

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 15 (1924)  
**Heft:** 8

**Artikel:** Fortschritte in der Reinigung von Isolierölen  
**Autor:** Stäger, Hans  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1061836>

#### 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:** 14.01.2026

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

## Fortschritte in der Reinigung von Isolierölen.

Von Dr. Hans Stäger, Baden.

*Der Autor sucht mit Bezug auf einen im Bulletin 1924, No. 6, von Herrn Wenger über das selbe Thema veröffentlichten Aufsatz nachzuweisen, dass durch das Zentrifugieren von Transformatoren- und Schalteröl nicht alles Wasser entfernt werden kann und bemerkt insbesondere, dass die Notwendigkeit, beim Zentrifugieren Temperaturen in der Gegend von 50° C anzuwenden, die Wasseraufnahmefähigkeit des Oeles erhöht. Der erstgenannte Nachteil soll bei Anwendung der Filterpresse in geringerem Masse vorhanden sein, der zweitgenannte, da dort eine Erwärmung nicht vorgenommen wird, wegfallen.*

*L'auteur, se référant à l'article de M. Wenger, paru au bulletin 1924, No. 6, essaie de démontrer que les essoreuses ne permettent pas d'enlever toute l'humidité de l'huile des transformateurs et interrupteurs. Dans les appareils à force centrifuge existants l'huile doit d'abord être portée à environ 50° C, température à laquelle elle possède un pouvoir d'absorber l'eau beaucoup plus grand qu'à la température de 20° C par exemple. Avec les presses filtres on évite cet inconvénient.*

In Heft Nr. 6 des Bulletin 1924 des S.E.V. bringt Herr Wenger einen Artikel über die Oelreinigung mit Zentrifugen. Der Verfasser möchte hier kurz einige Bemerkungen zu dieser Arbeit machen auf Grund von Versuchen, die mit zentrifugierten Oelen durchgeführt wurden.

### Ueber die Durchschlagsfestigkeit von Transformatorenölen.

Die Luft als Dielektrikum hat eine definierte elektrische Festigkeit und gibt bei mehreren Durchschlägen immer die gleichen Werte. Oel dagegen kann alle möglichen Werte ergeben. Hayden und Steinmetz<sup>1)</sup> haben in ihrer neuesten Publikation an einem sehr grossen Oelquantum (so dass die Zerstörung keine Fehlerquelle ist) diese Frage untersucht und dabei sehr abweichende Kurven erhalten für die Durchschläge in Oel und in Luft. Fig. 1 gibt die prozentualen Abweichungen bei 100 Durchschlägen in Oel und Luft.

Der Durchschlag in Oel soll nach diesen Autoren das Resultat von Inhomogenitäten im Material sein, so dass z. B. Oelanteile verschiedener Leitfähigkeit oder verschiedener spezifischer Kapazität durch das elektrische Feld in die Funkenstrecke hineingezogen werden. So entstehen Strömungen im Feld mit lokaler grosser Dichte, und da kommt es schliesslich zum Durchschlag. Nach Hayden und Steinmetz ist es überhaupt fraglich, ob flüssige Dielektrika eine definierte Durchschlagsfestigkeit haben, oder ob diese bedingt ist durch Gasblasen, die sich z. B. aus dem Oel entwickeln infolge von Zersetzung, Dissoziationen und Ionisationen.

Wenn die Durchschlagsfestigkeit nach der Annahme von Hayden und Steinmetz durch die Gasentwicklung stark beeinflusst wird, dann ist es überhaupt unmöglich, die Durchschlagsfestigkeit zu definieren ohne Angabe der Art der im Oel als Gemisch enthaltenen Kohlenwasserstoffe. Es ist z. B. schon ein wesentlicher Unterschied in bezug auf Gasentwicklung zwischen einem Napthenöl und einem Methanol. Wenn man dabei noch bedenkt, dass die in der Hochspannungstechnik verwendeten Isolieröle verschiedenste Gemische der verschiedensten Gruppen organischer Verbindungen sind, dann wird die Schwierigkeit der Erreichung einheitlicher Werte immer deutlicher.

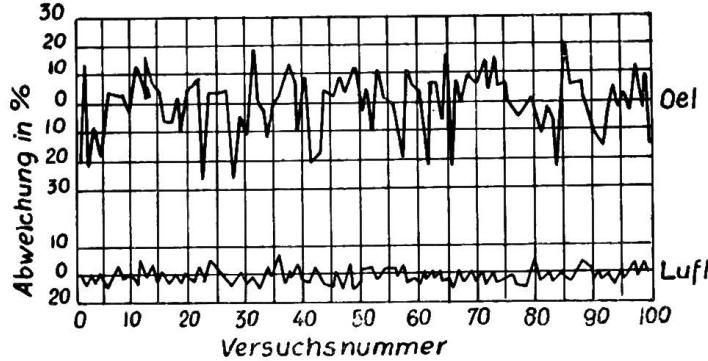


Fig. 1.

