

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 17 (1926)  
**Heft:** 5

**Artikel:** Die Betriebskontrolle der Transformatorenöle  
**Autor:** Flückiger, F.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1059802>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 03.04.2025

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

Fernmeldung die Devisenkurse von einer Zentralstelle aus auf Tabellen beliebig vieler Plätze übertragen werden können.

In der Abteilung „Radio“ zeigten *Maxim-Aarau*, *Schuler-Brunnen*, *Reymond-Genève* und *Favarger-Télévox-Neuchâtel* Empfangsapparate, *Ritter & Uhlmann-Basel* einen neuen *Lautsprecher „Bella Vox“* und *Leclanché-Yverdon* Nass- und Trockenelemente.

Zuletzt möchten wir noch auf die Beteiligung der *Technischen Prüfanstalten des S.E.V.* an der Messe hinweisen. Durch Kurzschluss beschädigte und nachher durch die *Eichstätte* reparierte und neu geeichte *Instrumente* zeugten für die Arbeit der ersteren. Die *Materialprüfanstalt* zeigte den Oelnormalien entsprechende und nicht entsprechende Transformatoren- und Schalteröle im Anlieferungszustand bzw. nach einjährigem Gebrauch im Transformator, vor und nach der Erwärmungsprüfung. Ferner wurden Isolatoren nach dem Durchschlag bzw. Ueberschlag in Oel, Sicherungen verschiedener Güte vor und nach den Prüfungen und verschiedene Isolierstoffe nach der Prüfung auf Wärmebeständigkeit, Brennbarkeit und Lichtbogensicherheit ausgestellt. Die Gegenüberstellung von schlechtem und gutem Material vor und nach den Prüfungen war sehr instruktiv und dürfte Manchen belehrt haben, dass sachgemässe Prüfungen für die Beurteilung von Konstruktionen und Material wertvollen Aufschluss geben. In diesem Zusammenhang kann auf ein wirksames Propagandamittel für die Kunden der Technischen Prüfanstalten hingewiesen werden: Es sind dies die Prüfberichte der Materialprüfanstalt in Plakatform, wie sie an der Mustermesse erstmals in verschiedenen Ständen zu sehen waren.

## Die Betriebskontrolle der Transformatorenöle.

Von *F. Flückiger*, Luzern.

*Der Autor berichtet über die Kontrolle der Transformatorenöle während des Betriebes und die darüber beim Elektrizitätswerk Luzern gemachten Erfahrungen. Er zeigt, dass sich das Elektrizitätswerk durch eine regelmässige Kontrolle vor grösseren Schäden und unangenehmen Störungen schützen kann. Endlich regt er die Aufstellung von Normalien zur Bewertung gebräuchter Transformatorenöle an.*

*L'auteur rapporte sur le contrôle en service, des huiles de transformateurs et sur les expériences faites à ce sujet par le service électrique de la ville de Lucerne. Il montre qu'un contrôle régulier permet à la centrale électrique de se protéger contre des dommages importants et des perturbations gênantes. Il préconise enfin l'élaboration de normes pour huiles de transformateurs usagées.*

In letzter Zeit sind eine ganze Anzahl Arbeiten über die so wichtige Frage der Isolieröle für Transformatoren und Schalter erschienen. Es wird daher für weitere Fachkreise von Interesse sein, etwas näheres über die während mehreren Jahren bei der Betriebskontrolle von Transformatorenöl bis heute gesammelten Erfahrungen und Beobachtungen zu erfahren.

