

Die Materialprüfung der Isolierstoffe der Elektrotechnik

Herausgegeben von

Walter Demuth

Oberingenieur und Prüffeldvorstand
der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie (Telefunken), Berlin

unter Mitarbeit von

Kurt Bergk und Hermann Franz

Ingenieuren derselben Gesellschaft

Mit 76 Textabbildungen



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH
1920

Die Materialprüfung der Isolierstoffe der Elektrotechnik

Herausgegeben von

Walter Demuth

Oberingenieur und Prüffeldvorstand
der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie (Telefunken), Berlin

unter Mitarbeit von

Kurt Bergk und Hermann Franz

Ingenieuren derselben Gesellschaft

Mit 76 Textabbildungen



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1920

ISBN 978-3-662-24048-9 ISBN 978-3-662-26160-6 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-26160-6

Alle Rechte, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.

Copyright 1920 by Springer-Verlag Berlin Heidelberg
Ursprünglich erschienen bei Julius Springer in Berlin 1920.

Vorwort.

Der Krieg hat die Industrie, insbesondere die mit hochwertigen fremdländischen Materialien arbeitende Elektrotechnik, gezwungen, zum Teil zu Ersatzstoffen überzugehen. Die Fabriken müssen seitdem bisher bewährte Baustoffe verlassen, weil diese entweder infolge mangelnder Zufuhr an Rohmaterialien überhaupt nicht mehr zu haben sind oder doch für wichtigere Zwecke zurückgesetzt werden müssen. Die Rohstoffe schwanken somit erheblich nach Art und Beschaffenheit. Es ist darum nötig, in weitaus größerem Maße als früher die eingehenden Rohmaterialien sowie die Fertigfabrikate regelmäßigen Prüfungen zu unterwerfen.

Das vorliegende Buch soll nun dazu dienen, dem in der Praxis stehenden Ingenieur zunächst einmal eine ausführliche Anleitung zur Prüfung der Isolierstoffe zu geben an Hand eines alle vorkommenden Anforderungen enthaltenden Fragebogens, weiterhin aber eine Übersicht über die hauptsächlichsten Isolierstoffe unter Angabe ihrer Form und Verarbeitungsmöglichkeit zu verschaffen.

Für den Studierenden soll die Arbeit eine willkommene Hilfe sein, werden die hier behandelten Aufgaben doch in den Vorlesungen meist nur kurz gestreift. Den Spezialvorlesungen aber über das Materialprüfungswesen wird gerade von den Hörern der Elektrotechnik oft nicht das gehörige Interesse gewidmet.

Die verschiedenen Prüfungsmethoden, die zum Teil vom Verband Deutscher Elektrotechniker nach den Arbeiten des Königlichen Materialprüfungsamtes in Lichterfelde (K. M. A.) und der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Charlottenburg (P. T. R.) vorgeschrieben sind, werden ausführlich behandelt. Insbesondere werden die hierfür nötigen Materialprüfmaschinen und Sondereinrichtungen, die Art der zweckmäßigsten Ausführung der Probestücke, sowie der Vorgang der mechanischen und elektrischen Untersuchung beschrieben, so daß danach der Praktiker sofort in der Lage ist, sich über alle erforderlichen Einrichtungen zu unterweisen, ohne erst umfangreiche und auch fast durchweg für den Maschinen- und Bauingenieur zugeschnittene Werke studieren und das für ihn Geeignete mühsam zusammentragen zu müssen.

Die einschlägige Literatur ist an passenden Stellen erwähnt, so daß dem sich eingehender mit der Materie befassenden Spezialisten ein

Hinweis gegeben ist. Ein tieferes Eingehen auf theoretische Untersuchungen muß umfangreicheren Werken, als nicht dem Zwecke eines Handbuches für den praktischen Ingenieur und Studierenden entsprechend, überlassen werden.

Die dem Texte beigelegten Skizzen und Lichtbilder stellen die gebräuchlichsten Ausführungen der Materialprüfmaschinen verschiedener Spezialfirmen dar, ohne daß ein bestimmtes Fabrikat oder eine besondere Bauart bevorzugt werden soll. Die Auswahl ist vielmehr nach den praktischen Anforderungen von Fall zu Fall zu treffen.

Allen Firmen, sowohl den Materiallieferanten als den Maschinenfabrikanten, sei für die freundliche Hilfe durch Auskunftserteilung und Hergabe von Klischees an dieser Stelle gedankt. Die Namen der Hersteller sind in den entsprechenden Absätzen angeführt.

Den Herren Bergk und Franz sei gleichfalls an dieser Stelle für ihre treue Mitarbeit gedankt.

Wenn nun das vorliegende Buch dazu dient, das Interesse für sachgemäße Materialprüfungen unter den Elektrotechnikern, insbesondere auch bei den Fabrikanten, zu heben und zu festigen, sowie die Erfahrungen von Fachgenossen weiter zusammenzutragen, so daß daraus Material für die Schaffung von Verbandsvorschriften für das gesamte Gebiet der Isolierstoffe gesammelt werden kann, ist der Zweck meiner Arbeit erreicht.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichnis.

Erster Teil: Die Prüfmethöden.

A. Prüfungen von festen Isoliermaterialien.

Bearbeitet von W. Demuth.

	Seite
I. Einleitung und Arbeitsplan	1
II. Allgemeine Vorfragen über Herkunft und Lieferungs- möglichkeiten	2
a) Fragebogen zur Beurteilung von festem Isoliermaterial	2
b) Erklärungen	3
III. Mechanische und technologische Prüfungen	5
Die allgemeine Bearbeitungsmöglichkeit	5
Bestimmung der Zugfestigkeit	6
„ „ Druckfestigkeit	22
„ „ Biegefestigkeit	28
„ „ Schlagbiegefestigkeit	31
„ „ Biegsamkeit	35
„ „ Falzbiegefestigkeit	36
„ „ Kugeldruck- und Ritzhärte	36
IV. Physikalische Prüfungen	40
Bestimmung der Wärmebeständigkeit	40
„ „ Frostbeständigkeit	41
„ „ Wasseraufnahme	42
Verhalten in warmem Wasser	43
Verhalten in der Flamme	44
Säurebeständigkeit	44
Seewasserbeständigkeit	45
Wetterbeständigkeit (Alterung)	46
Bestimmung des Ausdehnungskoeffizienten	46
Dickenbestimmungen	49
Bestimmung des spezifischen Gewichtes	50
V. Elektrische Prüfungen (Bearbeitet von K. Bergk)	53
Bestimmung der Durchschlagsfestigkeit	53
„ „ Erwärmung unter dauernder Strombelastung	60
„ „ des Oberflächenwiderstandes	61
„ „ Durchgangswiderstandes	63
„ „ inneren Widerstandes	64
„ „ der Dielektrizitätskonstante	66
„ „ Dämpfung bezogen auf Luft	68
„ „ Lichtbogensicherheit	70
VI. Chemische Prüfungen	70
Feststellung der Zusammensetzung	70

**B. Prüfung von flüssigen Isolierstoffen einschl. erhärtender
Lacke u. dgl.**

Bearbeitet von H. Franz.

	Seite
I. Allgemeine Vorfragen über Herkunft und Lieferungsform	71
II. Verwendung und Lieferungsbedingungen	72
Transformatoren- und Schalteröle	72
Schmieröle und Fette	73
Konsistente Fette	76
Isolierlacke und Vergußmassen	76
III. Prüfung der Öle und Lacke	77
1. Öle und Fette	77
a) Mechanische und physikalische Prüfungen	77
Äußere Beschaffenheit	77
Mechanische Verunreinigungen	77
Spezifisches Gewicht	78
Flüssigkeitsgrad	79
Konsistenz	81
Flammpunkt	81
Brennpunkt	84
Kältepunkt	84
Tropfpunkt	85
Verdampfbarkeit	86
b) Chemische Prüfungen	87
Wassergehalt	87
Säuregehalt	88
Harz- und Harzölgehalt	89
Schwefelgehalt	89
Gehalt an freiem Alkali	89
Asphaltgehalt	89
Verharzungsprobe	89
Teerzahl	90
2. Isolierlacke und Vergußmassen	91
a) Mechanische Prüfung	91
Schmelzpunkt	91
Ritzhärte	92
Trockensubstanzaufnahme	94
b) Chemische Prüfung	94
c) Elektrische Prüfung aller drei Stoffe (Bearbeitet von K. Bergk)	95
Oberflächenwiderstand	95
Durchgangswiderstand	96
Dielektrizitätskonstante	96
Dämpfung	97
Durchschlagsfestigkeit	97

Zweiter Teil: Die Isolierstoffe und ihre Eigenschaften . 99

Bearbeitet von W. Demuth.

A. Reine Naturerzeugnisse	100
Asbest, Vulkanasbest	100
Glimmer	101
Holz	109

	Seite
Marmor	109
Schiefer	110
B. Kunststoffe aus reinen Naturerzeugnissen	110
Glas	110
Melalit, Steatit, Speckstein	112
Porzellan	113
C. Kunststoffe verschiedenster Zusammensetzung	124
Adit	124
Agalit	124
Ambroin	124
Australit	124
Cellon	125
Contol	125
Eburin	125
Eisengummi (rein)	126
Eisengummi (Regenerat)	126
Elektrit	127
Eshalit	127
Eswelit	127
Faturan	127
Festonit	129
Fixit	129
Fiber	129
Galalith	129
Greiffaturan	129
Gummon	131
Hartgummi (rein)	131
Hartgummi (Regenerat)	132
Isolast	132
Lapisan	133
Merval	133
Mikanit	133
Pappkarton (Preßspan)	134
Peralit	134
Pertinax	135
Prestonit	135
Pulvolit	135
Rhadoonit	135
Rob	135
Spezial Karta	136
Stabilit	136
Tenasit	136
Turbonit	136

Verzeichnis der Abbildungen und Skizzen.

	Seite
Abb. 1. Eckverbindung durch Metallverschraubung	5
„ 2. Schema für den Zugversuch	6
„ 3. Normalzugstäbe	7
„ 4. Zerreißmaschine von Mohr & Federhaff für 250 kg	12
„ 5. „ „ Schopper, Leipzig, bis 3000 kg	13
„ 6. „ „ Tarnogrocki, Essen, bis 1000 kg	14
„ 7. „ „ Düsseldorf M.-F. bis 250 kg	14
„ 8. „ „ Düsseldorf M.-F. für große Kräfte	15
„ 9. „ „ Mohr & Federhaff für große Kräfte	16
„ 10. Universalmaschine von Mohr & Federhaff für große Kräfte	17
„ 11. Zerreißmaschine mit Eichstab und Spiegelapparat	19
„ 12. Prinzip des Spiegelapparates	21
„ 13. Schema für den Druckversuch	22
„ 14. Bruchfiguren von Druckstücken	25
„ 15. Presse der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg, 50 000 kg	26
„ 16. Baupresse von Düsseldorf M.-F. bis 300 000 kg	27
„ 17. Schema für die Biegefestigkeit	28
„ 18. Schema für den Biegeversuch	29
„ 19. Versuchseinrichtung für die Biegung	31
„ 20. Schema für den Pendelschlagversuch	32
„ 21. Pendelschlagwerk von Schopper für 150 cm/kg	33
„ 22. Einspannung für die Biegsamkeitsprüfung	35
„ 23. Schema für die Falzbiegeprüfung	36
„ 24. Falzer von Schopper	37
„ 25. Schema der Kugeldruckprüfung	38
„ 26. Kugeldruckprüfer von Schopper, Leipzig	39
„ 27. Einspannung für die Warmbiegeprobe	40
„ 28. Platte für die Prüfung der Wasseraufnahme	42
„ 29. Kurve für die Wasseraufnahme	43
„ 30. Komparator von Zeiß, Jena	47
„ 31. Dickenmesser von Schopper, Leipzig	50
„ 32. Prinzip des Minimometers von Hirth	50
„ 33. Minimeter im Stativ	51
„ 34. Schaltbild für Wechselstromanschluß	54
„ 35. „ „ Gleichstromanschluß (Einanker Umf)	55
„ 36. „ „ „ (Doppelanker Umf)	56
„ 37. „ „ Hochfrequenzprüfungen	57
„ 38. Bohrschema für Versuchsplatte für Durchschlagsprüfung (Kriech- funken bei Schichtmaterial)	60
„ 39. Prüfklemme für die Messung des Oberflächenwiderstandes	61
„ 40. Schaltbild „ „ „ „ „	62
„ 41. „ „ „ „ „ Durchgangswiderstandes	63
„ 42. „ „ „ Kapazitätsmessung	67
„ 43. „ „ „ Dämpfungsmessung	69

	Seite
Abb. 44. Pyknometer	77
„ 45. Hydrostatische Wage	77
„ 46. Englersches Viskosimeter	78
„ 47. Kibflingscher Apparat für die Konsistenzprüfung	79
„ 48. Flammpunktsprüfer nach Marcusson	80
„ 49. „ „ „	81
„ 50. „ „ „ Pensky-Martens	82
„ 51. Kälteprüfer nach Hofmeister	83
„ 52. „ „ Holde	84
„ 53. Tropfpunktsbestimmer von Ubbelohde	85
„ 54. Verdampfbarkeitsprüfer von Holde	86
„ 55. Wassergehaltsprüfer von Marcusson	87
„ 56. Apparat zur Bestimmung des Schmelz- und Erweichungspunktes für Lacke und Vergußmassen nach Krämer-Sarnow	92
„ 57. Desgleichen	92
„ 58. Ritzhärteprüfer für Lacke	92
„ 59. „ „ nach Martens	93
„ 60. Meßkolben	94
„ 61. Vorrichtung zur Widerstandsmessung bei Ölen	96
„ 62. „ „ Bestimmung der Dielektrizitätskonstante bei Ver- gußmassen	97
„ 63. Schaltbild zur Dämpfungsmessung bei Lacküberzügen an Spulen (Ergänzung zu Abb. 43)	97
„ 64. Funkenstrecke für Öldurchschlagsprüfung	98
„ 65. Glimmerplatten mit Einschlüssen	102
„ 66. Schema einer Glimmereinlagerung	102
„ 67. Norwegischer Feldspat mit Glimmereinlagerungen	103
„ 68. Transsylvanischer Feldspat mit Glimmereinlagerungen	104
„ 69. Glimmerfundstück, unbearbeitet	105
„ 70. Durchschlagskurve für Glimmer	108
„ 71. Rohkaolin (Sachsen)	115
„ 72. Feldspat, kristallisiert	116
„ 73. Quarz, kristallisiert	117
„ 74. Schnitt durch einen Porzellanrundofen	118
„ 75. Druckfestigkeitskurve für Porzellan	122
„ 76. Durchschlagskurve für Porzellan	123

Erster Teil.

Die Prüfmethode.

A. Prüfungen von festen Isoliermaterialien.

Bearbeitet von W. Demuth.

I. Einleitung und Arbeitsplan für die verschiedenen Untersuchungen an festem Isoliermaterial.

Um zunächst eine allgemeine Übersicht über die Eignung irgendeines gegebenen Materials zu erhalten, ist ein Fragebogen aufgestellt, der zweckmäßig schon dem Fabrikanten vorzulegen und von diesem so ausführlich wie möglich auszufüllen ist.

Aus der Beantwortung der einzelnen Punkte lassen sich schon viele Schlüsse ziehen. Die Antworten sind, soweit zugänglich, vom Fabrikanten durch Bescheinigungen über etwaige Untersuchungen in staatlichen Anstalten, wie dem K. M. A., der P. T. R. oder ähnlichen Staatslaboratorien zu belegen. Ganz besonders ist dabei zu beachten, aus welcher Zeit die Zeugnisse stammen und in welcher Weise die Untersuchung seinerzeit vorgenommen ist. Erfahrungsgemäß werden solche Zeugnisse vom Lieferanten sehr leicht weiter ausgelegt, als es nach der Aufgabe des Prüfantrages und der Ausdehnung der Prüfung zulässig ist.

Neue behördliche Prüfungen nehmen außerordentlich viel Zeit in Anspruch, da die Ämter infolge weitaus vermehrter Anforderungen sehr mit Arbeiten überhäuft sind. Diese Anstalten befürworten jetzt geradezu die Einrichtung von Materialprüfstellen in der Industrie und übernehmen die Eichung der dort aufgestellten Maschinen, nötigenfalls auch noch die Anlernung von Personal aus der Praxis.

Es ist dem Ingenieur in vielen Fällen gar nicht möglich, auch nur eine Woche bis zur Entscheidung über die Annahme eines Materials vergehen zu lassen. Er muß sich sofort Gewißheit verschaffen können.

Hierzu soll der folgende Plan als Anleitung dienen.

II. Allgemeine Vorfagen über Herkunft und Lieferungsmöglichkeiten.

a) Fragebogen zur Beurteilung von festem Isoliermaterial.

1. Benennung?
2. Lieferant oder Hersteller?
3. Natur- oder Kunsterzeugnis?
4. Vorgeschlagen zur Verwendung oder als Ersatz für?
5. Wie wird das Material geliefert:
 - a) in Platten, Maßangabe?
 - b) in Stäben?
 - c) in Röhren?
 - d) als Preßmaterial?
 - e) unter welcher Temperatur wird es hergestellt?
 - f) Farbe, durchsichtig, durchscheinend, Färbung nur oberflächlich oder gleichmäßig durch das ganze Material?
 - g) Homogen oder geschichtet, ist Faser- oder Walzrichtung zu beachten?
 - h) lassen sich Metallteile einpressen?
 - i) ist die Oberfläche durch besondere Lackierung, Glasur oder dergleichen hergestellt?
 - k) welche Fabrikationsangaben können zur Beurteilung der Verwendungsfähigkeit gemacht werden? Rohstoffe? Zusammensetzung? Herstellungsverfahren?
6. Welche mechanischen Eigenschaften sind beobachtet?

<ol style="list-style-type: none"> a) Wie läßt sich das Material verarbeiten, drehen, schneiden, bohren, feilen, fräsen, Gewindeschneiden, schleifen, polieren, gravieren, kleben, spalten? b) Zugfestigkeit? c) Druckfestigkeit? d) Biegefestigkeit? e) Schlagbiegefestigkeit? f) Biegsamkeit? g) Falzbiegefestigkeit? 	<ol style="list-style-type: none"> h) Kugeldruckhärte? i) Wärmebeständigkeit? k) Frostbeständigkeit? l) Wasseraufnahme? m) Verhalten im warmen Wasser? n) Verhalten in der Flamme? o) Säurebeständigkeit? p) Seewasserbeständigkeit? q) Wetterbeständigkeit, Alterung? r) Spezifisches Gewicht? s) Ausdehnungskoeffizient?
--	---
7. Welche elektrischen Werte liegen vor?
 - a) Durchschlag quer und mit der Faserrichtung?
 - b) Erwärmung unter dauernder Prüfspannung?
 - c) Oberflächenwiderstand?
 - d) Durchgangswiderstand?

- e) Innerer Widerstand?
- f) Dielektrizitätskonstante?
- g) Dämpfungswert bezogen auf Luft?
- h) Lichtbogensicherheit?

b) Erklärungen und Prüfungsvorgänge zu den allgemeinen Vorfagen unter 1—5 k.

1. Die Benennung des Materials ist genau mit der Bezeichnung des Herstellers festzulegen, spätere Verwechslungen und wiederholte Prüfungen werden damit ausgeschlossen.
2. Der Hersteller und Lieferant sind aus gleichem Grunde auf dem Prüfschein zu bezeichnen.
3. Die Angabe, ob es sich um ein reines Naturerzeugnis oder um ein Fabrikationsprodukt handelt, ist wichtig, bei natürlichen Stoffen ist das Vorkommen anzugeben, da die verschiedenen Fundstellen oft sehr voneinander abweichende Gütezahlen für gleichnamige Produkte bedingen.
4. Der Hersteller hat nach seinen Erfahrungen Verwendungsmöglichkeiten vorzuschlagen, auf dem vom Verbraucher aufgestellten Prüfschein ist die gedachte Verwendung anzugeben, weil hiernach die Folge der Einzelprüfungen zu wählen ist.
- 5a—d. Die mögliche Lieferungsart ist mit der Größe der Ausmaße anzugeben.
- 5e. Die Temperaturangabe der Herstellung ist von Interesse, weil bei manchen Konstruktionsteilen schon nach Kenntnis derselben die Eignung des Materials für den gedachten Zweck ausgeschlossen ist.
- 5f. Die Färbung hat auf die Güte selten Einfluß, doch liegen immerhin Fälle vor, wo die Beimengungen zur Erreichung bestimmter Farben ungünstig einwirken.
- 5g. Die Faser- oder Walzrichtung ist, falls es sich nicht um vollständig homogenes Material handelt, sorgfältig zu beachten, da solches, in der Faserrichtung elektrisch beansprucht, viel leichter durchschlägt, auch die mechanischen Festigkeitswerte zeigen große Abweichungen.
- 5h. Die Möglichkeit der Einpressung von Metallteilen ist zu überlegen für die Fabrikation von Griffen, Schalter- und Sicherungssockeln u. dgl. Bei Porzellan- und Specksteinerzeugnissen wäre für entsprechende Formgebung der Preßteile zum Einkitten von Metallteilen Sorge zu tragen. Bei der Einpressung ist der Ausdehnungskoeffizient des Isoliermaterials in Rechnung zu ziehen, bei starkem Abweichen desselben von den Werten des Metalles werden Sprengungen unvermeidlich sein.

5i. Die Oberflächenbeschaffenheit ist besonders dort zu beachten, wo es auf äußere Sauberkeit ankommt. Manche Stoffe erscheinen nach der Wegnahme der Walz- oder Preßhaut rau und faserig, bei anderen wieder, wie z. B. Hartgummi, ist die Wegnahme der Walzhaut aus elektrischen Gründen unbedingt notwendig. Das zur Erzeugung eines schönen Aussehens der Platte von einigen Fabriken angewendete Verfahren hinterläßt Metallrückstände, die die Oberflächenleitungen fördern und schon oft zur nachträglichen Demontage und zum Abschleifen der Flächen geführt haben, weil die eingesetzten Anschlußbolzen der Apparate direkte Kurzschlüsse zeigten.

Bei einigen, anderen Materialien ist die Nichtverletzung der Außenhaut wiederum von Bedeutung, da die Wasseraufnahme sonst sehr erleichtert wird.

5k. Hier sind besondere Eigenschaften, wie Rohstoffe, Zusammensetzung und Fabrikationsmethoden, anzugeben, die das Material für gewisse Verwendungszwecke extra geeignet erscheinen lassen.

Die so vom Fabrikanten beantworteten Fragen können nur als erste Unterlagen für die Beurteilung eines Isoliermaterials dienen. Es ist notwendig, für die jeweilig vorliegenden Verwendungszwecke die Untersuchung selbst vorzunehmen und sie diesen anzupassen. Die folgenden Fragen, unter den Abschnitten mechanische und elektrische Eigenschaften, enthalten darum alle bei Isolierstoffen für die Elektrotechnik im allgemeinen möglichen Forderungen. Sie treffen einzeln natürlich nicht für jedes Material zu. Durch das Aufwerfen der Fragen soll jedoch auf jede Möglichkeit hingewiesen sein und so zur Überlegung gezwungen werden.

Von der „Kommission für Isolierstoffe des Verbandes Deutscher Elektrotechniker“ (V. D. E.) sind in Gemeinschaft mit dem K. M. A. und der P. T. R. im Jahre 1913¹⁾ einzelne Grundsätze für abgekürzte Prüfungsmethoden für Isolierstoffe aufgestellt, die im folgenden in besonderer Schriftart mit wiedergegeben sind. Die Kommission beantragte damals, diese abgekürzten Verfahren grundsätzlich für die Dauer von 2 Jahren anzunehmen. Im Hinblick auf die noch vorliegenden Arbeiten wurde ferner gewünscht, die Sonderkommission noch ein weiteres Jahr bestehen zu lassen. Die Arbeiten sind dann wohl durch den Krieg beeinflusst worden, so daß neue Veröffentlichungen von dieser Seite nicht vorliegen.

Seitens der P. T. R. sind dann im Jahre 1917 einige Arbeiten durchgeführt, die jedoch lediglich die für Hartgummi in Frage kommenden Ersatzstoffe behandeln; aber auch diese umfassen nicht alle in vorliegender Arbeit aufgeworfenen Fragen.

Aus diesen Zeilen ist zu folgern, daß die vom V. D. E. vorgesehene

¹⁾ Elektrotechn. Zeitschr., Jahrg. 1913, S. 688.

Prüfung nur das zunächst Notwendige enthalten wird. Die Praxis, besonders durch die Kriegsverhältnisse gezwungen, stellt aber noch andere Anforderungen, die sinngemäß in den Arbeitsplan dieses Buches eingereicht sind.

III. Mechanische und technologische Prüfungen.

Die allgemeine Bearbeitungsmöglichkeit.

Bestimmte Vergleichswerte lassen sich hierfür schwer schaffen, es sei denn, daß diese parallel an den verschiedenen Materialien an einer Stelle gemacht werden, es ließen sich der Vorschub, der Arbeitsdruck, die erzielte Gewichtsmenge des Bohrabfalles u. dgl. bestimmen, niemals aber werden Beobachtungen dieser Art aus verschiedenen Betrieben gleiche Werte ergeben.

Die gestellten Fragen der Bearbeitung treffen naturgemäß nicht durchweg auf jedes Material zu, bei einzelnen muß eben durch die Formgebung erreicht werden, was durch spätere Bearbeitung, wie zum Beispiel bei Porzellan nach dem Brennprozeß, nicht mehr möglich ist. Bezüglich des Gewindeeinschneidens sei noch erwähnt, daß man hiermit bei den meisten Materialien möglichst gar nicht rechnen soll, vielmehr sollen alle Verbindungen zweckmäßiger derart geschehen, daß Metallbolzen zu Hilfe genommen werden, in die das Gewinde eingeschnitten wird (Abb. 1). Für keramische Produkte lassen sich größere Gewinde mit Vorteil verwenden, auch kleinere sind bei Preßstücken im lederharten Zustande gut in das Material einzubringen.

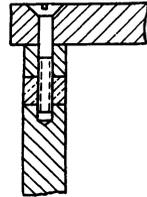


Abb. 1.

Zur Erzielung einiger Vergleichswerte seien immerhin folgende Proben ausgeführt:

Das Material wird aus der Platte mit der Kreis- und mit der Bandsäge geschnitten. Beide Schnittflächen sind zu vergleichen, die Kreissäge wird faseriges Material dichten, was besonders für die Prüfung der Wasseraufnahme wichtig ist.

Je eine Kante der erhaltenen Probe wird lang und quer gefräst.

Eine Kante derselben wird mit der Schlichtfeile quer und mit der Faserrichtung befeilt.

Diese Kante wird mit verschiedenkörnigen Schleifmaterialien geschliffen und schließlich poliert.

Eine unbearbeitete Fläche wird geschliffen und gleichfalls poliert.

Eine Fläche wird graviert, mit Farbe ausgelegt und die Schärfe der Schnitte kontrolliert.

In 5 mm starke Platten werden Löcher für 4- und 5-mm-Löwenherzgewinde gebohrt und mit Gewinde versehen; in die Löcher

sind Schrauben einzudrehen, die Platten mit den Schraubenköpfen nach unten aufzuhängen, und die letzteren mit angehängtem Gewichte zu belasten, um die Ausreißkraft des Gewindes zu bestimmen.

Es sei an dieser Stelle auf eine von der Firma Ludwig Loewe & Co., Berlin, gebaute Bohrmaschine hingewiesen, die vermöge ihrer besonderen Konstruktion zu vergleichenden Versuchen über die Bearbeitungsmöglichkeit verschiedener Stoffe unter gleichen Bedingungen geeignet ist.

Auf die vorbeschriebene Weise werden Vergleichspunkte geschaffen, die sehr wohl zur Beurteilung der Materialien untereinander dienen können. Die Probepplatten werden zweckmäßig für spätere vergleichende Beurteilungen aufgehoben.

Bestimmung der Zugfestigkeit.

Der Apparatekonstrukteur wird zunächst geneigt sein, die Beanspruchung von Isolationsmaterial auf Zug zu vermeiden, er wird sich bemühen, Umgehungsansführungen zu wählen, wie sie ja auch bei Straßenbahnoberleitungen und ähnlichen Anlagen zum großen Teil gelungen sind. Bei diesen handelte es sich aber um verhältnismäßig sehr geringe Spannungen, bei denen Strahlungswirkungen und Kriechfunken nicht zu berücksichtigen sind. Wesentlich anders werden die Verhältnisse bei Hochspannungs- oder auch Hochfrequenzisolationen, wie z. B. bei Antennenaufhängungen für die drahtlose Telegraphie. Hier ist man nach verschiedenen Fehlschlägen dazu übergegangen, die Isolationsmaterialien direkt als Last- und Isolations-träger zugleich zu benutzen. So sind beispielsweise Holz, Hanf, Hartgummi, Glas, Porzellan, teils nackt, teils imprägniert oder umkleidet, zur Abhaltung von Wettereinfluß, Rauchgasen und Seewassereinwirkung mit teilweise recht gutem Erfolg benutzt worden.

Immerhin werden Isolationsmaterialien nur selten auf Zug beansprucht, doch ist die Feststellung des Zugfestigkeitswertes zu Vergleichszwecken von großem Vorteil.

Für den **Zugversuch** wird das zu untersuchende Material in der Form eines Streifens oder auch Rundstabes in die Spannvorrichtung der Zerreißmaschine genau in der Mittellinie eingebracht und durch die in der Pfeilrichtung wirkende Kraft P (Abb. 2) auf Zug beansprucht. Die Zugkraft auf die Flächeneinheit (Zugfestigkeit) ergibt sich aus der Formel:

$$\sigma_z = \frac{P}{f} = \frac{\text{kg}}{\text{qcm}} .$$

Bei den Isoliermaterialien interessiert nur die zum Zerreißen nötige Kraft P , wie die dabei aufgetretene Bruchdehnung δ . Die Zwischen-

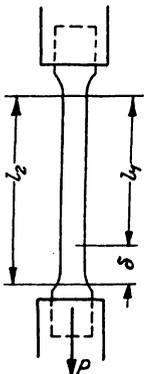


Abb. 2.

bestimmung der σ -Werte und der Dehnung δ an der Proportionalitäts- und der Fließgrenze, wie sie bei Stahl- u. dgl. Proben durchgeführt wird, erübrigt sich hier meist.

Zur Bestimmung der Dehnung werden auf dem Versuchsstück vor dem Einspannen Teilungen angebracht, wie sie aus der folgenden Zeichnung des Normalstabes ersichtlich sind (Abb. 3).

Der Bruchwert σ ist stets in kg/qcm, der Dehnungswert δ in Prozenten der Meßlänge anzugeben¹⁾.



Abb. 3 I. Abmessungen für den Normalstab: Querschnitt f 314 mm².
 Meßlänge $l = 200$ mm.
 Abmessungen für die Proportionalstäbe: Querschnitt f beliebig.
 Meßlänge $l = 11,3 \cdot \sqrt{f}$.

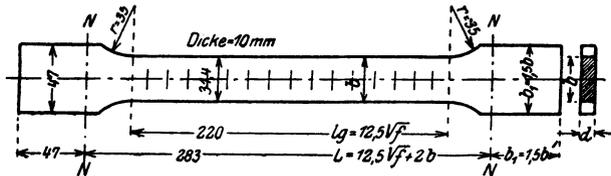


Abb. 3 II. Abmessungen für den Normalstab: Querschnitt f 314 mm².
 Meßlänge $l = 200$ mm.
 Abmessungen für die Proportionalstäbe:
 Querschnitt = ab von 100 bis 2000 mm². Verhältnis $\frac{a}{b}$ von $\frac{1}{1}$ bis $\frac{1}{5}$ beliebig.
 Meßlänge $l = 11,3 \cdot \sqrt{f}$.

Die Längenänderung ergibt sich aus:

$$\lambda = l_2 - l_1$$

bezogen auf die Meßlänge:

$$\text{Dehnung } \delta \text{ in } \% = \left(\frac{l_2 - l_1}{l_1} \right) \cdot 100 .$$

Die vorgeschriebene Bruchdehnung stimmt gerade bei den gummiartigen Isolierstoffen nicht mit den Beobachtungen während des Zugversuches überein. Alle diese Stoffe sind sehr elastisch, sie werden darum nach dem Bruch wieder eine Längenverkürzung gegen den beobachteten Wert ergeben (bleibende Dehnung).

Die Ausführung der Versuchsproben geschieht zweckmäßig nach dem vom K. M. A. angegebenen Normal- oder Proportionalflach- oder Rundstab (Abb. 3).

¹⁾ Ausführliches hierüber s. Martens, Handbuch d. Materialkunde f. d. Maschinenbau I. Springer 1898. — Memmler, Materialprüfungswesen I. Göschen 1914.

Bei Herstellung der Stäbe ist besonders darauf zu achten, daß bei dem Übergang von dem Prüfungsquerschnitt auf den Einspannteil Unterschneidungen vermieden werden, die Verbreiterung bzw. Verdickung des Normalstabes hat den Zweck, zu verhindern, daß die Proben in der Einspannstelle reißen oder dehnen, also falsche Messungen entstehen.

Für Leinen-, Seide- oder Papierisolierstoffe sind zweckmäßig Streifen von 6 cm Breite zu verwenden. Ein Drittel der Proben soll dabei mit der Fadenrichtung (Kette), ein Drittel mit dem Schuß, ein Drittel um 45° zu diesen verschoben geprüft werden. Bei diesen Untersuchungen ist ganz besonders Wert auf gleichmäßige Einspannung zu legen.

Die Zahl der Proben richtet sich ganz danach, welche Ansprüche an das jeweilig vorliegende Material gestellt werden sollen.

Zunächst ist jeder Versuch dreimal auszuführen, und daraus das Mittel zu errechnen. Bei vielen Konstruktionsteilen wird die Benutzung bei sehr verschiedenen Temperaturstufen vorkommen, und ist es darum nötig, nachdem die Probe bei dem ersten Versuch in Raumtemperatur, als welche stets $18-20^\circ\text{C}$ angenommen werden sollen, befriedigt hat, gleiche Zerreißproben bei Temperaturen von -20° , 0° , $+40^\circ$ und $+60^\circ\text{C}$, evtl. noch höher hinauf auszuführen. Insgesamt kommen also wenigstens 5 Temperaturstufen in Frage, demnach

$$3 \times 5 = 15 \text{ Proben.}$$

Zweckmäßig wird es sein, für alle Untersuchungen einige Reservestücke für irgendwelche Ausfälle vorzusehen. Falls sowohl Rund- als Flachmaterial zur Verfügung steht, wird es notwendig sein, auch neben den Flachstäben Rundstäbe zu untersuchen, da die Herstellungsmethoden für Flach- und Rundmaterial oft sehr verschieden sind und somit auch abweichende Werte ergeben werden.

Die Kaltproben werden zweckmäßig 12 Stunden der gewünschten Temperatur ausgesetzt und dann schnell in die Maschine eingehängt, der Versuch an sich geht so schnell vor sich, daß eine Erwärmung auf Raumtemperatur in dieser Zeit nicht zu befürchten ist, es kann nötigenfalls auch der für die Warmproben zu verwendende Umkleidungskasten mit Kältemischung beschickt werden.

Kältemischungen für derartige Untersuchungen sind in der „Hütte“ angegeben; ebenso finden sich solche im Absatz Kältepunktsbestimmungen weiter hinten bei der Öluntersuchung.

Für die Warmproben werden Blechkästen benutzt, die die Probe vollständig umkleiden und von außen geheizt werden. Im K. M. A. wird eine Einrichtung benutzt, wie sie in den „Mitteilungen“ vom Jahre 1893 beschrieben worden ist. Ähnliche Einrichtungen, auch mit elektrischer Beheizung, werden von der Firma Heräus in Hanau ge-

baut, doch sind solche nur für genauere Messungen, als sie bei Isolationsmaterial notwendig sind, erforderlich; es wird darum von einer näheren Beschreibung hier abgesehen.

Für die **Einspannung** der Proben in die Maschine ist die Beachtung der Linien N. N. wichtig, die Befestigung erfolgt hier in dem größten Querschnitt, so daß der am geringsten Teil des Querschnittes erfolgende Bruch niemals, wie schon bei der Probenherstellung erwähnt, durch die Einspannung selbst beeinflußt wird.

Die **Beobachtungen beim Versuch** erstrecken sich auf die Formenveränderungen während der Laststeigerung, Feststellung der Dehnung der aufgerissenen, geteilten Strecke im Vergleich zu einem neben dieser am Nullpunkt verklebten oder angeklebten Papierstreifen.

Die Bruchstelle macht sich bei allen elastischen Stoffen vorzeitig durch eine Einschnürung (Kontraktion) bemerkbar, die Lastaufnahme ist nur noch geringfügig, das Material fließt, an den Maßstäben ist eine starke Zunahme der Dehnung ablesbar, und schließlich tritt je nach der Art des Materials ein plötzlicher, ruckweiser Bruch ein oder ein Zerreißen einzelner Schichten und Fasern nacheinander. Diese Erscheinung ist verschieden je nach der Sprödigkeit bzw. Dehnbarkeit der Stoffe.

Auf Feinmessungen während des Versuches, wie Beobachtung der Proportionalitätsgrenze (der Laststufe, bis zu der für gleiche Belastungssteigerungen auch gleiche Zunahme der Formveränderungen wahrzunehmen sind) und der Streck- oder Fließgrenze (der Stufe, bei der stärkere, bleibende Formänderungen eintreten), soll hier nicht näher eingegangen werden. Es sind dies Messungen, wie sie bei Metallprüfungen regelmäßig durchgeführt werden, für Isoliermaterialien aber kaum notwendig werden, es sei darum nur auf die diesbezügliche Literatur verwiesen.

Es wird zweckmäßig sein, bei einzelnen Materialien die Bruchform photographisch festzulegen, um später Vergleichsbilder zu haben. Ebenso ist es ratsam, die Bruchflächen einzelner Materialien durch Mikrophotographie aufzunehmen. In den meisten Fällen wird bei Isoliermaterial die Herstellung von Bruchaufnahmen nicht wie bei Metall durchführbar sein, ebensowenig sind Schliffe- und Gefügeaufnahmen zu machen.

Nach dem Bruch sind die Enden aus der Maschine zu nehmen, wieder fest zusammenschieben und daran die Verlängerung l_2 der ursprünglich aufgerissenen Zentimeterteilung l_1 abzumessen.

Das so gefundene Maß $l_2 - l_1$ stellt die Bruchdehnung (übliche Bezeichnung δ) dar, die, wie vorn erläutert, in Prozenten zur Ursprungslänge zu ermitteln war.

Bei einer in 200 mm Länge aufgetragenen Skala und einem nach

dem Bruch gefundenen Längenwert von beispielsweise 238 mm würde sich nach vorn angeführter Formel eine Bruchdehnung

$$\delta = \left(\frac{238 - 200}{200} \right) \cdot 100 = \frac{38 \cdot 100}{200} = 19 \%$$

ergeben.

Die Meßlänge ist nach „Martens, Materialienkunde“ von gewissem Einfluß auf das Ergebnis, bei den vorliegenden Materialien braucht jedoch hierauf wohl kaum Rücksicht genommen zu werden, da hier gewöhnlich nur mit verhältnismäßig kurzen Stäben von höchstens 100 bis 120 mm Meßlänge (Proportionalstab) gearbeitet werden wird.

Eine Tabelle der für die verschiedenen Materialien ermittelten σ - und δ -Werte soll hier nicht angegeben werden, vielmehr sind solche, soweit bekannt, im zweiten Teil dieses Buches bei der Behandlung der einzelnen Materialien aufgeführt.

Nachdem nun an einer Reihe von Versuchsstücken, beispielsweise von Isolatoren, befriedigende Bruchwerte erzielt worden sind, können Normen für die Verwendung und die Prüfung von Massenerzeugnissen aufgestellt werden. Die Festsetzung des Sicherheitskoeffizienten richtet sich nach der Art der Beanspruchung (ruhend oder stoßweise) und dem Material. Bewährt hat sich für Porzellanisolatoren eine Nutzlast von $\frac{1}{3}$, eine Prüflast von $\frac{2}{3}$ der Bruchlast, dabei sind bei Massenprüfungen immer wieder Stichproben der Bruchlast der jeweiligen Lieferungen ausgeführt worden.

Die erforderlichen Prüfungsmaschinen,

wie sie sich in der Industrie bewährt haben und immer weiter einführen, werden in folgendem kurz unter Anführung ihrer Eigenschaften oder ihrer besonderen Eignung beschrieben.

Zum genauen Studium aller Materialprüfungsmaschinen muß wieder auf die bezügliche Spezialliteratur verwiesen werden¹⁾, doch wird der sich für die Materialienkunde interessierende Ingenieur manchen Hinweis finden, der bei Neuanschaffungen für ihn von Wert sein dürfte. Mit besonderem Rat werden nach Angabe der jeweiligen Anforderungen die befragten Firmen dienen.

Als Richtschnur für die Beschaffung einer solchen Maschine muß zunächst überlegt werden, ob mit dieser reine Materialprüfungen ausgeführt werden sollen, oder ob sie auch zur laufenden Untersuchung von Fertigfabrikaten dienen soll.

¹⁾ Martens, Handbuch d. Materialienkunde f. d. Maschinenbau I. Springer 1898. — Memmler, Materialprüfungswesen I u. II. Göschen 1914. — Martens-Heyn, Handbuch d. Materialienkunde f. d. Maschinenbau II A. Springer 1912. — Hinrichsen, Das Materialprüfungswesen. Encke 1912. — Wawrzyniok, Handbuch d. Materialprüfungswesens f. Masch.- u. Bauingenieure. Springer.

Für reine Untersuchungsmaschinen genügt Handantrieb, auch können die Einspannvorrichtungen verhältnismäßig einfach sein, man kommt dabei meist mit wenigen Keileinlagen in den Universalspannköpfen aus. Verschiedene Spezialspannköpfe verteuern den Preis sehr, erleichtern jedoch für die fortwährende Prüfung von Fertigfabrikaten den Betrieb.

Die **Bauart der Maschine**, liegend oder stehend, ist der Verwendung gemäß zu bestimmen. Für die Prüfung von Normalstäben ist eine stehende Maschine, bei der man die Proben in bequemer Höhe vor Augen hat, geeigneter. Auch die meisten Fabrikationsstücke sind angenehmer in der stehenden Maschine zu prüfen, doch sei darauf hingewiesen, daß man bei dieser Bauart meist in der Länge des Versuchstückes beschränkt ist. Man sehe von vornherein lieber größere Bauhöhe vor, kürzere Stücke lassen sich auch darin mit Hilfe von Einsatzstücken (Verlängerungen) prüfen. Für die Untersuchung von Seilen, Isolatorenketten u. dgl. dürfte sich von vornherein die Beschaffung einer liegenden Maschine empfehlen.

Zu beachten ist ferner die verfügbare, frei ausnutzbare Breite zwischen den Ständern oder Spindeln, durch welche der Durchmesser bzw. die Ausladung der zu prüfenden Stücke begrenzt wird. Die Doppelsäulenmaschinen sind im allgemeinen in dieser Beziehung wesentlich günstiger wie die Einständermaschinen.

Die **Lastausübung bzw. -erzeugung** geschieht entweder durch Handantrieb oder Motorkraft. Nur bei Fabriken, die schon für andere Zwecke über eine Druckflüssigkeitsanlage verfügen, ist ein solcher Antrieb zu wählen, immerhin sei dieser als der angenehmste ausdrücklich gepriesen und kann dort, wo es auf den Anschaffungswert nicht ankommt, und wo von vornherein die Einrichtung und Aufstellung einer größeren Materialprüfanlage vorgesehen ist, evtl. mit eigener Pumpenanlage, um von Druckschwankungen unabhängig zu sein, nur empfohlen werden. Die Verwendung der Handpumpe kommt nur da in Frage, wo es sich um reine Meß- und Versuchsarbeiten handelt, sie gestattet dabei eine gleichmäßige, sehr langsame Laststeigerung, wie sie durch keinen motorischen Antrieb zu erreichen ist. Für fabrikationsmäßige Massenprüfung scheidet der Handantrieb ganz aus.

Die **Kraftmessung** erfolgt im praktischen Betriebe am zweckmäßigsten durch die **Wage**. Für die hier in Frage kommende Kraft ist sie meist ausreichend, ermöglicht genügend genaue Ablesung und ist vor allem absolut betriebssicher. Die Ablesung an der **Meßdose** ist allerdings bequemer, doch ist diese oft Störungen unterworfen, dabei auch nicht ohne weiteres kontrollierbar; die Reparatur hieran kann nicht im eigenen Betriebe ausgeführt werden; es sind somit störende Arbeitspausen nicht zu vermeiden. Notwendig ist jedenfalls die Anbringung

eines Kontrollmanometers. Besondere Schwierigkeiten macht derzeit die Beschaffung von Glycerin und geeigneten Dichtungsmitteln.

Die Entlastung der Maschine nach dem Bruch muß durch eine sichere Bauart gewährleistet werden, es gibt einzelne Konstruktionen mit Hebelgewicht (System Briefwaage in stehender und liegender Bauart),

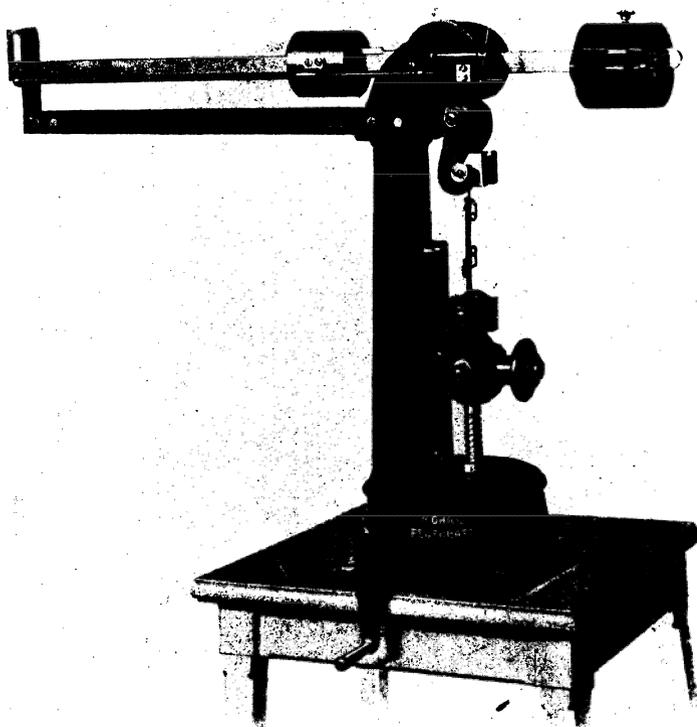


Abb. 4.

die infolge der wenigen Teile, sowohl sehr bequem und einfach, als auch billig sind und sich darum sehr gut eingeführt haben, bei denen aber auf besonders sorgfältige Ausführung der Sperrklinken geachtet werden muß, damit der Hebel auch bei plötzlichem Bruch der Proben sicher aufgefangen wird.

Besonders hingewiesen sei darauf, daß bei diesen Maschinen der durch die Klinke aufgefangene Gewichtshebel nach jedem Versuch

in die Nullstellung zurückgeführt werden muß, eine Arbeit, die bei Massenprüfungen störend und zeitraubend ist. Das Hebelgewicht erreicht schon bei verhältnismäßig kleiner Maschine (2000—3000 kg) eine solche Größe, daß die mit seiner Rückführung verbundene Arbeitsleistung

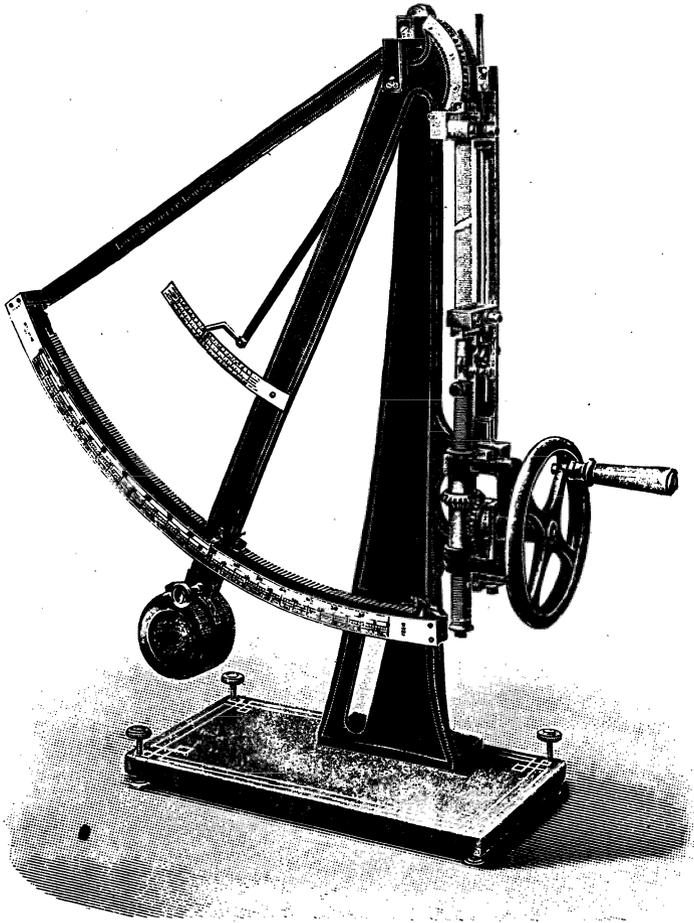


Abb. 5.

recht beträchtlich ist. Es muß darum, wenn nicht sehr kleine Maschinen in Betracht kommen, für automatische Rückführung gesorgt sein.

