

Mitteilungen
aus dem
Technisch-Physikal. Institut
der
Universität Jena.

W. Spath:

Über Durchschlagseigenschaften
von
Transformatorenölen.

Über
Durchschlagseigenschaften
von
:-: Transformatorenölen. :-:

Inauguraldissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Philosophischen Fakultät
der Universität Jena

vorgelegt von

Walter Spath

Jena.

Druck genehmigt: 1. 11. 1922.
Dekan Professor Dr. Haussner
Referent Professor Dr. Schumann
Jena 1922.

Meinen lieben Eltern
in Dankbarkeit gewidmet

W. Spath.

ISBN 978-3-662-28072-0

ISBN 978-3-662-29580-9 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-29580-9

Über die Durchschlagseigenschaften von Transformatorenölen.

Von

Walter Spath.

(Mitteilung aus dem Technisch-Physikalischen Institut der Universität Jena.)

Einleitung.

Der Zweck der vorliegenden Arbeit war, experimentelle Unterlagen zur elektrischen Öluntersuchung zu liefern.

1. Es sollte versucht werden, reproduzierbare Werte für die Durchbruchfeldstärke zu erhalten, die ein Urteil über die Qualität des Öles in elektrischer Beziehung erlauben.
2. Es sollte die Abhängigkeit der Durchbruchfeldstärke vom Elektrodenabstand für verschiedene Zustände des Öles, vor allem, ob die Durchbruchfeldstärke \propto unabhängig von der Schlagweite ist, untersucht werden.
3. Es sollte diese Abhängigkeit bei verschiedenen Temperaturen, Reinheiten und verschiedenem Wassergehalt festgestellt und ein eventueller Einfluß einer Bestrahlung nachgewiesen werden. Auch sollte im Anschluß an 2 nachgewiesen werden, ob eine gewisse Analogie mit den Entladungen in Gasen vorhanden ist.

Die restlose Durchführung der vorliegenden Arbeit war nur möglich durch weitgehende tatkräftige Unterstützung der Industrie. So stellten die Firmen C. Zeiß, Jena, AEG. und BBC. Transformatorenöle, Firma Schott & Gen., Jena, Glasgefäße, C. Zeiß außerdem Material (Metall) und Fa. Gebrüder Ruhstrat-Göttingen zwei Präzisionswiderstände in liebenswürdiger Weise zur Verfügung. Ihnen allen gebührt herzlichster Dank!

Die Durchlagfestigkeit eines guten Durchschnittsöles in Abhängigkeit von

1. Temperatur,
2. Reinheit und chemische Zusammensetzung,
3. Wassergehalt

bei gleichbleibendem Elektrodenabstand hat bereits Robert M. Friese¹⁾ ermittelt. R. M. Friese benutzte hierzu zwei gleiche, in Glas eingeschmolzene, gut abgerundete Messingscheiben von 10 mm \varnothing und 3 mm Dicke. Der Abstand betrug 2,33 mm. Der höchste dabei erreichte Wert der Durchbruchfeldstärke war 230 kV/cm effektiv.

Versuchsordnung.

(Maschinen, Apparate, Meßinstrumente.)

Zur Erzeugung des einphasigen Wechselstromes stand ein Einankerumformer der Siemens-Schuckert-Werke von 6,5 kW zur Verfügung (50 Per. 220 Volt).

Die Gleichstromseite des Einankerumformers wurde nicht benutzt, sondern dieser mittels eines Gleichstrommotors von 6,5 kW 440 Volt als Wechselstrom-generator angetrieben. Alle Versuche wurden mit Wechselstrom von 50 Perioden ausgeführt.

Zur Erregung des Generators diente eine Akkumulatorenbatterie von 240 Volt, da sich das städtische Leitungsnetz als zu inkonstant erwies. Die Spannungssteigerung erfolgte durch Regulierwiderstände im Erregerstromkreis, die von Hand wie auch mechanisch verändert wurden.

¹⁾ R. M. Friese: Über Durchschlagfestigkeit von Isolierölen. Wissensch. Veröffentl. aus dem Siemens-Konzern. Bd. I, Heft 2, S. 47. 1921.

Die Spannungssteigerung bei den Messungen in Luft betrug 3000 bis 10000 Volt_{eff.} sekundär pro Minute.

Bei den Messungen in Öl betrug die Steigerung 17000 bis 25000 Volt_{eff.} sekundär pro Minute.

Die Kurvenform der Maschinenspannung war sinusförmig und änderte sich beim Zuschalten des Transformators nur wenig. Auch beim Zuschalten der Versuchsanordnung zeigte sich keine Änderung. Von der Leitung Maschine-Transformer-Primärseite war kein Pol geerdet. Die Niederspannung wurde mittels eines von der Firma Koch & Sterzel, Dresden, gelieferten Laboratoriumstransformators $220/2 \times 37500$ hochgespannt. Die Leistung des Transformators betrug 5 KVA. Die Mitte der Hochspannungswicklung war herausgeführt.

Infolge des günstigen Leistungsverhältnisses zwischen Generator und Transformator zeigten sich nur ganz geringe Rückwirkungserscheinungen. Infolgedessen war der Scheitelfaktor nur geringen Änderungen unterworfen.

Beim Zuschalten des Transformators und der Versuchsanordnung fiel die Generatorspannung um 5%, wenn die Mitte des Transformators geerdet war. Die

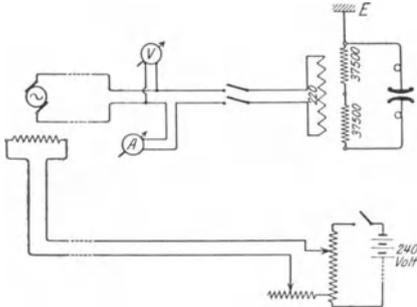


Bild 1. Versuchsanordnung.

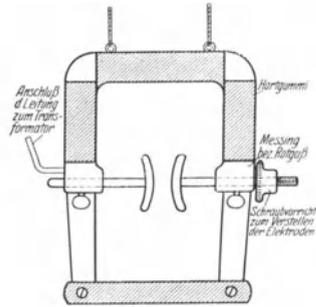


Bild 2. Funkenstrecke.

Spannung stieg um 1%, wenn ein Pol geerdet war. Diese Schaltung wurde bei den Ölmessungen angewendet, um den bei der Schaltung Mitte geerdet auftretenden Lichtbogen zu vermeiden.

Die Gründe, den Lichtbogen zu vermeiden, werden später noch eingehend erörtert.

Zu den Messungen wurden folgende Instrumente verwendet:

Als Spannungsmesser:

Weston, Präzisionsvoltmeter 0—60—120 Volt,

„ „ 0—150—300 „

Als Strommesser:

Siemens & Halske, Dynamometer 0—30—60 Amp.

Hartmann & Brown, Hitzdraht-Amperemeter 0—2—10—20 Amp.

Als Leistungsmesser:

Weston, Präzisionswattmeter bis 100 Amp. und 300 Volt.

Die Instrumente waren vorher mit dem Kompensationsapparat geeicht. Der Scheitelfaktor wurde mit einem Siemens-Schleifenoszillograph gemessen. Als Hilfsinstrumente dienten dabei Präzisionsmilliamperemeter und ein Präzisionswiderstand von Siemens & Halske, beide ebenfalls nachgeprüft mit Kompensationsapparat. Da dieser Widerstand (3000 Ohm) nicht ausreichte, mußte er durch einen Stöpselwiderstand von 100000 Ohm ersetzt werden, der mir liebenswürdigerweise von der Fa. Gebr. Ruhstrat zur Verfügung gestellt worden war.