<sup>1)</sup> Journal of the A. J. E. E. Vol. XLIII, 38 (1924).

Zipp<sup>2)</sup> vermutet, dass das Oel ein Gemisch von organischen Verbindungen mit verschiedenen Dielektrizitätskonstanten sei. Durch Messungen im physikalischen Laboratorium der A.-G. Brown, Boveri & Cie. konnte z. B. gezeigt werden, dass Oel tatsächlich eine mit der Temperatur sehr stark schwankende Dielektrizitätskonstante und in hohem Masse variable Leitfähigkeit haben kann. Es wurden z. B. folgende Werte gefunden:

Temperatur	Dielektrizitätskonstante	Leitfähigkeit
20° C	1,3	$38,2 \cdot 10^6$ Ohm/cm <sup>3</sup>
30° C	1,44	37,2
40° C	1,7	33,6
50° C	2,5	24,1

Brückmann (Delft)<sup>3)</sup> nimmt an, dass Inhomogenitäten im Oel am Durchschlag schuld seien und nicht feuchte Fasern als solche. Auf Grund von Versuchen mit Transformatorenölen, die Reste von Rizinusöl enthielten, behauptet er, dass der Durchschlag erfolge in Form eines Ueberschlages längs der Grenzflächen der Medien verschiedener Dielektrizitätskonstanten. Solche Grenzflächen können sehr leicht entstehen beim Mischen von Oelen. Nach seiner Auffassung sind solche Fehler nur durch Raffination oder allgemein durch chemische Veredlung zu beheben und nicht durch Filtrieren oder Zentrifugieren.

Die in der Literatur enthaltenen Werte für die Durchschlagsfestigkeit von Isolierölen schwanken in sehr weiten Grenzen, so dass es heute absolut unmöglich ist, einen einheitlichen Wert anzugeben. Der Durchschlagsfestigkeit an und für sich wird heute auch nicht mehr die grosse Bedeutung zugemessen wie früher. Verschiedene elektrotechnische Verbände führen sie nur noch als Kontrollbestimmung in ihren Lieferungsbedingungen. Die Vorschläge der Normalienkommission des S. E. V. gehen z. B. dahin, die Durchschlagsfestigkeit überhaupt nicht mehr zu verlangen, sondern nur noch die Forderung aufzustellen, dass ein Oel eine bestimmte Spannung während einer bestimmten Zeit aushalten muss, wobei für die Prüfspannung selbst kein übermäßig hoher Wert gewählt worden ist.

Aus diesen kurzen Bemerkungen geht wohl deutlich hervor, dass man bei der Begutachtung von Isolierölen auf Grund der Durchschlagsfestigkeit ausserordentlich vorsichtig sein muss und sich von einem gegebenen Wert nicht irre leiten lassen darf.

*Durchschlagsfestigkeit und Wassergehalt.* Stark beeinflusst wird die elektrische Festigkeit von Mineralölen durch die Feuchtigkeit. Es ist eine unangenehme Eigen-

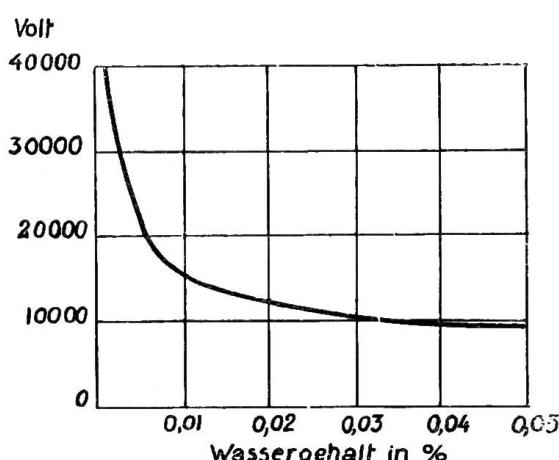


Fig. 2.  
Elektrische Festigkeit  
(Kugelfunkenstrecke 12,7 mm Durchmesser,  
5 mm Abstand).

schaft derselben, dass sie in bestimmtem Masse hygrokopisch sind. Aber auch für diese Eigenschaft lässt sich keine unbedingt gültige Annahme machen, da das Verhalten gegen Feuchtigkeit abhängig ist von der Oberflächenspannung und der inneren Reibung, diese aber in weiten Grenzen variieren kann und ihrerseits wieder abhängig ist von den organischen Verbindungen, die im Oel enthalten sind. Da bei den Isolierölen die oben genannten bestimmenden Eigenschaften in gewissen Grenzen gehalten werden, so lassen sich die Zusammenhänge immerhin innerhalb gewisser Fehlerquellen etwas überblicken. So gibt z. B. Fig. 2 eine Kurve wieder, die von den verschiedensten Autoren ähnlich erhalten worden ist und die Abnahme der

<sup>2)</sup> Ingenieurzeitung 1923, No. 3, Seite 279.

