die Abfüllgefässe gelangen, noch Benzinreste in denselben zurückbleiben. Die Abfüllung darf im Freien nur bei trockenem Wetter geschehen und soll in staubfreier Luft vorgenommen werden.

Das Verlangen des Lieferanten, bei der Probeentnahme anwesend zu sein, hat mindestens 8 Tage vor dem Eintreffen der Sendung beim Abnahmeort schriftlich zu erfolgen. Die Bestimmung des Zeitpunktes der Probeentnahme geschieht durch den Besteller.

ad 2. Das Oel wird in dem Zustande geprüft, in welchem es vom Besteller abgenommen wird. Die Prüfung im Anlieferungszustande überbindet dem Lieferanten die Integrität des Transportes, diejenige bei Probeentnahme aus dem betriebsbereiten Apparat die sachgemässe Reinigung und Trocknung von Apparat und Oel. Der Versand des Oeles in Holzfässern ist unzulässig. Da es nicht vermieden werden kann, dass auch reines Mineralöl beim Transporte Spuren von Wasser aufnimmt, wurde dieser Tatsache in der Ansetzung der Prüfungen Rechnung getragen. Die Prüfungen sind trotzdem auch in bezug auf Wassergehalt scharf genug, um in normalen Fällen das Oel sowohl in Transformatoren wie in Schalter ohne Vorbehandlung einfüllen zu können. Erachtet ein Verbraucher die Vorbehandlung des Oeles trotzdem als notwendig, so soll durch dieselbe nicht nur das Wasser entfernt werden, es sollen vielmehr hauptsächlich die festen mechanischen Verunreinigungen, welche das Oel in Verbindung mit Wasser schädlich beeinflussen, entfernt werden. Die Entfernung des Wassers allein nützt bei Anwesenheit von Fasern nur für verhältnismässig kurze Zeit, da das Oel und die Fasern Wasser aus der Luft im Betriebe wieder aufnehmen. Unmittelbar vor dem Einfüllen des Oeles in Transformatoren und Schalter sind diese wie auch ihre Behälter sorgfältig zu trocknen und es ist peinlich genau darauf zu achten, dass Fasern und Staub entfernt werden.

II. Art und Umfang der Prüfungen.

Da ein Oel nicht wegen seines spezifischen Gewichtes soll zurückgewiesen werden können, so ist eine entsprechende Bestimmung nicht in die Normalien aufgenommen worden. Das spezifische Gewicht liegt in der Regel zwischen 0,85 und 0,92 und wird bei der Prüfung bestimmt.

ad 1. Oel kann bei Zimmertemperatur bis zu 5 $\frac{0}{100}$ Wasser in gelöstem Zustande enthalten, ohne Trübung aufzuweisen. Wenn das Oel mehr Wasser enthält, so scheidet sich dasselbe in sehr fein vertheiltem Zustande aus und ist von einem gewissen Wassergehalt an als Trübung des Oeles sichtbar. Das Wasser kann durch Erwärmung entfernt werden. Sind aber die Transformatoren und Schalter nicht luftdicht abgeschlossen, so nimmt das Oel wieder Wasser aus der Luft auf.

ad 3. An Orten, wo die Anwendung von kältebeständigem Oel nicht notwendig erscheint, kann auch Oel mit einer Fliesszeit von höchstens 10 Sekunden bei -12°C als den Normalien entsprechend erklärt werden, mit dem Zusatz, dass dasselbe nicht kältebeständig ist.

ad 4. Bei der Bestimmung des Flammpunktes können zwischen den Ergebnissen verschiedener Laboratorien Differenzen von einigen Graden auftreten. Diesem Umstand wurde durch die niedrige Ansetzung des Flammpunktes bereits Rechnung getragen.

ad 5. Weil beim Eingiessen ein Mitreissen von Luftblasen und Feuchtigkeit unvermeidlich ist, muss die Oelprobe vor Ausführung der elektrischen Festigkeitsprüfung in dem Prüfapparat ruhig stehen bleiben, wobei letzterer von vornherein am Ort, wo

die Prüfung vorgenommen werden soll, aufzustellen und mit einer Glasscheibe zu bedecken ist.