Die Versuchsanordnung bestand im wesentlichen aus einer besonders konstruierten Funkenstrecke, die bei den Ölmessungen in den Ölbehälter versenkbar aufgehängt war. Als Ölbehälter diente ein Glasgefäß von 12 Liter Inhalt, ähnlich einem Exsikkator. Die Funkenstrecke war mit leicht beweglicher Antennenlitze von 5 mm Querschnitt an die je 2,2 m lange aus Messingstangen von 28,2 mm Querschnitt bestehende Hochspannungsleitung angeschlossen.

Große Schwierigkeiten machte die Konstruktion einer für Öluntersuchungen geeigneten Funkenstrecke. Die vorhandenen Funkenstrecken waren zu groß und nicht stabil genug, so daß sich der Abstand der Elektroden infolge der an ihnen wirkenden elektrischen Kräfte veränderte.

Die Stabilität der konstruierten Funkenstrecke wurde nachgeprüft durch Auflegen von Gewichten von 500 Gramm. Dabei trat keine Verschiebung der Elektroden auf. Die errechneten Kräfte, welche die Deformierung der Funkenstrecken bewirken, betragen im ungünstigsten Falle 300 Gramm (Bild 2).

Eine Influenzwirkung trat bei der Funkenstrecke nicht auf. Es wurde dies durch folgenden Versuch nachgewiesen: Der obere Querbalken der Funkenstrecke wurde mit Stanniol umkleidet und geerdet. Die Elektroden wurden auf eine Entfernung von 5 mm eingestellt. Die Durchbruchfeldstärke in Luft betrug $33,6 \text{ kV}_{\text{max}}/\text{cm}$. Darauf wurde die Stanniolbelegung und Erdung entfernt und derselbe Überschlagsversuch (5 mm Elektrodenabstand) ausgeführt. Es wurde dabei derselbe Wert der Durchbruchfeldstärke $33,6 \text{ kV}_{\text{max}}$ pro cm erreicht. Der gleiche Versuch wurde mit der später an der Funkenstrecke, unterhalb der Elektrode befindlichen, angebrachten Versteifung ausgeführt (Bild 2). Auch hierbei trat keine Influenzwirkung auf.

Diese Versteifung wurde bei den Messungen in Öl vorsichtshalber angebracht, da die an den Elektroden wirkenden elektrischen Kräfte noch nicht ermittelt waren.

Ein aufgelegtes Gewicht von 2 kg reichte nicht aus, um eine Deformierung der Funkenstrecke herbeizuführen.

Zuerst war diese Versteifung aus Fiber gefertigt. Es zeigte sich, daß die elektrische Festigkeit des Fibers zu gering war, um bei 18 mm Dicke 120000 Volt zu isolieren. Die Länge der Versteifung betrug 135 mm. Bei einem Plattenabstand von 1 cm in Öl wurde die Versteifung durchgeschlagen. Diese wurde daraufhin aus Hartgummi hergestellt. Ein Durchschlagen dieses Materials trat nicht ein.

Als Elektroden wurden leicht gewölbte mit Wulstrand versehene Messingplatten von 90 mm, 60 mm, 40 mm Durchmesser zur Erzielung eines homogenen Feldes verwendet (Bild 3). Die Einstellung der Elektroden auf die verschiedenen cm-Abstände (von 0,05 bis 1 cm) wurde durch Leeren von 0,05 cm bis 1 cm Stärke bei $1/1000$ mm Genauigkeit erreicht. Zur leichteren Einstellung des Elektrodenabstandes war der eine Elektrodenhalter der Funkenstrecke mit einer Schraubvorrichtung zur Bewegung in horizontaler Richtung versehen.

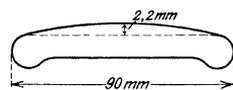


Bild 3
Form der Elektroden.

Sämtliche Apparate zur Steigerung und Messung der Spannung, der Transformator und die Versuchsanordnungen befanden sich in einem Raum, so daß längere Leitungen vermieden waren. Der Generator befand sich in einem vom Versuchsraum ca. 20 m entfernt liegenden Maschinenraum.

Bei allen folgenden Versuchen ist angegeben:

- Die gemessene Spannung primär in Volt_{eff}.
- Die gemessene Spannung sekundär in Volt_{max}.
- Der Elektrodenabstand in cm.
- Die elektrische Feldstärke \mathcal{E} in kV_{max} pro cm.

Vorversuche.

Die Aufgabe der Vorversuche war die Prüfung des Transformators ($\cos \varphi$ -Bestimmung, Scheitelfaktor, Leerlaufcharakteristik) und die Richtigkeit der Versuchsanordnung nachzuprüfen.

Niederspannungsseitig sind alle angegebenen Spannungswerte Effektivwerte, hochspannungsseitig dagegen nur Maximalwerte.

Alle Messungen in Luft gelten für 20 Grad C und 760 mm Druck. Bei den Ölmessungen sind Temperatur und Druck besonders angegeben.

Im Durchschnitt betrug der Scheitelfaktor 1,40 (Bild 4).

Durch das bereits erwähnte günstige Leistungsverhältnis zwischen Generator und Transformator zeigten sich fast keine Rückwirkungserscheinungen und infolgedessen auch keine wesentliche Änderung des Scheitelfaktors. Die Kapazität der Versuchsanordnung blieb ohne jeden Einfluß auf den Scheitelfaktor.

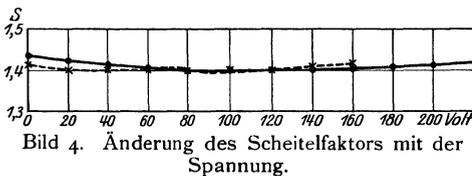


Bild 4. Änderung des Scheitelfaktors mit der Spannung.

— Mitte Transformator geerdet,
- - - 1 Pol geerdet.

Das Bild 4 gibt einen Überblick über die Änderung des Scheitelfaktors abhängig von der Spannung. Während sich der Scheitelfaktor des Transformators ohne Versuchsanordnung noch merkbar bei Spannungsänderungen veränderte, trat bei Zuschalten der Versuchsanordnung unter ebensolchen Spannungsänderungen kaum eine merk-

bare Änderung ein. Die Meßinstrumente waren nur niederspannungsseitig eingebaut. Die Hochspannungswerte wurden erhalten durch Multiplikation der Niederspannung mit dem Übersetzungsverhältnis des Transformators, welches genau nachgeprüft worden war durch den Kurzschlußversuch und genaue Kontrolle des Spannungsabfalles.

Experimenteller Teil.

a) Durchschlagsversuche in Luft.

Es war beabsichtigt, © einer genauen Kontrolle bei kleinen Schlagweiten zu unterziehen, da keine genauen Messungen mit Wechselstrom bei kleinen Schlagweiten vorhanden sind. Ältere Messungen sind alle mit Influenzmaschinen ausgeführt und dabei ist nicht genügend auf den Einfluß einer Bestrahlung geachtet worden. Funkenstrecke, Elektroden, Abstandsmessung sind bereits bei der Versuchsanordnung beschrieben worden. Zu erwähnen ist noch, daß die Spannungssteigerung 3000 bis 10000 Volt_{eff.} sekundär betrug. Kurz vor dem Überschlag betrug die Spannungssteigerung 100 bis 500 Volt_{eff.} sekundär. Die Spannungssteigerung wurde sowohl von Hand wie auch durch ein Uhrwerk, welches den Schieber eines Widerstandes gleichmäßig über den Widerstand hinweg (Beschreibung der Versuchsanordnung), stoßfrei und gleichmäßig bewirkt.