Die Abb. 4 zeigt eine Zerreißmaschine der Firma Mohr & Federhaff in Mannheim mit Laufgewichtswage und Handantrieb für Proben bis 250 kg, sie ist geeignet für die Untersuchung von flachen oder runden Stäben, sowie Drähten, Bändern u. dgl., also Proben von geringem Durchmesser, sie arbeitet bequem und zuverlässig.

Die Abb. 5 stellt eine Maschine der Firma Louis Schopper in Leipzig dar, verwendbar wie die vorige, für Proben geringen Durchmessers. Diese Bauart ist in der Praxis viel bewährt, so arbeitet das K. M. A. mit einer ganzen Reihe solcher Maschinen, insbesondere in der Abteilung für Papier- und Faserstoffuntersuchungen.

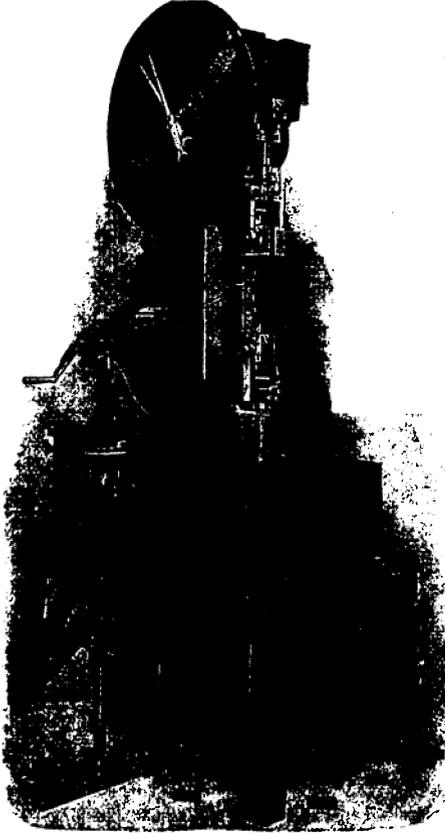


Abb. 6.



Abb. 7.

Maschinen ähnlichen Prinzips in stehender wie liegender Bauart werden von der Firma v. Tarnogrocky in Essen (Abb. 6) hergestellt. Diese haben sich besonders in liegender Form für Draht- und Seilprüfungen vielfach eingeführt.

Die Abb. 7 zeigt die Anordnung einer Zerreißmaschine mit Handantrieb und hydraulischer Meßdose von der Düsseldorfer Maschinenbau-A.-G., vormals Losenhausen in Düsseldorf-Grafenberg. Gleiche Maschinen werden auch von anderen Firmen gebaut. Die Abbildung ist speziell gewählt, um die Einfachheit der Meßdosenmaschinen zu zeigen.

In der Abb. 8 ist eine Maschine der gleichen Firma mit Laufgewichts-Feinmeßkraftanzeige, direktem elektrischen Antrieb, Dehnungsmesser, selbsttätigem Schreibapparat und Universalspannköpfen für größere Kräfte wiedergegeben, die für einen Biegungsversuch eingestellt ist.

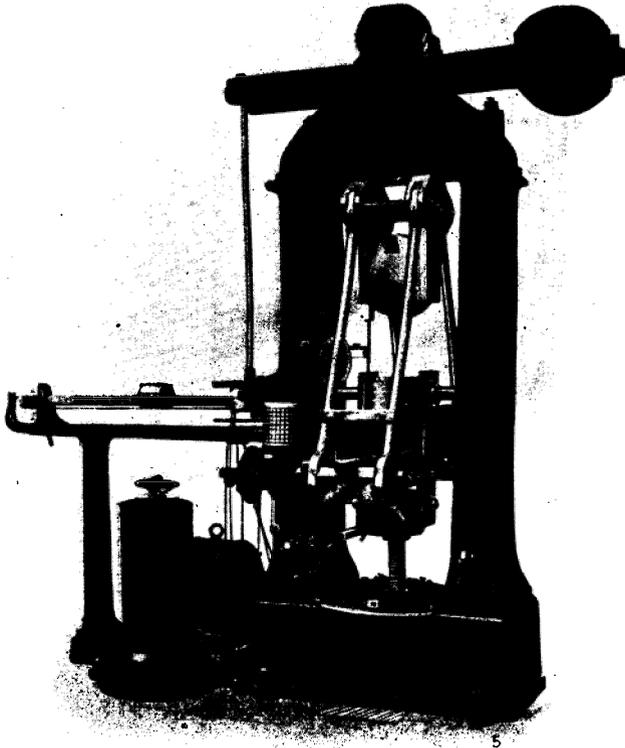


Abb. 8.

Abb. 9 zeigt eine 10 000-kg-Zerreißmaschine mit Laufgewicht und Handantrieb von der Firma Mohr & Federhaff, eine Ausführung, die sich in ihrer Einfachheit für die allgemeinen Betriebsuntersuchungen sehr bewährt hat.

Zu den letzten Abbildungen sei erwähnt, daß diese Maschinen die moderne Bauart darstellen, sie lassen sich durch Beschaffung von Spezialköpfen, Seilschlaufen u. dgl. recht vielseitig verwenden und gestatten sogar den Einbau von Querhäuptern zur Ausführung von Druck- und Biegeversuchen, doch sei dazu bemerkt, daß die Kraft-

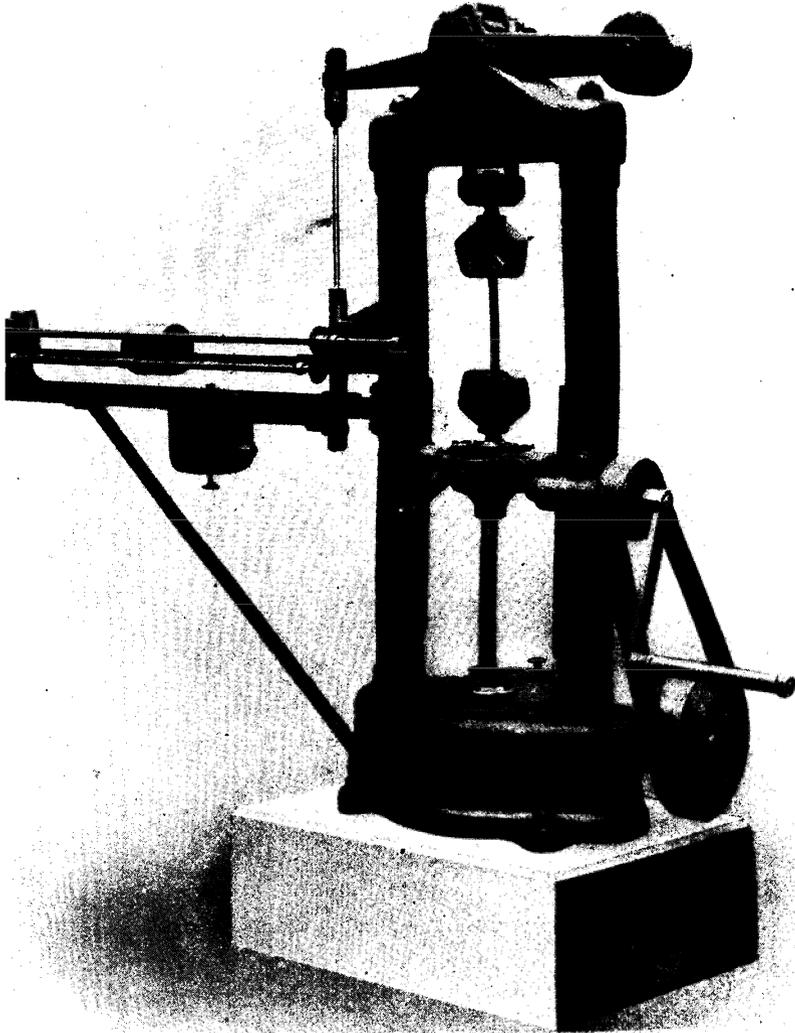


Abb. 9.

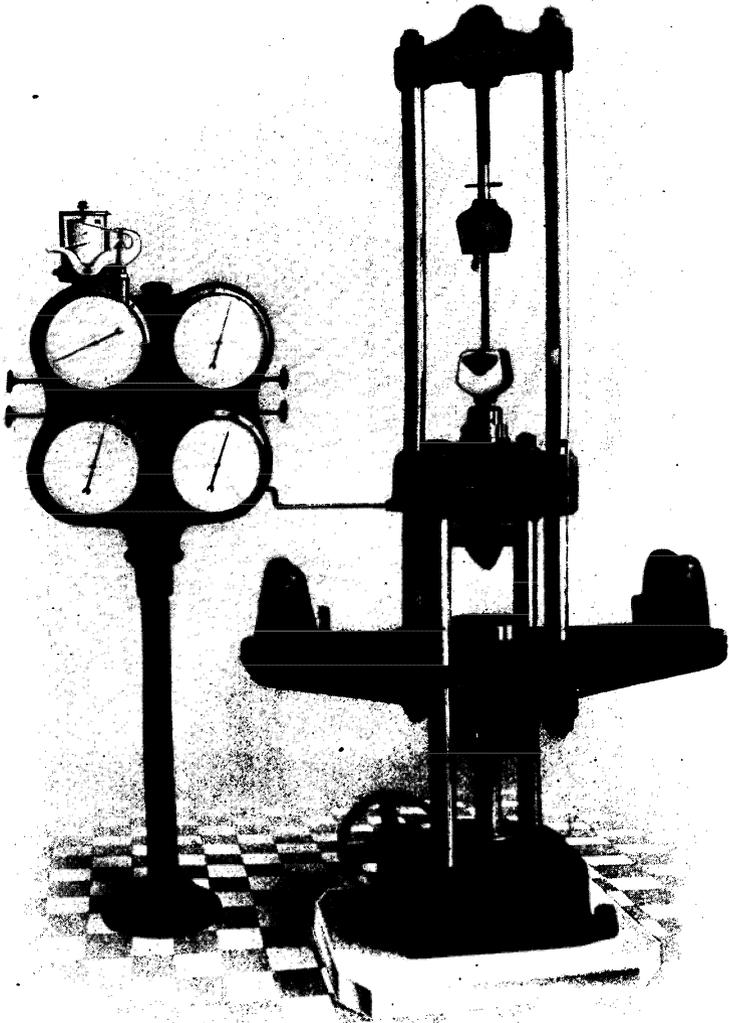


Abb. 10.

leistung einer normalen Zerreißmaschine meist nur ausreicht für Druckuntersuchungen an kleinen Probestücken. Für Fertigfabrikate von Druckisolatoren kommen gewöhnlich höhere Anforderungen vor, so daß da für eine besondere Presse geeignet erscheint. Der jeweilige Umbau ist außerdem recht zeitraubend, der freie Raum zwischen den Zugstangen, also der Durchmesser der Proben, beschränkt.

Eine Universalmaschine von der Firma Mohr & Federhaff ist in Abb. 10 wiedergegeben. Diese Konstruktion vereinigt in sich eine Zerrei-, eine Druck- und eine Biegemaschine. Der Antrieb kann sowohl motorisch wie hydraulisch geschehen. Die Kraftanzeige erfolgt durch Meßdose, deren Zeigerinstrument mit einem Schaubildzeichner verbunden ist.

Diese Maschine ist, hydraulischer Antrieb vorausgesetzt, geradezu das Ideal der Materialprüfmaschinen für ein Fabriklaboratorium, wenn nicht Einzelmaschinen da für beschafft werden können oder solche für höheren Druck aufgestellt werden müssen.

Der Schaubildzeichner ermöglicht eine ganz besonders bequeme und sichere Verfolgung der Versuchsvorgnge, die Vergleichung der aufgestellten Kurven gibt ein weitaus bersichtlicheres Bild, als es Zahlentafeln je vermögen. Die Aufnahme der Dehnungswerte mit Hilfe der weiter vorn erwähnten parallel zur Probe angebrachten Mestbe wird zwar hierdurch nicht überflüssig, die Aufnahmen werden aber durch die Aufzeichnung anschaulich ergänzt.

Abb. 11 bringt keine neue Maschinenart, sie ist gewählt, um einmal die Kontrolle der Maschine auf ihre Genauigkeit, die in bestimmten Zeitabschnitten vorgenommen werden muß, zu erklären, andererseits soll damit gleich die in der Folge der Abhandlungen erwähnte Feinmessung mit Spiegelapparat geschildert werden.

In die Maschine eingebaut ist ein sog. Kontrollstab, es sind dies Stahlstäbe oder für Druckmaschinen Stahlzylinder, deren Dehnungseigenschaften durch Eichung in staatlichen Eichanstalten festgestellt sind. Es werden stufenweise mit der Maschine Lasten eingestellt, die Veränderung des Mekrpers wird mit Hilfe des in Abb. 12a und b dargestellten Martensschen Spiegelapparates mit Fernrohrablesung auf $\frac{1}{10\,000}$ mm genau abgelesen, und danach wird umgekehrt aus den bekannten Vernderungswerten des Meßstabes das Meßinstrument der Maschine geeicht.

Das Prinzip des Spiegelapparates beruht auf der Übertragung der geradlinigen Bewegung in die Drehbewegung eines Spiegels, die mit Hilfe eines Fernrohres auf einer, auf dem gleichen Bock befestigten Skala abgelesen wird. Es erfolgen gleichzeitig zwei Ablesungen für die auf beiden Seiten des Probestabes angebrachten Spiegel.

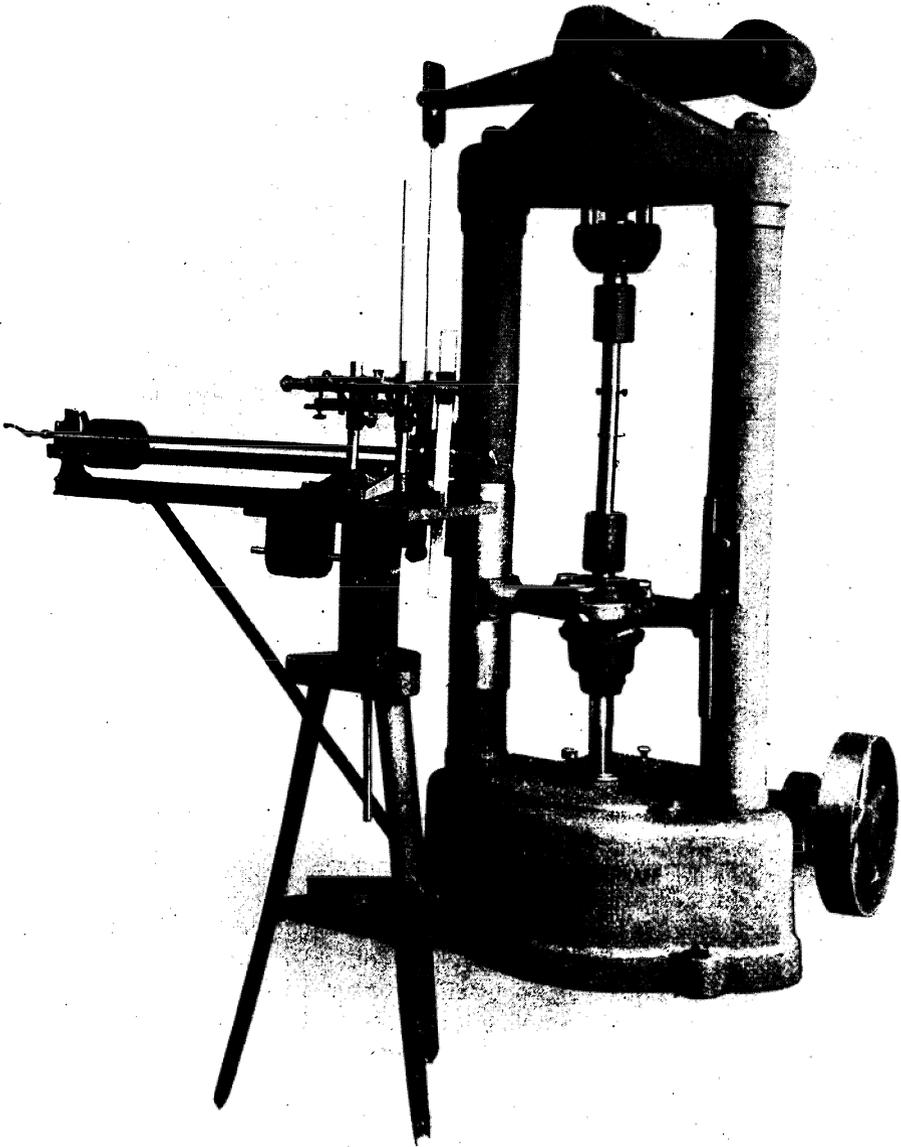


Abb. 11.

Die Konstruktion des Spiegelapparates selbst ist aus der Abb. 12 a genau zu erkennen. Der Stahlkörper (1) ist mit einer seiner Schneiden (2) in eine Nute der Meßfeder (3) eingelegt und stützt sich mit der anderen Schneide gegen den Probekörper, an den er mittels der über die Meßfeder gesetzten Klemme (4) gedrückt wird. Die Meßfeder stützt sich ebenfalls mit einer Schneide (5) gegen den Probekörper, und die Schneiden (2) und (5) grenzen am Probekörper die Meßlänge ab. Die verlängerte Achse des Schneidenkörpers (1) trägt den Spiegel (6), welcher bei einer Längenänderung des Probekörpers eine Drehung ausführt, deren Größe unter Berücksichtigung der genau gemessenen Schneidenhöhe mittels eines Fernrohres an einem in bestimmter Entfernung vom Spiegel aufgestellten Maßstab gemessen wird. Der Spiegel ist zwecks scharfer Einstellung der Anfangslage in lotrechter und waagrechter Richtung am Zapfen drehbar.

Bei der Drehung des Spiegels bzw. des Stahlprismas um den Winkel (α) bezüglich seiner Längsachse wird der Lichtstrahl um den doppelten Winkel (2α) abgelenkt.

Bezeichnet:

A den Abstand des Spiegels von der Skala.

R den Schneidenabstand des Stahlprismas,

λ die Verlängerung der Meßlänge,

a die Ablesung an der Skala, die der Drehung α entspricht, so bestehen folgende Beziehungen:

$$\lambda = \infty R \alpha; \frac{a}{A} = \text{tg } 2\alpha = \infty 2\alpha;$$

$$\lambda = a \frac{R}{2A};$$

$$A = \frac{R}{2} \cdot \frac{a}{\lambda}.$$

Das heißt bei Vernachlässigung von Größen zweiter Ordnung und unter Annahme eines Übersetzungsverhältnisses von 500 : 1 ist der Abstand A gleich der Länge $R \cdot 250$. Die Skala ist in Millimeter geteilt, und da man leicht Zehntelmillimeter mit Hilfe des Fadenkreuzes im Fernrohr schätzen kann, so entspricht eine Ablesungseinheit einem Betrage von $\frac{1}{5000}$ mm. Addiert man die mit zwei Apparaten abgelesenen Werte, so erhält man einen Betrag von $\frac{1}{10000}$ mm für die Einheit dieses doppelten Mittelwertes.

In vorstehendem ist der Spiegelapparat beschrieben, wie er von der Firma Mohr & Federhaff nach den Martensschen Angaben gebaut wird.

Die Anwendung des Spiegelapparates ist nicht ohne weiteres durchführbar, sie erfordert schon besonders geschultes Personal. Für den

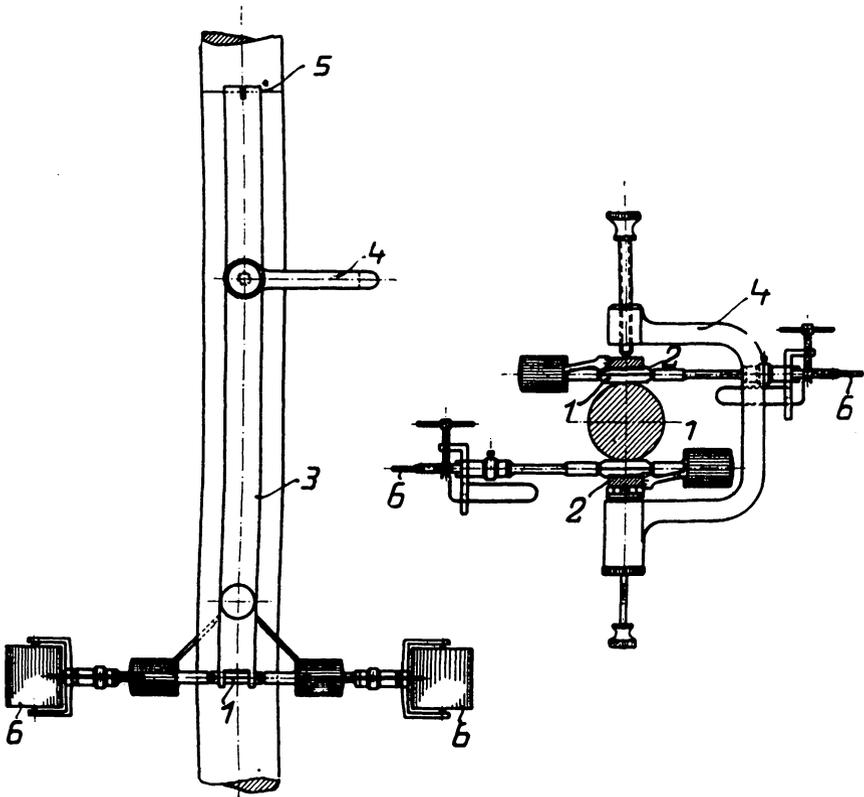


Abb. 12 a.

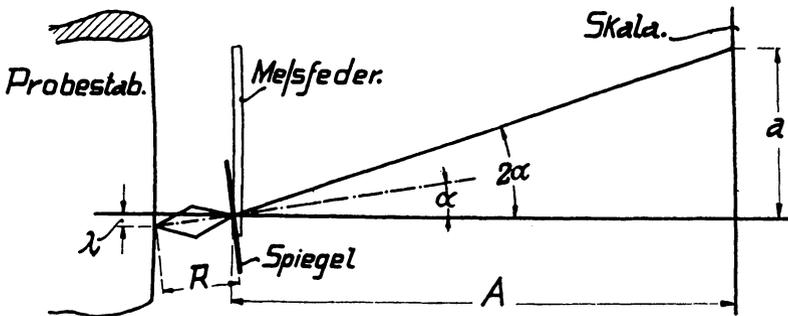


Abb. 12 b.

Praktiker wird sein Gebrauch kaum notwendig sein, die beschriebene Kontrolle der Maschinen wird zumeist auch durch Beamte der staatlichen Anstalten vorgenommen werden, immerhin gehörte die Beschreibung zur Vollständigkeit des Buches, zumal gewisse Messungen,

wie die weiter hinten behandelte Feststellung des Ausdehnungskoeffizienten, mit dem Spiegelapparat durchzuführen sind.

Eine einfachere Art der Maschinenkontrolle, wie sie im praktischen Betriebe meist genügen wird, ist mit direkter Gewichtsbelastung auszuführen. Für diese werden auch von den Maschinenbaufirmen auf Wunsch geeignete Vorrichtungen mitgeliefert.

Bestimmung der Druckfestigkeit.

Wie die Zugfestigkeit nach dem zu Anfang des unter dem vorigen Absatz Gesagten bei Isolationsmaterialien nur in verhältnismäßig wenigen Fällen interessiert, so kommt auch die Druckfestigkeit nur bei wenigen dieser Baustoffe zur Untersuchung, doch liegen einige sehr wichtige Gebiete, wie die Isolation der Fernleitungen der Überlandzentralen, die Abspannung und Durchführung ihrer Leitungen, die Isolation und Abspannung der Antennentürme für die Funkentechnik und anderes vor, die die ausführliche Behandlung dieses Kapitels fordern. Auch für den Kleinbau werden die Vergleichsdruckversuche von Nutzen sein.

Für den **Druckversuch** werden meist würfelförmige oder zylindrische Stücke der zu untersuchenden Stoffe derart zwischen die Druckflächen einer Presse eingeführt, daß die Kraft P in der Richtung des Pfeiles genau in der Mittelachse der Presse und des Probekörpers wirken kann (Abb. 13). Die Drucklast P verteilt sich gleichmäßig auf die ganze Fläche des Querschnittes. Der Druck auf die Flächeneinheit ergibt sich wieder aus der Formel:

$$\sigma_D = \frac{P}{f} = \frac{\text{kg}}{\text{qcm}} .$$

Für Druckwerte ist es üblich, im Gegensatz zu den Zugwerten Minuszeichen zu verwenden, um Verwechslungen zu vermeiden.

Die Formveränderung macht sich bei dem Druck zunächst in einer Höhenverminderung von h_1 in h_2 bemerkbar, gleichzeitig tritt eine Querschnittsvergrößerung von d_1 in d_2 , wie sie in der Skizze angedeutet ist, ein. Diese Veränderung ist in der Mitte des Körpers am größten, während sie den kleinsten Wert an den Druckflächen hat. Dieses erklärt sich mit der zwischen den Flächen des Probestückes und den Druckflächen der Maschine bestehenden Reibung.

Als **Versuchsstücke** werden hier, je nach der Fabrikationsart des zu untersuchenden Materials, entweder Würfel oder Zylinder von 3 cm Seitenlänge bzw. Höhe und Durchmesser benutzt. Dieses Verhältnis,

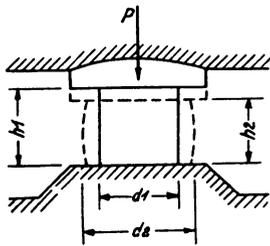


Abb. 13.

Höhe = Durchmesser, ist gewählt, um Knickbeanspruchungen auszuscheiden.

Die Zahl der notwendigen Proben richtet sich nach der Art des Materials, Rundhartgummi wird beispielsweise aus Düsen gepreßt, Hartgummiplatten werden gewalzt, es wären also davon beide Probeformen zu untersuchen. Für Pertinax kämen sowohl Zylinder als auch Würfel, letztere sogar für beide Richtungen, längs und quer zur Schichtung, in Ansatz, ähnlich ist es bei Fiber, Turbonit, Peralit und anderen Materialien. Die Zahl beträgt also im Höchsthalle, drei Parallelproben in Ansatz gebracht,

3 mal 5 Zylinder,
 3 mal 5 Würfel \perp ,
 3 mal 5 Würfel \parallel beansprucht,

wenn wieder, wie beim Zugversuch, durch 5 Temperaturstufen gearbeitet werden soll, was jedoch beim Druck nicht immer erforderlich ist. Die Versuche bei verschiedenen Temperaturen sind derart vorzunehmen, daß die Probekörper 12 Stunden vor dem Druck in der gewünschten Temperatur gehalten und dann schnell in die Maschine eingebaut werden. Diese Art der Prüfung ist ausreichend, da der Einbau schnell geht, so daß Wärmezu- oder -abfuhr, wenn es sich nicht gerade um sehr kleine Körper handelt, nicht zu befürchten ist.

Der Einbau der Proben in die Maschine ist so sorgfältig wie möglich vorzunehmen, die gut ebenen und parallelen Endflächen der Probe werden sauber gereinigt in die Mitte der Druckflächen eingebaut, der untere oder obere Druckteller der Maschine liegt in einem Kugellager und ist nach der Wasserwage auszurichten, nur so kann erreicht werden, daß der Druck ein wirklich gleichmäßiger auf die ganze Fläche ist und die Druckrichtung durch die Mittelachse des Körpers läuft, bei weniger sorgfältigem Einbau werden einseitige, schiefe Brüche und Fehlschläge zeitigt.

Zwischenlagen zwischen Druckkörper und Druckfläche der Maschine sind möglichst gar nicht anzuwenden, handelt es sich jedoch um sehr harte Proben, wie Schiefer, Marmor, Glas od. dgl., und fürchtet man durch die vom Schleifen herrührende Rillung der Endflächen die Maschinenflächen oder die Einsatzstücke zu beschädigen, so benutzt man eine Lage dünnen Papiers; weiche Einlagen zu verwenden ist falsch, je weicher diese, desto falscher wird der Meßwert.

Bei Blei oder ölgetränktem Fließpapier u. dgl. tritt eine eigenartige Wirkung ein. Beim ersten Druckanfang tritt sofort, stark ölgetränktes Löschpapier in mehreren Lagen angenommen, aus den Randzonen das Öl aus, es fließt nach außen ab, dadurch wird die entölte Zone gedichtet, die Ölteile aus den mehr innenliegenden Zonen versuchen zu folgen, finden aber die äußeren Randteile des Papiers

ziemlich trockengepreßt und hart und können nun nicht mehr durchtreten. Die vorher weiche und parallele Zwischenlage hat also eine etwas andere Form angenommen, der Querschnitt zeigt nicht mehr ein Rechteck mit parallelen Flächen, sondern wird, übertrieben dargestellt, linsenförmig, also von der Mitte nach außen dünner. Das innenstehende Öl bildet jetzt gewissermaßen ein Druckzentrum. Der spezifische Druck auf die Flächeneinheit ist jetzt nicht mehr auf der ganzen Fläche der gleiche, es wird also der Körper nur noch in der Mitte beansprucht und in der Folge bei Drucksteigerung durch den Mitteldruck gesprengt. Bei Blei- u. dgl. Einlagen tritt dieselbe Erscheinung auf. Diese Beobachtungen überraschen zunächst, man neigt meist dazu, anfangs mit weichem Material zu arbeiten; vom Verfasser sind im K. M. A. diesbezügliche ausführliche Versuche gemacht, die zur Verwendung nur dünnster Einlagen führten. Die Erscheinungen machen sich allerdings erst bei größeren Lasten bemerkbar, sind bei diesen aber einwandfrei nachgewiesen.

Beobachtungen beim Druckversuch selbst sind nur wenige zu machen. Der Bruch tritt wieder je nach Art des vorliegenden Materials verschieden auf, spröde Stoffe springen mit hartem Klang nach Auslösung der ersten Spannungen in wenige große Stücke oder, falls der Körper spannungsfrei war, mit scharfem Knall in Staub, so daß besondere Bruchformen selten beobachtet werden können; weiche Materialien zeigen starke Verkürzungen und große Durchmesseränderungen, mittelharte Stoffe bröckeln in der Zone der Durchmesservergrößerung kranzförmig aus, während nach oben und unten kegelige oder pyramidenförmige Reste stehen bleiben. Die Bruchfiguren sind bei diesen Stoffen am besten ausgeprägt. Der Körper gilt als zerstört, wenn während des Bruches das erste Geräusch auftritt oder seitliche Ausweichungen bemerkbar werden. Der Verlauf der Risse ist möglichst durch Skizze für spätere Vergleiche festzulegen, auch die Papiereinlagen gestatten bei größerem Drucke oft weitere Folgerungen.

Die Auffindung der Risse ist vielfach selbst mit der Lupe schwierig, der Verfasser hat solche Flächen mit Anilinfarbe behandelt, nach dem Abwischen der Druckflächen sind die vollgesaugten Risse deutlich erkennbar. Nach dem Zerschlagen zeigen sich die Risse in ihrer ganzen Tiefe gefärbt. Das Tuschieren muß aber recht schnell geschehen, da die Risse sonst schon Luft aufgenommen haben und dann die Farbe nicht mehr so begierig ansaugen.

Eingesprungene Körper gelten, wie erwähnt, nach dem ersten Risse als zerstört. Ihre Bruchflächen bzw. Sprünge würden sofort Wasser aufnehmen, die Isolationsoberflächenlänge ist damit sehr verkürzt. Nun tragen aber solche Stücke trotz der Sprünge, oder richtiger, gerade wegen der Sprünge nach Auslösung innerer Spannungen noch größere

Lasten, und ist es darum interessant, den P -Wert bei ihrer völligen mechanischen Zerstörung ebenfalls kennenzulernen und die Belastung bis dahin noch fortzusetzen.

Gut gearbeitete bzw. gekühlte oder gebrannte Körper — es kommen wohl für größere Lasten nur Glas oder keramische Erzeugnisse in Frage — zeigen keinerlei Rißbildung, sondern werden bei Eintritt des Bruches vollständig zerstört.

Die Bruchbilder, wie sie hauptsächlich zu beobachten sind, zeigt die Abb. 14. In a ist ein würfelförmiger Körper aus mittelhartem, homogenem Material dargestellt, die Doppelpyramidenbildung ist er-

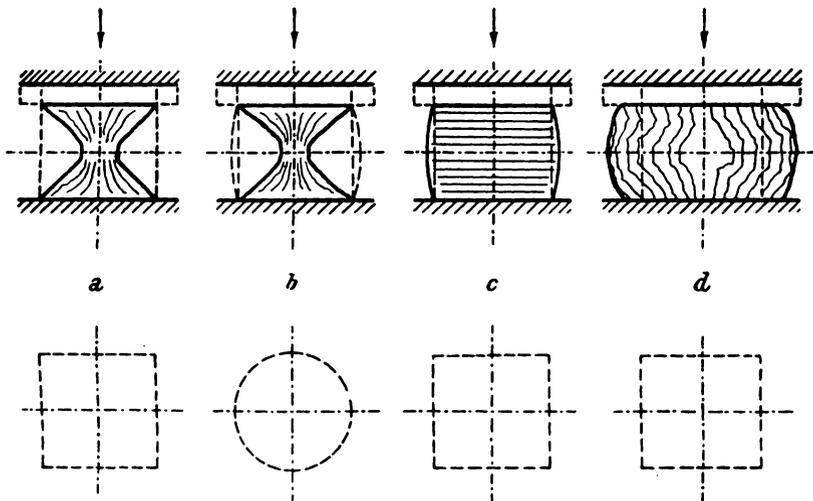


Abb. 14.

kennbar, ebenso wie bei dem Zylinder aus gleichem Material in b die Doppelpyramidenbildung. Die punktierte Linie zeigt die nach der Mitte zu auftretende Verdickung des Körpers an, der durch die Punktierung begrenzte Teil des Körpers bis zum Doppelkegel fällt gewöhnlich in Staub ab¹⁾. In c ist ein Würfel aus geschichtetem Material gezeigt, der \perp zur Schichtungsrichtung, in d ein solcher, der \parallel mit der Schichtungsrichtung beansprucht ist. In letzterem Falle tritt gewöhnlich ein Ausweichen des Körpers nach der Seite und eine Knickung der zusammengeklebten Einzelschichten ein. In der Abb. 14 sind die Ursprungsformen der Proben punktiert gezeichnet, die Bruchformen ausgezogen.

Die Bruchfiguren sind zweckmäßig auf dem Prüfschein durch Skizze oder Lichtbild festzuhalten.

¹⁾ Nähere Erklärungen hierüber s. Martens I.

Bei einigen sehr weichen Stoffen wird sich ein einwandfreier Bruchwert nicht feststellen lassen infolge sehr starker Quetschung und Ausweichung. In solchem Falle ist es zweckmäßig, den Wert der Zusammendrückung bei einzelnen Laststufen als Norm anzunehmen, zumal auch der Wert d_2 schlecht meßbar ist. Ein Hantieren an der unter der Last stehenden Presse ist gefährlich. Man verfährt darum folgendermaßen: Es wird am oberen wie unteren Druckstück parallel zur Mittelachse des Probekörpers je ein Papiermaßstab befestigt, die Enden derselben

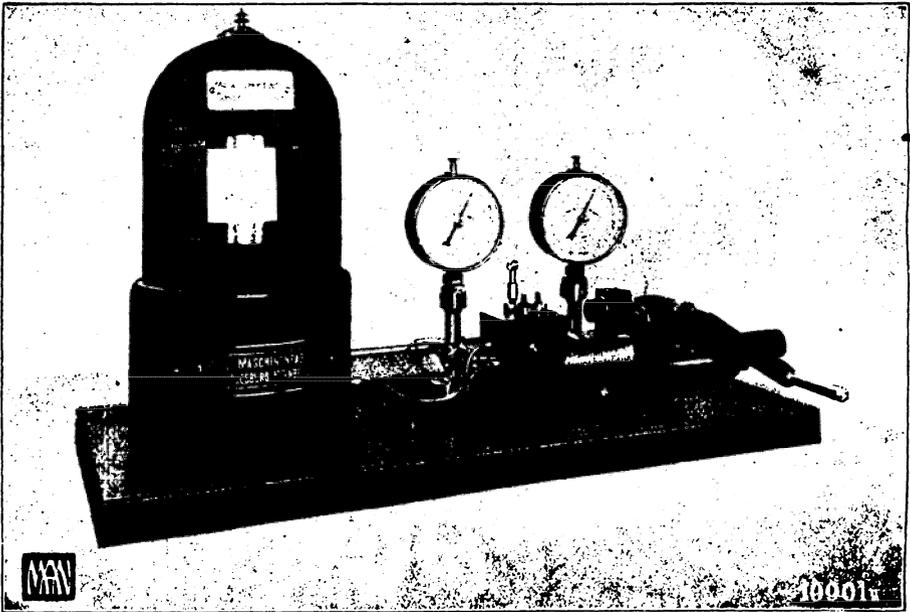


Abb. 15.

oder deren Skalen müssen sich überlappen, die Werte für die Höhenverminderung lassen sich so leicht bei den verschiedenen Laststufen ablesen.

Ein anderer Weg ist der, die Probe nach verschiedenen Laststufen aus der Presse zu nehmen und die bleibende Höhenverminderung nach jeder Laststufe gegen den Anfangswert festzustellen.

Gewisse Isolatorenkonstruktionen können nicht nackt, sondern nur mit der Eisenkappe oder Fassung geprüft werden, es lassen sich dann Risse und andere Beschädigungen nicht mehr durch Augenschein feststellen. In solchen Fällen ist der Druck- oder Zugprüfung unbedingt eine Spannungsbelastung, wie weiter unten beschrieben, anzuschließen.

Bruchwerte der Praxis für $-\sigma_B$ sind hier nicht angegeben, sie sind, soweit bekannt, im letzten Kapitel bei den einzelnen Materialien direkt vermerkt.

Den Untersuchungen auf Druckfestigkeit wäre sinngemäß die Untersuchung auf **Knickfestigkeit** anzuschließen. Im vorigen ist, wie erwähnt, die Körperhöhe stets gleich dem Durchmesser gewählt, um Knickbeanspruchungen möglichst auszuschneiden und reine Druckbeanspruchung zu erhalten. Die Verwendung von Isolationsmaterialien auf Knickung dürfte jedoch in der Praxis sehr selten vorkommen, darum sei hier nur der Vollständigkeit wegen darauf hingewiesen. Gegebenen-

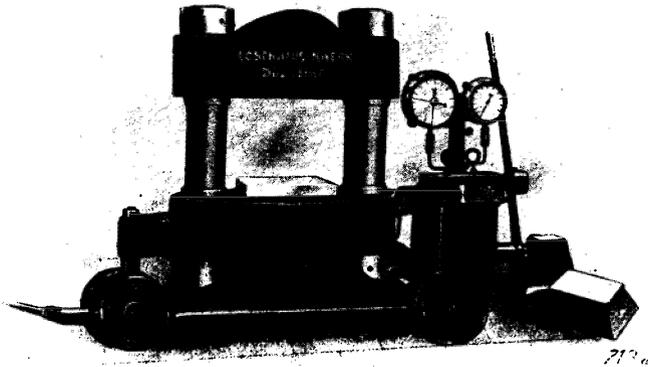


Abb. 16.

falls gelten die vier bekannten Fälle der Einspannungsart und die Eulerschen Formeln.

Als **Maschinen für Druck- und Knickuntersuchungen** können einige der vorbeschriebenen Zerreißmaschinen nach Einbau der Druckvorrichtungen benutzt werden. Bei reinen Materialproben in kleinen Versuchskörpern wird ihre Größe ausreichen, sollen jedoch regelmäßig Druckproben auch an Fertigfabrikaten ausgeführt werden, so lohnt sich dafür die Beschaffung einer stationären oder fahrbaren Druckpresse.

Die Abb. 15 zeigt eine Druckpresse für kleine Druckkörper nach Martens von der M. A. N. in Nürnberg für 50 000 kg Druck mit Kraftmessung durch Meßdose und hydraulischen Antrieb durch Spindelpresse, Abb. 16 eine solche für größere Stücke von der Düsseldorfer Maschinenbau-A.-G. mit Handantrieb und Kraftmessung durch Manometer an der Druckflüssigkeit.

Bestimmung der Biegefestigkeit.

Diese Art der Beanspruchung wird besonders im Kleinbau der Elektrotechnik eine der häufigst vorkommenden sein.

Von der Kommission für Isolierstoffe des V. D. E. sind darum diese Untersuchungen selbst im abgekürzten Prüfungsverfahren vorgeschlagen. Die vom V. D. E. empfohlenen Prüfmethode sind in diesem wie auch in den nächsten Absätzen in besonderer Schriftart wiedergegeben.

Zunächst sei, wie im vorausgegangenen, der Biegeversuch im Prinzip behandelt.

Für die Bestimmung der Biegefestigkeit kommen zwei Arten der Untersuchung zur Betrachtung, wie sie in Abb. 17a und b gezeigt sind. Die für die vorliegenden Versuche gebräuchlichere Form und damit auch die vom V. D. E. in Gemeinschaft mit dem K. M. A. angewendete ist die in Abb. 17b dargestellte. Der frei über zwei Auflagern

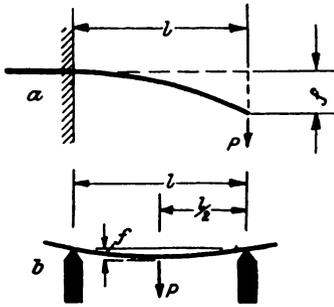


Abb. 17.

ruhende Stab wird in der Mitte durch die Kraft P zur Durchbiegung gebracht. Zu beobachten ist die Größe der Kraft P und die der Durchbiegung δ bis zum Bruch. Es gilt für den vorliegenden Beobachtungsfall, ein Träger konstanten Querschnittes vorausgesetzt, für die Berechnung der Biegefestigkeit die Formel

$$\frac{P \cdot l}{4} = W \cdot \sigma,$$

worin W das Widerstandsmoment des Querschnittes ist. Zumeist werden rechteckige Querschnitte zur Verfügung stehen, also

$$\frac{P \cdot l}{4} = \frac{b h^2}{6} \cdot \sigma$$

oder

$$\sigma = \frac{P \cdot l \cdot 6}{4 b h^2} = 1,5 \frac{P \cdot l}{b h^2}.$$

Für den seltneren Fall der Untersuchung von Rundstäben

$$\frac{P \cdot l}{4} = \frac{\pi d^3}{32} \cdot \sigma$$

$$\frac{P \cdot l}{4} = \frac{\pi r^3}{4} \cdot \sigma$$

$$\frac{P \cdot l}{4} = 0,7854 r^3 \cdot \sigma$$

$$\sigma = \frac{P \cdot l}{4 \cdot 0,7854 r^3} = 0,318 \frac{P \cdot l}{r^3}.$$

Die Werte für σ und δ sind die Feststellungswerte für diesen Versuch.

Die Ausführung der Versuchsproben ist durch die Arbeiten des V. D. E. festgelegt, verwendet wird der Normalstab von $120 \times 15 \times 10$ mm der auch zu weiteren Proben dient. Es seien darum zunächst die Vorschriften des V. D. E. wiederholt:

- α) 3 Versuche mit dem Material im Anlieferungszustand,
- β) 3 Versuche nach 30 tägiger Lagerung bei Zimmertemperatur in Petroleum.

Versuchsausführung nach Abb. 18:

Die Kraft P greift in der Mitte zwischen den beiden Auflagern mit einer Druckfinne an, deren Schneidwinkel 45° , deren Abrundung $r = 2,5$ mm beträgt. Die Kanten der Auflager sind bei ϱ nach $r = 1$ mm abzurunden, Stützweite = 100 mm, für stoßfreie Belastung und einwandfreie Kraftmessung ist Sorge zu tragen. Ferner ist darauf zu achten, daß die Probe in den Widerlagern satt aufliegt.

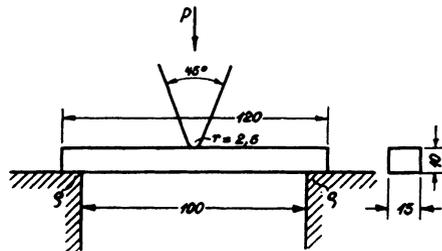


Abb. 18.

Die Probe ist mit folgenden Laststufen je 2 Minuten lang zu beanspruchen.

$P = 15,8$ kg	$B = 158$ kg/qcm	$G = 1$	} Vergleichszahlen.
$P = 31,6$ „	$B = 316$ „	$G = 2$	
$P = 47,4$ „	$B = 474$ „	$G = 3$	
$P = 63,2$ „	$B = 632$ „	$G = 4$	
$P = 79,0$ „	$B = 790$ „	$G = 5$	

Die Vergleichszahlen G gelten als erreicht, wenn der Stab die Belastung P 2 Minuten getragen hat, oder wenn bei stark biegsamen Stoffen die Gesamtdurchbiegung in der Mitte kleiner als 5 mm bleibt.

Für die Feststellung der Gesamtdurchbiegung ist die Ablesung am Millimetermaßstab hinreichend.

Die Probenausführung ist aus der Skizze ersichtlich, die Maße, wie angegeben, $120 \times 15 \times 10$ mm.

Die Probenzahl ist hierfür gering, es werden benötigt für

- α) 3 Normalstäbe,
- β) 3 Normalstäbe.

Sofern Material mit Faserrichtung in Frage kommt, ist auch Prüfung über beide Achsen nötig, die Probenzahl also zu verdoppeln.

Die Einspannung der Proben ist aus der Abb. 18 ersichtlich, die Proben liegen auf zwei Auflagern, die Kraft P wirkt auf deren Mitte, also der Fall b der Abb. 17.

Die Abstufung für die verschiedenen Temperaturen ist vom V. D. E. für diese Untersuchungsart nicht vorgeschrieben, weil weiter unten (Wärmebeständigkeit) besondere Untersuchungen der Materialien auf Verhalten unter Temperatursteigerung bei gleichbleibender Last vorgesehen sind.

An **Beobachtungen beim Versuch** sind die P - und δ -Werte nötig, die σ -Werte sind zu errechnen. Als Prüfergebnis ist die dem Rechnungswert am nächsten liegende Gütezahl vorstehender Reihe einzutragen.

Die **Prüfeinrichtung** für den Versuch ist einfach und leicht in laboratoriumsmäßiger Weise herzustellen, es ist nur nötig, die in Abb. 18 gegebenen Maße einzuhalten, das übrige kann aus Holz oder Eisen beliebig zusammengebaut werden. Beispielsweise wird für diesen Versuch im K. M. A. eine Vorrichtung benutzt, die im Prinzip etwa der Abb. 19 entspricht. X ist auch hier wieder das Versuchsstück, dieses findet Auflage auf einem auf 100 mm Länge und 30 mm Breite geschlitzten U-Eisen, F die nach Vorschrift abgerundete Druckfinne, die wieder an dem oberen Balken eines rechteckigen Eisengehänges befestigt ist, dessen unteres Querhaupt die Last P trägt. Um beim Bruch des Körpers den Schlag zu mildern, sind die Puffer p_1 und p_2 angebracht. Die Ablesung der Durchbiegung geschieht an einem Millimetermaßstab, der auf die Probe senkrecht aufgeklebt wird. Der Kontrollstrich dafür kann an dem Eisen als Zeiger gleichfalls durch Klebung angebracht werden.

Der Verfasser hat die Durchbiegungsversuche stets in größerem Umfange ausgeführt. Die in obigem vorgeschriebene Methode der Untersuchung nur bei Raumtemperatur erschien ihm nicht ausreichend, selbst die Hinzuziehung der Werte aus der weiter unten folgenden Bestimmung der Wärmebeständigkeit gibt bei der sehr großen Verschiedenheit der Materialien keine reinen Vergleichsbilder. Es wurden darum diese Arbeiten sogleich mit Laststeigerung bis zum Bruch unter Beobachtung der Durchbiegung bei den in den ersten Abschnitten angewandten Temperaturstufen vorgenommen.

Die **Herstellung der Proben** bleibt die gleiche wie vorstehend.

Die **Zahl der Proben** ergibt sich aus der fünffachen Temperaturreihe wie folgt:

je 2 Stäbe	\perp und		zur Faser	bei	-20°	
,, 2	,, \perp	,,	,,	,,	,,	0°
,, 3	,, \perp	,,	,,	,,	,,	$+20^\circ$
,, 2	,, \perp	,,	,,	,,	,,	$+40^\circ$
,, 2	,, \perp	,,	,,	,,	,,	$+60^\circ$
11 \times 2 = 22 Proben						im Anlieferungszustand (α)
+ 22 „						nach Lagerung in Petroleum (β)
44 Proben.						

Die **Einspannung** geschieht je nach der zur Verfügung stehenden Maschinenart verschieden.

Für eine stehende Presse oder für den Druckversuch umgebaute Zerreißmaschine eignet sich eine Vorrichtung nach Abb. 18, die Druck-

finne wird an den oberen Druckstempel angesetzt. Die Erwärmung bzw. Kühllhaltung geschieht durch einen geeigneten Umbau mit Gasluftheizung bzw. mit der Kältemischung.

