

Kriege noch normal waren, als Vergleich setzt. Sie hat aber außer dem allgemeinen Fehler, daß die Bezeichnung des Studienfaches nicht überall gleichmäßig gehandhabt sein dürfte, den Nachteil, daß ein Jahr mit normalem vorhergehendem und folgendem Zu- und Abgang (1911) mit einem Jahre sinkenden Zugangs und noch erhöhten Abgangs (1928) verglichen wird; die Zahl von 143% oder eine Zunahme der gesamten Chemiefächer von 43% wird also für einen vollständigen Vergleich zu hoch sein, aber immerhin einigermaßen zutreffen.

Andererseits läßt die obige Zusammenstellung den relativ hohen Einfluß der Sonderzählung der Pharmazeuten erkennen, ohne welche eine praktisch wohl weniger zutreffende Erhöhung auf 162% herauskommt; und weiter ist es besonders bedauerlich, daß die Zahl der reinen Chemiker durch die früher fehlende Abgrenzung der verschiedenen Hüttenfächer nicht vergleichbar ist.

Nimmt man für S.-S. 1928 dagegen die jetzt vorliegende spezifizierte Statistik, so ergeben sich

Chemiker . . . . .	4280
Hüttenmänner . . . . .	670
Papier-, Textil-Chemiker . . . . .	84
Ein Drittel der allgem. Naturwiss. . . . .	143
	5177

Studierende (statt oben 5176), und es würden, wenn man für Hüttenfach usw. (da Hüttenkunde damals höher, die anderen Fächer wohl niedriger waren) schätzungsweise für 1911 die gleiche Zahl 900 Studierender von den obigen 3195 abzieht, an reinen Chemikern 2300 den jetzigen 4280 gegenüberstehen, d. h. eine heutige Studentenzahl von 186% für Chemie herauskommen, was sicher ein falsches, wesentlich zu hohes Bild gibt.

Wertvoller und genauer ist die Einsicht in den studentischen Ersatz, wenn man von den 371 weiblichen Studierenden zunächst absieht und die Zahlen des Semesteralters für S.-S. 1928 vergleicht; es ergeben sich an Chemiestudenten

	überhaupt	1. u. 2. Sem.	über 11 Sem.
Univers. . . . .	2385	406	383
Techn. Hochsch. . . . .	1524	227	255
	3909	633	638

Hierbei fällt zunächst die hohe Zahl der über 11 Semester Studierenden, also überalterten Studenten auf,

die, aus der Zeit des starken Zuflusses stammend, zu langsam studierten und einem vollen heutigen Jahrgang entsprechen.

Weiter zeigt sich aber, daß, während früher bei vierjährigem Normalstudium der Jahrgang 5–600 Studenten umfaßte, er heute nur scheinbar für fünfjähriges Studium, wenn man die Zahl von 3909 durch 5 teilt, an 800 noch heranreicht, tatsächlich aber mit einem Jahreszugang von 633 wenig, aber immerhin noch höher, als in der Vorkriegszeit liegt, d. h. dem Bedarf vielleicht entsprechen dürfte. Ungünstig wird dagegen die Entwicklung durch die Studentinnen sein können, die sich augenblicklich auf 371 mit vollen 109 (!) im ersten Jahre Studierenden und 27 Überalterten belaufen und eben, auch wenn ein größerer Anteil das Studium nicht durchhält, einen Überschuß bedeuten.

Fraglich bleibt jedoch ohne eingehendere Kontrolle der offiziellen Statistik, ob der Zugang von  $(633 + 109) = 742$  Chemie-Immatrikulationen wirklich nur Chemiker zählt; denn die Zahl der chemischen Praktikanten im ersten Studienjahre, welche der Verband der Laboratoriumsvorstände aufstellte, beläuft sich auf nur 548, so daß rund 200 „Füchse“ noch kein Laboratorium besuchen mußten. Das laufende Studium aber läßt sich durch die Verbandszeugnisse noch weniger kontrollieren, weil sie weder die Mehrzahl der Diplomprüfungen noch sämtliche Laboratorien erfassen.