Die Überschlagsversuche in Luft wurden bei Elektrodenabständen von 0,05 bis 1 cm mit Elektroden von 90 mm Durchmesser, bei Elektrodenabständen von 0,1 bis 1 cm (Abstand) mit Elektroden von 40 mm und 60 mm Durchmesser ausgeführt. Bei diesen Messungen war einmal ein Pol, ein anderes Mal die Mitte des Transformators geerdet. Bei diesen verschiedenen Schaltungen stimmten die Überschlagswerte und Durchbruchfeldstärken gleicher Abstände und gleicher Elektroden genau überein. Besonderer Wert wurde bei allen Messungen in Luft auf sorgfältige Bestrahlung gelegt. Zur Bestrahlung der Elektroden fand eine Quecksilberdampfampe der Firma Schott & Gen. Verwendung. Die erhaltenen Werte waren auf 1% ± genau reproduzierbar. Aus den Kurven in Bild 5 geht hervor, daß bei kleinsten Abständen sich gleiche Werte ergaben, ein Einfluß der Elektrodengröße also nicht vorhanden

war. Auch mußte bei kleinsten Abständen die Bestrahlung überaus sorgfältig erfolgen, da sonst weniger genau reproduzierbare Werte erhalten wurden. Bei größeren Entfernungen ergeben sich für die drei verschiedenen Elektrodengrößen drei verschiedene Kurven, deren Verlauf einander sehr ähnlich ist, und zwar ergibt das Elektrodenpaar von 40 mm Durchmesser die niedrigsten, von 60 mm Durchmesser etwas höhere, von 90 mm Durchmesser die höchsten Durchschlagswerte. Es ergab sich auch, daß der Überschlag nur dann präzise einsetzte, wenn der Abstand der Elektroden höchstens ein Elftel ihres Durchmessers betrug (Bild 5). Eine Krümmungskorrektur war nicht notwendig, da das elektrische Feld zwischen den sehr gering gewölbten Elektroden von 90 mm Durchmesser bei den Abständen bis 1 cm genügend homogen ist.

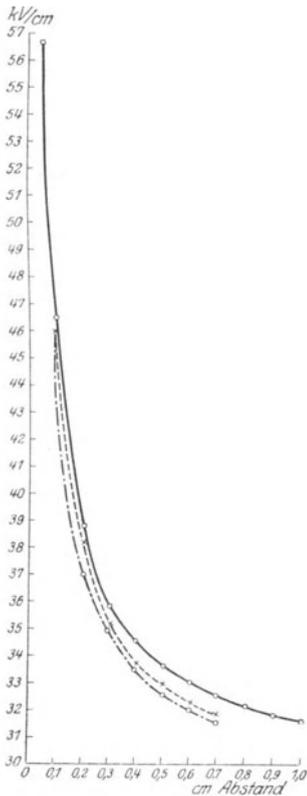


Bild 5. Durchschlagversuche in Luft.

- 90 mm Ø der Elektroden,
- x---x 60 mm Ø „ „
- 40 mm Ø „ „

Die bei den Elektroden von 40 mm und 60 mm Durchmesser in den Abständen von 0,3 bis 0,6 cm bzw. 0,4 bis 0,7 erhaltenen nur auf ca. 10 bis 15 % (genau) reproduzierbaren Werte sind durch die bei diesen Abständen eingetretene Inhomogenität des elektrischen Feldes erklärt. Das äußere Zeichen ist, daß der Überschlag nicht mehr in der Mitte erfolgte, sondern am Rande.

Nach jedem Überschlag wurden die Elektroden poliert, auch wurde zwischen den einzelnen Messungen Zeit zur Abkühlung der Platten gelassen. Bei den Messungen wurde im allgemeinen mit der Schaltung, Mitte Transformator geerdet, gearbeitet. Es geschah dies mit Rücksicht auf die Isolation des Transformators. Bei den Messungen in Öl später mußte die andere Schaltung, ein Pol geerdet, angewendet werden, da der bei der Schaltung

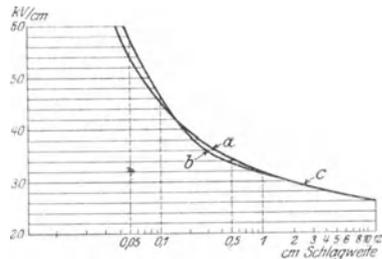


Bild 6.

- a Mittelwertkurve,
- b Spath,
- c Schumann.

Mitte geerdet auftretende Lichtbogen eine starke Verbrennung und Verunreinigung des Öles hervorrief.

Bei Luft konnte dieser Nachteil mit in Kauf genommen werden, da die nur auf den Elektroden erfolgten Verbrennungen leicht durch Abpolieren behoben werden konnten.

Die von mir erhaltenen Werte der Durchbruchfeldstärke liegen, wie die graphische Darstellung zeigt, tiefer als die bereits vorhandenen älteren Messungen. Jedoch geben

sie eine gute Fortsetzung der von Professor Schumann gemessenen¹⁾ Werte bei Abständen von 1 bis 10 cm (Bild 6, Tabelle 1). Der Grund der Abweichung dürfte mit großer Wahrscheinlichkeit darin zu suchen sein, daß bei den älteren Messungen auf den Einfluß der Verzögerung nicht genügend geachtet wurde, da es nach allen bestehenden Messungen sehr unwahrscheinlich ist, daß ein wesentlicher Unterschied der Überschlagswerte bei Gleichstrom und Wechselstrom besteht.

Die von mir gemessenen Werte der Durchbruchfeldstärke lassen sich mit den Werten für größere und kleinere Schlagweiten auf Grund der Theorie der Stoßionisierung nach einem Vorschlag von Professor Schumann²⁾ in einfacher Weise befriedigend darstellen durch den Ansatz:

$$\alpha \delta = K \tag{1}$$

$$\alpha = \frac{A}{\mathcal{E}^2} e^{-\frac{B}{\mathcal{E}}} \tag{2}$$

Dabei bedeutet α die pro cm Weg in Richtung des Feldes von einem negativen Träger neu erzeugten Elektrizitätsteilchen. $\delta =$ Schlagweite.

K, A, B bedeuten Konstanten, die im wesentlichen von der Ionisierungsspannung, der Stoßzahl, den Anlagerungsverhältnissen der Elektrizitätsträger abhängen. Bild 7 zeigt, daß sich die Gesamtheit der Messungen recht gut diesem Ansatz fügt. Aus Gleichungen (1) und (2) folgt:

$$\frac{A}{\mathcal{E}^2} \cdot e^{-\frac{B}{\mathcal{E}}} \cdot \delta = K \tag{3}$$

und logarithmiert:

$$\log \frac{\mathcal{E}^2}{\delta} + 0,434 \frac{B}{\mathcal{E}} + \log \frac{K}{A} = 0. \tag{4}$$

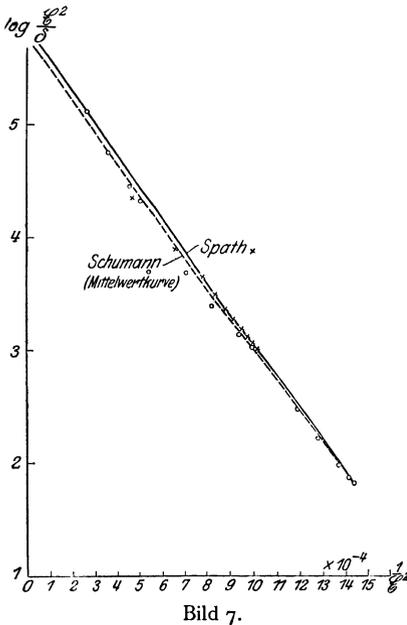


Bild 7.