Ebenso leicht ist die Prüfung in einer stehenden Zerreißmaschine mit Hilfe einer kleinen Vorrichtung, wie sie bei der Maschinenbeschreibung für Biegeversuche schon erwähnt ist. Das Querhaupt mit der Probe wird mit dem Zughaken oben, die Druckfinne mit der Spindel unten verbunden. Die Vorrichtung ist einfach und kann von jedem Werkzeugmacher hergestellt werden; auf ähnliche Weise kann auch eine liegende Maschine verwendet werden, doch ist dabei zu beobachten, daß die Probe keine Durchbiegung nach unten erfahren darf.

Heizung bzw. Kühlung erfolgen wie weiter vorn beschrieben.

Die Beobachtung beim Versuch geschieht durch eine Glimmerscheibe, die Durchbiegung der Versuchsstäbe ist an einem Millimetermaßstab abzulesen, die Feststellung der Vergleichszahlen, wie vom Verband vorgeschrieben, geschieht auch hierbei, der Versuch bei Raumtemperatur läßt dies ohne weiteres zu, doch wird die Belastung bei jeder Temperaturstufe bis zum Bruch oder bei

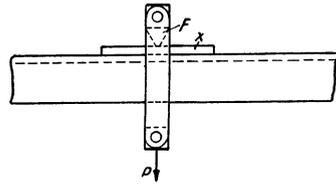
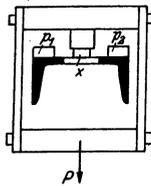


Abb. 19.

den in höheren Temperaturen schon weich werdenden Stoffen bis zum Abrutschen von den Auflagern durchgeführt.

Die P -Stufenzahl ist nicht von vornherein festgelegt, sie ist zweckmäßig von 5 zu 5 kg bei weichen, von 10 zu 10 kg bei härteren Stoffen anzusetzen. Der Wert σ_B ist nach der am Anfang des Absatzes gegebenen Formel zu errechnen.

Bestimmung der Schlagbiegefestigkeit.

Die reine Schlagbiegebeanspruchung wird in der Praxis bei den fertigen Konstruktionen selten auftreten, doch finden sich ähnliche Kraftwirkungen bei oft betätigten Schaltapparaten, Automaten u. dgl.

Diese Art der Untersuchung ist aus dem Maschinenbau übernommen, sie hat sich dort gut bewährt und ist dann auch vom V. D. E. für die hier zu behandelnden Isoliermaterialien vorgeschrieben, der Wortlaut der V. D. E.-Angaben ist weiter unten in besonderer Schriftart wörtlich wiedergegeben.

Im Maschinenbau wird mit der sog. Kerbschlagprobe¹⁾ gearbeitet, die aber als solche für die geringe Festigkeit der Isolier-

¹⁾ Näheres hierüber s. Martens - Heyn, Materialienkunde II, Bd. A., S. 386.

materialien nicht notwendig ist, da es sich um spröde Stoffe handelt, die bei dem geringen Querschnitt beim Anschlag sofort brechen, ohne erst eine Verbiegung zu erleiden. Es werden darum die glatten Stücke, wie sie in den vorigen Abschnitten bei der V. D. E.-Prüfung Verwendung fanden, benutzt, ohne daß ein Einschnitt oder eine Einkerbung erfolgt.

Die Beschreibung der Pendelschlagwerke, wie sie für den vorliegenden Zweck benutzt werden, ist auch in diesem Abschnitt wie in den vorigen zum Schluß gegeben, jetzt sei nur erwähnt, das als Maßstab für die Beurteilung der Güte die zum Durchschlagen der Proben notwendige lebendige Kraft dient, die als „spezifische Schlagarbeit“, stets auf die Flächeneinheit bezogen, angegeben wird.

Die V. D. E.-Vorschriften lauten wie folgt:

- α) Versuche bei Zimmerwärme,
- β) Versuche in Kälte bei -23° (letzterer Versuch nur bei Materialien, die im Freien verwendet werden).

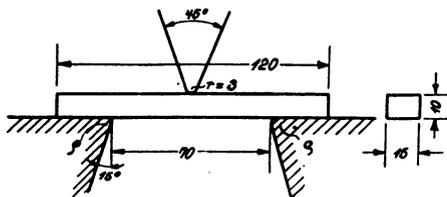


Abb. 20.

Die Schlagbiegeversuche sind mit einem Normalpendelschlagwerk für 150 cm/kg auszuführen.

Die Schlagrinne soll einen Schneidenwinkel von 45° besitzen und ist nach $r = 3$ mm abzurunden. Die Stützweite beträgt 70 mm, die Auflagen müssen gemäß Abb. 20 nach einem Winkel von 15° hinterschnitten sein, die

Auflagekanten nach $r = 3$ mm abgerundet werden, damit die Proben ungehindert durch die Auflager gehen können.

Die Schlagversuche werden ausgeführt:

- α) bei Zimmerwärme;
- β) an Proben, die unmittelbar vor dem Einlegen in das Schlagwerk auf etwa -23° abgekühlt worden sind.

Vergleichszahlen werden zweckmäßigerweise später aufgestellt unter Zugrundelegung der mit dem Normalschlagwerk erhaltenen Versuchswerte.

Die Ausführung der Proben hierfür ist, wie oben gesagt, die gleiche wie für die Biegefestigkeit, also wieder die Maße $120 \times 15 \times 10$ mm.

Die Zahl der Proben beträgt nach den Vorschriften des Verbandes, wieder 3 Parallelversuche vorausgesetzt,

$$2 \times 3 = 6 \text{ Stück.}$$

Der Verfasser hält auch hier wieder die Ausdehnung der Prüfung auf höhere Temperaturgrade für nötig, da die Schaltapparate oft in sehr warmen Räumen, wie beispielsweise in Schiffsanlagen, montiert werden, bei denen die elektrische Zentrale meist im Hauptmaschinenraum oder in dessen unmittelbarer Nähe aufgestellt ist. Dabei ist mit Temperaturen bis zu 80° und darüber zu rechnen, es sei darum die bisher angenommene Temperaturgrenze von 60° hierbei wenigstens um 20° überschritten. Bei der vorher behandelten Biegebeans-

spruchung ist aus dem gleichen Grunde die Temperaturprüfgrenze auf 80° gesetzt. Bei den Abhandlungen über Druck- und Zugfestigkeitsbestimmungen ist nur bis 60° gearbeitet, weil dabei diese Grenze in den meisten Fällen genügen dürfte, doch muß auch da bei besonderen Anforderungen weiter hinaufgegangen werden.

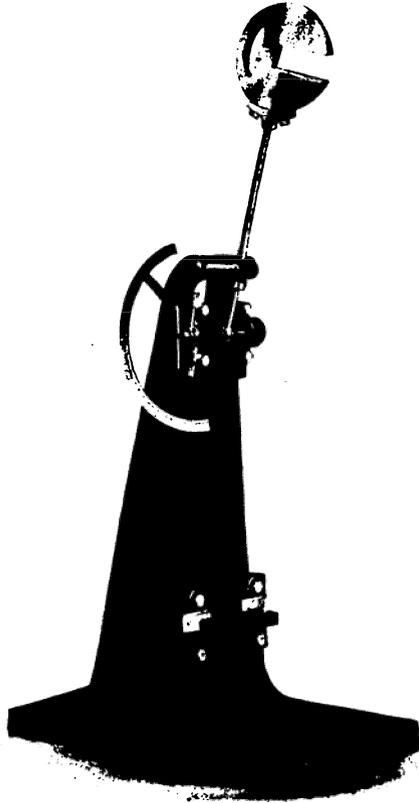


Abb. 21.

Es ergibt sich hiernach eine Probenzahl von

$$3 \times 6 = 18 \perp$$

$$3 \times 6 = 18 \parallel$$

$$3 \times 6 = 18 \text{ bei rundem oder Rohrmaterial}$$

$$54.$$

Das Einspannen der Proben besteht hier nur in einem einfachen Auflegen auf die amboßartigen Auflager der Maschine, eine Befestigung ist nicht notwendig.

Die Beobachtungen beim Versuch erstrecken sich auf die einfache Ableseung des Pendelausschlages durch die Probe hindurch, für die gegebene Gradteilung hat jede Maschine eine Umrechnungstabelle oder Kurve. Der gefundene Wert in cm/kg ist dann, wie unten angegeben, auf die Einheit zu verrechnen.

Zweckmäßig ist hier, wie beim Zugversuch, soweit geeignetes Material zur Verfügung steht, eine Bruchaufnahme zu machen.

Die Pendelschlagwerke sind vom „Deutschen Verband“ wie vom „Internationalen Verband für die Materialprüfungen der Technik“ im Gegensatz zu den bisher behandelten Prüfmaschinen, für die keinerlei Vorschriften bestehen, normalisiert.

Es wurden danach 3 Größen von Pendelhämmern, und zwar für 10, 75 und 250 m/kg Schlagarbeit gebaut, die kleinste Ausführung ist aber für die vorliegenden Arbeiten noch zu groß, und wurde dafür eine kleinere Type für eine Schlagarbeit von 150 cm/kg verlangt und ausgeführt.

Die Abb. 21 zeigt den Hammer für 150 cm/kg der Firma Schopper in Leipzig.

Zwischen dem Doppelbock schwingt, frei in Kugellagern laufend, das Pendel mit dem scheibenförmigen Bärge wicht, der Hammerstiel wird in seiner Ausgangsstellung durch eine Sperrklinke gehalten, er schlägt nach der Auslösung aus der Höhe H_1 nach unten zwischen den Säulen durch und trifft und zertrümmert dabei das auf dem winkelförmigen Amboß liegende Probestück. Die durch den Schlag nicht verbrauchte Arbeit läßt den Hammer über die Probe hinaus durchschwingen bis auf die Höhe H_2 , der Wert dieses überschießenden Ausschlages liegt der Berechnung der verbrauchten Schlagkraft zugrunde.

Die zum Durchschlagen der Probe verbrauchte Arbeit „ P “ errechnet sich nach folgender Formel:

$$P = \frac{G \cdot (H_1 - H_2)}{f} \text{ cm/kg,}$$

worin f der Querschnitt der Proben in qcm, G das Gewicht des Bären ist.

Die tatsächliche Feststellung von P ist an den Schlagwerken sehr bequem durchgeführt; der über die Probe hinausschwingende Hammer nimmt von seiner untersten Stellung, also seiner senkrechten Lage, den auf dem Bilde erkennbaren Schleppzeiger bis zur Höhe des Durchschlagswinkels mit, der an der Skala abgelesene Wert des Winkels läßt aus einer der Maschine beigegebenen Tabelle oder Kurve die Größe der unverbrauchten Schlagarbeit ermitteln.

Es ergibt sich hiernach:

$$A_1 - A_2 = P,$$

worin A_1 die aufgewendete, A_2 die nicht verbrauchte, P die verbrauchte Arbeit darstellt.

Danach ist

$$\frac{P}{f} = s = \text{spez. Schlagarbeit,}$$

worin f der Querschnitt der Probe in qcm.

Als besonders beachtenswert sei noch darauf hingewiesen, daß die Probestücke nach dem Bruch frei durch die Auflager durchfallen müssen, ohne den Hammer zu bremsen, damit nicht eine Beeinflussung der Ausschwinghöhe H_2 eintritt und eine Fehlrechnung entsteht. Die Amboßbacken müssen darum nach der Abb. 20 gut hinterschnitten sein.

Eine andere ähnliche Art der Untersuchung auf Schlagbiegefestigkeit soll nicht unerwähnt bleiben; es ist dies die ältere Methode mit dem Fallbären. Die Durchführung der Untersuchung ist hiermit die gleiche wie beim Pendelhammer. Wo ein entsprechend kleines Fallwerk zur Verfügung steht, kann auch dieses ohne weiteres für die Untersuchung der Schlagbiegefestigkeit verwendet werden, es ist auch leicht, ein solches Fallwerk in laboratoriumsmäßiger Weise, für die Versuche ausreichend, herzustellen.

Bestimmung der Biegsamkeit.

Der im vorhergehenden Absatz behandelten Untersuchung auf Biegefestigkeit, die bestimmte zahlenmäßige Meßwerte ergibt ist die Untersuchung auf Biegsamkeit verwandt. Diese ist da angebracht, wo es sich darum handelt, Isoliermaterialien von geringer Stärke zum Bau von Spulenkörpern oder zum Umkleiden solcher zu benutzen.

Die Prüfung kann analog der Hin- und Herbiegeprobe von Drähten (Biegezahl) ausgeführt werden, d. h., die Probestücke werden über bestimmte Durchmesser hinweg hin und her gebogen, bis sie auf einer der beiden Flächen reißen. In der Abb. 22 sind SB 2 Schraubstockbacken, in welche die Prüfbacken PB eingelegt sind, und welche die Materialproben fassen.

Der Radius r soll bei drei verschiedenen Backensätzen $2 \div 5$ und 10 mm betragen, diese Abstufung wird für die meisten der zur Untersuchung kommenden Materialstärken und -arten ausreichen, für größere Dicken und besonders harte Materialien sind zweckmäßig Walzen von entsprechendem Durchmesser zu wählen, doch wird es sich meist nur um Dicken bis zu 3 mm handeln, stärkere Platten werden von vornherein rund geformt (Mikanit) oder wie Hartgummi in Wasser erwärmt und nur einmal zugebogen.

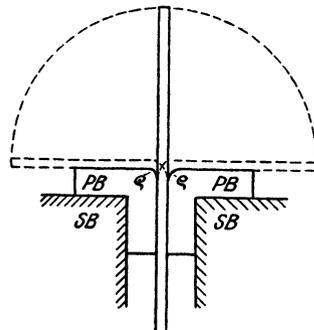


Abb. 22.

Diese Methode gestattet die Gewinnung einer ausreichenden Zahl von Vergleichswerten; falls Verarbeitung des Materials in warmem Zustande in Frage kommt, sind die Untersuchungen ebenfalls mit vorgewärmten Proben durchzuführen, die Backen S.-B. müssen für den Fall gleichfalls vorgewärmt werden, um eine Abkühlung der Proben an der Biegestelle zu verhindern.

Als **Probestücke** dienen zweckmäßig 3 Streifen von 100×50 mm Größe bei den verschiedenen Materialstärken, worin 50 die Breite der Biegekante ist.

Bestimmung der Falzbiegefestigkeit.

Diese Untersuchung kommt in Frage bei Feststellung der mechanischen Güte von biegsamen Isolierstoffen, wie Papierbändern für die Kabelisolation, Leinen- und Seidenbändern mit Lacktränkung für die Bewicklung von Spulen für Starkstrom-, Hochspannungs- und Hochfrequenzapparate.

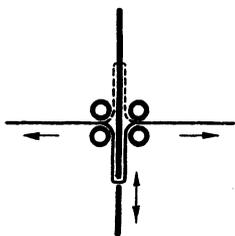


Abb. 23.

Sehr gut verwendbar sind hierfür die Einrichtungen, wie sie sich für die Papierfabrikation bewährt haben. Einer der gebräuchlichsten Apparate sei im folgenden beschrieben. Die Abb. 23 läßt das Prinzip erkennen: zwischen vier senkrecht stehenden Rollen bewegt sich ein Blechschieber, der einen nach oben offenen Schlitz besitzt, etwa 2 cm nach hinten und vorn, wie es die Pfeilrichtung andeutet. Rechtwinklig zum Schieber wird der zu untersuchende Probendstreifen zwischen dem einen Rollenpaar hindurch, durch den Schlitz des Schiebers und das zweite Rollenpaar geführt. Die Enden der Probe werden durch den Apparat selbst auf Zug gehalten, so daß sie beim Gleiten des Schiebers stets straff gespannt sind. Der Antrieb erfolgt durch einen Elektromotor.

Während des Untersuchungsvorganges wird die Probe bei jedem Gang des Schiebers zweimal in entgegengesetzter Richtung gefalzt, die Zahl der bis zum Reißen ausgeübten Falzungen wird durch ein Zählwerk festgestellt, das gleichzeitig den Antriebsstromkreis unterbricht, sobald die Probe zerstört ist. Die gezählten Falzungen geben den Gütegrad des Materials an.

Der Apparat (Abb. 24) wird hergestellt von der Firma Schopper in Leipzig.

Bestimmung der Kugeldruck- und Ritzhärte.

Die Prüfung auf Kugeldruckhärte ist gleichfalls vom V. D. E. vorgeschrieben, sie ist angeführt, um ein Maß für die Beurteilung der Bearbeitungsfähigkeit der verschiedenen Stoffe zu schaffen.

Der V. D. E. verlangt auch hier nur wieder die Untersuchung bei Raumtemperatur. Vom Verfasser sind die Prüfungen auch in diesem Falle über die in den früheren Absätzen erwähnte Temperaturskala ausgedehnt, weil aus dieser Prüfung auch noch weitere Schlüsse gezogen werden können.

Die Prüfung auf Kugeldruckhärte stellt eine ähnliche Beanspruchung dar, wie sie im ganzen Elektroapparatebau durch die Einsetzung von Anschlußbolzen und deren Festziehung durch Muttern herbeigeführt wird. Das Material erleidet hierbei eine Druckbeanspruchung unter der Fläche der Unterlagscheibe, es drückt sich erst zusammen und quillt dann nach außen auf, die Bolzen werden locker und es entstehen die gefürchteten Wackelkontakte. Die Kugeldruckhärte gibt hierfür ein gutes Vergleichsbild, zumal wenn sie der praktischen Benutzung der Apparate entsprechend auf verschiedene Temperaturen ausgedehnt wird.

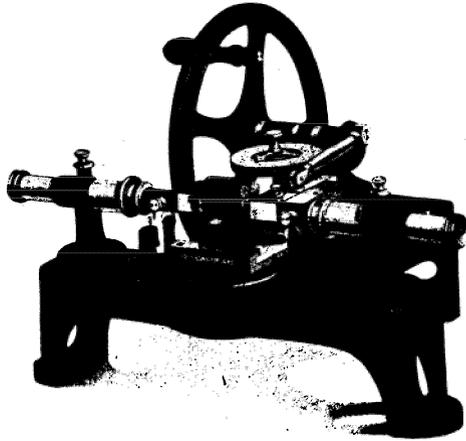


Abb. 24.

Eine kurze Beschreibung des Prinzips der Apparate für die Kugeldruckhärteuntersuchung ist am Schluß dieses Absatzes gegeben.

Es seien zunächst die V. D. E.-Vorschriften mit den ermittelten Gütezahlen angegeben.

3 Versuche.

Als Normalapparat ist der Martens - Heynsche Härteprüfer zu verwenden.

Benutzt wird dabei eine Stahlkugel von 5 mm, die insgesamt 0,1 mm in die Probe eingedrückt wird. Die Belastungsgeschwindigkeit bis zur Erreichung der Eindringtiefe von 0,1 mm hat 2,5 Minuten zu betragen, sodann wird am Manometer die Kraft P in kg abgelesen und gilt als Härtemaß $P_{0,1}$. Die Eindrücke sollen in der Mitte der 15 mm breiten Probe liegen. Die Versuche sind bei 18—20° C auszuführen.

Die Vergleichszahlen G bestimmen sich wie folgt:

$P_{0,1} = 73,1$ kg	$G = 5$
$P_{0,1} = 65$ „	$G = 4$
$P_{0,1} = 48,7$ „	$G = 3$
$P_{0,1} = 32,4$ „	$G = 2$
$P_{0,1} = 16,2$ „	$G = 1$

Als **Proben** werden die für die vorausgegangene Untersuchung vorgeschriebenen Flachstäbe $120 \times 15 \times 10$ mm benutzt, es sollen immer 3 Eindrücke auf einer solchen Probe ausgeführt werden.

Die **Probenzahl** beträgt also nach dem V. D. E. nur 1, nach dem Vorschlag des Verfassers

6 \times 1 zu 3 Eindrücken.

Die **Einspannung** besteht nur in einem sorgfältigen Einlegen auf den durch Schraubenspindel einstellbaren Druckteller. Die Beobachtungen ergeben sich aus dem unter den V. D. E.-Vorschriften Stehenden.

Als **Prüfeinrichtung** für die Kugeldruckprobe dient eine von J. A. Brinell entworfene Anordnung, deren Prinzip in Abb. 25 gezeigt ist; eine Kugel vom $\varnothing D$ wird unter einer bestimmten Last P in das zu untersuchende Material eingedrückt, der $\varnothing d$ der erzeugten Vertiefung unter einem Mikroskop gemessen und hiernach die Oberfläche der Eindruckkugelkalotte berechnet.

Die Brinellsche Härtezahl ergibt sich dann aus der Formel

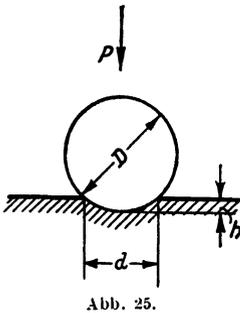


Abb. 25.

$$H = \frac{P}{f} \text{ in kg/qmm,}$$

dabei $f = \pi \cdot D \cdot h$

$$h = \frac{D}{2} - \sqrt{\frac{D^2}{4} - \frac{d^2}{4}}$$

$$H = \frac{P}{\pi \cdot D \cdot \left(\frac{D}{2} - \sqrt{\frac{D^2}{4} - \frac{d^2}{4}} \right)}$$

Die Messung von d ist umständlich, sie macht insbesondere bei Isoliermaterialien, die leicht nach der Seite und oben ausweichen, Schwierigkeiten. Die Methode der Kugeldruckuntersuchung hat darum nach den Vorschlägen von Martens - Heyn gewisse Umänderungen erfahren, die in einfachster Weise die direkte Ablesung der Eindrucktiefe h gestatten. Der Martens - Heynsche Apparat wird von Schopper, Leipzig, gebaut, die äußere Form ist in Abb. 26 gezeigt. Der untere Teil enthält den mit Wasserleitungsdruck zu betreibenden Druckerzeuger, der obere Teil den Tiefenmesser für die Feststellung der Größe von h . Näheres über den ziemlich komplizierten Innenbau anzugeben, verbietet der Raum, eine ausführliche Beschreibung wird dem Instrument mitgegeben, eine solche ist auch in Martens-Heyn II A enthalten, ebenso sei auch noch auf Heft 75 der Mitteilungen über

Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens (V. D. I.) verwiesen, insbesondere auf die darin angezogene Arbeit von Martens und Meyer.

Der V. D. I. hat für die von ihm vorgeschriebenen Untersuchungen die Benutzung des Martens-Apparates empfohlen, doch sei bemerkt, daß für die Ausführung der Warmproben der Brinell-Apparat geeigneter ist.

Als weitere Härteuntersuchungsmethode wäre die Kugelfallprobe nach Shore anzuführen; diese eignet sich jedoch nur für Metalle.

Das oben beschriebene Verfahren der Kugeldruckhärte gibt absolute Zahlenwerte. Es ist jedoch nicht bei allen Materialien anzuwenden. Es sei darum noch die Methode der Ritzhärteprüfung, wie sie für Mineralien üblich und auch für Lacke hinten angegeben ist, angeführt. Sie ist notwendig für die Untersuchung von Glimmer und einigen anderen natürlichen Stoffen, wie auch bei Lacken.

Von Mohs ist für mineralogische Untersuchungen eine Härteskala aufgestellt, die sich, wenn die Meßwerte verschiedener Untersuchungsstellen auch nicht immer einwandfrei gegenüberzustellen sind, doch allgemein eingeführt hat, wo nach dem Kugeldruckverfahren nicht gearbeitet werden kann.

Die Skala enthält 10 Mineralien, deren jedes das voraufgeführte ritzt:

- | | |
|--------------|--------------|
| 1. Talk, | 6. Feldspat, |
| 2. Gips, | 7. Quarz, |
| 3. Kalkspat, | 8. Topas, |
| 4. Flußspat, | 9. Korund, |
| 5. Agalit, | 10. Diamant. |

$H = 7,5$ bezeichnet z. B. ein Material, das von 7 noch nicht, von 8 aber schon angegriffen (geritzt) wird.

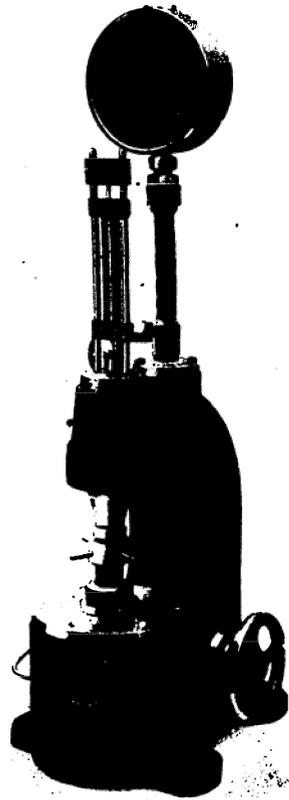


Abb. 26.

IV. Physikalische Prüfungen.

Bestimmung der Wärmebeständigkeit.

Vom V. D. E. ist eine besondere Untersuchung auf Wärmebeständigkeit nach der Abb. 27 vorgeschrieben. Nach diesen Abhandlungen ist die Untersuchung bereits in etwas anderer Weise bei Bestimmung der Biegefestigkeit zweckmäßig mit zu beobachten und da auch schon erläutert.

Die hier folgende Aufnahme gibt nicht so sichere Resultate, da die Art des Einbaues für die skizzierte Vorrichtung einen verhältnismäßig großen Kasten verlangt, der die Beobachtung und die Ablesung der Biegegröße erschwert.

Der V. D. E. verlangt 3 Parallelversuche.

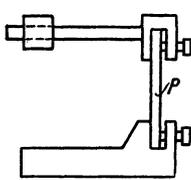


Abb. 27.

Die Wärmebeständigkeit ist durch die Martenssche Probe mit einem Normalapparat (Abb. 27) festzustellen.

Die in senkrechter Lage von der Grundplatte festgehaltenen Proben werden durch angehängte Gewichtshebel mit der konstanten Biegespannung $s = 50 \text{ kg/cm}$ langsam erwärmt. Die Geschwindigkeit der Temperatursteigerung soll $120\text{--}150^\circ$ in der Stunde betragen. Die genaue Zahl wird noch durch Prüfung des Normalapparates angegeben und diesem angepaßt.

Ermittelt wird der Wärmegrad, bei dem die Probe eine noch festzusetzende Durchbiegung (Absinken des Hebels) erfährt und eventuell der Wärmegrad, bei dem der Bruch der Probe eintritt.

Als **Probe** für diese Arbeit dient wieder der Normalstab $120 \times 15 \times 10 \text{ mm}$.

Die **Probenzahl** beträgt nach dem V. D. E. **3**.

Die **Einspannung** ist aus Abb. 27 klar ersichtlich.

Die **Beobachtungen beim Versuch** erstrecken sich auf

- a) die Feststellung des Wärmegrades, bei dem die Probe um 5 mm aus der senkrechten Richtung ausweicht, und
- b) des Wärmegrades, bei dem die Probe bricht oder vollständig umbiegt.

Die Beobachtungswerte werden wieder in Tabellenform zusammengestellt, auch die Aufzeichnung einer Kurve mit den Aufnahmewerten der Biegegröße ergibt, wenn der Versuch über die Temperaturskala durchgeführt wird, ein sehr anschauliches Bild.

Dem vorstehenden Versuch sind noch solche ohne mechanische äußere Belastung anzuschließen. Die Proben sind im Ofen, also ebenfalls trocken, unter der gleichen Temperatursteigerung wie vorher, auf den vom Fabrikanten auf dem Fragebogen angegebenen Herstellungswärmegrad zu bringen. Entsprechend diesem Grenzpunkte sind Zwischenpunkte für die Kontrolle festzulegen.

Als Probe dient hierfür zweckmäßig eine Platte von $100 \times 100 \times 10$ mm. Eine Einspannung erfolgt nicht, sondern nur eine von jeder äußeren Beanspruchung freie Auflegung.

Zu beobachten ist bei diesem Versuch, welche äußeren Veränderungen an der Probe auftreten, insbesondere, ob Verziehungen infolge Auslösens innerer Spannungen auftreten, ob irgendwelche Klebe- oder Bindemittel, Auskristallisierungen von Bestandteilen u. dgl. Erscheinungen auftreten.

Es kommt vor, daß beispielsweise geschichtetes Material, wie Perlinax, Turbonit u. dgl. nicht ausbakelisiert ist und noch feuchte, also nicht in den festen Aggregatzustand übergeführte Lackmassen enthält; diese dehnen sich bei Erwärmung aus und führen ein Aufbeulen einzelner Schichten herbei. Bei Verwendung von schmalen Streifen wird dieser Vorgang infolge Austretens der Dämpfe nach der Seite nicht so beobachtet werden können.

Bestimmung der Frostbeständigkeit.

Die Prüfung der Frostbeständigkeit ist durch die Anforderungen des Krieges besonders notwendig geworden. Es gibt wohl kaum einen Zweig der Elektrotechnik, der seine Erzeugnisse nicht in den Dienst des Heeres stellt. Die Anforderungen an Temperaturbeständigkeit sind bei Heeresapparaten ausnahmslos große, mag es sich um Schwachstrom-, Starkstrom-, Hochspannungs- oder Hochfrequenzapparate handeln, darum wurde schon in den vorigen Absätzen Wert auf eine Prüfung durch eine große Temperaturskala hindurch gelegt.

Die Prüfungen auf Frostbeständigkeit sollen das Verhalten der Materialien nach abwechselndem Einfrieren und Wiederauftauen feststellen.

Der Verband schreibt hierüber vor:

Die Proben werden nach vierwöchiger Lagerung unter Wasser abwechselnd 25 mal je etwa 20 Stunden dem Frost ausgesetzt bei etwa 25°C und je 4 Stunden in Wasser von Zimmertemperatur wieder aufgetaut. Die äußeren Veränderungen bei diesen Proben werden festgestellt, Vergleichsziffern werden mangels zahlenmäßiger Versuchsergebnisse nicht angegeben.

Als Probenform dient hierfür zweckmäßig wieder 1 Platte $100 \times 100 \times 10$ mm, wie sie für die Wärmebeständigkeitsprüfung ohne Belastung vorgeschlagen war.

Es genügt hierfür ein Versuch.

Eine Einspannung kommt auch hier wieder nicht in Frage, die Probe ist vielmehr genau wie bei der Wärmeuntersuchung vollständig frei von äußeren Spannwirkungen einzulegen.

Die Beobachtung soll nach jedem Einfrieren und Auftauen etwaige Veränderungen der Oberflächen wie der Schnittkanten, Verdickungen,

Aufbeulungen, Schrumpfungen. Ablättern, Austreten von irgendwelchen Beimengungen u. dgl. feststellen. Die Angabe von Gütezahlen ist in diesem Falle nicht möglich.

Bestimmung der Wasseraufnahme.

Diese Untersuchung ist eine der wichtigsten, sie muß unbedingt bei jedem Material durchgeführt werden.

Als Probe (Abb. 28) wird auch hier wieder 1 Platte $100 \times 100 \times 10$ mm benutzt.

Bei geschichtetem Material, wie Pertinax, Preßspan, asbesthaltigem und ähnlichem Material ist es notwendig, die Proben möglichst dick zu nehmen, damit viel Schnittfläche dem Wasser ausgesetzt ist; bei sehr dünnem Material und dichter Oberfläche wird sich nur wenig Wasser aufnehmen lassen.

Zweckmäßig ist es, eine Platte nach nebenstehender Abbildung herzustellen, die Löcher ergeben eine große Arbeitsfläche und ist damit die Wasseraufnahme beschleunigt, das Schneiden der Platte soll mit der Bandsäge geschehen, da die Kreissäge aufgerissene Schichten wieder zusammendrückt (dichtet), oder die Kanten sind sämtlich zu polieren.

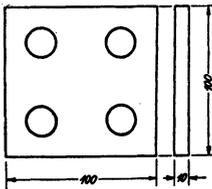


Abb. 28.

Die Probe soll den Zustand des längere Zeit in Raumtemperatur lagernden Materials haben.

Es ist zunächst das Gewicht W_1 auf 0,1 mg genau festzustellen, die Probe wird danach in den Trockenofen gebracht und bei 100°C gehalten, wenn nicht die Versuche unter „Wärmebeständigkeit“ eine niedrigere Grenztemperatur bedingen. Es folgen stündlich neue Wägungen w , bis ein Gewichtsabfall nicht mehr eintritt, diese Aufnahme gibt den Nullpunkt W_2 der Kurve an. Jetzt sind rückwärts bis zu W_1 die Kurvenwerte w in Prozenten zu W_2 aufzutragen.

Nunmehr ist die Probe in Wasser von Raumtemperatur zu bringen und wieder durch stündliche Kontrolle die Wasseraufnahme auszuwiegen, bis auch hier eine Grenze eintritt (Wendepunkt W_3 der Kurve). Die Werte der Zunahme sind wieder in Prozenten zu W_2 festzulegen.

Um noch weitere Vergleichsmöglichkeiten verschiedener Materialien zu haben, ist die Fortsetzung des Versuches in folgender Weise zweckmäßig:

Die Probe wird nach W_3 neuerdings in den Ofen gebracht und nun von Stunde zu Stunde die Gewichtsabnahme festgestellt, bis in W_4 der Wert von W_2 wieder erreicht ist. Der letzte Teil der Kurve deckt sich wieder mit dem ersten.

Die als Beispiel gewählte Kurve auf Abb. 29 ist von Asbestschiefer aufgenommen, bei anderen nicht asbesthaltigen Stoffen sind

die Unterschiede weniger auffallend, die Kurve verläuft dabei viel flacher.

Bei dem vorgeschriebenen Versuch ist eine Platte mit teilweise bearbeiteter Oberfläche (Bohrlöchern) verwendet, der Versuch wird demnach für alle Fälle ausreichen. Für einige Materialien, die vorwiegend lackiert und bei nur geringer Stärke benutzt werden, ist diese Prüfung eher zu scharf, es ist darum zweckmäßig, noch Proben mit entsprechend geschütztem Material parallel durchzuführen. Geeignet ist dabei die Benutzung fertiger Spulenkörper, bei denen das Material schon die

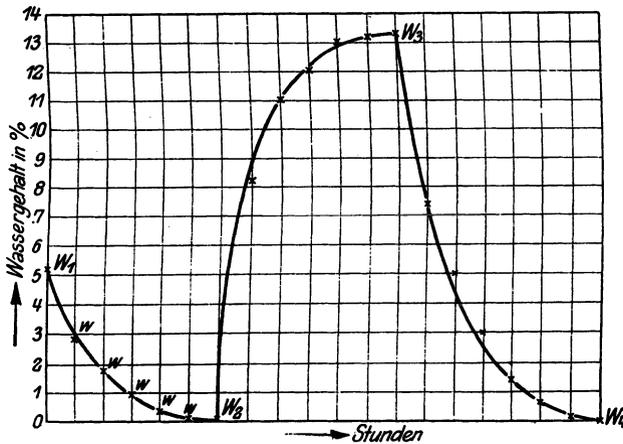


Abb. 29.

fabrikationsmäßigen Biegungen durchgemacht hat und auch schon lackiert ist.

Die Versuche sind vorstehend im Wasserbade vorgeschrieben, sie lassen sich auch im Wasserdampf ausführen, doch sind die Werte der beiden Arten nicht gleichzusetzen.

Verhalten in warmem Wasser.

Diese Untersuchung ist nur durchzuführen bei solchen Materialien, die Verwendung in Räumen finden, bei denen mit der Einwirkung von Wasserdampf zu rechnen ist. Es wird sich hierfür jedoch meist um nicht wasseraufnahmefähige und hitzebeständige Stoffe handeln, wenn die betreffenden Apparate nicht außerdem noch gekapselt sind, so daß diese Untersuchung wohl nur selten notwendig sein wird.

Der Vollständigkeit des Arbeitsplanes wegen sei jedoch auch diese Prüfungsart erwähnt.

Die Untersuchung schließt sich zweckmäßig der weiter vorn behandelten auf Wasseraufnahmefähigkeit an.

Als **Probe** ist wieder eine Platte von $100 \times 100 \times 10$ mm zu verwenden.

Als **Probenzahl** genügt ein Stück aus unbearbeitetem Material.

Um Vergleichswerte zu haben, wird durchweg die Wassertemperatur von 100° gewählt, die Tauchzeit soll auch gleichmäßig 10 Minuten betragen, eine kürzere Frist wird bei vielen Materialien nicht ausreichend sein, um Veränderungen hervorzubringen.

Nach der Wässerung werden die Proben kontrolliert auf Veränderung der Oberfläche, Verziehen, Aufblättern, Austreten irgendwelcher Beimengungen und Widerstandsfähigkeit gegen Durchbiegen mit der Hand. Bestimmte zahlenmäßige Werte hierfür zu ermitteln erübrigt sich, da hierfür die früher unter Biegefestigkeit ermittelten Werte schon eine Richtschnur geben, es genügt die Klassifizierung:

1. als Härte verbleibt der Urzustand,
2. das Material wird geschmeidig, oder
3. sehr weich.

Verhalten in der Flamme.

Diese Untersuchung bedarf keiner besonderen Begründung, die Vorschriften des V. D. E. sind ebenfalls ausreichend.

Es werden verlangt 3 Versuche.

a) Brandsicherheit.

Es wird ein Normalstab 2 Minuten lang in der Flamme geheizt, danach wird untersucht:

1. ob der Stab nach Entfernen der Flamme weiterbrennt oder erlischt,
2. der Zustand nach dem Brande.

b) Feuersicherheit.

Es wird untersucht:

1. die Zündungsdauer an einer Normalplatte, wobei die Mitte der Platte durch eine Bunsenflamme geheizt wird;
2. die eigene Brenndauer, d. h. die Zeit, während welcher ein Normalstab des Versuchsmaterials einen Beitrag zur Flamme des Bunsenbrenners liefert;
3. der Zustand dieses Stabes nach dem Brande (Kompaktheit usw.).

Als **Proben** kommen zur Verwendung 1 Platte $100 \times 100 \times 10$ mm und 2 Stäbe $120 \times 15 \times 10$ mm.

Zu vergleichen hiermit sind die unter „Elektrische Prüfungen“ behandelten Vorschriften über die Beständigkeit des Materials im Lichtbogen.

Säurebeständigkeit.

Hier kommt hauptsächlich der Einfluß von Schwefelsäure in Frage, und soll dieser allein hier behandelt werden. Liegen Spezialanforderungen vor, wie beispielsweise die Einrichtung chemischer Fabriken, so sind die Untersuchungen den jeweiligen Anforderungen entsprechend

durchzuführen, und beziehen diese sich dann gleichermaßen auf das isolierende wie leitende Material.

Für die vorliegenden Prüfungen sind zweckmäßig als Maßstab die schon früher erwähnten Arbeiten der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt zu wählen, die zwar nur auf die reinen Hartgummiersatzmaterialien ausgedehnt sind, aber doch eine weiter auszubauende Norm schaffen.

Die Untersuchungen wurden angestellt an Stoffen, die einer fünf-tägigen Einwirkung von Akkumulatorensäure (Schwefelsäure mit einem spezifischen Gewicht von 1,18) ausgesetzt waren. Die Zeit ist ausreichend, um deutlich erkennbare Veränderungen an den Proben hervorzurufen.

Die **Beobachtungen** erstrecken sich auf:

1. die äußere Veränderung,
2. die Veränderung des Gewichtes in Prozenten.
3. die Veränderung des Isolationswiderstandes,
4. die Veränderung der Festigkeit.

Als **Proben** werden die Normalstäbe $120 \times 15 \times 10$ mm benutzt, diese geschnittenen Stücke eignen sich hierfür besser als Rundstäbe, weil sie infolge der Schnittflächen viel schneller aufsaugen.

Die **Stückzahl** beschränkt sich auf 1 Probe.

Die Ausführung der Prüfungen zu 3 und 4 ist in den bezüglichen Abschnitten erklärt.

Seewasserbeständigkeit.

Diese Untersuchung ist notwendig für alle Konstruktionen, die Seeluft- und Seewassereinflüssen ausgesetzt sind, es kommen hierfür besonders in Frage die Isolationen für die Antennen der drahtlosen Telegraphie, die auf Schiffen dauernd in freier Luft hängen, auf Tauchbooten naturgemäß auch dem direkten Einfluß des Seewassers unterliegen.

Die Prüfung kann ganz analog der im vorigen Absatz behandelten über Säurebeständigkeit durchgeführt werden. Die Lagerung in Seewasser geschieht gleichfalls durch 5 Tage, die Temperatur des Wassers soll $+20^\circ$ betragen.

Die **Beobachtungen** erstrecken sich auf:

1. äußere Veränderung,
2. Veränderung des Isolationswiderstandes.

Eine deutliche Veränderung wird der Isolationswiderstand zeigen, es ist dabei eine Messung auszuführen mit der aus dem Wasser genommenen und etwa 1 Stunde in senkrechter Stellung abgelaufenen Platte, eine zweite, nachdem die Oberfläche mit Süßwasser vom Salzniederschlag gereinigt und mit Fließpapier getrocknet ist.

Die **Probenzahl** und **Form** ist wieder die gleiche wie unter dem vorigen Abschnitt.

Wetterbeständigkeit (Alterung).

Fast alle Isolationsstoffe erleiden mit der Zeit Veränderungen, die langsam aber stetig fortschreitend sowohl die mechanischen wie elektrischen Eigenschaften herabdrücken und schließlich vollständige Unbrauchbarkeit hervorrufen können. Die Veränderungen treten im Freien schneller auf als in trockenen, gut ventilierten Räumen, und danach werden schon von vornherein entsprechende Rücksichten genommen werden müssen. Für Freileitungen hat sich aus diesem Grunde nur Porzellan halten können selbst Glas, das anfänglich viel verwendet wurde, ist wieder verlassen worden.

Die Veränderungen werden hervorgerufen durch atmosphärische wie elektrische Einflüsse. Feuchte Luft, Säuredämpfe, Ozonisierung und die direkte Einwirkung der Spannung (Randstrahlung, Glimmlicht) vermögen mit der Zeit selbst bei Porzellan eine Alterung herbeizuführen.

Die Ausführung diesbezüglicher Versuche ist sehr schwer, sie müssen sich auf sehr lange Zeiträume erstrecken, lassen sich aber dennoch nicht den in der Praxis vorkommenden Anforderungen vollkommen anpassen. Bestimmte Prüfungsvorschläge lassen sich daher nicht machen.

Bestimmung des Ausdehnungskoeffizienten.

Der Ausdehnungskoeffizient bezeichnet das Maß für die Zunahme der Längeneinheit eines Stoffes bei einer Temperatursteigerung von 1°C .

Bei den Metallen rechnet man bis 100° mit der Konstanz des Koeffizienten, bei Isolierstoffen für die Elektrotechnik, insbesondere bei den hartgummiartigen, ist ein gleiches Verfahren nicht möglich. Die Ausdehnung wächst bei Temperaturerhöhung ganz erheblich. Es ist darum auch im folgenden nicht mehr vom Ausdehnungskoeffizienten im gebräuchlichen Sinne gesprochen, sondern es wird durch Aufnahme einer Tabelle oder Kurve die tatsächliche Längenänderung bestimmt.

Es gibt hierfür verschiedene Methoden; die eine benutzt den unter „Zugfestigkeit (Maschineneichung)“ beschriebenen Spiegelapparat von Martens, eine andere den Komparator von Zeiß, eine dritte Konstruktion wird in folgendem gleichfalls beschrieben.

Der Spiegelapparat (Abb. 12) gestattet die Durchführung der Messung unter Temperatursteigerung kontinuierlich über die ganze Skala. Sie gibt vollständig einwandfreie Werte. Das Meßverfahren und die Handhabung des Apparates selbst ist früher eingehend behandelt, es erübrigt sich, hier nochmals darauf einzugehen.

Das Arbeiten mit dem Spiegelapparat ist schwierig, es erfordert geübtes Personal und vor allem einen vollständig erschütterungsfreien Boden. In den Stockwerken eines Fabrikgebäudes lassen sich die Messungen nicht ausführen, da selbst entfernt laufende Transmissionen,

Motore u. dgl. ausreichen, das Bild im Fernrohr zu stören. Es sei darum eine andere Methode angegeben, die auch noch für die

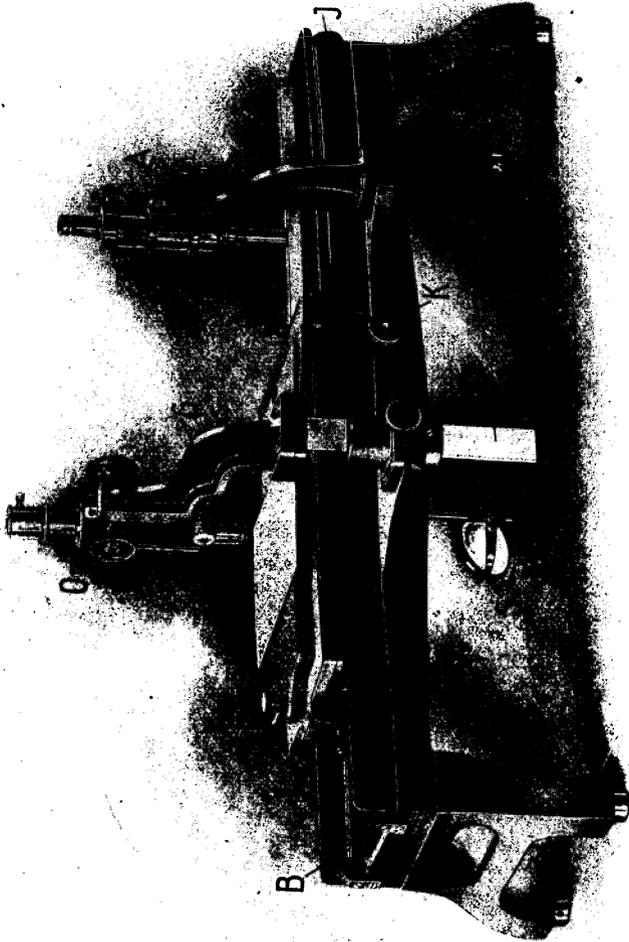


Abb. 30.

Praxis ausreichende Werte erzielen läßt, dabei von den vorbeschriebenen Bedingungen unabhängig ist.

Die Abb. 30 zeigt den Zeißschen Komparator, der für diese Untersuchungen mit Erfolg benutzt ist.

Auf einer horizontalen, auf Rollen laufenden Gleitbahn *B* ist ein Schlitten angebracht, dessen erste Hälfte einen Tisch *T* für die Auf-

legung der zu untersuchenden Probe trägt, auf der zweiten Hälfte ist fest montiert ein fein unterteilter Maßstab von 205 mm Länge, über beiden Teilen steht fest je ein Mikroskop, die Ablesegenauigkeit beträgt 0.001 mm.

Die Probestücke werden mit zwei Marken, die etwa 200 mm voneinander entfernt liegen, versehen und auf den Tisch *T* aufgelegt. Es wird zunächst mit dem linken Mikroskop der linke Teilstrich eingestellt. Die Probe liegt ruhig auf dem Tisch. Die Grobeinstellung geschieht mit der Kordelschraube *K*, die Feineinstellung mit der Mikrometerschraube *J*, danach wird am rechten Mikroskop *A* der Zahlenwert der Skala abgelesen und notiert. Die Probe bleibt unberührt liegen, der Tisch wird mit *K* nach links verschoben und die zweite Marke desselben mit *O* gepeilt, hiernach wieder Ablesung rechts mit *A* und Ausrechnung der Länge des Stabes.

Es liegt jetzt der Längenwert für die Probe bei Raumtemperatur fest. Die weiteren Messungen sind nun stufenweise durchzuführen. Die Proben werden dazu in einen Eisenkasten mit Deckel eingelegt und unabhängig vom Komparator gekühlt bzw erwärmt und so von 10 zu 10° gemessen. Der Deckel des Kastens erhält über den Ablesemarken je ein Fenster aus Glimmer, so daß für die Messung die Probe im Kasten verbleiben kann und die Temperatur während der sehr schnell erledigten Aufnahme keine Veränderung erleidet. Die Temperaturkontrolle geschieht mittels eines Thermometers, das mit in den Kasten eingeschoben wird, von außen aber ablesbar ist. Die Aufnahme der ersten Messung wiederholt sich bei den Temperaturstufen von -20, -10, 0, +10, +30, +40, +50, +60, +70 und +80°.

Die gefundenen Werte werden in Kurvenform aufgetragen und geben so eine gute Übersicht der Veränderung der verschiedenen Stoffe.

Die weiteren Buchstabenbezeichnungen der Abbildung bedürfen hier bei der Beschreibung des Prinzips keiner Erklärung, sie beziehen sich auf die in der ausführlichen, bei Kauf des Apparates mitzuliefernden Beschreibung enthaltenen Erläuterungen.

Als Probestücke dienen Streifen von $220 \times 15 \times 10$ mm.

Die Probenzahl beträgt 2, die für die verschiedenen Temperaturstufen fortlaufend benutzt werden.

Diese Methode dürfte im allgemeinen für die Praxis ausreichen, sie gibt wenigstens in den Graden über 0° genügend genaue Werte und ist in jedem Fabriklaboratorium ohne Schwierigkeit durchzuführen. Die Beobachtungen weit unter 0° und über 80° machen gewisse Schwierigkeiten wegen der Temperaturhaltung, doch kommen diese Messungen hier kaum in Frage.

