

Die Materialprüfung der Isolierstoffe der Elektrotechnik.

Herausgegeben von

Walter Demuth

Oberingenieur

Vorstand des mechan.-techn. Laboratoriums der Porzellaufabrik Hermsdorf i. Th.

unter Mitarbeit der Oberingenieure

Hermann Franz und **Kurt Bergk**

Zweite
vermehrte und verbesserte Auflage

Mit 132 Abbildungen im Text



Berlin
Verlag von Julius Springer
1923

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

ISBN-13: 978-3-642-89223-3 e-ISBN-13: 978-3-642-91079-1
DOI: 10.1007/978-3-642-91079-1

Copyright 1923 by Julius Springer in Berlin.
Softcover reprint of the hardcover 2nd edition 1923

Vorwort zur ersten Auflage.

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 erforderliche Interesse gewidmet.

Die verschiedenen Prüfungsmethoden, die zum Teil vom Verband Deutscher Elektrotechniker nach den Arbeiten des Königlichen Materialprüfungsamtes in Berlin-Dahlem (M. P. A.) und der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Charlottenburg (P. T. R.) vorgeschrieben sind, werden ausführlich behandelt. Insbesondere werden die hierfür nötigen Materialprüfungsmaschinen 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 beschäftigenden 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 Sonderfirmen 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 Druckstöcken an dieser Stelle gedankt. Die Namen der Hersteller sind an den entsprechenden Stellen angeführt.

Den Herren Bergk und Franz sei gleichfalls hier 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.

Berlin, im Dezember 1918.

Der Herausgeber.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Wenig über ein Jahr nach Erscheinen der ersten Auflage trat die Verlagsbuchhandlung mit dem Wunsche an mich heran, die Bearbeitung einer zweiten Auflage in Angriff zu nehmen; widrige Umstände schoben die Fertigstellung der Umarbeitung bis jetzt hinaus.

Die freundliche Aufnahme, die meine aus den Erfahrungen und Bedürfnissen der Praxis heraus geschriebene Arbeit gefunden hat, zeigt, daß sich auch in der Elektroindustrie allgemein die Erkenntnis Bahn gebrochen hat, daß nur sorgfältigste Rohstoffuntersuchung und regelmäßige Nachprüfung der Fertigware zu erstklassigen und gleichmäßigen Erzeugnissen führen kann.

Die vielen, besonders aus den Kreisen der Hersteller und praktisch tätigen Ingenieure an mich nach Bekanntwerden des Buches ergangenen

Anfragen und Anregungen sind mir eine rechte Freude und für die Neubearbeitung wertvolle Unterstützung gewesen, sie gaben mir Anlaß zu erheblichen Erweiterungen.

Das dem Elektrotechniker verhältnismäßig fernliegende Gebiet der Prüfmaschinen und Kleingeräte wie der Öluntersuchungen wurde weit eingehender behandelt, der elektrotechnische Teil durch Aufnahme der neuesten Vorschriften und Richtlinien des V. D. E. ergänzt, sonst aber mit Rücksicht auf die zur Verfügung stehenden bekannten Arbeiten im alten Umfang belassen. Der Abschnitt über die Isolierstoffe bringt eine ausführlichere Zusammenstellung der derzeit handelsüblichen Isolierstoffe, insbesondere konnten ihm mehr zahlenmäßige Angaben zugefügt werden.

Ich spreche hiernach die Hoffnung aus, daß auch die neue Ausgabe eine freundliche Beurteilung finden möge.

Meinen alten getreuen Mitarbeitern, den Herren Franz und Bergk, wie allen Firmen, die mich durch Hergabe von Unterlagen, Druckstöcken, Prüfwerten u. dgl., wie auch durch Gedankenaustausch in entgegenkommendster Weise unterstützten, meinen verbindlichsten Dank.

Klosterlausnitz i. Th., Juli 1923.

Der Herausgeber.

Inhaltsverzeichnis.

Erster Teil:

Die festen Isolierstoffe.

A. Die Prüfverfahren.

Bearbeitet von W. Demuth.

	Seite
I. Einleitung und Arbeitsplan	1
II. Allgemeine Vorfragen über Herkunft, Lieferungs- möglichkeiten und Eigenschaften	3
a) Fragebogen zur Beurteilung von festen Isolierstoffen	3
b) Erklärungen zu den allgemeinen Vorfragen	4
III. Mechanische und technologische Prüfungen	6
Die allgemeine Bearbeitungsmög- Seite Die Bestimmung der Zugfestig- lichkeit 6 keit	7
Die erforderlichen Prüfmaschinen S. 14. — Die Lasterzeugung S. 15. — Die Kraftmessung S. 27. — Die Einspannvorrichtungen S. 38. — Die Ver- gleichs- und Eichgeräte S. 40. — Abnahmebestimmungen für Prüf- maschinen S. 47.	
Die Bestimmung der Druckfestig- Die Bestimmung der Biegsamkeit 62 keit 47 Die Bestimmung der Falzbiege- Die Bestimmung der Biegefestig- festigkeit 63 keit 54 Die Bestimmung der Härte . . 64 Die Bestimmung der Schlagbiege- Die Bestimmung der Verdrehungs- festigkeit 58 festigkeit 71 Die Bestimmung der Schlagzug- Die Bestimmung der Scherfestig- festigkeit 62 keit 72	
IV. Physikalische Prüfungen	73
Die Bestimmung der Wärme- Die Bestimmung der Seewasser- beständigkeit 73 beständigkeit 82 Die Bestimmung der Frost- Die Bestimmung der Wetter- beständigkeit 75 beständigkeit (Alterung) . . 82 Die Bestimmung der Wasser- Die Bestimmung des Ausdeh- aufnahme 76 nungskoeffizienten 83 Das Verhalten in warmem Wasser 79 Die Dickenbestimmungen . . . 86 Die Bestimmung der Feuersicher- Die Bestimmungen des spezifi- heit 80 schen Gewichtes 88 Die Bestimmung der Säure- beständigkeit 81	
Aufbau eines Festigkeitslaboratoriums	90
V. Elektrische Prüfungen. (Bearbeitet von K. Bergk)	93
Die Hochspannungsprüfanlage . 95 Die Bestimmung der Erwärmung Die Bestimmung der Durch- unter dauernder Strombela- schlagsfestigkeit 99 stung 103	

	Seite		Seite
Die Bestimmung des Oberflächenwiderstandes	104	Die Bestimmung der Dielektrizitätskonstante	111
Die Bestimmung des Durchgangswiderstandes	107	Die Bestimmung der Dämpfung, bezogen auf Luft	113
Die Bestimmung des inneren Widerstandes	109	Die Bestimmung der Lichtbogensicherheit	116
		Die Prüfung mit Röntgenstrahlen	117

B. Die festen Isolierstoffe und ihre Eigenschaften.

Bearbeitet von W. Demuth.

I. Reine Naturerzeugnisse	121		121
Asbest	121	Holz	130
Basalt	122	Marmor	130
Glimmer	122	Schiefer	132
II. Keramische Erzeugnisse	132		132
Glas	132	Steinzeug	159
Porzellan	135		159
III. Kunststoffe verschiedenster Zusammensetzung	159		159
Adit	159	Gummoid	173
Äternit	159	Gummon	173
Agalit	160	Haresplatten	174
Ambroin	161	Hartgummi	174
Amianit	161	Heliosit	175
Asbestzement	162	Karton	175
Australit	162	Leinwand	176
Bakdura	162	Leatheroid	176
Bakelit	162	Lithogen	176
Bikarton	164	Lonarit	177
Bituba	164	Megohmit	177
Cellon	165	Megotale	177
Cornit	165	Mikanit	177
Durax	166	Peralit	178
Eburin	166	Pertinax	178
Eisengummi	166	Pilit	179
Eshalit	167	Pyrostat	179
Eswelit	169	Repelit	179
Faturan	170	Resistan	179
Fermit	170	Rhadoonit	180
Festonit	170	Stabilit	180
Futurit	171	Tenacit	180
Galalith	171	Turbonit	180
Gummi	171	Vulcoasbest	181
Gummiasbest	172	Vulkanfiber	181

Zweiter Teil:

Die flüssigen Isolierstoffe einschließlich erhärtender Lacke u. dgl.

Bearbeitet von H. Franz.

I. Allgemeine Vorfragen über Herkunft und Lieferungsform	182
II. Verwendungs- und Lieferungsbedingungen	183
1. Transformatoren- und Schalteröle	183
2. Schmieröle und Fette	189
3. Isolierlacke und Vergußmassen	198

	Seite
III. Prüfung der Öle und Lacke	200
1. Öle und Fette	200
a) Probeentnahme	200
b) Mechanische und physikalische Prüfungen	201
Äußere Beschaffenheit	201
Mechanische Verunreinigungen	201
Spezifisches Gewicht	202
Bestimmung des Ausdehnungs-	203
koeffizienten	203
Flüssigkeitsgrad	204
Konsistenz	208
c) Chemische Prüfungen	220
Allgemeine Reinheit	220
Wassergehalt	220
Säuregehalt	222
Säurezahl	223
Angriffsvermögen auf Metalle	223
und Baumwolle	223
d) Maschinelle Ölprüfung	230
2. Isoliclacke und Vergußmassen	233
a) Mechanische und physikalische Prüfungen	233
Spezifisches Gewicht	233
Schmelz- und Erweichungspunkt	233
Ritzhärte	234
b) Chemische Prüfungen	235
Unterscheidung von mageren und Öllacken	235
Gehalt an Lösungsmitteln	236
Art der Lösungsmittel	236
Terpentinöl	238
Kienöl	238
Lackbenzin	238
Benzol	238
Solvent-Naphtha	239
Toluol	239
c) Elektrische Prüfungen. (Bearbeitet von K. Bergk)	242
Oberflächenwiderstand	243
Durchgangswiderstand	243
Dielektrizitätskonstante	244
Dämpfung	245
Durchschlagsfestigkeit	245
Literaturverzeichnis	248
Sachverzeichnis	251

Erster Teil.

Die festen Isolierstoffe.

A. Die Prüfverfahren.

Bearbeitet von W. Demuth.

I. Einleitung und Arbeitsplan.

Um zunächst eine Übersicht über die Eignung eines für einen bestimmten Zweck in Aussicht genommenen Werkstoffes zu erhalten, ist ein Fragebogen aufgestellt, der zweckmäßig schon dem Hersteller vorzulegen und von diesem so ausführlich wie möglich auszufüllen ist, umgekehrt kann der Fragebogen dem Erzeuger von Isolierstoffen in sinngemäßer Anwendung als Unterlage für Angebotszwecke dienen.

Aus der Beantwortung der einzelnen Punkte lassen sich schon viele Schlüsse ziehen. Soweit zugänglich, wird der Lieferant auch Abschriften von seinerseits veranlaßten Prüfungen bei staatlichen Anstalten, wie bei dem Materialprüfungsamt (M. P. A.) in Berlin-Dahlem, der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt (P. T. R.) in Charlottenburg oder ähnlichen Staatslaboratorien beifügen. Bei solchen Zeugnissen ist besonders zu beachten, aus welcher Zeit sie stammen und in welcher Richtung die Prüfungen vorgenommen wurden, durch Wechsel der Rohstoffquellen können ganz erhebliche Schwankungen herbeigeführt sein, obgleich die äußere Beschaffenheit gewahrt blieb. Oft werden derartige amtliche Bescheinigungen aber auch vom Lieferanten weiter ausgelegt, als es nach Stellung des ursprünglichen Prüfantrages zulässig ist.

Neue behördliche Prüfungen nehmen außerordentlich viel Zeit fort, da die Ämter teils überlastet sind, teils aber auch nicht so eingehend und regelmäßig fortlaufend prüfen können, wie es für den Verbraucher erwünscht ist; so sind diese Anstalten beispielsweise nicht in der Lage, die elektrische und die mechanische Prüfung unmittelbar anschließend oder, wie oft erforderlich, durcheinander wechselweise oder gar parallel

auszuführen. Hier muß die Arbeit der der Fabrik eigenen Prüfstelle einsetzen, der Ingenieur muß sich sofort aus vorgelegten Mustern, nach einer Probeerzeugung oder auch stichweise aus der Massenerzeugung heraus Klarheit verschaffen können, zu diesen Aufgaben soll ihm der Fragebogen und in weiterer Verfolgung vorliegende Arbeit die Anleitung geben.

Von der „Kommission für Isolierstoffe des Verbandes Deutscher Elektrotechniker“ (V. D. E.) sind in Gemeinschaft mit dem M. P. A. und der P. T. R. in den Jahren 1912, 1913 und 1914¹⁾ einzelne Grundsätze für vorläufige Prüfungsverfahren für Isolierstoffe aufgestellt. Die Kommission beantragte damals, die abgekürzten Verfahren grundsätzlich für die Dauer von 2 Jahren anzunehmen. Durch den Krieg wurden dann die weiteren V. D. E.-Arbeiten behindert, erst im Frühjahr 1921 konnte ein neuer Entwurf zu „Prüfvorschriften für die abgekürzte Untersuchung elektrotechnischer Isolierstoffe“ in der E. T. Z. veröffentlicht werden²⁾. Endgültige Vorschriften fanden auf der Jahresversammlung des V. D. E., München 1922 Annahme³⁾.

Von den Isolierstoff-Fabrikanten ist in Essen 1921 beantragt worden, Prüfverfahren für Fertigwaren herauszugeben. Die Vorarbeiten sollen an einer besonderen Untersuchungsstelle durchgeführt werden, die in Nürnberg an der bayrischen Landesgewerbeanstalt eingerichtet wurde.

Die vom V. D. E. vorgesehenen Prüfungen umschließen noch nicht alle von der Praxis für die verschiedensten Notwendigkeiten zu fordernden Untersuchungen, diese sind deshalb vom Verband selbst als „gekürzte“ bezeichnet, sie fanden an den entsprechenden Stellen in besonderer Schriftart sinngemäße Einordnung in den Arbeitskreis der vorliegenden Aufgaben.

Beziehen sich die V. D. E.-Vorschriften nur auf Isolierstoffe im allgemeinen, so werden auf einem Sondergebiet noch an anderer Stelle für die Prüfungen wichtige Normungsarbeiten geleistet. Durch den Verfasser, der inzwischen in den Hochspannungsisolatorenbau übergegangen ist, wurde auf Grund der praktischen Erfahrungen für notwendig erachtet, die in den öffentlichen Schriftwerken vielfach zu findenden, in der ersten Auflage des Buches wie auch in der E. T. Z.⁴⁾ beanstandeten und auch von anderer Seite⁵⁾ kritisierten unzutreffenden

¹⁾ V. D. E. Vorschriften. E. T. Z. 1912, S. 455, 1913, S. 79 und 688 und 1914, S. 399.

²⁾ V. D. E. Vorschriften. E. T. Z. 1921, S. 500.

³⁾ V. D. E. Vorschriften. E. T. Z. 1922, S. 446—449, 655, 858.

⁴⁾ Demuth: Festigkeitsuntersuchungen an technischem Porzellan. E. T. Z. 1920, S. 891.

⁵⁾ Rosenthal u. Singer: Die mechan. Eigenschaften des Porzellans und exakte Prüfungsmethoden. E. T. Z. 1920, S. 705.

Werte über Porzellan in größerem Interessentenkreise nachzuprüfen. Diesbezügliche Anregungen des Verfassers beim Vorsitzenden des „Deutschen Verbandes für die Materialprüfungen der Technik“, Herrn Geh. Reg.-Rat Rudeloff, Direktor des Staatlichen Materialprüfungsamtes in Berlin-Dahlem, fanden freundliche Aufnahme und führten zur Gründung des Ausschusses 18 des genannten Verbandes, der sich nunmehr eingehend mit der „Vereinheitlichung der Porzellanprüfungen“ beschäftigt. Es gehören ihm an Vertreter des obigen Amtes, des V. D. E., der Keramisch-Technischen Versuchsanstalt in Charlottenburg, des Normenausschusses der deutschen Industrie (Nadi) und der namhaftesten Porzellanfabriken, darunter der Verfasser. Die Arbeiten sind inzwischen als Teilergebnis veröffentlicht worden¹⁾, weitere Angaben werden folgen.

Weiterhin sei auf die vom V. D. E. im Wintersemester 1920/21²⁾ veranstalteten Vorträge über Isolierstoffe, die demnächst im Druck erscheinen, verwiesen, auch sie haben vielen, der Isolierstoff-Erzeugung ferner stehenden Fachgenossen wertvolle Aufschlüsse gegeben.

Die vom V. D. E. in Gemeinschaft mit dem Nadi gelegentlich der Normung von Hochspannungsisolatoren festgelegten Sondervorschriften haben an geeigneter Stelle ebenfalls Aufnahme gefunden.

II. Allgemeine Vorfragen über Herkunft, Lieferungsmöglichkeiten und Eigenschaften.

a) Fragebogen zur Beurteilung von festen Isolierstoffen.

1. Bezeichnung?
2. Hersteller oder Lieferant?
3. Natur- oder Kunsterzeugnis?
4. Vorgeschlagen zur Verwendung oder als Ersatz für?
5. Wie wird der Werkstoff geliefert:
 - a) in Platten, Maßangabe?
 - b) in Stäben?
 - c) in Rohrform?
 - d) als Preßling?
 - e) unter welcher Temperatur wird er hergestellt?
 - f) Farbe, durchsichtig, durchscheinend, Färbung nur oberflächlich oder gleichmäßig durch den ganzen Stoff?
 - g) Homogen oder geschichtet, ist Faser- oder Walzrichtung zu beachten?
 - h) lassen sich Metallteile einpressen?

¹⁾ Rieke u. Gary: Die Prüfung von Porzellan. Berichte der Deutschen Keramischen Gesellschaft 1922, Heft 1.

²⁾ Abendvorlesungen an der T. H. Charlottenburg.