Wenn das Oel Spuren von Wasser enthält, treten oft bei der Spannungsprüfung schon bei verhältnismässig niedrigen Spannungen knallende Funkenentladungen auf, ohne dass dadurch ein dauernder Lichtbogen eingeleitet wird. Ist die Feuchtigkeitsmenge nur unbedeutend, so wird sie im elektrischen Funken verdampft und das Oel hält die nachfolgende Prüfung ohne weitere Durchschläge aus. Ist aber der Feuchtigkeitsgehalt des Oeles zu gross oder sind Verunreinigungen vorhanden, so treten auch nach einer längeren Spannungsprüfung noch weitere Durchschläge auf.

Da die elektrische Festigkeit des Oeles von sehr vielen, teilweise noch unabgeklärten Faktoren abhängt, wurde vorläufig davon abgesehen, die Durchschlagfestigkeit des Oeles als Kriterium für die Beurteilung desselben heranzuziehen. Es ist aber wahrscheinlich, dass für eine bestimmte Oelprobe gleichmässige Werte für die Oeldurchschlagfestigkeit erhalten werden, wenn dieselbe nach der beschriebenen Spannungsprüfung (durch welche das Oel in bezug auf die elektrische Festigkeit homogenere Eigenschaften zu erhalten scheint) durch einen weiteren Spannungsanstieg mit 1 kV/sec bis zum Durchschlag geprüft wird. Um in dieser Beziehung weiteres Erfahrungsmaterial zu sammeln, ist es deshalb zu empfehlen, diese Ergänzung der Prüfung vorzunehmen und die so ermittelte Durchschlagspannung ebenfalls anzugeben. Vorläufig bildet aber dieser Wert kein Kriterium für die Einhaltung der Normalien.

ad 6. Die Säurezahl ist die Anzahl mg Aetzkali (KOH), die zur Neutralisation von 1 gr Oel erforderlich sind.

Wenn die Oelprobe dem betriebsbereiten Apparat entnommen wird, so wird wegen des Auskochens die Säurezahl von 0,2 zugelassen. Dies ist jedoch der einzige Unterschied, welcher bei der Probeentnahme aus dem betriebsbereiten Apparat zugestanden ist.

ad 7. Auf Wunsch wird zur Verfügung des Auftraggebers je eine Probe des Oeles vor Vornahme der Prüfungen, nach der 168stündigen und nach der 336stündigen Erwärmung in ein Probeglas eingeschmolzen.

III. Beschreibung der Prüfmethoden.

Zu jedem der Versuche 1 bis 6 ist das Oel jeweilen nur einer Flasche zu entnehmen.

ad 2. Wenn die ermittelten Ausflusszeiten um mehr als zwei Sekunden voneinander abweichen, so müssen die Messungen wiederholt werden.

Die Voraussetzung für eine einwandfreie Bestimmung der Viskosität nach Engler ist ein von mechanischen Verunreinigungen freies Oel.

ad 3. Für die Beurteilung des Verhaltens des Oeles in der Kälte bestehen noch andere als die beschriebene Methode. Dieselben ergeben allerdings genauere Resultate, sind dafür komplizierter. Aus diesem letzten Grunde wurde die einfachere hier angegebene Prüfungsart festgelegt.

Die bisherige Erfahrung hat gezeigt, dass die marktgängigen Oele entweder über -20°C oder dann erst unter -30°C stocken. Aus diesem Grunde dürfte nach der angegebenen Prüfmethode in den meisten Fällen eine Unterscheidung von kälte- und nichtkältebeständigen Oelen einfach und zuverlässig sein.

ad 6a. Zu dieser Prüfung sind Gefässe aus Jenaerglas zu verwenden, da gewöhnliches Glas lösliche alkalische Bestandteile enthalten kann.

ad 6ba. Zur Bestimmung der Säurezahl gibt es neben der hier angegebenen noch andere in chemischen Laboratorien übliche Methoden, welche auf dem Abwägen der Oelmenge beruhen. Diese „gravimetrischen“ Methoden sind auch zulässig.

Bei der quantitativen Prüfung auf den Gehalt an organischen Säuren muss auf eine genaue Einstellung der Normalkalilauge geachtet werden, besonders auch darauf, dass keine Ausatemungsluft oder kohlenensäurereiche Luft in die Prüfgeräte hineinkommt, sei es durch Einfüllen mit Pipetten oder bei der Verfolgung der Titration, da Alkaliblau gegen Kohlensäure empfindlich ist.

Die verlangten, mindestens 100 cm³ des Alkohol-Benzolgemisches sind notwendig, um die vorgeschriebenen 20 cm³ Oel vollständig zu lösen.