Beim Elektrizitätswerk Luzern werden von jedem Transformator je nach Erwärmung des Oeles alle 2 bis 4 Jahre eine Probe von ca. 200 g entnommen. Das Oel wird auf Farbe, Geruch, Schlamm, Säuregehalt, Wasser und elektrische Festigkeit untersucht, um sich über den Zustand der Transformatoren ein einigermaßen klares Bild zu verschaffen. Bei jedem Transformator wird eine Oelprobe wenn möglich bei der unten am Kasten angebrachten Oelablass-Schraube und in vielen Fällen eine oben entnommen. Je nach Aufstellung des Transformators ist es nicht immer möglich, unten zu entnehmen und hat den Nachteil, dass in vielen Fällen die Schraube nach einmaligem Lösen nicht mehr abdichtet. Kann die Oelprobe nur oben entnommen werden, so wird das auf dem Boden lagernde Wasser, sowie der Schlamm nicht erfasst. Wie wir später zeigen werden, hatten die kleinen Mengen Wasser, die bei einigen Transformatoren auf dem Kesselboden vorgefunden wurden, keinen merklichen Einfluss auf die elektrische Festigkeit des Oeles. Der in den meisten Fällen öllösliche Schlamm, der sich oft als Trübung bemerkbar

macht und meistens nach einigen Tagen Stehenlassen sich auf den Boden absetzt, wird auch bei der oben entnommenen Probe erfasst. Von jedem Transformator wird mit Hilfe eines Maximalthermometers die Höchsttemperatur und wo möglich auch die minimale Temperatur bestimmt. Alle diese Resultate über die Prüfung des Oeles, sowie über den Befund des Transformators, werden auf dem betreffenden Transformatorenblatt notiert.

Nach diesen Zusammenstellungen war es möglich, nach einigen Jahren auf Grund der Prüfungsergebnisse des Oeles über den Zustand des Transformators einigermaßen ein klares Bild zu erhalten. Es sollen nun im folgenden die Oele, welche in den Jahren 1910 bis 1915 geliefert wurden, von den Kriegsölen (1915 bis 1919) auseinander gehalten werden.

Die vom Schreibenden untersuchten Vorkriegsöle hatten folgende physikalischen Eigenschaften: Spezifisches Gewicht zwischen 0,869 bis 0,889 bei  $+15^{\circ}\text{C}$ , Viskosität 5,5<sup>0</sup> bis 12,5<sup>0</sup> Engler bei einer Temperatur von  $+20^{\circ}\text{C}$ , Flammpunkt nach Marcusson im offenen Tiegel 150<sup>0</sup> bis 190<sup>0</sup> C.

Es wurden Oeltemperaturen gemessen und zum Teil berechnet, bei den schwach beanspruchten Transformatoren die maximale 50<sup>0</sup> C, die minimale 10<sup>0</sup> C und die mittlere Jahrestemperatur ca. 26<sup>0</sup> C. Bei den stark beanspruchten Transformatoren war das Oel einer maximalen Temperatur von 60<sup>0</sup> C, einer minimalen von 40<sup>0</sup> C und einer mittleren von ca. 48<sup>0</sup> C ausgesetzt. Die Transformatoren in einem Oel mit einer Säurezahl von 0,6 bis 0,9, gelber bis hellbrauner Farbe, wovon bei einigen Trübungen festgestellt wurden, zeigten bei der Revision folgendes Bild:

Bei einigen konnten an den Wicklungen und den Kesselwandungen Spuren von Schlamm festgestellt werden, während auf dem Boden bei allen eine geringe Schlammablagerung vorgefunden wurde. Die Baumwollisolierung war bei allen in gutem Zustande. Bei den Oelen mit einem Säuregehalt von 0,95 bis 1,25, gelber bis hellbrauner Farbe, konnte bei den meisten, wenn die Probe auch oben entnommen wurde, nach einigen Tagen Stehenlassen mehr oder weniger Abscheidungsprodukte festgestellt werden. Beim Nachsehen dieser Transformatoren zeigte sich, dass an Wicklungen und Kesselwandungen wenig, bei einigen nur Spuren von Schlammansatz vorhanden war, während sich auf dem Boden ca. 1 bis 5 cm Schlamm abgelagert hatte. Ein Oel, das in mehreren Transformatoren eingefüllt war, mit einem spezifischen Gewicht von 0,885, Viskosität 5,5<sup>0</sup> Engler und einem Flammpunkt von 160<sup>0</sup> C wurde im Laboratorium des Elektrizitätswerkes Luzern während 300 Stunden auf 112<sup>0</sup> C erwärmt. Das Oel war nach 300 Stunden klar, hatte eine hellbraune Farbe, eine Säurezahl von 0,35 und Schlammabscheidungsprodukte waren keine wahrnehmbar, die Festigkeit des Baumwollgarnes nahm ca. 25% ab. Dieses Oel zeigte nach 10 Jahren, je nach der Beanspruchung des Transformators, eine Säurezahl von 0,7 bis 1,0, um nach 15 Jahren auf 0,85 bis 1,25 zu steigen. Die Schlammbildung setzte bei einem Säuregehalt von über 1,0 ein. Die Festigkeit der Baumwollisolierung nahm erst bei einer Säurezahl von über 1,0 ab.