- i) ist die Oberfläche durch besondere Lackierung, Glasur o. dgl. hergestellt ?
- k) welche Fabrikationsangaben können zur Beurteilung der Verwendungsfähigkeit gemacht werden? Rohstoffe? Zusammensetzung? Herstellungsverfahren?
6. Welche mechanischen und physikalischen Eigenschaften sind bekannt?
- | | |
|---|--|
| a) Wie läßt sich der Stoff
bearbeiten, drehen, schneiden,
bohren, feilen, fräsen,
mit Gewinde versehen,
schleifen, polieren, gravieren,
kleben, biegen, falten,
spalten ? | k) Scherfestigkeit ?
l) Verdrehungsfestigkeit ?
m) Wärmebeständigkeit ?
n) Frostbeständigkeit ?
o) Wasseraufnahme ?
p) Verhalten im warmen Wasser ?
q) Feuersicherheit ?
r) Säurebeständigkeit ?
s) Seewasserbeständigkeit ?
t) Wetterbeständigkeit, Alterung ?
u) Ausdehnungskoeffizient ?
v) Spezifisches Gewicht ? |
| b) Zugfestigkeit ? | |
| c) Druckfestigkeit ? | |
| d) Biegefestigkeit ? | |
| e) Schlagbiegefestigkeit ? | |
| f) Schlagzugfestigkeit ? | |
| g) Biegsamkeit ? | |
| h) Falzbiegefestigkeit ? | |
| i) Härte ? | |
7. Welche elektrischen Werte liegen vor?
- Durchschlag quer und mit der Faserrichtung?
 - Erwärmung unter dauernder Prüfspannung?
 - Oberflächenwiderstand?
 - Durchgangswiderstand?
 - Innerer Widerstand?
 - Dielektrizitätskonstante?
 - Dämpfung bezogen auf Luft?
 - Lichtbogensicherheit?

b) Erklärungen zu den allgemeinen Vorfagen.

- Die Bezeichnung des Werkstoffes ist genau mit dem Namen des Herstellers und der Lieferzeit festzulegen, spätere Verwechslungen und wiederholte Prüfungen werden damit ausgeschlossen.
- Der Hersteller und Lieferant sind aus gleichem Grunde auf dem Prüfschein und den Proben zu bezeichnen.
- Die Angabe, ob es sich um ein reines Natur- oder ein Kunst-erzeugnis handelt, ist wichtig, bei natürlichen Stoffen sind die Vorkommen anzugeben, da die verschiedenen Fundstellen oft sehr voneinander abweichende Werte für gleichnamige Stoffe ergeben.

4. Der Hersteller hat nach seinen Erfahrungen Verwendungs- und Verarbeitungsmöglichkeiten vorzuschlagen; auf dem vom Verbraucher aufgestellten Prüfschein oder dem Angebot ist die zweckmäßige Verwendung anzugeben, weil hiernach der Umfang der Einzelprüfungen zu wählen ist.
- 5a—d. Die mögliche Lieferungsart ist mit der Größe der Ausmaße anzugeben.
- 5e. Die Temperaturangabe der Herstellung ist von Wert, weil bei manchen Konstruktionsteilen schon nach Kenntnis derselben die Eignung des Werkstoffes für den gedachten Zweck ausgeschlossen sein wird.
- 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-, Schicht- oder Walzrichtung ist, falls es sich nicht um einen vollständig homogenen Stoff handelt, sorgfältig zu beachten, da solcher 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 Herstellung von Griffen, Schalter- und Sicherungssockeln o. dgl. Bei keramischen Erzeugnissen wäre für entsprechende Formgebung der Preßteile zum Einkitten von Metallteilen Sorge zu tragen. Bei der Einpressung ist der Ausdehnungskoeffizient des Isolierstoffes in Rechnung zu ziehen, bei starkem Abweichen desselben von den Werten des Metalles werden Sprengungen oder Lockerungen unvermeidlich sein. Auch bei Einkittungen sind gleiche Überlegungen erforderlich.
- 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 manchen Fabriken angewendete Verfahren hinterläßt Metallrückstände, die die Oberflächenleitung fördern und schon oft zum nachträglichen Ausbau und zum Abschleifen der Flächen geführt haben, weil die eingesetzten Anschlußbolzen der Geräte glatte Kurzschlüsse zeigten.
Bei einigen anderen Werkstoffen ist die Nichtverletzung der Außenhaut wiederum Bedingung, da die Wasseraufnahme sonst erleichtert wird.
- 5k. Hier sind besondere Eigenschaften, wie Rohstoffe, deren Herkunft, Zusammensetzung und Herstellungsverfahren anzugeben,

die den Stoff für gewisse Verwendungszwecke vorzüglich geeignet erscheinen lassen.

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

III. Mechanische und technologische Prüfungen.

Die allgemeine Bearbeitungsmöglichkeit.

Bestimmte Vergleichswerte lassen sich hierfür schwer schaffen, es sei denn, daß diese parallel an den verschiedenen Werkstoffen unter Bezugnahme auf einen als gleichmäßig anzusehenden Stoff, wie Messing der handelsüblichen Zusammensetzung o. dgl., an einer Stelle gemacht werden. Es ließen sich der Vorschub, der Arbeitsdruck, die erzielte Menge des Bohranfalles, bei Dauerversuchen die Zeit der Bohrer- oder Fräserabnutzung bestimmen, niemals aber werden Beobachtungen dieser Art aus verschiedenen Betrieben gleiche Werte ergeben.

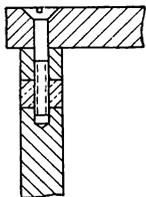


Abb. 1. Eckverbindung.

Die gestellten Fragen der Bearbeitung treffen wiederum nicht auf jeden Werkstoff zu, bei einzelnen muß eben von vornherein durch die Formgebung erreicht werden, was durch spätere Bearbeitung, wie z. B. beim Porzellan nach dem Brennen, nicht mehr möglich ist. Bezüglich des Gewindeschneidens sei noch erwähnt, daß man hiermit bei den meisten Isolierstoffen gar nicht rechnen soll, vielmehr werden alle Verbindungen zweckmäßiger derart geschehen, daß Metallbolzen zur Hilfe genommen werden, in die das Gewinde eingeschnitten wird (Abb. 1).

Für keramische Erzeugnisse dagegen lassen sich Gewinde mit Vorteil verwenden, selbst kleinere sind bei Preßstücken gut mit in die Masse einzubringen.

Zur Erzielung einiger Vergleichswerte seien immerhin folgende Proben ausgeführt:

1. Der Stoff wird aus der Platte mit der Kreis- und mit der Bandsäge geschnitten, beide Schnittflächen werden miteinander verglichen; die Kreissäge wird faserigen Stoff dichten, die Band-

säge aufreißen, was bei der Wasseraufnahmeprüfung von Wichtigkeit ist.

2. Eine Kante der Probe aus 1. wird längs, eine quer gefräst.

3. Eine Kante wird mit der Schlichtfeile in, eine quer zur Faserichtung bearbeitet.

4. Die Kanten werden auf verschiedene Arten geschliffen und schließlich poliert.

5. Eine unbearbeitete Fläche wird geschliffen und gleichfalls poliert.

6. Eine unbearbeitete und eine nach 5. behandelte Fläche werden graviert und mit Farbe ausgelegt und darnach die Schärfe der Buchstaben verglichen.

7. Für dünne Isolierstoffe, insbesondere Pappen, Leinen, Papiere, wären Stanz-, für Stabformen auch Scherversuche auszuführen.

8. In 5 mm starke Platten werden Löcher für 4- oder 5-mm-Gewinde (zweckmäßig Löwenherz) gebohrt und mit Gewinde versehen, in die Löcher werden entsprechende Schrauben gedreht und unter Gewichtsbelastung die Ausreißkraft bestimmt.

Auf die vorbeschriebene Weise werden Vergleichspunkte geschaffen, die sehr wohl zur Beurteilung der Stoffe untereinander dienen können. Die Probepplatten werden zweckmäßig für später zu vergleichenden Beurteilungen aufgehoben.

Es sei noch an dieser Stelle eine von Kessner konstruierte, von der Firma Ludwig Loewe in Berlin hergestellte Bohrmaschine erwähnt, die für Bearbeitungsuntersuchungen an Metallen gedacht ist, für Isolierstoffe aber noch wenig Eingang in die Praxis gefunden hat^{1) 2)}.

Bestimmung der Zugfestigkeit.

Der Konstrukteur wird zunächst geneigt sein, die Beanspruchung von Isolierstoffen 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 handelt es sich aber um verhältnismäßig geringe Spannungen, bei denen Strahlungswirkungen und Kriechfunken nicht zu berücksichtigen sind, hohe Durchschlagswerte nicht verlangt werden und auch erhebliche mechanische Beanspruchungen nicht auftreten.

Wesentlich anders werden die Verhältnisse bei Hochspannungsfernleitungen oder auch bei Hochfrequenzisolationen, wie z. B. bei der Aufhängung der Luftleitergebilde für die drahtlose Telegraphie. Hier ist man nach verschiedenen Fehlschlägen mit Isolatoren, die den Fahr-

¹⁾ Martens - Heyn: Materialienkunde für den Maschinenbau II a, S. 415.

²⁾ Berndt: Die Härte der Körper. Monatsblätter des Berliner V. d. I. 1920, Heft 9.

drahtträgern für Straßenbahnen, den gummiumpreßten Metallkonstruktionen nachgebildet waren und die jede Zugbeanspruchung des Isolierkörpers vermieden, dazu übergegangen, die Isolierstoffe unmittelbar als Last- und Isolationsträger zugleich zu benutzen. So sind beispielsweise Holz, Hanf, Hartgummi, Glas, Porzellan, teils nackt, teils umkleidet oder imprägniert, zur Abhaltung von Wittereinfluß, Rauchgasen und Seewassereinwirkung mit teilweise recht gutem Erfolg benutzt worden und so im dauernden Gebrauch¹⁾. Ähnlich liegen die Verhältnisse bei Hochspannungs-Überlandleitungen, die neueren An-

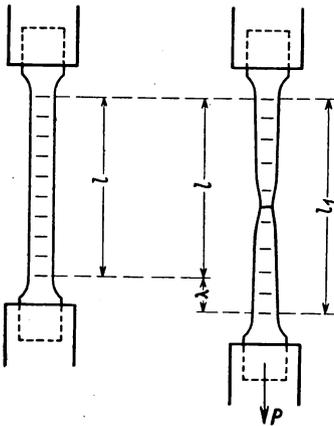


Abb. 2. Schema für Zugversuche.

lagen haben Betriebsspannungen, an die man noch vor wenigen Jahren nicht gedacht hat; auch hier strebt man danach, möglichst eisenlose Konstruktionen zu erhalten, dies ist leicht möglich durch zugbelastete Porzellan- oder andere Isolierkörper.

Es sind dies einige praktische Ausführungsbeispiele, abgesehen davon läßt der Zugversuch ganz allgemein eine wertvolle Beurteilung vieler Isolierstoffe, insbesondere wenn regelmäßige Fabrikationsstichproben gemacht werden, zu.

Für den **Zugversuch** wird der zu untersuchende Werkstoff 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 auf Zug beansprucht (Abb. 2). Die Zugkraft auf die Flächeneinheit (Zugfestigkeit) ergibt sich aus der Formel:

$$\sigma = \frac{P}{F} = \frac{\text{kg}}{\text{qcm}}.$$

Die „Meßlänge“ l (die Begriffsbezeichnungen sind schon dem Normblattentwurf E 1580 des Deutschen Verbandes für die Materialprüfungen der Technik²⁾ entnommen) ist derjenige Teil der Versuchslänge, für den die Formänderung gemessen wird.

Als „Verlängerung“ λ bezeichnet man die in Maßeinheiten beobachteten Formveränderungen in der Krafrichtung.

Die „Dehnung“ δ in Hundertteilen ist die Verlängerung für 100 Maßeinheiten der ursprünglichen Meßlänge l .

¹⁾ Demuth: Die Entwicklung der Isolatoren für drahtlose Telegraphie. Zeitschr. f. Hochfrequenztechnik 1922, Heft 4.

²⁾ Rudeloff: Normblattentwürfe. Maschinenbau 1922, S. 486—487.

Die Verlängerung ergibt sich aus

$$\lambda = l_1 - l$$

und weiter die Dehnung in Hundertteilen

$$\delta = \frac{\lambda}{l} \cdot 100 = \left(\frac{l_1 - l}{l} \right) \cdot 100.$$

Die δ - und σ -Werte werden für die Isolierstoffe wohl nur für die Bruchgrenze bestimmt, die Zwischenwerte an der Fließ-(Streck-)grenze werden selten benötigt.

Die vorbeschriebene Bruchdehnung stimmt oft bei den Isolierstoffen, insbesondere den gummihaltigen, nicht mit den Beobachtungen während des Zugversuches überein, sie werden nach dem Bruch wieder eine Längenverkürzung gegen den vorbeobachteten Wert geben (bleibende Dehnung).

Als „Fließgrenze“ ist bei scharfer Ausprägung diejenige Spannung zu bezeichnen, bei der trotz zunehmender Formänderung die Belastung erstmalig nicht mehr wächst, die Kraftanzeige unverändert bleibt oder zurückgeht. Fließgrenze bei Zug gleich Streckgrenze. Ist die Fließgrenze nicht scharf ausgeprägt, so gilt als solche die Spannung, bei der die bleibende Dehnung 0,2 vH beträgt.

Die „Spannungsgrenzen“, σ_S an der Fließgrenze und σ_B an der Bruchgrenze (Bruchfestigkeit), sind mit dem ursprünglichen Stabquerschnitt F zu berechnen.

Die „Querschnittsverminderung“ q ist der Unterschied zwischen dem ursprünglichen Querschnitt F des Zerreißstabes und seinem kleinsten Querschnitt f am Bruch oder an der Einschnürung, auszudrücken in Hundertteilen von F , also

$$q = \frac{F - f}{F} \cdot 100.$$

Die Dehnung δ für die Einheit der Spannung σ wird als Dehnungszahl α bezeichnet.

$$\alpha = \frac{\delta}{\sigma}; \quad \delta = \alpha \cdot \sigma,$$

da

$$\delta = \frac{\lambda}{l},$$

so

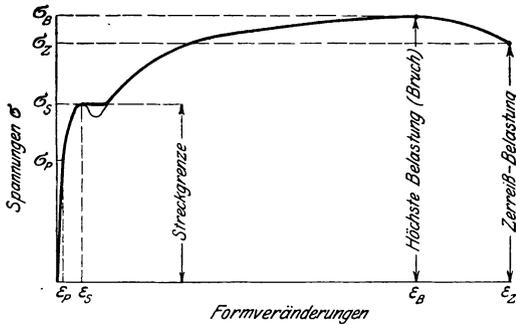
$$\lambda = \alpha \cdot \sigma \cdot l.$$

Der reziproke Wert von α wird der Elastizitätsmodul E genannt.

$$E = \frac{1}{\alpha} = \frac{\sigma}{\delta}.$$

Weitere Ausführungen über die Begriffserklärungen erübrigen sich an dieser Stelle. Für Metallprüfungen sei auf das kleine und preiswerte, für den Praktiker ausreichende Buch von Memmler¹⁾ hingewiesen, für das weitere Studium auf die ausführlichen Arbeiten von Martens²⁾ und Bach³⁾.

Einheitsschaubilder für den Zugversuch zu geben, ist für die so sehr verschieden gearteten Isolierstoffe, vom Gummi mit hoher elastischer



Dehnung bis zum spröden Glas und Porzellan, nicht möglich, es sei nur beispielsweise die Kurve für Flußeisen zur Erläuterung eingefügt (Abb. 3).

Die Aufzeichnung von Belastungskurven kann für einzelne Stoffe und vielmehr noch für ganze Isolator Konstruktionen

Abb. 3. Schaubild des Zugversuches bei Flußeisen.

jedoch sehr empfohlen

werden. Der Schaubildzeichner der Zerreibmaschinen kann allerdings die unmittelbare Messung der Dehnung nicht voll ersetzen, zur Bestimmung derselben werden auf dem Versuchsstück mit Hilfe einer einmal für dauernden Gebrauch anzufertigenden Sägezahnleiste vor

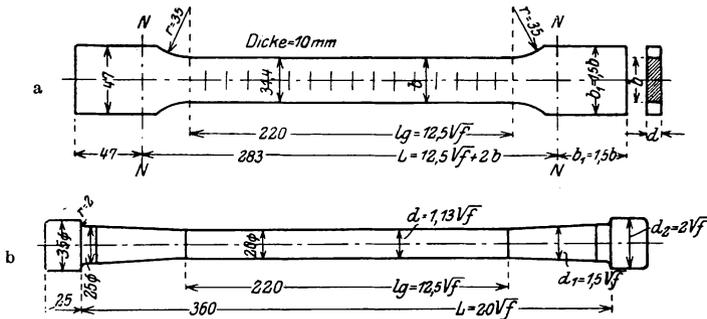


Abb. 4. Normalstäbe d. deutschen Verb. f. d. Materialprüfungen d. Technik.

dem Einspannen Teilungen aufgebracht, deren Veränderung nach dem Versuch oder auch schon während desselben beobachtet werden.

Als Probenform hat sich für Zugversuche der Normalstab (Abb. 4 a u. b), und zwar für Isolierstoffe zumeist der Rundstab der Länge von 200 mm

¹⁾ Memmler: Materialprüfungswesen. Göschen I, 1921 u. II, 1922.

²⁾ Martens I: Handbuch der Materialienkunde für den Maschinenbau. Berlin: Julius Springer. 1898.

³⁾ Bach: Elastizität und Festigkeit. Julius Springer, Berlin 1920.

bewährt, falls nur wenig oder teurer Werkstoff zur Verfügung stand auch in halber oder noch kleinerer Größe (Proportionalstab).

Die vom V. D. E. festgelegten Formen sind nur für die dort allein behandelten Prüfungen, bei denen feste Einspannungen wie hier nicht in Frage kommen, geeignet.

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

Für Papier-, Leinen- oder Seidenisierstoffe 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 Einspannungen zu legen.

Die **Zahl der Proben** richtet sich ganz danach, welche Ansprüche an den jeweilig vorliegenden Werkstoff gestellt werden sollen.

Zunächst ist jeder Versuch mindestens dreimal auszuführen und daraus das Mittel zu errechnen. Bei vielen Konstruktionsteilen wird die Benutzung bei sehr verschiedenen Temperaturstufen vorkommen, es ist darum nötig, nachdem die Probe beim ersten Versuch in Raumtemperatur, als welche stets $18-20^\circ$ angenommen werden sollen, befriedigt hat, gleiche Zerreißproben bei Temperaturen von -20° , 0° , $+40^\circ$ und $+60^\circ$, notfalls auch noch höher auszuführen. Der V. D. E. hat sich bei seinen Vorschriften meist nur auf wenige Temperaturstufen beschränkt.

Die Probenzahl beträgt hiernach mindestens 3, sie muß von Fall zu Fall ergänzt werden.