Vor dem Gebrauch der Mischung ist darauf zu achten, dass dieselbe vollständig neutral reagiert.

Wenn bei der Prüfung nach 6a freie Mineralsäure festgestellt wird, so ergibt die Prüfung nach 6b die Summe der organischen Säure und der Mineralsäure. Die Bestimmung des Anteils der Mineralsäure kann nach einer der üblichen Methoden geschehen.

ad. 6bβ. Es muss in der Formel die doppelte Anzahl cm³ KOH-Lösung eingesetzt werden, weil nur die Hälfte des zur Extraktion der Säure verwendeten Alkohols für die Titration verwendet wird.

ad 7. Der Heizapparat soll derart gebaut sein, dass die Wärmeübertragung durch das Wärmemittel an alle Prüfgefässe möglichst gleichmässig erfolgt. Bei Anwendung von Oel als Wärmemittel ist mittelst künstlicher Zirkulation dafür zu sorgen, dass dasselbe nirgends stagniert.

Als Wärmemittel können statt Oel auch andere Medien verwendet werden, sofern mit denselben die Einhaltung konstanter Temperatur gewährleistet ist.

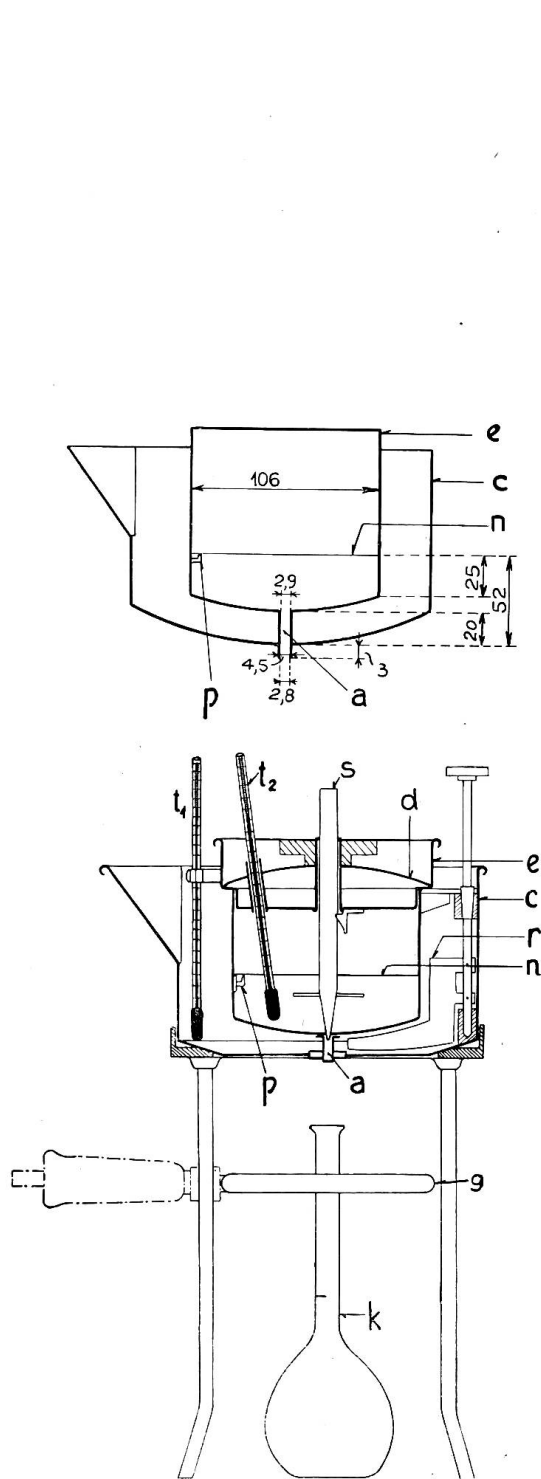


Fig. 1.

Das Englersche Viskosimeter.

- c Messingschale für das Wasserbad.
- r Rührvorrichtung.
- t₁ Thermometer im Wasserbad.
- e Messingschale als Ölbehälter.
- d Deckel der Oelschale.
- p Einstellspitzen.
- n Ölniveau.
- t₂ Thermometer im Öl.
- a Ausflussöffnung.
- k Messkolben.
- g Gasbrenner.
- s Holzstäbchen.