Die in den Kriegsjahren 1915 bis 1919 gelieferten Oele hatten folgende physikalischen Eigenschaften: Spezifisches Gewicht bei  $+15^{\circ}\text{C}$  0,860 bis 0,980, Viskosität bei  $+20^{\circ}\text{C}$  4,60<sup>0</sup> bis 26<sup>0</sup> Engler, Flammpunkt im offenen Tiegel 145<sup>0</sup> bis 210<sup>0</sup> C.

Im Betrieb wurden Oeltemperaturen gemessen und zum Teil berechnet, je nach der Beanspruchung der Transformatoren die maximalen 38<sup>0</sup> bis 57<sup>0</sup> C, die minimalen 19<sup>0</sup> bis 35<sup>0</sup> C und die mittleren 30<sup>0</sup> bis 48<sup>0</sup> C. Der Säuregehalt stieg in den ersten 5 Jahren auf 0,4 bis 0,9, um dann nach 9 bis 10 Betriebsjahren auf 0,9 bis 1,35 zu steigen, je nach Erwärmung des Oeles. Bei einer Anzahl dieser Oele mit einer Säurezahl von 0,6 bis 1,0 war die Baumwollumspinnung des Wicklungsdrahtes in gutem Zustande. Die Farbe der Oele war goldgelb bis braun. Bei 80% dieser Transformatoren konnte keine wesentliche Schlammabscheidung vorgefunden werden, während beim Rest an Wicklung, Kesselwandung und

Boden mehr oder weniger Schlamm festgestellt wurde. Bei mehreren Transformatoren hatte die Drahtumspinnung, bei einem Säuregehalt des Oeles von 0,6 bis 0,8, an Festigkeit abgenommen. Schlamm war bei diesen nur unwesentlich vorgefunden worden, die Farbe dieser Oele war goldgelb bis braun.

Bei der Erwärmung letzterer Oele auf 112° während 300 Stunden stieg die Säurezahl von 0,1 auf 0,9 und es wurde viel Schlamm festgestellt. Die Festigkeit des Baumwollgarnes nahm um ca. 45% ab.

Bei Transformatoren in Oel mit einer Säurezahl von über 1,0 hatte die Festigkeit der Baumwollumspinnung mehr oder weniger abgenommen, auch wurde bei allen Schlamm vorgefunden. Die Farbe dieser Oele war goldgelb bis dunkelbraun.

Die Spulen, welche imprägniert waren, haben sich in jedem Oel gut bewährt. Es sollte die Imprägnierung der Wicklungen allgemein eingeführt werden, wenn die Vorteile dieses Verfahrens nicht grössere Nachteile, wie schlechtere Kühlung des Kupfers usw., zur Folge haben. Ob die Imprägnierung der Wicklungen das Kupfer so isoliert, dass die Einwirkung desselben auf das Oel eine geringere ist, wäre noch zu untersuchen. Bei den Erwärmungsproben auf 112° C konnte festgestellt werden, dass das Oel in dem Glasgefäss mit neuem Kupferdraht nach 300 Stunden starke Schlammbildung zeigte und der Säuregehalt um 80 und mehr Prozent höher war als in dem Oel mit einem Kupferdraht, der für die Erwärmungsprobe schon einmal gebraucht wurde. Die Festigkeitsabnahme des Baumwollgarnes im ersteren Gefäss war ebenfalls grösser. Da im Glasgefäss das Verhältnis Kupfer zu Oel ein übersetztes und auch die Temperatur höher ist gegenüber dem Transformator, so können die Verhältnisse dort natürlich etwas andere sein.