Zweckmäßig wird es sein, für alle Versuche einige Ersatzstücke für irgendwelche Ausfälle vorzusehen. Falls sowohl Flach- als Rundstoff zur Verfügung steht, wird es notwendig sein, auch beide Formen mit zu untersuchen, da die Herstellungsverfahren oft sehr verschieden sind und somit etwas andere Werte ergeben werden. Für keramische Stoffe hat sich eine abweichende Probenform (s. später, Abb. 94) mit konischen oder kugeligen Enden für die Einlagerung als zweckmäßig erwiesen, wobei kürzeste Länge wichtig ist, um zusätzliche Biegungen auszuschneiden.

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

baut, doch sind solche wohl nur für genauere Messungen, als sie bei Isolierstoffen notwendig sind, erforderlich; es wird darum von einer näheren Beschreibung hier abgesehen, im allgemeinen wird man sich mit selbst für die vorliegenden Aufgaben hergerichteten Kästen behelfen können.

Die Kaltproben werden zweckmäßig 16 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 notfalls auch der für die Warmproben verwendete Umkleidungskasten mit Kältemischung (Angaben hierfür s. S. 213) beschickt werden.

Für die **Einspannung** der Proben in die Maschine ist die Beachtung der Linie NN wichtig, die Befestigung erfolgt hier in dem größten Querschnitt, so daß der am geringsten Teile 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, Bruchgeräusche, Feststellung der Dehnung an der angerissenen, geteilten Strecke im Vergleich zu einem neben dieser am Nullpunkt verklebten oder angeklebten Papierstreifen mit entsprechender Teilung.

Die Bruchstelle macht sich bei fast allen Stoffen, eine Ausnahme zeigen wohl nur die keramischen, vorzeitig durch eine Einschnürung (Kontraktion) bemerkbar, die Lastaufnahme ist nur noch geringfügig, der Werkstoff fließt in hohem Maße, an den Maßstäben und am Schaubildzeichner ist eine starke Zunahme der Dehnung ablesbar und schließlich tritt je nach der Art des Werkstoffes ein plötzlicher Bruch auf oder ein Zerreißen einzelner Schichten und Fasern nacheinander. Diese Erscheinung ist verschieden, je nach der Sprödigkeit oder Dehnbarkeit der Stoffe. Das Auftreten der starken Dehnungszunahme oder auch von Geräuschen, welch letzteres auf Bruch einzelner Fasern oder andere innere Zerstörung hinweist, ist stets schon als die einer Rechnung zugrunde zu legende Belastungsgrenze anzusehen.

Auf Feinmessungen während des Versuches, wie Beobachtung der Proportionalitätsgrenze (der Laststufe, bis zu der für gleiche Belastungssteigerungen auch gleiche Zunahme der Formveränderungen wahrzunehmen ist) und der Streck- oder Fließgrenze (der Stufe, bei der stärkere bleibende Veränderungen eintreten), soll hier nicht näher eingegangen werden. Es sind dies Messungen, wie sie bei Metallprüfungen regelmäßig durchgeführt werden, für Isolierstoffe aber kaum nötig werden, es sei darum hier nur auf das später beschriebene Martens-Spiegelgerät verwiesen.

Es wird nützlich sein, bei einzelnen Werkstoffen die Bruchform photographisch festzulegen, um später Vergleichsbilder zu haben; ebenso ist es oft ratsam, die Bruchflächen durch Mikrophotographie aufzunehmen. In den meisten Fällen wird bei Isolierstoffen die Herstellung von Bruch- und Gefügebildern nicht so leicht wie beim Metall durchführbar sein, doch sind Schlitze, Lichtbilder oder auch Röntgenaufnahmen manchmal von Wert.

Nach dem Bruch sind die Enden aus der Maschine zu nehmen, wieder fest zusammenzuschieben und daran die Länge l_1 der ursprünglich aufgerissenen Zentimeterteilung l abzumessen. Das so gefundene Maß $l_1 - l$ stellt die Bruchdehnung dar, die, wie vorn erläutert, in Hundertteilen 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

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

ergeben.

Die Meßlänge ist nach Martens von gewissem Einfluß auf das Ergebnis, bei den vorliegenden Stoffen braucht jedoch hierauf kaum Rücksicht genommen werden, da hier wohl nur mit verhältnismäßig kurzen Stäben von 100 mm Meßlänge (Proportionalstab) gearbeitet werden wird.

Eine Übersicht der für die verschiedenen Werkstoffe ermittelten δ - und P -Werte kann hier nicht angegeben werden, vielmehr sind solche, soweit bekannt, im Absatz B des ersten Teiles dieses Buches bei der Behandlung der einzelnen Werkstoffe aufgeführt.

Nachdem nun bei einer Reihe von Versuchsstücken, Werkstoffproben oder Fertigwaren, wie z. B. Isolatoren, befriedigende Bruchwerte erzielt worden sind, können Normen für spätere Werkstoffproben, 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 Werkstoff. Bewährt hat sich bei Isolatoren eine Nutzlast von $\frac{1}{3}$, eine Prüflast von $\frac{2}{3}$ der ursprünglich ermittelten Durchschnitts-Bruchlast, dabei sind bei Massenprüfungen immer wieder Stichproben der Bruchlast der jeweiligen Lieferungen ausgeführt worden.

Nach Abschluß der Prüfung sind regelmäßig übersichtliche Prüfberichte auszufüllen, in denen alle Kennzeichen des Werkstoffes oder der Fertigprobe wiedergegeben werden. Als Prüfscheinvordruck ist ein Doppelbogen in Reichsformat zweckmäßig, die Vorderseite enthält neben einem Heftrand Vordruck für Namen, Herkunft, Lieferzeit,

Erzeuger usw. Darunter ist die Aufgabe und ein kurzer kennzeichnender Auszug aus dem gesamten Prüfvorgang einzutragen. Die zweite oder Innenseite nimmt die genauen Prüfbeobachtungen, Skizzen, Lichtbilder, Kurven u. dgl. Angaben auf, der ganze Bogen dient hierfür gleichzeitig als Umschlag.

Diese Einteilung hat sich gut bewährt, zumal in größeren Betrieben sind verschiedene Abteilungen vom Ausfall der Arbeiten in Kenntnis zu setzen, es genügt da meist der Auszug auf der ersten Seite, bei jeweilig weitergehendem Interesse wird dann erst der ganze Vorgang studiert, besonders zur Unterrichtung der Geschäftsleitung ist eine derartige Fassung zeitsparend und angenehm.

[Die erforderlichen Prüfmaschinen,

wie sie sich in der Industrie bewährt haben und immer weiter einführen, werden im folgenden eingehend unter Anführung ihrer Eigenschaften oder ihrer besonderen Eignung beschrieben. Die ausführliche Aufnahme erschien dem Verfasser auf Grund der vielen Anfragen, die ihm aus der Praxis zuzingen, für die Neuauflage notwendig. Die Kenntnis dieser Einrichtungen ist dem Elektrotechniker wie Isolierstoffherzeuger im allgemeinen noch fremd und daher wichtig, für das Studium von Sonderschriftwerken fehlt oft die genügende Zeit, außerdem sind diese für die vorliegenden Arbeiten oft viel zu umfangreich. Die Übersicht der Erfahrungen wird daher nicht unwillkommen sein. Zum genaueren Studium sind bereits einige Schriftwerke angezogen, es werden bei der späteren Bearbeitung von Fall zu Fall noch weitere Angaben hierüber gemacht werden. Die folgende Darstellung wird im allgemeinen ausreichen, eine Einführung und einen Überblick über den Prüfgerätebau zu geben. 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 Werkstoffprüfungen ausgeführt werden sollen oder ob auch laufende Untersuchungen von Fertigwaren in Frage kommen.

Die **Bauart der Maschinen**, 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 in der Länge des Versuchsstückes oder in ihrer Zahl beschränkt ist. Man sehe von vornherein lieber größere Bauhöhe vor, kürzere Proben lassen sich auch dann mit Hilfe von Einsätzen (Verlängerungen) prüfen. Für die Untersuchung von Seilen,

Fahrdrahtabspannungen, 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 der Abstand von den Säulen, durch welche der Durchmesser oder die Ausladung der zu prüfenden Stücke begrenzt wird. Die Doppelsäulenmaschinen sind in dieser Beziehung wesentlich günstiger als die Einständermaschinen.

Seitens der Elektrotechniker wird vielfach gewünscht, die Maschinen so zu bauen, daß auch elektrische Prüfungen zugleich mit der Lastaufbringung durchgeführt werden können. Der Wunsch an sich ist verständlich, aber mit normalen Maschinen nur begrenzt durchführbar. Auch in dieser Arbeit ist weiter vorn schon gesagt, daß eine wechselweise Prüfung besonders bei Isolatorenkonstruktionen unumgänglich nötig ist, daß es in dieser Beziehung sogar wünschenswert wäre, wenn z. B. P. T. R. und M. P. A. „eine“ Anstalt wären, um die Baustoffe gleichzeitig vom Standpunkt des Elektrotechnikers und dem des Festigkeitsprüfers zu untersuchen.

Der Bau einer für beide Prüfungen geeigneten Maschine wird verhältnismäßig teuer, die für die Überschlagnspannungen zu wählenden Abstände der Spannköpfe oder beispielsweise der Isolatorränder von den Säulen würden so große werden müssen, daß wiederum die für die Berechnung der Maschinen anzusetzenden Biege- und Knickbeanspruchungen ungeheure Werte ergeben, die die Konstruktion erschweren und den Preis um das Vielfache erhöhen würden. Stehende Maschinen können hiernach kaum für gemeinsame Prüfung gebaut werden, leichter ist das Verlangen bei liegendem Bau zu erfüllen, doch sind auch hier die Schwierigkeiten noch bedeutende. Vom Verfasser ist eine solche Maschine konstruiert, eine kurze Beschreibung ist in der E. T. Z. gegeben¹⁾, Einzelheiten können aus der derzeit ausliegenden Patentanmeldung entnommen werden, die Patenterteilung ist in Kürze zu erwarten. Die erste derartige Maschine befindet sich im mechan.-techn. Laboratorium der Porzellanfabrik Hermsdorf i. Thür. in Betrieb. Siehe auch die später folgende Abb. 64/4.

Die **Lastausübung** oder **-erzeugung** geschieht von Hand durch Kurbelantrieb für Maschinengrößen bis 10, höchstens 20 t, durch Riemen- oder motorischen Antrieb zweckmäßig über ein die Geschwindigkeit der Laststeigerung gut regelndes Reibungsvorgelege oder auch auf hydraulischem Wege, wobei für wenig gebrauchte Maschinen Handpumpe, sonst eine elektrisch angetriebene Pumpe mit Gewichts- oder Luftdrucksammler erforderlich wird.

¹⁾ Demuth: Die mechan.-techn. Werkstoffprüfung in der Porzellanfabrikation. E. T. Z. 1922, S. 605.

Eine **Handantriebsmaschine** für geringe Last (1000—1500 kg) von der Firma **Mohr & Federhaff** in Mannheim ist in Abb. 5 dargestellt, in Abb. 6 eine Hebelgewichtswage (Pendel) von Louis Schopper in Leipzig.

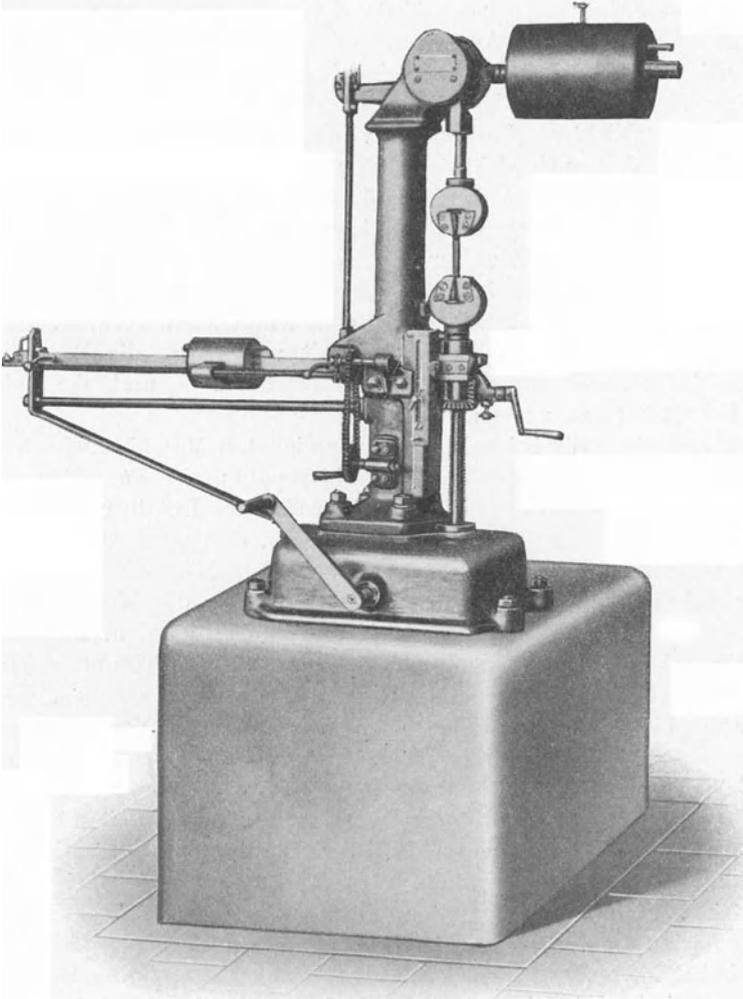


Abb. 5. Zerreißmaschine für kleine Lasten mit Handantrieb und Laufgewichtswage von **Mohr & Federhaff**, Mannheim.

Eine größere Maschine für Lasten bis 10 000, höchstens 20 000 kg von **Mohr & Federhaff**, eine Form, die sich in hohem Maße Eingang verschafft hat und von mehreren Firmen ähnlich hergestellt wird, ist in Abb. 7 gezeigt. Der Antrieb erfolgt bei allen diesen durch Handkurbel,

er arbeitet durch Kegelradübersetzung oder bei den größeren Lasten durch Schnecke und Schraubenrad, die in den Sockel eingebaut sind, auf die Zugspindel (siehe auch spätere Abb. 17).

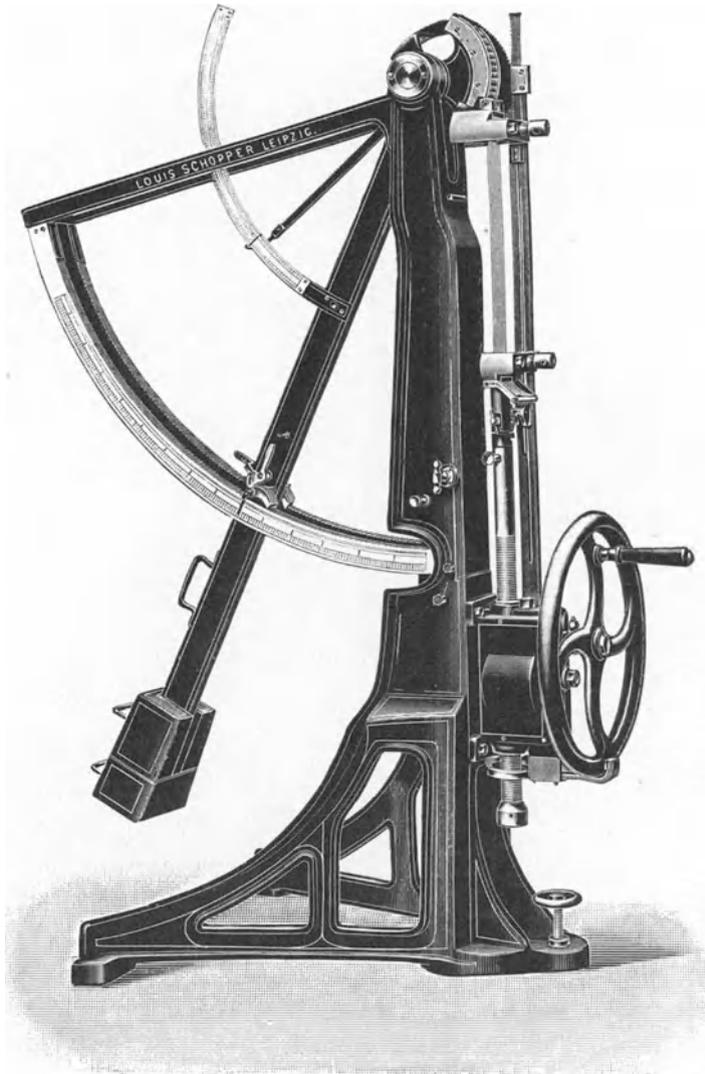


Abb. 6. Zerreißmaschine mit Pendelgewicht und Handantrieb von L. Schopper, Leipzig.