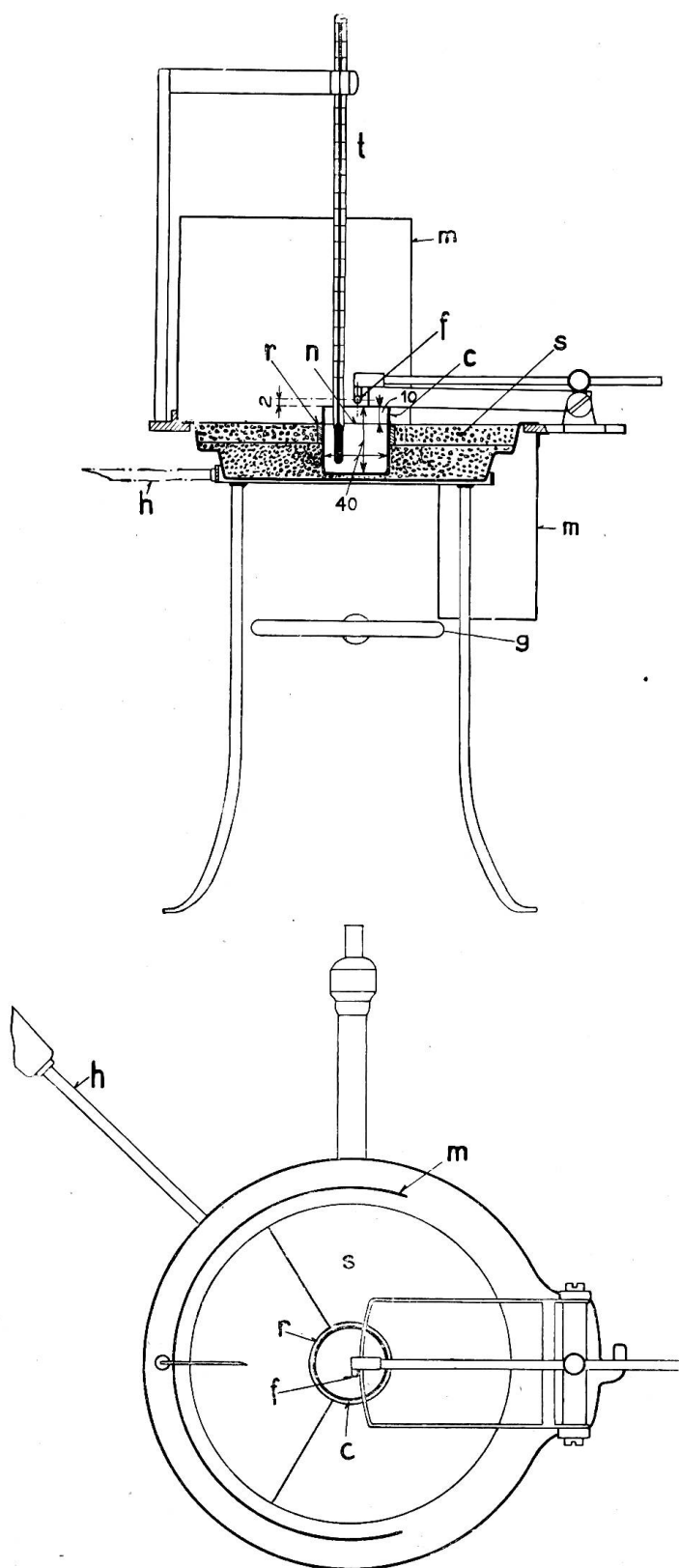


Fig. 2.

Marcussonapparat zur Bestimmung des Flammpunktes.

- s Sandbad.
- c Porzellantiigel.
- r Zentrierter Ring.
- n Ölniveau.
- f Zündflamme.
- m Schutzmantel.
- t Thermometer.
- g Gasbrenner.
- h Handgriff.