<sup>3)</sup> E. T. Z. 1922, No. 43, Seite 453.

elektrischen Festigkeit mit dem Wassergehalt veranschaulicht.<sup>4)</sup> Die Untersuchungen von Friese haben auch gezeigt, dass es nicht möglich ist, ein Öl durch Wasser- aufnahme beliebig zu verschlechtern, sondern dass bei einem Feuchtigkeitsgehalt von zirka 1 % das Öl praktisch seine geringste Durchschlagsfestigkeit von 22 kV/cm erreicht.

Ein an der Luft von bestimmtem Feuchtigkeitsgehalt gelagertes Transformatorenöl wird also infolge seiner hygrokopischen Eigenschaften eine bestimmte Menge Feuchtigkeit absorbieren und damit seine Durchschlagsfestigkeit um einen bestimmten Betrag verschlechtern. Der bereits erwähnte Forscher behauptete sogar, dass Isolieröl mit der Änderung der Luftfeuchtigkeit stark variiere.

Untersuchungen, die während beinahe zwei Jahren in einem im Freien aufgestellten Transformator, der ausser Betrieb war, durch die A.-G. Brown, Boveri & Co. durchgeführt wurde, zeigte aber deutlich, dass die Schwankungen der Durchschlagsfestigkeit nicht übereinstimmen mit den überaus starken Änderungen in der Luftfeuchtigkeit, so dass dieser Erscheinung für die Praxis nicht die grosse Bedeutung zukommt, wie Friese behauptet. Die Verhältnisse sind in Fig. 3 enthalten.

Versuche, die im Laboratorium durchgeführt wurden, ergaben folgende Werte: Eine Ölprobe (von 1000 cm<sup>3</sup> und einer Oberfläche von 387 cm<sup>2</sup>), die während 24 bzw. 48 Stunden bei 110 °C getrocknet und nachträglich in verschiedenen feuchten Atmosphären während 24 Stunden gelagert worden war, wies einen Rückgang der elektrischen Festigkeit auf wie er aus Tabelle 1 ersichtlich ist.

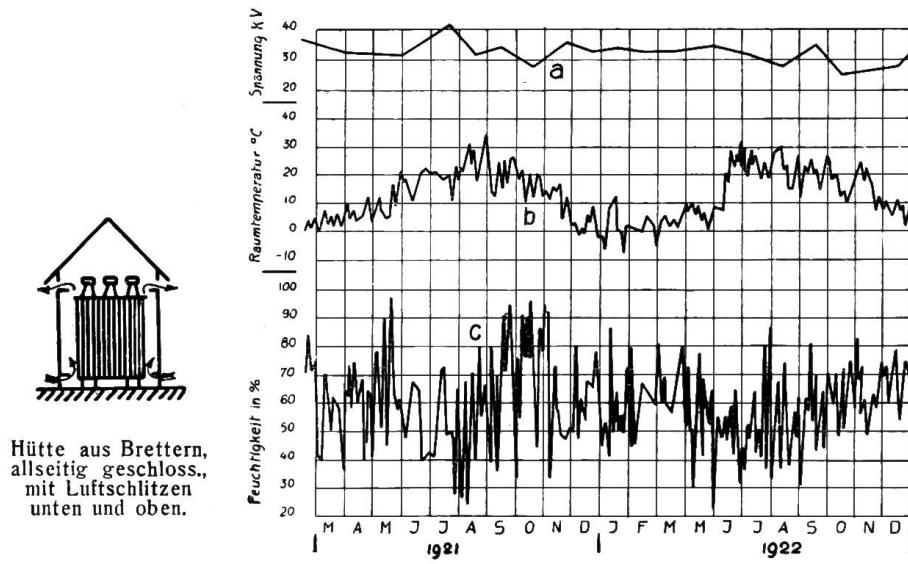
Tabelle 1.

Trockenzeit	24 Stunden				48 Stunden			
	Relative Feuchtigkeit in %	0	30	60	100	0	30	60
Relative Feuchtigkeit in %	0	30	60	100	0	30	60	100
Durchschlagswerte . . .	44	39	33	25 (18)	56	48	46	36 (33)

Kugeldurchmesser 12,7 mm. Abstand 5 mm. Die eingeklammerten Werte bedeuten Vorentladungen.