Tabelle 1.

Vergleich zwischen der Mittelkurve³⁾ und der von Spath gefundenen Kurve (Bild 7).

Schlagweite in cm	\mathcal{E} in kV/cm Spath	\mathcal{E} in kV/cm Mittelwertkurve
0,05	56,5	52,9
0,1	46,5	44,7
0,2	38,8	39,8
0,3	35,8	37,5
0,4	34,5	35,9
0,5	33,6	34,7
0,6	33,06	33,9
0,7	32,53	33,2
0,8	32,06	32,6
0,9	31,75	32,1
1	31,55	31,7
2		29,8
3		29,0
4		28,5
5		28,00
10		26,6

¹⁾ Schumann, Über die elektrische Festigkeit der Luft. Arch. f. Elektrotechn. Bd. XI, H. 1, S. 9, 1922.

²⁾ Schumann, Anfangsspannung und Durchbruchfeldstärke in Gasen. Springer, Berlin.

³⁾ Schumann, Über die elektrische Festigkeit der Luft. Arch. f. Elektrotechn. Bd. XI, H. 1, S. 9, 1922.

Wird also als Abszisse $\frac{1}{\mathcal{G}^2}$ gewählt und als Ordinate $\log \frac{\mathcal{G}^2}{\delta}$, so muß diese Beziehung eine gerade Linie ergeben. In Tabelle 2 sind die entsprechenden Rechnungen für die Mittelwerte nach Schumann und meine Messungen zusammengestellt. Wie man sieht, passen sich die Punkte mit Ausnahme sehr kleiner Schlagweiten für ein sehr großes Abstandsgebiet gut der geraden Linie an (Bild 7). Die daraus zu ermittelnden Konstanten ergeben sich als $\frac{A}{K} = 5,37 \cdot 10^5$ bzw. $6,6 \cdot 10^5$, die Konstanten B zu $6,3 \cdot 10^2$ bzw. $6,4 \cdot 10^3$, je nachdem welche gerade Linie man den Messungen zugrunde legt.

Tabelle der Mittelwerte und Werte von Spath nach dem Ansatz:

$$\log \frac{\mathcal{G}^2}{\delta} + 0,434 \frac{B}{\mathcal{G}^2} + \log \frac{K}{A} = 0.$$

Tabelle 2 (hierzu Bild 7).

δ cm	\mathcal{G}		$\log \frac{\mathcal{G}^2}{\delta}$		$\frac{1}{\mathcal{G}^2}$	
	Mittelwert	Spath	Mittelwert	Spath	Mittelwert	Spath
0,1	44,7	46,5	4,30062	4,33490	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$0,46 \cdot 10^{-3}$
0,2	39,8	38,8	3,89873	3,87673	$0,628 \cdot 10^{-3}$	$0,662 \cdot 10^{-3}$
0,3	37,5	35,8	3,67094	3,63064	$0,711 \cdot 10^{-3}$	$0,78 \cdot 10^{-3}$
0,4	35,9	34,5	3,50812	3,47358	$0,774 \cdot 10^{-3}$	$0,82 \cdot 10^{-3}$
0,5	34,7	33,6	3,38169	3,35371	$0,83 \cdot 10^{-3}$	$0,886 \cdot 10^{-3}$
0,6	33,9	33,05	3,28225	3,26019	$0,87 \cdot 10^{-3}$	$0,913 \cdot 10^{-3}$
0,7	33,2	32,53	3,19718	3,17946	$0,908 \cdot 10^{-3}$	$0,943 \cdot 10^{-3}$
0,8	32,6	32,06	3,12335	3,10883	$0,94 \cdot 10^{-3}$	$0,973 \cdot 10^{-3}$
0,9	32,1	31,75	3,05878	3,04924	$0,97 \cdot 10^{-3}$	$0,99 \cdot 10^{-3}$
1	31,7	31,55	3,00212	2,99200	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,005 \cdot 10^{-3}$
2	29,8		2,64741		$1,125 \cdot 10^{-3}$	
3	29		2,44768		$1,186 \cdot 10^{-3}$	
4	28,5		2,30762		$1,228 \cdot 10^{-3}$	
5	28		2,19535		$1,273 \cdot 10^{-3}$	
10	26,6		1,84976		$1,411 \cdot 10^{-3}$	
0,05	52,9	56,5	4,74795	4,80513	$0,356 \cdot 10^{-3}$	$0,314 \cdot 10^{-3}$

b) Durchschlagsversuche in Öl.

Bei den Überschlagsversuchen in Öl waren folgende Überlegungen maßgebend:

1. reproduzierbare Werte zu erhalten,
2. ob die Kurven von \mathcal{G} abhängig von δ analog wie bei Luft sich verhalten und ob sich aus dem Verlauf dieser Kurven etwas über den Zustand des Öles aussagen läßt.

Als Behälter für das zu untersuchende Öl diente ein Glasgefäß von 12 Liter Inhalt, ähnlich einem Exsikkator. Das Gefäß war aus verschiedenen Gründen so groß gewählt worden:

1. die Funkenstrecke mußte vollständig unter Öl sich befinden;
2. es mußte eine Vorrichtung zum Heizen untergebracht werden;
3. die sich beim Überschlag bildenden Rußteilchen mußten aus dem sich zwischen den Elektroden befindlichen Öl ferngehalten werden. Dieses wurde durch die Wahl des reichlich großen Gefäßes gut erreicht. Es zeigte sich nämlich, daß die winzigen Rußteilchen sich nach kurzer Zeit am Boden des Gefäßes absetzten und auch durch die Bewegung des unter Spannung stehenden Öles nicht aufgewirbelt wurden.

Die Strömung des unter Spannung stehenden Öles war gering, und zwar betrug die Strömungsgeschwindigkeit, wie durch ein hineingeworfenes Papierblättchen festgestellt wurde, ca. $\frac{1}{2}$ cm pro Sekunde und war wirbelfrei.

Damit der bei dem Überschlag entstehende wenige Ruß sich am Boden des Gefäßes absetzen konnte, wurde zwischen den einzelnen Überschlägen 20 Minuten gewartet, da sonst verfrühte Überschläge eintraten. Diese Zeit wurde experimentell ermittelt, indem die Überschlagsspannung mehrerer Überschläge, die bei gleichem δ zeitlich verschieden aufeinander folgten, gemessen wurde. Die gefundenen Werte unterschieden bis zu 50%. Bei 20 Minuten Abstand, bei gleichem δ und sonstigen gleichen Versuchsbedingungen wurde der gleiche Überschlagswert erreicht. Bei diesen Zeitabständen ist eine Abhängigkeit des Durchschlagsanzahl auf die Überschlagsspannung nicht nachweisbar. Eine Vorrichtung zum Säubern und Bewegen des Öles war vorgesehen. Eine kleine Zahnradpumpe sollte das Öl aus dem Behälter saugen und durch einen Reiniger aus feinsten Haarsieben in das Gefäß zurückdrücken. Während der Untersuchungen stellte sich diese Einrichtung als überflüssig aus den oben unter 3 erwähnten Erscheinungen heraus.