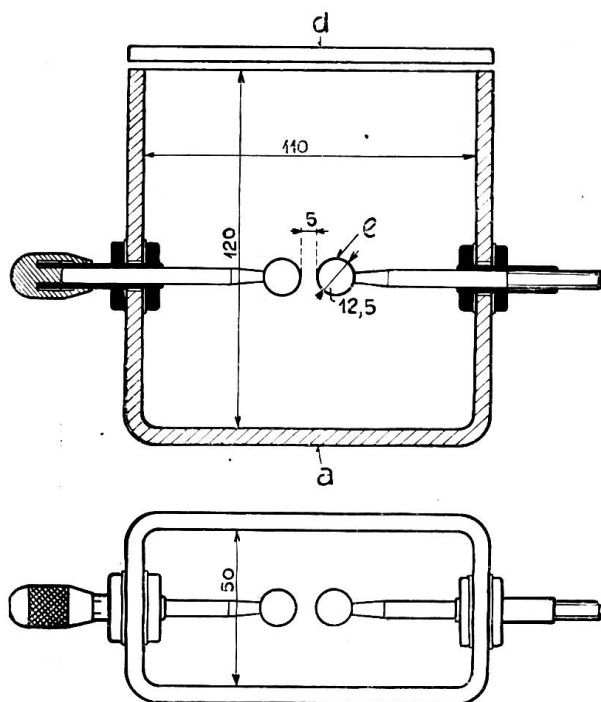


Fig. 3.
Kugelfunkenstrecke.
a Glasbehälter.
e Kugelelektroden.
d Glasdeckel.

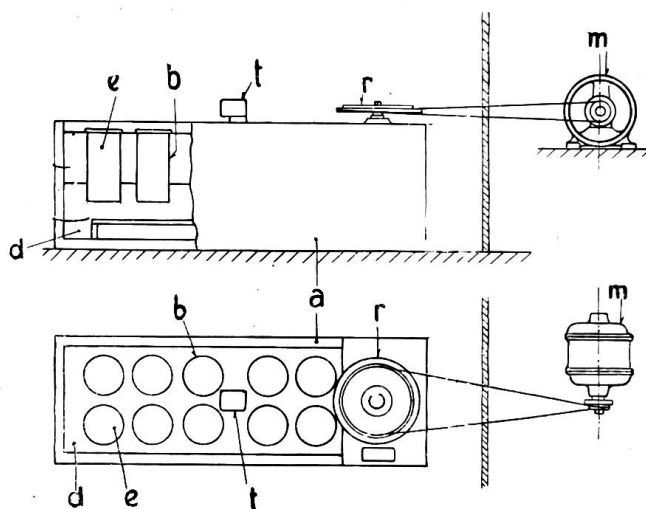


Fig. 4.
Oelwärmeapparat.

- a Wärmeschrank.
- d Wärmemittel.
- b Kupferne Prüfgefässe.
- e Erwärmte Oelprobe.
- t Automatische Temperaturregelung.
- r Rührwerk.
- m Motor für den Rührwerksantrieb.

Vereinsnachrichten.

Die an dieser Stelle erscheinenden Artikel sind, soweit sie nicht anderweitig gezeichnet sind, *offizielle Mitteilungen des Generalsekretariates des S.E.V. und V.S.E.*

Die Diskussionsversammlungen vom 2. und 3. April 1925, zu denen unsere beiden Verbände durch das Bulletin No. 2, Seite 110 und 111, eingeladen worden sind und für welche das Bulletin No. 3, Seite 167, ergänzende Mitteilungen brachte, haben bei zahlreicher Beteiligung einen erfreulichen, programmässigen Verlauf genommen.

Die uns in zuvorkommender Weise zur Verfügung gestellten Referate der Herren Dr. Bauer, Burri, Ringwald und Dr. med. Schwyzer, von der Versammlung des V. S. E., und des Herrn Dutoit, von der Versammlung des S. E. V., sowie die an den beiden Versammlungen gewaltete Diskussion werden wir durch das Bulletin bekannt geben. Die Referate der Herren Brühlmann und Heusser, von der Versammlung des S. E. V., konnten wir bereits im Bulletin No. 2 publizieren. Da indessen das heutige Bulletin und das Bulletin No. 5 bereits durch Vorlagen für die am 13. und 14. Juni stattfindenden Jahresversammlungen in Anspruch genommen sind, werden wir die Berichterstattung über die Diskussionsversammlung des V. S. E. in einem Extrabulletin vornehmen, das vor den diesjährigen Generalversammlungen erscheinen wird.

Die Berichterstattung über die Diskussionsversammlung des S. E. V. wird, soweit die Vorträge

nicht bereits veröffentlicht wurden (siehe Bulletin 1925, No. 2), im Bulletin No. 6 erfolgen.