Diese Maschinenart ist überall da, wo nur eine Prüfeinrichtung nötig und unter Umständen auch leichte örtliche Veränderung erwünscht ist, gern benutzt, zumal sie noch keine schweren Fundamente

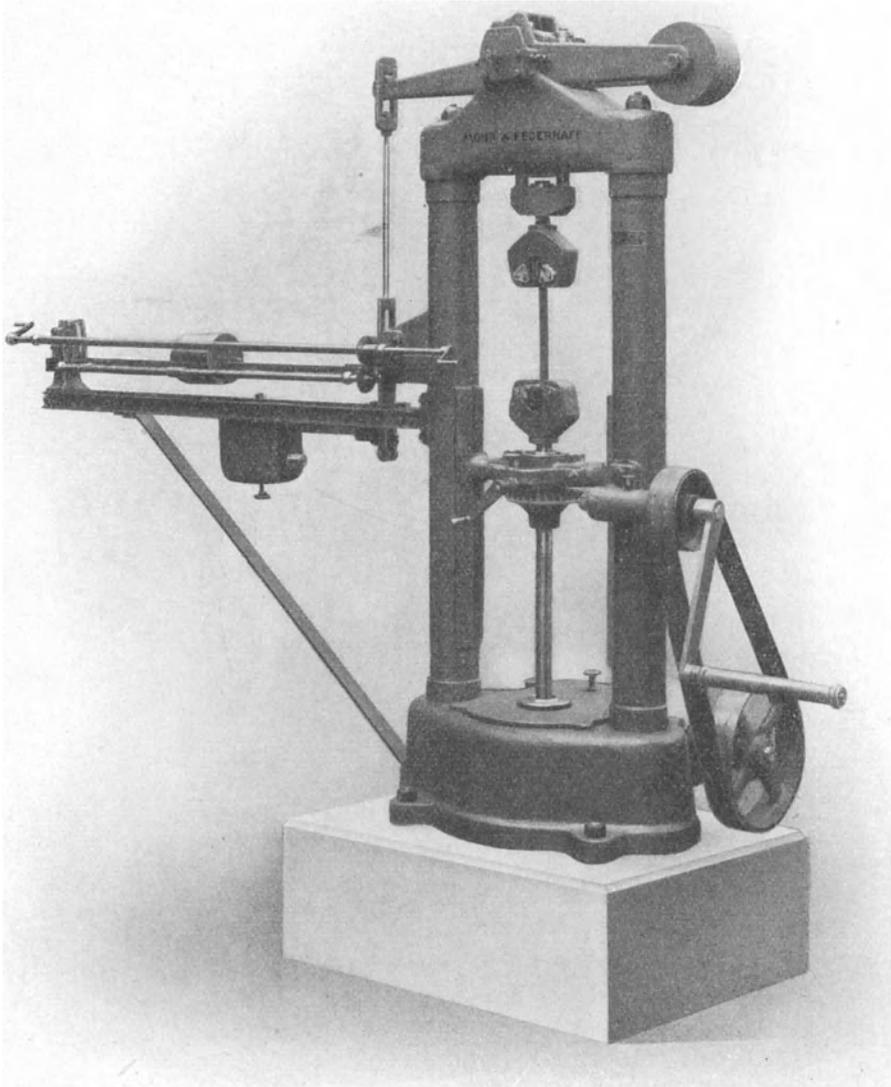


Abb. 7. Zerreißmaschine bis 20 t mit Hand- oder motorischem Antrieb und Laufgewichtswage von Mohr & Federhaff.

radvorgelege, das sowohl für Vor- und Rückwärtsgang benutzt werden kann, als Zwischenglied wünschenswert und vielfach üblich. Die in Abb. 7 gezeigte Maschine läßt unter Benutzung der unteren Riemen-

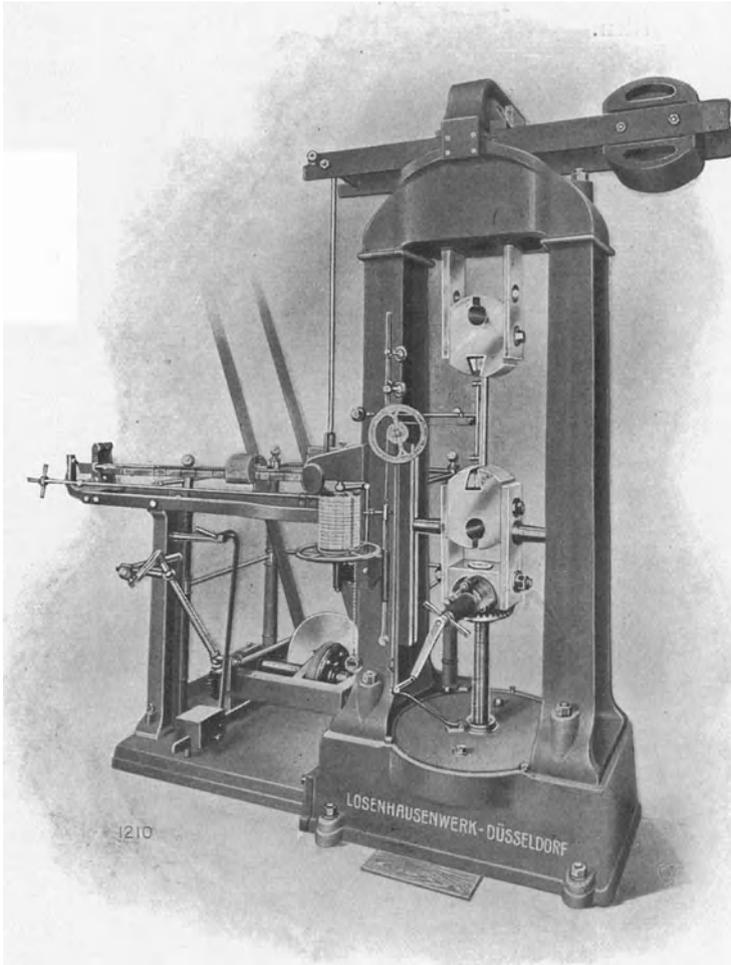


Abb. 9. Stehende Zerreißmaschine für große Lasten mit Riemenantrieb. Reibradvorgelege und Laufgewichtswage von Losenhausen, Düsseldorf.

scheibe und Verwendung eines Wand-, Decken- oder Bodenvorgeleges ohne Schwierigkeit eine solche Erweiterung zu.

Abb. 8 gibt eine Zerreißmaschine der Firma Carl Schenck in Darmstadt für große Zuglasten nach der Zweisulen-Bauart, montiert mit

Reibungsvorgelege unmittelbar im Anschluß an die Hauptgrundplatte, wieder.

Abb. 9 stellt ein ähnliches Gerät von der Düsseldorfer Maschinenbau-A.-G. vorm. Losenhausen in Düsseldorf-Grafenberg dar.

Der elektrische Antrieb hat für Prüfmaschinen große Verbreitung gefunden und wird sich überall da behaupten, wo mit verhältnismäßig geringen Kräften und nur einer Maschine gearbeitet wird. Die Bedienung ist ziemlich einfach und dauernd störungsfrei, höchstens das Reibrad wird von Zeit zu Zeit eine neue Auflage erfordern. Die Benutzung der vorliegenden Bauart ist für Einzelproben wie für Massenbetrieb gleich geeignet; als Nachteile sind nicht zu vermeidende Geräusche und die immerhin viele Griffe erfordernde Bedienung zu kennzeichnen.

Als weitere Art der Kraftausübung für Zug- wie Druckmaschinen kommt der **hydraulische Antrieb** in Frage. Hier ist unter drei Möglichkeiten zu wählen, und zwar dem Betrieb mit Handpumpe, dem aus vorhandener Werksdruckanlage und aus selbständigen Preßdruckern mit Luftsammlern oder Gewichtsspeichern.

Der Gesamtaufbau der hydraulischen Maschinen für Zug oder auch Druck gleicht im großen und ganzen den vorbeschriebenen Zweisäulenmaschinen, an Stelle der unteren Zugspindel tritt ein Kolben, der bei Pressen aus dem den Preßzylinder umschließenden Fundamentsockel herausragt und die untere Druckplatte trägt, bei Zugmaschinen ist die Kolbenstange nach oben zur Aufnahme des unteren Spannkopfes durchgeführt. Das Prinzip dieser Maschinen ist aus den später folgenden Abb. 19 und 21 ersichtlich. Der Kolben ist zur Erzielung möglicher Reibungsfreiheit in einem meist bronzefütterten Zylinder geführt und mit Ledermanschette abgedichtet. Als Preßflüssigkeit kann Wasser, Glycerin oder Öl dienen.

Der erforderliche Druck der Flüssigkeit ist abhängig von der Größe der Maschinen, er ist somit bestimmend für die Bemessung der Kolbenfläche. Bei umfangreicheren Prüfanlagen oder bei zu erwartender späterer Erweiterung ist der Druck von vornherein für die größte anzunehmende Maschine einzurichten.

Memmler¹⁾ stellt beispielsweise für einen Druckkörper aus Gußeisen von etwa 8000 at (= 8000 kg/qcm) Druckfestigkeit folgende Berechnung auf:

$$P = p \cdot F,$$

worin P die Belastung in kg, p der Druck der Preßflüssigkeit und F die Kolbenfläche in qcm ist.

$$p = \frac{P}{F}; \quad - \sigma_B = 8000 \text{ at}; \quad - P_B = - \sigma \cdot f.$$

¹⁾ Memmler: Materialprüfungswesen. Göschen I. 1921 u. II. 1922.

Der Druckkörperquerschnitt, wenn $d = 3 \text{ cm}$

$$f = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = 7,07 \text{ qcm}.$$

Die zum Zerdrücken des Körpers nötige Gesamtbelastung

$$- P_B = 8000 \cdot 7,07 = \approx 57\,000 \text{ kg};$$

hat der Preßzylinder 30 cm Durchmesser = 707 qcm Fläche, so ist für den Bruch des vorgenannten Körpers ein Druck für die Flüssigkeit von

$$p = \frac{P}{F} = \frac{57\,000}{707} = \approx 80 \text{ at}$$

erforderlich.

Zur Erklärung der Minusvorzeichen wird gesagt, daß es im Prüfungswesen ganz allgemein üblich ist, Druckwerte mit diesen zu kennzeichnen.

Die gebräuchlichen Prüfmaschinen für Zug arbeiten mit Flüssigkeitsdrücken von etwa 200 at, bei Pressen für 400 bis 500 t werden, um nicht auf zu große Kolben- und damit Fundament- und Maschinenabmessungen zu kommen, Arbeitsdrücke bis 350 at nötig. In größeren Prüfanlagen wird man oft, wie weiter unten beschrieben, von einem gemeinsamen Drucksammler aus arbeiten.

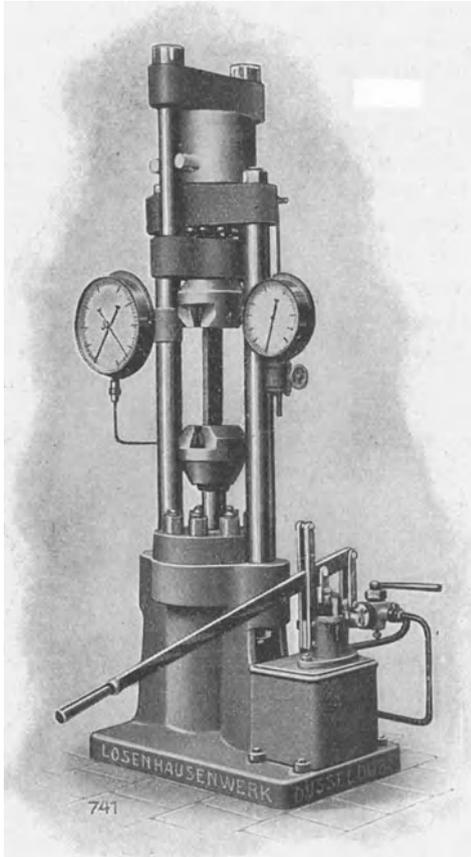


Abb. 10. Zerreißmaschine bis 30 t, hydraulischer Antrieb, Handpumpe und Meßdose von Losenhausen.

Die Druckerzeugung geschieht bei einzelnen Maschinen vielfach von Hand mit ein- oder mehrstufigen Kolbenpumpen, die Abb. 10 zeigt eine solche Zerreißmaschine der Zweiständerbauart von Losenhausen. Die Arbeitsweise ist zwar bequem, doch ist die Druckhaltung stets stoßweise, man wird den Handantrieb nur bei bescheidenen Mitteln

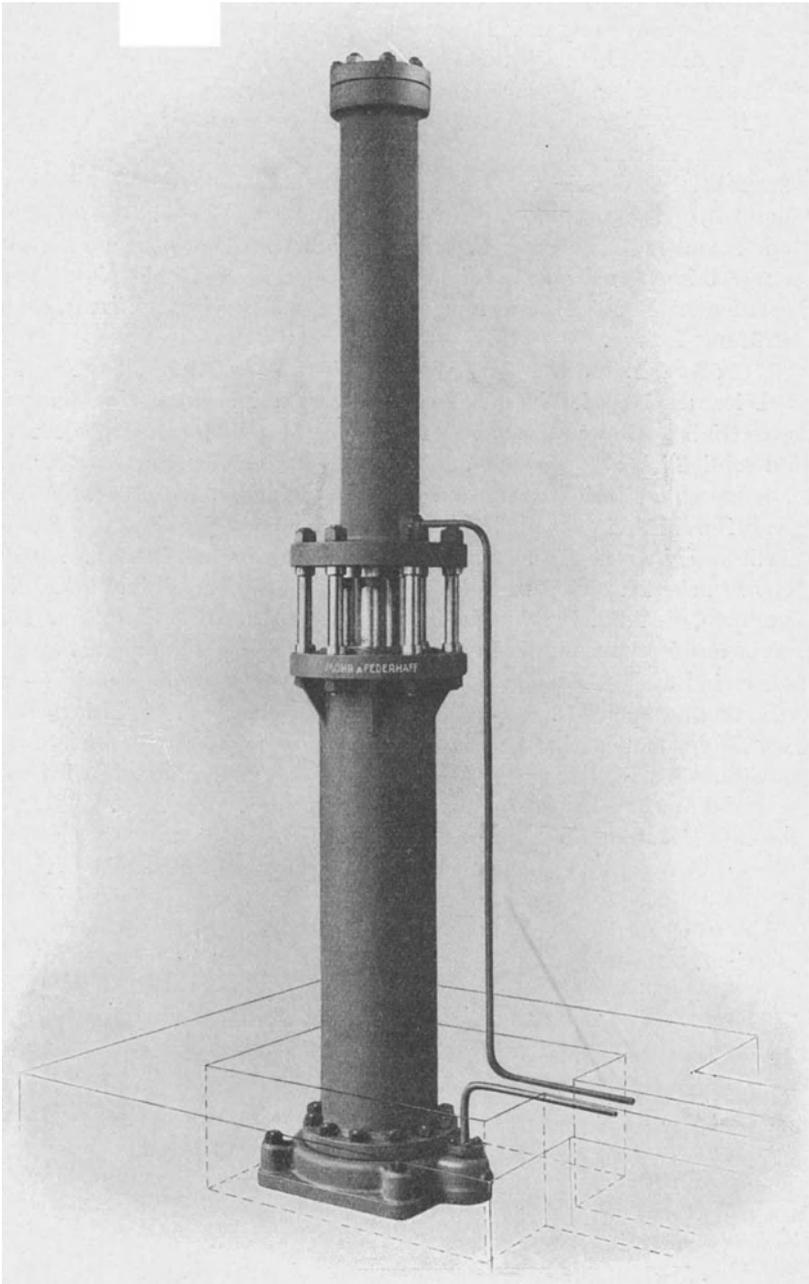


Abb. 11. Preßdruckumformer von Mohr & Federhaff.

wählen, für Massenbetrieb ist ein Drucksammler vorzuziehen. Die Versuchsausführung bei Handpumpe erfordert auch meist zwei Personen, da die Beobachtung der Probe und der Manometer schon die volle Aufmerksamkeit des Ingenieurs verlangt.

Der Anschluß von Prüfmaschinen an im Betriebe etwa vorhandene Druckanlagen hat sich im allgemeinen nicht bewährt, zunächst ist die wie vorn berechnete Druckhöhe zumeist nicht vorhanden, ein Druckumformer (Multiplikator), Abb. 11 mit entsprechendem Übersetzungsverhältnis muß zwischengeschaltet werden, dann bringen aber auch die durch die Betriebsverhältnisse hervorgerufenen Druckschwankungen erhebliche Beeinträchtigungen der Prüfung hervor.

Größere Prüfstellen in Fabriken wie in den staatlichen Anstalten arbeiten meist mit eigenen Druckanlagen, sei es, daß eine motorisch angetriebene Pumpe besonders für eine Prüfmaschine, wie von Amsler ausschließlich angewendet, aufgestellt oder eine für sämtliche in Frage kommenden Einrichtungen ausreichende Druckanlage geschaffen wird, wobei wohl stets anzunehmen ist, daß von den jeweilig vorhandenen Prüfmaschinen stets nur eine im gleichen Augenblick in Benutzung ist. Als Druckerzeuger dienen elektrisch angetriebene mehrstufige Kolbenpumpen, die Abb. 12 zeigt eine solche von Mohr & Federhaff, sie arbeitet nicht unmittelbar auf die Prüfmaschine, sondern erst auf einen Sammler. Hier sind auch wieder zwei Arten zu unterscheiden, die Gewichtsspeicher und die Preßluftspeicher. Die erstere Ausführung, Abb. 13, Konstruktion von Mohr & Federhaff, verlangt viel Raum und arbeitet nicht immer so stoßfrei, wie es für viele Versuche wünschenswert ist, sie wird daher von den Luftspeichern immer mehr verdrängt. Die Abb. 12 läßt den ganzen Zusammenbau von Pumpe und Preßluftsammler erkennen. Diese Bauart findet für Bedienung einer Prüfmaschine vielfach Anwendung, zur Speisung mehrerer gleichzeitig arbeitender Maschinen wird dem Gewichtsspeicher nach Abb. 13 oft der Vorzug gegeben.

Die Arbeitsweise der Pumpen ist selbsttätig geregelt, der Motoranlasser wird bei Erreichung der niedrigsten und der höchsten Druckgrenze durch die Maschine ein- oder ausgeschaltet. Die Arbeitsweise der Anlage gibt Abb. 14 an, der glatte Pfeil gilt für den Lauf der Pumpe zur Drucksteigerung, der mit dem Ring für die Druckentnahme aus dem Sammler.

Die Fortleitung der Druckflüssigkeit zu den Maschinen geschieht in Kupfer- oder Stahlrohren, die Steuerung erfolgt durch besondere, neben den Prüfgeräten aufgestellte Schaltsäulen.

Abb. 15 läßt die Gesamtanordnung einer Universalmaschine für Zug, Druck und Biegung von Mohr & Federhaff erkennen.