Aus den Unstimmigkeiten der Zahlen, die man aus der Statistik der Hochschulverwaltungen ableiten muß, erhellt, daß wir verlässliche Vergleiche erst besitzen werden, wenn man von anderer Stelle aus entsprechende Zahlen aufstellt und beide dann durch gegenseitige Klärung auf genaue Angaben korrigiert. Diese Gegenstatistik würde am besten durch den Verband der Laboratoriumsvorstände erfolgen, der seine bisherige Prüfungsstatistik vervollständigen und durch Zahlen über den Laboratoriumsbesuch der verschiedenen Semester ergänzen könnte. Damit würden durch die Zahlen der Laboratoriumsbesucher die Zahlen der Chemiestudenten, welche die Hochschulverwaltung nach der Immatrikulation gibt, maßgeblich abzuwägen sein, während die Aufstellung des Vereins deutscher Chemiker durch unvermeidliche unvollständige Angaben immer etwas getrübt wird, wenn sie auch dem Allgemeinbild entsprechen dürfte. [A. 75.]

## Analytisch-technische Untersuchungen.

### Beitrag zur Kenntnis der Ausgußmassen von Transformatoren.

Von Dr. W. HAMMERSCHMIDT, Berlin-Treptow.

(Eingeg. 6. April 1929.)

Zur Beurteilung der Ausgußmassen von Transformatoren werden häufig die in den „Vorschriften für die Bewertung und Prüfung von Ausgußmassen für Kabelzubehörteile“<sup>1)</sup> und in dem Entwurfe zu den „Leitsätzen für die Prüfung von Vergußmassen für Geräte unter 1000 Volt Nennspannung“<sup>2a)</sup> festgelegten physikalischen und chemischen Prüfverfahren herangezogen. Es ist aber für diesen Verwendungszweck außerdem noch die Kenntnis des elektrischen Verhaltens derartiger Massen vielfach erforderlich, besonders wenn es sich darum handelt, ein Urteil über die elektrische Sicherheit eines

Fabrikates abzugeben. Auf diese Tatsache ist es auch zurückzuführen, daß eine Anzahl Veröffentlichungen<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Vgl. Vorschriftenbuch des Verbandes Deutscher Elektrotechniker, 15. Auflage.

<sup>2a)</sup> Elektrotechn. Ztschr. 1929, 369.

<sup>2)</sup> H. Brückmann, Compounde als Ausgußmassen, Rev. Gén. de l'Electr. 14, 534 [1923]. H. W. Birnbaum, Dielektrische Verluste an Kabeltränkmassen, Elektrotechn. Ztschr. 1924, 229. R. Dieterle, Methoden und Apparate zur Ermittlung der Durchschlagsspannung von flüssigen und vergießbaren elektrischen Isolierstoffen, ebenda 1924, 513. H. Brückmann, Prüfung von Isoliermassen (Compounden), ebenda 1925, 23. P. Wiegand, Beitrag zur Messung des dielektrischen Verlustwinkels von Kabelisolierölen, Harzen, Vaseline, Petrolaten und der aus ihnen zusammengesetzten Massen, ebenda 1928, 570. J. Lagerqvist u. H. Spanne, Über die Anwendbarkeit verschiedener Asphaltarten als vergießbare elektrische Isoliermasse, ebenda 1928, 1395.

hauptsächlich in neuerer Zeit erschienen sind, die Versuche zur Beurteilung der elektrischen Eigenschaften von Ausgußmassen darstellen und vorläufig noch recht verschiedene Gesichtspunkte für die Erreichung des gesteckten Zieles verfolgen.

Einem ähnlichen Zweck dienen auch die nachfolgenden Ausführungen, die ein Bild geben sollen von dem Zusammenhange der Durchschlagspannung, des Tropfpunktes und der Säurezahl mit der Zusammensetzung solcher Massen, die in den vorliegenden Versuchen aus Kolophonium, Harzöl und amerikanischem Asphalt bestehen. Es hat sich bei diesen Versuchen übrigens gezeigt, daß bei derartigen Ausgußmassen der Verwendung von Harzöl, das in der Elektrotechnik seit längerer Zeit wegen seiner Neigung zum Verharzen nicht mehr zur Füllung von Ölwandlern verwendet wird, keinerlei Bedenken entgegenstehen, zumal solche Mischungen mit Harzöl weniger zum Entmischen neigen als bei Verwendung von Mineralöl.

Zu den vorliegenden Versuchen wurden Stoffe einheitlicher Lieferung verwendet, deren Durchschnittsproben etwa folgende Kennzahlen zeigten:

Tabelle 1.