Über dem Ölgefäß war die Funkenstrecke an dünnen Hanfseilen, die über Rollen liefen, aufgehängt. Die Elektroden wurden mittels der erwähnten Leeren auf die einzelnen Entfernungen eingestellt. Die Funkenstrecke wurde dann vollständig unter Öl gebracht. Um keine fehlerhaften Messungen zu erhalten, wurden die Elektroden nach jedem Überschlage poliert, da sie an der Stelle des Überschlages leicht mit Ruß bedeckt und angegriffen waren. Bei allen Messungen in Öl war die Schaltung 1 Pol geerdet angewandt aus folgendem Grunde: Bei Transformator Mitte geerdet tritt ein Metall und Öl stark angreifender Lichtbogen infolge des großen Stromdurchganges auf. Dadurch wäre das Öl nach ein oder zwei Messungen so stark verunreinigt worden, daß eine Filtration nötig geworden wäre. Dieses wurde vermieden durch die Schaltung 1 Pol geerdet. Hierbei findet fast kein Stromdurchgang statt, und es ist infolgedessen keine wesentliche Verunreinigung des Öles durch Metallteilchen und Ruß möglich.

Da die bereits erwähnten Zeitabstände bei Beginn der Öluntersuchungen nicht bekannt waren, wurde zuerst eine horizontale Gerade für \mathcal{C} abhängig von δ ermittelt. Diese Messungen waren, wie sich später herausstellte, falsch. Dieses wurde durch genaues Einhalten der gefundenen Zeitabstände bei den Messungen erwiesen. Bei allen Untersuchungen wurde die Funkenstrecke nach Bild 2 und ein Elektrodenpaar nach Bild 3 mit 90 mm Durchmesser benutzt.

Die folgende Tabelle gibt die Daten der zur Untersuchung gelangten Öle an.

Tabelle 3.

	Öl 1	Öl 2	Vorgeschr. v. d. V. d. E.-W.
Spez. Gewicht	0,904	0,993	0,85—0,92
Viskosität bei 50°	2	1,86	kleiner als 3
Flammpunkt	165°	138°	über 160°
Brennpunkt	197°	177°	über 180°
Teerzahl	0,04 0/0	0,28 0/0	0,04 0/0
Dielektrische Konstante	2,2	2,25	
Säuregehalt	—	0,005 0/0	
Alkaligehalt	—	—	
Schwefelgehalt	—	—	
Gewichtsverlust bei 100° 5 Std.	0,12 0/0	2,7 0/0	0,10 0/0

Beide Ölsorten waren ca. $1\frac{1}{2}$ Jahre alt. Öl 1 war nicht luftdicht, Öl 2 dagegen luftdicht abgeschlossen aufbewahrt worden.

Messungen mit Öl Nr. 1. (Bild 8, Tabelle 4).

Die Messung 1 wurde mit dem Öl 1 ausgeführt, wie es dem Transportgefäß, welches also nicht luftdicht schloß, entnommen war. Das Öl war verhältnismäßig feucht und verschmutzt. Infolgedessen waren keine hohen Durchbruchfeldstärken zu erwarten. Das Ergebnis der Messung 1 ist aus der Kurve a, Bild 8, zu ersehen. Die Werte dieser Kurve, wie auch der nächsten beiden, sind Mittelwerte. Die bei der Messung selbst erhaltenen Werte differierten bei mehrmaliger Wiederholung unter gleichen Versuchsbedingungen (alle Messungen wurden sechsmal wiederholt, auch bei reinem Öle) um 30 bis 50%. Auf das bei den Kurven a, b, c erhaltene Minimum bei den Abständen 0,2 bis 0,4 wird am Ende der Messungen mit Öl Nr. 1 noch näher eingegangen werden.

Das Öl wurde durch freundliches Entgegenkommen der Fa. Carl Zeiß in einer größeren Ölschleuder geschleudert.

Die Schleuder war mit Petroleum und Reinigungsbenzin sorgfältig gesäubert worden. Um die gröberen Putzwollfasern vollständig aus dem Öl zu entfernen, war die Schleudertrommel vollständig mit größeren scharfkantigen Drehspänen angefüllt.

Das Ergebnis der Messung 2 mit dem so vorbereiteten Öle zeigt Kurve b, Bild 8. Die erhaltenen Werte liegen etwas höher als die der Messung 1, sind aber in bezug auf Reproduzierbarkeit nicht besser zu bewerten als die von Messung 1. Daraufhin wurde das Öl durch zweistündiges Erhitzen auf 115° C vom Wasser befreit, durch feinste Haarsiebe — 900–1500 Maschen pro qcm — filtriert und langsam auf 20° C abgekühlt. Diese Temperatur hatte der äußerst trocken gehaltene Versuchsraum. (Die Luftfeuchtigkeit betrug wenige Prozent.) Die Kurve c, Bild 8, zeigt das Ergebnis einer Messung, die mit dem so vorbereiteten Öle ausgeführt wurde. Bei diesen drei ersten Messungen traten während der Spannungssteigerung partielle Überschläge unter starken Leuchterscheinungen infolge Brückenbildung der Verunreinigungen zwischen den Elektroden auf. Die Spannung ließ sich dann noch um 100 bis 200% steigern, bis der totale Überschlag, erkenntlich am Ausschlagen des Strommessers, erfolgte.

Für die Messung 4 wurde das Öl im Zustande der vorigen Messung auf 60° C erhitzt und dann die Messung ausgeführt. Die Temperatur von 60° war als die zur Erreichung der Höchstwerte günstigste gefunden worden, indem die Temperatur des Öles von 10 zu 10° bis 100° gesteigert und bei 2 mm Elektrodenabstand jedesmal die Überschlagsspannung gemessen wurde. Die erhaltene Kurve deckte sich dem Verlaufe nach genau mit der von R. M. Friese gefundenen Kurve.

Das Ergebnis der Messung 4 ist in Kurve d, Bild 8, zusammengestellt. Bei dieser Kurve verschwindet erstmalig das Minimum. Über die Abhängigkeit der Durchbruchfeldstärke von der Temperatur des Öles wird in der Zusammenfassung berichtet.

Für eine fünfte Messung wurde das Öl mehrmals durch Papierfilter filtriert. Als Filter diente gewöhnliches Filtrierpapier. Des leichteren Durchfließens halber war das Öl auf 40° C erwärmt worden. Das in einen gewöhnlichen Glastrichter eingelegte Filter wurde vollständig mit Öl angefüllt (500 ccm). Das Öl lief innerhalb einer Stunde, sich selbst überlassen, durch, enthielt jedoch noch Fasern des Filters. Daraufhin wurde dieselbe Menge Öl noch zweimal (die eben durch das Filter gelaufene) durch dasselben Filter filtriert. Mit bloßem Auge waren keine Verunreinigungen mehr zu sehen. Die Überschlagswerte des so vorbereiteten Öles sind in Kurve e, Bild 8, zusammengestellt.

Das Öl, in gleicher Beschaffenheit, wurde durch eine sechste Messung bei 60° C untersucht. Das Ergebnis zeigt die Kurve f, Bild 8. Nochmals dasselbe Öl, aber bei 85° C, ergibt die in Kurve g, Bild 8, zusammengestellten Werte.