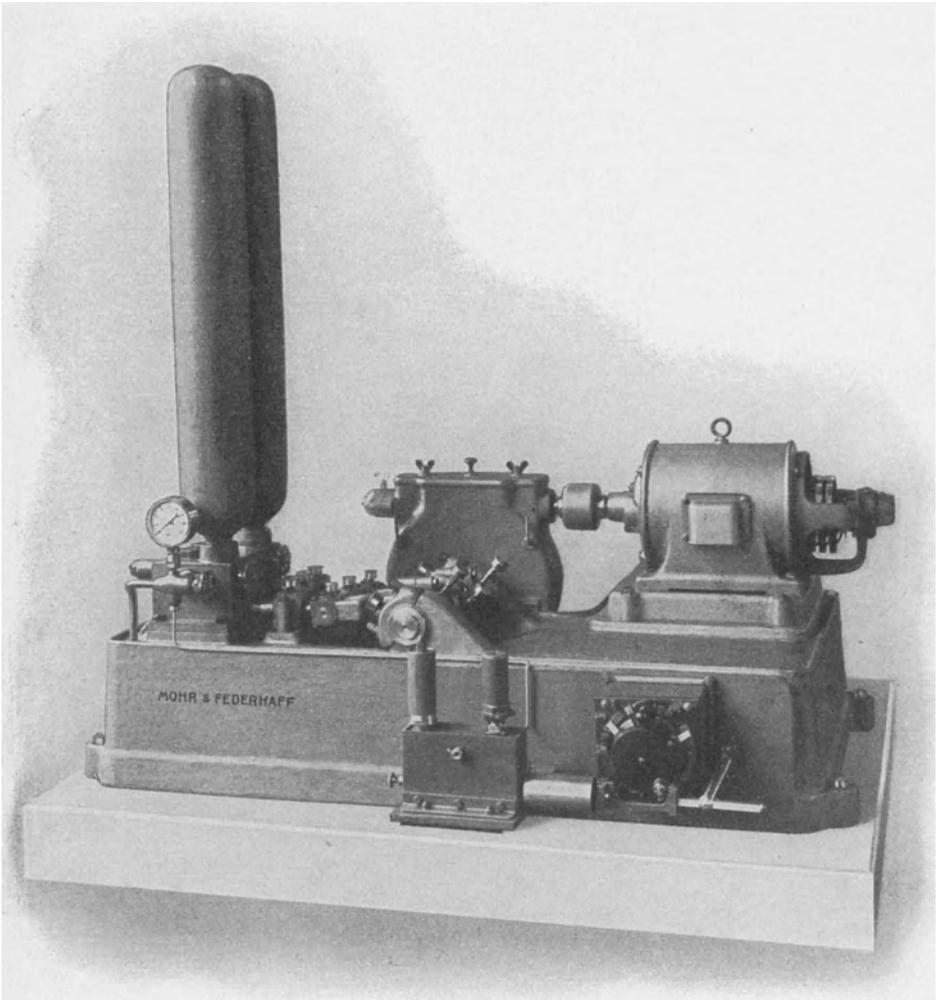


Abb. 12. Pumpe mit Preßluftsammler von Mohr & Federhaff.

Eine von den beschriebenen Einrichtungen abweichende Konstruktion haben die Maschinen Abb. 16 von Alfred Amsler in Schaffhausen (Schweiz). Diese Firma baut unmittelbar zu jedem Gerät eine selbständige kleine Pumpe mit einem Pendelmanometer, dieser Aufbau hat den Vorteil völliger Unabhängigkeit, bedingt außerordentlich wenig Raum und ergibt leichte Maschinen, also auch geringe Bodenbelastung.

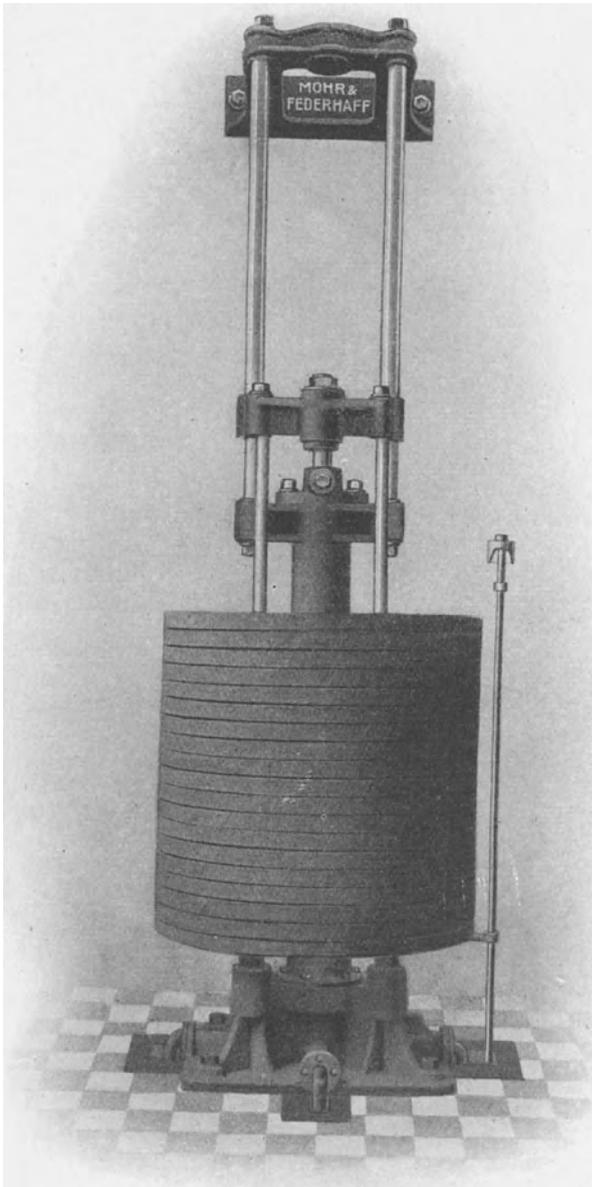
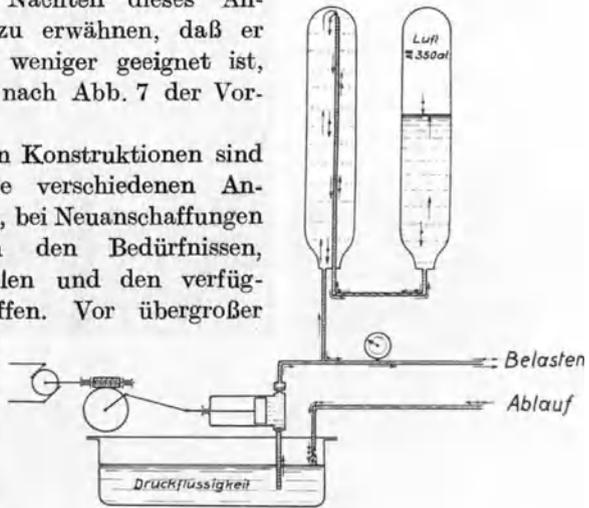


Abb. 13. Gewichtsakkumulator von Mohr & Federhaff.

Der hydraulische Antrieb stellt die für die Prüfung geeignetste Antriebsweise dar, der ausführende Ingenieur hat alle Vorgänge selbst in der Hand oder unmittelbar vor Augen. Hilfskräfte verbleiben nur für den Ein- und Ausbau der Proben. Die bei anderen Betriebsarten oft nötige Bedienung durch zwei oder gar drei Personen mit der nicht zu vermeidenden „Phasenverschiebung“ der Gehirne und die damit entstehende Ungenauigkeit fallen ganz fort. Die Messungen erreichen somit den höchsten Grad der Exaktheit. Als Nachteil dieses Antriebes ist dagegen zu erwähnen, daß er für Dauerbelastungen weniger geeignet ist, hierfür ist Maschinen nach Abb. 7 der Vorzug zu geben.

Die vorgeschilderten Konstruktionen sind hier gebracht, um die verschiedenen Antriebsarten zu erläutern, bei Neuanschaffungen ist die Wahl nach den Bedürfnissen, den genannten Vorteilen und den verfügbaren Mitteln zu treffen. Vor übergroßer Sparsamkeit sei von vornherein gewarnt; sind Erweiterungen später zu erwarten, und diese kommen, wenn die Werkstoff-



prüfung einmal ein- Abb. 14. Schema für Pumpe mit Präbluttsammler nach Abb. 12. geführt ist, meist nach,

so gehe man von vornherein besser etwas großzügiger vor. Über die die Krafterzeugung nicht betreffenden Einzelheiten der im Bilde wiedergegebenen Maschinen, die bisher, um die Klarheit der Übersicht nicht zu stören, übergangen wurden, wird im folgenden noch näher berichtet.

Für die **Kraftmessung** gibt es verschiedene Lösungen.

Messung durch Wagen.

Die **Federwagen** (Federdynamometer) sind die von dem der Werkstoffprüfung zunächst noch Fernstehenden für die ersten Notwendigkeiten schon in Rücksicht auf den billigen Preis und die Einfachheit der Anwendung bevorzugten Kraftmesser; man findet sie oft da, wo es nicht auf genaue Messungen an Werkstoffen, sondern auf schnelle Massenprüfung von Fertigwaren, wie besonders bei Prüfungen auf der Baustelle, ankommt. Vielfach werden diese Geräte unmittelbar, oft

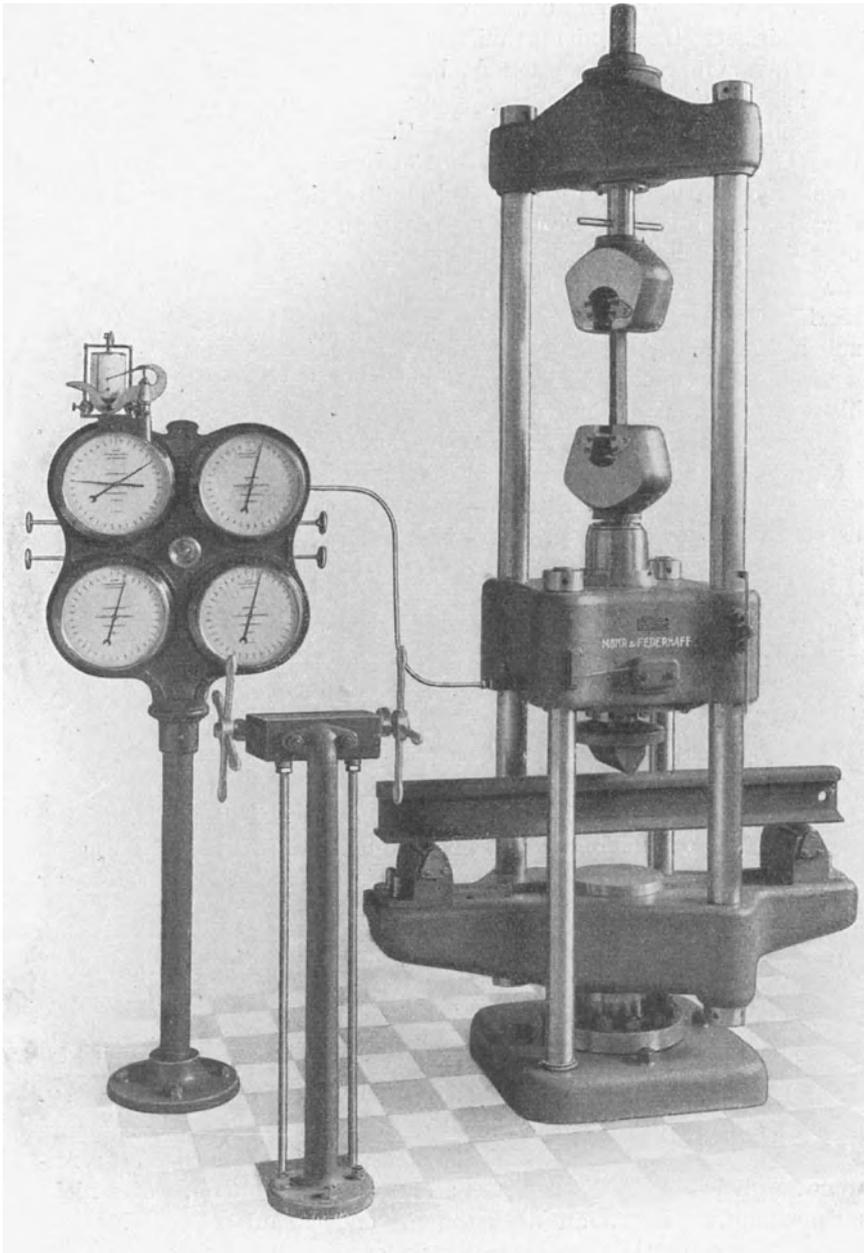


Abb. 15. Universalmaschine mit hydraulischem Antrieb und Meßdose von Mohr & Federhaff.

auch unter Benutzung von Hebelübersetzungen als Lastanzeiger benutzt.

So verlockend solche Schnellprüfeinrichtung auch ist, so kann doch bezüglich der erreichbaren Genauigkeit nur dringend vor der Verwendung gewarnt werden. Abgesehen von der rohen Ablesung kommen bei wiederholten gleichmäßigen Belastungen oft um 20–30 vH abweichende Anzeigen vor, als Prüfgeräte können Federwagen keinesfalls anerkannt werden.

Die Hebelwagen mit Wagschale und Gewichtsbelastung oder auch mit Laufgewicht haben in der Praxis besonders bei aus Behelfsmitteln hergestellten Prüfeinrichtungen vielfach Anwendung gefunden, sie sind für Prüfgeräte für Augenblicks- wie für Dauerlast, überall da, wo es weniger auf Genauigkeit als auf schnelles Arbeiten bei Fertigware ankommt, durchaus brauchbare Geräte.

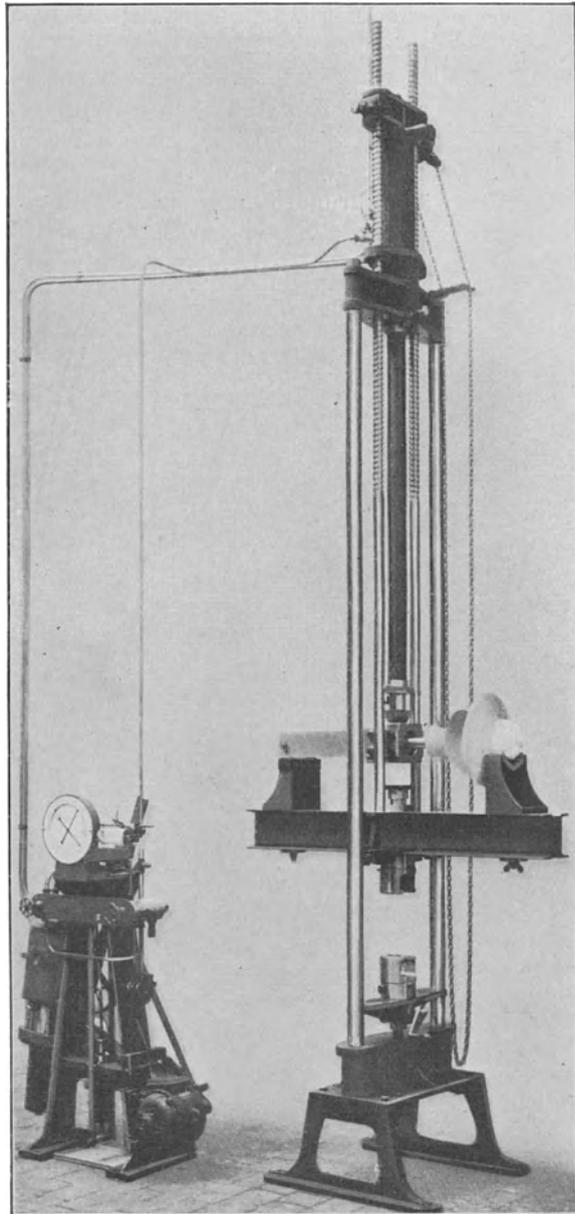


Abb. 16. Zerreißmaschine mit Pumpe und Pendelmanometer von Amstler, Schaffhausen.

In verbesserter Form, als **Laufgewichtswage**, unter Anwendung von Schneiden- oder Kugellagerungen hat sich die Laufgewichtswage bestens bewährt. Alle größeren Firmen führen Laufgewichtswagenmaschinen wie die früher gegebenen Abb. 5, 7, 8, 9 zeigen, für jede Größe aus. Die Ablesegenauigkeit ist die bei derartigen Maschinen übliche und vom M. P. A. anerkannte von ± 1 vH.

Der Bau ist begründet auf der Anwendung verschiedener Hebelübersetzungen (Abb. 17), das Gewicht ist durch Kurbelantrieb zu verschieben, wodurch das

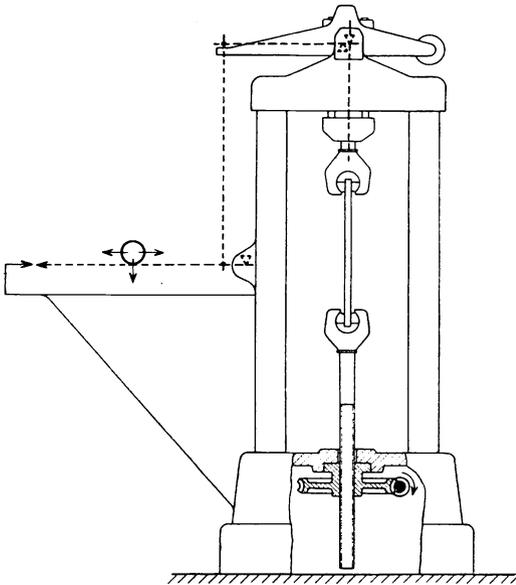


Abb. 17. Schema für Laufgewichtswagen-Maschine.

Fortschreiten der auf die Probe wirkenden Zuglast ständig und ohne Stoß ausgewogen wird.

Die Bedienung einer solchen Maschine ist äußerst leicht, sie kann ohne Bedenken auch weniger geschultem Personal überlassen werden. Zur einfacheren Handhabung, besonders zur Ersparnis eines Mannes oder der Entlastung des Ingenieurs, ist es vielfach üblich, die Laufgewichtverschiebung durch einen kleinen Elektromotor ausführen zu lassen.

Eine Abart der Laufgewichtswagen stellt die von der Firma Schopper in Leipzig gebaute, in Abb. 6 gezeigte Form dar. Als Gegengewicht dient hier ein Hebel mit Aufsatzgewicht, der als Pendelwage arbeitet. Bei Bruch der Probe wird der hier in Kugeln gelagerte Hebel durch Klinken festgehalten. Am Führungsbogen wird die erreichte Kraft abgelesen. Die Maschinen sind infolge der wenigen Teile verhältnismäßig billig, sie haben sich in vielen Fabriken für Drähte, Leder, Papier und Textilstoffe Eingang verschafft, auch das M. P. A. arbeitet mit einer ganzen Reihe solcher Geräte. Für Proben größeren Durchmessers sind die Maschinen infolge ihrer geringen Ausladung nicht geeignet. Die Schoppermaschinen haben eine außerordentlich gefällige Form, gestatten einfache und schnelle Bedienung, soweit man mit kleinen Kräften arbeitet; Maschinen für große Zugkräfte sind naturgemäß auf diese Art nicht mehr gut zu konstruieren.

Eine ähnliche Ausführung haben die stehenden wie liegenden Maschinen der Firma Albert v. Tarnogrocki in Essen. Abb. 18 zeigt die Einzelheiten, im vorliegenden Fall mit Einrichtung für hydraulischen Antrieb; auch diese Maschinen erfreuen sich großer Beliebtheit, sie haben besonders für Drahtprüfungen vielfach Eingang gefunden.