Wie verhältnismässig indifferent andererseits Öl gegenüber Wasser sein kann, zeigen Versuche, bei denen je ein Wassertropfen (0,1%) bei verschiedenen Temperaturen durch eine getrocknete Ölprobe fallen gelassen worden war. Während bei niedrigen Temperaturen keine Verschlechterung der Durchschlagsfestigkeit zu beobachten war, machte sich der Einfluss bei höheren Temperaturen wesentlich

<sup>4)</sup> Siehe auch Friese, Wissenschaftliche Veröffentlichungen aus dem Siemenskonzern, Band 1, Seite 45, 1921.



Einfluss der Änderung der Luftfeuchtigkeit und Temperatur auf das Öl im Verbrauchstransformator, der längere Zeit ausser Betrieb stand.

Fig. 3.

- a) Durchschlagsspannung des Öles, Kugelentfernung 5 mm, Kugeldurchmesser = 12,5 mm.  
b) Raumtemperatur in Grad Celsius.  
c) Relative Feuchtigkeit in der Hütte in % mit Hygrometer gemessen.

bemerkbar. Die Oberflächenspannungen waren im ersten Falle so gross, dass der Tropfen einfach durch das Oel hindurchfiel, ohne dass dieses eine grössere Menge Wasser aufnehmen konnte. Bei höheren Temperaturen überwog jedoch der Dampfdruck die Oberflächenspannung und das Wasser konnte zum Teil in das Oel übergehen.

Wesentlich anders verhielt sich die Sache, wenn man auf den Boden des Gefässes eine Wasserschicht einbrachte und das überlagernde Oel unter diesen Verhältnissen 24 Stunden bei verschiedenen Temperaturen lagerte. In Tabelle 2 sind die auf diesem Wege erhaltenen Durchschlagsfestigkeiten aufgeführt.

Tabelle 2.

Trockenzeit	24 Stunden				48 Stunden			
	20°	40°	60°	80°	20°	40°	60°	80°
Temperatur . . . . .	20°	40°	60°	80°	20°	40°	60°	80°
Wassertropfen . . . . .	—	—	—	—	56	43	43	39 (33)
Bodenkörper . . . . .	56	51,5 (35)	33,3 (14)	30 (8,5)	—	44 (30)	35 (25)	26 (18)

Friese hat in seiner Arbeit darauf hingewiesen, dass es nicht gleichgültig ist, in welcher Art und Weise das Wasser in das Oel hineingebracht wird, da er bei seinen Versuchen gefunden hat, dass emulgiertes Wasser die Durchschlagsfestigkeit weniger herabsetzt als solches, das über den Dampfzustand in das Oel hineingelangt ist. Daraus ergibt sich deutlich, was auch für unsere weiteren Betrachtungen wichtig ist, dass der Verteilungsgrad des Wassers eine wesentliche Rolle spielt für die Herabsetzung der elektrischen Festigkeit. Dieser Autor verlangt daher, dass man nicht nur die Menge Wasser angebe, die im Oele enthalten sei, sondern auch darüber Aufschluss erteile, wie es in das Oel hineingekommen sei. Auf diese Tatsachen soll weiter unten im Abschnitt „Reinigungsmethoden“ im Zusammenhang näher eingetreten werden.

Friese gibt für vollständig gereinigtes Oel als Maximalwert für die Durchschlagsfestigkeit 230 kV/cm an, währenddem Schröter<sup>5)</sup> eine solche von über 300 kV/cm gefunden hat. Bei beiden Werten fehlen nähere Angaben über die Herkunft und den Raffinationsgrad der geprüften Isolieröle. Nach unserer Auffassung sind solche Angaben aber ausserordentlich wichtig, wie aus dem eingangs Gesagten hervorgeht.

Es soll hier noch ausdrücklich darauf aufmerksam gemacht werden, dass die Oxydationsprodukte von Isolierölen (wie sie im Betriebe als „Transformatorenschlamm“ auftreten) bedeutend hygrokopischer sind, als das unzersetzte Oel. Bei diesen Vorgängen bildet sich im weitern infolge Wasserabspaltung aus entstehenden Reaktionsprodukten immer etwas freies Wasser. Diese Wasserbildung ist aber wiederum in hohem Masse abhängig von der Zusammensetzung und dem Raffinationsgrad der Oele.

*Reinigungsmethoden.* Der Verfasser möchte hier nicht alle Reinigungsverfahren besprechen, die für Isolieröle schon in Anwendung gekommen sind. Hier handelt es sich nur um eine Untersuchung über die beiden heute in der Praxis hauptsächlich gebräuchlichen Reinigungsprinzipien: das Zentrifugieren und das Filtrieren.

*Das Zentrifugieren* beruht auf der Ausschleuderung spezifisch schwererer Anteile durch die Zentrifugalkraft.

Wenn ein Tropfen in einer Flüssigkeit fällt, so erfährt er nach Berechnungen von Stokes einen Reibungswiderstand von

$$6 \pi \eta r v$$

$\eta$  = innere Reibung oder Zähigkeit,  $r$  = Radius,  $v$  = Geschwindigkeit.