Das Öl wurde dann 4 Stunden lang auf 115° C erhitzt und 36 Stunden auf 60° erwärmt gehalten und dann langsam auf 20° C abgekühlt. Vorher war das Öl

in derselben Weise wie oben durch Spezial-Papierfilter, wie solche von der Fa. Zeiß zur Filtration des Kanada-Balsams verwendet werden, gefiltert worden. Der Versuchsraum war äußerst trocken gehalten, so daß beim Atmen Beschwerden auftraten. Die Messung 8, Kurve h, Bild 8, ergab die höchst erreichten Werte der Durchbruchfeldstärke des Öles Nr. 1 bei 20° C.

Das Öl in demselben Zustande wie bei Messung 8 lieferte bei 60° C die höchsten Werte. Das Ergebnis dieser 9. Messung zeigt die Kurve i, Bild 8.

Die Werte der Messung 4, 5 und 6 sind auf 5 bis 10%, die der Messung 8 und 9 auf 1 bis 1 1/2% genau reproduzierbar. Bei den Messungen 1 bis 3 sind die Werte bei den Abständen 0,1 bis 0,5 um 50 bis 100%, über 0,5 bis 1 cm auf 10 bis 20% reproduzierbar. Eine Bestrahlung mit Uviollicht und mit Röntgenstrahlen blieb ohne Einfluß. Dies zeigt folgende Tabelle:

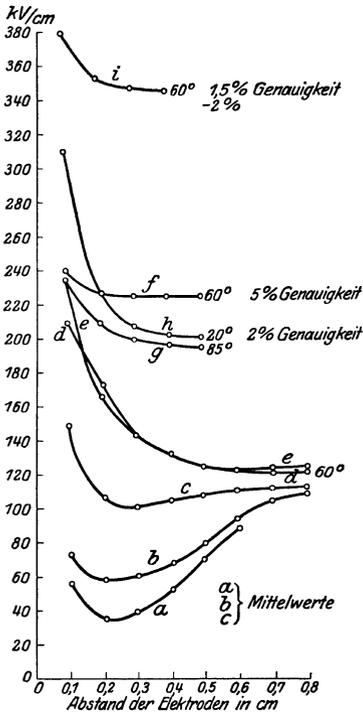


Bild 8.

cm	Mit Bestrahlung durch Röntgenstrahlen in kV cm	Ohne Bestrahlung in kV cm
0,1	324,4	325
0,2	399,6	299

Die Spannungssteigerung war vollkommen gleichmäßig und stoßfrei und betrug 17000 bis 25000 Volt_{eff.} sekundär.

Höhere Spannungssteigerung ergab falsche Messungen, da das Präzisionsvoltmeter der Spannungssteigerung nicht mehr folgen konnte. Langsamere Spannungssteigerung als 17000 Volt pro Minute ergab zu frühe Werte, da das Öl wahrscheinlich elektrochemisch zerstört wurde. Öl in reinstem Zustande besitzt nach der Messung 9 eine Durchbruchfeldstärke von 380 kV pro cm bei 60° C bei 1 mm Plattenabstand. Wurde eine um 20% niedrigere Spannung als zum Durchschlag von 0,1 cm reinsten Öles nötig war (ebenfalls bei 60° C) angelegt, so erfolgte trotzdem ein Durchschlag des Öles nach 20 Minuten. Auf dem Ölspiegel war fein verteilter Schaum zu bemerken.

Um einwandfreie Werte zu erhalten, muß das Öl frei von allen Fremdkörpern sein, vor allem müssen die meist nur mikroskopisch sichtbaren Fasern entfernt sein. Jede Berührung mit Wasser, ebenso mit Wasserdampf ist zu vermeiden. Die durch Schütteln oder Gießen hineingebrachte Luft muß entfernt werden. Anscheinend verursacht weniger die Feuchtigkeit allein, als Luft und Feuchtigkeit in Verbindung mit winzigen Fasern die Verschlechterung der Isolierfestigkeit. Bei den Messungen 1 bis 4 wurden unter dem Mikroskop winzige Fasern beobachtet, die mit Luft, anderen Verunreinigungen und Wassertröpfchen kleinster Abmessung, gleichsam wie Schiffe beladen durch das Öl fuhren.

Nach mehrfachem Filtrieren waren Verunreinigungen selbst bei 1000facher Vergrößerung nicht mehr zu sehen.

Das bei den Messungen 1 bis 3 auftretende Minimum bei den Abständen 2 bis 5 mm scheint mir folgendermaßen erklärbar:

Bei geringen Abständen fällt die Verunreinigung des Öles prozentual mehr ins Gewicht als wie bei größeren Abständen: durch den geringen Plattenabstand wird die Brückenbildung sehr begünstigt. Dieses geht auch daraus hervor, daß bei Ölen feinerer Reinheitsgrade dieses Minimum verschwindet.

Auf die Abhängigkeit der Durchbruchfeldstärke vom Wassergehalte des Öles wird in der Zusammenfassung eingegangen. Wie es scheint, streben alle Kurven für nicht ganz reine Öle bei größeren Schlagweiten ungefähr dem gleichen Festigkeitswerte zu, nachdem die ersten Werte bei kleinen Schlagweiten verhältnismäßig hoch, die nächsten bedeutend tiefer liegen, dann wieder allmählich ansteigen. Die größten Unterschiede treten in der Gegend des Minimums auf, etwas bei 0,2 cm. Diese Schlagweite scheint für die Beurteilung des Reinheitszustandes eines Öles die günstigste zu sein. Erwähnt sei noch, daß der Überschlag bei den Messungen mit reinstem Öle in der Mitte der Elektroden, bei nicht reinem Öle an allen Stellen der Elektroden erfolgte. Auch bei dem nicht reinen Öle ist zu bemerken, daß der totale Überschlag in der Mitte der Platten erfolgte, während die an allen Stellen der Platten erfolgten partiellen Überschlüge vom Zufall bedingt waren.

Die Kurven des reinen Öles ähneln sehr den Kurven der elektrischen Entladungen in Luft. Bei einem Elektrodenabstand über 0,8 cm scheinen alle Kurven in gerade Linien auszulaufen.

Tabelle 4 zu Bild 8.
Zusammenstellung der Messungen mit Öl Nr. 1.

Messung 1 (20° C)		Messung 2 (20° C)		Messung 3 (20° C)	
δ Abstand in cm	\mathcal{E} in kV/cm	δ Abstand in cm	\mathcal{E} in kV/cm	δ Abstand in cm	\mathcal{E} in kV/cm
0,1	55	0,1	71,5	0,1	150
0,2	35	0,2	58,5	0,2	106
0,3	40	0,3	59	0,3	101
0,4	52	0,4	67	0,4	104
0,5	70	0,5	79	0,5	106
0,6	88	0,6	93	0,6	109
0,7					
0,8					
Messung 4 (60° C)		Messung 5 (20° C)		Messung 6 (60° C)	
0,1	215	0,1	236	0,1	239
0,2	173	0,2	167	0,2	227
0,3	143	0,3	143	0,3	225
0,4	131	0,4	131	0,4	225
0,5	124	0,5	124	0,5	225
0,6	121	0,6	121		
0,7	120	0,7	121		
0,8	119,5	0,8	121		

Tabelle 5.
Höchstwerte der Durchbruchfeldstärke in Öl Nr. 1.