Es sei noch eine dritte Art der Bestimmung der Ausdehnung angezogen, wie sie in der P. T. R. angewendet wird. Diese gibt die ein-

deutigsten Werte und läßt die Messung über eine sehr große Temperaturskala zu.

Der Apparat ist von A. Leman und A. Werner, unter Mitteilungen der P. T. R. mit der Bezeichnung „Apparat zur Bestimmung thermischer Ausdehnungskoeffizienten bei höheren Temperaturen“ in der Zeitschrift für Instrumentenkunde 1913, Heft 3, ausführlich beschrieben.

Das Prinzip ist folgendes: Die zu untersuchende Probe erhält eine Länge von 100 mm bei einem Querschnitt von 10×10 mm, sie wird mitten in ein senkrecht gelagertes U-förmiges Gestänge aus Quarz, auf einen im U-Bogen befindlichen Körner parallel zu den Schenkeln eingesetzt, den oberen Haltepunkt bildet ein gleichfalls zwischen den Schenkeln geführtes Quarzstück, das mit Federdruck und Körnerspitze die Probe in ihrer Lage fixiert. Das ganze Gestänge ist an einer horizontalen Platte befestigt, die das den U-Körper umschließende Heizgefäß oben abdeckt. Die erwähnte mittlere Quarzstange ist an ihrem oberen Ende sauber poliert, sie schließt mit der Oberfläche des Deckels durch diesen hindurchreichend ab. Bei Ausdehnung der Probe macht die Endfläche die Bewegung mit und überträgt diese auf einen in sinnreicher Weise angeordneten, mit einem Prisma ausgerüsteten kippbaren Tisch. Letzteres liegt horizontal, eine Kathetenseite nach vorn, die zweite nach oben gerichtet. Hierüber ist feststehend ein gleiches Prisma angebracht, eine Kathetenseite nach unten, eine nach vorn zeigend. Die beiden horizontalen Katheten liegen mit ganz geringem Luftraum voneinander getrennt. Bei Verlängerung der Probe durch Wärmeeinfluß wird das erwähnte Tischchen einseitig gehoben (gekippt), beide Prismen verschieben sich zueinander, die Veränderung gegeneinander wird ähnlich wie beim Martensapparat mittels Fernrohr an einer Skala abgelesen.

Der Apparat wird derzeit nicht fabrikmäßig hergestellt, doch wollte der Verfasser nicht versäumen, für spätere Zeiten darauf zu verweisen.

Dickenbestimmungen.

Die üblichen Geräte zur Messung von Materialstärken, wie Schiebellen, Federtaster, Mikrometerschrauben, selbst bester Konstruktion, reichen für die bei vielen Isoliermaterialien notwendigen Meßgenauigkeiten nicht aus, da sie auch bei ein und derselben Person bei wiederholten Messungen abweichende Werte ergeben, sie arbeiten sämtlich mit Handdruck und lassen sich mehr oder weniger festziehen, die Gefahr ist um so größer, je nachgiebiger und verletzbarer die zu messenden Stoffe sind.

Als Beispiel seien hierfür die Seidenpapiere und Glimmerplatten für den Kondensatorbau angeführt, die vielen Tausende von Messungen, die hierfür fabrikmäßig nötig sind, müssen unbedingt sichere

und von jeder persönlichen Handhabung der Kontrollapparate freie Meßwerte ergeben.

Es seien darum im folgenden einige solcher Meßgeräte aufgeführt:

In der Abb. 31 ist ein Schopperscher Dickenmesser wiedergegeben, die Messung erfolgt hier unter stets gleichem Federdruck zwischen Platten von etwa 15 mm \varnothing . Zur Ablesung der Meßwerte dient eine Skala, die selbst $\frac{1}{1000}$ mm noch gut erkennen läßt.

Für Messungen in geringerer Zahl ist der Apparat vollständig genau und ausreichend, für fabrikmäßige

Messungen, die zehntausende von Meßwerten für den Tag verlangen, sind diese Einrichtungen jedoch zu schneller Abnutzung unterworfen. Die Übertragung der Bewegung auf das Zeigerwerk erfolgt durch Zahnstangen und Zahnräder, die, immer wieder in den gleichen Grenzen arbeitend, bald abgenutzt sind und so Fehlanzeigen geben.

Es sei darum ein erst seit wenigen Jahren bekannter Apparat, das Hirthsche Minimeter, von den Fortuna-

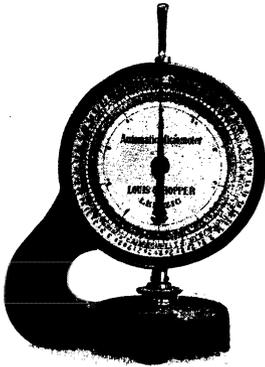


Abb. 31.

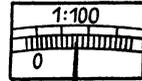


Abb. 32.

Werken in Stuttgart-Cannstatt hergestellt, beschrieben. Abb. 32 zeigt das Prinzip des nur mit einer auf Schneiden ruhenden Hebelübersetzung arbeitenden Apparates.

Die Abnutzung ist dabei auf das denkbar geringste Maß geführt. Abb. 33 zeigt den ganzen Apparat. Die Meßmöglichkeit ist eine sehr weite, der direkte Meßbereich beträgt je nach der Übersetzung bis zu 0,4 mm. Die Einrichtung ist als Toleranzmesser gedacht und läßt die vielseitigsten Meßarten zu. Für die vorliegenden Materialien sind direkte Messungen möglich, wenn die vorkommenden Stärken innerhalb der Werte der Meßskala liegen. Für stärkere Proben wird der Apparat mit Normkaliber eingestellt und ist dann ohne weiteres auch für größere Maße verwendbar.

Bestimmung des spezifischen Gewichts.

Die Errechnung erfolgt aus der Gewichtsbestimmung einer der für die vorigen Proben vorbereiteten Platten im Anlieferungszustand. Die Maße der beliebig großen Proben müssen selbstverständlich mit größter Sorgfalt festgestellt werden.

Bei unregelmäßig geformten Proben ist Abwiegen und Prüfung der

Wasserverdrängung in einem graduierten Meßzylinder erforderlich, es ist dann:

$$\text{Spez. Gew.} = \frac{\text{Gew. der Probe}}{\text{Volumen des verdrängten Wassers}}$$

Für die Ausführung der Bestimmung des spez. Gew. sind verschiedene zu diesem Zwecke besonders gearbeitete sog. hydrostatische Wagen

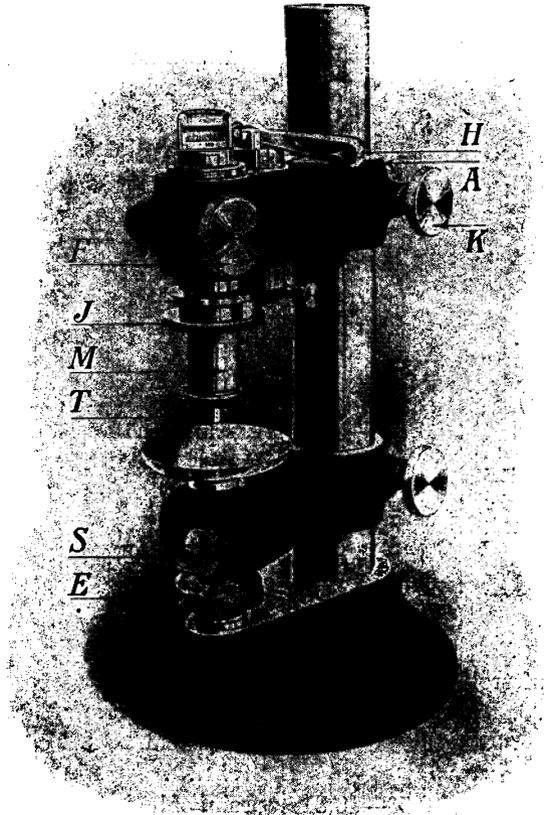


Abb. 33.

gebaut worden, es seien hier nur als Beispiel die Nicolson'sche Senkwage und die Westphal'sche Wage angeführt.

Für die Untersuchung von Flüssigkeiten sind die Methoden in dem Abschnitt „Flüssige Isolierstoffe“ angegeben.

Die Werte für die einzelnen Materialien sind, soweit bekannt, im letzten Teil des Handbuches bei diesen selbst angeführt, um aber der Aufstellung die notwendige Vollständigkeit zu geben, seien hier noch die spezifischen Gewichte der übrigen in der Elektrotechnik gebräuchlichen Materialien angegeben:

Spezifische Gewichte fester Körper.
(Aus der Hütte.)

Aluminium, gehäm-		Linde	0,32— 0,59
mert	2,75	Mahagoni	0,56— 1,06
Antimon	6,7	Nußbaum	0,60— 0,81
Arsen	5,7 — 5,8	Pappel	0,39— 0,59
Asbest	2,1 — 2,8	Pockholz	1,17— 1,39
Blei	11,25—11,37	Roßkastanie	0,38
Bleiglanz	7,3 — 7,6	Rotbuche	0,66— 0,83
Braunstein	3,7 — 4,6	Weißbuche	0,65— 0,82
Bronze	7,4 — 8,9	Holzkohle, luftefüllt	0,4
Cadmium	8,6	Kupfer	8,8 — 9,0
Eis	0,88— 0,92	Marmor	2,52— 2,85
Eisen	7,8 — 8	Messing	8,43— 8,73
Elfenbein	1,83— 1,92	Neusilber	8,4 — 8,7
Flußstahl	7,86	Nickel	8,9 — 9,2
Flußeisen	7,85	Papier	0,7 — 1,15
Gips	1,81	Paraffin	0,87— 0,91
Glas (Fenster)	2,4 — 2,6	Phosphorbronze	8,8
Glas (Flint-)	3,15— 3,90	Platin, gehämmert	21,3
Glas (Kron-)	2,45— 2,72	Porzellan	2,29
Glimmer	2,65— 3,20	Quarz	2,5 — 2,8
Gold, gehämmert	19,30—19,35	Salmiak	1,5 — 1,6
Graphit	1,9 — 2,3	Schiefer	2,65— 2,70
Gummifabrikate	1,0 — 2,0	Schmirgel	4,0
Gußeisen	7,25	Schnee, lose	0,125
Guttapercha	0,96— 0,99	Schwefel, kristallis.	1,96
Hanfaser, lufttrock-		Schwefelkies	4,9 — 5,2
ken	1,5	Silber, gehämmert	10,5 —10,6
Harz	1,07	Speckstein	2,6 — 2,8
Holz, lufttrocken:		Stahl	7,86
Ahorn	0,53— 0,81	Steinkohle i. Stück.	1,2 — 1,5
Akazie	0,58— 0,85	Wachs	0,95— 0,98
Birke	0,51— 0,77	Weißmetall	7,1
Eiche	0,69— 0,89	Wismut, gegossen	9,82
Esche	0,57— 0,94	Wolfram	17,5
Fichte	0,35— 0,60	Zink, gewalzt	7,13— 7,20
Kiefer	0,31— 0,76	Zinn, gewalzt	7,3 — 7,5

Flüssigkeiten:

Glycerin	1,26 bei 0°	Rizinusöl	0,97 bei 15°
Harzöl	0,96 „ 15°	Schwefelsäure	1,05—1,89 „ 15°
Quecksilber	13,59 „ 0°	Seewasser	1,02—1,03 „ 15°

V. Elektrische Prüfungen.

Bearbeitet von K. Bergk.

Im folgenden sollen die Wege angegeben werden, welche bei der elektrischen Prüfung von Isolierstoffen beachtet werden müssen. Es ist Wert darauf gelegt, die Untersuchungen so auszuführen, wie es die Praxis verlangt, und wie sie mit verhältnismäßig einfachen Mitteln wohl jede Firma anzustellen in der Lage sein wird. Die für die Fabrikationskontrolle erforderliche Genauigkeit der Werte wird hiermit vollkommen erreicht.

Neben den Anforderungen, die man an ein Isoliermaterial allgemein in der Schwach- und Starkstromtechnik stellen muß, werden bei Besprechung der einzelnen Punkte von Fall zu Fall auch die Verhältnisse in Rücksicht gezogen werden, die sich bei der Verwendung des Materials in der Hochfrequenztechnik ergeben, und die eine Auswahl derselben unter anderen Gesichtspunkten, als bei der Hochspannungstechnik allgemein üblich, erforderlich machen.

Wenn auch bei einem Isoliermaterial in elektrischer Beziehung der wichtigste Punkt seine Durchschlagsfestigkeit ist, so ist doch eine eingehende Prüfung aller im Arbeitsplan angegebenen Punkte zur Beurteilung unumgänglich nötig, wenn man nicht unangenehme Überraschungen erleben will. Der Mehraufwand an Zeit bei Ausführung einer sorgfältigen umfassenden Prüfung wird sich immer bezahlt machen, zumal bei Verwendung von Ersatzstoffen, die bei der Herstellung infolge Wechsels der Rohmaterialien von Lieferung zu Lieferung verschieden ausfallen können. Es empfiehlt sich deshalb immer, auch bei bereits einmal untersuchten Materialien, bei jeder Neulieferung Prüfungen anzustellen, die sich dann allerdings auf den für die Verwendung hauptsächlich in Betracht kommenden Punkt beschränken können.

Bestimmung der Durchschlagsfestigkeit.

Ehe die Prüfung im einzelnen geschildert wird, sei hier im Gegensatz zur Reihenfolge der früheren Kapitel der Aufbau der Prüfanlage selbst vorweg ausführlich beschrieben.

Die Hochspannungsanlage. Bei Einrichtung derselben muß auf stufenlose Regelung der Spannung in möglichst weiten Grenzen Bedacht genommen werden.

Bei Vorhandensein eines Wechselstromanschlusses ist dies leicht und zweckmäßig zu erreichen durch Verwendung von Tauchdrosselspulen, oder besser noch durch eine Verbindung eines Spartransformators mit mehreren Stufen, welche durch eine Tauchdrossel vor dem Hochspannungstransformator überbrückt werden können (Abb. 34).

Ist nur Gleichstromanschluß vorhanden, so ist entweder ein Einankerumformer zu verwenden, wobei die Regelung auf der Wechselstromseite, wie oben angegeben, ausgeführt wird (Abb. 35), oder ein Maschinensatz, bestehend aus einem Gleichstrommotor, gekuppelt mit einem Wechselstromgenerator, aufzustellen und die Regelung der Wechselstromspannung mit Hilfe von Widerständen in der Wechselstromerregung zu betätigen (Abb. 36). Die Verwendung von 2 Hochspannungstrans-

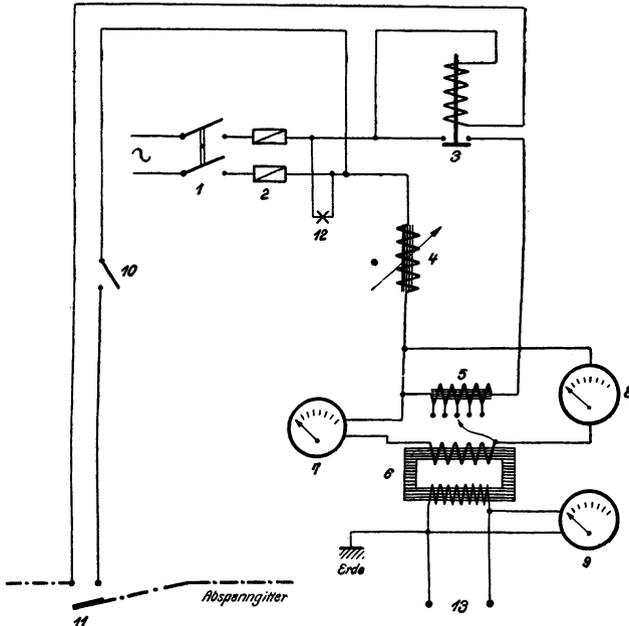


Abb. 34. Schaltung der Hochspannungsprüfanlage (Wechselstromanschluß).

- | | |
|------------------------------|-------------------------------|
| 1 Schalter | 7 Amperemeter |
| 2 Sicherung | 8 Voltmeter f. Niederspannung |
| 3 Blockrelais | 9 Voltmeter f. Hochspannung |
| 4 veränderliche Drossel | 10 Taster |
| 5 Stufentransformator | 11 Blockierung |
| 6 Hochspannungstransformator | 12 Warnlampe |
| | 13 Prüfklemmen |

formatoren mit verschiedenem Übersetzungsverhältnis ist sehr zweckmäßig, um eine bessere Regelung der Spannung, hauptsächlich für niedere Werte, zu erhalten. In diesem Falle wird der eine oder andere Transformator mit einem doppelpoligen Umschalter jeweils an die Wechselstromquelle angelegt.

Zum Ablesen der Hochspannung kann man bis etwa 10 000 Volt mit genügender Genauigkeit statische Voltmeter verwenden, bei höheren Spannungen wird bei diesen Instrumenten die Ablesung zu ungenau, und man arbeitet zweckmäßiger mit Voltmetern auf der Niederspannungsseite des Transformators, die man nach dem Übersetzungsver-

hältnis desselben umeicht und eine Kurve oder Tabelle dafür anfertigt. Für den Meßbereich bis 10 000 Volt sind für sichere Ablesungen drei statische Voltmeter nötig, und zwar bis 2500—5000—10 000 Volt. Auf der Niederspannungsseite kommt man dann mit 2 Instrumenten, deren Meßbereich sich nach den Übersetzungsverhältnissen der verwendeten Transformatoren richten muß, gut aus.

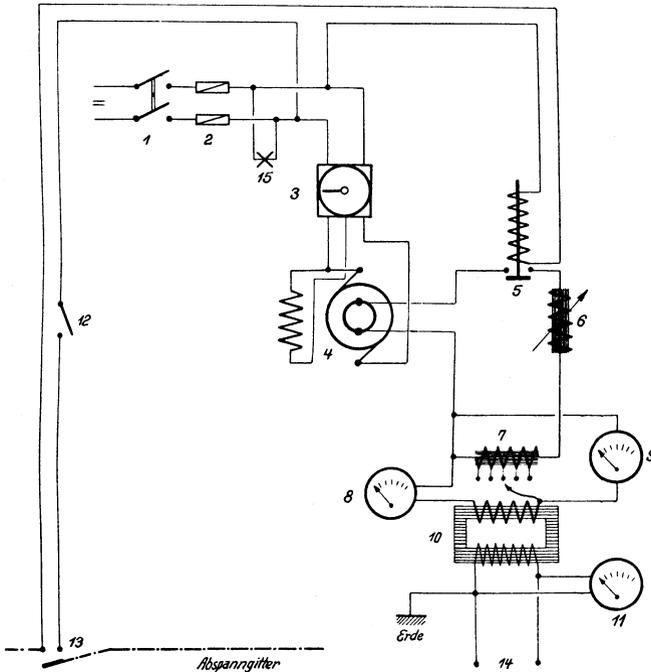


Abb. 35. Schaltung der Hochspannungsprüfanlage (Gleichstromanschluß).

- | | |
|-------------------------|--------------------------------|
| 1 Schalter | 8 Amperemeter |
| 2 Sicherung | 9 Voltmeter für Niederspannung |
| 3 Anlasser | 10 Hochspannungstransformator |
| 4 Einankerumformer | 11 Voltmeter für Hochspannung |
| 5 Blockrelais | 12 Taster |
| 6 veränderliche Drossel | 13 Blockierung |
| 7 Stufentransformator | 14 Prüfklemmen |
| | 15 Warnungslampe. |

In die Primärleitung des Transformators wird zweckmäßig ein Amperemeter eingeschaltet, an dem man beginnende Durchschläge schon erkennen kann, ehe das Material zerstört wird.

Um auch Prüfungen mit **Hochfrequenz** anstellen zu können, wird in Verbindung mit dem Transformator ein Schwingungskreis, bestehend aus Funkenstrecke, Kondensator (Leydener Flasche) und Selbstinduktion (Kupferbandspule) vorgesehen, der leicht an den Transformator anzuschließen ist (stöpselbar) (Abb. 37).

Sollen auch Prüfungen mit hochgespanntem **Gleichstrom** angestellt

werden, so ist der Einbau eines Wechselstromgleichrichters erforderlich (Quecksilberdampf-Gleichrichter oder Gleichrichter mit Glühkathode, eventuell Reihenschaltung mehrerer solcher).

Zu der Anlage gehört noch ein Gefäß (größeres Akkumulatorglas oder Porzellanbottich) mit wasserfreiem Paraffinöl, um Spannungsprüfungen unter Öl vornehmen zu können. Das ist im allgemeinen

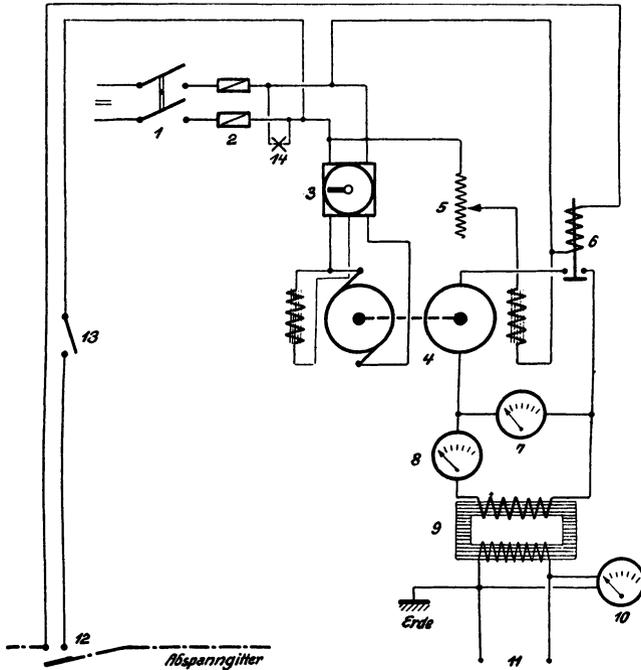


Abb. 36. Schaltung für Hochspannungsraum (Gleichstromanschluß).

- | | |
|--------------------------------|-------------------------------|
| 1 Schalter | 8 Amperemeter |
| 2 Sicherung | 9 Hochspannungstransformator |
| 3 Anlasser | 10 Voltmeter für Hochspannung |
| 4 Zweiankerumformer | 11 Prüfklemmen |
| 5 Spannungsregler | 12 Blockierung |
| 6 Blockrelais | 13 Taster |
| 7 Voltmeter für Niederspannung | 14 Warnungslampe |

nur nötig bei kleinen Materialproben, welche infolge ihrer kleinen Abmessungen Randüberschläge ergeben, ohne daß ein Durchschlag zu erzielen ist.

Alle Hochspannung führenden Teile müssen gemäß den Vorschriften des V. D. E. vor unbefugtem Berühren geschützt sein, ebenso dürfen keine solchen Leitungen an die Schalttafel führen. Der Raum, in dem sich die Anlage befindet, muß als Hochspannungsraum kenntlich sein, und es darf keinesfalls nichteingearbeitetes Personal zu demselben Zutritt haben. Im Hochspannungsraum selbst sind die Hochspannung

führenden Teile mit Gitter abzusperren, und es ist eine Blockierung vorzusehen, die bei Öffnung des Gitters die Anlage spannungslos macht (siehe Abb. 34—36).

Nachdem hiermit die verschiedenen Möglichkeiten für die Ausführung der Prüfanlage geschildert sind, sei nunmehr auf die Beschreibung des Prüfungsvorganges selbst eingegangen.

Die Durchschlagsfestigkeit eines Materials wird bestimmt durch Messung der elektrischen Spannung, welche eben nötig ist, die Probe zu durchschlagen. Hierbei ist, wie bei den mechanischen Prüfungen, die Art der Herstellung des zu untersuchenden Materials zu berück-

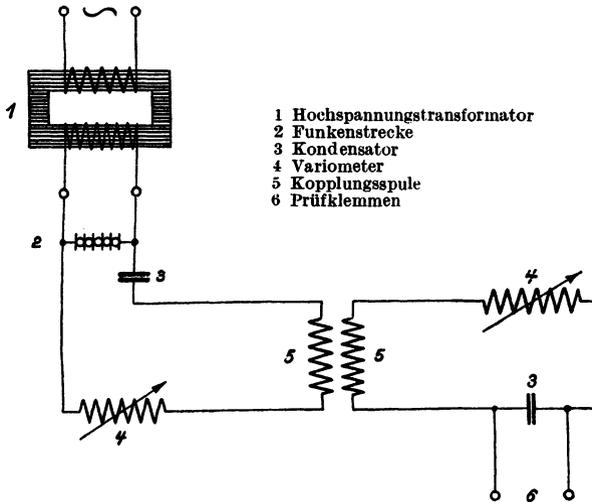


Abb. 37. Prüfeinrichtung bei Verwendung von Hochfrequenz.

sichtigen, da es ja z. B. bei geschichteten Isolierstoffen nicht gleichgültig ist, in welcher Richtung (\perp oder \parallel zur Schichtung) die Beanspruchung erfolgen soll.

Um nun ein möglichst vollständiges Bild über die Brauchbarkeit eines solchen Materials zu erhalten, müssen die Versuche für beide Richtungen durchgeführt werden.

Weiterhin ist zu empfehlen, die Prüfungen nicht nur bei Raumtemperaturen auszuführen, sondern, wie bei den mechanischen Prüfungen bereits vorgesehen, auch über eine größere Temperaturskala auszudehnen, je nachdem eine Verwendung in der Praxis zu erwarten ist. Die Unterschiede können besonders bei Materialien mit leicht fließenden Harzen schon recht beträchtliche sein.

Desgleichen sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß die Durchschlagsfestigkeit wie auch andere elektrische Werte erhebliche Änderungen erfahren durch den Einfluß von Säure, Feuchtigkeit

u. dgl. Alle diese elektrischen Prüfungen sind, soweit für den jeweilig vorliegenden Fall mit solchen Einflüssen gerechnet werden muß, auf entsprechend vorbehandelte Platten auszudehnen. In dieser Arbeit sind die Einzelprüfungen beschrieben, die Kombinationen ergeben sich von Fall zu Fall anders, sie müssen darum der Praxis überlassen werden.

Die Durchschlagsfestigkeit der Isolierstoffe wächst nicht im gleichen Verhältnis mit der Stärke, es genügt darum keinesfalls, eine bestimmte Dicke zu untersuchen und danach die Festigkeit einer anderen zu errechnen. Der Wert für die Dickeneinheit sinkt mit zunehmender Stärke, wie dieses die weiter hinten wiedergegebenen Durchschlagskurven von Porzellan oder Glimmer auch erkennen lassen. Zweckmäßig ist die Beschaffung von 10 Platten, die je nach der elektrischen Güte des Materials um $\frac{1}{10}$ oder ganze Millimeter abgestuft sind. Notwendig ist ferner die Ausführung von mindestens 3 Parallelmessungen, aus deren Mittel dann die Kurve zu fertigen ist.

Als **Proben** dienen Platten von 150×150 mm Größe, die Oberfläche soll unbearbeitet sein oder aber dem Zustande im fertigen Apparate entsprechen. Für einzelne Materialien, wie z. B. Glimmer, wird die Beschaffung so großer Platten Schwierigkeiten machen, man kommt dann auch mit kleineren Größen aus, muß aber u. U. die Prüfungen unter Öl vornehmen, um Randüberschläge zu vermeiden. Zu beachten ist, daß die Werte unter Öl niedriger liegen, weil die Beanspruchung infolge der Unterdrückung der Büschelentladungen höher ist.

Die **Ausführung der Prüfung** geschieht meist in horizontaler Lage der Platten. Die Elektroden erhalten gewöhnlich runde Form von etwa 30 mm \varnothing , sie bestehen aus Messing oder Zink, die Kanten sind zur Herabdrückung der Randstrahlung zu verrunden. Um eine gute Auflagefläche zu erhalten, legt man auf die Elektrodenfläche noch ein Stück Stanniol, dasselbe saugt sich unter der Spannungseinwirkung fest auf, was besonders bei nicht ganz ebenen Platten von Wichtigkeit ist. Die vorgeschlagene flache Elektrodenform hat gegenüber Spitzen den Vorteil, fehlerhafte Stellen im Material sicherer zu entdecken und so schneller zu einwandfreien Ergebnissen zu kommen, bei Spitzen ist das Treffen von Fehlern mehr Zufallssache. Für die Untersuchung von runden, röhrenförmigen Materialien kommen nur Stanniolwicklungen zur Anwendung.

Die **Versuchsplatte** wird auf die auf einem Isolator oder einer Glasplatte befestigte untere Elektrode aufgelegt, so daß beide Platten konzentrisch zueinander liegen, die obere Elektrode muß die untere wieder genau decken.

Die **Spannungseinschaltung** erfolgt nun unter Einhaltung der notwendigen Vorsichtsmaßregeln, die Steigerung bis zum Durchschlag soll kontinuierlich vor sich gehen, bestimmte Zeitvorschriften lassen sich

hierüber nicht geben, jedenfalls soll aber der Vorgang gleichmäßig für alle Proben durchgeführt werden.

Die **Beobachtungen beim Versuch** lassen verschiedene Spannungsstufen erkennen, die Arbeit ist darum möglichst im ganz verdunkelten Raum auszuführen. Es treten zunächst die Dunkelentladungen auf, die sich durch Knistern und Rauschen bemerkbar machen, es folgt die Glimmentladung, die Randstrahlung, die bei zu kleinen Platten zum Überschlag führt, und schließlich der Durchschlag. Der Beginn der einzelnen Entladungen ist im Prüfschein festzulegen, der Versuch ist mit dem Durchschlag abzubrechen. Dieser ist deutlich am plötzlichen Absinken der Spannung erkennbar, falls bei Prüfung fertiger Isolatoren die Durchschlagsstelle nicht ohne weiteres sichtbar ist.

Von Einwirkung auf den Durchschlag ist die Zeit, für die Untersuchung von Einzelplatten mag die geschilderte einfache kontinuierliche Steigerung der Spannung ausreichen, es lassen sich nach Aufnahme mehrerer Parallelwerte einwandfreie Kurven schaffen; für die Massenprüfung von Fertigfabrikaten muß jedoch anders verfahren werden. Materialfehler, Hohlstellen, leitende Beimischungen, wie sie sich gerade in den Kriegersatzstoffen in Form von Gleitschutznägel von Autoreifen, Metallschrauben oder ähnlichem oft fanden, gaben durchaus nicht immer Anlaß zum sofortigen Durchschlag, erst die allmähliche Strahlungswirkung führt diesen herbei. Es ist darum nötig, die Prüfspannung längere Zeit stehen zu lassen. In den Porzellanfabriken ist es üblich, bei der Prüfung von Massenartikeln, wie Deltaglocken od. dgl., die Prüfspannung 15 Minuten wirken zu lassen, schlägt zum Schlusse noch ein Isolator durch, so wird nach Entfernung des Fehlerstückes die ganze Reihe nochmals der 15-Minutenprobe unterworfen.

Für einzelne Materialien, die nur in gewisser Stärke herstellbar sind, ist es für den Konstrukteur erforderlich, zur Erreichung bestimmter Festigkeiten eine größere Anzahl von Platten oder Röhren übereinander zu verwenden. Die Spannungsverhältnisse steigen hier jedoch nicht proportional der Zahl der Lagen.

Für reine Durchschlagsprüfung sind die hier angegebenen Vorschläge ausreichend. Wie vorn erwähnt, kommt es in der Praxis oft vor, Isoliermaterial, das als Baustoff dient, z. B. Trennwände, gleichzeitig als Stützpunkt für Leitungen zu verwenden, oder solche Platten direkt als Sockel für Schalterteile, Stöpselbuchsen od. dgl. zu benutzen. Das Material wird dann nicht quer zur Faserrichtung, sondern mit dieser gleichlaufend auf Isolation beansprucht. Bei Stoffen, welche aus Papierschichtung in Verbindung mit Lacken und Harzen bestehen, tritt dann leicht ein Überschlag oder doch ein Kriechfunken innerhalb der Masse auf. Es ist darum zweckmäßig, die Versuche noch an Platten

durchzuführen, die nach Abb. 38 gebohrt sind. Die Plattengröße betrage 300×250 , die Stärke nicht unter 10 mm, je dicker die Probe, je eher ist zu vermuten, daß innere Lackschichten noch Feuchtigkeit aufweisen. Die Löcher sind glatt für den Durchgang eines 5 mm starken Gewindebolzens zu bohren, letztere sind in der üblichen Weise mit normaler Unterlagscheibe und Mutter beiderseits zu versehen und festzuziehen, sie dienen als Anschlußbolzen. An die Mitte kommt fest der eine Pol des Transformators, der zweite wird wechselnd an die

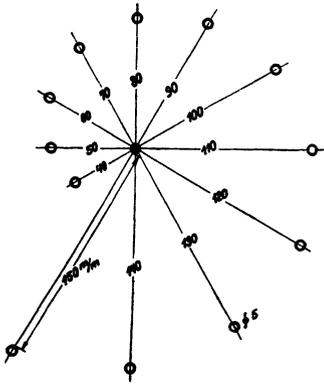


Abb. 38.

anderen Bolzen gelegt, die Spannung ist, falls Durchschläge nicht vorher erfolgen, 15 Minuten an jedem Punkt zu belassen. Die in die Skizze eingetragenen Maße geben die Länge des unberührten Materials zwischen den Löchern an. Die Benutzung von Gewindebolzen erleichtert zwar die Strahlung, doch entspricht dies den in der Praxis meist vorherrschenden Verhältnissen, man wird aus Billigkeitsgründen stets das Gewinde durchlaufen lassen.

Die unter dem Kapitel Durchschlagsprüfung gestellten Aufgaben sind recht umfangreich, es kann jedoch nur empfohlen werden, jeden einzelnen Punkt sorgfältig zu beachten, wenn nicht in der Praxis schwere Rückschläge auftreten sollen.

Bestimmung der Erwärmung unter dauernder Strombelastung.

Jedes Isoliermaterial, auch das beste, läßt einen geringen Strom von einer Elektrode zur anderen fließen, wodurch notwendig eine Erwärmung des Materials erfolgen muß. Außerdem kommen noch Energieverluste hinzu, die durch dielektrische Hysteresis bedingt werden. Die Temperaturzunahme kann ziemlich bedeutende Werte erreichen und zu Zerrungen (Quellen und Aufblähen) des Materials führen.

Die Proben werden in derselben Weise, wie beim Durchschlagsversuch beschrieben, an Hochspannung gelegt, wobei man dünne Elektroden verwendet, die Wärmeisolation haben. An einer Stelle wird diese Isolation entfernt und hier entweder ein Thermometer oder besser ein Thermoelement mit Galvanometer zum Messen der Übertemperaturen angelegt. Man setzt das zu untersuchende Material nacheinander unter verschiedene Spannungen, die man erst dann erhöht, wenn die Temperatur nicht mehr steigt, also ein stationärer Zustand erreicht ist. Erweitert man den Versuch durch Untersuchung an Platten verschiedener Stärke, so kann man aus der hierbei erhaltenen

Kurvenschar auf die spezifische Beanspruchung des betreffenden Materials in Abhängigkeit von der Plattendicke schließen.

Will man lediglich Vergleichswerte zwischen verschiedenen Materialien erhalten, so genügt die Messung bei einer Plattenstärke, die natürlich unter sich gleich sein muß, und einer Spannung, die gerade unter der für das betreffende Material typischen Spannungsgrenze für Glimmentladung liegt.

Bestimmung des Oberflächenwiderstandes.

Der V. D. E. gibt nach dem Bericht der Kommission für Isolierstoffe über das Arbeitsjahr 1912—1913 in der E.-T. Z. Nr. 24, Jahrg. 1913, auf S. 689 folgende Vorschrift:

Der Oberflächenwiderstand wird gemessen auf einer Fläche von 10×1 cm bei 1000 Volt Gleichspannung:

- α) im Zustand der Einsendung, jedoch nach Abschleifen der Oberfläche;
- β) nach 24stündiger Einwirkung von Wasser;
- γ) nach dreiwöchentlicher Einwirkung von 25 proz. Schwefelsäure;
- δ) nach dreiwöchentlicher Einwirkung von Ammoniakdampf.

Zur Messung des Oberflächenwiderstandes werden zwei gerade 10 cm lange, mit Gummi und Stanniol unter den Schneiden gepolsterte Elektroden einander parallel in 1 cm Abstand auf die Platte gesetzt. Siehe den Normalapparat Abb. 39.

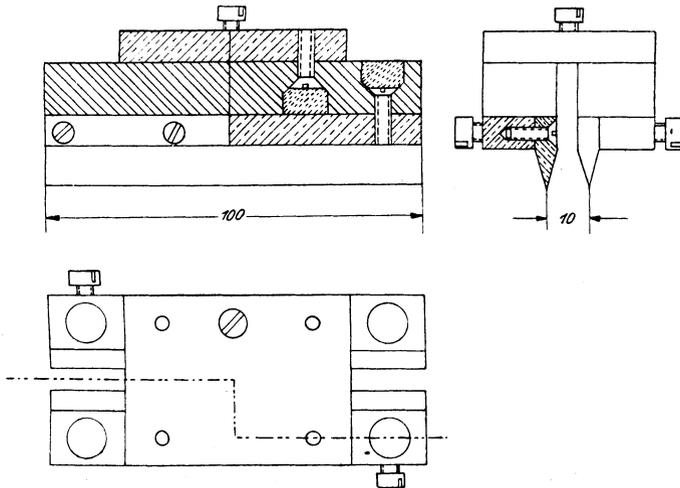


Abb. 39.

Das Schaltschema zeigt Abb. 40. Die eine Elektrode wird über einen Schutzwiderstand von 10 000 Ohm mit dem negativen Pol der Gleichspannung von 1000 Volt verbunden, deren positiver Pol geerdet ist; die andere Elektrode wird mit einer Klemme des Galvanometernebenschlusses verbunden, die andere Klemme liegt an der Erde. Um Kriechströme von der Messung auszuschließen, ist die Zuleitung zum Nebenschluß und von da zum Galvanometer mit einer geerdeten Umhüllung zu versehen, z. B. als Panzerader auszuführen. Die Halteplatte

der Elektroden ist zu erden, das Galvanometer und sein Nebenschluß sind auf geerdete Unterlagen zu stellen; die Empfindlichkeit des Galvanometers soll mindestens 1×10^{-9} Amp. für 1 mm Ausschlag bei 1 m Skalenabstand betragen, durch den Nebenschluß ist die Empfindlichkeit stufenweise auf $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{1000}$, $\frac{1}{10000}$ und $\frac{1}{100000}$ herabzusetzen. Ein Kontakt des Nebenschlusses dient ferner zum Kurzschließen des Galvanometers; zur Eichung des Galvanometerausschlages wird beim Nebenschluß $\frac{1}{10000}$ statt des Oberflächenapparates ein Drahtwiderstand von 1 Megohm eingeschaltet. (Dieser wird aus 0,05 mm starkem Manganindraht unifilar aufgewickelt und braucht nur auf 3% abgeglichen zu sein.) Der Schutzwiderstand besteht aus 0,1 mm starkem Manganindraht, der unifilar auf

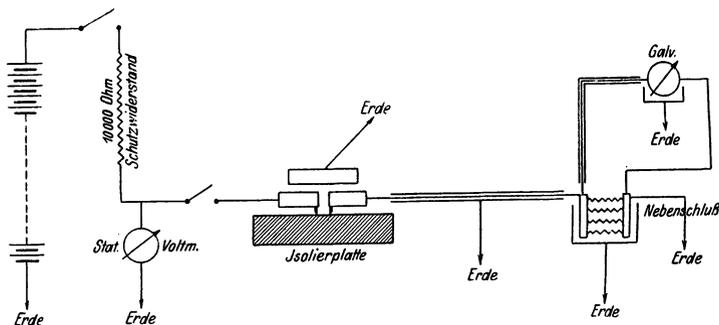


Abb. 40.

ein Porzellan- oder Glasrohr von etwa 6 cm Durchmesser und 50 cm Länge aufgewickelt ist, der Schutzwiderstand ist ebenfalls auf 3% genau abzugleichen. Ein statisches Voltmeter mißt die Spannung hinter dem Schutzwiderstand.

Gang der Messung.

Bei geöffnetem Schalter zwischen Schutzwiderstand und Oberflächenapparat wird mit Hilfe des statischen Voltmeters die Gleichspannung auf 1000 Volt eingestellt. Bei kurzgeschlossenem Galvanometer wird dann der Schalter zu dem Oberflächenapparat geschlossen; sinkt dabei die Spannung des Voltmeters unter 500 Volt, so beträgt der Oberflächenwiderstand des Materials weniger als 10 000 Ohm; bleibt die Spannung über 800 Volt, so kann mit dem Galvanometer gemessen werden.

Die Ablesung des Galvanometerausschlages erfolgt 1 Minute nach dem Anlegen der Spannung.

Die Vergleichszahlen stufen sich folgendermaßen ab:

Oberflächenwiderstand	Vergleichszahlen
unter $\frac{1}{100}$ Megohm	0
1 bis $\frac{1}{100}$ Megohm	1
100 bis 1 Megohm	2
10 000 bis 100 Megohm	3
1 Mill. bis 10 000 Megohm	4
über 1 Mill. Megohm	5

Zu jeder Versuchsreihe sind drei Platten zu verwenden, an jeder Platte sind mindestens zwei Messungen vorzunehmen.

Zu β). Nach dem Herausnehmen aus dem Wasser werden die Platten mit einem Tuch abgerieben und vertikal bei Zimmertemperatur in nicht bewegter

Luft zwei Stunden stehen gelassen, um die äußerlich anhaftende Feuchtigkeit zu entfernen. Danach wird die Messung vorgenommen.

Zu γ). Nach dem Herausnehmen aus der Schwefelsäure werden die Platten etwa 1 Minute in fließendem Wasser abgespült, danach wie unter β) behandelt.

Zu δ). Die Platten werden in großen Glasgefäßen aufgehängt, auf deren Boden eine gesättigte wässrige Ammoniaklösung sich befindet, die Gefäße werden mit Glasplatten abgedeckt. Von drei zu drei Tagen wird etwas Ammoniak zugefüllt, um die Verluste an Ammoniakdampf zu decken. Nach dem Herausnehmen aus den Gefäßen werden die Platten nach Feststellung des Aussehens mit einem trockenen Tuch abgerieben und gemessen.

Als Proben sind

$$4 \times 3 = 12 \text{ Platten}$$

$$200 \times 50 \times 10 \text{ mm}$$

erforderlich.

Die Messungen $\alpha \beta \gamma \delta$ sind an jeder Platte dreimal an verschiedenen Stellen auszuführen, aus den drei Werten ist das Mittel zu nehmen.

Nach den Beobachtungen in der Praxis ist die Oberflächenmessung allein nicht ausreichend; diese ist zu sehr von den Einflüssen der jeweiligen Luftfeuchtigkeit abhängig. Die Meßwerte können danach erheblich schwanken, es ist darum nötig, die Luftfeuchtigkeit und möglichst auch die Temperatur des Meßraumes mit anzugeben.

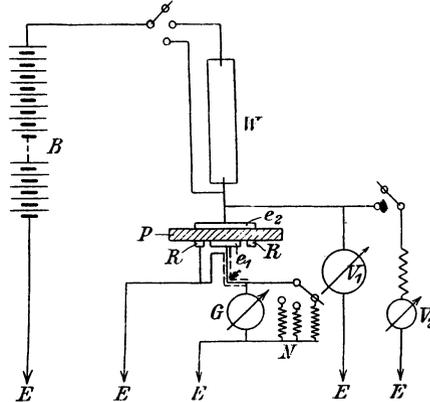


Abb. 41.

Bestimmung des Durchgangswiderstandes.

Anschließend an die Messung des Oberflächenwiderstandes ist die Untersuchung des Durchgangswiderstandes (Isolationswiderstandes) auszuführen.

Der V. D. E. hat auch hierüber schon Vorarbeiten durch die P. T. R. vornehmen lassen, die in der E. T. Z. Nr. 18, Jahrg. 1912, S. 452 veröffentlicht sind. Die Wiedergabe erfolgt hier wörtlich wie bei den bereits vorher angezogenen V. D. E.-Vorschriften in besonderem Druck.

Zur Messung des Durchgangswiderstandes wurden die Isolationsplatten zwischen zwei scheibenförmige Elektroden gebracht; an diese wurde eine Gleichspannung E gelegt, und der durch die Platten fließende Strom J mit einem Galvanometer gemessen. Als Durchgangswiderstand ist das Verhältnis von Spannung und Strom $\frac{E}{J}$ bezeichnet. Die Meßanordnung ist in Abb. 41 skizziert. Die eine Elektrode e_2 ist über den Wasserwiderstand W mit dem einen Pol der Batterie B verbunden, e_1 ist über das Galvanometer G geerdet. Der geerdete Schutzring R soll die durch Oberflächenleitung von e_2 nach e_1 fließenden Ströme abfangen.

Der zum Schutze des Galvanometers eingeschaltete Wasserwiderstand W von ca. 0,5 Megohm ist im allgemeinen gegenüber dem Widerstand der Platten zu vernachlässigen. Bei schlechter Isolation der Platten wurde das Galvanometer durch ein empfindliches Zeigerinstrument (Voltmeter) ersetzt, der Wasserwiderstand gegen einen Drahtwiderstand vertauscht oder ganz weggelassen.

Die Spannung an der Elektrode e_2 wird während der Messung mit dem statischen Voltmeter V_1 kontrolliert. Das Galvanometer G zur Strommessung mit den Nebenschlüssen N ist gut isoliert aufgestellt. Die Zuleitungen sind durch geerdete metallische Umhüllungen gegen ein Hineinkriechen von umherirrenden Strömen geschützt.

Der Durchgangswiderstand wurde bei einer Spannung von 1000 Volt und einem Flächeninhalt der Elektrode e_1 von 50 qcm an 16 Platten jeder Sorte gemessen. Die Ablesungen wurden 1 Minute nach dem Anlegen der Spannung vorgenommen. Nach dieser Zeit waren die Änderungen des Widerstandes nur noch unbedeutend. Bei den schlechter isolierenden Materialien zeigten sich an verschiedenen Platten der gleichen Sorte zum Teil größere Unterschiede des Durchgangswiderstandes, in einigen Fällen bis zu zwei Zehnerpotenzen. Bei den besser isolierenden Plattensorten waren die Unterschiede geringer.

Weitere Messungen an einzelnen der schlechter isolierenden Materialien mit verschiedenen Spannungen zwischen 100 und 3000 Volt bestätigten die bekannte Tatsache, daß das Ohmsche Gesetz für den Durchgangswiderstand keine Gültigkeit hat, sondern daß der Durchgangswiderstand mit zunehmender Spannung abnahm, und zwar um so stärker, je schlechter das Material isoliert. Eine gesetzmäßige Abhängigkeit des Durchgangswiderstandes von der Dicke der Platten konnte nicht festgestellt werden. Der Grund hierfür ist wohl in der Inhomogenität des Materials zu suchen.

Bestimmung des inneren Widerstandes.

Der Verfasser hat in der Praxis gefunden, daß die vorgenannten Messungen nicht immer ausreichen, die Oberflächenmessung hängt, wie erwähnt, zu sehr von der Luftfeuchtigkeit ab, wodurch leicht Täuschungen hervorgerufen werden, die Messung des Durchgangswiderstandes gilt nur für homogenes Material, für geschichtete Stoffe können, wie schon bei der Durchschlagsprüfung erwähnt, wesentliche Unterschiede bei der Messung \perp oder \parallel zum Lagenverlauf gefunden werden. Auch hier spricht wieder die Dicke des Materials mit, bei dünneren Stärken werden auch die inneren Schichten durchbakeleisiert sein, während bei größeren Stärken dieser Vorgang nicht immer erreicht wird und damit wesentlich schlechtere Werte erzielt werden können. Hierzu kommt noch, daß für die Oberflächenmessung nicht allgemein vorgeschrieben werden kann, die Außenfläche des Materials zu schleifen, es muß da je nach der vorliegenden Materialart entschieden werden. Gewisse Materialsorten bedingen die Erhaltung der Fabrikationshaut, wie beispielsweise alle Stoffe mit Asbest oder Holzfaser als Füllung, diese würden sogleich eifrig Feuchtigkeit aufsaugen und so überhaupt keinen konstanten Meßwert ergeben. Solche Isolierstoffe lassen sich darum auch fast nur als Preßstücke für Schalter, Sicherungen und dergleichen verwenden. Andere Stoffe, wie z. B. Hartgummi, werden

des schöneren Aussehens der Platten wegen mit einer polierten Außenhaut geliefert. Diese wird durch ein Verfahren erzeugt, das metallische Rückstände hinterläßt, und muß unbedingt eine Bearbeitung vorgenommen werden. Der Verfasser wäre erfreut, wenn diese Zeilen dazu beitragen würden, recht viele hierfür zuständige Fabrikanten zu veranlassen, das ganz unzweckmäßige Verfahren zu beseitigen.

Der Meßvorgang ist der gleiche wie bei der Bestimmung des Oberflächenwiderstandes. An Stelle der dort benutzten Aufsatzschienen ist jedoch folgende Einrichtung zu treffen.

In die Proben, die Plattenform in der Größe von $150 \times 150 \times 10$ mm haben können, werden im Abstand von 10 mm von Lochkante zu Lochkante etwa 10 Löcher gebohrt, die konisch aufzureiben sind. In je 2 benachbarte Löcher werden 2 Konusstöpsel, wie solche auf Widerstandsstöpselbrücken üblich sind, fest eingesetzt. Die Oberfläche der Probe ist beiderseitig zu schleifen. Die Konusstöpsel tragen an ihrem oberen Ende Anschlußklemmen, die wie im Schema für die Oberflächenmessung, Abb. 41, angeschlossen werden. Die Messungen sind zwischen verschiedenen Lochpaaren vorzunehmen und die Werte untereinander zu vergleichen.