<sup>5)</sup> Archiv für Elektrotechnik Bd. XII, 1923, Seite 67.

Das scheinbare Gewicht der Kugel in der Flüssigkeit ist  $\frac{4}{3} \pi r^3 (\sigma_k - \sigma_{fl}) g$

$\sigma_k$  = Dichte der Kugel,  $\sigma_{fl}$  = Dichte der Flüssigkeit,  $g$  = Gravitationskonstante.

Wenn eine solche Kugel gleichmässig beschleunigt unter dem allgemeinen Einfluss der Schwere fällt, so ist der Widerstand gleich dem Gewicht, und es ergibt sich

$$6 \pi \eta r v = \frac{4}{3} \pi r^3 (\sigma_k - \sigma_{fl}) g$$

und daraus lässt sich die Geschwindigkeit berechnen zu:

$$v = \frac{2}{9} r^2 \frac{(\sigma_k - \sigma_{fl})}{\eta} g. \quad (1)$$

Wenn nun aber die auf den Tropfen wirkende Kraft nicht die Schwer-, sondern die Zentrifugalkraft ist, ergibt für sich die Geschwindigkeit

$$v = \frac{2}{9} r^2 \frac{(\sigma_k - \sigma_{fl})}{\eta} w^2 \varrho_0 \quad (2)$$

$w$  = Winkelgeschwindigkeit,  $\varrho_0$  = Radius.

Wenn die Teilchen nur sehr klein sind (wenige  $1/1000$  mm), so treten zu den betrachteten Kraftwirkungen noch hinzu die Stösse der Brownschen Bewegung; die Kügelchen geraten in ungeordnete Bewegung. Für die Verteilung der Teilchen im Kraftfelde ist zu sagen, dass sich nicht alle Teilchen in der Kraftrichtung sammeln, sonder es bildet sich ein Gleichgewichtszustand heraus; darauf findet eine Verteilung ähnlich derjenigen der Luft in der Atmosphäre statt, wobei anstelle des Gasdruckes der osmotische Druck einzusetzen ist.

Aus den obigen Gleichungen lässt sich unter Zuhilfenahme des Molekulargewichtes der Teilchen berechnen, wie gross z. B. in einer Wasser-Oeleulsion die Teilchen sein müssen, um auch in der längsten Zeit des Zentrifugierens nicht mehr ausgeschleudert zu werden. Nach einer angestellten Berechnung würde sich bei einer Tourenzahl von 15 000 pro Minute und 30 cm Durchmesser der Zentrifuge als obere Grenze für den Kugeldurchmesser ein Wert von  $5,1 \mu\mu$  ergeben. Friese hat aber schon deutlich nachgewiesen, dass die elektrisch wirksamen Wasserteilchen mikroskopisch nicht mehr sichtbar sind. Es ist also nicht einmal gesagt, dass sie diese Grösse erreichen, womit sie aber auch nicht mehr ausgeschleudert würden. Der gleiche Autor sagt im weiteren, dass die mikroskopisch sichtbaren Wasserteilchen von nicht mehr sehr grossem Einfluss auf die Herabsetzung der Durchschlagsfestigkeit seien.

Bei der Rotationsbewegung gehen die Teilchen einer Emulsion nicht alle von der Drehachse weg, sondern es kommt lediglich zu einer andern, aber nicht homogenen Verteilung. Der Einfluss der Zähigkeit auf die Abscheidungsgeschwindigkeit aus oben gegebener Formel veranschaulicht Weller<sup>6)</sup> vergleichsweise zwischen Milchserum und einer Wasser-Oeleulsion und erhält dabei unter vergleichbaren Bedingungen für beide Systeme ein Verhältnis 1:100, woraus deutlich hervorgeht, dass die Zeit für die Oelwasseremulsion viel grösser ist, als für das Milchserum. Weller sagt: „Mit abnehmendem Radius des Wasserteilchens wächst das Zeitverhältnis so schnell, dass an der Grenze der mikroskopischen Sichtbarkeit bereits die Abscheidung durch Zentrifugalkräfte praktisch unmöglich wird.“

Nach unserer Auffassung lassen sich die Verhältnisse im System Wasser – Oel folgendermassen erklären: Es sind drei Stufen zu unterscheiden unter Berücksichtigung des Verteilungsgrades des Wassers, nämlich die Lösung, die Okklusion und