Jahresversammlungen 1925 mit Damen. Auf die freundliche Einladung hin des *Service de l'Electricité de la Ville de Lausanne, der Compagnie Vaudoise des forces motrices des Lacs de Joux et de l'Orbe* und der *Société anonyme l'Energie de l'Ouest Suisse (EOS)* finden die diesjährigen Jahresversammlungen unserer beiden Verbände am 13. und 14. Juni in Lausanne statt. Daran werden sich am 15. und 16. Juni Exkursionen anschliessen. Alle weiteren Mitteilungen, die Traktandenlisten für die Generalversammlungen, Programme für die Exkursionen usw. werden im Bulletin No. 5 bekannt gegeben.

Jubilaré des V. S. E. An der diesjährigen Generalversammlung des V. S. E. am 13. Juni in Lausanne werden wiederum an Beamte, Angestellte und Arbeiter, die im Zeitpunkt der Generalversammlung ohne Unterbruch 25 Jahre im Dienste desselben Elektrizitätswerkes stehen, Anerkennungsdiplome verabreicht. Die Werke werden ersucht, den Namen und Vornamen solcher Funktionäre, mit Angabe der Stellung, die sie beim

Werk einnehmen, bis *Mitte Mai* dem Generalsekretariat, Seefeldstrasse 301, Zürich 8, mitzuteilen.

Glühlampenlieferanten. Wir setzen die Mitglieder des V.S.E. hiermit in Kenntnis, dass die Glühlampenfabriken, mit welchen wir bis jetzt im Vertragsverhältnis gestanden sind, unser Abkommen auf Ende Juni 1925 gekündigt haben.

Wir stehen in Verhandlungen für einen neuen Vertrag, dem sich auch die „Ferrowatt“ Metalldrahtlampen A.-G. und Tungsram-Gesellschaft, die mit uns seit einiger Zeit keinen Vertrag hatten, anschliessen wollen. Diese beiden Firmen haben bei uns den Wunsch geäußert, den andern Lieferanten bereits von heute an wieder gleichgestellt zu werden.

Wir haben mit den genannten zwei Lieferanten vereinbart, dass sie vom ersten April an wieder die übliche Abgabe an die Einkaufsabteilung des V.S.E. leisten und damit das Recht haben werden, den unserem Verbands angeschlossenen Elektrizitätswerken Lampen mit V.S.E.-Zeichen zu liefern.

Im Verlag des S.E.V. (Seefeldstrasse 301) neu erschienene Drucksachen. Die durch die letzte Nummer des Bulletin avisierten Separatabzüge des Berichtes des Starkstrominspektorates über „Unfälle an elektrischen Anlagen in der Schweiz im Jahre 1924“ sind in deutscher Sprache bereits erschienen und den Bestellern zum Preise von 30 Rappen pro Exemplar geliefert worden. Die französische Ausgabe des Berichtes wird in einigen Tagen versandbereit sein. Weitere Bestellungen können zum selben Preise noch berücksichtigt werden.

Vom Separatabzug des Aufsatzes von Herrn Obering. M. Schiesser, Baden (aus Bulletin 1923, No. 7 und 8), über „Erdungsfragen“ ist eine zweite Auflage erstellt worden. Die Broschüre ist damit wieder erhältlich und kann zum Preise von Fr. 2.— für Mitglieder des S.E.V. und Fr. 2.50 für Nichtmitglieder abgegeben werden.

Normalien zur Prüfung und Bewertung von Mineralöl für Transformatoren und Schalter. Von den vorstehend abgedruckten Normalien samt Vorwort von Hr. Dr. Stäger, Baden, werden nach erfolgter Genehmigung der Normalien durch die Generalversammlung des S.E.V. (14. Juni 1925) Separatabzüge hergestellt, welche an Mitglieder zum Preise von Fr. 1.50 (Nichtmitglieder Fr. 2.—) abgegeben werden. Wir ersuchen Interessenten, uns ihren allfälligen Bedarf jetzt schon aufgeben zu wollen.

Schweizer Kalender für Elektrotechniker 1925/6. Der neue Schweizer Kalender für Elektrotechniker pro 1925/6 ist erschienen und kann durch das Generalsekretariat des S.E.V. und V.S.E. zum Mitgliederpreis von Fr. 6.— (gegen Fr. 6.50 im Buchhandel) bezogen werden. Der Ergänzungsband (deutsche Ausgabe), welcher seit 1922 keine materiellen Änderungen erfahren hat, ist bei

genannter Adresse zum Preise von Fr. 1.20 erhältlich. Auf Wunsch wird Interessenten ein detailliertes Inhaltsverzeichnis gratis zugestellt.