Bei den Kriegsölen ist absichtlich die Baumwollumspinnung des Drahtes angegeben, da bei einigen Transformatoren das Baumwollband nach verhältnismässig kurzer Zeit morsch war, während die Drahtumspinnung noch in ganz gutem Zustand war. Diese Erscheinung wird nicht dem Oel zuzuschreiben sein, sondern es ist anzunehmen, dass die Fasern des Baumwollbandes durch Appreturmittel usw. verdorben wurden.

Die Erfahrungen, welche bei den Kriegsölen gemacht worden sind, zeigen, dass, wenn nicht eine aufmerksame Kontrolle durchgeführt wird, die Baumwollisolierung in einigen Jahren vollständig morsch werden kann. Die Elektrizitätswerke werden gut tun, diese Transformatoren bald mit neuem Oel nach den Vorschriften des S. E. V. zu füllen.

### Schlussfolgerungen.

Feste Vorschriften über die Verwendbarkeit gebrauchter Transformatorenöle aufzustellen, ist für alle die verschiedenen Oele, wie z. B. die Kriegsöle zeigen, schwierig. Weder Schlamm, Säure, noch Farbe geben einen sichern Anhaltspunkt über den Zustand des Transformators. Bei den Vorkriegsölen hat uns der Säuregehalt ein sehr gutes Bild über den Zustand der Transformatoren gegeben.

Bei den meisten Transformatoren konnte die Beobachtung gemacht werden, dass die Säurezahl des Oeles in den ersten 5 Jahren rapid zunimmt, um dann in den nächsten 4 Jahren nur noch wenig zu steigen. Bei einigen Transformatoren ist das Oel bei einem Säuregehalt von 1,0 bis 1,2 filtriert worden. Nachdem dieselben ein Jahr in Betrieb waren, wurde eine Revision vorgenommen, bei der festgestellt werden konnte, dass am Kühlsystem und den Kesselwandungen in dieser kurzen Zeit eine starke Schlammablagerung stattgefunden hatte. Dieses Beispiel zeigt, dass es keinen Wert hat, ein Oel mit hoher Säurezahl zu filtrieren. Dass die Erhöhung der Säurezahl sofort stark einsetzt, währenddem die Schlammbildung erst später nachfolgt, zeigt Herr Dr. Stäger in seiner Abhandlung über die „Charakterisierung der Transformatorenöle“, erschienen in der „Helvetica Chimica Acta“, Dezember 1922. Es ist sehr wichtig, das Oel auf Schlamm zu untersuchen, da derselbe nicht nur die Oelzirkulation in ungünstigem Sinne beeinflusst, sondern der