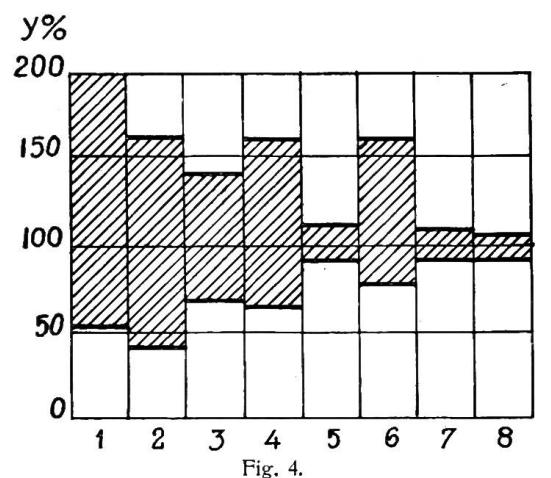
<sup>6)</sup> Bergmann Mitteilungen 1, 1923.

die Emulsion (Friese lässt die Frage noch offen, ob wirklich Wasser gelöst ist; nach unsrern Beobachtungen erscheint es ziemlich sicher). Der eben erwähnte Autor weist jedoch, wie weiter oben schon erwähnt wurde, nach, dass der Verteilungsgrad eine ausserordentlich grosse Rolle spielt. Zerstreute kleine Tröpfchen stellen aber keine stabile Erscheinungsform einer Flüssigkeit dar, sondern der in viele Tröpfchen zerteilten Flüssigkeitsmasse wohnt das Bestreben inne, die Oberfläche durch Bildung eines einzigen grossen Tropfens zu verkleinern.<sup>7)</sup> Diesen Vorgang können wir natürlich auch in einem System wie Wasser – Oel beobachten.

Bei höhern Temperaturen vermag das Oel wesentlich mehr Wasser zu lösen als bei tiefern. So hat sich bei unsrern Versuchen ergeben, dass ein Oel von 60° C die doppelte Menge Wasser lösen kann im Vergleich zu einem solchen bei 20° C. Beim Zentrifugieren wird nun aber, um die Zähigkeit herabzusetzen, bei erhöhter Temperatur gearbeitet, so dass von dem vorhandenen Wasser mehr gelöst wird, als bei gewöhnlicher Temperatur. Dieses hochdispers-zerteilte Wasser wird aber durch die Zentrifugalkraft, wie oben erwähnt, nicht mehr ausgeschleudert. Wenn sich das Oel nun abkühlt, wird sich ein Teil des Wassers kondensieren, und zwar wird es dabei das ganze Gebiet des Verteilungsgrades, also von der auch ultramikroskopisch nicht feststellbaren Lösung über die Okklusion bis zur mikroskopisch sichtbaren Emulsion und eventuell sogar bis zu der deutlichen Trübung durchlaufen. Infolge der verhältnismässig grossen inneren Zähigkeit und der kleinen Diffusionsgeschwindigkeit verläuft dieser Vorgang sehr langsam. Das gelöste Wasser wirkt aber in dieser molekularen Zerteilung wohl schon ungünstig auf die elektrische Festigkeit; jedoch setzt es diese nur um einen bestimmten Betrag herunter (der natürlich je nach der Art des Oeles verschieden sein kann). Bei beginnender Kondensation, die durch die Ausbildung von Unstetigkeitsflächen gekennzeichnet ist, mikroskopisch aber bei weitem noch nicht feststellbar, haben wir nun eine stärkere Einwirkung auf die Durchschlagsfestigkeit zu beobachten. Das durch Emulsion in Oel eingeführte Wasser besteht aus Kugelchen bis zu 10 μ Durchmesser und ist mikroskopisch nachweisbar, wirkt aber elektrisch bedeutend weniger.

Es hat sich gezeigt, dass zentrifugierte Oele, die längere Zeit in gut verschlossenen Flaschen gestanden hatten, schliesslich schwache Trübungen aufwiesen. Dass gerade nach dem Zentrifugieren hohe Durchschlagswerte im Gebiete der Lösung festgestellt werden können, ist aus den oben angeführten Argumenten wohl ersichtlich; das heisst aber noch nicht, dass die Wasserentfernung eine vollständige ist. Die von Wenger<sup>8)</sup> angeführten Werte sind übrigens nicht höher als wie sie auch bei vorsichtiger Filtration erhalten werden können. Schröter<sup>9)</sup> hat bekanntlich durch Filtration den bis jetzt höchsten Wert für die Durchschlagsfestigkeit erhalten, nämlich über 300 kV/cm. Die Tatsache, dass beim Zentrifugieren nicht alle Wasserreste ausgeschieden werden, erklärt wohl auch die grosse Streuung der Versuchsergebnisse, die Schröter beim Zentrifugieren erhalten hat. Im folgenden sei die Fig. 4 aus der erwähnten Arbeit, die diese Streuung enthält, wiedergegeben.