Messung 8 (20° C)		Messung 9 (60° C)	
δ Abstand in cm	\mathcal{E} in kV/cm	δ Abstand in cm	\mathcal{E} in kV/cm
0,1	310,000	0,1	380,000
0,2	227,000	0,2	355,000
0,3	208,000	0,3	348,000
0,4	202,000	0,4	346,000
0,5	201,000		

b) Durchschlagsversuche in Öl.

Messung mit Öl Nr. 2.

Die zweite Sorte Öl, deren elektrische Festigkeit untersucht werden sollte, war von der AEG. freundlichst zur Verfügung gestellt worden. Das Öl war luftdicht verschlossen (Verschraubung eingelötet) aufbewahrt worden. Die allgemeinen

Daten des Öles sind bereits in Tabelle 3 zusammengestellt. Um das Öl von der beim Einfüllen in das Prüfgefäß hineingekommenen Luft und Luftfeuchtigkeit zu befreien, wurde es zwei Stunden auf 115°C gehalten und dann langsam auf 20°C abgekühlt. Der Versuchsraum wurde auf gleicher Temperatur und größter Trockenheit gehalten. Die Messung 1 wurde in diesem Zustande ausgeführt und ergab die in Kurve a Bild 9 zusammengestellten Werte. Da das Öl noch stark verunreinigt war, zeigte die Kurve wieder ein Minimum bei kleineren Schlagweiten. Daraufhin wurde das Öl in gleicher Weise wie Öl Nr. 1 sorgfältig filtriert und ergab so in einer 2. Messung die in Kurve b Bild 9 zusammengestellten Werte. Auch diese Kurve verlief ganz analog der des Öles Nr. 1 im gleichen Reinheitsgrade (Öl 1, Messung 5). Das Öl Nr. 2 genau wie Öl Nr. 1 durch die erwähnten Spezialfilter filtriert, ergab in einer 3. Messung bei 20°C , in einer 4. Messung bei 60°C die Höchstwerte der Durchbruchfeldstärke. Der Verlauf dieser Kurven ist vollständig analog dem der Messungen von Öl Nr. 1 im reinsten Zustande (Kurve c, d, Bild 9).

Nach dem Filtrieren durch die gewöhnlichen Filter waren noch feine Fasern unter dem Mikroskop zu sehen. Nach dem Filtrieren durch die Spezialfilter war bei 1000 facher Vergrößerung keine Verunreinigung mehr zu sehen. Bei Erhitzen auf 60°C verhielt sich das Öl 2 ganz analog zu Öl 1, wie durch Stichproben festgestellt wurde. Eine Bestrahlung mit Uviollicht und Röntgenstrahlen blieb ohne Einfluß.

Hinsichtlich der Lichtbogenentladung und Zeitabständen der aufeinanderfolgenden Durchschläge verhielt sich Öl 2 genau wie Öl 1. Wie aus der Tabelle 3 hervorgeht, erfüllt Öl Nr. 1 am besten die von der Vereinigung der E.-Werke vorgeschriebenen Richtlinien. Trotz seines niedrigen Flamm- und Brennpunktes und seines Säuregehaltes $0,005\%$ ergab Öl 2 fast gleich hohe Werte der Durchschlagfestigkeit.

Selbstverständlich waren die Versuchsbedingungen bei allen zur Untersuchung gelangten Ölen vollkommen gleich.

Ein Kontrollversuch: Die Durchbruchfeldstärke bei $0,1\text{ cm}$ Abstand und vollständig reinem Öl, einmal bei der Schaltung 1 Pol geerdet, ein andermal Mitte Transformator geerdet gemessen, ergab genau gleiche Werte. Durch die Lichtbogenentladung jedoch war das Öl stark verunreinigt und mußte auf die bereits erwähnte Weise filtriert werden.

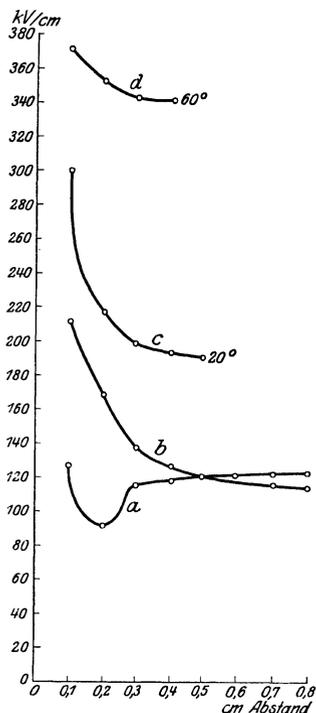


Bild 9.

b) Durchschlagsversuche in Öl.

Messungen mit Öl Nr. 3.

Das Öl Nr. 3 war von Fa. BBC. als Nachfüllöl für einen Transformator 35 000 Volt geliefert. Das Öl befand sich in einem Blechbehälter mit Schraubverschluß. Dieser Verschluß war zwar staub-, aber nicht luftdicht. Bei der elektrischen Untersuchung zeigte Öl Nr. 3 unter gleichen Versuchsbedingungen gleiches Verhalten wie Öl 1 und Öl 2. Als Höchstwerte wurden gefunden:

Messung	I	II	III
0,1 cm	233,000	353,000	377,000
0,5 cm	123,500	194,200	
0,8 cm	122,000		

Messung I: Öl im Zustande wie Öl 1 bei Messung 5,

„ II: Öl in ganz reinem Zustande bei 20° C,

„ III: Öl in ganz reinem Zustande bei 60° C.

Der Wert des Scheitelfaktors war derselbe wie bei den Messungen mit Öl, Nr. 1 und 2 (siehe Bild 10).

Größere Abstände als 5 mm konnten in reinem Öl nicht durchschlagen werden da die zur Verfügung stehende Wechselspannung höhere Werte nicht zuließ. Teilweise mußte der Transformator mit 100% überlastet werden. Wesentliche Änderungen des Scheitelfaktors wurden nicht beobachtet.

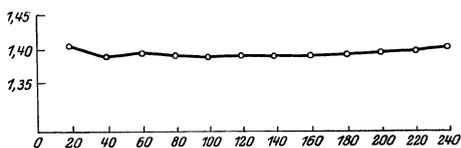


Bild 10. Scheitelfaktor bei Messungen mit Öl.

Die hohen Werte von Friese wurden nicht ganz erreicht. Der Grund liegt einestils in der Versuchsanordnung, speziell in der Funkenstrecke und Ölbehälter. Die Anordnung von Friese ist physikalisch möglich, aber für die Praxis schwer durchführbar wegen hoher Kosten und Empfindlichkeit. Andernteils stehen uns heute fast nur amerikanische Transformatorenöle zur Verfügung, welche an Güte den vor dem Kriege gebräuchlichen russischen Ölen nachstehen.

c) Einfluß der Feuchtigkeit und Temperatur auf die Durchbruchfeldstärke des Öles.

Dazu Bild 11 und 12.

Durch die Versuche, die mit Öl Nr. 1 über die Abhängigkeit der Durchschlagsfestigkeit vom Wassergehalt angestellt wurden, wurden die Messungen von Friese bestätigt gefunden.

Zu diesem Zwecke wurde die Funkenstrecke auf 2 mm Abstand eingestellt und das Öl durch Darüberleiten von Wasserdampf verschlechtert. Es wurde festgestellt, daß bei ganz reinem,

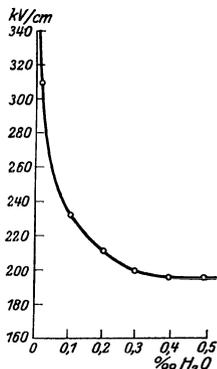


Bild 11. Abhängigkeit der Durchschlagfestigkeit der Öle von der Feuchtigkeit.