Als weitere Wagenmaschine sei die von Ehrhardt in Zella-St. Blasii ausgeführte Pohlmeier-Konstruktion der Vollständigkeit wegen noch genannt, eine eingehendere Beschreibung und Bildwiedergabe erübrigt sich, da diese nur für große Leistungen von 25 t aufwärts gebaut wird, für Isolierstoffe, selbst für die Fertigprüfungen kaum in Betracht kommt. Die bekanntesten schwersten Isolator-konstruktionen sind wohl die für die Pardunenunterteilungen der Funktürme, derartige Sonderaufgaben wird man meist an Pohlmeier-, Werder- und ähnlichen Großmaschinen der öffentlichen Prüfanstalten ausführen, die Konstruktionsbeschreibung dieser schweren Maschinen ginge über den Rahmen der vorliegenden Arbeit hinaus.

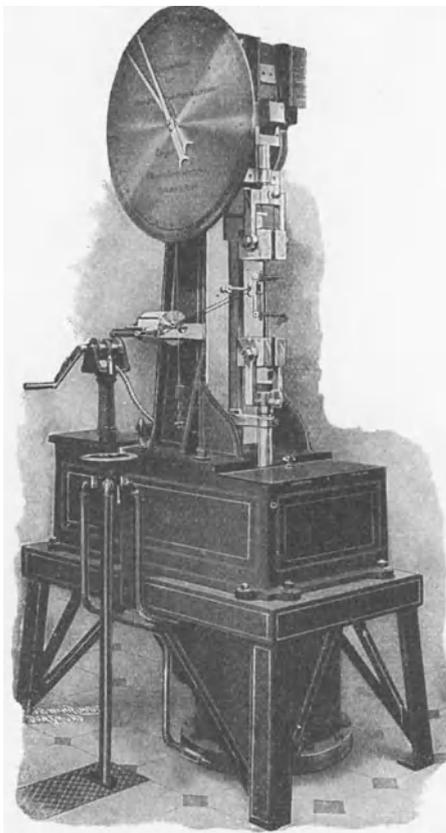


Abb. 18. Zerreißmaschine für kleine Lasten mit hydraulischem Antrieb und Pendelgewicht von Tarnogrocki, Essen.

Hydraulische Kraftmessung.

Die **Druckmessung im Zylinder** findet bei Zerreißmaschinen selten Anwendung, sie müßte erst im später folgenden Absatz über Druckmaschinen behandelt werden, doch erschien es zweckmäßig, die Kraftmeßgeräte zusammenhängend zu bringen.

Die unmittelbare Druckmessung mittels Manometers, deren Prinzip in Abb. 19 wiedergegeben ist, bewährt sich nur bei hohen Lasten, bei kleinen wird die Genauigkeit von der Kolbenreibung beeinflusst; diese Größe, deren Wert schwankend ist, ist für die Rechnung

von dem sich aus Flüssigkeitsdruck und Kolbenfläche ergebenden in Abzug zu bringen, erst bei höheren Werten kann sie vernachlässigt werden. Ältere Maschinen arbeiten vielfach mit Wasser und Stahlzylindern, bei längerem Nichtgebrauch ist mit erheblicher, die Reibung vergrößernder Verrostung zu rechnen, man ging darum immer mehr zur Verwendung von Öl als Druckflüssigkeit oder auch zur Ausfütterung

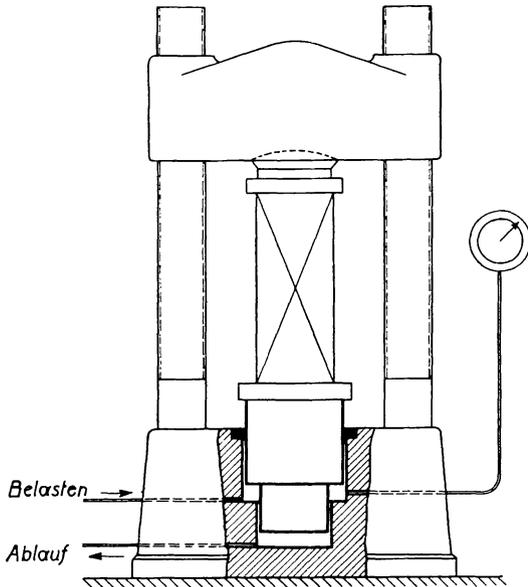


Abb. 19. Schema der Druckmessung im Zylinder an einer Presse.

der Zylinder mit Bronzeshalen über. Erst so kam man in die Lage, bei großen Drücken die Kolbenreibung gleichmäßig zu halten und damit zu vernachlässigen. Die Anwendung der unmittelbaren Druckmessung im Zylinder ist nur für Pressen mit hohen Drücken, also von etwa 300 t aufwärts, beibehalten. Die später unter dem Abschnitt Druckuntersuchung gegebene Abb. 36 zeigt eine solche Maschine. Die Manometersäule trägt 2 oder besser, wie auf Abb. 15, 4 Instrumente, und zwar

oben eins für den ganzen, eins für einen Teilbereich (zumeist $\frac{1}{5}$), darunter zu jedem Gebrauchsmanometer ein Vergleichsgerät.

Die **Druckmessung mittels Meßdose** ist das für neuere Zerreißmaschinen, soweit nicht die Laufgewichtswage vorgezogen wird, meist angewendete Gerät.

Die Abb. 20 zeigt eine Zerreißmaschine für kleine Kräfte mit Handantrieb von Mohr & Federhaff, sie läßt die äußere Anordnung erkennen, ebenso auch die früher gebrachten Bilder 10 und 15.

Bei der Zerreißmaschine nach Abb. 20 sind nur 2 Manometer, bei der Universalmaschine nach Abb. 15 dagegen 2 Paar angebracht.

In Abb. 21 ist das Prinzip der Meßdosenmaschine mit hydraulischem Antrieb dargestellt.

Dem äußeren Aufbau nach kennzeichnet sich die Meßdose durch den oben im Querhaupt oder bei der Universalmaschine (Abb. 15) in dem in der Mitte liegenden festen Querhaupt angeordneten kurzen Zylinder, von dem die Rohrleitung zu den Manometern führt.

Der innere Bau der Meßdose besteht in einem Zylinderraum ganz kurzer Baulänge, etwa 0,2—0,3 mm, über diesem Hohlraum liegt, vollkommen abschließend, bei älteren Konstruktionen eine Messingblech-, bei neueren eine Paragummimembran, auf diese wieder wirkt, mit etwas kleinerem Durchmesser als dem des Zylinders, der Kolben, auf den wiederum der Prüfdruck als Zug arbeitet. Der Zylinderhohlraum ist mit Glyzerin gefüllt und steht über ein gleichfalls mit dieser Preßflüssigkeit gefülltes Verbindungsrohr mit den Manometern im Zusammenhang. Der Ölräum muß vollkommen luftleer gemacht und auch gehalten werden.

Während also bei Druckmessung im Zylinder die ausübende Kraft gemessen wird, wird hier bei der Meßdose die aufgewendete Leistung angezeigt.

Die Meßdosenkonstruktionen haben aus den praktischen Erfahrungen heraus vielfache Änderungen erfahren, besonders ist die Kolbenlagerung

und -führung von den Konstrukteuren zur möglichsten Schonung der Membran auf verschiedenste Weise ausgeführt; die Meßdose nach Martens¹⁾

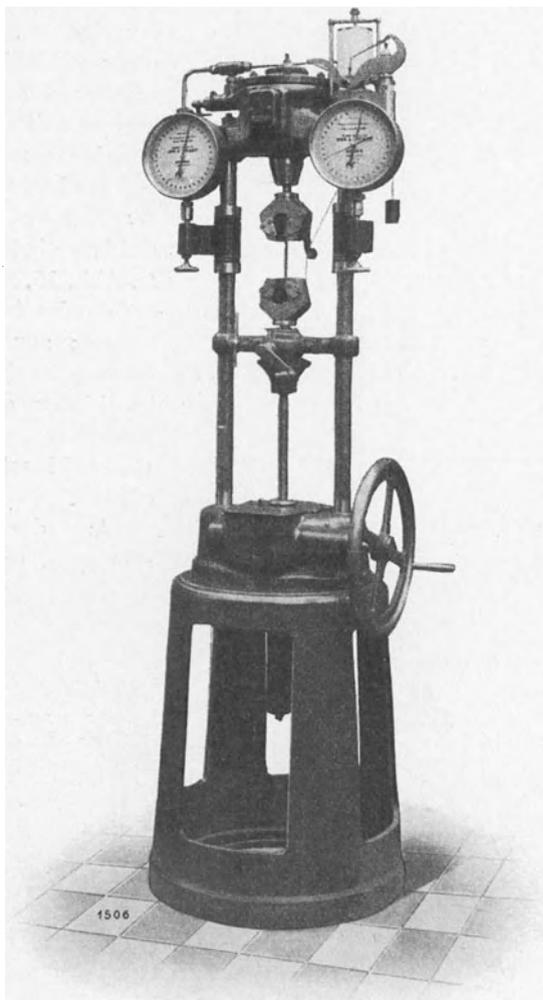


Abb. 20. Zerreißmaschine 1000 kg, Handantrieb und Meßdose von Mohr & Federhaff.

¹⁾ Martens u. Guth: Denkschrift zur Eröffnung des „Königl. Materialprüfungsamtes“ Berlin 1904. S. 284.

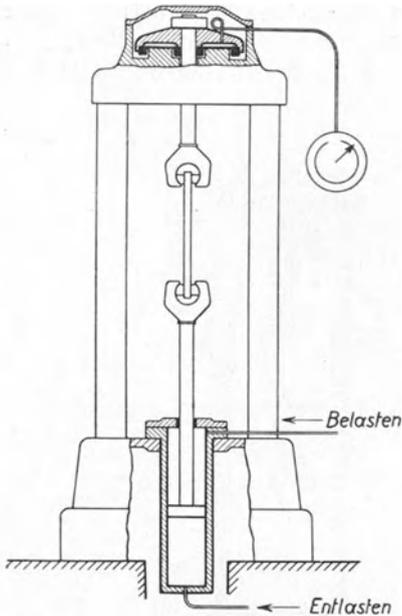


Abb. 21. Prinzip der Meßdosenmaschine mit hydraulischem Antrieb.

hat einen in Stahlmembranen geführten Kolben, bei der Meßdose von Mohr & Federhaff (Abb. 22) läuft er möglichst reibungslos in Kugellagern. Im Betriebe auftretende Undichtigkeiten im Ölraum würden den Luftzutritt befördern und damit Ungenauigkeiten und Membranzerstörungen herbeiführen, zur Beobachtung des Kolbenhubes der Meßdose ist darum außen am Gehäuse ein Zeiger über einer Teilung (s. Abb. 15, 20 und 22) angebracht, der den Kolbenweg zu beurteilen gestattet; zur Entlüftung und Einstellung nach dem Barometerstand ist hinter den Manometern eine besondere Glycerinpumpe mit Quecksilberstand-Druckregler eingebaut.

Aus der Beschreibung ist zu erkennen, daß einerseits die Meß-

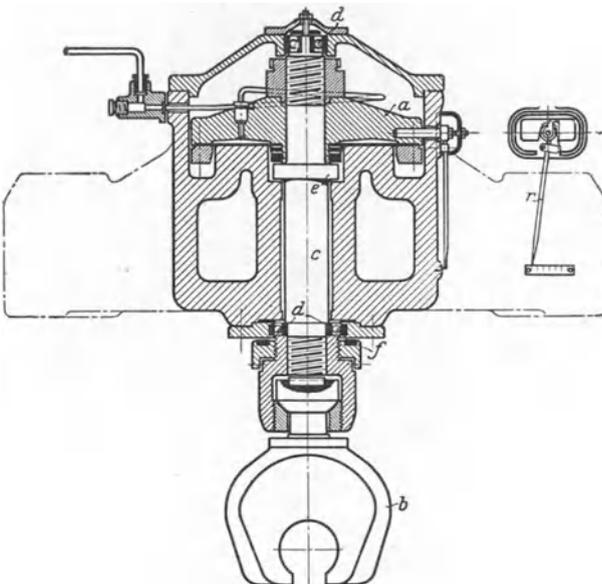


Abb. 22. Meßdose von Mohr & Federhaff (Schnittzeichnung).

dose ein vorzügliches, sicher und schnell arbeitendes Kraftmeßgerät ist, das aber andererseits sorgfältigster Behandlung und Wartung bedarf. Eine größere Störung, wie die Membranbeschädigung, verlangt stets die Hilfe eines besonders damit vertrauten Mannes. Das Anwendungsgebiet der Meßdose ist meist auf Maschinen bis etwa 100 t beschränkt.

Der Einbau erfolgte bisher fast ausnahmslos in stehenden Maschinen, wenn auch die Lagerung in Kugeln, wie bei Mohr & Federhaff, die Verwendung mit wagerechter Längsachse zuläßt und von dieser Firma auch schon mit Erfolg ausgeführt ist (Abb. 64/4).

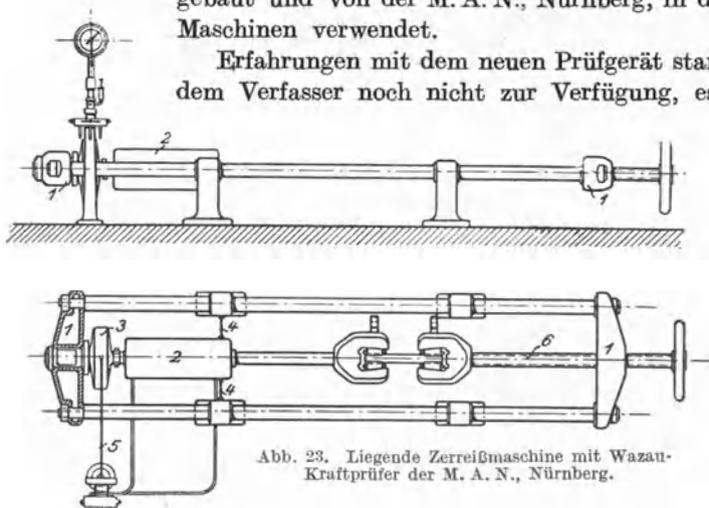
Die Bedenken gegen direkte Manometermessung und Meßdose haben die Konstrukteure zu weiteren neuen Ausführungen veranlaßt, die, wenn auch noch nicht viel in die Praxis eingeführt, doch gute Aussichten haben.

Der zunächst nur als Meß- oder Eichgerät für die Maschinen gebaute, später beschriebene

Wazau-Kraftprüfer

findet in neuester Zeit Anwendung als Kraftmesser für die Maschinen selbst. Er wird von der Firma Schäffer & Budenberg in Magdeburg gebaut und von der M. A. N., Nürnberg, in deren Maschinen verwendet.

Erfahrungen mit dem neuen Prüfgerät standen dem Verfasser noch nicht zur Verfügung, es sei



darum auf einen diesbezüglichen Aufsatz¹⁾ in der V. D. I. Zeitschrift verwiesen, ebenso auf die Abhandlung von Wazau in den Forschungsarbeiten²⁾.

Die Abb. 23 gibt eine liegende Zerreißmaschine der M. A. N. wieder, die Bezugszahl 3 darin deutet den hier eingebauten Kraftprüfer an, das Anzeigeinstrument steht daneben und ist durch Rohrleitung mit

¹⁾ Wazau: Eine neuartige Festigkeitsmaschine. Z. V. d. I. 1919, S. 79.

²⁾ Wazau: Neue Kraftmesser für Festigkeitsprüfungen. Forschungsarbeiten a. d. Gebiete d. Ingenieurwesens Heft 3, Reihe M.

ersterem verbunden. Die Einzelheiten sind später unter den Kontroll- und Hilfsgeräten gegeben.

Ein ganz neuartiges Verfahren der Kraftmessung ist von Amsler für große Maschinen aufgenommen, er benutzt die **Dehnung der Säulen** zur Kraftmessung. Die Abb. 24 gibt das Schema (Schnittzeichnung) einer 500 t Presse. Der allgemeine Aufbau ist der gleiche wie bei den früher gezeigten derartigen Maschinen.

Der Druck auf den Probekörper wird nicht wie bei anderen ähnlichen Bauten aus dem Flüssigkeitsdruck im Zylinder der Presse abgeleitet, sondern es wird die elastische Dehnung der beiden Säulen, die den gesamten Druck zwischen den beiden Preßplatten als Zug aufnehmen, gemessen. Die Dehnung der Säulen ist proportional der übertragenen Kraft. Die Säulen wirken also als Meßfeder.

Die Beanspruchung der Säulen ist nur mäßig, eine Überanstrengung und daraus folgende Veränderung der Elastizitätskonstanten der Säulen ganz ausgeschlossen. Es genügt eine einmalige Eichung der Maschine mit Hilfe eines Normalstahlzylinders, wie beim Martens-Spiegelgerät weiter unten beschrieben.

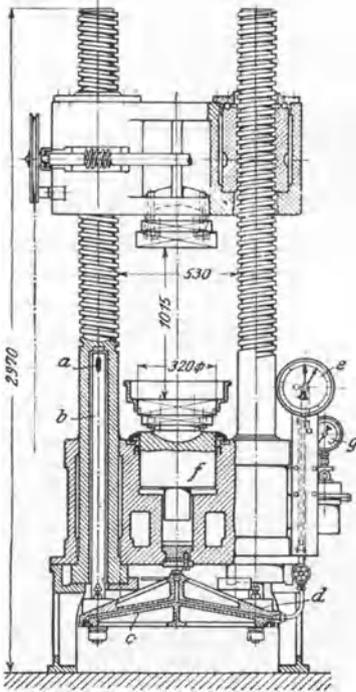


Abb. 24. Hydraulische Presse mit Kraftmesser durch Säulendehnung von Amsler (Schnittzeichnung).

Zur Druckmessung in der Maschine kommt nur der untere glatte Teil der beiden Säulen zur Verwendung. Die Messung und Übertragung der Längenänderung der Säulen auf die Ablesevorrichtung — den Kraftanzeiger — geschieht in folgender Weise:

Im Innern jeder Säule befindet sich eine Stange, die oben durch einen Querkeil in der Säule aufgehängt ist und unten einen tellerförmigen Kolben trägt. Der Kolben ist von einem niederen Zylinder, dem Meßzylinder, eingeschlossen, der sich gegen das untere Ende der beiden Säulen stemmt. Der Kolben ist mit dem Zylinder durch eine elastische Dichtung verbunden und mit einer Flüssigkeit angefüllt. Drückt der Probekörper das obere Querhaupt aufwärts, so strecken sich die Säulen; die beiden Stangen heben den Kolben im Meßzylinder, treiben die Flüssigkeit in ein senkrechttes Rohr und heben dort einen

Schwimmer. Dieser dreht mittels eines Fadens einen Zeiger vor einem Zifferblatt, das in 100 t eingeteilt ist. Es können $\frac{1}{2}$ t abgelesen und $\frac{1}{10}$ t noch leicht geschätzt werden. Die ganzen Umdrehungen des Zeigers werden an einem Zählscheibchen abgelesen. Der Zeiger kann 5 Umdrehungen, entsprechend 500t, ausführen.