Im Laboratorium der A.-G. Brown, Boveri & Cie. wurden seinerzeit auch Versuche mit zentrifugierten Oelen durchgeführt,



- 1. Verschmutztes Oel.
- 2. Tonzellenfilter.
- 3. Zentrifuge.
- 4. Gewöhnliches Filter.
- 5. Membranfilter.
- 6. Kochen.
- 7. Gehärtetes Filter.
- 8. Gehärtetes Filter, zweimal filtriert.

<sup>7)</sup> Siehe auch Kohlschütter, Erscheinungsformen der Materie.

<sup>8)</sup> Bulletin S. E. V. 1924, No. 6, Seite 297.

<sup>9)</sup> a. a. O.

die bei weitem nicht die hohen Resultate ergaben, wie sie in der erwähnten Arbeit aufgeführt werden. Diese Oele zeigten auch nach einem Stehen in gut verschlossenen Flaschen zum Teil Trübungen. Dass sie tatsächlich noch wasserhaltig waren, zeigte sich schon daran, dass nach 24 stündigem Stehen über Calciumchlorid bereits höhere Durchschlagswerte erhalten wurden. Im folgenden seien die Werte einer Oelprobe angeführt:

	Vor dem Zentrifugieren	Nach dem Zentrifugieren (zweimal)
Angeliefert (nach mehrtägigem Stehen in gut verschlossener Flasche) . . . . .	28 kV	(24) 32 kV
Durchgeschüttelt . . . . .	25 kV	24 kV
Ueber Calciumchlorid getrocknet (24 Std.) und einmal über Hartpapier filtriert . . . . .	39,2 kV	39,5 kV

Im weiteren möchte ich hier ausdrücklich betonen, dass von einer Entsäuerung der Oele durch das Zentrifugieren keine Rede sein kann; die öllöslichen Säuren sind im spezifischen Gewichte als Oxydationsprodukte der Mineralölkohlenwasserstoffe so wenig verschieden von diesen, dass eine Wirkung der Zentrifugalkraft ganz ausgeschlossen ist. In der Arbeit von Wenger wird behauptet, dass der Säuregehalt eines zentrifugierten Oeles um 16% zurückgegangen sei. Diese Behauptung lässt sich nur folgendermassen erklären: Vor dem Zentrifugieren ist wohl der Säuregehalt des Oeles mit dem darin enthaltenen Schlamm bestimmt worden. Infolge der Entfernung des Schlammes, der immer eine sehr hohe Säurezahl aufweist, ist selbstverständlich nach dem Zentrifugieren der Säuregehalt geringer; dabei kann aber nicht von einer Entsäuerung des Oeles gesprochen werden. Durch Vermischen mit Wasser lassen sich die öllöslichen Polynaphthensäuren nicht entfernen, da sie wasserunlöslich sind und sich nur in Form ihrer Alkalosalze als Seifen durch Wasser ausziehen lassen. Wir haben die Säurezahl von verschiedenen Oelen vor und nach dem Zentrifugieren bestimmt, konnten aber absolut keine Veränderung feststellen.

Was die Ausscheidung der Schlammprodukte anbelangt, so ist zu sagen, dass wir zu unterscheiden haben zwischen einem öllöslichen (vornehmlich oxydierten, wenig polymerisierten) Schlammanteil, der in warmem Transformatorenöl löslich ist und einem ölunlöslichen (stark polymerisierten) Anteil, der auch in warmem Oel nicht mehr löslich ist. Der öllösliche Anteil kommt auch durch das Zentrifugieren infolge der erhöhten Arbeitstemperatur nicht zur Abscheidung, da der Unterschied im spezifischen Gewicht einer Lösung viel zu gering ist. Für Transformatoren mit eingebauten Kühlsystemen ist aber gerade dieser Schlamm sehr gefährlich, da längs den Kühlern das Temperaturgefälle den Schlamm zur Ausflockung bringt und dieser sich dort festsetzt. Von einer Seite wurde auch behauptet, die Zentrifuge verhindere überhaupt die Säurebildung, was absolut ausgeschlossen ist, da der Oxydations- und Polymerisationsvorgang als normale Zersetzungerscheinung bei Mineralölen sich auch durch Zentrifugieren nicht aufhalten lässt, da es sich eben um eine chemische Reaktion und nicht um eine physikalische Veränderung handelt.

Schädliche Oelmischungen (siehe die oben erwähnten Ausführungen von Brückmann), deren Komponenten ähnliche spezifische Gewichte besitzen, die aber infolge ungleicher Dielektrizitätskonstanten ausserordentlich schlechte elektrische Eigenschaften haben, werden durch das Zentrifugieren auch nicht verbessert.