Für die Messung gelten die gleichen Gütezahlen wie oben.

Soll das Material als Isolation zwischen Kontakten dienen, die hochfrequente Ströme mit hohem Spannungsunterschied führen, so empfiehlt sich eine Prüfung mit der Anordnung nach Abb. 38. Man koppelt mit der Selbstinduktionsspule induktiv oder konduktiv eine zweite größere Selbstinduktion, die mit einem veränderlichen Kondensator einen zweiten Schwingungskreis (angestoßenen Kreis) bildet und mit Hilfe des Kondensators auf den ersten Kreis (Stoßkreis) abgestimmt werden kann. Als Resonanzanzeiger dient ein Amperemeter im zweiten Schwingungskreis. Je größer die Selbstinduktion des zweiten Kreises im Verhältnis zu der des ersten und damit die Kapazität des zweiten Kreises im Verhältnis zu der des ersten Kreises kleiner wird, um so höher wird die Spannung im zweiten Kreis.

Zur Untersuchung legt man das Material mit den zur Messung des inneren Widerstandes oben angegebenen Kontakten an die beiden Belegungen des Kondensators im zweiten Kreis und unterzieht es einer Dauerbelastung von 10 Minuten. Hierbei werden speziell geschichtete Materialien bei schlechter Schichtung und Klebung sich stark erwärmen und aufblähen.

Bei unbrauchbarer Oberflächenbeschaffenheit tritt durch die starke Ionisation Sprühen zwischen den beiden Kontakten auf, das zur Verkohlung des Materials und zum endlichen Überschlag führt. Wenn diese Prüfung auch keine absoluten Werte ergibt, so erhält man doch Vergleichswerte zwischen verschiedenen Materialien, die ebenfalls zur allgemeinen Beurteilung beitragen.

Die Bestimmung der Dielektrizitätskonstante.

Als Dielektrizitätskonstante k eines Materials bezeichnet man diejenige Zahl, die das Verhältnis der Kapazitätsänderung eines Kondensators angibt, wenn bei demselben an Stelle von Luft das zu untersuchende Material als Dielektrikum benutzt wird. Luft ist dabei mit $k = 1$ gesetzt.

Die Bestimmung der Dielektrizitätskonstante ist für viele Fälle nicht nötig, sondern kommt nur dann in Frage, wenn das betreffende Material im Kondensatorenbau als Zwischenlage für Kondensatorbeläge Verwendung finden soll. Als Dielektrikum eignen sich nur wenige Isoliermaterialien, z. B. Glas, Glimmer, Papier (getränkt), Hartgummi und dergleichen. Bei diesen ist unbedingt die Dielektrizitätskonstante aufzunehmen. Bei allen anderen Isoliermaterialien ist von Fall zu Fall zu entscheiden, ob eine Aufnahme nötig erscheint. Immerhin sollte eine solche in allen Fällen versucht werden, da auch diese Untersuchung zu einer erschöpfenden Beurteilung eines Materials wesentlich beiträgt. Sollten für eine Isolation mehrere Isoliermaterialien übereinander Verwendung finden, so ist die Bestimmung der Dielektrizitätskonstante äußerst wichtig, da grundsätzlich in diesem Fall nur Materialien mit möglichst gleicher Konstante genommen werden sollten. Bei Verschiedenheit der Konstanten tritt eine ungleiche Verteilung der spezifischen Beanspruchung der einzelnen Schichten auf, die leicht zur Zerstörung der Isolation führen kann.

Die Ermittlung der Konstante erfolgt in der Weise, daß man aus der zu untersuchenden Platte durch beiderseitiges Auflegen von Stanniolbelägen einen Kondensator herstellt und die Kapazität desselben mit Hilfe der Wheatstoneschen Brückenschaltung (Abb. 42) bestimmt.

Hierbei ist

C_1 Versuchskondensator,

C_2 Normalkondensator,

$x + y$ Meßdraht,

1 Telephon,

2 Induktor,

3 Unterbrecher,

4 Batterie.

Wird durch Verschieben des Meßdrahtschiebers der Ton im Telephon zum Verschwinden gebracht, so ergibt sich

$$C_1 = \frac{C_2 \cdot y}{x}.$$

Die Kapazität des Kondensators mit Luft als Dielektrikum für zwei parallele Platten von der Fläche F und dem Abstand δ

$$C = \frac{F}{4 \cdot \pi \cdot \delta}$$

für zwei konzentrische Zylinder mit den Radien r_1 und r ($r_1 > r$)

$$C = \frac{l}{2 \log_{\text{nat}} \frac{r_1}{r}}$$

die Dielektrizitätskonstante

$$k = \frac{C_1}{C}$$

Für Versuchsplatten von nicht zu geringer Stärke läßt sich die Messung in einfacher Weise auch folgendermaßen ausführen.

Zwischen zwei Metallelektroden, die isoliert voneinander so an einem Gestell angebracht sind, daß die eine mit einem feststellbaren Kugelgelenk und außerdem zur Veränderung des Abstandes verschiebbar angeordnet ist, wird die Versuchsplatte gebracht, und die Kapazität wie oben angegeben gemessen. Darauf wird die Platte, ohne die Elektroden zu verändern, entfernt und wiederum gemessen. Man umgeht bei dieser Anordnung die Berechnung und erhält auch bei nicht planparallelen Flächen der Versuchsplatte recht brauchbare Werte.

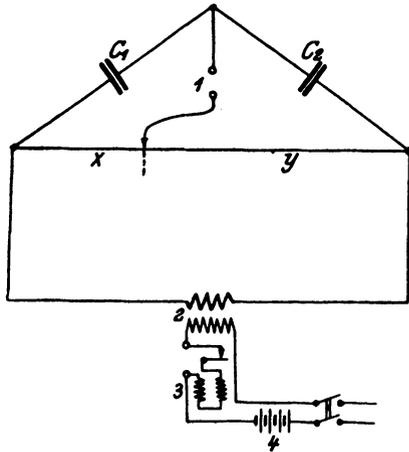


Abb. 42.

Dielektrizitätskonstanten einiger Isolierstoffe.

Luft 1,	Olivenöl 3,
Kolophonium 2,6,	Paraffin, fest 2—2,3,
Glas, Spiegel-, weiß 6,	Petroleum 2—2,3,
Glas, Flint-, sehr leicht 6,61,	Porzellan 4,4,
Glas, Flint-, leicht 6,72,	Rapsöl 2,3,
Glas, Flint-, schwer 7,4,	Rizinusöl 4,7,
Glas, Flint-, sehr schwer 9,9,	Rüböl 3,
Glimmer 4—8,	Schellack 2,7—3,7,
Guttapercha 4,2,	Schwefel 12,4,
Hartgummi 2—3,	Siegellack 4,3,
Kautschuk, braun 2,12,	Terpentinöl 2,3,
Kautschuk, grau 2,7,	Wasser 80.

Bestimmung der Dämpfung bezogen auf Luft.

Wenn auch die Bestimmung der Dämpfung eines Isoliermaterials, d. h. die Bestimmung der Energieverluste, die in demselben auftreten können, in erster Linie dann in Frage kommt, wenn das Material als Dielektrikum in einem Kondensator oder als Konstruktionselement für Körper von Hochfrequenzspulen verwendet werden soll, so wird man doch der Vollständigkeit der Untersuchung halber die Messungen ausführen, zumal dieselben zur Charakterisierung des Materials wesentlich beitragen.

Unbedingt nötig sind die Untersuchungen überall da, wo das Material, wie schon oben gesagt, als Kondensatorzwischenlage (Dielektrikum) verwendet wird, oder in Fällen, in denen auf das Material Spulen für Hochfrequenzkreise, speziell für ungedämpfte Schwingungen, gewickelt werden sollen. In beiden Fällen treten bei schlechten Materialien Verluste auf, die die Arbeit eines Apparates vollständig in Frage stellen können.

Die Messung erfordert einen großen Grad von Genauigkeit und darf niemals mit behelfsmäßigen Mitteln ausgeführt werden, da geringe Fehler, die durch den Aufbau der Prüfeinrichtung hervorgerufen werden, vollständig falsche Bilder ergeben können. Gründe für solche Fehler können z. B. sein: Gegenseitige Beeinflussung der Meßkreise, verschieden lange Leitungen in dem zu untersuchenden und im Vergleichskreis usw.

Die eindeutigste Meßmethode ist jedenfalls diejenige, in der das Material in einem Kondensator als Dielektrikum untersucht wird. Abb. 43 zeigt die Prüfanordnung, und zwar unter Verwendung einer Glühkathodenröhre als Hochfrequenzgenerator.

Die Prüfanordnung besteht aus der Glühkathodenröhre 1, welche als Hochfrequenzgenerator für den primären Schwingungskreis, der von dem Kondensator 3 und der Selbstinduktionsspule 4 gebildet wird, dient. An Stelle des Kondensators 3 mit Feineinstellung kann auch ein fester Kondensator unter Parallelschaltung eines kleinen variablen Kondensators Verwendung finden. Die Wellenlänge für die Messung wird zweckmäßig klein (etwa 300—500 m) gewählt.

Der primäre Schwingungskreis überträgt seine Schwingungsenergie mit Hilfe der Kopplungsspule 5 auf den Sekundärkreis, der gebildet wird aus der Kopplungsspule 5, der stöpselbaren Selbstinduktionsspule 6 und den Kondensatoren 9 oder 10, wobei 9 ein fester Kondensator mit dem zu untersuchenden Material als Dielektrikum, 10 ein variabler Normalluftkondensator ist. Dieser letztere soll möglichst versilberte Plattensysteme und Einbauteile haben und die Zuleitung zum beweglichen System mit Hilfe eines einwandfreien Schleifkontaktes und nicht mit Spiralfedern erfolgen.

Es ist äußerst wichtig, sich davon zu überzeugen, daß bei Verwendung ein und desselben Kondensators auf beiden Schaltstellungen des Umschalters die genau gleiche Abstimmung gewahrt bleibt. Ist dies nicht der Fall, so sind die Leitungen zwischen Umschalter und Anschlußklemmen für die Kondensatoren so zu ändern, daß absolute Gleichheit herrscht. Ebenso müssen natürlich die Zuleitungen von den Anschlußklemmen zu den beiden Kondensatoren 9 und 10 gleich lang und gleich weit voneinander entfernt sein. Der Wattzeiger 7 mit Kopplungsspule dient einmal als Resonanzanzeiger, andererseits gestattet er, direkt Energievergleiche anzustellen. Seine Empfindlichkeit soll

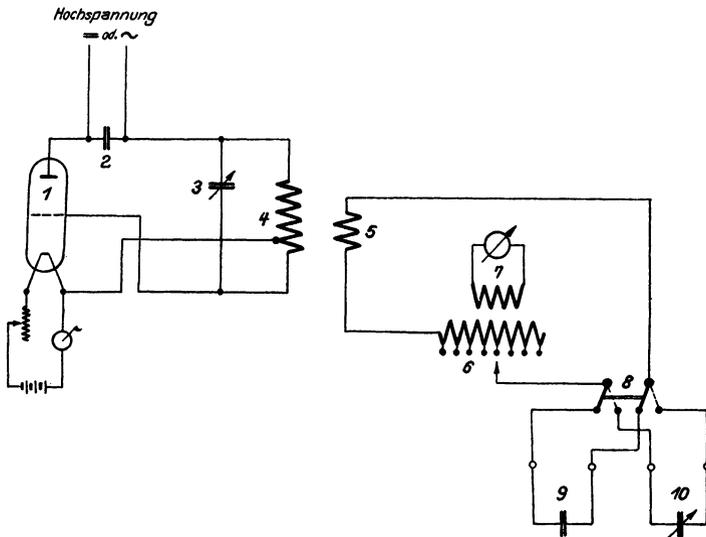


Abb. 43.

möglichst groß sein. Ein brauchbares Instrument ist der Wattzeiger von Hartmann & Braun mit einer Empfindlichkeit von $0,3 \cdot \frac{1}{10}$ Watt gesamte Skala.

Der Gang der Messung ist folgender: Das zu untersuchende Material wird zwischen die im Abstand verstellbaren Platten des Kondensators 9 so eingeklemmt, daß es allseitig über diese hinausragt. Der Umschalter steht auf 9. Die Kopplungsspule 5 wird fest gekoppelt und mit 6 grob abgestimmt. Hierauf stimmt man mit dem variablen Kondensator des Primärkreises fein nach. Die Kopplungsspule wird loser gekoppelt und nachgestimmt. Man koppelt so lange loser und stimmt nach, bis der Wattzeiger eine deutliche Energieabnahme bei noch loserer Kopplung erkennen läßt. Hierauf wird der Umschalter auf 10 gelegt unter Beibehaltung aller anderen Stellungen, und stimmt man jetzt mit 10 auf genaue Resonanz ab. Der Unterschied der Aus-

schläge des Wattzeigers in den beiden Schaltstellungen ergibt den Unterschied der Energie im Meßkreis bei Verwendung des zu untersuchenden Kondensators und des Luftkondensators, und kann hieraus direkt in Prozenten der Energieverlust in dem zu untersuchenden Material gegenüber Luft errechnet werden.

Beispiel:

Ausschlag des Wattzeigers bei Stellung des Umschalters auf
10 = 25 Skalenteile,

Ausschlag des Wattzeigers bei Stellung des Umschalters auf
9 = 20 Skalenteile,

Verlust in Prozenten $\frac{(25 - 20) \cdot 100}{25} = 20\%$.

Bestimmung der Lichtbogensicherheit.

Alle Materialien, die in oder an Apparaten verwendet werden, mit denen Stromkreise unterbrochen werden, die das Ziehen von Lichtbogen zur Folge haben können, sind auf Lichtbogensicherheit zu untersuchen

Der V. D. E. schreibt hierüber folgendes vor:

Die Platte wird horizontal gelegt und zwei angespitzte Reinkohlen von 8 mm Durchmesser in einem Winkel von etwas mehr als einem rechten gegeneinander auf die Platte gesetzt, etwa um 60° gegen die Horizontale geneigt. An die Kohlen wird eine Spannung von etwa 220 Volt gelegt unter Vorschalten eines Widerstandes von 20 Ohm. Nach Bildung des Lichtbogens zwischen den Kohlen werden diese mit einer Geschwindigkeit, die 1 mm in der Sekunde nicht überschreiten soll, auseinandergezogen. Es werden dann folgende vier Stufen der Sicherheit gegenüber dem Lichtbogen unterschieden:

- a) Der Lichtbogen läßt sich nicht über seine normale Länge von etwa 20 mm ausziehen.
- b) Der Lichtbogen läßt sich weiter als etwa 20 mm ausziehen, es bildet sich aber keine zusammenhängende leitende Brücke im Material.
- c) Unter dem Lichtbogen bildet sich eine leitende Brücke im Material, welche aber nach dem Erkalten ihre Leitfähigkeit verliert.
- d) Unter dem Lichtbogen bildet sich eine leitende Brücke im Material, welche auch nach dem Erkalten leitend bleibt.

Als Probe dient eine Platte der Größe 150 × 150 × 10 mm. Der Versuch ist auf jeder Platte dreimal auszuführen.

VI. Chemische Prüfungen.

Feststellung der Zusammensetzung.

Diese Untersuchung wird für den Elektrotechniker bei Isolierstoffen weniger von Interesse sein im Gegensatz zur Untersuchung von leitendem Material, wo ihm die chemische wie metallographische Untersuchung wichtige Aufschlüsse geben können. Für die Beurteilung von

Isoliermaterialien geben die vielen anderen hier angeführten Prüfmethoden viel wertvollere Anhaltspunkte.

Die Zusammensetzung der einzelnen Stoffe ist nach Möglichkeit im letzten Kapitel des Buches unter der alphabetischen Aufzählung und Einzelbehandlung angeführt, sie werden meist genügen. Sind in einzelnen Fällen wirklich rein chemische Analysen notwendig, so fallen diese aus dem Arbeitsgebiet des praktischen Ingenieurs, für den dieses Handbuch allein dienen soll, heraus und sind bei der Schwierigkeit der Untersuchung und vielartigen Zusammensetzung der Stoffe Aufgabe des Chemikers.

B. Prüfung von flüssigen Isolierstoffen einschl. erhärtender Lacke u. dgl.

Bearbeitet von H. Franz.

I. Allgemeine Vorfagen über Herkunft und Lieferungsform.

Der im vorhergehenden Abschnitt aufgestellte ausführliche Fragebogen kann für die flüssigen Isolierstoffe keine Verwendung finden, die Fragen beschränken sich auf

genaue Bezeichnung des Materials,
Lieferant oder Hersteller,
Ursprungsprodukt,
Lösungsmittel,
Gewinnungsverfahren,
Verwendungszweck.

Schon eine etwas eingehendere Beantwortung dieser Fragen gibt wertvolle Aufschlüsse über das angebotene Material und kann in vielen Fällen von vornherein für eine Verwerfung desselben maßgebend sein. So wird man beispielsweise ein Öl, das ein Destillationsprodukt des Erdöls (Mineralöl) sein soll, verwerfen, wenn die Beantwortung der Frage nach dem Ursprungsprodukt ergibt, daß es sich um ein Destillat des Steinkohlenteers handelt.

Sehr oft wird man über diese Fragen vom Lieferanten keine Auskunft bekommen können, da der Handel mit flüssigen Isolierstoffen zumeist in rein kaufmännischen Händen liegt. Für die Betriebsschmiermittel wird man zumeist Angaben über Flüssigkeitsgrad und Flammpunkt erhalten können, seltener solche über chemische Beschaffenheit, fast nie über elektrische Werte. Eine Nachprüfung der vom Lieferanten angegebenen Eigenschaften ist auf alle Fälle durchzuführen.

Die Lieferungsform ist für Öle und Fette ohne weiteres gegeben; einer Aufklärung bedarf diese Frage jedoch für Lacke, die sowohl in flüssiger als auch in fester Form dem Verbraucher zugeführt werden.

II. Verwendung und Lieferungsbedingungen.

Zu Isolationszwecken finden Öle und Lacke in der Elektrotechnik weitgehendste Verwendung.

In erster Linie kommen die Öle zur Füllung von **Transformatoren** und **Schaltapparaten** in Betracht. Die Anforderungen, die an diese Öle zur Vermeidung von Betriebsstörungen gestellt werden müssen, haben zu besonderen Lieferungs Vorschriften der Vereinigung der Elektrizitätswerke geführt, die u. a. auch einige bestimmte Prüfvorschriften, so z. B. zur Bestimmung der Teerzahl, enthalten. Es wird von Transformatorölen folgendes verlangt:

Die Öle sollen reine, hochraffinierte Mineralöle¹⁾ sein.

Spezifisches Gewicht bei 15° C	0,85—0,92
Flüssigkeitsgrad n. Engler bei 20° C	nicht über 8
Flammpunkt im offenen Tiegel	nicht unter 160° C
Brennpunkt im offenen Tiegel	nicht unter 180° C
Gefrierpunkt	nicht über —20° C

(Das Öl muß, im Reagenzglas von 15 mm Weite in einer Höhe von 4 cm eingefüllt, nach 1 Stunde Abkühlung auf —20° umgedreht noch fließend und klar sein.)

Der Verdampfungsverlust darf nach fünfstündigem Erhitzen auf 100° C nicht mehr als 0,4% betragen.

Das Öl soll frei von Säure, Alkali, Schwefel und Wasser sein.

Harzöle dürfen mit Mineralöl nicht vermischt werden.

Bei Temperaturerhöhung auf 100° C darf das Öl nur wenig nachdunkeln und muß unbedingt klar bleiben, da bei Ausscheidung von harzigen und asphaltähnlichen Stoffen die Isolierfähigkeit herabgesetzt und damit der Zweck des Öles hinfällig wird.

Das Öl darf keine mechanischen Verunreinigungen enthalten.

Die von der Vereinigung der Elektrizitätswerke vorgeschriebenen Prüfverfahren auf Verharzungsfähigkeit und zur Bestimmung der Teerzahl werden weiter unten im Abschnitt über Prüfung der Öle und Lacke beschrieben werden.

Obwohl das vorliegende Handbuch nur die isolierenden Stoffe der Elektrotechnik behandeln sollte, erscheint es dem Bearbeiter zweck-

¹⁾ Früher gebrauchte man der besseren Isolierfähigkeit wegen für Transformatoren Harzöl; ein Nachteil gegenüber Mineralöl ist seine größere Verdampfbarkeit. Da es für Schalter überhaupt nicht in Frage kommt, wegen der durch Lichtbogen in Erscheinung tretenden Kohlenstoffablagerung und des dadurch gefährdeten Isoliervermögens, hat man sich wohl der Einheitlichkeit wegen für Mineralöl entschieden.

mäßig, bei Besprechung der Öle auch die für elektrische Maschinen in Frage kommenden **Schmieröle** und **Fette** einer etwas eingehenderen Betrachtung zu unterziehen, zumal die Prüfung derselben mit den für Transformatorenöle nötigen Apparaten und den gleichen Verfahren durchgeführt werden kann, andererseits von diesen Betriebsstoffen in vielen Fällen auch eine gewisse Isolierfähigkeit gefordert wird, die durch die Beschaffenheit des betreffenden Stoffes in Frage gestellt werden kann und daher eine Prüfung seiner Eigenschaften bedingt.

Bei der Auswahl von Ölen für Dynamomaschinen und Elektromotoren sind folgende Punkte in Erwägung zu ziehen.

Die zur Reibungsverminderung zwischen den aufeinanderarbeitenden Teilen erforderliche Zähflüssigkeit (Viskosität) des Öles ist abhängig von Druck, Temperatur und Geschwindigkeit der Teile. Die Zähflüssigkeit ist bei Ölen nur ein anderer Ausdruck für Kohäsion, d. h. die Größe der molekularen Anziehungskraft und bedingt die innere Reibung des Schmiermittels. Die äußere Reibung dagegen ist abhängig von der Fähigkeit des Öles, an den gleitenden Flächen zu haften, also von seiner Adhäsion, die hier mit Schlüpfrigkeit bezeichnet wird.

Über die Beziehung von Zähflüssigkeit und Schlüpfrigkeit zu Druck, Temperatur und Geschwindigkeit sagt Rupprecht¹⁾ folgendes:

Je höher die Temperatur steigt, desto kleiner werden Schlüpfrigkeit und Zähflüssigkeit. Je größer der Druck wird, desto größer muß die Schlüpfrigkeit und die Zähflüssigkeit sein. Je größer die Geschwindigkeit, desto kleiner muß die Zähflüssigkeit sein.

Es erfordern also:

Großer Druck bei geringer Geschwindigkeit eine große Zähflüssigkeit und große Schlüpfrigkeit.

Großer Druck bei großer Geschwindigkeit eine kleinere Zähflüssigkeit und eine große Schlüpfrigkeit.

Kleiner Druck bei geringer Geschwindigkeit eine große Zähflüssigkeit und eine kleine Schlüpfrigkeit.

Kleiner Druck bei großer Geschwindigkeit eine kleinere Zähflüssigkeit und geringe Schlüpfrigkeit.

Unter Berücksichtigung dieser Umstände ergibt sich für elektrische Maschinen, bei denen kleine Drucke bei großen Geschwindigkeiten die Regel bilden, die Anwendung von Ölen mit kleiner Zähflüssigkeit und geringer Schlüpfrigkeit. Flammpunkt und Brennpunkt spielen keine besondere Rolle.

Dynamoöle bekannter Ölwerke haben im Durchschnitt folgende Werte:

¹⁾ Schmiermittel, Bibliothek der gesamten Technik. Dr. Max Jänecke, Hannover.

Spezifisches Gewicht	0,85— 0,90
Flüssigkeitsgrad nach Engler	
bei 20°	9 —15
„ 50°	3
Flammpunkt	160—200°
Brennpunkt	190—230°

Zu fordern ist außerdem, daß das Öl frei von mechanischen Verunreinigungen, Wasser und Säure ist.

Die bayerischen Staatsbahnen haben „Besondere Bedingungen für die Lieferung von Mineralschmierölen für Dynamo- und Gaskraftmaschinen zur Weichen- und Signalzentralisierung“ herausgegeben, die, wie folgt, lauten:

Das Mineralschmiermittel muß ein vollständig klares, reines, säure- und wasserfreies Destillat sein und darf weder pflanzliche noch tierische Öle und Fette, noch sonstige fremdartige Beimengungen enthalten.

In dünnen Schichten längere Zeit den Einwirkungen der Luft ausgesetzt, soll es weder verharzen noch eintrocknen.

Das spezifische Gewicht darf bei +15° nicht unter 0,900 und nicht über 0,915 sein.

Der Entflammungspunkt soll bei Bestimmung im Penskyapparat nicht unter 175° C liegen. Die Viskosität soll — auf Wasser von 20° C = 1 bezogen — in dem amtlich geeichten Englerschen Apparat bei + 20° C = 30 — 40, bei +50° C = 5 — 7 sein.

Das Öl muß in Benzol und Petroleumbenzin vollständig und ohne Rückstand löslich sein.

Hierzu ist zu bemerken, daß die Verwendung des gleichen Öles für Dynamo- und Gaskraftmaschinen eine größere Zähflüssigkeit für die Zylinderschmierung der letztgenannten Maschinen bedingt.

Auf die Auswahl von Ölen für Motoren, die im Betriebe der Witterung ausgesetzt sind, wie z. B. die Motoren von Triebwagen, elektrischen Lokomotiven, Straßenbahnwagen und zum Antrieblandwirtschaftlicher Maschinen ist besonders Augenmerk zu richten. Diese Öle müssen für warme Gegenden und warme Jahreszeiten eine etwas größere Zähflüssigkeit besitzen; bei ihrer Verwendung in der kalten Jahreszeit dagegen ist ihr Verhalten in der Kälte von großer Wichtigkeit; der Erstarrungs- oder Kältepunkt dieser Öle muß noch unter der je nach der Gegend verschiedenen niedrigsten Temperatur liegen. Bei größeren Betrieben ist die Verwendung besonderer „Sommer- und Winteröle“ durchaus empfehlenswert. Die große Berliner Straßenbahn zieht das auch in ihren „Besonderen Bestimmungen für Öle“ vor, die für die technischen Eigenschaften folgendes vorschreiben:

Bezüglich der Öle wird bedingt, daß nur reine Mineralöle, welche gut gereinigt und entschleimt sein müssen, und welche weder alkalisch noch sauer reagieren

dürfen, angeboten werden sollen. Bei starkem Erhitzen dürfen die Öle weder spritzen noch schäumen, noch Verunreinigungen und fremdartige Beimengungen als: freien Kohlenstoff, Harze und Harzöl, Teere und Teeröle enthalten. Die Schmieröle usw. dürfen zu keiner Jahreszeit zu dünn- oder zu dickflüssig werden und bei längerer Lagerung keinen Bodensatz bilden.

Die im Winter zu benutzenden Schmieröle müssen bei -15°C , die Sommeröle bei 5°C vollkommen flüssig bleiben. Das anzubietende Fett darf keinerlei beschwerende Beimengungen enthalten.

Die nachstehende Tabelle gibt ferner die verlangten besonderen Eigenschaften der Öle usw. an:

Ölsorte usw.	Höchstes zulässiges spez. Gewicht	Flamm- punkt im offenen Tiegel mindest. $^{\circ}\text{C}$	Brenn- punkt im offenen Tiegel mindest. $^{\circ}\text{C}$	Flüssigkeitsgrad nach Engler		Schmelz- punkt $^{\circ}\text{C}$	Seifen- gehalt %	Wasser gehalt %
				bei 50°	bei 180°			
Wagenöl	0,900 ÷ 0,925	150	180	6,5 ÷ 7,5	—	—	—	—
Motoröl	0,905 ÷ 0,915	225	260	5 ÷ 6	—	—	—	—
Zylinderöl I . . .	0,900 ÷ 0,905	300	380	—	1,5 ÷ 1,7	—	—	—
Kompressorenöl	0,890 ÷ 0,895	—	—	bei 100° 3 ÷ 3,10	—	—	—	—
Achslagerfett . .	—	—	—	—	—	85	18 ÷ 20	nicht über 4
Zahnradfett . . .	—	—	—	—	—	60 ÷ 65	nicht unter 15	—

Der Vollständigkeit halber sollen die Schmieröle der zum Antriebe von Dynamos dienenden Dampfmaschinen, Turbinen und Verbrennungsmotoren hier kurz erwähnt werden.

Zur Zylinderschmierung der Dampfmaschinen sind reine Mineralöle mit möglichst hohem Flammpunkt zu verwenden, um bei der im Zylinder auftretenden hohen Temperatur die Bildung von Ölgas zu vermeiden. Durchschnittswerte von Zylinderölen sind:

Spezifisches Gewicht	0,890—0,910
Flüssigkeitsgrad nach Engler bei 100°	3,5 — 6,5
Flammpunkt	260—300 $^{\circ}$
Brennpunkt	290—330 $^{\circ}$

Turbinenöle sollen wegen der hohen Geschwindigkeit der Turbinen unter Berücksichtigung des oben Gesagten eine nicht zu große Zähflüssigkeit haben; diese soll etwa 10 Englergrade bei 20°C betragen. Verwendung finden reine, helle Mineralöle oder auch Mischungen von pflanzlichen Ölen bzw. Harzölen mit pflanzlichen Ölen.

Für Verbrennungsmotoren, insbesondere Dieselmotoren, die in neuerer Zeit ausgedehnte Anwendung für Erregeraggregate gefunden haben, können Öle mit folgenden Werten als gangbar bezeichnet werden:

Spezifisches Gewicht	0,885—0,980
Flüssigkeitsgrad nach Engler bei 50°	5,5 —7,5
Flammpunkt	200—230°
Brennpunkt	230—260°

Konsistente Fette finden in der Elektrotechnik nur wenig Verwendung; wichtig sind deren Eigenschaften beim Gebrauch zum Schmieren des Kollektors. Die konsistenten Fette sind zumeist Mischungen von Mineralöl und fetten Ölen (pflanzlichen und tierischen Ursprungs) mit Kalkseife und Wasser.

Erforderliche Eigenschaften sind: helle Farbe, Fehlen von mechanischen Verunreinigungen, Beschwerungsmitteln, Säure und Alkali, nicht zu hoher Wasser- und Kalkseifengehalt, möglichst hoher Tropfpunkt.

Isolierlacke und Vergußmassen werden in der elektrotechnischen Industrie vielseitig angewandt. Teils dienen sie als unmittelbare isolierende Hülle, wie z. B. bei Emaillackdrähten, Klemmstellen, Kabelverbindern, teils als Überzug besonders zu schützender Teile, wie bei Spulen.

Die Lacke können magere Lacke, auch flüchtige genannt, oder fette Lacke, auch Öllacke genannt, sein.

Zu den ersten gehören die Lösungen von Kopal, Schellack, Asphalt und auch Bernstein in ätherischen Stoffen wie Alkohol, Azeton, Amylacetat, Benzin, Benzol und Terpentinöl, während die fetten Lacke Zusätze von pflanzlichen fetten Ölen (Leinöl), Harzöl oder Firnissen haben. Zu den mageren Lacken gehören auch die Zelloxidlacke (Azetylzelluloselösung), die in verschiedenen Härtelagen geliefert werden und sich für viele Zwecke in der Elektrotechnik ausgezeichnet bewährt haben.

Zu Vergußmassen dienen die gleichen Stoffe wie für Isolierlacke, nur werden sie nicht gelöst, sondern durch Erwärmen vergießbar gemacht und erhärten nach dem Erkalten.

Darüber, ob sich magere oder fette Lacke besser zu Isolierzwecken eignen, sind, soweit bekannt, keine Versuche gemacht und entsprechende Entscheidungen getroffen worden. In mechanischer Beziehung ist fetten Lacken da n n der Vorzug zu geben, wenn die mit dem betreffenden Lack zu versehenen Teile Witterungseinflüssen ausgesetzt sind; aber auch hierüber liegen bislang keine planmäßigen Versuchsergebnisse mit Vergleichswerten vor.

III. Prüfung der Öle und Lacke.

1. Öle und Fette.

a) Mechanische und physikalische Prüfungen.

Äußere Beschaffenheit. Die äußere Beschaffenheit eines Öles wird in einem 15 mm weiten Reagenzglas festgestellt und läßt schon manche Rückschlüsse auf seine Eigenschaften zu. So kann man bei hellen, ganz klaren Ölen ohne weiteres das Fehlen von Wasser und asphaltartigen Stoffen annehmen. Ferner kann man das Öl nach seiner Kon-

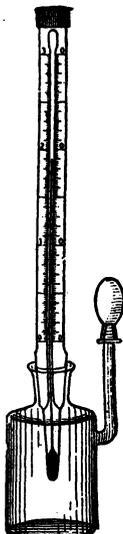


Abb. 44.

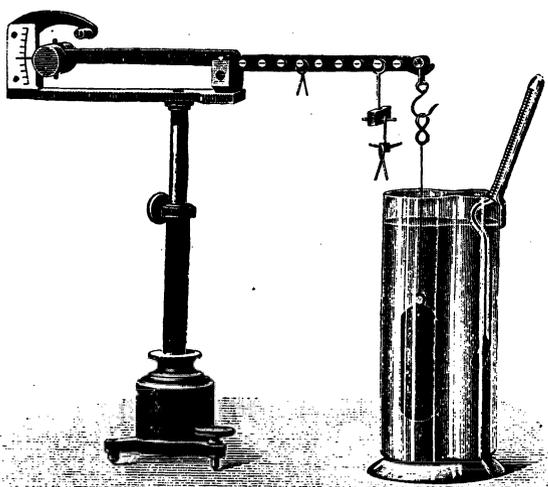


Abb. 45.

sistenz als dünnflüssig, zähflüssig oder dickflüssig ansprechen und nach dieser Feststellung unter Umständen sogleich von seiner Verwendung Abstand nehmen. Z. B. wäre dies der Fall, wenn ein als Transformatoröl angebotenes Produkt zäh- oder dickflüssig wäre, da für diesen Zweck, wie wir bereits weiter oben gehört haben, nur dünnflüssige Öle (wegen der besseren Isolierfähigkeit) zulässig sind.

Der Geübtere findet durch den Geruch leicht Beimengungen von Harzöl, Teeröl und Knochenöl heraus, die sowohl für Transformator- und Schalteröle als auch für Schmieröle schädlich sind.

Mechanische Verunreinigungen. Zur Prüfung auf mechanische Verunreinigungen empfiehlt es sich, die Probe des zu untersuchenden Öles aus dem gut durchgeschüttelten Faß oder aus seinem unteren Teil zu entnehmen, da die Verunreinigungen zumeist spezifisch schwerer sind als das Öl und zu Boden sinken. Eine größere Menge des Öles

wird durch ein Sieb von 0,3 mm Maschenweite filtriert, wobei die Verunreinigungen auf dem Sieb zurückbleiben. Eine genauere Bestimmungsart ist folgende: 2 ccm des Öles werden in 40 ccm Benzol gelöst; die Lösung bleibt 24 Stunden stehen, wird dann durch ein gewogenes Filter gegossen und das Filter nach Auswaschen mit Benzol und darauf erfolgtem Trocknen gewogen.

In ähnlicher Weise führt man die Prüfung bei konsistenten Fetten durch. Eine bestimmte Gewichtsmenge des Fettes wird geschmolzen, durch ein gewogenes Filter gegossen und das Filter dann mit dem Rückstand nach Waschen mit heißem Benzol und Trocknung wieder gewogen. Die Gewichts-differenz ergibt den Gehalt an Verunreinigungen, bezogen auf das Gewicht der Fettprobe.

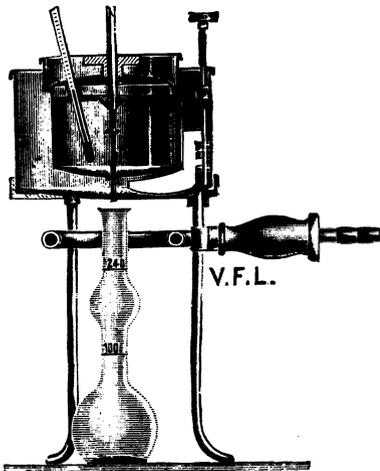


Abb. 46.

Spezifisches Gewicht. Die Bestimmung des spezifischen Gewichts geschieht, zumal bei den für die Elektrotechnik durchweg angewandten dünnflüssigen Ölen, am zweckmäßigsten und bequemsten mit dem Aräometer, dessen Anwendung eine äußerst einfache ist. Man bringt es in das mit dem zu prüfenden Öl gefüllte Gefäß, in das es je nach dem Gewicht des Öles mehr oder weniger tief eintaucht, und liest das Gewicht

an der Röhre in Höhe des Flüssigkeitsspiegels direkt ab. Die Genauigkeit dieser Bestimmung genügt für die Praxis zumeist vollkommen.

Der Vollständigkeit halber seien hier auch die zu genaueren Bestimmungen des spezifischen Gewichts dienenden Pyknometer (Abb. 44) und hydrostatischen Wagen (Abb. 45) erwähnt.

Hat man keine der aufgeführten Apparate zur Hand, so kann man sich auf folgende Weise helfen. Ein Gefäß wird genau gewogen, mit einer bestimmten Raummengung des Öles gefüllt und damit gewogen; dann wird dasselbe Gefäß mit der gleichen Raummengung Wasser gewogen. Bezeichnet

- a das Gewicht des Gefäßes
- b „ „ „ „ + Öl
- c „ „ „ „ + Wasser

so ist das spezifische Gewicht des Öles

$$s = \frac{b - a}{c - a}$$

Die hier besprochenen Bestimmungen und Werte gelten alle für die Temperatur von 15°C ; Bestimmungen des spezifischen Gewichts bei höheren Temperaturen haben nur wissenschaftlichen Wert, weswegen von einer Beschreibung hier Abstand genommen ist.

Flüssigkeitsgrad. Der Grad der Zähflüssigkeit (Viskosität) von Ölen kann nicht auf Grund einheitlich festgelegter Meßwerte direkt ermittelt werden (wie z. B. Gewichte, Längen, Flächen, Temperaturen usw.), sondern ist nur ein Vergleichswert mit einem anderen Stoffe, dessen Flüssigkeitsgrad für eine bestimmte Temperatur stets gleich ist, und den man = 1 setzt. Am einfachsten, nächstliegenden und auch am meisten verbreitet ist der Vergleich mit Wasser von 20°C . Es gibt eine große Anzahl Apparate zur Bestimmung des Flüssigkeitsgrades, die in ihrer Bauart sehr weit voneinander abweichen und dementsprechend verschiedene Zahlenwerte ergeben.

Der in Deutschland fast ausschließlich und auch im Ausland sehr viel angewandte Apparat ist das Englersche Viskosimeter, das zu einem Normalapparat nach den Bestimmungen des III. Internationalen Petroleumkongresses ausgebildet wurde.

Es sei noch bemerkt, daß alle in dem vorliegenden Buche angegebenen Flüssigkeitsgrade solche nach Engler sind.

Abb. 46 veranschaulicht den Englerschen Normalapparat, der von den Vereinigten Fabriken für Laboratoriumsbedarf, Berlin, geliefert wird. Die Arbeitsweise mit dem Apparat ist folgende:

Das zu prüfende Öl wird in das vergoldete innere Gefäß bis zu einer durch zwei Spitzen gekennzeichneten Höhe eingefüllt. Die an der tiefsten Stelle des gewölbten Bodens befindliche, aus Platin gefertigte Ausflußdüse wird durch einen Stift verschlossen. Dieser wird durch den Gefäßdeckel geführt und ist mit einem kleinen Ansatz versehen, der nach Öffnen der Düse die Aufhängung des Stiftes erlaubt und dessen Herabfallen verhindert, wodurch sonst der Versuch gestört würde. In das Gefäß ragt außerdem ein, ebenfalls durch den Verschlussdeckel geführtes Thermometer zum Ablesen der Temperatur des Versuchsöles. Umgeben wird das genannte Gefäß von einem zweiten, äußeren

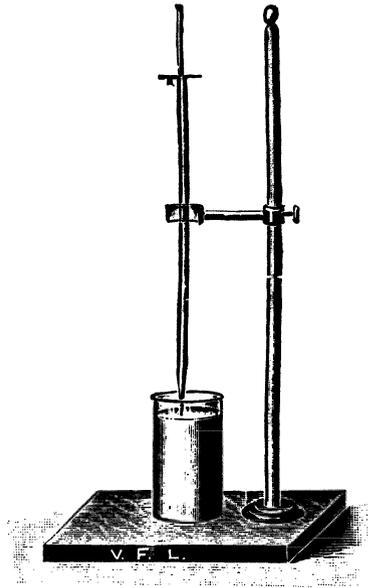


Abb. 47.

Gefäß, das mit einer Füllung von Wasser oder einem hochsiedenden Mineralöl als Heizbad dient. Die vermittels des Handrädchens bewegliche Rührfläche bewirkt eine gleichmäßige Erwärmung der Heizbadflüssigkeit.

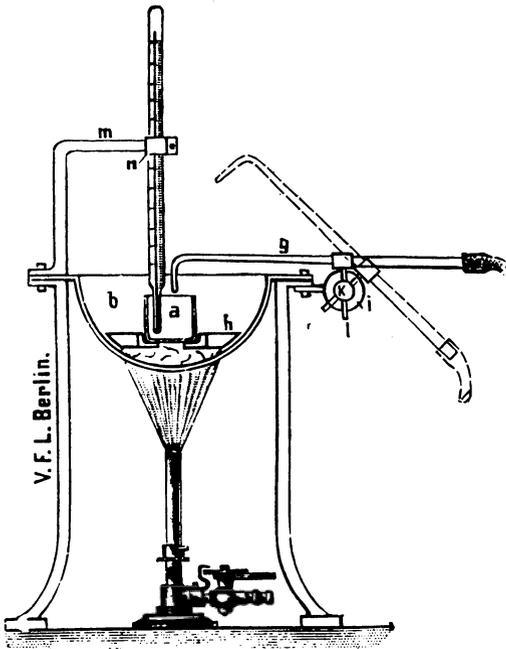


Abb. 48 a.

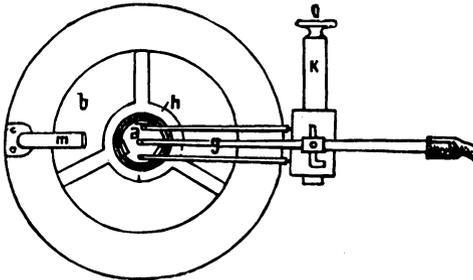


Abb. 48 b.

Der Kranzbrenner ist zur Heizkraftregelung an einem der drei Füße des Apparates verschiebbar angeordnet.

Ist das in dem inneren Gefäß befindliche Probeöl auf die gewünschte Temperatur (20, 50 oder 100° C) gebracht und auf dieser eine gewisse Zeit lang konstant gehalten worden, wird, unter gleichzeitigem Ingangsetzen einer Stoppuhr, der Stift hochgezogen und mit seinem Ansatz auf dem Deckel festgehalten. Das Öl fließt in einen für 200 und 240 ccm gemarkten Meßkolben. Sind 200 ccm ausgeflossen, wird die Uhr gestoppt. (Die Marke von 240 ccm entspricht dem Inhalt des inneren Gefäßes bis zu den Einfüllspitzen.) Die ermittelte Zeit wird durch die Ausflußzeit einer gleichen Menge Wasser bei 20° C dividiert; der Quotient wird als Flüssigkeitsgrad bezeichnet.

Die Ausflußzeit des Wassers soll bei jedem Apparat durch die P. T. R. geprüft und der Apparat entsprechend geeicht sein. Die Zeitdauer, die zwischen 50 und 52 Sekunden beträgt, wird auf dem mitgegebenen Prüfschein vermerkt und außerdem zweckmäßig in den äußeren Mantel des Apparates graviert.

Nach Möglichkeit sind von jeder Ölsorte drei Bestimmungen vorzunehmen, und aus den Ergebnissen, die nicht mehr als $\frac{1}{2}$ Sekunde

voneinander abweichen dürfen, der Durchschnittswert als endgültiger Flüssigkeitsgrad anzunehmen.

Nach jeder Benutzung ist das Viskosimeter, insbesondere das innere Gefäß, durch Auswaschen mit Benzol, Petroläther und Nachwaschen mit Alkohol zu reinigen.

Für Transformatorenöle soll der Flüssigkeitsgrad bei 20° C nicht über 8 betragen, da dickflüssigere Öle weniger gut isolieren.

Konsistenz. Bei der geringen Verwendung konsistenter Fette in der Elektrotechnik wird die Konsistenzprüfung nur in den seltensten Fällen nötig sein.

Das einfachste Verfahren ist das nach **Kißling**, bei dem ein zugespitzter Aluminiumstab von 300 mm Länge und 9 mm \varnothing (Gewicht = 50 g) in das zu untersuchende Fett 100 mm tief durch senkrechten Fall eindringt. Die Dauer des Einsinkens wird mit der Stoppuhr bestimmt. Aus dem Gewicht des eindringenden Stabes und der gebrauchten Zeit wird die Konsistenzzahl errechnet, die also einen rein empirischen Wert darstellt. Die Ausführung des Apparates zeigt **Abb. 47**. Interessenten finden ausführliche Beschreibung in dem „Laboratoriumsbuch für die Erdölindustrie“ von Dr. **Kißling** (Verlag W. Knapp, Halle a. d. S.).

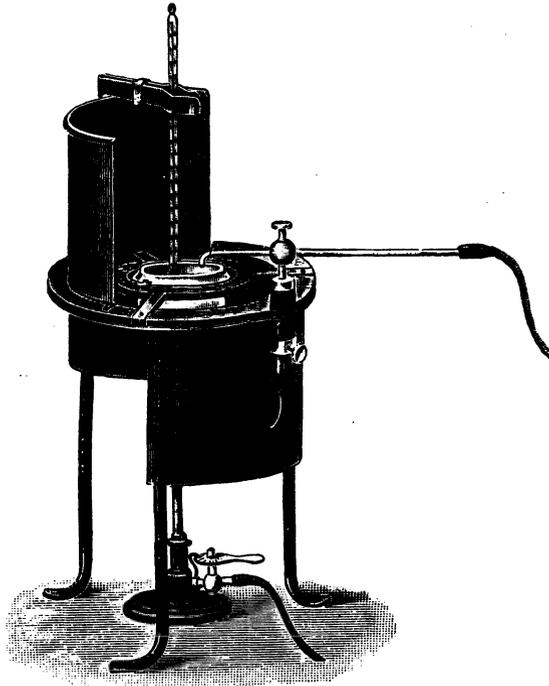


Abb. 49.

Flammpunkt. Die sich beim Erwärmen eines Öles bildenden Dämpfe sind je nach der Art und der Beschaffenheit des betreffenden Öles bei verschiedenen hohen Temperaturen entzündbar; die jeweilige Entzündungstemperatur nennt man den Flammpunkt. Dieser unterscheidet sich von dem weiter unten behandelten Brennpunkt dadurch, daß er die Temperatur bestimmt, bei der die Öldämpfe, mit einem offenen Flämmchen in Berührung gebracht, einmal kurz aufflammen, während

der Brennpunkt die Temperaturhöhe ist, bei der das Öl mindestens 20 Sekunden lang brennt.

Die Bestimmung des Flammpunktes kann auf einfachste Weise geschehen, indem man das Öl in einem Porzellantiegel, unter Beobachtung der Temperatur an einem in das Öl getauchten Thermometer, langsam erwärmt und bei sich bemerkbar machender Dämpfbildung mit einer kleinen Flamme über das Öl streicht. Die Temperatur, bei

der sich die Dämpfe mit schwach bläulicher Flamme entzünden, ist der Flammpunkt. Zweckmäßig wird der Versuch in einem etwas verdunkelten Raum ausgeführt, um das schwache Aufflammen richtig wahrnehmen zu können.

Um einheitliche Versuchsbedingungen zu gewährleisten, auf Grund deren man nur einwandfreie Ergebnisse zu Vergleichszwecken erhalten kann, haben sich Sonderbauarten von Flammpunktprüfern herausgebildet, die von Behörden und den Firmen der Ölindustrie als maßgebend anerkannt sind.

Für Öle mit niedrigem Flammpunkt (bis etwa 160° C) wird der von Dr. Marcusson (vom K. M. A.) konstruierte Apparat nach Abb. 48 benutzt, der von den Vereinigten Fabriken für Laboratoriumsbedarf, Berlin, gebaut wird.

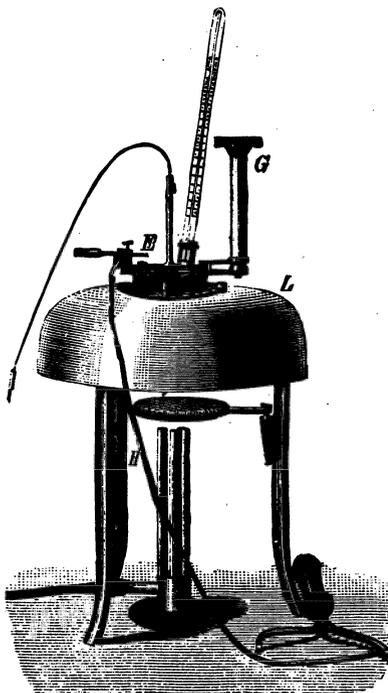


Abb. 50.