an der Wicklung anhaftende auch die Durchschlagsspannung stark herabsetzt. Der Schlamm von den Wicklungen einzelner Transformatoren enthielt Spuren von Feuchtigkeit, wodurch die elektrische Festigkeit ganz bedeutend herabgesetzt wird. Der Säuregehalt des Schlammes ist bedeutend grösser als der des Oeles. Die Schlamm- bildung setzte allgemein erst ein, wenn die Säurezahl über 0,9 war, nur einige Kriessöle machten eine Ausnahme. Ist das Oel höheren Temperaturen ausgesetzt als die hier angegebenen, so kann sich das Verhältnis ändern und die Zersetzung wird in kürzerer Zeit stattfinden. Es wäre verfehlt, auf den Schlamm allein abzustellen, da bei mehreren Transformatoren die Baumwollisolierung an Festigkeit abgenommen hatte, ohne dass Schlammabscheidungen zu beobachten waren. Die Farbe gibt keinen Anhaltspunkt, weder über den Zustand des Oeles, noch über den des Transformators, je nach der Erwärmung, der es ausgesetzt, und der Art des Oeles kann die Farbe heller oder dunkler sein. Bei allen Oelen, bei welchen die Baumwollisolierung der Transformatoren an Festigkeit abgenommen hatte, war ein starker undefinierbarer Geruch bemerkbar. Die Durchschlagsspannung der Oele von mehr als 200 Transformatoren lag bei 96% derselben über 60 kV/cm. Das Oel wurde in das Prüfgefäss mit Kugelelektroden von 12,5 mm Durchmesser und 5 mm Abstand eingefüllt und die Spannung innert ca. einer Minute auf 30 kV gesteigert. Wäre die elektrische Festigkeit nach den Vorschriften des S.E.V. festgestellt worden, die bekanntlich verlangen, dass das Oel eine halbe Stunde vor der Vornahme der Prüfung im Prüfgefäss ruhen soll, so würden wahrscheinlich bei allen noch höhere minimale Werte gefunden worden sein, wie einige Versuche zeigten. Altes Oel auf die elektrische Festigkeit zu prüfen, hat seine Berechtigung, da nicht nur Wasser, sondern auch gewisse mechanische Verunreinigungen festgestellt werden können. Bei einigen Transformatoren, wo unten Wasser und feuchter Schlamm festgestellt wurde, lag die Durchschlagsspannung des Oeles nach Abfluss des Wassers über 60 kV/cm. Es scheint, dass das Wasser auf dem Kesselboden, wie es auch entstanden ist, die elektrische Festigkeit des Oeles nicht merklich beeinflusst. Nachprüfungen des spezifischen Gewichtes, der Viskosität und des Flammpunktes zeigten nach mehreren Betriebsjahren keine wesentliche Veränderung. Die Temperatur der betreffenden Oele war zu tief, um die Verdampfung so zu beschleunigen, dass die Viskosität sich wesentlich veränderte, so auch der Flammpunkt, wenn keine Verunreinigungen stattfinden.

Alle diese Erfahrungen und Beobachtungen zeigen, wie wichtig es für ein Elektrizitätswerk ist, über den Zustand der Transformatoren orientiert zu sein. Bei einem Transformator, bei welchem die Baumwollisolierung ganz morsch ist, kann eine geringe Ueberspannung einen Durchschlag und Wicklungsschluss herbeiführen. Eine Kontrolle des Oeles, wie sie hier angeführt ist, wird in den meisten Fällen ein Bild über den Zustand des Transformators geben und die Elektrizitätswerke vor grösserem Schaden bewahren. Sollten über die Bewertung gebrauchter Transformatorenöle Vorschriften entstehen, was sehr zu begrüssen wäre, so sollten diese möglichst nur einfache Untersuchungsmethoden aufweisen.



## Wirtschaftliche Mitteilungen. — Communications de nature économique.

Aus dem Jahresbericht des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft pro 1925. Aus diesem Berichte ist zu ersehen, dass von den in der Schweiz verfügbaren Wasserkraften Ende 1925 ca. 25% ausgebaut waren. Es verbleiben noch 2000 000 kW ungenützt, d. h. viel mehr als man in der Schweiz mit wirtschaftlichem Vorteil in absehbarer Zeit verwenden können wird. Ein Kapitel des Berichtes spricht über die *Ausfuhr elektrischer Energie*.

Da dieses Kapitel unsere Leser besonders interessieren dürfte, geben wir es hier in extenso wieder:

### I. Allgemeines.

1. Die Behandlung der Ausfuhrgesuche erfolgt gestützt auf die Verordnung vom 4. September 1924. Dieses Verfahren hat sich im allgemeinen bewährt. Hinsichtlich der Erteilung des Expro-