*Das Filtrieren* beruht darauf, dass ein saugfähiges, adsorptives Material, wie Faserstoffe (Papier, Tücher) infolge seiner grossen Kapillarität dem Oel das Medium mit der geringeren Zähigkeit zu entziehen vermag. Da das Papier aber auch, wie Friese nachgewiesen hat, gegenüber weniger hoch dispers zerteiltem Wasser eine Siebwirkung ausübt, so muss darauf geachtet werden, dass das zur Verwendung kommende Filterpapier nicht nur eine gute Saugfähigkeit, sondern auch ein dichtes Gefüge aufweist. Dem Filtrationsprozess wird oft vorgeworfen, dass er infolge von

Abgabe von Fasern an das Filtrat keine elektrisch einwandfreien Oele ergebe. Dieser Vorwurf gilt jedoch nur bei Verwendung von schlechten, ungeeigneten Filtrerpapieren, die ein schlechtes Gefüge aufweisen. Filtrerpapiere müssen vor der Verwendung auf Saugfähigkeit, Gefüge, Dichtigkeit, eventuelle Faserabgabe geprüft werden. Gute Papiere sind von zuverlässigen Fabrikanten ohne weiteres zu bekommen.

Der öllösliche Schlamm wird bei diesem Reinigungsverfahren infolge der niedrigen Arbeitstemperatur vollständig von der Filterpresse zurückgehalten. Das gelöste Wasser wird ebenfalls entfernt. Da die Arbeitstemperatur während des Filtrierprozesses nicht gesteigert wird und nicht gesteigert werden kann, weil bei höhern Temperaturen der Dampfdruck des Wassers, das im Filtrerpapier enthalten ist, grösser wird, als die adsorptive Kraft des letztern, was zur Folge hätte, dass Wasser an das Oel abgegeben würde, so kann sich auch nicht übermässig viel Wasser im Oel lösen. Die Werte für die Durchschlagsfestigkeit von sorgfältig filtrierten Oelen stehen auch in keiner Weise hinter denjenigen zurück, die zentrifugiert worden sind, mit dem Unterschied, dass sich nicht nachträglich die Wasser-ausscheidungen einstellen.

Aus obigen Ausführungen ergibt sich, dass das Zentrifugieren nicht als ein verbesserter Weg für Isolierölreinigung angesehen werden kann, da gerade die neuesten Erkenntnisse betreffend die verschiedenen Verteilungsgrade von Wasser in Oel und die damit zusammenhängende Beeinflussung der elektrischen Festigkeit, sowie Ausscheidung und Kenntnis des öllöslichen Schlamanteiles (es gibt Oele, die sehr viele solcher Oxydationsprodukte bilden) nicht berücksichtigt worden sind.

## Ueber grosse Turbogeneratoren für 3000 Touren pro Minute.

Von Oberingenieur H. Rikli, Zürich.

*Der Verfasser beschreibt an Hand einer Ausführung den heutigen Stand im Bau von hochtourigen Turbogeneratoren unter Anwendung von Aluminiumwicklungen. Es werden besondere Massnahmen besprochen zur Erhöhung der mechanischen Sicherheit und gezeigt, wie durch ständige Kontrolle während der Fabrikation die hochbeanspruchten Teile auf ihre Zuverlässigkeit geprüft werden. Es werden Angaben über Zusatzverluste in solchen Maschinen gemacht und die Messung solcher.*

*L'auteur décrit un turboalternateur moderne à très grande vitesse avec enroulement exciteur en aluminium et parle des dispositions à prendre au point de vue construction et pendant la fabrication pour assurer la résistance mécanique de pareilles machines. Il donne des indications sur les pertes additionnelles et sur une méthode simple pour les déterminer.*

Kaum ein Gebiet des Maschinenbaues hat in den letzten zehn Jahren eine so rasche Entwicklung durchgemacht als der Bau von Turbogeneratoren. Diese Entwicklung ist von mir in einem Aufsatz im Oktoberheft 1922 der Schweiz. Bauzeitung kurz skizziert worden, auch verschiedene andere Autoren haben seither über dieses Thema geschrieben<sup>1)</sup>. Im nachfolgenden sollen nun als ungefähres Beispiel heutigen Standes im Bau solcher Maschinen Turbogeneratoren beschrieben werden, wie sie in den Jahren 1920–23 durch die Maschinenfabrik Oerlikon in drei Ausführungen an die City of London Electric Lighting Co. in London geliefert wurden. Die Generatoren dieser Dampfturbinengruppen sind für folgende Verhältnisse gebaut:

15 600 kVA

11 000 Volt

$\cos \varphi$  0,8

3000 Touren pro Minute, 50 Perioden.

<sup>1)</sup> So z. B.: E. Roth, Belfort: Les progrès réalisés dans la construction des turboalternateurs de grandes puissances, Revue Générale d'Electricité, 27 janvier 1923;

Dr. ing. Rob. Pohl, Berlin: Fortschritte im Turbogeneratorenbau, Elektrotechn. Zeitschrift, Heft 31 und 32, 1923.