Klischeesammlung des V.S.E. Wir machen die Mitglieder des Verbandes Schweiz. Elektrizitätswerke neuerdings darauf aufmerksam, dass wir im Besitze einer Sammlung von Klischees sind, welche wir im Bulletin 1924, No. 6, Seiten 308–310 reproduziert haben. Wir können diese Klischees an unsere Verbandsmitglieder leihweise zu Fr. 3.— pro Klischee plus Verpackungs- und Versandspesen für je 10 Tage abgeben. Wir laden unsere Verbandsmitglieder ein, diese Klischees zur Wiedergabe auf ihren Drucksachen (Rechnungen, Zirkulare, usw.) recht häufig zu benutzen.

Mitteilung des eidgenössischen Amtes für Mass und Gewicht an die Elektrizitätswerke, Elektrizitätsverwaltungen und Zählerfabriken. Um Elektrizitätswerken, welche gezwungen sind, Netzteile auf höhere Spannungen oder von 40 auf 50 Perioden umzuschalten, mit bezug auf die Auswechslung der Zähler entgegenzukommen, wird folgendes Vorgehen als zulässig erklärt:

1. Umschaltung auf höhere Spannungen:

Unter der Bedingung, dass:

- a) die Spannung nach der Umschaltung nicht höher ist als das Doppelte derjenigen vor der Umschaltung und
- b) die Umschaltung des betreffenden Netzsektors spätestens innerhalb der Frist von 2 Jahren erfolgt,

dürfen vor der Umschaltung Zähler eingesetzt werden, deren Spannungsspulen für die nach der Umschaltung vorgesehene Spannung bemessen sind. Auf dem Zählerschild ist die endgültige Spannung anzugeben. Das Anbringen von zwei Spannungsbezeichnungen ist nicht zulässig. Die amtliche Prüfung erfolgt bei dem Nennwert der Netzspannung vor der Umschaltung. Die zulässigen Fehlergrenzen sind die in Art. 35 der Vollziehungsverordnung vorgeschriebenen. In den Befundscheinen ist in der Rubrik „Volt“ die auf dem Zähler vermerkte Spannung einzutragen und daneben die Bemerkung: „geprüft bei . . . Volt“. Bei Umschaltung des Netzes auf die höhere Spannung hat Neueichung der Zähler zu erfolgen.

2. Umschaltung von 40 auf 50 Perioden:

Auf dem Zählerschild wird die Periodenzahl 50 angegeben, und die amtliche Prüfung erfolgt bei dieser Periodenzahl. Durch eine zusätzliche Prüfung ist festzustellen, ob die Zähler auch bei 40 Perioden innerhalb der Fehlergrenzen (Art. 35 V.V.) bleiben. In Berücksichtigung der Umstände ist eine Ueberschreitung der Fehlergrenzen an einzelnen Prüfpunkten um $\pm 1\%$ nicht als Rückweisungsgrund anzusehen.

Bern, den 30. März 1925.

Eidg. Amt für Mass und Gewicht

Der Direktor:

E. König.

Verzeichnis der im Generalsekretariat des S. E. V. und V. S. E. aufliegenden Zeitschriften. Die nachstehend aufgeführten Zeitschriften gehen regelmässig beim Generalsekretariat des S. E. V. und V. S. E. ein und stehen unsern Mitgliedern im Bibliothekszimmer des Vereinsgebäudes, Zürich, Seefeldstrasse 301 (Anmeldung im Zimmer 3 d, II. Stock) zur Verfügung; dieselben können jedoch nicht ausgeliehen werden.

Zeitschriften:

<i>I. Schweizerische:</i>	<i>erscheint:</i>	<i>vorliegend seit:</i>	<i>V. Deutsche:</i>	<i>erscheint:</i>	<i>vorliegend seit:</i>
Bulletin des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins . . .	monatlich ¹⁾	1896	Elektrotechnische Zeitschrift (E. T. Z.)	wöchentlich	1902
Journal télégraphique . . .	monatlich	1910	Archiv für Elektrotechnik . . .	nach Bedarf (ca. 12 Hefte im Jahr)	1912
Technische Mitteilungen der Schweiz. Telegraphen- und Telephon-Verwaltung . .	alle 2 Monate	1923	Mitteilungen d. Vereinigung der Elektrizitätswerke . .	halbmonatlich	1913
Elektroindustrie	halbmonatlich	1913	Der elektrische Betrieb ⁴⁾ . .	halbmonatlich	1911
Der schweizerische Energiekonsument	monatlich	1921	Zeitschrift für Instrumentenkunde	monatlich	1906
B. B. C.-Mitteilungen . . .	monatlich	1915	Wasserkraft	alle 2 Wochen	1925
Bulletin der Maschinenfabrik Oerlikon	monatlich	1922	Siemens Zeitschrift	monatlich	1922
Elektrizität	alle 3 Monate	1922	A. E. G. Mitteilungen . . .	monatlich	1919
Mitteilungen für Elektrizitätsverbraucher	alle 3 Monate	1923	Mitteilungen der Porzellanfabriken Hermsdorf, Schomburg, Freiberg . .	alle 2 Monate	1922
Schweizerische Bauzeitung	wöchentlich	1903	<i>VI. Oesterreichische:</i>		
Bulletin technique de la Suisse romande	alle 2 Wochen	1915	Elektrotechnik und Maschinenbau (E. u. M.) . . .	wöchentlich	1910
Rivista Technica della Svizzera italiana	monatlich	1925	<i>VII. Norwegische:</i>		
Schweiz. Wasserwirtschaft .	monatlich	1909	Meddelelser fra norske elektricitetsverkers forening .	monatlich	1923
Täglicher Wasserstandsbericht des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft	täglich	1921	<i>VIII. Englische:</i>		
Technik und Industrie . .	halbmonatlich	1918	The journal of the institution of electrical engineers	monatlich	1910
Schweizerische Technikerzeitung	wöchentlich	1923	Illuminating engineer . .	monatlich	1908
Monatsbulletin des Schweizerischen Vereins von Gas- und Wasserfachmännern .	monatlich	1921	Science abstracts sect. A-Physics	monatlich	1913
Mitteilungen der Vereinigung kant. schweiz. Feuerversicherungsanstalten .	monatlich	1922	Science abstracts sect. B-Electr. engineering	monatlich	1913
Bundesblatt	wöchentlich	1908	<i>IX. Amerikanische (U. S. A.):</i>		
Eidg. Gesetzessammlung .	nach Bedarf	1908	General Electric Review .	monatlich	1923
Schweiz. Arbeitgeberzeitung	wöchentlich	1923	National Electric Light Association Bulletin . . .	—	—
<i>II. Französische:</i>			Journal of the American Institute of electrical engineers ⁵⁾	monatlich	1910
Revue générale de l'électricité	wöchentlich ²⁾	1906	Electrical World	wöchentlich	1922
Bulletin de la Société française des électriciens . .	monatlich	1920	Electric Railway Journal .	wöchentlich	1923
Annales des postes, télégraphes et téléphones .	monatlich	1918	Bulletin of the Bureau of Standards	nach Bedarf	—
L'électricien	halbmonatlich	1910	Circular of the Bureau of Standards	nach Bedarf	—
<i>III. Belgische:</i>			Scientific papers of the Bureau of Standards . . .	nach Bedarf	—
Bulletin mens. de la Société belge des électriciens .	monatlich	1910	Technologic of the Bureau of Standards	nach Bedarf	—
Eclairage et force motrice	monatlich	1921	<i>X. Japanische:</i>		
<i>IV. Italienische:</i>			Journal of the Institute of electrical engineers of Japan	monatlich	1924
Annali dei Lavori pubblici .	—	1924			
L'Elettrotecnica	3 mal monatl. ³⁾	1903			
L'impresa elettrica	monatlich	1922			
Ingegneria	monatlich	1923			

¹⁾ Erscheint als Monatsbulletin seit 1910, vor diesem Zeitpunkt wurde das Bulletin nach Bedarf herausgegeben.

²⁾ Vor 1916 unter den Titeln „La Lumière électrique“ und „La Revue électrique“ erschienen.

³⁾ Erschien vor 1913 unter dem Namen „Atti della Associazione elettrotecnica italiana“.

⁴⁾ Ist vor dem Jahre 1923 unter dem Namen „Elektrische Kraftbetriebe und Bahnen“ erschienen.

⁵⁾ Erschien bis zum Jahre 1920 als „Proceedings of the American institute of electrical engineers“.

Wir empfehlen unsern Mitgliedern diese Zeitschriften, wie auch die übrige Bibliothek des Generalsekretariates, zu recht reger Benützung.