	Kolophonium	Harzöl	amerik. Asphalt
Dichte $d_{20}^{\circ}$ . . . . .	1,065	0,923	1,058
Tropfpunkt . . . . .	83–83,5°	—	75°
Säurezahl . . . . .	160–167	31,5–32,5	0,1–0,2
Verseifungszahl . . . . .	187–195	37,8–38,4	—
Durchschlagspannung in kV eff. bei 0,5 mm Elektrodenabstand . . . . .	> 50	7	40

Soweit die Werte der Durchschlagspannung bzw. Durchschlagfestigkeit<sup>3)</sup> ein entscheidendes Merkmal für die elektrische Sicherheit abgeben können, lassen sich die erforderlichen Unterlagen durch das nachstehend beschriebene Verfahren verhältnismäßig leicht ermitteln.

Bei den Versuchen wurde die Durchschlagspannung zwischen halbkugelförmig abgedrehten Messingelektroden von 5 mm Durchmesser bestimmt in einem Gefäße, dessen Seiten- und Stirnwandungen aus Hartpapier von 6 mm Stärke hergestellt sind und daher eine größere Festigkeit in sich aufweisen als die seinerzeit von A. Kastalsky<sup>4)</sup> beschriebene Versuchsanordnung. Derartige Durchschlaggefäße nach Abb. 1, wie sie auch von R. Shadbourn<sup>5)</sup> in ähnlicher Ausführung beschrieben wurden, haben sich seit etwa sechs Jahren mit gutem Erfolg bei der elektrischen Prüfung von Ausgußmassen bewährt. Sie haben den Vorteil, daß sie einfach auseinanderzunehmen sind und sich leicht reinigen lassen<sup>6)</sup>. Die Form und die Abmessungen der Elektroden wurden, wie angegeben, gewählt, um den im

praktischen Betrieb an Vergußmassen gestellten Anforderungen möglichst nahezukommen. Zu den Versuchen waren die Elektroden auf 0,5 mm Entfernung mittels eines Endmaßes eingestellt. Das Einfüllen der Masse

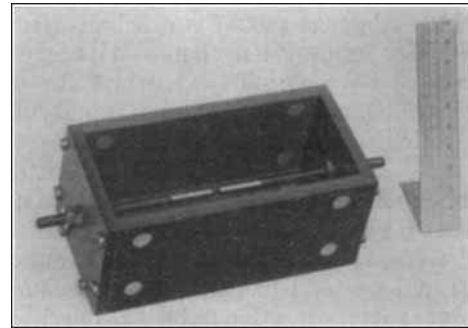


Abb. 1.

geschah in der Weise, daß die zu untersuchende Probe geschmolzen und unter ständigem Umrühren eine Viertelstunde lang auf einer Temperatur von 135° gehalten wurde, bei der sie bereits dünnflüssig ist. Die Masse wurde dann in das mit Papier ausgelegte Durchschlaggefäß eingegossen, in dem sie über Nacht abkühlte. Entmischungserscheinungen beim Erkalten wurden bei Massen bis herunter zu einem Tropfpunkt von 35° nicht beobachtet.

Die zum Durchschlagen der erstarrten Masse benötigte Spannung lieferte ein Spannungswandler, dessen Hochspannungsklemmen mit den Elektroden des isoliert aufgestellten Durchschlaggefäßes verbunden waren. Die Regulierung der Hochspannung erfolgte durch Veränderung eines Widerstandes auf der Niederspannungsseite in der Weise, daß die Spannung auf der Hochspannungsseite bis 20 kV um ungefähr 1 kV in einer Sekunde, bei darüber liegenden Spannungen aber um 0,5 kV in der Sekunde bis zum Durchschlag gesteigert wurde. Als Meßinstrument für die Spannung diente bei den vorliegenden Messungen ein statisches Voltmeter auf der

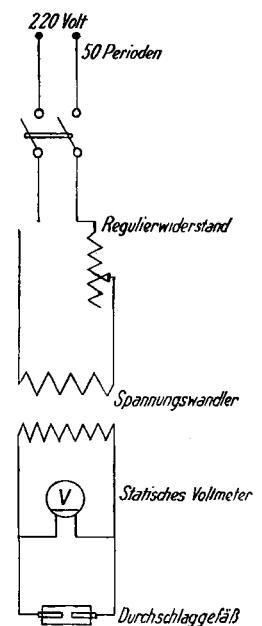


Abb. 2.

Hochspannungsseite. Die Versuchsanordnung wird durch das beigegebene schematische Schaltbild in Abb. 2 verdeutlicht.