Beim Bruch des Probekörpers und dem Aufhören seines Widerstandes verkürzen sich die Säulen und nehmen wieder ihre ursprüngliche Länge an. Der Kolben sinkt wieder im Meßzylinder, und die Flüssigkeit geht im Schwimmerrohr auf den alten Stand zurück. Ein Schleppzeiger zeigt die Bruchlast an, die Zeigerumdrehungen bleiben kenntlich.

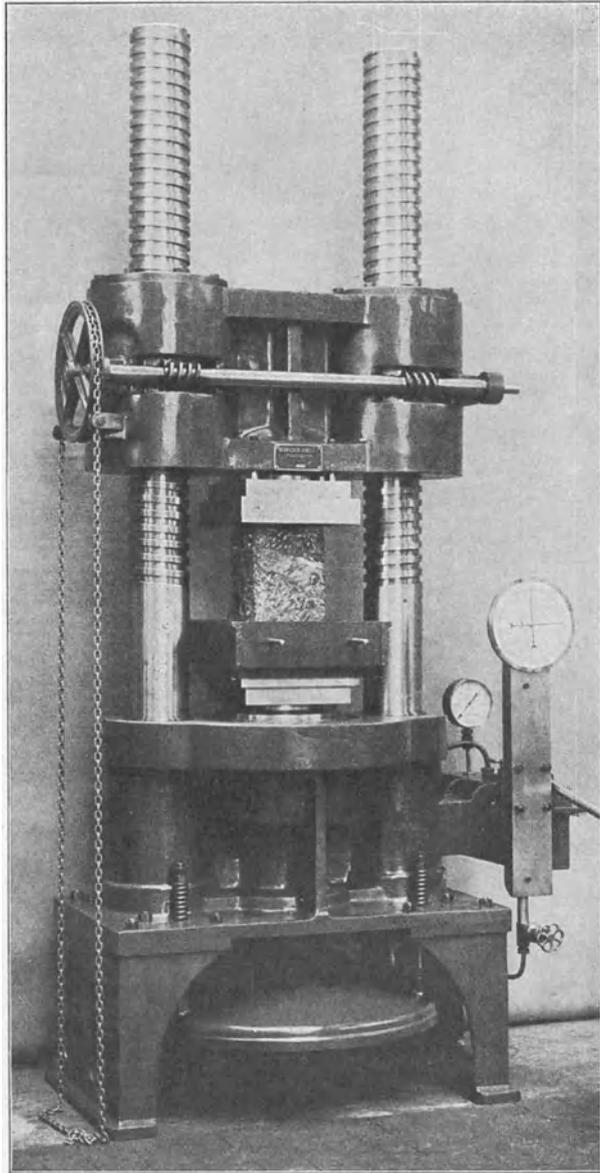


Abb. 25. Presse mit Kraftmesser durch Säulendehnung von Amsler (Ansicht).

Die Pumpe ist liegend angeordnet und in den Ölbehälter eingebaut, aus dem sie das Drucköl ansaugt, das durch ein Rohr auf der anderen Seite der Pumpe austritt und in den Hochdruckzylinder der Presse

geleitet wird. Neben diesem Rohr ist oben auf dem Pumpengehäuse ein Rücklaufventil angeordnet.

Die Maschine braucht kein besonderes Fundament. Die Abb. 25 gibt die Gesamtansicht der Presse.

Die **Einspannvorrichtungen** sind von der Art der zu untersuchenden Stoffe oder Körper abhängig, zunächst ist danach zu unterscheiden

zwischen reinen Stoffproben und Fertigerzeugnissen.

Als Proben kommen Flachstäbe, Rundstäbe (Normal- oder Proportionalstäbe) wie auch Drähte, Bänder, Schnur- oder Seilformen und die vielfartig gestalteten Fertigwaren vor, man wählt als Einspannvorrichtungen meist die üblichen Universalspannköpfe, die mittels entsprechender Backen die verschiedensten Werkstoff- wie auch Fertigproben einzuhängen gestatten. Die Abb. 26 zeigt einzelne Konstruktionen von Mohr & Federhaff, die Ausführungen anderer Firmen sind ähnlich. Fertigwaren sind nach Herstellung besonderer, diesen angepaßter Zwischenstücke, die leicht im eigenen Betriebe gefertigt werden können, ebenfalls ohne Schwierigkeit in die Köpfe einzuhängen. Eine Norm läßt sich hierfür nicht allgemein aufstellen. Erwähnt sei noch eine in der Praxis bisher wenig bekannte Aufhängeform für Seile, wie sie Abb. 27 wieder-

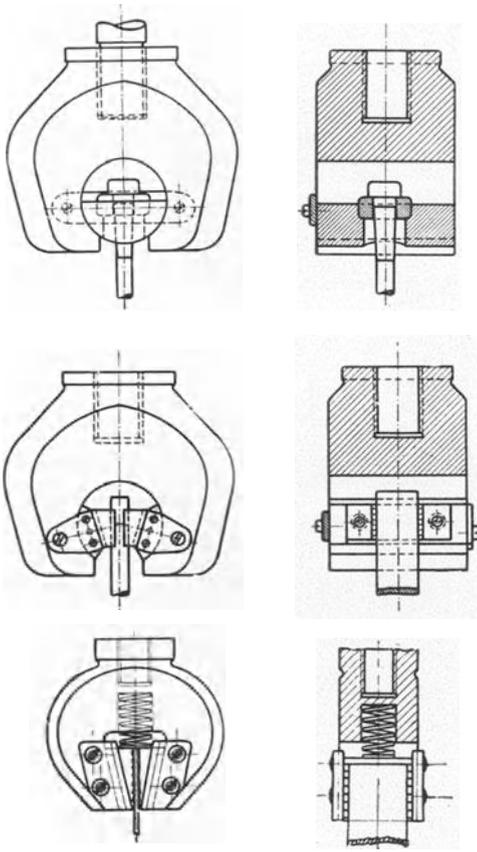


Abb. 26. Spannköpfe von Mohr & Federhaff.

gibt; eine Prüfung, die auch dem Elektrotechniker oft vorkommen wird. Die hier benutzten Muscheln (Konstr. von Mohr & Federhaff) gestatten einen schnellen Einbau, ohne daß Vergießungen, Keile oder sonst den Werkstoff angreifende Beißvorrichtungen nötig werden; auch zum Prüfen von Isolatoren für Seilverbindungen (Schlingen-Form) lassen sich diese Muscheln dienstbar machen.

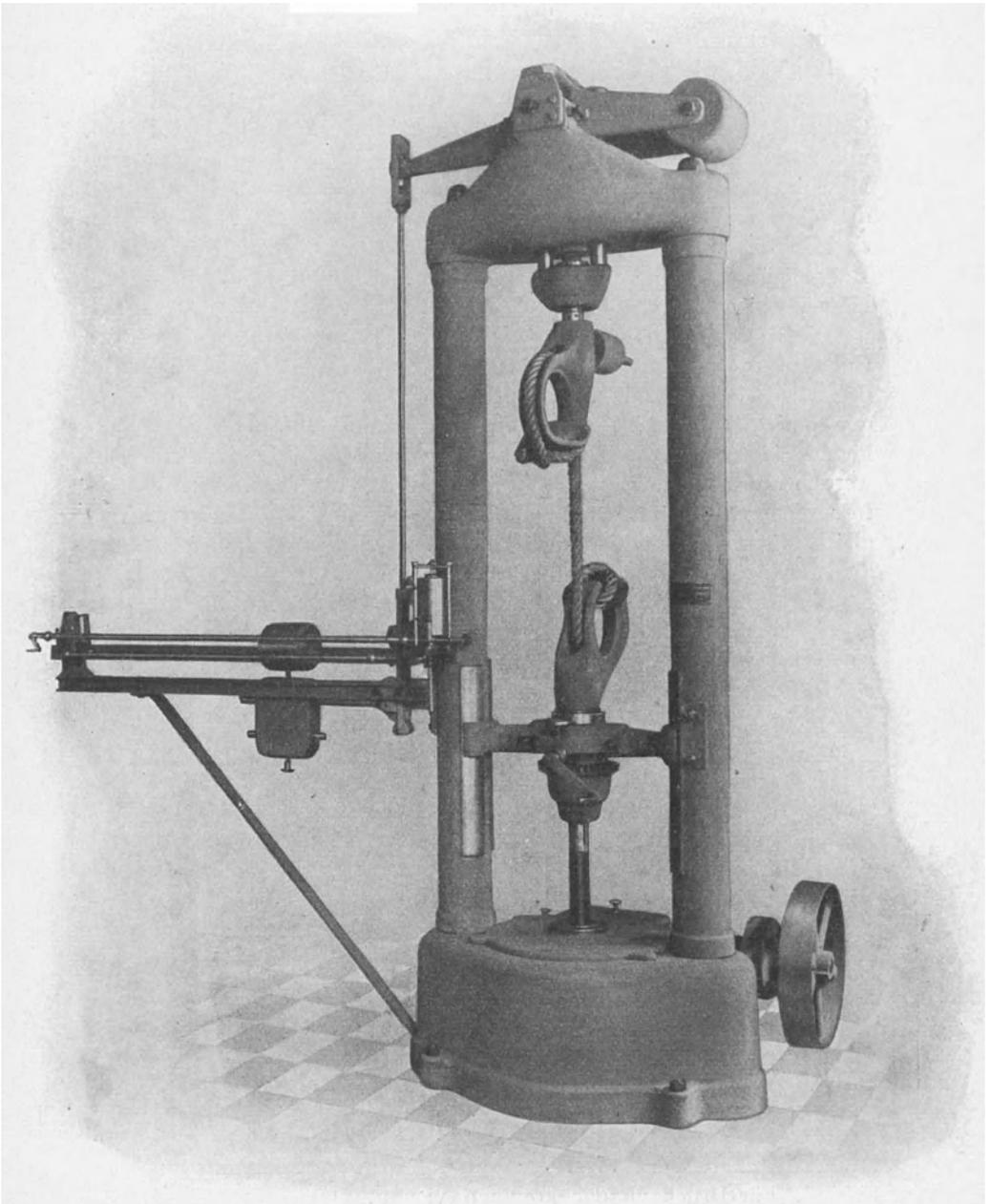


Abb. 27. ZerreiBmaschine mit Spannköpfen (Muscheln) für Seilprüfung von Mohr & Federhaff.

Die **Vergleichs-(Eich-) und Hilfsgeräte** zur regelmäßigen Überwachung oder Nachprüfung der Richtigkeit der Maschinen sind wieder mannigfacher Art.

Zunächst sei auf die im Voraufgegangenen bereits erwähnten **Kontrollmanometer** hingewiesen. Diese sollten niemals zu regelmäßigem Gebrauch benutzt werden, sondern nur von Zeit zu Zeit parallel arbeiten, und zwar am besten unter Einschaltung von in der jeweilig benutzten Maschine nicht zerstörbaren Proben, um sie keinesfalls durch Bruch derselben und damit plötzliche Entlastung zu gefährden. Zum Schutz sind in die von der Meßdose oder dem Druckzylinder kommenden Rohre meist noch besondere Rückschlagventile eingebaut, die auf die Manometerentlastung dämpfend wirken.

Die **Kontrollmanometer** lassen naturgemäß nur einen Vergleich der Gebrauchsinstrumente zu, gestatten aber noch nicht eine Überholung der ganzen Prüfmaschine. Hierzu bedient man sich in einfachster Form der **Gewichtsbelastung der Zugbolzen** der Maschine. Die Firmen liefern hierzu Wagschalen, die mit Hilfe besonderer Joche zweiseitig angebracht werden und stufenweise mit Gewichten zu belegen sind. Die hohe erforderliche Gewichtsmenge beschränkt die Prüfung meist nur auf Vergleich mit Teillast und ist diese damit nicht vollwertig, immerhin aber als brauchbares Mittel anzuerkennen.

Eine wirklich volle und einwandfreie Untersuchung, wie sie ganz allgemein auch von den staatlichen Prüfanstalten für Eichzwecke angewendet wird, ist durch das **Martenssche Spiegelgerät**, das Abb. 28 in eichbereitem Zustand zeigt, möglich; die gleiche Einrichtung findet allgemein auch für Feinmessungen Anwendung.

In die Maschine eingebaut ist ein sog. Kontrollstab oder für Pressen ein Stahlzylinder, deren Elastizitätsverhältnisse und Veränderungsgrößen für bestimmte Belastungen durch Eichung in staatlichen Anstalten ermittelt sind. Es werden stufenweise mit der Maschine Lasten eingestellt, die Veränderung des Meßkörpers wird mit Hilfe des im Prinzip in Abb. 29 a u. b dargestellten **Martens-Gerätes** mit Fernrohrablesung auf $\frac{1}{10\,000}$ mm genau festgestellt, und danach wird umgekehrt aus den bekannten Veränderungswerten des Eichstabes das Meßinstrument der Maschine geeicht.

Der Grundsatz des Spiegelgerätes beruht auf der Übertragung der geradlinigen Bewegung, also der Dehnung des Meßstabes oder Quetschung des Druckzylinders in die Drehbewegung eines Spiegels, die mit Hilfe eines Fernrohres auf einer auf dem gleichen Bock befestigten Skala abgelesen wird. Es folgen gleichzeitig zwei Ablesungen für die auf beiden Seiten des Normalstabes angebrachten Spiegel. Für Druckzylinder kommen vier um 90° versetzte Spiegel zum Anbau.

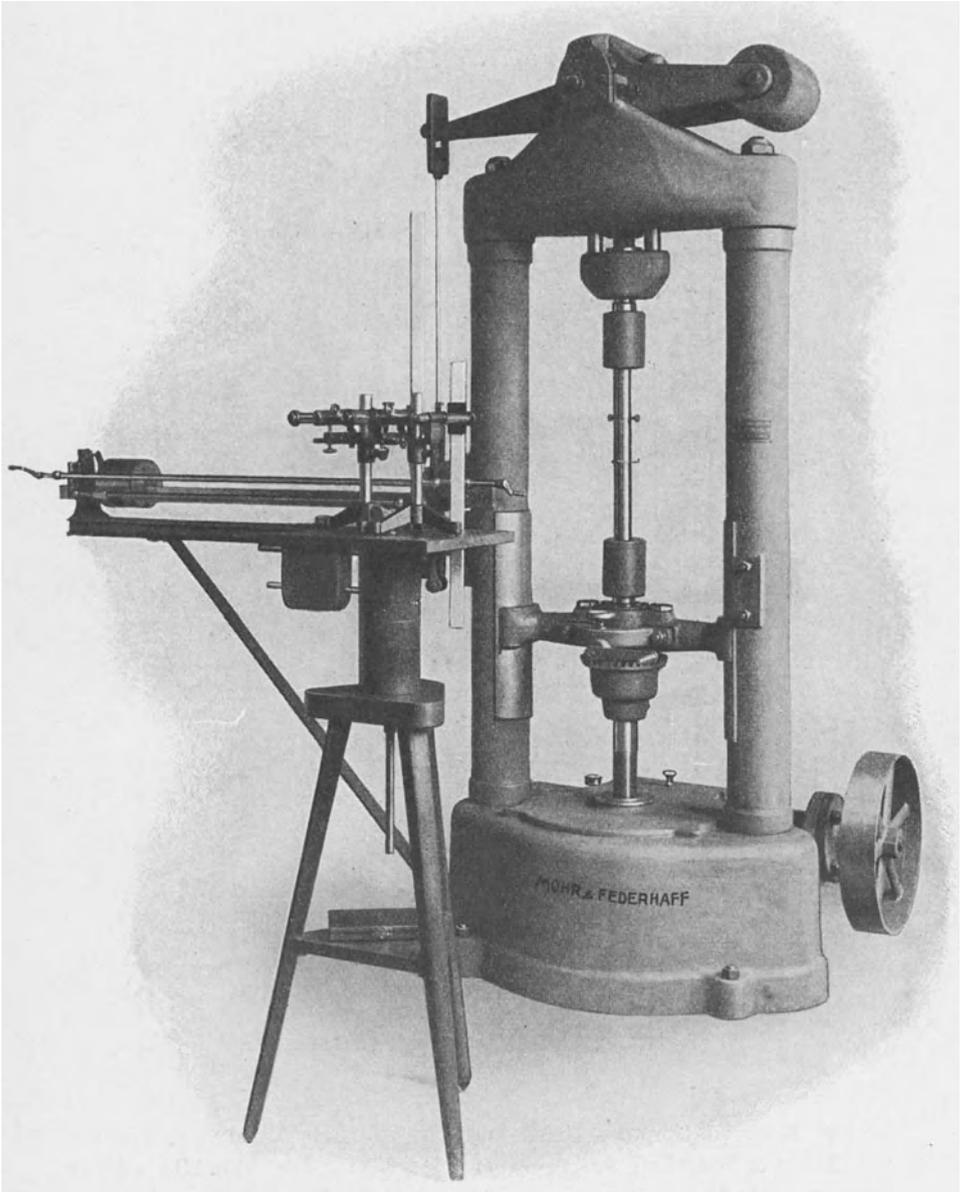


Abb. 28. Maschineneichung mit Spiegelgerät nach Martens.