Der mit dem Probeöl bis zu einer Marke gefüllte Porzellantiegel *a* von 4 cm Ø und 4 cm Höhe wird in dem Einsatz-*h* in zentrischer Lage auf der in einer halbkugelförmigen Schale befindlichen Sandschicht gehalten. An der Klemme *n* am Arm *m* wird das Thermometer befestigt, das nicht bis ganz auf den Boden des Tiegels reichen soll. Die mechanische Führung des Zündrohrs *g* wird auf folgende Art bewirkt. Der mit dem Zündrohr fest verbundene Stift *l* ist durch den in das Rohr *i* genau eingepaßten Bolzen *k* geführt, der einseitig verlängert ist und an seinem Ende eine hölzerne Handhabe *o* hat. Der Weg des Stiftes *l* und damit des Zündrohrs *g* ist durch den Schlitz im Rohr *f* bestimmt und begrenzt. Die punktiert gezeichnete Ruhelage nimmt das Zündrohr ein, wenn man mit dem Holzgriff *o* den Bolzen *k* mit Stift *l* und

dem Zündrohr *g* nach links bewegt, bis der Stift *l* den rechtwinklig angesetzten Schlitzweg erreicht, der ein durch das Gewicht bedingtes, automatisches Zurückfallen des Zündrohrs erlaubt. Die Erwärmung des Apparates geschieht mittels eines regulierbaren Brenners so, daß die Temperatur für 1 Minute um 2—5° steigt; nähert sich die Temperatur dem wahrscheinlichen Flammpunkt, so wird die Temperaturerhöhung noch etwas langsamer gehalten. Die Vereinigten Fabriken für Laboratoriumsbedarf führen die Flammpunktprüfer auch mit elektrischer Heizung aus, bei der die Temperaturerhöhung durch einen Regulierwiderstand bestimmt wird.

Ungefähr 40° unter dem wahrscheinlichen Flammpunkt beginnt man mit der eigentlichen Prüfung, indem man von 5° zu 5° mit der Flamme über das Öl streicht; etwa 20° höher probiert man von 1 zu 1°. Hierzu dreht man mit dem Handgriff *o* den Bolzen *k* so, daß das Zündrohr *g* in eine wagerechte Lage kommt, führt es langsam über die Oberfläche des Öles nach rechts bis zum Anschlag des Stiftes *l* und wieder zurück, und läßt es dann in Ruhelage fallen.

Durch die mechanische Führung der Zündflamme wird eine stets gleiche Entfernung von den Tiegelwandungen und auch von der Oberfläche des Öles erreicht, wodurch Überhitzung des Öles an den Wandungen und durch die Flamme selbst, die das Versuchsergebnis erheblich beeinträchtigen würden, vermieden wird.

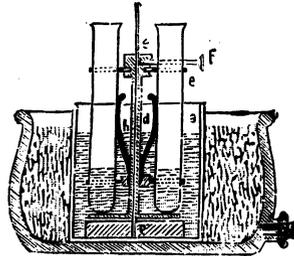


Abb. 51.

Abb. 49 zeigt einen Flammpunktprüfer (gleichfalls nach Marcusson) für Öle mit höheren Flammpunkten. Die Sandbadschale ist bei diesem Apparat flach, der Öltiegel wird bis zur Höhe der Ölschicht in Sand eingebettet und mit einem, 10 mm unter dem Rande befindlichen Ringansatz in einem Einsatz gehalten, damit seine senkrechte Lage auch bei einem eventuellen, durch die starke Erhitzung verursachten Ausbeulen der Sandbadschale bewahrt bleibt. Das Zündrohr wird nur in wagerechter Richtung über das Öl bewegt. Das untere der beiden in der Abbildung sichtbaren Bleche dient zum Schutz des Beobachters gegen die vom Brenner ausgestrahlte Wärme, während das obere Blech Zugluft vom Öl abhalten soll, wodurch sonst die Öldampfbildung gestört würde, und außerdem ein sicheres Beobachten des, wie bereits oben erwähnt, nur wenig leuchtenden Aufflammens gestattet.

Außer den eben beschriebenen Flammpunktprüfungen im offenen Tiegel gibt es auch ein Verfahren, bei dem das Öl in einem geschlossenen Behälter erwärmt wird. Der hierfür ausgebildete Apparat nach

Pensky - Martens ist in Abb. 50 dargestellt. Der mit einem Drehschieber verschlossene Ölbehälter *E* ruht in einem Heizkörper, der zur Verhinderung der Wärmeausstrahlung in einem gewissen Abstand von einem Mantel *L* umgeben ist. Zur gleichmäßigen Erwärmung des Öles dient ein Rührer, der mittels eines durch den Deckel geführten Bowdendrahtes bewegt wird. Durch Drehung des Handgriffes *G* wird der Verschuß geöffnet und gleichzeitig die am Gefäß *E* oben links sichtbare Zündflamme in den Behälter getaucht. Die Entflammung macht sich deutlich durch ein Verpuffungsgeräusch bemerkbar.

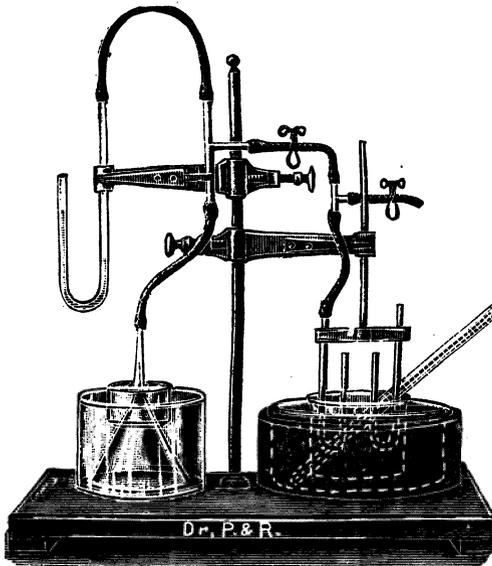


Abb. 52.

Die Flammpunktwerte im Pensky-Martensprüfer liegen durchweg niedriger als die im offenen Tiegel ermittelten; eine Erscheinung, die sich einfach dadurch erklärt, daß bei Anwendung der offenen Tiegel eine gewisse Menge der Öldämpfe verfliegt. Es muß daher bei allen Vorschriften und Prüfungsergebnissen für den Flammpunkt stets angegeben werden, ob der Wert für offenen Tiegel oder nach Pensky - Martens gilt.

Bei der Flammpunktprüfung kann man gleichzeitig einen höheren Wassergehalt im Öl nachweisen, da sich dieser bei Erwärmung auf 100—110° C durch starkes Schäumen bemerkbar macht.

Brennpunkt. Diese Bestimmung geschieht in den gleichen Apparaten wie die Flammpunktprüfung und stets sofort im Anschluß an diese. Der Brennpunkt ist, wie erwähnt, die Temperatur, bei der Öl nach der Zündung mindestens 20 Sekunden weiter brennt. Man läßt das Öl ruhig brennen und entfernt den Brenner vom Apparat bzw. stellt man bei elektrischer Heizung die Stromzufuhr ab; das Öl hört dann von selbst auf zu brennen.

Kältepunkt. Der nur für im Freien verwendete Schmieröle wichtige Kältepunkt gibt an, bei welcher Temperatur die flüssigen Öle in den salbenartigen Zustand übergehen, und kann mit einer für die Praxis ausreichenden Genauigkeit in dem in Abb. 51 wiedergegebenen Apparat nach Hofmeister bestimmt werden.

Die Reagenzgläser mit den Ölproben werden in einen, mit Salzlösungen verschiedener Gefriertemperaturen gefüllten, emaillierten Behälter gebracht, der in einem größeren irdenen Gefäß mit der Kältemischung (Eis und Viehsalz) steht. Die Abkühlung soll nicht zu schnell, und die Abstufungen der Temperaturen durch Verwendung von Salzlösungen mit bestimmter Gefriertemperatur erfolgen. Solche Salzlösungen sind für eine Temperatur von

— 3° C	13	Gewichtsteile	Kaliumnitrat	} auf 100 Teile Wasser
— 4° C	13	„	„	
	2	„	Kochsalz	
— 5° C	13	„	Kaliumnitrat	
	3,3	„	Kochsalz	
— 9° C	35,8	„	Bariumchlorid	
—10° C	22,5	„	Kaliumchlorid	
—14° C	20	„	Ammoniumchlorid	
—15° C	25	„	„	
—18° C	50	„	Natriumnitrat	
—21° C	33	„	Kochsalz	

Bei den einzelnen Kältegraden wird das Reagenzglas aus dem Behälter genommen und durch Neigen desselben festgestellt, ob Erstarrung eingetreten ist.

Für Transformatorenöle ist vorgeschrieben, daß sie nach einstündiger Abkühlung auf -20°C in einem Reagenzglas von 15 mm Weite, in einer Höhe von 4 cm eingefüllt, umgedreht, noch fließend und klar sein müssen; es genügt, den Versuch bis zu dieser Temperatur durchzuführen, und kann man den Versuch danach abbrechen.

Zu genaueren wissenschaftlichen Untersuchungen dient der in Abb. 52 dargestellte Apparat nach Dr. Holde, der von den preußischen Eisenbahnverwaltungen vorgeschrieben ist (U-Rohrmethode). Bezüglich Anwendung dieses Apparates wird auf das bekannte Buch von Holde, Untersuchungen der Mineralöle und Fette (Verlag J. Springer, Berlin) verwiesen.

Tropfpunkt. Zur Beurteilung der zum Schmierem gebrauchten konsistenten Fette und gleichzeitig zu ihrer Unterscheidung von anderen Fetten benutzt man den Tropfpunkt, dessen Bestimmung am zweckmäßigsten mit dem Apparat nach Ubbelöhde (Abb. 53) erfolgt.

Das zu untersuchende Fett wird in das unter dem Quecksilberbehälter des Thermometers befindliche Gefäß gefüllt, die Ränder glatt gestrichen

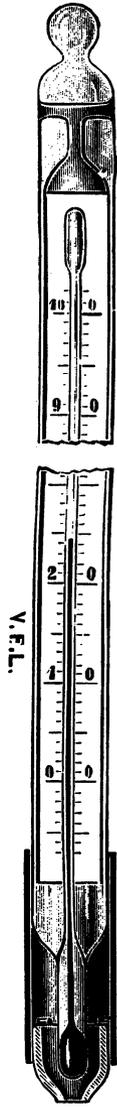


Abb. 53.

und das Gefäß dann von unten in die Hülse bis zu den Anschlängen geschoben. Der ganze Apparat wird in ein etwa 4 cm weites Reagenzglas gesteckt und im Wasserbade langsam erwärmt (Temperaturzunahme 1° in der Minute). Es wird dann die Temperatur als Tropfpunkt bezeichnet, bei der der erste Tropfen abfällt.

Die Tropfpunkte guter konsistenter Fette liegen zwischen 70 und 90°C .

Verdampfbarkeit. Für Transformatoren- und Schalteröle ist die Prüfung ihres Verhaltens in höheren Temperaturen in bezug auf ihre Verdampfbarkeit sehr wichtig. Die im vorhergehenden Abschnitt

erwähnten Vorschriften der Vereinigung der Elektrizitätswerke fordern deshalb, daß der Verdampfungsverlust nach fünfständigem Erwärmen auf 100°C nicht mehr als $0,4\%$ betragen soll. Die Flammpunktbestimmung gibt über die Verdampfbarkeit insofern Aufschluß, als die schnellere Bildung von Öldämpfen einen niedrigeren Flammpunkt ergibt. Die genaue quantitative Bestimmung geschieht in dem von Holde (Untersuchungen usw.) angegebenen Apparat nach Abb. 54.

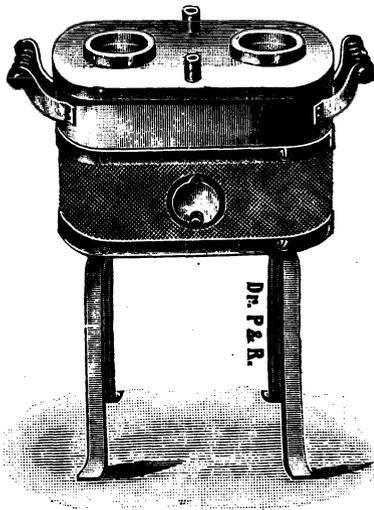


Abb. 54.

Der zweckmäßig elektrisch heizbare Apparat besteht aus einem Dampfbad, das als Badflüssigkeit eine bei 107°C siedende 33%

Kochsalzlösung in Wasser enthält. Die in der Abbildung sichtbaren zylindrischen Öffnungen dienen zur Aufnahme der Tiegel mit dem Versuchsöl. Zur gleichmäßigen Erwärmung und Temperaturkonstanzhaltung ist zwischen Dampfbad und Tiegelbehälter eine Glycerinschicht vorgesehen. Zwei Porzellantiegel, wie sie für die Flammpunktbestimmung nach Pensky-Martens gebräuchlich sind, werden erst leer und dann mit dem Probeöl gefüllt gewogen und in die Öffnungen des Dampfbades eingesetzt, wenn dieses eine konstante Temperatur von 107°C zeigt. Will man die genaue Temperatur des Öles während der Dauer des Versuches kontrollieren, so bringt man in einen der Tiegel ein weiteres Thermometer. Dann ist es aber auch erforderlich, ein kleines Stück Fließpapier mit einem der leeren Tiegel zu wiegen, um damit nach Beendigung der Erwärmung das am Thermometer haftende Öl zu entfernen. Nach der vorgeschriebenen fünfständigen Baddauer werden die Tiegel herausgenommen, vorsichtig in Wasser abgekühlt,

das an den Tiegelwänden haftende Wasser abgetrocknet und die Tiegel $\frac{1}{2}$ Stunde im Exsikkator aufbewahrt. Der Exsikkator ist ein mit Kalziumchlorid gefüllter Glasbehälter, der mit einem Glasdeckel luftdicht in der Weise abgeschlossen ist, daß zwischen die genau aufeinanderpassenden Ränder des Behälters und des Deckels eine feine Ölschicht gebracht wird; das Kalziumchlorid nimmt begierig die in dem Behälter vorhandene Feuchtigkeit auf.

Nach dem Trocknen werden die Tiegel mit dem Öl gewogen; die Gewichtsunterschiede ergeben den Verdampfungsverlust in Gramm, bezogen auf 100 g Öl in Prozenten.

Erwähnt sei noch, daß der Verdampfungsverlust bei Zylinderölen nach zweistündigem Erwärmen auf 200°C nur 0,2% betragen soll.

b) Chemische Prüfungen.

Wassergehalt. Wie bereits bei Besprechung der Prüfung auf äußere Beschaffenheit erwähnt, kann man helle Öle, wenn sie vollständig klar sind, als wasserfrei bezeichnen; eine Trübung dagegen weist auf Wassergehalt hin.

Da Transformatoren- und Schalteröle vollständig wasserfrei sein müssen, so ist es erforderlich, auch auf kleine Mengen Wasser zu prüfen.

Eine einfache Art der qualitativen Prüfung besteht darin, daß man eine Probe des Öles mit völlig wasserfreiem Kupfersulfat erwärmt; schon geringe Spuren von Wasser ergeben eine deutliche Blaufärbung.

Nach einem anderen Verfahren werden 5 ccm des Öles in einem Reagenzglas, dessen Wandung mit dem Öl zuvor benetzt wird, in einem Bad von flüssigem Paraffin auf etwa 160°C erwärmt. Außer dem Schäumen und Stoßen (siehe Flammprüfung) zeigt sich der Wassergehalt durch Emulsion an der mit Öl benetzten Wandung nach dem Erkalten.

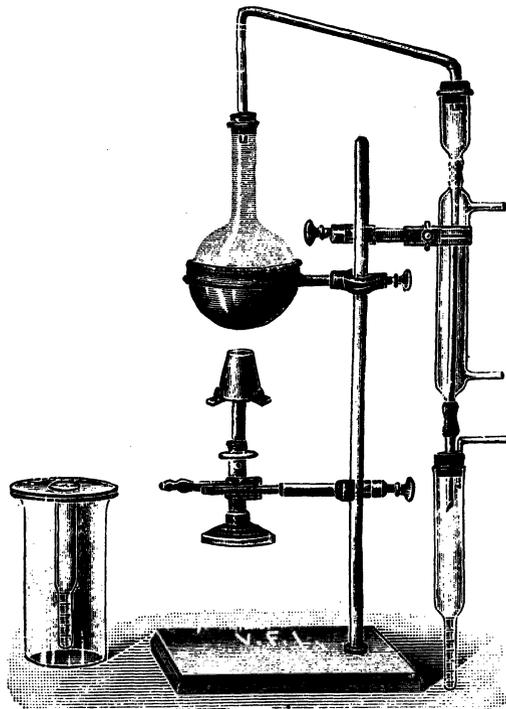


Abb. 55.

Die genaue quantitative Bestimmung des Wassergehaltes nimmt man auch nach dem Destillationsverfahren von Marcusson vor; die hierzu nötige Apparatanordnung ist aus Abb. 55 ersichtlich. Der vollständige Apparat wird von den Vereinigten Fabriken für Laboratoriumsbedarf, Berlin, geliefert.

In die über dem Brenner befindliche Kochflasche tut man 100 ccm des mit 50 ccm Xylol versetzten Öles und fügt zur Verhütung von Siedeverzug einige Bimssteinstückchen hinzu. An dem unteren Rohransatz des Kühlers wird der Schlauch mit der Wasserzufuhr, an dem oberen ein Schlauch zum Wasserablaß befestigt, so daß beim Destillieren ein Gegenstrom vorhanden ist. Die Erwärmung der Kochflasche erfolgt in einer, in der Abbildung auch sichtbaren Ölbadschale. Der an den Kühler angeschlossene Zylinder dient zum Auffangen des Destillats; sein unterer, stark verengter Teil nimmt das spezifisch schwerere Wasser auf und gestattet durch eine gemarkte Einteilung in cmm eine direkte Ablesung des Wassergehaltes.

Säuregehalt. Durch Säure werden Metalle leicht angegriffen; eine der Hauptbedingungen für Transformatoren- und Schalteröle, sowie auch für Schmieröle ist daher Säurefreiheit. Es können im Öl organische und anorganische Säuren als freie Fettsäure, Mineralsäure und Schwefelsäure vorhanden sein. Für die in der Elektrotechnik nur in Betracht kommenden hellen Öle ist vor allem die Prüfung auf Mineralsäure wichtig. Da diese vollkommen fehlen soll, genügt der qualitative Nachweis. Zu diesem Zwecke erwärmt man eine Mischung von 100 ccm Öl mit 150 ccm destilliertem Wasser, schüttelt die Mischung gut durch und läßt das Wasser sich dann wieder absetzen. 30 ccm des wässrigen Auszuges werden mit einer Pipette entnommen und mit einigen Tropfen Methylorangefärbung (0,3 g Methylorange auf 1000 ccm destilliertes Wasser) versetzt. Eine Rotfärbung deutet auf einen Gehalt an Mineralsäure.

Eine ganz einfache, schon mehr technologische Prüfung auf Vorhandensein von Säure ist die folgende: Auf ein poliertes Kupferblech gibt man einen Tropfen des Öles und läßt dieses mindestens 24 Stunden auf das Kupferblech einwirken. Die Bildung eines grünen Randes um das Öl beweist die Gegenwart von Säure, da der grüne Niederschlag ein nur durch Einwirkung einer Säure auf Kupfer gebildetes Kupfersalz ist.

Genauere Angaben über quantitative Säurebestimmungen findet man in den unten angegebenen bekannten Werken¹⁾.

¹⁾ Holde, Untersuchungen der Mineralöle und Fette. Verlag Julius Springer, Berlin. — Kießling, Laboratoriumsbuch für die Erdölindustrie. Verlag W. Knapp, Halle a. d. S. — Hinrichsen, Das Materialprüfungswesen. Verlag Ferdinand Enke, Stuttgart.

Harz und Harzöl. Transformatoren- und Schalteröle sollen reine Mineralöle sein, dürfen Harzöl also nicht enthalten. Harz, das als Verfälschungsmittel anzusehen ist, soll ebenfalls fehlen.

Es soll hier nur ein Prüfverfahren beschrieben werden, das allerdings eine Unterscheidung der beiden Fremdstoffe nicht gestattet; dies ist aber für die Praxis ohne Belang, da, wie erwähnt, beide Stoffe nicht zugegen sein dürfen.

1 ccm des zu untersuchenden Öles wird mit 1—2 ccm Essigsäureanhydrid gemischt und der Mischung ein Tropfen Schwefelsäure (spez. Gew. 1,53) zugesetzt. Die Gegenwart von Harz oder Harzöl gibt sich durch eine Violettfärbung zu erkennen.

Bezüglich getrennter und quantitativer Bestimmungsarten sei auf Holde und Kißling verwiesen.

Schwefelgehalt. Schwefel soll in Mineralölen nicht vorhanden sein; ein Schwefelgehalt ist ein Zeichen für eine nicht einwandfreie Raffination des Öles.

Die quantitativen Bestimmungen erfordern umständliche und meistens zeitraubende Versuche. Da Schwefel vollkommen fehlen soll, genügt ein qualitativer Nachweis auf folgende einfache Art:

1 ccm des Probeöles wird mit einem kleinen Stückchen metallischen Natriums in einem kleinen Porzellantiegel bis zum Rotglühen der Schmelze eingedampft. Die mit destilliertem Wasser befeuchtete Schmelze ergibt auf einem Silberblech bei Gegenwart von Schwefel einen braunen Niederschlag.

Gehalt an freiem Alkali. Ein ebenfalls von unsachgemäßer Raffination herrührender Gehalt an freiem Alkali kann nachgewiesen werden, indem man eine kleine Menge des Öles in der gleichen Menge, durch Phenolphthalein neutralisierten Ätheralkohol löst; tritt Rotfärbung ein, ist freies Alkali zugegen.

Asphaltgehalt. Der qualitative Nachweis eines für Transformatorenöle besonders schädlichen Gehalts an Asphalt kann auf folgende einfache Art geschehen (Verfahren nach Bender - Holde).

Man löst in einem größeren Reagenzglase 1 ccm Öl in 40 ccm Normalbenzin; dies ist ein Benzin bestimmter Siedetemperatur, das von C. A. F. Kahlbaum, Berlin, geliefert wird. Die Lösung läßt man in einem möglichst verdunkelten Raum 24 Stunden stehen und prüft dann, ob sich am Boden des Reagenzglases ein dunkler Niederschlag abgesetzt hat; ein solcher entsteht bei Gegenwart von hartem Asphalt.

Verharzungsprobe. Bei der im Gebrauch der Transformatorenöle auftretenden Erwärmung dürfen sich, wie bereits bei den Lieferungsbedingungen für Transformatorenöle gesagt wurde, keine harz- und asphaltähnlichen Stoffe abscheiden, da diese sich auf den Wicklungen ablagern und die Isolation gefährden.

Die Prüfung des Öles auf Verharzungsfähigkeit ist von der Vereinigung der Elektrizitätswerke nach dem Verfahren von Kießling vorgeschrieben, das sich den wirklichen Betriebsverhältnissen nach Möglichkeit anpaßt und die Wirkung oxydierender Einflüsse berücksichtigt. Die Kießlingsche Verharzungsprobe wird wie folgt ausgeführt.

Man tut 150 g Öl in einen Erlenmeyerkolben von 400 ccm Fassungsvermögen, durch dessen Verschlußstopfen ein Entlüftungsrohr, ein Thermometer und ein bis ziemlich an den Boden des Kolbens gehendes Glasrohr von mindestens 3 mm Durchmesser geführt ist. Das letztgenannte Rohr steht mit einem Sauerstoffbehälter in Verbindung, der so regulierbar sein muß, daß man 2 Sauerstoffbläschen in der Sekunde dem Öl zuführen kann. Der Kolben wird entweder mit Gasheizung in einem Ölbad oder mit elektrischer Heizung in einem gegen Wärmeverlust geschützten Gefäß 70 Stunden lang ununterbrochen auf 120° C erwärmt.

Nach dieser Behandlung soll das Öl noch klar und in Benzin von 0,70 spezifischem Gewicht löslich sein. Harz- und asphaltbildende Stoffe sind durch anfängliches Trüben des Öles beim Erwärmen erkennbar; im weiteren Verlauf des Versuches setzen sie sich als braunschwarzer Niederschlag ab.

Die Beobachtung des Niederschlages, das Aussehen des Öles nach der Erwärmung und seine Löslichkeit in Benzin geben hinreichend Anhaltspunkte für die Beurteilung seiner Brauchbarkeit. Dunkelt das Öl nur wenig nach, bleibt es klar und benzinlöslich und bildet sich kein oder nur ein geringer Niederschlag, kann es für gut befunden werden; bei stärkerem Niederschlag muß man von einer Verwendung für Transformatoren absehen.

Für die quantitative Bestimmung des Niederschlages ist eine Konstante, die „Teerzahl“, eingeführt worden, die für Transformatorenöle den Wert 0,1 nicht übersteigen darf. Die Ermittlung der Teerzahl soll nachstehend beschrieben werden.

Teerzahl. Die Vorschrift der Vereinigung der Elektrizitätswerke zur Bestimmung der Teerzahl nach Kießling im Anschluß an die Verharzungsprobe lautet:

„Nach Beendigung des Versuches (gemeint ist die Verharzungsprobe) werden 50 g des so behandelten Öles in einem mit Kühler versehenen Glasgefäß 20 Minuten auf siedendem Wasserbad mit 150 ccm einer Lösung erwärmt, die 1000 Gewichtsteile Alkohol, 1000 Gewichtsteile Wasser und 75 Gewichtsteile Ätznatron enthält. Nach Aufsetzen eines Kühlrohrs wird das warme Gemisch 5 Minuten lang kräftig geschüttelt, dann in einen Scheidetrichter übergeführt und ein möglichst großer Anteil der alkoholisch wässrigen Lauge abfiltriert. 40 ccm des Filtrates werden mit Salzsäure angesäuert und die Teerstoffe mit 50 ccm Benzol aufgenommen. Die Ausschüttelung mit Benzol ist nötigenfalls zu wiederholen. Die Benzollösung

wird alsdann zweimal mit Wasser gewaschen und in einer Glasschale verdunstet. Der Rückstand wird bei 100° C etwa 5 Minuten getrocknet und gewogen.“

Die für den Ungeübten schwer ausführbare Bestimmung wird nur in bestimmten Fällen nötig sein, während man sich im allgemeinen mit der vorher beschriebenen Verharzungsprobe begnügen kann.

Die vorstehenden Prüfungen sind mit besonderer Rücksicht auf die Praxis ausgesucht worden, so daß sie auch der Nichtchemiker mit einiger Überlegung ausführen kann; sie dürfen natürlich nur als ein Auszug aus dem großen Gebiete der Chemie der Öle und Fette betrachtet werden. Wer sich eingehender damit beschäftigen will, sei auf die am Schlusse des Buches im Literaturnachweis angegebenen Sonderwerke hingewiesen.

2. Isolierlacke und Vergußmassen.

Eine Prüfung von Isolierlacken und Vergußmassen wird man im allgemeinen nur vornehmen, wenn die Stoffe besonderen Beanspruchungen, z. B. durch Wärme, Druck, Biegung unterliegen, oder es sich darum handelt, von mehreren Angeboten das zweckentsprechendste und preiswürdigste auszuwählen. Im folgenden sollen nur einige mechanische und chemische Prüfungen betrachtet werden, die, was vor allem für die mechanischen Prüfungen gilt, keineswegs allgemein übliche und festgesetzte Methoden sind, sondern nur als Hinweise auf das Verhalten der Stoffe angesehen werden dürfen und Anregungen geben sollen für besondere Versuche in einzelnen Fällen der Praxis.

a) Mechanische Prüfung.

Schmelzpunkt. Der Schmelz- oder Erweichungspunkt ist unter Umständen für Vergußmassen wichtig, die durch Witterungs- oder andere Einflüsse erwärmt werden.

Vergußmassen aus Ceresin, Paraffin, Wachs oder Talg und deren Mischungen sind durch den Rohstoffmangel im Kriege ganz verschwunden und an ihre Stelle Steinkohlenteerprodukte getreten wie Pech, Asphalt und ähnliche Stoffe.

Die Bestimmung des Schmelz- oder Erweichungspunktes dieser Stoffe erfolgt zweckmäßig mit den in den Abb. 56 und 57 wiedergegebenen Apparaten nach Kraemer - Sarnow.

In dem in Abb. 57 sichtbaren kleinen Tiegel mit Handgriff werden etwa 25 g der zu prüfenden Vergußmasse geschmolzen, und zwar steht der kleine Tiegel in einem zweiten, größeren, als Ölbad dienenden Tiegel. Aus der flüssigen Masse entnimmt man mit einem, an beiden Enden offenen Glasröhrchen von 6—7 mm lichter Weite eine Probe, indem

man das eine Ende in die Masse taucht und auf das andere Ende beim Herausnehmen einen Finger hält, und läßt sie erkalten. An der äußeren Wand des Glasröhrchens haftende Teilchen werden entfernt. Auf die im Glasrohr befindliche, etwa 5 mm hohe Schicht gibt man 5 g Quecksilber; das Ganze wird mittels besonderer Vorrichtung in ein mit Wasser gefülltes und mit Thermometer versehenes Becherglas gehängt (Abb. 57), das sich in einem zweiten Becherglas mit Wasser befindet. Nun wird langsam erwärmt und die Temperatur festgestellt, bei der das

Quecksilber die Masse durchbricht. Diese wird als Schmelz- oder Erweichungspunkt bezeichnet.

Wie in der Abbildung ersichtlich, läßt sich der Versuch gleichzeitig für mehrere Proben durchführen.



Abb. 56.

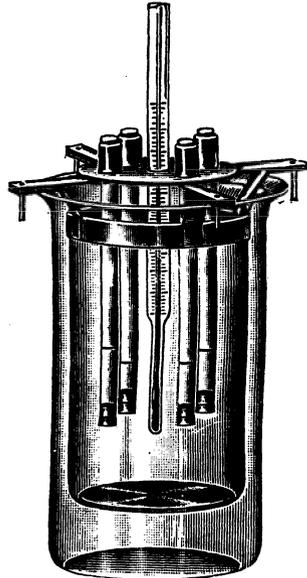


Abb. 57.

Ritzhärte. Die Ritzhärte kann einen Maßstab zur Beurteilung der Trockenfähigkeit, Härte und Sprödigkeit von Lacken bilden. Der zur Ritzhärtebestimmung erforderliche, einfache Apparat, den die Vereinigten Fabriken für Laboratoriumsbedarf, Berlin, liefern, ist in

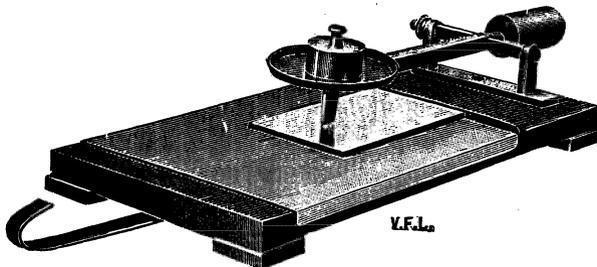


Abb. 58.

Abb. 58 dargestellt; seine Anwendung ist ohne weiteres klar. Bei der Vergleichsprüfung verschiedener Lacke auf Trockenfähigkeit wird man beispielsweise nach einer gewissen Trockendauer die verschiedenen Lackschichten mit kleinster Belastung ritzen und die empfindlichste als am schlechtesten trocknend ausscheiden usf.

Um die Härte und das Verhalten des Lackes nach dem Trocknen zu prüfen, belastet man allmählich stärker und beobachtet die Tiefe und Breite des Striches und die Einwirkung des Ritzens auf die Lack-schicht bezüglich Splitterns.

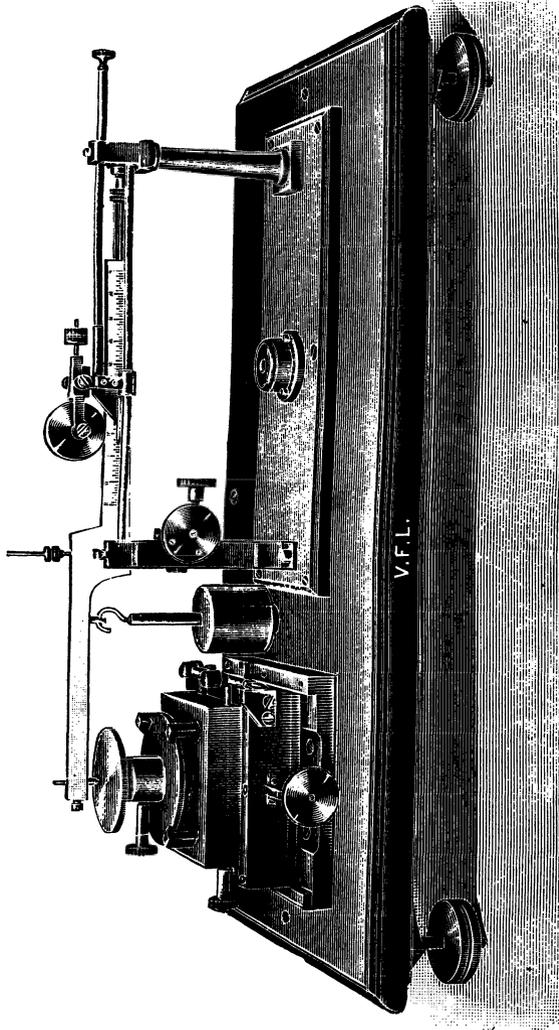


Abb. 59.

Will man genauere, allerdings auch nur empirische Werte der Ritzhärte haben, so empfiehlt sich die Anwendung des in Abb. 59 wiedergegebenen Ritzhärteprüfers nach Martens, bei dem ein Diamant mit einem Spitzenwinkel von nahezu 90° unter verschiedenen Be-

lastungen die Probe ritzt und die erhaltene, mit dem Mikroskop zu messende Strichbreite als Vergleichsmaßstab dient. Bemerkte sei noch, daß zur Erhaltung einer Konstante Martens (der frühere Direktor des Königl. Materialprüfungsamtes und verdienstvolle Schöpfer des Materialprüfungswesens in Deutschland) vorgeschlagen hat, diejenige Belastung des Diamanten in Gramm als Härtemaß gelten zu lassen, bei der in dem zu prüfenden Material eine Strichbreite von 0,01 mm erzielt wird. Dieses kleine Maß ist mit Rücksicht auf die Ritzhärtebestimmung von Eisen und Metallen gewählt worden, die Martens hauptsächlich im Auge hatte.

Trockensubstanzaufnahme. Die Lösungsmittel der flüchtigen oder mageren Lacke verfliegen nach dem Auftragen, und es kann unter Umständen wünschenswert sein, die Menge der zurückbleibenden Trockensubstanz zu ermitteln. Dies kann auf ganz einfache Art geschehen, indem man eine Fläche genauer Abmessung (z. B. 1 qm) wägt, sie mit dem Lack gleichmäßig bestreicht und nach 24stündigem oder längerem Trocknen wieder wägt. Die erhaltene Gewichtszunahme gibt für verschiedene Lacke einen guten Vergleichswert. Man kann auch eine genau gewogene Menge Lack auf eine gewogene Fläche verstreichen, nach dem Trocknen die Gewichtszunahme und damit den Gehalt an Trockensubstanz bestimmen. Die genaue Bestimmung erfolgt jedoch nach dem unter chemischen Prüfungen angegebenen Verfahren.

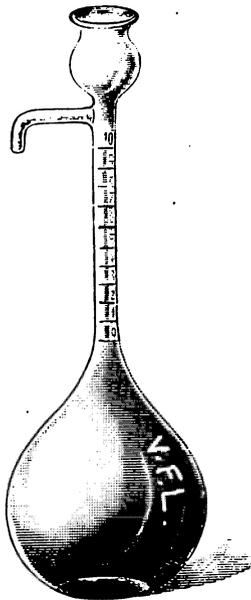


Abb. 60.

b) Chemische Prüfungen.

Eine eingehende chemische Untersuchung der Lacke wird in den seltensten Fällen vorgenommen werden und kommt für die Praxis überhaupt nicht in Frage. Für diese wird sich die chemische Prüfung beschränken auf einfache Methoden zur Unterscheidung von flüchtigen und Öllacken und zur Bestimmung des Gehaltes an Lösungsmitteln der flüchtigen Lacke für Vergleichszwecke.

Zur Entscheidung der Frage, ob ein flüchtiger oder ein Öllack vorliegt, erwärmt man eine Probe in einer kleinen Schale auf dem Wasserbade. Bei flüchtigen Lacken verdunstet das Lösungsmittel, und es bleibt ein sprödes Harz zurück, fette Öle haben einen dickölgigen Rückstand.

Zur Bestimmung des Gehaltes an flüchtigen Lösungsmitteln der mageren oder flüchtigen Lacke, wie Benzin, Benzol, Azeton, Amyl-

azetat, Terpentinöl werden nach dem Verfahren von Marcusson 10—20 g Lack mit Wasserdampf destilliert, bis kein Öl mehr übergeht. Das Destillat wird in einem Kolben gemäß Abb. 60 aufgefangen und ihm so viel Wasser zugesetzt, daß das übergegangene Öl in das Meßrohr des Kolbens gedrängt wird, an dem man seinen Rauminhalt unmittelbar ablesen kann.

c) Elektrische Prüfung.

Bearbeitet von K. Bergk.

Die elektrische Prüfung der Öle, Lacke und Vergußmassen bewegt sich im großen und ganzen in demselben Rahmen, in dem auch die Untersuchung der festen Isolierstoffe erfolgt. Die elektrischen Einrichtungen sind die gleichen wie bei diesen, nur macht es sich nötig, einige Hilfseinrichtungen der Eigenart der Materialien anzupassen; aus demselben Grund wird man bei den einzelnen Gruppen Untersuchungen wegfällen lassen (so allgemein über die Lichtbogensicherheit und über Erwärmung bei dauernder Prüfspannung), die bei festen Isolierstoffen unbedingt angestellt werden müssen.

So wird man bei Ölen unter Widerstandsmessungen nur den Durchgangswiderstand bestimmen (auch dieser ist von untergeordneter Bedeutung), sowie die Dielektrizitätskonstante und die Dämpfung nur dann feststellen, wenn das Öl als Dielektrikum in Kondensatoren Verwendung finden soll.

Bei Lacken fällt die Bestimmung der Durchschlagsfestigkeit, des inneren und Durchgangswiderstandes, sowie der Dielektrizitätskonstante oft fort, während hier der Oberflächenwiderstand speziell bei Verwendung in feuchten Räumen hervorragende Bedeutung erhält.

Bei den Vergußmassen können alle Prüfungen wie bei den festen Isolierstoffen ausgeführt werden, doch wird man sich auch hier auf die für den jeweiligen Verwendungszweck wichtigsten beschränken. So kommen z. B. bei Vergußmassen für Transformatoren die Durchschlagsfestigkeit, bei solchen für Kondensatoren Dielektrizitätskonstante und Dämpfung in erster Linie in Frage. Bei allen Vergußmassen ist aber neben der rein elektrischen Prüfung auf den Grad des Schwindens beim Erkalten zu achten und muß für spezielle Fälle eine Zusammensetzung gesucht werden, die ein möglichst geringes Schwinden (Einziehen) zeigt.

Bei Behandlung der einzelnen Prüfungen wird von Fall zu Fall auf die entsprechenden Untersuchungen der festen Isolierstoffe Bezug genommen und nur von diesen Abweichendes näher besprochen werden.

Oberflächenwiderstand. Der Oberflächenwiderstand kommt nur in Frage bei Lacken und Vergußmassen und wird ebenso bestimmt, wie bei den festen Isolierstoffen beschrieben. Die Lacke werden hierbei

als Überzüge auf guten Isolierstoffen untersucht (mehrere dünne gut ausgetrocknete Schichten übereinander), während von Vergußmassen Probeplatten durch Gießen hergestellt werden.

Hierher gehört auch die Feststellung, ob Feuchtigkeit sich auf der Oberfläche des Materials als geschlossener Überzug, oder in Tropfen verteilt, niederschlägt. Stoffe mit letzterer Eigenart sind natürlich vorzuziehen, da durch Tropfenbildung die Isolation besser erhalten bleibt, als im anderen Falle. Zur Feststellung genügt Eintauchen in Wasser und darauffolgendes Abschleudern.

Durchgangswiderstand. Der Durchgangswiderstand wird bei Ölen und Vergußmassen bestimmt; bei letzteren in derselben Weise wie bei den festen Isolierstoffen an Versuchsplatten, die man durch Gießen herstellt. Bei Beurteilung des Materials wird man zu berücksichtigen

haben, ob dasselbe in erster Linie der Isolation oder dem Festlegen bereits isolierter Teile oder endlich beidem dienen soll. Im ersten und letzten Fall gibt der Durchgangswiderstand den Ausschlag, während im zweiten Fall die mechanische Festigkeit maßgebend sein wird.

Bei Ölen wird der Durchgangswiderstand in der Weise bestimmt, daß man 2 Elektroden, die in einem Abstand von etwa 5 mm parallel

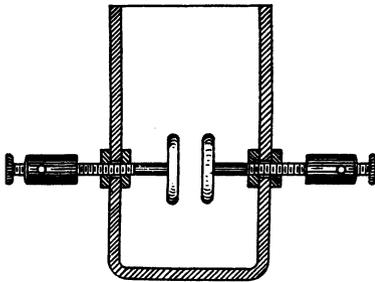


Abb. 61.

einander gegenüberstehen in ein mit dem zu untersuchenden Öl gefülltes Gefäß eintauchen läßt. Eine Anordnung, bei der auch je nach der Größe des Gefäßes, welches aus Glas oder Zellon sein kann, kleinere Proben untersucht werden können, zeigt Abb. 61.

Dielektrizitätskonstante. Die Dielektrizitätskonstante wird bestimmt bei Ölen und Vergußmassen mit derselben elektrischen Prüfanordnung wie bei festen Isolierstoffen. Die Prüfung erfolgt für Öle mit zwei oder mehreren Metallplatten, die einen Kondensator bilden und in ein Glasgefäß, welches das zu untersuchende Öl enthält, eintauchen. Dieser Kondensator wird erst außerhalb des Gefäßes als Luftkondensator und dann in eingetauchtem Zustande, wobei das Öl über den oberen Rand der Platten hinausstehen muß, gemessen.

Eine Vorrichtung zur Messung der Dielektrizitätskonstante von Vergußmassen, deren Plattensystem auch für die Bestimmung der Dielektrizitätskonstante bei Ölen benutzt werden kann, zeigt Abb. 62.

Auf einer Pertinaxplatte sind zwei oder mehr Metallplatten mit Bolzen, welche Anschlußklemmen tragen, befestigt. Die Platten sind umgeben von einem abnehmbaren, beiderseitig offenen Blechkasten,

der mit einem Dichtungsrand und einer Papierzwischenlage auf der Pertinaxplatte aufsitzt. Die Platten selbst werden durch zwei Käbme aus Isoliermaterial (Pertinax) in ihrem Abstand fixiert. Dies ist nötig, da die in den Kasten eingefüllte Vergußmasse beim Erkalten schwindet und den Abstand der Platten verändern kann, wodurch falsche Meßwerte erzielt werden.

Die Messung erfolgt nun genau wie bisher üblich. Der Kondensator wird erst als Luftkondensator mit dem aufgesetzten Blechkasten und den Käbmen gemessen, so-

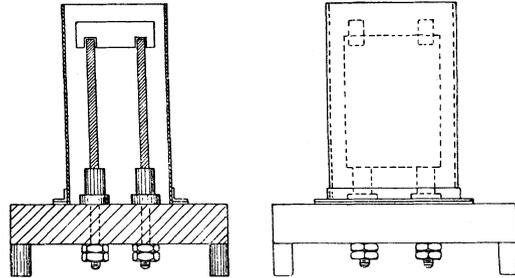


Abb. 62.

dann erfolgt das Vergießen desselben bis über die Oberkante der Platten und nach dem Erkalten die zweite Messung.

In einem Wärmofen kann die Masse nach erfolgter Prüfung wieder ausgeschmolzen werden.

Dämpfung. Die Messung der Dämpfung erfolgt bei Ölen und Vergußmassen in der gleichen Weise, wie bei den festen Isoliermaterialien beschrieben. Als Versuchskondensator kann dieselbe Einrichtung benutzt werden, wie sie bei Bestimmung der Dielektrizitätskonstante verwendet wurde.

Lacke, die als Überzug und Imprägniermittel für Hochfrequenzspulen dienen sollen, werden in dieser Eigenschaft auf Dämpfung untersucht. Die Prüfeinrichtung ist die gleiche wie sie Abb. 43 zeigt, an Stelle der Kondensatoren 9 und 10 sind zwei mechanisch und elektrisch ganz gleichartige Spulen aus Emaillitze zu setzen, deren eine unlackiert bleibt, deren zweite mit dem zu untersuchenden Lack behandelt ist. Zur Abstimmung auf die Senderkreiswelle ist in den Meßkreis ein variabler Kondensator einzuschalten.

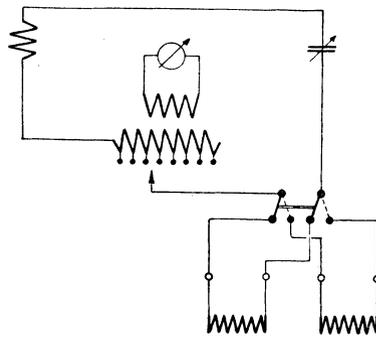


Abb. 63.

Der Meßvorgang ist genau der gleiche, wie vorn bei der Durchgangsmessung beschrieben. Abb. 63 zeigt die Abweichung gegen das Schaltbild 43.

Durchschlagsfestigkeit. Die Bestimmung derselben erfolgt bei Ölen und Vergußmassen regelmäßig, seltener bei Lacken.

Die Art der Ausführung der Prüfung ist bei Vergußmassen und Lacken die gleiche wie bei festen Isolierstoffen und benutzt man Versuchsplatten, die durch Gießen des zu untersuchenden Materials oder Begießen mit demselben hergestellt sind. Auch hier erfolgt die Untersuchung an Platten verschiedener Stärke bzw. Auftragungen.

Die Durchschlagsfestigkeit der Öle ist in hohem Grade abhängig von dem Wassergehalt derselben und können aus der Höhe der Durchschlagsfestigkeit direkt Schlüsse auf den Wassergehalt gezogen werden. So geht beispielsweise die Durchschlagsfestigkeit eines Öles bei einem



Abb. 64.

Wassergehalt von 5% um etwa 35% zurück. Einen ähnlichen Einfluß haben Verunreinigungen (Staub und dergleichen). Da die im Handel befindlichen Öle meistens stark verunreinigt sind, ist zu einer vollständigen Beurteilung derselben eine Trocknung und Filterung nötig.

Das Wasser kann durch Erhitzen des Öles bis etwa 115° entfernt werden. Besser ist ein Auskochen des Wassers im Vakuum bei wesentlich niedrigerer Temperatur. Nach Tobey erfolgt die Entfeuchtung am besten mit Hilfe von Filtrierpapier, durch welches das Öl durchgepreßt wird.

Eine zweckmäßige Funkenstrecke zur Ausführung der Messung zeigt Abb. 64¹⁾. Der Abstand der Funkenstrecken soll nicht kleiner als 0,5 cm sein. Es können auch andere Formen von Elektroden (z. B. Platten oder Kugeln) verwendet werden, während von der Benutzung von Spitzen oder Spitze gegen Platte abzusehen ist.

¹⁾ Petersen, Hochspannungstechnik.

Zweiter Teil.

Die Isolierstoffe und ihre Eigenschaften.

Bearbeitet von W. Demuth.

Bei der Bearbeitung dieses Teiles des Buches war es die Absicht des Verfassers, die in ihrer Wertigkeit annähernd gleichbleibenden Materialien, wie insbesondere die reinen Naturerzeugnisse und die daraus hergestellten Stoffe ausführlich zu behandeln, d. h. ihr Vorkommen, ihre Gewinnung, Fabrikation, Eigenschaften und Verwendung möglichst ausführlich zu schildern und auch die diesbezüglichen Vorschriften des V. D. E. heranzuziehen.

Bei den reinen Kunststoffen hat sich der Verfasser dagegen zumeist darauf beschränkt, die Namen derselben zu nennen, die Fabrikanten, Lieferungsformen, Farben, spezifisches Gewicht und Herstellungsarten anzugeben, also den im ersten Kapitel der Arbeit aufgestellten Fragebogen im allgemeinen Text zu beantworten.

Es ist hiernach ohne Schwierigkeit möglich, einen Überblick über die verschiedenen Arten der Isolierstoffe zu gewinnen und danach einzelne Fabrikate für bestimmte Verwendungszwecke zur näheren Prüfung heranzuziehen und gegenüberzustellen. Eine vollständige Durcharbeitung der weiteren im Fragebogen angezogenen Eigenschaften glaubte der Verfasser den Interessenten im Einzelfalle überlassen zu müssen. Schwierigkeiten können nach der gegebenen Anleitung kaum auftreten.