Das Ergebnis dieser Untersuchungen ist in Abb. 3 in der für Dreistoffsysteme üblichen Darstellungsweise wiedergegeben; die eingezeichneten Kurven gleicher Wertigkeit zeigen, die Mischungen mit derselben Durch-

<sup>3)</sup> U. Retzow, Durchschlagspannung und Durchschlagfestigkeit, Arch. Elektrotechn. 20, 270 [1928].

<sup>4)</sup> A. Kastalsky, Über Kabelmuffenausgußmassen, Mitt. d. Ver. Elektr. Werke 1922, S. 190.

<sup>5)</sup> R. Shadbourn, Insulating compound tester, Electrical World 88, 1275 [1926].

<sup>6)</sup> Siehe nebenstehende Spalte.

<sup>6)</sup> Einige Verbesserungsvorschläge, die von bekannter Seite nach Ausführung der Versuche gemacht worden sind, werden Gelegenheit geben, in einer besonderen Mitteilung hierauf zurückzukommen. Für die vorliegende Abhandlung spielt jedoch die Ausführung des Prüfgefäßes insofern keine ausschlaggebende Rolle, als die Gegenüberstellung der Versuchsergebnisse nur relative Werte umfaßt.

schlagsspannung in kV eff. an. Die zu den Kurven benutzten Werte selbst sind Mittelwerte aus je drei Einzelmessungen mit derselben Mischung. Die Streuung der einzelnen Werte voneinander betrug etwa  $\pm 5\%$ . Aus dem Verlauf der Kurven ist u. a. ersichtlich, daß schon durch einen geringen Harzölzusatz die Durchschlag-

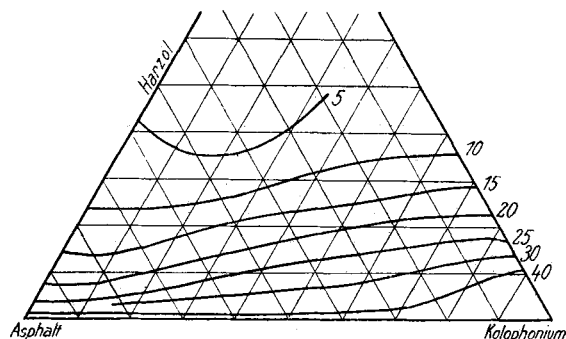


Abb. 3.

werte des amerikanischen Asphalts und des Kolophoniums bedeutend herabgesetzt werden. Die Isolierfähigkeit beider Massen und ihrer Mischungen wird also durch Ölzusatz, der die Masse zwar geschmeidiger macht, d. h. die Haftfähigkeit und die Plastizität der Massen bei niedriger Temperatur erhöht, stark beeinträchtigt. Bei Mischungen von mehr als 40% Harzöl wurde beobachtet, daß diese Massen eine geringere Durchschlagsspannung haben als jeder einzelne Bestandteil.

In Abb. 4 sind für die untersuchten Mischungen die Kurven gleicher Tropfpunkte zwischen  $30^\circ$  und  $80^\circ$  eingetragen. Die Tropfpunkte wurden in einem Thermometer nach Ubbelohde bestimmt bei einer Temperaturerhöhung von  $1^\circ$  in  $45''$ . Durch einen Vergleich der

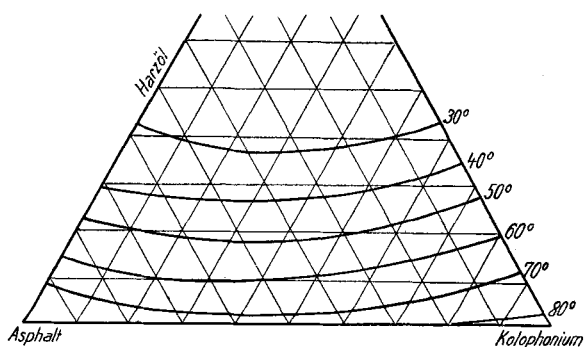


Abb. 4.

Kurven auf Abb. 3 und 4 ist leicht zu erkennen, daß es jeweils mehrere Mischungen der drei Bestandteile gibt mit gleichem Tropfpunkt, dabei jedoch mit stark wechselnder Durchschlagsspannung. So umfaßt z. B. die Kurve der Massen mit dem Tropfpunkt  $70^\circ$  Mischungen, die eine Durchschlagsspannung zwischen 19 und 38 kV eff. bei 0,5 mm Elektrodenabstand aufweisen. Andererseits lassen sich Mischungen aus den hier benutzten Bestandteilen herstellen mit einer Durchschlagsspannung von 20 kV bei dem gewählten Elektrodenabstand und mit Tropfpunkten zwischen  $50^\circ$  und  $71^\circ$ .