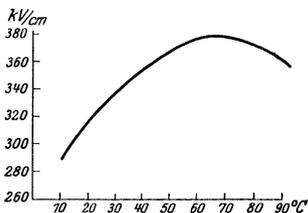


Bild 12. Abhängigkeit der Durchschlagfestigkeit von der Temperatur.

wasserfreiem Öle wenige Tausendstel % Wasser eine bedeutende Verschlechterung der elektrischen Festigkeit verursachen. Überschlagsversuche wurden gemacht bei 0,1, 0,2, 0,3 ‰ Wassergehalt. Das Ergebnis war dasselbe wie Friese ermittelt hatte. Auch die Abhängigkeit der Durchbruchfeldstärke des Öles in ganz reinem Zustande wurde untersucht auf die bereits erwähnte Art bei verschiedenen Temperaturen. Die erhaltene Kurve hat gleichen Verlauf wie die von Prof. Friese aufgestellte Kurve (siehe Friese, V. a. d. S.-K. Bd. I, H. 2. 1921).

Bei der Abhängigkeit der Durchbruchfeldstärke vom Wassergehalt muß dahingestellt bleiben, ob die Verschlechterung der Isolierfestigkeit des Öles allein vom Wasser oder von den auch unter dem Mikroskop nicht mehr erkennbaren Verunreinigungen in Verbindung mit Wasser abhängt.

Zum Heizen des Öles wurde die elektrische Heizung wegen ihrer bequemen Regulierbarkeit und ihres geringen Raumbedarfes gewählt. Die Vorrichtung bestand aus einem Porzellankegel, welcher mit Widerstandsdraht spiralenförmig gewickelt war. Vor dem Einbringen in das Öl war der Heizkörper selbstverständlich sorgfältig gesäubert worden.

d) Polaritätserscheinungen.

Bei Überschlagsversuchen in Öl mit Gleichstrom wurden Polaritätserscheinungen beobachtet.

Zur Verwendung gelangte vollständig reines Öl. Als Spannungsquelle diente eine Influenzmaschine. Die eine Elektrode von 90 mm \varnothing wurde durch eine kleinere von 15 mm \varnothing ersetzt. Zur relativen Spannungsmessung diente eine Kugelfunkstrecke mit Kugeln von 10 mm Radius. Die Funkstrecke wurde mit Uviollicht bestrahlt.

1. Versuch.

Die kleine Elektrode wurde mit dem + Pol der Maschine verbunden, die große Elektrode mit dem — Pol. Die in Luft an der Kugelfunkstrecke gemessene Schlagweite betrug 25 mm als der Durchschlag des Öles erfolgte.

2. Versuch.

Die kleine Elektrode war mit dem — Pol, die große mit dem + Pol verbunden. Die an der Vergleichsfunkstrecke gemessene Schlagweite betrug 37 mm. Der durch die Polarität hervorgerufene Unterschied in der Durchschlagsspannung des Öles betrug somit 50%.

Leuchterscheinungen und partielle Überschläge wurden nicht beobachtet.

Zusammenfassung.

I. Messungen in Luft.

Es wurde die Durchschlagfestigkeit für normale atmosphärische Luft im homogenen Feld für Schlagweiten von 0,05 cm bis 1 cm mit großer Sorgfalt ermittelt ($\frac{1}{2}$ % Genauigkeit). Die gemessenen Werte lagen tiefer als bei den früheren Messungen, was vermutlich auf den Einfluß der Verzögerungen zurückzuführen ist.

II. Messungen in Öl.

- I. Es wurde nachgewiesen, daß jedes Öl reproduzierbare Werte liefert im Gegensatz zu den Resultaten anderer Beobachter, die nicht genügend gereinigtes Öl benutzten. Der größte Reinheitsgrad kann durch verhältnismäßig einfache Mittel erreicht werden.

2. Es ist darauf zu achten, daß eine Lichtbogenentladung vermieden wird.
 3. Die Abhängigkeit von \mathcal{E} von δ wurde verschieden gefunden, bedingt durch den Reinheitsgrad des Öles.
 4. Durch Aufnahme solcher Kurven kann auf den Zustand des Öles geschlossen werden. Im reinsten Öl verläuft die Kurve von \mathcal{E} analog der in Gasen, d. h. \mathcal{E} fällt im ganzen durchmessenen Gebiet mit steigendem δ ab.
 5. Eine Bestrahlung blieb ohne jeden Einfluß.
 6. Bei bestimmten δ ergaben sich besonders große Unterschiede bei verschiedenen Reinheitsgraden, so daß dieses δ für Öluntersuchungen als am günstigsten gelten dürfte.
 7. Temperatur und Feuchtigkeitseinfluß nach meinen Ergebnissen decken sich mit den Messungen früherer Beobachter.
 8. Bei drei Ölen verschiedener Herkunft ergaben sich gleiche Resultate.
 9. Es hat sich gezeigt, daß bei Öluntersuchungen die Verwendung ebener Elektroden (homogenes Feld) unter entsprechenden Vorsichtsmaßregeln zur Prüfung von Öl sehr gut geeignet ist wegen der bequemen Anordnung und Einstellung der Funkenstrecke. Es lassen sich dabei vollständige Kurven aufnehmen, aus deren Verlauf auf die Güte des Öles geschlossen werden kann. Zugunsten der Funkenstrecke mit ebenen Elektroden gegenüber zylindrischen Elektroden spricht die Möglichkeit der bequemen Beobachtung während der Versuche.
 10. Bei Überschlagsversuchen in Öl mit Gleichstrom wurden Polaritätserscheinungen beobachtet.
-

Lebenslauf.



Ich, Walter Spath, wurde geboren als Sohn des Prokuristen Karl Spath und seiner Ehefrau Emilie geb. Henschel am 12. September 1896 in Jena in Thüringen. Von 1906 bis Ostern 1915 besuchte ich das Gymnasium Carolo Alexandrinum zu Jena, welches ich mit dem Zeugnis der Reife verließ. Ich trat als Kriegsfreiwilliger beim Eisenbahnregiment 4 ein. Als Eisenbahnpionier war ich 1915—1916 Weihnachten in Rußland und Frankreich, von 1916—1919 als Lokomotivführer an der Bagdadbahn, Strecke Haydar—Pascha—Aleppo tätig. Nach „Friedens“-schluß wandte ich mich dem Studium der Mathematik und Physik, spez. der techn. Physik zu und studierte zu diesem Zwecke 9 Semester in Jena. Ich hörte bei folgenden Herren Kollegien:

Haußner, (M. Wien, Rogowski, Busch, Försterling,
Auerbach, Köbe, Kaufmann und besonders Schumann.

Allen meinen hochverehrten Lehrern meinen Dank auszusprechen, ist mir eine angenehme Pflicht. Besonderen Dank bin ich Herrn Prof. Schumann u. Herrn Geheimrat (M. Wien schuldig, denen ich die Anregung zu meiner Arbeit verdanke. Auch Herrn Institutsmechanikermeister K. Kösser gebührt mein Dank. Er fertigte die bei vorliegender Arbeit benötigten Spezialapparate in vollkommenster Weise an.