Erfahrungswerte aus der Praxis für künstliche Stoffe liegen verhältnismäßig wenig vor, soweit sie dem Verfasser bekannt, sind sie eingefügt, doch können diese nie als Norm dienen, da die Materialien infolge der schwankenden Rohstoffzufuhr in ihrer Güte starkem Wechsel unterliegen. Es ist darum in jedem Falle eine eigene Untersuchung für den beabsichtigten Verwendungszweck nötig, ja sogar verschiedene Eingänge des unter der gleichen Bezeichnung bestellten Materials weichen oft voneinander ab, sei es, daß eben die Rohstoffe nicht die gleichen waren, oder daß durch Einstellung neuen unerfahrenen Personals die Güte schwankt.

Es sei auch an dieser Stelle nochmals auf die schon weiter vorn angezogenen Arbeiten des Herrn Prof. Wagner von der P. T. R. hingewiesen. Die dort gewonnenen Werte sind in Tabellenform zusammengestellt, und werden auf Anforderung vertrauenswürdigen Firmen, die sich verpflichten, die Angaben nicht für Konkurrenz Zwecke zu verwenden, von der P. T. R. ausgehändigt. Die Arbeiten umschließen die Isolierfähigkeit, Bearbeitbarkeit und Widerstandsfähigkeit gegen äußere Einflüsse bei Hartgummiersatzstoffen. In der Aufzählung der Materialien in diesem Buch sind die in der P. T. R. wie vorstehend untersuchten Stoffe mit einem Stern hinter ihrem Namen versehen.

A. Reine Naturerzeugnisse.

Asbest. Vulkanasbest.

Asbest ist ein Mineral, das in Deutschland fast gar nicht, in anderen europäischen Ländern, wie Italien, Frankreich, Österreich-Ungarn, Rußland und in einigen anderen Gegenden in großen Lagern gefunden wird: Sibirien, Indien, Nord- und Südamerika sowie Australien sind besonders reich an abbaufähigen Vorkommen.

Die Kristallisierungsform ist nach Dr. Einecke¹⁾ monoklin, Härte = 5—6, spez. Gew. = 2,5—3,3.

Die Gewinnung erfolgt meist im Tagebau. Nach der Aufbereitung bildet das Material ein feines seidenartiges, weißes bis schmutzig gelbes Gespinnst, das für die Industrie infolge seiner Hitzebeständigkeit, Säurefestigkeit, schlechten Leitfähigkeit für Wärme und Elektrizität von hohem Werte ist. Nachteilig ist die hohe Wasseraufnahmefähigkeit.

Für die Elektrotechnik kommt Asbest aus dem letzten Grunde kaum in reiner Form zur Verarbeitung, dagegen wird es in Mischung mit Schiefer, Kautschuk und ähnlichem Material vielfach verwandt. Es eignet sich dann vorzüglich zum Widerstandsbau, zur Anfertigung von Preßteilen für Spulenkörper und dergleichen. Als direkte Träger von leitenden Teilen, wie für Schaltersockel, Sicherungen, kommt es der leichten Feuchtigkeitsaufnahme wegen nicht in Frage, es sei denn, daß die Teile unter Öl arbeiten. Dagegen findet es vielfach Verwendung für Trennstücke bei Hochspannungsabsperrungen, Schaltern, Sicherungen und dergleichen, wozu es bei seiner Feuersicherheit besonders geeignet ist.

Veröffentlichungen über seine Durchschlagsfestigkeit liegen nicht vor. Die Werte hängen sehr ab von den jeweilig gewählten Beimengungen und müssen von den liefernden Firmen eingeholt werden. Doch ist es auch ratsam, von Fall zu Fall selbst Stichproben zu machen, da die Güte bei dem starken Wechsel der Rohstoffe sehr schwankt.

¹⁾ Dammer und Tietze.

Infolge der hohen Preise der Rohstoffe ist man teilweise zu Ersatz übergegangen, beispielsweise liefert die Firma Alfred Calmon, Hamburg, ein solches Fabrikat. Wieweit sich dieses für elektrotechnische Zwecke eignet, ist dem Verfasser nicht bekannt.

Vulkanasbest und ähnliches Material wird von der A. E. G. und anderen Firmen hergestellt.

Glimmer.

In diesem Material haben wir einen der ersten in der Elektrotechnik benutzten Isolierstoffe. Die Verwendbarkeit ist so groß und vielseitig, daß hier etwas näher auf sein Herkommen und seine Verarbeitungsmöglichkeit eingegangen werden soll, zumal nicht immer die früher fast ausschließlich benutzten indischen und ostafrikanischen besten Sorten zur Verfügung stehen.

Die Welthandelsbezeichnung „mica“ ist abgeleitet vom lateinischen „micare“, die deutsche Übersetzung funkeln, schimmern, glitzern, glimmern gab dann den deutschen Namen Glimmer. Die Bezeichnung „Marienglas“ hat sich eingeführt durch die in Rußland und Asien übliche Abdeckung von Heiligenbildern mit Glimmer. Zu gleichem Zweck wird ein auch in Deutschland viel gefundenes, ähnlich kristallisierendes Mineral, der Gips, benutzt, und dieses „Marienglas“ wird daher ebenfalls leicht als Glimmer angesprochen. Beide Mineralien haben ganz verschiedene physikalische wie chemische Eigenschaften. Das letztere kommt für Isolationszwecke keinesfalls in Frage.

Die verschiedenen Glimmerarten¹⁾.

Als häufigst verwendete Glimmerart ist der **Kaliglimmer** nach einer der ersten Fundstellen Muskowia in Rußland „**Muskowit**“ genannt, anzuführen. Es hat die für die technische Verarbeitung günstigsten Eigenschaften, höchste Spaltbarkeit bei fast völliger Farblosigkeit, er ist rötlich, gelblich bis braun oder grünlich gefärbt, immer aber nur leicht getönt und somit in dünneren Schichten klar durchsichtig. Es finden sich Beimengungen von Eisen, Magnesium und Kalzium.

An zweiter Stelle ist der **Magnesiaceisenglimmer** „**Biotit**“ zu nennen. Er ist von grüner, dunkelgrüner, seltener brauner Farbe, dabei durchsichtig, durchscheinend bis undurchsichtig.

Der **Magnesia- oder Bernsteinglimmer** „**Phlogopit**“ hat bräunliche bis gelbe Farbe, er enthält vielfach Natron statt Kali, Eisen statt Magnesia. Das Material aus kanadischen Vorkommen ist fast ausschließlich Magnesiaglimmer.

Der „**Lepidomelan**“ ist ein dem Biotit sehr ähnliches Material, der Gehalt an Eisen ist sehr hoch, die Farbe tiefschwarz, nur in den

¹⁾ Dr. Bärtling aus Dammer und Tietze.

sehr dünnen Schichten tiefgrün oder braun durchsichtig. Die Spaltbarkeit ist sehr schlecht.

Der „Natronglimmer“ „Peragonit“, der Lithioneisenglimmer „Zinnwaldit“ und Lithionglimmer „Lepidolith“ haben kaum praktische Bedeutung, wenigstens nicht für die Elektroindustrie und seien nur der Vollständigkeit wegen erwähnt.



Abb. 65.

Zur weiteren Unterscheidung der Glimmersorten sei hier schon angegeben, daß Biotit und Phlogopit von Schwefelsäure zersetzt werden, während Muskowit und Peragonit nicht angegriffen werden. Ein weiteres Hilfsmittel gibt die Untersuchung im polarisierten Licht. Der Winkel der optischen Achsen zeigt große Verschiedenheit, er schwankt von wenig über 0° beim Biotit, 15° beim Phlogopit bis 50° und 75° bei den übrigen Glimmerarten.

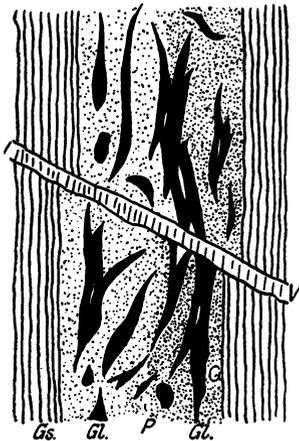


Abb. 66.

Als Beimengungen finden sich in den Glimmerkristallen oft Einschlüsse, Kristalle von Beryll, Turmalinnadeln, Quarz, Feldspat, Granat und Zirkon, oder auch durch ihre rote und braune bis schwarze Farbe kenntliche Blättchen Eisen, Abb. 65. Früher wurden solche Glimmerblättchen für elektrotechnische Zwecke ganz ausgeschlossen, bei dem immer größer werdenden Bedarf hat man noch eine gewisse Unterteilung der Wertigkeit eingeführt.

Die Vorkommen von Glimmer sind auf der ganzen Erde außerordentlich zahlreich, doch ist das Material durchaus nicht immer abbaubar, da die Kristalle oft nur in kleinsten technisch nicht mehr ver-

wertbaren Stücken gefunden werden. Die wirklich ausnutzbaren Vorkommen sind somit verhältnismäßig gering.

Das Material findet sich fast regelmäßig in Granit (Pegmatitgängen), eingebettet in Glimmerschiefer, Kaolin, Feldspat und Quarz in Platten verschiedenster Stärke und Größe.

Die Abb. 66 zeigt die Einlagerung eines verschobenen Glimmerganges in Pegmatit und Glimmerschiefer. *Gl.* sind Glimmerpakete, *P.* ist Pegmatit vermischt mit Quarz *Q.*, *V.* ist die Verschiebung des Gebirges, durch die oft bis 40 mm starke Glimmeradern glatt quer durchschnitten sind.



Abb. 67.

In Abb. 67 ist ein Stück norwegischen Feldspates von einem Vorkommen in der Nähe von Kragerö wiedergegeben, welches starke Quarzbeimengungen und Glimmereinlagerungen hat. Die Glimmerpakete liegen vielfach quer zueinander. Die Unebenheit und Rissigkeit des Materials ist klar zu erkennen. Noch deutlicher ist die Unebenheit des Glimmers in Abb. 68 sichtbar, welche ein Stück rumänischen Gesteins zeigt. Der Glimmer liegt hier in fast reinem Feldspat.

Als Hauptlieferant ist Indien anzuführen, dann kommen Nordamerika, Deutsch-Ostafrika (Uluguru- und Morogorogebiet), Südamerika, Ostasien, Sibirien, Skandinavien und die Südkarpathen. Das norwegische Material und das transsylvanische ist für technische

Zwecke weniger geeignet, da es infolge starker Gebirgsschiebungen vielfach verlagert, geschnitten (Abb. 69) und uneben ist und somit nur das Schneiden kleiner Platten zuläßt. Die rechte Kante der Probe ist durch Gebirgsverlagerungen, wie sie im Bild 66 bei V. angedeutet sind, glatt abgeschert. Der chinesische Glimmer ist meist zu weich.

Die Gewinnung des Glimmers geschieht oft noch auf die primitivste Art. In Indien, Afrika und auch China stehen meist billige Arbeitskräfte zur Verfügung, aber selbst in Norwegen und auf dem Balkan sah der Verfasser noch die einfachsten Methoden. Dabei ist allerdings zu sagen, daß der Glimmer dort dicht unter der Oberfläche gefunden wird, der Abbau also verhältnismäßig leicht ist. Die norwegische Glim-

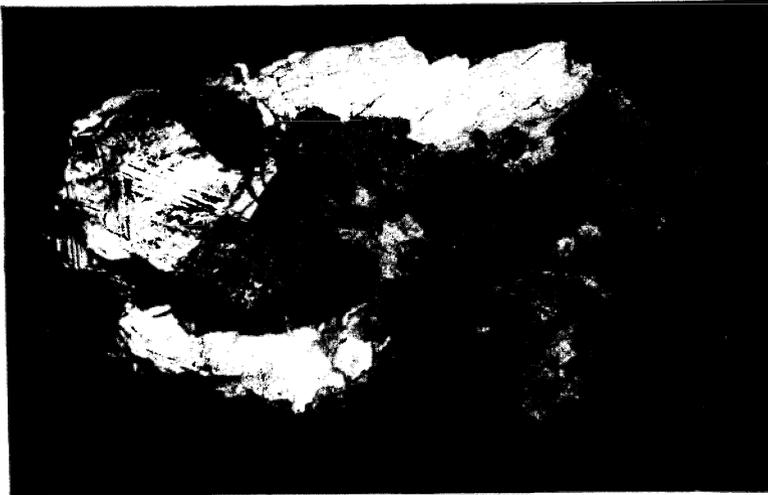


Abb. 68.

merindustrie ist bis zum Kriege verhältnismäßig klein gewesen, erst der damit eingetretene große Bedarf hat Veranlassung zu umfangreicher Ausbeutung gegeben. Die vom Verfasser untersuchten Vorkommen liegen fast alle in Südnorwegen vom Drammenfjord bis herunter zum Skagerrak, doch wird auch weiter nördlich in der Gegend von Drontheim Glimmer gefunden.

Der Abbau erfolgt im Tagebau oder in Schächten von geringer Tiefe bzw. Länge. Die Schutthalden fallen meist rückwärts der Anschlagstelle vom Gebirge ab.

Die Gewinnung unterscheidet sich besonders noch dadurch vom Erzbergbau, daß es nicht darauf ankommt, große Mengen zu fördern, sondern das gefundene Material möglichst ohne Beschädigung zu gewinnen.

Die Ausbeute an handelsfähiger Ware ist im Vergleich zur Menge des losgebrochenen Materials sehr gering. Die gewonnenen Platten werden am Schlagort gereinigt, gespalten, soweit die Ausscheidung von groben Beimengungen es nötig macht, und beschnitten, so daß glatte Kanten entstehen. Die Platten haben ganz unregelmäßige Form und



Abb. 69.

Größe. Auf den Sammelstellen folgt dann nochmals eine sorgfältige Sortierung; stark gerissene, verworfene oder verlagerte Platten werden nochmals gespalten und danach wird eine eingehende Teilung nach der Größe der Stücke vorgenommen.

In Indien, Ostafrika und auf einigen anderen Fundstellen werden Platten bis $\frac{1}{2}$, selten auch bis etwa 1 qm Flächeninhalt dabei voll-

ständig eben und rißfrei neben vielen kleineren Stücken gefördert. Die Wertigkeit der Platten steigt mit der Größe bedeutend.

Die europäischen Vorkommen liefern dagegen meist nur kleinere Stücke bis höchstens $\frac{1}{4}$ m im Quadrat, doch sind sie stets so verlagert, daß gerade, in einem Stück verwendbare Platten von höchstens 10×10 cm daraus herzustellen sind. Die weit überwiegende Menge ist kleinblättrig und nur für die Mikanitfabrikation geeignet. Dabei enthalten diese Glimmer sehr viele Beimengungen besonders an Eisen. Vollständig reiner Muskowit ist hier seltener.

Der Versand des Glimmers erfolgt in Kisten nach Größen der Platten sortiert. Für den Handel haben sich folgende Größen als Normalien eingeführt:

Spezialmarke über 36 Zoll im Quadrat					
Nr. 1	von	24—36	„	„	„
„ 2	„	15—24	„	„	„
„ 3	„	10—15	„	„	„
„ 4	„	6—10	„	„	„
„ 5	„	3—6	„	„	„
„ 6	„	2—3	„	„	„

Die Preise sind je nach der Zufuhr und Nachfrage starken Schwankungen unterworfen.

Am Hamburger Markt wurden nach den Angaben des Hamburger Glimmermaklers Hans Malmberg zu Anfang des Jahres 1914 folgende Preise für Ware ostafrikanischer Herkunft mittlerer Güte pro Kilogramm gezahlt:

	Nr. 6	klar	M.	1,—	fleckig	M.	0,50
	„ 5	„	„	7,—	„	„	1,10
	„ 4	„	„	12,—	„	„	3,—
	„ 3	„	„	17,50	„	„	6,30
	„ 2	„	„	22,—	„	„	8,—
	„ 1	„	„	23,50	„	„	10,—
	Spezial	„	„	25,—	„	„	12,50
	Extra	„	„	30,—	„	„	15,—
Extra	„	„	„	40,—/60,—	„	„	20,—/25,—

Für die Dickenmessungen, die hier in großer Zahl und dabei mit Schnelligkeit durchgeführt werden müssen, ohne daß das Material verletzt werden darf, haben sich die im ersten Teil des Buches beschriebenen Minimeter als besonders geeignet erwiesen.

Die leichte Klebfähigkeit des Materials ist in der Mikanitfabrikation ausgenutzt.

Die Druckfestigkeit des Glimmers in der Mikanitverarbeitung ist eine außerordentlich hohe. Der Verfasser hat Isolatoren aus Mikanit

untersucht, die bei Drücken von 2 t/qcm keinerlei Veränderung zeigten. Die untersuchten Körper hatten eine Größe von 200 mm im \varnothing und 100 mm Höhe. Die benutzte Maschine leistete nur 600 t, so daß eine Zerstörung der Proben nicht möglich war. Die Bruchgrenze lag weit aus höher.

Die **Biegsamkeit** ist gleichfalls eine hervorragende. Platten von 0,2 mm Stärke lassen sich noch gut über \varnothing von 30—40 mm wickeln, ohne in ihrer Oberfläche zu reißen. Dünnere lassen weit geringere Wickeldurchmesser zu.

Die **Härte** des Glimmers liegt, nach der Mohsschen Härteskala (siehe Teil 1 des Buches) untersucht, zwischen 2 und 3, also ziemlich tief, doch schwanken die Glimmersorten untereinander noch bedeutend. Nach Zei tler ergibt sich folgende Abstufung, nach der Nr. 1 die weichste Sorte darstellt:

- 1 Amber (schwarz, rot, gold);
- 2 weiß Indien;
- 3 weich, grün Madras und Kalkutta;
- 4 Ruby, Indien;
- 5 hart, grün und braun Madras;
- 6 grün, braun, gelb Ostafrika;
- 7 grün, Vereinigte Staaten.

Die **Wärmebeständigkeit** liegt weit höher wie bei jedem anderen Isolationsmaterial. Selbst Porzellan verträgt so hohe Wärmegrade unter schnellen Schwankungen bis zur Abkühlung im Wasser nicht. Muskowit zeigt nach Zei tler bei 400—600° noch keine Veränderungen, er behält seine Durchsichtigkeit und Elastizität vollkommen bei. Erst bei 900—1000° wird er silberweiß, spröde und pulverisierbar. Die Schmelztemperatur liegt bei 1200—1300°.

Die **Wasseraufnahme** ist eine hohe, besonders bei den weichen Sorten, die nur eine geringe Haftfähigkeit der einzelnen Schichten untereinander haben. Der Übelstand läßt sich in der Praxis leicht beheben. Beim Kondensatorenbau erfolgt nach dem Zusammenbau ohnehin eine Tränkung mit Lack oder Paraffin im Vakuum. Direktem Wassereinfluß wird Glimmer nirgends ausgesetzt, weshalb die **Frostbeständigkeit** gleichfalls außer Betrachtung bleiben kann.

Das **Verhalten in der Flamme** ist vorstehend unter „Wärmebeständigkeit“ bereits erwähnt. Geringe Temperaturen zeigen keinerlei Veränderung. Selbst vor dem Lötrohr ist Glimmer nur in feiner Verteilung schmelzbar.

Die **Säurebeständigkeit** ist bei Muskowit und Biotit verschieden. Wird Glimmer auch kaum mit Säure in Verbindung gebracht, so soll doch das Verhalten hier angeführt werden, weil damit ein leichtes Unterscheidungsmerkmal gegeben ist. Magnesiaglimmer werden, wie vorn

angedeutet, danach durch Kochen in konzentrierter Schwefelsäure vollständig zersetzt, während Kaliglimmer gegen Schwefel- und Salzsäure unempfindlich sind.

Die **Wetter- und Seewasserbeständigkeit** ist nicht untersucht, weil sie im Elektrobau bei der besonderen Verarbeitung des Glimmers kaum in Frage kommt. Aus der übrigen Technik liegen hierüber durchaus gute Erfahrungen vor. Glimmer wird beispielsweise auf Schiffen zu den verschiedensten Zwecken benutzt und hat sich da hervorragend bewährt.

Die **Wärmeleitung** ist eine äußerst geringe. Zahlenmäßige Beobachtungen liegen darüber nicht vor.

Die **Durchlässigkeit strahlender Wärme** ist gleichfalls minimal. Sie ist von Zeitler untersucht und verhält sich zu der des Fensterglases wie 6 : 10. Die praktische Ausnutzung findet man bei Schaulöchern an Schmelzöfen und dergleichen. Für die Elektrotechnik ist sie weniger bedeutungsvoll.

Das **spezifische Gewicht** beträgt 2,65—3,2, entspricht also etwa dem des Aluminiums.

Die **Durchschlagsfestigkeit** hat der Verfasser nach der Kurve Abb. 70 bestimmt. Es ist hier reiner, fleckenfreier ostafrikanischer Glimmer zugrunde gelegt. Die Zahlen schwanken bei den verschiedenen Glimmersorten ziemlich bedeutend.

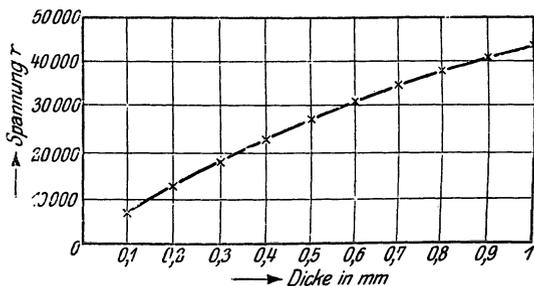


Abb. 70.

Dem ostafrikanischen Glimmer ist der indische etwa gleich zu setzen. Die übrigen Sorten sind infolge der geringen Rißfreiheit unterlegen. Erwähnt sei dabei, daß Einlagerungen von Eisen und dergleichen auf die Durchschlagsfestigkeit kaum Einfluß haben, da sie stets zwischen den Schichten, also parallel zur Kristallisierungsfläche verlaufen. Einen bedeutenden Einfluß üben diese Beimengungen dagegen in anderer Beziehung aus, sie führen zu erheblicher Steigerung der Verluste bei Kondensatoren.

Für den **Oberflächenwiderstand** sind, wie vorn unter der Aufstellung der elektrischen Prüfungen angedeutet, sehr schwer Zahlen anzugeben, da diese in bedeutendem Maße vom Feuchtigkeitsgehalt der Luft abhängen.

Die **Dielektrizitätskonstante** schwankt zwischen 3—8 je nach der vorliegenden Glimmersorte.

Der **Dämpfungswert** ist bei den einzelnen Glimmersorten außer-

ordentlich verschieden. Es hängt von den jeweiligen Beimengungen ab und muß von Fall zu Fall nach der unter dem Absatz „elektrische Prüfungsmethoden“ gegebenen Vorschrift untersucht werden. Die Verluste in Kondensatoren können bei fleckiger Ware gegenüber reinem indischen oder afrikanischen Rubyglimmer bis zu 70 und 80 % betragen. Der Kreis der für diese Verwendung zulässigen Glimmersorten ist demnach sehr beschränkt¹⁾.

Holz.

Das Holz ist bei den ersten Starkstromanlagen, die noch mit niedrigen Spannungen von etwa 65 Volt arbeiteten, viel als Isoliermaterial verwendet worden, insbesondere wurden Schalttafeln fast stets aus Holz gebaut. In späteren Jahren hat man Holz mehr und mehr der Feuergefahr wegen verlassen und ist zu Schiefer und Marmor übergegangen. Bis zum Jahre 1895 wurde Holz noch vielfach zum Verlegen von Lichtleitungen benutzt, doch ist man auch davon wegen der Feuchtigkeitsaufnahme und Kurzschlußgefahr abgegangen.

Die heute geltenden Errichtungsvorschriften des V. D. E. mit den von Weber²⁾ bearbeiteten Erläuterungen lassen Holz nur noch unter Öl und mit Isoliermasse getränkt zu (S. 34 Abs. 12). Für Bahnen ist unter den dafür geltenden Sondervorschriften nur eine isolierende Tränkung verlangt (S. 207), ebenso für Steuerschalter bis 1000 Volt, jedoch wird eine Behandlung zur Erreichung der Feuchtigkeits- und Wärmesicherheit vorgeschrieben (S. 59). Für den Apparatebau ist Holz als direkte Unterlage unzulässig, selbst für vorübergehend benutzte Schaltbretter ist eine feuer- und feuchtigkeitssichere Zwischenlage Bedingung (S. 49). Für Bahninstallationen und andere Anlagen bestehen noch einige Ausnahmen, die hier nicht im einzelnen wiederholt werden sollen und da nachzuschlagen sind.

Im allgemeinen darf Holz nicht mehr als Isolations-, sondern nur noch als Konstruktionsmaterial verwendet werden.

Marmor.

Der Marmor ist ein in der Starkstromtechnik viel benutztes Isoliermaterial. Er findet hauptsächlich Verwendung im Schalttafelbau.

Das Gestein kommt an sehr vielen Stellen vor. Für die deutsche

¹⁾ Zum weiteren Studium über Glimmer sei hier auf die Werke B. Dammer und O. Tietze, Die nutzbaren Materialien, Enke 1914, darin die Arbeit von Dr. Richard Bärtling, Zeitler, Glimmer, Verlag der Jaroslaw Glimmerwarenfabrik, Berlin-Weißensee, hingewiesen, aus denen hierfür einzelne Angaben und Tabellen entnommen sind.

²⁾ Dr. C. L. Weber, Erläuterungen zu den Vorschriften für Errichtung und Betrieb von Starkstromanlagen. Springer 1915.

Industrie sind die Marmorlager in Süddeutschland, Deutsch-Südwestafrika, Italien und Griechenland die Hauptlieferanten.

Die Verarbeitung von Marmor ist leicht, er läßt sich sägen, bohren, feilen und polieren. Marmor ist nicht säurebeständig.

Der Marmor hat eine weiße bis grauweiße Farbe. Die Struktur ist körnig, dabei aber vollkommen dicht. Oft finden sich graphitartige Beimengungen, die ihm ein graues, bläuliches bis schwarzes Aussehen geben und seine Wertigkeit in elektrischer Beziehung herabsetzen.

Die Verwendung ist aus diesem Grunde stark beschränkt. Für Hochspannungsanlagen ist er nur bedingt zuzulassen, selbst für Niederspannungen sind gewisse Beschränkungen gegeben. Die Vorderseiten der Platten sind zu polieren, um die Aufnahmefähigkeit für Schmutz und Feuchtigkeit herunterzudrücken. Die Rückseiten und die Bohrungen sind mit gutem Lack zu streichen, besser sind noch die Bohrungen selbst mit Mikanit oder dergleichen Hülsen zu versehen. Unter die Scheiben der Anschlußbolzen sind ebensolche Isolierscheiben zu legen. Auf jeden Fall ist das Material vor dem Verbrauch sorgfältig durch Isolationsmessungen auf das Vorhandensein von leitenden Adern zu untersuchen. Für Bauzwecke ist Marmor seiner geringen Feuchtigkeitssicherheit wegen verboten¹⁾.

Schiefer.

Hier gilt das unter Marmor Gesagte in vollem Umfange. Die Vorschriftsmaßregeln sind nur noch schärfer durchzuführen, da leitende Adern, insbesondere Eisen, viel häufiger und stärker auftreten. Weber²⁾ gibt darum auf S. 34 Abs. 13 sogar an, Schiefer in Paraffin zu kochen.

Das Material findet sich an vielen Stellen in Deutschland, es ist daher billiger wie Marmor. Die Bearbeitung ist hier noch leichter.

Verwendung findet Schiefer hauptsächlich für den Widerstandsbau.

B. Kunststoffe aus reinen Naturerzeugnissen.

Glas.

Glas ist als Isoliermaterial für die Elektrotechnik in größerem Umfange überhaupt nicht verwendet worden, von der Herstellung von Freileitungsisolatoren für Schwachstromzwecke abgesehen, ist es wohl kaum in nennenswerter Weise verarbeitet worden.

Es ist gegen Temperaturschwankungen außerordentlich empfindlich und infolgedessen für die verhältnismäßig komplizierten Formen der

¹⁾ Dr. C. L. Weber, Erläuterungen zu den Vorschriften für Errichtung und Betrieb von Starkstromanlagen. Springer 1915. S. 34, 44, 160.

²⁾ Dr. C. L. Weber, Erläuterungen zu den Vorschriften für Errichtung und Betrieb von Starkstromanlagen. Springer 1915. S. 34, 44, 160.

elektrischen Isolatoren ungeeignet. Außerdem wird Glas von den atmosphärischen Einflüssen angegriffen, ändert somit die Oberflächenisolation sehr bald, die Flächen werden rau, nehmen Schmutz auf und es vermindert sich die Isolationsfähigkeit sehr schnell.

Glas ist für reine Isolationszwecke fast überall von dem weitgeigneteren Porzellan verdrängt worden, der Gebrauch des Glases für Glühlampen, Bogenlampen, Kathodenröhren und dergleichen soll hier außer Betrachtung bleiben, da es ja in all diesen Fällen nicht rein elektrischen Zwecken dient, sondern nur als Bau- und Umkleidungsmaterial anzusehen ist. Allein für den Bau von Kondensatoren findet Glas heute in großem Umfange Verwendung, es dient hier als Ersatz für den früher für diesen Zweck fast ausschließlich benutzten Glimmer, letzterer ist als Auslandsprodukt teuer und hat sich Glas hierfür infolge seiner leichten Verarbeitungsfähigkeit für die fast nur noch in Frage kommende Plattenform als geeignet erwiesen.

Verwendet wird dafür ein stark bleihaltiges Glas, das sogenannte Flintglas.

Es wird als Glasgemenge in kleinen Häfen unter dauerndem Rühren angesetzt und geschmolzen, so wird ein Absinken der schweren Teile vermieden und eine große Homogenität gewährleistet. Die Häfen werden nach dem Abkühlen und Reißen der Masse ausgeschlagen und die so erzielten Brocken dann wieder auf eine Temperatur erwärmt, die zum Fließen nicht ausreicht, jedoch das Auswalzen gestattet. Der weitere Arbeitsprozeß ist der gleiche wie beim Spiegelglas, es werden die etwa 4 mm starken Walzkuchen auf die vorgeschriebene Dicke geschliffen, poliert und auf Maß geschnitten.

Ein anderes Verfahren zur Erzeugung der Platten ist folgendes:

Die im Hafen geschmolzene Masse wird mit der Glasmacherpfeife ausgehoben, der anhängende Glasklumpen wird zum Rohr ausgeblasen und dieses dann längs aufgeschnitten, ausgerollt, und so in die Plattenform gebracht. Dieses letztere Verfahren ist das sparsamere, erfordert aber sehr geübte Leute, da das Blasen bleihaltiger Gläser weitaus schwerer ist, als das gewöhnlichen Glases. Es neigt sehr zur Schlierenbildung, auch schwankt die Glasdicke oft erheblich, so daß dadurch ein bedeutender Ausschuß entsteht und die Vorteile dieser Methode wieder aufgehoben werden.

Die Benutzung der Gläser in Form von Leydener Flaschen scheidet fast ganz aus, da der Raumbedarf solcher ein ganz bedeutender ist im Vergleich zu der erreichten Kapazität.

Entsprechend der sehr einseitigen Verwendung des Glases ergeben sich nach dem Arbeitsplan folgende Antworten:

Verwendung: Kondensatoren.

Lieferungsform: Dünne Platten oder Zylinder.

Bearbeitung: Gewalzt oder geblasen, mit geschliffener oder blanker Oberfläche, danach mit Stanniol beklebt, Kupfer belegt, galvanisiert oder aufgeblasen nach Schoop.

Spezifisches Gewicht: Abhängig vom Bleigehalt.

Durchschlagsfestigkeit: 15 000 für 1 mm Stärke (unter Öl).

Erwärmung unter der Prüfspannung: Abhängig von der Zusammensetzung.

Dielektrizitätskonstante: 5,60.

Zusammensetzung: Bis 50 % Bleigehalt.

Melalith, Steatit, Speckstein.

Der Speckstein ist nach Dr. Dammer¹⁾ ein wahrscheinlich monoklin kristallisierendes Mineral vom spez. Gew. = 2,6—2,8, der Härte 1, die durch Glühen auf 6 zu bringen ist. Er findet sich als eine Abart des Talkes in derben, dichten Massen in Kalk, Serpentin, Granit und Glimmerschiefer, fühlt sich fettig an und ist von weißer, grüner, gelber bis brauner Farbe.

Speckstein findet sich in Nord- und Südamerika, in Frankreich, Spanien, in den Alpen und anderen Orten. Für die deutsche Specksteinindustrie kommen die ziemlich ausgedehnten Lager im Fichtelgebirge in der Nähe von Wunsiedel in Betracht; die Fabriken für die Verarbeitung befinden sich in der Hauptsache in Hohenbrunn und der Umgebung von Nürnberg.

Die Gewinnung geschieht teils im Tagebau, teils unterirdisch. Nach sorgfältiger Reinigung, Trocknung und Sortierung folgt die Vermahlung in Pulver in gleicher Weise wie beim Feldspat durch Walzen und Mühlen.

Das pulverisierte Material findet Verwendung für die verschiedensten Industrien. Hier interessiert nur die Benutzung als Schmiermittel und, in gebranntem Zustande, für die Herstellung von Isolatoren.

Die Verarbeitung für den letzteren Fall vollzieht sich in ähnlicher Weise wie die Porzellanfabrikation, so daß hier auf die ausführlich gegebene Schilderung dieser verwiesen werden kann.

Speckstein hat gegenüber dem Kaolin den Vorteil, daß die Masse bedeutend weniger schwindet. Er eignet sich daher ganz besonders zur Herstellung kleiner Preßteile, die in Massen zu fabrizieren sind, sie werden hervorragend sauber und gleichmäßig.

Viele Abnehmer stoßen sich daran, daß Speckstein beim Brennen eine leicht bräunliche Außenfärbung erhält. Der Bruch des Scherbens ist klar weiß, in kleinen Stücken durchscheinend, die Bruchfläche muschelartig. Man hat versucht, den Specksteinfabrikaten eine Glasur

¹⁾ Dammer und Tietze. Encke 1914.

zu geben, wie dem Porzellan, um auch äußerlich dem Porzellan gleichwertige Erzeugnisse zu bringen, doch haben sich dem Schwierigkeiten entgegengestellt, die schwer zu überwinden sind. Die Ausdehnung von Speckstein- und Glasurmasse ist verschieden und tritt dadurch leicht ein Reißen der Glasur beim Garbrand ein.

Allmählich ist man auch dazu übergegangen, nicht mehr Speckstein allein zu verwenden, sondern man hat eine Kaolinmasse mit Specksteinzusatz benutzt, so daß sich zwischen beiden Fabrikaten kein großer Unterschied zeigt.

Die Specksteinindustrie erzeugt für die Elektrotechnik die gleichen Stücke wie die Porzellanindustrie. Elektrische und mechanische Unterschiede bestehen fast nicht. Die vom Verfasser durchgeführten Druckprüfungen ergaben bei Körpern von 100—200 mm \varnothing und 100 mm Höhe etwas höhere Werte wie bei Porzellan (siehe Abhandlung Porzellan Abb. 75), doch wurden viel ungleichmäßige Brüche gefunden. Die Zugwerte lagen meist unter denen des Porzellans der Kgl. Manufaktur und waren ebenfalls sehr ungleichmäßig.

Die Ursache schien in beiden Fällen nicht im Material, sondern in der Fabrikation zu liegen. Die Speckstein-Porzellanfabriken sind mehr für Kleinzeug eingerichtet, sowohl die Verarbeitung der Masse für so große Stücke, wie auch die Führung des Brandes schien die Schwierigkeiten zu bereiten, ebenso ließ die Ausführung des Schleifens, auf das es bei Stücken für hohe mechanische Beanspruchung ankommt, zu wünschen übrig. Diese Schwierigkeiten lassen sich jedoch durch eine sachgemäße Fabrikation überwinden.

Für die weiteren im Fragebogen aufgestellten Anforderungen liegen Beobachtungswerte nicht vor, doch sind Unterschiede gegenüber den Werten des Porzellans kaum zu machen.

Porzellan.

Das Porzellan ist einer der wenigen Isolationsstoffe, die die Elektrotechnik von Anbeginn her benutzt hat, seine Verwendung ist infolge der vielen hervorragenden Eigenschaften eine stets steigende gewesen, es wird sich durch keines der im Laufe der Jahre entstandenen anderen Kunstprodukte je wieder verdrängen lassen.

In Rücksicht auf die vorzügliche Eignung als Isoliermaterial, seine außerordentlich vielseitige Verwendungsfähigkeit und seine Beständigkeit sei in folgendem zunächst ein kurzer Abriß über die Entstehung und die Fabrikation des Porzellans gegeben. Der Verfasser hielt dieses für notwendig, da die Konstrukteure im allgemeinen diese Fabrikation wenig beherrschen, eine eingehendere Kenntnis die Neudurchbildung von Porzellanisolatoren in sachgemäßer Form aber sehr erleichtert.

Über den Zeitpunkt der Gewinnung der ersten Porzellanerzeugnisse

ist nichts bekannt, als Erfinder sind die Chinesen anzusehen, die ältesten Funde gehen jedenfalls auf sie zurück, sie lassen sich bis in das 9. Jahrhundert n. Chr. nachweisen.

Erst vor etwa 200 Jahren gelang es in Deutschland durch Zufall, porzellanartige Massen unter Verwendung weißbrennender Erden herzustellen. Im Jahre 1710 wurde die erste Fabrikation von Porzellan-schmuckstücken nach chinesischem Muster auf der Albrechtsburg bei Meißen eingerichtet, sie machte sehr schnelle Fortschritte und führte bald auch an anderen Stellen zu gleichen Versuchen. So entstand 1750 die Fabrik von Wegely in Berlin, der eine Gründung von Gotzkowsky 1761 folgte. Letztere ging im Jahre 1763 in die Hände Friedrichs des Großen über und hat unter dem Namen „Kgl. Porzellan-Manufaktur“ die Führung übernommen und Anerkennung in der ganzen Welt erreicht.

Durch die in Deutschland an vielen Stellen vorhandenen Vorkommen von Porzellanerde (Kaolin) begünstigt, bildeten sich dann bald neue Fabriken. Es entstand so die Schlesische, Thüringer, Sächsische, Bayrische und auf einige andere Gegenden Deutschlands verteilte große Porzellanindustrie.

Man unterscheidet zwischen dem **Weich-** und **Hartporzellan**; das erstere (Fritten- und Knochenporzellan) gibt in der Hauptsache die Erzeugnisse für Künstler- und Luxuswaren, während für technische Zwecke infolge seiner hervorragenden Isolationseigenschaften und hohen mechanischen Festigkeit allein das Hartporzellan in Frage kommt und hier weiter behandelt werden soll.

Das Porzellan zeigt als wesentlichstes Merkmal einen muscheligen, fein- bis grobkörnigen Bruch von reinweißer Farbe. Der Scherben ist vollständig dicht und in dünnen Stücken durchscheinend ohne durchsichtig zu sein.

Die **Rohmaterialien** des Porzellans sind in der Hauptsache Kaolin, Feldspat und Quarz.

Kaolin, eine feinerdige, weiße Masse, Abb. 71, kristallisiert monoklin, die Härte ist = 1 der Mohsschen Skala, das spez. Gew. ist 2,2 bis 2,6.

Verunreinigungen durch Eisenoxyd, kohlensauren Kalk, Quarzpulver färben die Masse und geben den grauen bis grünlichen Ton und den braunen Lehm. Der Schmelzpunkt quarzfreien Kaolins liegt bei rund 1750°, Quarzbeimengungen setzen die Schmelztemperatur herunter.

Die Vorkommen sind in Deutschland so zahlreich, daß von den fremdländischen hier ganz abgesehen werden kann. Es wird gefunden in Sachsen, Schlesien, Thüringen, Bayern, in der Lausitz, in der Provinz Sachsen und in der Rheinprovinz.

Das Kaolin ist entstanden aus der Umwandlung von Feldspat und lagert in Eruptivgestein, wie Granit, Porphyr, Kaolinsandstein u. a.

Die Gewinnung geschieht meist im Tagebau, seltener unterirdisch. Es muß eine sehr sorgfältige Reinigung des gebrochenen Gutes vorgenommen werden, insbesondere sind durch Eisenverbindungen verfärbte Teile auszuschneiden, nicht beseitigte Eisenverbindungen geben dem Scherben leberfleckartige, braune bis schwarze Fehlstellen.

Die Aufbereitung geschieht in Steinbrechern, Kollergängen und Trommelmühlen, danach im Versetzen der gemahlene Masse mit Wasser (Schlämmen). Die zur Reinigung über Rinnenanlagen und Klärgruben geführte Masse wird in Absetzgruben gesammelt, durch Filterpressen vom Wasser befreit, gesiebt und schließlich getrocknet.

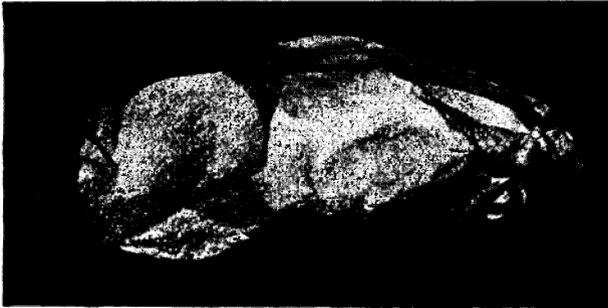


Abb. 71.

Feldspat, Abb. 72, Orthoklas, Kalifeldspat, ein Mineral von der Härte = 6, spez. Gew. = 2,35—2,50, selten kristallinisch dimorph, monoklin, triklin meist in derben Massen. Bruch muschelig bis uneben splittrig, durchscheinend bis undurchsichtig. Farblos, wasserhell, häufig rötlichweiß bis fleisch- und ziegelrot, gelblich, grünlichweiß bis graugrün, Glasglanz bis Perlmutterglanz. Von Säuren wird Feldspat nicht angegriffen. Der Schmelzpunkt liegt bei ca. 1200° C.

Der gemeine Feldspat, wie er zum Unterschied von den edleren Sorten (Adular und Amazonenstein, die zu Schmuckstücken verwendet werden) genannt wird, findet sich in Deutschland nur in kleinen Vorkommen. Die deutsche Porzellanindustrie ist darum auf die Einfuhr insbesondere aus Norwegen angewiesen.

Das Material von dort ist ziemlich farblos bis grau, die der Abhandlung „Glimmer“ beigefügte Abb. 67 zeigt ein Stück Rohmaterial mit starken Quarz- und Glimmerbeimengungen, das der Verfasser von Brüchen in Südnorwegen bei Kragerö mitbrachte. Ein anderes von ihm aus den transsylvanischen Alpen, westlich vom „Roten Turm-Paß“ (Malinea) mitgeführtes Stück, Abb. 68, läßt gleichfalls die Herkunft

aus Pegmatitgängen mit Quarz- und Glimmerbeimengungen erkennen. Der Feldspat hat hier eine reine weiße bis zartrosa Farbe.

Die Vermahlung des Feldspates geschieht teilweise in Norwegen, teils in Stettin an der Umladestelle, teils auch in den Porzellanfabriken.

Quarz, Abb. 73, hat die Härte 7, ein spez. Gew. = 2,5—2,8, meist derb, selten kristallinisch hexagonal. Von Säuren wird es nur durch Flußsäuren gelöst, von Kalilauge wenig angegriffen; er ist durchsichtig bis undurchsichtig. Die Farbe ist wechselnd von farblos, weiß, gelb bis braun. Der Schmelzpunkt liegt bei 1400° C.

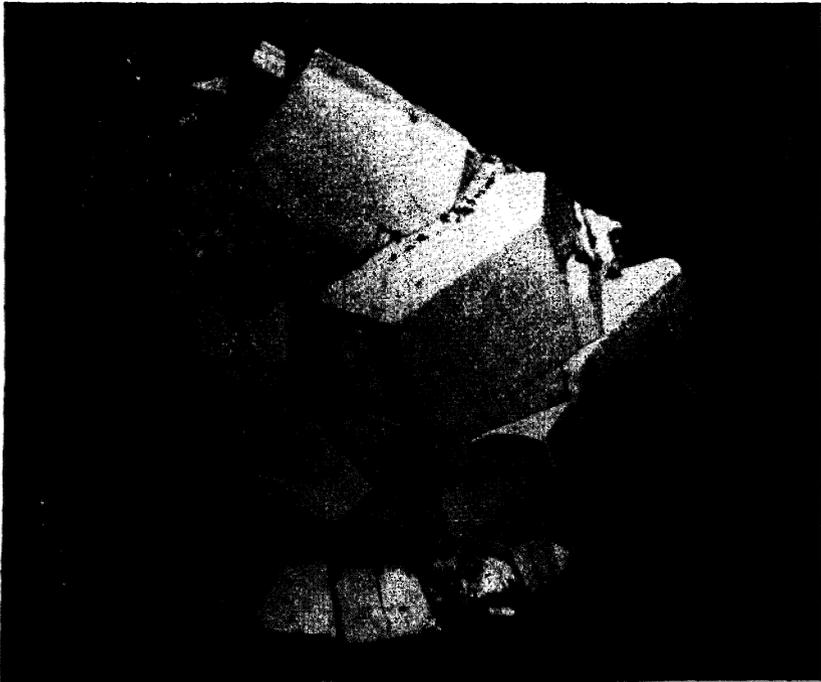


Abb. 72.

Quarz enthalten fast alle Gesteinsarten. Als Beispiel mögen wieder die vorangeführten Abbildungen dienen. Besonders in Pegmatitgängen kommt er oft in reichem Maße vor. Er wird vielfach mit dem Feldspat gemeinsam oder auch als Sand gewonnen. In Deutschland sind die Vorkommen zahlreich, so daß eine Einfuhr nicht notwendig ist.

Die Verarbeitung und Vermahlung ist die gleiche wie bei den vorbeschriebenen Mineralien.

Aus den drei behandelten Rohstoffen wird die **Porzellanmasse** hergestellt, sie wird nach nasser Mischung und sorgfältigster Durchknetung

von Hand oder in Masseschlagmaschinen vollständig homogen und bildsam und ist damit zur Formgebung bereit. Der Feldspat dient dabei als Flußmittel, er schmilzt etwas früher wie die anderen Bestandteile und verbindet diese miteinander. Man rechnet im Mittel 60 % Kaolin, 40 % Quarz und Feldspat.

Das Mischungsverhältnis der Masseteile ist Geheimnis der einzelnen Fabriken.

Für die Formgebung ist zunächst für den Porzellankonstrukteur zu beachten, daß das Schwindungsverhältnis des Porzellans beim Brennen etwa 15 mal größer ist als das Schwindmaß vom Gußeisen, es beträgt im Durchschnitt 16 %.



Abb. 73.

Die Herstellung der einzelnen Formen geschieht auf drei verschiedene Arten, und zwar durch das Drehen, frei oder mit Hilfe von Gipsformen, das Gießen oder Quetschen in Gipsformen und das Pressen in Stahlformen. Die erste Methode ist die gebräuchlichste und altergebrachte, erst die Forderung der Elektrotechnik von verhältnismäßig schwierigen Stücken und die Herstellung von Massenteilen haben die letzten beiden Arten eingeführt.

Das Drehen geschieht nicht wie in der Metallindustrie in horizontaler Lage, sondern in Rücksicht auf die plastische Masse vertikal auf sogenannten Töpferdreh scheiben mit Hilfe von Schablonenblechen und Gipsformen, beim Gießen wird die ziemlich starkflüssige Masse direkt in die geteilten Gipsformen, ähnlich wie in der Eisengießerei, eingefüllt, beim Stanzen in Stahlformen kommt eine zunächst pulverisierte, dann mit Rüböl oder Petroleum versetzte Masse zur Anwendung, die auf Schlag- und Spindelpressen in die Formen eingedrückt wird. Die

Schwindung dieser Masse ist etwas geringer. Auf diese letztere Art der Fabrikation werden die Massenteile für die Elektrotechnik, wie Schalter-Sicherungssockel, Schalterknöpfe, Klemmleisten und dergleichen, hergestellt. Die Teile werden sehr genau, es ist sogar möglich, Gewinde von 3 mm \varnothing in die Preßteile im sogenannten lederharten Zustand, also vor dem Brand, einzubringen.

Der Formgebung folgt das **Trocknen** und **Verglühen**, auf das ein ganz besonderer Wert gelegt werden muß, um rißfreie Stücke zu erzielen. Das Trocknen geschieht sehr langsam auf den äußeren Galerien des Brennofens oder in besonderen Trockenkammern. Die Körper sind hiernach sehr zerbrechlich und würden in diesem Zustand selbst das Glasieren nicht vertragen, sie werden darum erst einem leichten Brande

in der oberen Kammer des Ofens bei etwa 900—1000 °C unterzogen. Die Gegenstände werden dabei, wie auch bei dem später folgenden Garbrande, nicht direkt dem Feuer ausgesetzt, sondern in feuerfeste Schamottekapseln eingebaut.

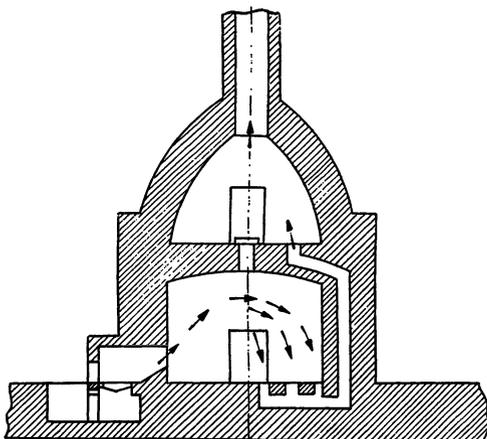


Abb. 74.