Es liegt nun nahe, auch die Säurezahl dieser Mischungen, die aus Materialien mit so verschiedener Säurezahl zusammengesetzt sind, etwas näher zu betrachten. Ein Bild der beiden hier untersuchten

Mischungen gibt Abb. 5, die die Kurve gleicher Säurezahl dieser Massen zeigt. Die Werte, die den Kurven zugrunde liegen, sind zunächst berechnet und für einen großen Teil der Mischungen auch durch direkte Bestimmung nach der bekannten Methode bestätigt worden. Eine Änderung der Säurezahl durch Temperatur-

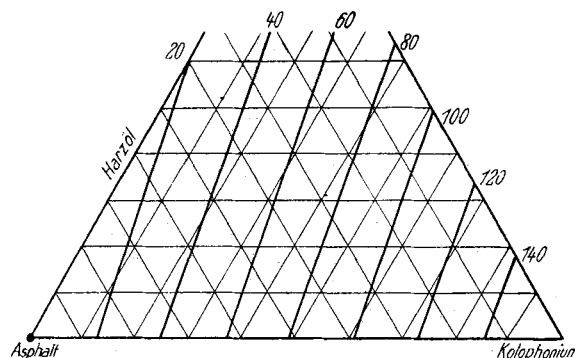


Abb. 5.

erhöhungen oder durch Einwirkung von Metallen kommt bei der kurzen Versuchsdauer nicht in Frage<sup>7)</sup>. Ein Vergleich mit den Kurven der Abb. 3 zeigt, daß die Säurezahl der Massen bei den vorliegenden Untersuchungen mit ihrer Durchschlagsspannung nicht in Einklang zu bringen ist. Als Beispiel sei erwähnt, daß Massen mit einem Wert von 40 kV eff. für die Durchschlagsspannung je nach ihrer Zusammensetzung eine Säurezahl zwischen etwa 1 und 150 haben, oder andererseits auch Massen mit einer Säurezahl von 100 eine Durchschlagsspannung von etwa 7 bis 42 kV eff. bei dem gewählten Elektrodenabstand zeigen können.

Abschließend seien noch das spezifische Gewicht und der kubische Ausdehnungskoeffizient der einzelnen Bestandteile angegeben. Das spezifische Gewicht wurde mittels Pyknometer festgestellt und unter Anwendung der Korrekturen nach F. Kohlrausch<sup>8)</sup> berechnet (s. Tabelle 1). Der kubische Ausdehnungskoeffizient  $\alpha$  zwischen  $135^\circ$  und  $20^\circ$  ist nach der von H. Mallison<sup>9)</sup> und seinen Mitarbeitern vorgeschlagenen Weise bestimmt worden und ergab für amerikanischen Asphalt 0,000565 und für Harzöl 0,000521. Aus den  $\alpha$ -Werten ergibt sich durch einfache Umrechnung gleichzeitig die Volumenverminderung, die Kontraktion oder der Schwund beim Abkühlen von Massen mit keinem deutlich gekennzeichneten Erstarrungspunkt, wofür U. Retzow<sup>10)</sup> eine verhältnismäßig leicht technisch durchführbare Bestimmungsmethode angegeben hat. Die Kontraktion zwischen  $135^\circ$  und  $20^\circ$  beträgt für das benutzte Harzöl 6,0% und für den amerikanischen Asphalt 6,5%. Zur technischen Verwendung hat natürlich die Kenntnis der Volumenverminderung während des Abkühlens schon mit Rücksicht auf die möglicherweise eintretende Blasen- und Hohlraumbildung recht erhebliche Bedeutung. [A. 66.]

<sup>7)</sup> St. Reiner, Über die Angreifbarkeit von Metallen durch Isolieröl-Harzmasse, Ztschr. angew. Chem. 1926, 588.

<sup>8)</sup> F. Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Physik, 14. Auflage.

<sup>9)</sup> H. Mallison, F. Jacobsohn und K. Sarre, Die Bestimmung des kubischen Ausdehnungskoeffizienten von Pechen und Asphalten, Ztschr. angew. Chem. 1926, 154.

<sup>10)</sup> U. Retzow, Der Schwund der Ausgußmassen, Elektrotechn. u. Masch.-Bau 1923, Heft 7.