Zur allgemeinen Orientierung sei hier eine Skizze, Abb. 74, eines der gebräuchlichsten Rundöfen beigelegt. Links ist eine Feuerung sichtbar, die Pfeile deuten den Gang der Feuergase an; rechts unten sind die Züge

zur oberen Kammer erkennbar. eine verschließbare Feuerklappe zwischen der unteren und oberen Kammer ermöglicht den direkten Abzug der Gase nach oben. Die Öfen haben gewöhnlich 6—8 Feuerungen auf ihrem Umfang verteilt. Näher auf die Konstruktion dieser und anderer Ofentypen einzugehen, muß anderen Werken überlassen werden.

Der nächste Arbeitsvorgang ist das **Glasieren**, dem alle für elektrotechnische Zwecke bestimmten Porzellane unterworfen werden. Unglasierte Teile, sogenanntes Biskuitporzellan, wie sie zur Erzielung künstlerischer Wirkung erzeugt werden, würden durch ihre raue Oberfläche bald Staub und Ruß aufnehmen und so eine leitende Brücke erhalten, wenn sie auch, was von Nichtporzellanern oft angezweifelt wird, nicht mehr wasseraufnahmefähig (porös), sondern vollständig dicht sind. Die Probe hierauf läßt sich leicht mit einem Federstrich ausführen. Die Tinte muß auf dem Scherben genau wie auf Schreib-

papier stehenbleiben und trocknen; bei nicht durchgebranntem Scherben verläuft sie und wird wie von Löschpapier aufgesaugt. Es ist dies somit gleichzeitig eine für den Nichtfachmann leicht ausführbare Prüfung für die Güte des Brandes. Zu beachten ist, daß der Strich um so rand-schärfer trocknen wird, je feiner die Körnung der Masse (Vermahlung) gewesen ist. Ein grobkörniger Scherben braucht aber darum nicht schlechter in bezug auf die Eigenschaften des Porzellans zu sein.

Die Glasur gibt lediglich eine glatte Oberfläche, die leicht zu reinigen ist und im Freien durch Regen immer wieder abgewaschen wird und so bleibend eine gute Oberflächenisolation gewährleistet.

Die Glasuren bestehen aus dünnem Schlicker, dem besonders viel Feldspat zugesetzt ist, die dünne Masse muß im Garbrande des Porzellans zu einer feinen Schicht ausfließen und beim Erkalten erstarren und so eine geschlossene, glänzende, glasige Haut bilden, die etwa bis zu $\frac{1}{2}$ mm Tiefe in das Porzellan eingedrungen ist. Zu beachten ist, daß die Glasuren den gleichen Ausdehnungskoeffizienten wie das Porzellan haben müssen, es entstehen sonst bald die vielen feinen Glasurrisse, die zur Verschmutzung führen und die Körper in der Isolationsfähigkeit verschlechtern.

Die Aufbringung der Glasur geschieht durch das Tauchverfahren; der nach dem Glühbrande sehr poröse Körper nimmt die Glasurmasse begierig auf, die Glasurteile lagern sich dabei auf der Oberfläche ab.

Um ein Zusammenschmelzen der Porzellanteile mit den Schamotteformen während des Garbrandes zu verhindern, ist es nötig, die Aufstellränder von Glasurmasse zu befreien, für den Elektrokonstrukteur ist es wichtig, diesen Punkt zu beachten, die Formgebung muß so gewählt werden, daß diese Stellen die Isolationswege nicht beeinträchtigen. Bestimmte Körper werden, um ein Krümmziehen beim Brande zu verhindern, hängend gebrannt. Solche Konstruktionen werden zu diesem Zwecke mit einem T-förmigen Zapfen als Ansatz geformt, welcher zum Aufhängen während des Brandes dient und später abgeschlagen wird, die Bruchfläche wird danach verschliffen.

Die **Farbe der Glasur** wird meist weiß gewählt, es ist dies die billigste Art, es lassen sich beliebige Färbungen hier wählen, die teils zur möglichsten Unsichtbarmachung (grün, grau), teils zur Kenntlichmachung bestimmter Leistungen (rot für Feuerwehrtelegraphen) gewünscht werden.

Die glasierten Körper werden jetzt dem **Gar-, Glatt- oder Fertigbrand** unterworfen. Es geschieht dies wieder wie beim Glühbrand in Schamottekapseln, um den direkten Zutritt des Feuers zu verhindern. Die Aufstellung der Kapseln erfolgt jetzt in dem unteren Teil des Ofens, die Temperatur für den Garbrand liegt bei 1350—1500°. Die Brenndauer der Öfen ist je nach Anlage der Feuerung verschieden, sie beträgt im Mittel 20 Stunden.

Nach der Abkühlung des Ofens werden die Kapseln ausgebaut und die Ware einer sorgfältigen Sortierung unterzogen, die Ausschußzahlen sind bei der Porzellanfabrikation viel höher wie bei irgendeiner anderen.

Die dem Augenschein nach gute Ware geht jetzt, soweit eine weitere Verarbeitung, wie das Schleifen von Flächen oder dergleichen, nicht in Frage kommt, in das Prüffeld. Die großen Porzellanfabriken, die für die Elektrotechnik arbeiten, sind mit Prüfanlagen für mehrere 100 000 Volt ausgerüstet und geben kein Stück Ware heraus, das nicht einer sachgemäßen elektrischen Prüfung unter Hochspannung unterzogen wäre. Eine Ausnahme machen nur die kleinen für Niederspannung bestimmten Preßstücke, bei denen eine Durchschlagsprüfung ohne aufgebauete Metallteile schwer durchführbar und auch zwecklos ist.

Die Beschreibung des Prüffeldes erübrigt sich, es ähnelt der im ersten Teil des Buches unter „Durchschlagsfestigkeit“ beschriebenen Anlage zur Bestimmung der elektrischen Güte von Isolationsmaterialien, es ist in den Porzellanfabriken besonders Bedacht genommen auf rationelle Durchführung von Massenprüfungen, ferner sind Einrichtungen getroffen für die Prüfung unter künstlichem Regen bei Freileitungsisolatoren.

Mit Vorstehendem ist absichtlich eine, wenn auch nicht erschöpfende, so doch ausführlichere Beschreibung der Fabrikation wie bei den übrigen Isolationsmaterialien gegeben, weil bei Porzellan im Gegensatz zu diesen eine nachträgliche Bearbeitung nicht möglich ist, der Konstrukteur muß also daher schon alle Formgebungen schärfer bedenken und soll ihm dazu diese Schilderung des Arbeitsganges dienen.

Hiernach kann auf die einzelnen Eigenschaften des Porzellans gemäß dem Arbeitsplan wieder eingegangen werden.

Die Vorfagen sind in diesem Falle nicht weiter zu erörtern, sie erledigen sich durch die Beschreibung des Fabrikationsganges.

Die mechanischen und elektrischen Eigenschaften sind in folgenden ausführlich behandelt an Hand von Versuchsreihen, die insbesondere auf dem Gebiete der mechanischen Festigkeit vom Verfasser über den Zeitraum von mehreren Jahren und mit Material der größten Porzellanfirmen, als der Kgl. Porzellan-Manufaktur, Schomburg Söhne A.-G., Porzellanfabrik Hermsdorf, A. E. G. u. a., durchgeführt sind.

Die Zugfestigkeit soll nach Literaturangaben von Friese¹⁾, Wernicke, Petersen u. a. bei 1700 kg/qcm liegen. Der Verfasser hat Isolatoren verschiedenster Form in großen Mengen geprüft und nur
240 kg/qcm

¹⁾ Friese, Das Porzellan als Isolier- und Konstruktionsmaterial der Elektrotechnik. Hermsdorf 1904. — Wernicke-Benischke, Die Isoliermittel der Elektrotechnik. Vieweg 1908. — Petersen, Hochspannungstechnik. Encke 1911.

Nicht unerwähnt sei hier die Dissertation von Rosenthal¹⁾, in der Festigkeitsuntersuchungen von Porzellan angegeben sind.

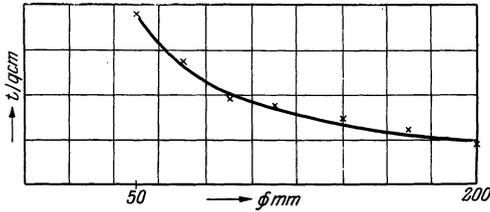


Abb. 75.

Die erreichte höchste Bruchlast (4218 kg) ist an Körpern von 2 cm Höhe und 2 cm \varnothing gefunden. Untersuchungen an größeren Stücken sind von ihm nicht angegeben, scheinbar auch nicht ausgeführt.

Die **Biegefestigkeit** ist vom Verfasser nicht untersucht, in der Literatur finden sich verschiedentlich Angaben, nach denen sie

400—500 kg/qcm

betragen soll.

Die **Schlagbiegefestigkeit** ist nach den im ersten Teile gegebenen Anweisungen mit

5,6—6,4 cmkg/qcm

ermittelt. Als Proben dienten dabei Stäbe aus Material der Kgl. Porzellan-Manufaktur.

Die **Ritzhärte** liegt nach der Mohsschen Skala zwischen 7 und 8, der höhere Wert gilt für glasiertes Porzellan.

Die **Wärmebeständigkeit** liegt weitaus höher wie bei jedem anderen Isoliermaterial, Untersuchungen nach den in diesem Buche gegebenen Vorschriften sind darum zwecklos. Die Erweichung liegt bei mehr als 1000°.

Die **Wasseraufnahme** ist unter der Fabrikationsbeschreibung schon behandelt, auch der unglasierte Scherben ist vollständig dicht, vorausgesetzt ist dabei eine volle Durchsinterung des Scherbens. Es sei hier gleichfalls noch auf die erwähnte Tintenprobe hingewiesen.

Die **Frostbeständigkeit** braucht hiernach nicht mehr behandelt zu werden, der Verfasser hat die vorher ausführlich beschriebenen Druckuntersuchungen auch auf solche Körper ausgedehnt, die längere Zeit dem Frost ausgesetzt waren. Wesentliche Festigkeitsunterschiede sind dabei nicht beobachtet.

Die **Säurebeständigkeit** ist bei Porzellan größer wie bei Glas, es greift nur Flußsäure auf Porzellan an.

Der **Ausdehnungskoeffizient** schwankt je nach der Zusammensetzung der Masse und der Brenntemperatur. Die Angaben in der Literatur schwanken zwischen

0,0000025 und 0,0000065.

Es ist dies $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ des Wertes für gewöhnliches Glas.

¹⁾ Die technischen Eigenschaften des Porzellans. Verlag: Stalling, Berlin-Oldenburg 1915.

Das spezifische Gewicht beträgt bei gargebranntem Porzellan

2,3—2,5.

Die Durchschlagsfestigkeit schwankt sehr je nach der Zusammensetzung, der Mischung und Durchknetung der Masse. Je gleichmäßiger der Scherben, um so höher die Werte. Die Kurve, Abb. 76, ist aufgenommen an unglasierten Platten Schomburgschen Porzellans mit Wechselstrom von 50 \sim . Die Kurve zeigt deutlich, daß die Durchschlagsfestigkeit nicht proportional der Dicke steigt, sondern auch hier mit der Dicke etwas fällt. Auch die unter Glimmer ausgeführte Kurve zeigt die gleiche Erscheinung.

Der Oberflächenwiderstand ist vom Verfasser nicht zahlenmäßig bestimmt. Es sei hier auf den bezüglichen Absatz unter „Elektrische Prüfungen“ hingewiesen. Der Wert ist außerordentlich abhängig von der jeweiligen Luftfeuchtigkeit. Porzellan hat von allen Isolierstoffen die günstigste und beständigste Oberfläche, so daß es als bestes Material bezeichnet werden kann. Die Ausführung der vorn vorgeschlagenen Messung des Durchgangswiderstandes ist bei Porzellan schwierig, die Löcher müßten geschliffen werden, ein schwer ausführbarer Arbeitsvorgang, die Messung selbst ist aus den vorangeführten Gründen nicht unbedingt nötig.

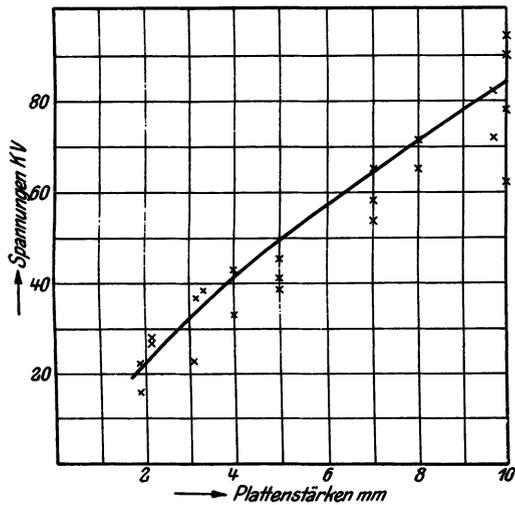


Abb. 76.

Für den spez. Widerstand (Oberflächenleitung) werden von Friese u. a.

$$200 \times 10^{10} \text{ Megohm/cm}$$

angegeben.

Die Dielektrizitätskonstante interessiert bei Porzellan weniger, im Kondensatorenbau wird das Material kaum verwendet, doch ist die Wertangabe immerhin von Wichtigkeit für den Bau von Durchführungen, die Konstante beträgt

4,4.

C. Kunststoffe verschiedenster Zusammensetzung.

Adit.

Hergestellt von Gebrüder Adt A.-G., Ensheim (Pfalz). Ein Produkt aus einer Mischung von Silikaten und Harzen, die je nach dem Verwendungszwecke verschieden ist.

Verwendungsform fast ausschließlich in Preßteilen für Schalter und Sicherungssockel, Griffe, Gehäuse, Grundplatten, Buchsen, Kappen und dergleichen.

Die Farbe ist schwarz.

Das Material ist homogen.

Metallteile lassen sich einpressen.

Die Wärmebeständigkeit schwankt je nach der Zusammensetzung.

Agalit +.

Erzeugt von der Gewerkschaft „Agathe“ Deutsche Agalit-Werke, Milspe in Westfalen.

Ein Produkt aus Gips, Asbest und Steinkohlenteer.

Verwendungsform in Platten und Formstücken. Die Asbestbeimengungen geben dem Sägeschnitt eine faserige Oberfläche.

Die Farbe ist schwarz.

Das spezifische Gewicht beträgt 2,1.

Ambroin +.

Fabriziert von den Vereinigten Isolatorenwerken A.-G. in Berlin-Pankow, in verschiedenen Güten aus Asbest und Harzen.

Lieferung zumeist nur in Preßteilen, da, wie bei Agalit gesagt, infolge der faserigen Beimengungen weniger für nachträgliche Formgebung geeignet.

Verwendet und besonders geeignet für Schalterpreßteile, Griffe, Straßenbahnoberleitungsmaterial und dergleichen, zumal Metallteile leicht eingepreßt werden können. Auch Isolierstücke in Form von Deltaglocken und anderen Freileitungsisolatoren werden daraus hergestellt.

Die Farbe ist dunkelgrün bis schwarz.

Das spezifische Gewicht ist im Durchschnitt 1,6.

Australit +.

Von den Gebrüder Adt, Ensheim (Pfalz) hergestellt. Hauptbestandteile ebenfalls Asbestfasern und Harze.

Lieferungsform wieder nur in Preßteilen.

Die Farbe ist grau.

Das spezifische Gewicht 2,34.

Cellon +.

Nach den Patenten von Dr. A. Eichengrün, Berlin, durch die Rheinisch-Westfälische Sprengstoff A.-G. in Köln fabriziert. Es ist in seinen Eigenschaften dem Zelluloid ähnlich, in seiner Zusammensetzung jedoch abweichend, es besteht aus Azetylhydrozellulose und indifferenten Erweichungsmitteln.

Lieferungsform in Platten, Stäben und neuerdings auch in Röhren.

Die Farbe des Rohmaterials ist hellgraubraun durchsichtig, durch Zusätze ist fast jede Färbung herstellbar.

Im Gegensatz zu Zelluloid nicht explosiv verbrennend, sondern nur in dem Maße wie Hartgummi.

Die Verarbeitung ist sehr leicht, temperaturbeständig bis etwa 70°.

Das spezifische Gewicht beträgt 1,35.

Die Zugfestigkeit des Hartcellons liegt nach Untersuchungen des Verfassers bei 2—300 kg/qcm, die Durchschlagsfestigkeit ist nach Veröffentlichungen der Fabrikanten folgende:

0,2 mm Stärke	13 200 Volt
0,35 „ „	22 000 „
0,45 „ „	25 000 „
1,0 „ „	26 000 „
1,3 „ „	31 000 „
2,0 „ „	35 000 „

Cellonlacke werden vielfach zum Überstreichen von Klemmverbindungen, Spulen und dergleichen benutzt, sie sind geeignet, Cellonplatten in einwandfreier Weise zu verkleben, die Lacke trocknen ohne jede Erwärmung fest auf, sie erhärten durch die ganze Schicht im Gegensatz zu Spirituslacken, die eine harte Außenhaut erhalten, im Inneren von Spulen jedoch feucht bleiben. Die Überzüge sind widerstandsfähig gegen Wasser, Öle, Fette, Petroleum, Benzin und dergleichen.

Contol +.

Hergestellt von Wilhelm Krämer, Köln, Blumenthalstraße 75. Material besteht in der Hauptsache aus Papierschichten, die unter Druck zusammengepreßt werden.

Lieferungsform nur in Platten.

Die Farbe ist grau.

Das spezifische Gewicht beträgt 1,28.

Eburin.

Fabriziert von der Gesellschaft für Straßenbahnbedarf, Berlin, aus faserigen Füllstoffen, die mit Harzen unter Druck verarbeitet werden.

Lieferungsform in Preßteilen für Straßenbahnoberleitungsbau, für Schalterknöpfe, Sicherungssockel, Oberleitungsmaterial und dergleichen.

Bearbeitung wie bei den vorbehandelten Asbest enthaltenden Stoffen nicht mehr nachträglich durchzuführen.

Farbe verschieden, jedoch gleichmäßig durch die ganze Masse.

Metallteile sind einzupressen.

Eisengummi.

Hergestellt von verschiedenen Gummiwerken als besonders hitzebeständige Hartgummiqualität. In folgendem sind die Werte des Materials der Firma Dr. Heinr. Traun & Söhne in Hamburg angeführt, und zwar die Marke „Eisengummi hart Qual. 68 (Rohgi)“ offen, die Marke „lederhart Qual. 63 (Rohgi)“ in (), soweit diese abweichen, eintragen.

Lieferungsform in Platten $1100 \times 600 \times 1-50$ mm;
 in Stäben, 1 m lang, 5—50 mm Stärke;
 in Röhren, 1 m lang, Mindestwandstärke 2 mm;
 als Preßmaterial.

Die Farbe ist schwarz, das Material homogen.

Metallteile lassen sich einpressen.

Die Bearbeitungsfähigkeit ist leicht, die Politurfähigkeit gut.

Die Zerreißfestigkeit beträgt 2,5—3 kg/qmm.

Das spezifische Gewicht ist 1,6 (1,35).

Wärmebeständig bis 66° C (60).

Durchschlagsfestigkeit 32 000 (30 000) Volt bei 1 mm Plattendicke.

Das Material ist säurebeständig und widersteht auch Alkalien.

Eisengummi Regenerat.

Fabriziert gleichfalls von allen Gummifabriken, hier wieder die Werte von Dr. Heinr. Traun & Söhne, Hamburg, und zwar für Qualität hart 6014 Regenerat offen, für Qualität lederhart 6056 Regenerat in ().

Lieferungsform in Platten $1100 \times 600 \times 3-50$ mm;
 in Stäben, 1 m lang, 5—50 mm Stärke;
 in Röhren, 1 m lang, Mindestwandstärke 2 mm;
 Preßform.

Die Farbe ist schwarz, das Material homogen.

Metallteile lassen sich einpressen.

Bearbeitungsmöglichkeit einschließlich Politur gut.

Zerreißfestigkeit 2,8 kg/qmm (2,6).

Spezifisches Gewicht 1,5 (1,35).

Wärmebeständig bis 50° C (40).

Durchschlagsfestigkeit 25 000 (30 000) Volt bei 1 mm Plattenstärke.

Das Material ist säurebeständig und widersteht Alkalien.

Elektrit +.

Hergestellt von Wilhelm Krämer, Köln, Blumenthalstraße 75. Herstellungsverfahren wie bei Contol. Lieferung ebenfalls nur in Platten. Sandfarbe.

Metallteile lassen sich nicht einpressen.

Das spezifische Gewicht beträgt 1,44.

Eshalit +.

Von der Gummifabrik Westend G. m. b. H., Berlin-Siemensstadt, in verschiedenen Güten.

Lieferungsform in Platten und Preßteilen, auch Metallteile lassen sich einpressen.

Die Farbe ist schwarz.

Das spezifische Gewicht je nach Zusammensetzung 1—2.

Eswelit +.

Ebenfalls von vorstehender Firma, Lieferungsform und dergleichen wie bei Eshalit, die Farbe rotbraun, das spezifische Gewicht 1,52.

Faturan +.

Hergestellt von Dr. Heinr. Traun & Söhne, Hamburg, ein Kondensationsprodukt aus Phenol und Formaldehyd. Es ähnelt Hartgummi und kann wohl überall an dessen Stelle Verwendung finden. Hervorzuheben ist, daß die Oberfläche im Gegensatz zu Hartgummi nicht Schwefel ausscheidet, wodurch der Oberflächenwiderstand dauernd seinen Wert behält.

Es werden vier Qualitäten hergestellt, die einzeln angegeben sein mögen.

Faturan 101.

Lieferungsform in Platten $610 \times 375 \times 3-20$ mm;
in Stäben, 1 m lang, 4—40 mm \varnothing ;
in Röhren, 1 m lang, Mindestwandstärke 4 mm;
als Preßmaterial.

Farbe schwarz, homogen.

Metallteile lassen sich einpressen.

Bearbeitungsfähigkeit leicht einschließlich Politur.

Zerreißfestigkeit 3,5 kg/qmm.

Spezifisches Gewicht 1,2.

Wärmebeständigkeit bis zu 150°.

Durchschlagsfestigkeit 35 000 Volt bei 1 mm Plattenstärke.

Leitungswiderstand unmeßbar groß.

Oberflächenleitung 200 000 Megohm.

Säurebeständig, jedoch nicht gegen Alkalien.

Faturan 150.

Lieferungsform nur als Preßmaterial.
Farbe schwarz, homogen.
Metallteile lassen sich nicht einpressen.
Zerreißfestigkeit 2,5 kg/qmm.
Spezifisches Gewicht 2,25.
Wärmebeständigkeit bis 175°.
Durchschlagsfestigkeit 30 000 Volt.
Leitungswiderstand unmeßbar.
Oberflächenleitung 200 000 Megohm.
Säurebeständig, jedoch nicht gegen Alkalien.

Faturan 200.

Lieferungsform in Platten 610 × 375 × 3—20 mm;
in Stäben, 1 m lang, 4—40 mm \varnothing ;
in Rhren, 1 m lang;
als Preßgut.

Farbe rot, homogen.
Metallteile lassen sich einpressen.
Bearbeitungsfähigkeit leicht, einschließlich Politur.
Zerreißfestigkeit 4 kg/qmm.
Spezifisches Gewicht 1,3.
Wärmebeständigkeit bis 175° C.
Durchschlagsfestigkeit 8000 Volt.
Leitungswiderstand 500 000 Megohm.
Oberflächenleitung 2000 Megohm.
Säurebeständig, jedoch nicht gegen Alkalien.

Faturan 201.

Lieferungsform in Platten 610 × 375 × 3—20 mm;
in Stäben, 1 m lang, 4—10 mm \varnothing ;
in Rhren, 1 m lang, Mindestwandstärke 4 mm;
als Preßgut.

Farbe schwarz, homogen.
Metallteile lassen sich einpressen.
Bearbeitungsfähigkeit gut, einschließlich Politur.
Zerreißfestigkeit 4 kg/qmm.
Spezifisches Gewicht 1,3.
Wärmebeständigkeit bis 175° C.
Durchschlagsfestigkeit 15 000 Volt.
Leitungswiderstand 400 000 Megohm.
Oberflächenleitung 10 000 Megohm.
Säurebeständig, jedoch nicht gegen Alkalien.

Festonit +.

Hergestellt von der Vakuum Preßgut-Gesellschaft m. b. H. Berlin SW 9, in verschiedenen Güten. Kondensationsprodukt aus künstlich gewonnenen Rohstoffen. Lieferung in Platten, Stangen und Preßstücken.

Farbe grau bis schwarz.

Spezifisches Gewicht 1,84.

Fixit +.

Hergestellt von den Isolatoren-Werken, München-Gräfelfing, asbesthaltig, besonders für Formstücke geeignet.

Farbe schwarz.

Spezifisches Gewicht 1,62.

Fiber.

Wird von verschiedenen Firmen hergestellt, es besteht in der Hauptsache aus Holzfasern, die mit Chlorzink und Schwefelsäure unter Druck verarbeitet werden.

Lieferungsform in Platten, Stangen und Röhren.

Farbe rot und schwarz.

Die Verwendung ist gegen früher sehr zurückgegangen, das Material ist hygroskopisch, der Verarbeitung sind durch die Verbandsvorschriften ziemlich Beschränkungen auferlegt.

Galalith.

Hergestellt von der Internat. Galalith-Gesellschaft, Harburg a. E. Ein Produkt aus entrahmter Kuhmilch, das nach besonderem Verfahren zu einer harten, hornartigen Masse (Kasein) verarbeitet wird.

Die Farbe ist durch Zusätze beliebig auszuführen, neben einfarbigen Sorten werden auch marmorierte geliefert.

Es findet Anwendung für kleine Isolationsteile, wie Steckbuchsen, Hülsen und dergleichen, daneben vielfach zur Anfertigung von Skalen, Bezeichnungsmarken usw., wozu es infolge seiner guten Eignung zum Gravieren gut verwendbar ist.

Größere Apparateile werden kaum daraus hergestellt, weil Galalith schon bei Temperaturen von 80—90° Veränderungen erleidet und auch die Feuchtigkeitsaufnahme eine hohe ist.

Greif Faturan.

Fabriziert von Dr. Heinr. Traun & Söhne, Hamburg. Es ist ein unter hohem Druck und Wärme aus mit Faturan durchtränkten Schichten Faserstoff hergestelltes Material. Die mechanische und elektrische Festigkeit ist eine sehr hohe, das Material ähnelt dem Fiber, ist aber vollständig unhygroskopisch.

Die Bruchfestigkeit soll im Mittel 12 kg/qmm, die Schlagarbeit 9 cmkg/qcm betragen.

Die Herstellung erfolgt in mehreren Güten.

Greif Faturan Qual. 607.

Lieferungsform in Platten $750 \times 750 \times 0,2-40$ mm;
in Stäben, 500 mm lang, bis 100 mm \varnothing ;
in Röhren, 500 mm lang, 1 mm Wandstärke;
nicht als Preßgut.

Farbe schwarz.

Das Material ist geschichtet, die Faserrichtung ist bei Verwendung zu beachten.

Metallteile lassen sich nicht einpressen.

Die Bearbeitungsfähigkeit ist einschließlich Politur gut.

Spezifisches Gewicht 1,4.

Wärmebeständigkeit bis über 100°C .

Durchschlagsfestigkeit ca. 15 000 Volt für 1 mm Stärke.

Säurebeständig, von Alkalien angegriffen.

Greif Faturan 609.

Lieferungsform in Platten $750 \times 750 \times 0,2-40$ mm;
in Stäben, 500 mm lang, bis 100 mm \varnothing ;
in Röhren, 500 mm lang, 1 mm kl. Wandstärke;
nicht als Preßgut.

Die Farbe ist schwarz.

Das Material zeigt Schichtung, die Faserrichtung ist zu beachten.

Metallteile lassen sich nicht einpressen.

Bearbeitungsfähigkeit wie vorstehend.

Spezifisches Gewicht 1,4.

Wärmebeständigkeit bis über 70°C .

Durchschlagsfestigkeit ca. 15 000 Volt für 1 mm Stärke.

Säurebeständig, von Alkalien angegriffen.

Greif Faturan 614.

Lieferungsform in Platten, Stäben und Preßform.

Die Farbe ist schwarz.

Das Material ist homogen.

Metallteile lassen sich einpressen.

Bearbeitung wie vorstehend.

Spezifisches Gewicht 1,4.

Wärmebeständigkeit bis über 70°C .

Durchschlagsfestigkeit ca. 15 000 Volt für 1 mm Stärke.

Säurebeständig, von Alkalien angegriffen.

Greif Faturan 616.

Lieferungsform in Platten, Stäben und als Preßgut.

Die Farbe ist schwarz, das Material homogen.

Faserrichtung (Schichtung) ist nicht zu beachten.

Metallteile lassen sich einpressen.

Die Bearbeitungsfähigkeit ist einschließlich Politur gut.

Spezifisches Gewicht 1,4.

Wärmebeständigkeit bis über 70° C.

Durchschlagsfestigkeit 15 000 Volt für 1 mm Stärke.

Säurebeständig, jedoch von Alkalien angegriffen.

Gummon +.

Wird von den Isolatoren-Werken, München, fabriziert, es besteht aus Asbest und Asphalt. Die Eigenschaften der verschiedenen Qualitäten weichen sehr voneinander ab, die Wärmebeständigkeit liegt zwischen 300 und 2000° C. Das Material ist säurebeständig und nicht wasseraufnahmefähig. Die Durchschlagsfestigkeit schwankt je nach der Sorte zwischen 3000—10 000 Volt für 1 mm Stärke.

Lieferungsform nur in Preßstücken, bezüglich der Bearbeitung gilt das schon früher bei asbesthaltigen Stoffen Gesagte.

Hartgummi +.

Dieses Material stellt eigentlich ein Naturprodukt mit einer Verarbeitung ohne Zusätze dar, es hätte somit unter dem vorigen Abschnitt der Isolierstoffe erscheinen können, doch hielt es der Verfasser für richtiger, es seiner Art und Verwendung nach hier einzuordnen.

Hartgummi wird von allen Gummifabriken in verschiedenen Güten fabriziert, durch die Kriegsumstände ist es zur Zeit fast ganz vom Markte verschwunden, doch darf es als einer der ersten und besten Isolierstoffe nicht übergangen werden.

Hervorgehoben sei, daß Hartgummi in mancher Beziehung von den inzwischen geschaffenen Ersatzstoffen überholt ist, ein großer Nachteil ist seine geringe Wärmebeständigkeit und das Austreten von nicht ausvulkanisierten Schwefelresten, besonders bei Zutritt von Licht, die Isolationfähigkeit der Oberfläche wird hierdurch stark herabgesetzt.

Im folgenden seien die Werte einiger Erzeugnisse von Dr. Heinr. Traun & Söhne, Hamburg, angeführt.

Qual. R (Rohgummi).

Lieferungsform in Platten von 1100 × 600 × 1—50 mm;

in Stäben, 1 m lang, 5—50 mm Ø;

in Röhren, 1 m lang, kl. Wandstärke 2 mm;

in Preßform.

Die Farbe ist schwarz, das Material homogen.
 Metallteile lassen sich gut einpressen.
 Bearbeitungsfähigkeit in jeder Beziehung leicht.
 Zerreifhigkeit 7,5 kg/qmm.
 Spezifisches Gewicht 1,25.
 Wärmebeständigkeit 60° C.
 Durchschlagsfestigkeit 36 000 Volt für 1 mm Stärke.
 Von Säuren und Alkalien nicht anzugreifen.

Qual. 6201 (Regenerat Ia).

Lieferungsform in Platten 1100 × 600 × 3—50 mm;
 in Stäben, 1 m lang, 5—50 mm Ø;
 in Rhren, 1 m lang, kl. Wandstärke 2 mm;
 als Preßgut.

Die Farbe ist schwarz, das Material homogen.
 Metallteile lassen sich einpressen.
 Bearbeitungsfähigkeit gut.
 Durchschlagsfestigkeit 33 000 Volt für 1 mm Stärke.
 Widersteht Säuren und Alkalien.

Qual. 6189 (Regenerat I b).

Lieferungsform in Platten 1100 × 600 × 3—50 mm;
 in Stäben, 1 m lang, 5—50 mm Ø;
 in Rhren, 1 m lang, kl. Wandstärke 2 mm;
 als Preßgut.

Die Farbe ist schwarz, das Material homogen.
 Metallteile lassen sich einpressen.
 Bearbeitungsfähigkeit wie oben.
 Zerreißfestigkeit 3 kg/qmm.
 Spezifisches Gewicht 1,25.
 Wärmebeständigkeit bis 50° C.
 Durchschlagsfestigkeit 33 000 Volt für 1 mm Stärke.
 Widersteht Säuren und Alkalien.

Isolast (Qual. 94).

Wird fabriziert von Dr. Heinr. Traun & Söhne, Hamburg. Es ist dies eine Hartgummiabart, die vor allem wrmebestndiger und feuersicherer ist wie das Ursprungsmaterial und Eisengummi.

Lieferungsform in Platten 1100 × 600 × 1—50 mm;
 in Stäben, 1 m lang, 5—50 mm Ø;
 in Rhren, 1 m lang, kl. Wandstärke 2 mm;
 als Preßgut.

Die Farbe ist braun, das Material homogen.
 Metallteile lassen sich einpressen.

Die Bearbeitungsfähigkeit ist nicht ganz die gleiche wie bei Hartgummi.

Zerreißfestigkeit 3,7 kg/qmm.

Spezifisches Gewicht 1,6.

Wärmebeständigkeit bis 73° C.

Durchschlagsfestigkeit 32 000 Volt bei 1 mm Stärke.

Es ist beständig gegen Säuren und Alkalien.

Lapisan.

Gleichfalls noch ein Produkt von Dr. Heinr. Traun & Söhne, Hamburg.
Ein Material von besonders hoher Wärmebeständigkeit.

Lieferungsform in Platten, in Stäben und als Preßgut.

Die Farbe ist grau, das Material homogen.

Metallteile lassen sich einpressen.

Zerreißfestigkeit 3,5 kg/qmm.

Spezifisches Gewicht 2,6—2,8.

Wärmebeständigkeit bis 100° C.

Leitungswiderstand über 2000×16^6 Megohm.

Es ist beständig gegen Säuren und Alkalien.

Merval +.

Hergestellt von Wilhelm Krämer, Cöln, Blumenthalstraße 75, aus Regeneratgummi. Lieferungsform in Platten, Röhren, Stäben und Preßstücken.

Farbe ist schwarz.

Spezifisches Gewicht 1,39.

Mikanit.

Ein von vielen Glimmerfirmen hergestelltes Fabrikat, es sei hier darum gleichzeitig auf die ausführliche Behandlung dieses Kapitels hingewiesen.

Glimmerabfälle werden zu dünnen Plättchen gespalten und mit isolierenden Lacken zu Platten verschiedenster Stärke überlappend aufeinander geklebt und unter hohem Druck gleichmäßig gepreßt, es ist dabei eine genaue Innehaltung der gewünschten Stärke möglich. In ähnlicher Weise lassen sich die verschiedensten Formstücke, als Spulen, Nutenauskleidungen und dergleichen, herstellen.

Die Lieferungsform in Platten oder Preßteilen. Eine nachträgliche Bearbeitung ist nur in bezug auf das Zerschneiden der Platten möglich, weitaus größer ist die Ausnützung des Materials für Spulen, Formstücke und dergleichen, die über Kernformen gepreßt werden.

Die Farbe ist braun, das Material elektrisch nur quer zur Schichtungsrichtung zu beanspruchen.

Die Einpressung von Metallteilen ist nicht möglich.

Die Druckfestigkeit des Mikanits ist außerordentlich hoch (s. Glimmer).

Die Wärmebeständigkeit ist gering, sie ist durch die Art des verwendeten Bindemittels begrenzt, sie endet bei 80—100° C.

Die Durchschlagsfestigkeit hängt ebenfalls in starkem Maße vom Bindemittel ab, sie beträgt etwa 25 000 Volt für 1 mm Stärke.

Pappkarton (Preßspan).

Es ist dieses eine von vielen Firmen hergestellte hochgepreßte, imprägnierte Pappe, die früher für die verschiedensten Zwecke in der Elektrotechnik Anwendung fand; zu berücksichtigen ist die verhältnismäßig hohe Feuchtigkeitsaufnahme. In neuerer Zeit werden darum oft Pertinax, Peralit, Turbonit und ähnliche Stoffe bevorzugt.

Die Durchschlagsfestigkeit wird beispielsweise von der Preßspanfabrik Untersachsenfeld A.-G. in Untersachsenfeld i. Sa. für ungeöltes Material wie folgt angegeben:

0,2 mm Stärke	2 200 Volt (einlagig)
0,3 „ „	3 200 „ „
0,4 „ „	5 000 „ „
0,5 „ „	8 500 „ „
0,7 „ „	8 900 „ „
1,0 „ „	11 200 „ „

bei geöltem Preßspan:

0,2 mm Stärke	4 200 Volt (einlagig)
0,3 „ „	5 400 „ „
0,4 „ „	7 500 „ „
0,5 „ „	10 000 „ „
0,7 „ „	11 000 „ „
1,0 „ „	17 500 „ „

Peralit +.

Hergestellt von der Frankfurter Glimmerwarenfabrik Landsberg & Ollendorf, Frankfurt a. M.-West. Es ist dieses ein Schichtenmaterial, das aus Papier mit Kunstharzlacken unter hohem Druck erzeugt wird. Es eignet sich als Ersatz für Fiber und Hartgummiplatten sowohl für reine Isolier- als auch Bauzwecke.

Lieferungsform in Platten 1000 × 1000 × 0,03—50 mm;

in Stäben (viereckig);

in Röhren, bis 75 mm Ø, Wandstärke 5 mm;

als Preßstücke nur in einfachster Form für Nutenauskleidung, Kollektorrings, Spulenkörper und dergleichen.

Die Farbe ist gelblichbraun und schwarz.

Elektrische Beanspruchung möglichst nur quer zur Schichtungsrichtung.

Bearbeitung nur durch Zuschneiden der Platten und Schleifen der Kanten. Die Oberfläche läßt sich durch Lackieren verbessern.

Erfahrungswerte über Festigkeit liegen bisher nicht vor.

Spezifisches Gewicht 1,28.

Wärmebeständig bis 200° C.

Die Durchschlagsfestigkeit betrug nach Angaben der Fabrikanten bei einer Materialstärke von 1,8 mm und einer Temperatur von 16° C 44 000 Volt, bei 100° C 18 000 Volt. Platten von 5,6 mm Stärke wurden mit 83 000 Volt nicht durchschlagen.

Pertinax +.

Hergestellt von Meyrowsky & Co. in Cöln-Porz. Ein Papierschichtenmaterial ähnlich Peralit, Turbonit und dergleichen. Es findet Verwendung sowohl als Isolations- wie als Baustoff.

Lieferungsform in Platten, Stäben, Röhren, als Preßgut nur in einfachen Formen für Kollektoringe und dergleichen.

Farbe braun.

Metallteile lassen sich nicht einpressen.

Druckfestigkeit senkrecht zur Schicht bei allen diesen Stoffen hoch, etwa 2500 kg/qcm.

Spezifisches Gewicht 1,43.

Prestonit +.

Hergestellt von Adolf Prestien, Hannover-Linden, in Platten und Formstücken, auch für Metalleinpressungen.

Farbe schwarz.

Spezifisches Gewicht 1,35.

Pulvolit.

Fabriziert von der Isolatorenfabrik Pulvolit, Frankfurt a. M.-Bockenheim. Ein hauptsächlich zur Herstellung von Schalter-, Sicherungskappen, Sockeln und dergleichen verwendetes Preßmaterial von schwarzer Farbe und faserigem Bruch; es hat eine verhältnismäßig hohe Temperaturbeständigkeit.

Rhadoonit +.

Hergestellt in mehreren Güten von den Rhadoonitwerken G. m. b. H., Dohna b. Dresden. Es besteht aus Schieferabfällen, Pech und Asbestmehl. Lieferungsform in Platten. Farbe schwarz.

Spezifisches Gewicht 1,94.

Rob +.

Hergestellt von Wilhelm Krämer, Cöln, Blumenthalstr. 75, aus Papierschichten. Lieferungsform in Platten und Röhren. Farbe hellbraun.

Spezifisches Gewicht 1,38.

Spezial Carta °.

Hergestellt von den Kontinentalen Isolawerken A.-G., Birkesdorf/Düren, aus Papier und Klebstoffen. Lieferungsform in Platten. Farbe hellgraubraun. Spezifisches Gewicht 1,45. Es gilt im allgemeinen das für Pertinax, Peralit und dergleichen Zutreffende.

Stabilit.

Ein Erzeugnis der Allgem. Elektrizitäts-Ges., das als Baumaterial vielfach Verwendung findet. Es ist billiger wie Hartgummi und darum oft als Ersatz benutzt. Lieferungsform in Platten, Stangen, Röhren und Preßteilen. Die Farbe ist rotbraun bis schwarz. Metallteile können eingepreßt werden.

Tenacit +

Gleichfalls ein Fabrikat der Allgem. Elektrizitäts-Ges., das in Platten sowie als Preßmaterial in mehreren Güten geliefert wird. Es werden daraus Installationsteile für den Oberleitungsbau, Maschinenschalterteile, Griffe, Sockel und dergleichen hergestellt. Farbe schwarz bis braun. Spezifisches Gewicht 1,42—1,84.

Turbonit.

Hergestellt von Jaroslaws erster Glimmerwarenfabrik, Berlin-Weißensee. Ein Schichtenmaterial aus Papier und Kunstharz.

Lieferungsform in Platten 0,15 mm bis 50 mm Stärke oder in Spulen, Stäben und Rohren, Fassonteile für Buchsen, Nutenfüllung und dergleichen.

Herstellungstemperatur 150—200°, bis dahin temperaturbeständig. Farbe hellbraun oder schwarz. Die Schwarzfärbung ist elektrisch ungünstiger.

Das spezifische Gewicht beträgt 1,37.

Es besteht große Ähnlichkeit mit Pertinax und Peralit. Die Verwendungsform ist die gleiche.

Die Aufzählung der Isolierstoffe macht noch keinen Anspruch auf Vollständigkeit, immerhin sind die gebräuchlichsten in ihren Haupteigenschaften genannt. Es ginge über den Rahmen des Buches hinaus, auch noch die vielen Isolierbänder, Seiden, Papiere und dergleichen, die verschiedenen Lacke und Öle sämtlich einzeln zu beschreiben, es muß dem Praktiker nun überlassen werden, an Hand der mit der vorliegenden Arbeit gegebenen Anleitung für den jeweilig vorliegenden Zweck das geeignete Material zu wählen bzw. die angebotene Ware sachgemäß zu prüfen.

Literatur-Hinweise.

- Elektrotechn. Zeitschrift 1913.
Martens, Handbuch d. Materialkunde f. d. Maschinenbau I. Springer 1898.
Memmler, Materialprüfungswesen. Göschen 1914.
Hütte, Ingenieur-Taschenbuch.
Mitteilungen des K. M. A., Lichterfelde 1913.
Martens - Heyn, Handbuch d. Materialkunde f. d. Maschinenbau II, Bd. A. Springer 1912.
Hinrichsen, Das Materialprüfungswesen. Encke 1912.
Wawrzyniak, Handbuch des Materialprüfungswesens für Maschinenbau- und Bauingenieure. Springer.
Zeitschrift für Instrumentenkunde 1913.
Rupprecht, Schmiermittel, Bibliothek der gesamten Technik. Dr. Max Jänicke.
Kiessling, Laboratoriumsbuch für die Erdölindustrie. W. Knapp.
Holde, Untersuchungen der Mineralöle und Fette. Springer.
Tobey, P. A. I. E. E. 1910.
Petersen, Hochspannungstechnik.
B. Dammer und O. Tietze, Die nutzbaren Mineralien. Encke 1914.
Zeitler, Glimmer. Jaroslaw, Berlin.
Dr. C. L. Weber, Erläuterungen zu den Vorschriften für die Errichtung und den Betrieb von Starkstromanlagen. Springer 1915.
Friese, Das Porzellan als Isolier- und Konstruktionsmaterial der Elektrotechnik. Hermsdorf 1904.
Wernicke - Benischke, Die Isoliermittel der Elektrotechnik. Vieweg 1908.
Dr. R. Rieke, Das Porzellan. Bibliothek Jänicke.
Dr. Rosenthal, Die techn. Eigenschaften des Porzellans. Stelling 1915.
-

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

Lehrbuch der elektrischen Festigkeit der Isoliermaterialien

Von

Dr.-Ing. A. Schwaiger

a. o. Professor an der Technischen Hochschule Karlsruhe

Mit 94 Textabbildungen

Preis M. 9.—; gebunden M. 10.60

Die Isolierung elektrischer Maschinen. Von **H. W. Turner** und **H. M. Hobart**. Deutsche Bearbeitung von A. von Königslöw und R. Krause, Ingenieure. Mit 166 Textabbildungen. Gebunden Preis M. 8.—

Isolationsmessungen und Fehlerbestimmungen an elektrischen Starkstromleitungen. Von **F. Charles Raphael**. Autorisierte deutsche Bearbeitung von Dr. **Richard Apt**. Zweite, verbesserte Auflage. Mit 122 Textabbildungen. Gebunden Preis M. 6.—

Verluste im Dielektrikum technischer Kondensatoren. Von Dr.-Ing. **Max Grünberg**. Mit 23 Textabbildungen. Preis M. 1.60

Die wirtschaftlich günstigste Spannung für Fernübertragungen mittelst Freileitungen mit besonderer Berücksichtigung der Glimmverluste. Von Dipl.-Ing. Dr. **Helmuth Eimer**. Mit 47 Textabbildungen. Preis M. 3.60

Grundzüge des Überspannungsschutzes in Theorie und Praxis. Von Professor Dr.-Ing. **Karl Kuhlmann**, Zürich. Mit 47 Textabbildungen. Preis M. 2.—

Hierzu Teuerungszuschläge

Die elektrische Kraftübertragung. Von Dipl.-Ing. **Herbert Kyser**,
Oberingenieur.

- I. Band: Die Motoren, Umformer und Transformatoren. Ihre Arbeitsweise, Schaltung, Anwendung und Ausführung. Zweite, umgearbeitete und erweiterte Auflage. Mit 306 Textabbildungen und etwa 15 Tafeln. Unter der Presse
- II. Band: Leitungsanlagen, Apparate und Instrumente, Stromerzeugung, Schaltanlagen. Zweite Auflage. In Vorbereitung
-

Die Fernleitung von Wechselströmen. Von Dr. **G. Roeßler**, Prof.
an der Technischen Hochschule zu Danzig. Mit 60 Textabbildungen.
Gebunden Preis M. 7.—

Elektromotoren für Gleichstrom. Von Dr. **G. Roeßler**, Professor an
der Technischen Hochschule zu Danzig. Zweite, verbesserte Auflage. Mit
49 in den Text gedruckten Abbildungen. Gebunden Preis M. 4.—

Wechselstromtechnik. Von Dr. **G. Roeßler**, Professor an der Technischen
Hochschule zu Danzig. Zweite Auflage von „Elektromotoren für Wechsel-
strom und Drehstrom“. I. Teil. Mit 185 Textabbildungen.
Gebunden Preis M. 9.—

Arnold — la Cour, Die Gleichstrommaschine. Ihre Theorie. Unter-
suchung, Konstruktion, Berechnung und Arbeitsweise.
I. Band: Theorie und Untersuchung von I. L. la Cour. Dritte, vollständig um-
gearbeitete Auflage. Mit 570 Textabbildungen. Gebunden Preis M. 40.—

Die Wechselstromtechnik. Herausgegeben von Professor **E. Arnold**,
Karlsruhe. In 5 Bänden.

- I. Band: **Theorie der Wechselströme.** Von **J. L. la Cour** und **O. S. Bragstadt**. Dritte Auflage. In Vorbereitung
- II. Band: **Die Transformatoren.** Von **E. Arnold** und **J. L. la Cour**. Dritte Auflage. In Vorbereitung
- III. Band: **Die Wicklungen der Wechselstrommaschinen.** Von **E. Arnold**. Zweite, vollständig umgearbeitete Auflage. Mit 463 Textabbildungen und 5 Tafeln. Gebunden Preis M. 13.—
- IV. Band: **Die synchronen Wechselstrommaschinen.** Von **E. Arnold** und **J. L. la Cour**. Zweite, vollständig umgearbeitete Auflage. Mit 530 Textabbildungen und 18 Tafeln. Gebunden Preis M. 22.—
- V. Band: **Die asynchronen Wechselstrommaschinen.**
1. Teil: **Die Induktionsmaschinen.** Von **E. Arnold**, **J. L. la Cour** und **A. Fraenckel**. Zweite Auflage. In Vorbereitung
 2. Teil: **Die Wechselstromkommutatormaschinen.** Von **E. Arnold**, **J. L. la Cour** und **A. Fraenckel**. Mit 400 Textabbildungen, 8 Tafeln und dem Bildnis E. Arnolds. Gebunden Preis M. 20.—
-

Theorie der Wechselströme. Von Dr.-Ing. **Alfred Fraenckel**. Mit
198 Textabbildungen. Gebunden Preis M. 10.—