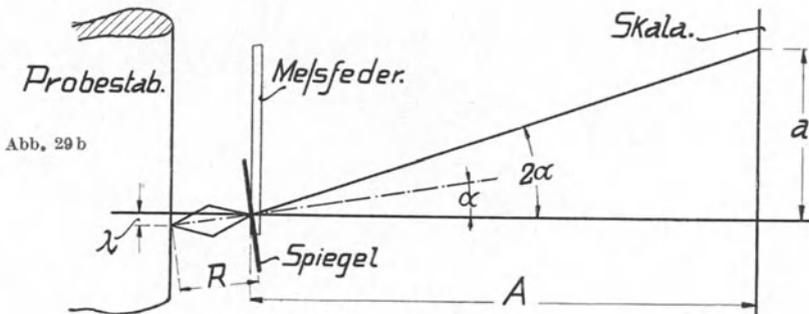
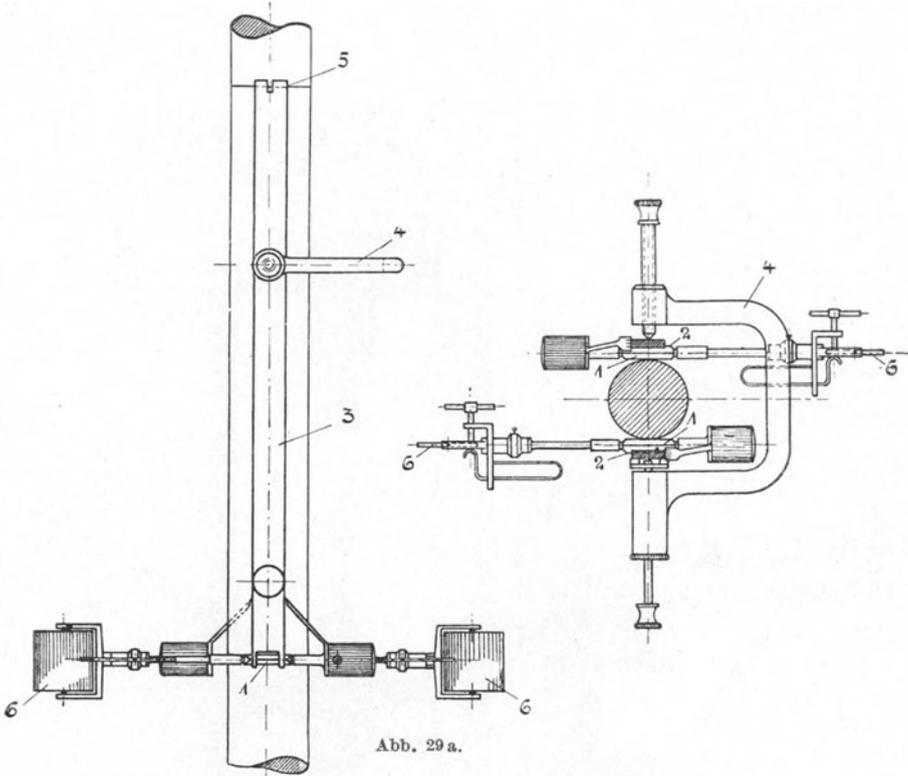


Abb. 29 a und b. Schema für die Martenspiegelgleichung.

Die Konstruktion des Spiegelmeßgerätes nach Martens, wie sie von Mohr & Federhaff ausgeführt wird, ist aus der Abb. 29 a und b genau zu erkennen. Der prismenförmige Stahlkörper (1) ist mit einer seiner Schneiden (2) in eine Nute der Meßfeder (3) eingelegt und stützt sich mit der anderen Schneide gegen den Eichstab, an den er mittels

der über die Meßfeder gesetzten Klemme (4) gedrückt wird. Die Meßfeder stützt sich ebenfalls mit einer Schneide (5) gegen den Eichstab, und die Schneiden (2 und 5) grenzen die Meßlängen ab. Die verlängerte Achse des Schneidenkörpers (1) trägt den Spiegel (6), welcher bei einer Längenänderung des Eichstabes 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 wagerechter Richtung an Zapfen drehbar.

Bei der Drehung des Spiegels, also des Stahlprismas um den Winkel (α) zu 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 entspricht, so bestehen folgende Beziehungen:

$$\lambda = \sim R \cdot \alpha ; \quad \frac{a}{A} = \operatorname{tg} 2\alpha = 2\alpha ;$$

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

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

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 $1/5000$ mm. Addiert man die mit 2 Spiegeln abgelesenen Werte, so erhält man einen Betrag von $1/10000$ mm für die Einheit dieses doppelten Mittelwertes.

Die Anwendung des Spiegelgerätes ist nicht ohne weiteres durchführbar, sie erfordert schon besonders geschultes Personal; für den Praktiker wird sein Gebrauch kaum notwendig sein, die beschriebene Vergleichsmessung 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 Bestimmung des Elastizitätsmoduls oder die Feststellung des Ausdehnungskoeffizienten, meist mit dem Spiegelgerät durchgeführt werden, wenn sich auch andere Instrumente noch dafür eignen.

Im Gegensatz zum Spiegelgerät ist das von Mohr & Federhaff gebaute **Prüfgerät nach Haberer** (Abb. 30) gut zum allgemeinen Gebrauch in Fabriksprüfstellen geeignet. Ein Nachteil ist nur darin zu sehen, daß das Gerät in seiner derzeitigen Form nur die Prüfung von Pressen oder Zerreißmaschinen mit Druckeinrichtung und Universalmaschinen zuläßt; immerhin ist die Anwendung damit doch eine recht umfangreiche und so ein Prüfgerät neu geschaffen, das eine schnelle und genügend genaue Maschinenüberholung auch durch Werkspersonal gestattet und damit Unabhängigkeit von dem Wege über die staatlichen Anstalten bringt. Ein entsprechendes Prüfgerät für Zerreißmaschinen ist bei Mohr & Federhaff in Vorbereitung.

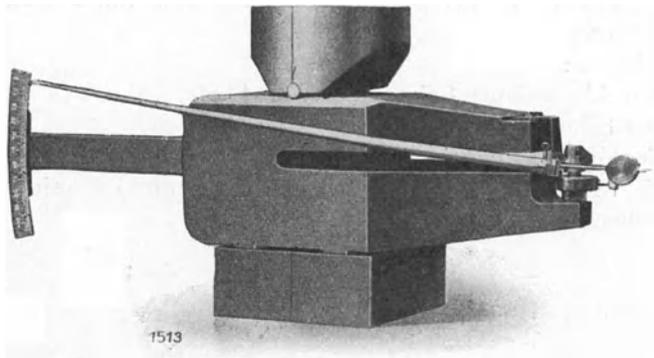


Abb. 30. Haberer-Prüfgerät von Mohr & Federhaff.

Die Vorrichtung besteht, wie Abb. 30 erkennen läßt, aus einer starken U-förmigen Stahlfeder, die zwischen die Druckplatten der Presse eingebaut, unten mit zwei Arbeitsleisten, oben mit einem zylindrischen Stab und Zwischenplatte anliegt. Die Kraftäußerung der Maschine drückt durch die am kurzen Hebelarme wirkende Walze die U-Feder zusammen. Die erzeugten Federungen werden durch die Schneide, die ähnlich der beim Martens - Gerät verwendeten arbeitet, mit Zeiger in weitem Maße vergrößert und auf dem Gradbogen abgelesen. Als Sicherung gegen Überlastung dient ein im Schlitz der U-Feder angebrachter Anschlag. Die Beziehung zwischen den wirkenden Kräften und der Anzeige am Gradbogen wird in einer staatlichen Eichanstalt ermittelt.

Das Aufsetzen der Walze mit verschiedenen Hebelarmen bringt wechselnde Übersetzungsverhältnisse, für kleine Kräfte wird somit der Genauigkeitsgrad erhöht.

Eine andere Art der Vergleichsgeräte stellen die **Bolzen- und Hohlraum-Kraftprüfer** dar. Sie fanden schon in einem früheren Absatz Erwähnung als direkte Kraftanzeiger in Maschinen. Wazau hat eine

Konstruktion herausgebracht, die sich durch außerordentlich hohe Genauigkeit auszeichnet und von ihm in den bereits angezogenen „Forschungsarbeiten“ eingehend beschrieben ist. Eine gekürzte, dabei doch genügend eingehende Erklärung ist in den Hanomag-Nachrichten¹⁾ gegeben; sie ist wegen Mangels an eigenen Erfahrungen des Verfassers hiermit im Auszug wiedergegeben, ebenso sind die Bilder daraus entnommen. Die ausführlichen, auch in der V. D. I. Zeitschrift von Waza u gegebenen Einzelheiten²⁾ erschienen für diese Arbeit zu weitgehend.

Die Abb. 31a und b zeigen das Gerät, und zwar in a für Zug im Schnitt, in b für Druck in Ansicht.

Der Meßstab *e* ist von einer aus zwei Hälften bestehenden Membran *f* umgeben, der Zwischenraum beider Hälften ist mit Quecksilber gefüllt und steht in spielender (kommunizierender) Verbindung mit einem kleinen Zylinder *b*, in dessen unterem Ende sich ein Kolben *c* mittels der Meßschraube *a* verschieben läßt. Das obere Ende des Zylinders trägt ein mit Strichmarke versehenes Haarrohr (Kapillarrohr) *d*. Vor Belastung des Meßstabes wird mittels der Meßschraube der Stand des Quecksilbers auf die Strichmarke des Haarrohres eingestellt. Durch die Belastung vergrößert sich bei Zug der Inhalt des Zwischenraumes der beiden Membranhälften, und das Quecksilber fällt im Haarrohr. Durch Nachdrehen der Meßschraube *a* wird der Kolben *c* so lange in dem Zylinder bewegt, bis die Kuppe der Quecksilbersäule in der Kapillare wieder auf der Strichmarke steht. Die Anzahl der Umdrehungen läßt sich in $\frac{1}{100}$ Teilen an der Meßtrommel *g* ablesen,

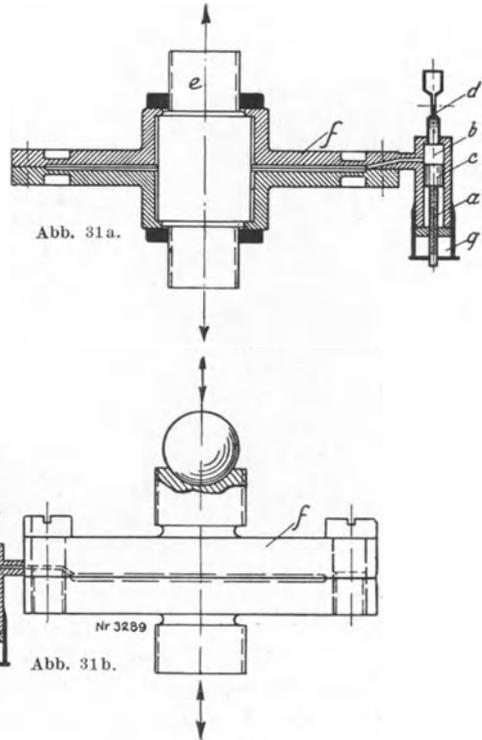


Abb. 31a und b. Wazaukraftprüfer für Zug und Druck.

¹⁾ Reubold: Die Materialprüfanstalt einer neuzeitlichen Maschinenfabrik. Vortrag Bez. Ver. d. V. D. I., Hannover. Hanomag-Nachrichten III, 1916, Heft 8.

²⁾ Waza u: Eine neuartige Festigkeitsmaschine. V. D. I. Zeitschr. 1919, S. 79.

wobei noch $\frac{1}{1000}$ Teile bequem zu schätzen sind. Die Ausführung für Druck unterscheidet sich durch das Fehlen des Meßstabes von der Ausführung für Zug. Die entsprechend stark ausgebildeten Membranhälften werden unmittelbar beansprucht.

Die Genauigkeit der Waza u - Prüfer geht weit über die früher erwähnte bei Prüfmaschinen übliche von ± 1 vH hinaus.

Die Abb. 32 läßt den Einbau des Gerätes in eine Zerreißmaschine erkennen.

Auf eine ähnliche, von Amsler gebaute Prüfeinrichtung sei hier noch hingewiesen, die vollständige Beschreibung auch dieser würde zu weit führen.

Als weitere Hilfsgeräte wären noch die **Dehnungsmesser** anzuführen. In einfachster Form finden sie Anwendung als Papierstreifen mit Millimeterteilung, die unmittelbar neben die Probe an einen Spannkopf geklebt werden, am anderen Ende wird ein Blech- oder Drahtzeiger befestigt. Einige Zerreißmaschinen haben einen besonderen Stahlmaßstab hierfür am Gestell oder beweglichen Joch, wie Abb. 15 am Mitteljoch rechts erkennen läßt. Die Fabriken liefern außerdem noch einen Dehnungs-

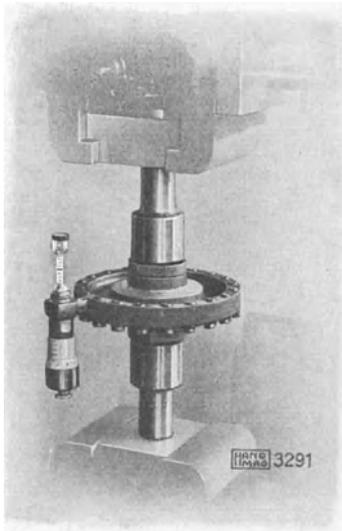


Abb. 32. Wazaukraftprüfer, eingebaut in Zerreißmaschine.

maßstab, der ähnlich der Meßfeder für das Spiegelgerät an der Probe befestigt werden kann (Zeigergerät von Martens-Kennedy). Für Werkstoffproben wird der Papiermaßstab ausreichen, für Fertigprüfungen wird die erwähnte Skala an der Maschine genügen, für genauere Messungen muß der vorgenannte Martens-Kennedy-Apparat oder besser das Spiegelgerät benutzt werden. Auch die Aufzeichnungen des Schreibgerätes lassen sich hierfür ausnützen.

Ein wertvolles, die Prüfung sehr unterstützendes Gerät ist der **Schaubildzeichner**, der sowohl für Manometer- wie Laufgewichtablesung geeignet ist; die Aufzeichnungen sind zweckmäßige Ergänzungen zu den Prüfscheinen. Die Anordnung des Schreibgerätes ist aus Abb. 9, 15 und 18 erkennbar; ein Schaubild für Flußeisen ist bereits früher in Abb. 3 gebracht. Kurven der Isolierstoffe zu bringen, würde die Arbeit der Vielartigkeit wegen zu umfangreich gestalten.

Die Auswertung der aufgezeichneten Kurven ist für alle Stoffe von großer Wichtigkeit. Der regelmäßige Gebrauch der Kurvenzeichner

wird sich immer mehr einführen, es sei darum schon bei der Beschaffung der Maschinen ein solcher sofort mit vorgeschrieben; eine spätere Anbringung ist schwierig, da hierzu die Manometer ausgetauscht werden müssen und darum wieder eine Neueichung notwendig wird.

Abnahmebestimmungen für Materialprüfmaschinen.

Anschließend an die Beschreibung der Prüfgeräte für Zug seien die vom Deutschen Verband für die Materialprüfungen der Technik entworfenen Richtlinien für die Maschinenprüfung¹⁾ angeführt. Sie gelten naturgemäß für alle Prüfmaschinen, also auch für die im folgenden Absatz zu behandelnden Pressen.

Abnahmeprüfungen sind auf Festigkeitsprüfmaschinen auszuführen, deren Kraftanzeige durch sachgemäße Prüfung für richtig befunden und bescheinigt ist.

Die erstmalige Prüfung hat bei neu aufgestellten Maschinen vor deren Ingebrauchnahme durch eine amtliche Materialprüfungsstelle zu erfolgen.

Nachprüfungen sind in Zeitabschnitten zu wiederholen, die der Bauart der Maschine und der Häufigkeit ihrer Benutzung anzupassen sind. Der Befund der Nachprüfungen ist dem Abnahmebeamten vorzulegen, der hiernach entscheidet, ob eine Nachprüfung unmittelbar vor Beginn der Abnahmeversuche vorzunehmen ist.

Die Prüfungen der Maschinen haben sich in der Regel bis zur höchsten Kraftleistung der Maschine zu erstrecken, jedenfalls aber bei der vom Abnahmebeamten veranlaßten Nachprüfung mindestens bis zu der bei seinen Versuchen zu erwartenden höchsten Belastung.

Die Nachprüfung der Kraftanzeige kann entweder durch eine amtliche Materialprüfungsstelle oder durch die Prüfeinrichtung des Werkes erfolgen. Im letzteren Falle hat das Werk den amtlichen Nachweis zu erbringen, daß seine Prüfeinrichtung zuverlässige Werte liefert.

Fehler in der Kraftanzeige bis zu $\pm 1\%$ bleiben unberücksichtigt; ist der Fehler größer, so ist die Maschine zu berichtigen oder der Fehler in Rechnung zu stellen.

In Zweifelsfällen entscheidet eine amtliche Materialprüfungsstelle.

Die Bestimmung der Druckfestigkeit.

Für die Beanspruchung von Isolierstoffen und Isolatoren auf Druckfestigkeit liegen einige sehr wichtige Gebiete, wie die Isolation der Fernleitungen der Überland-Eltwerke, die Abspannung und Durchführung ihrer Leitungen, die Isolation und Abspannung der Luftleitertürme für die Funktechnik und anderes vor, die die ausführliche Behandlung auch dieses Abschnittes fordern. Auch für den Kleinbau werden die Prüfungen 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

¹⁾ Rudeloff: Normblattentwürfe 1581. Maschinenbau 1922, S. 486—487.

genau in der Mittelachse der Presse und des Probekörpers wirken kann. (Abb. 33.)

Die Drucklast P verteilt sich, plane Flächen vorausgesetzt, gleichmäßig auf den ganzen Querschnitt. 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, wie früher betont, üblich, im Gegensatz zu den Zugwerten Minusvorzeichen zu verwenden.

Die Formveränderung macht sich beim Druck zunächst in einer Höhenverminderung 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 aus der zwischen den Flächen des Probestückes und den Druckflächen der Maschine bestehenden Reibung.

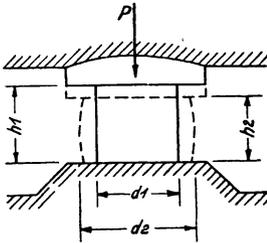


Abb. 33. Schema für Druckversuche.

Als **Versuchsstücke** werden hier, je nach der Fabrikationsart des zu untersuchenden Stoffes, entweder Würfel oder Zylinder von wenigstens 5 cm Seitenlänge oder Höhe und Durchmesser benutzt. Dieses Verhältnis Höhe = Durchmesser ist gewählt, um Knickbeanspruchungen möglichst auszuschneiden,

Die **Zahl der Proben** richtet sich nach der Art des Baustoffes, Rundhartgummi wird beispielsweise aus Düsen gepreßt, Hartgummiplatten werden gewalzt, es wären also davon beide Probenformen zu untersuchen. Für Pertinax kämen sowohl Zylinder als auch Würfel, letztere sogar für beide Richtungen, längs \parallel und quer \perp zur Schichtung in Ansatz; ähnlich ist es bei Fiber, Turbonit, Peralit und anderen Stoffen. Die Zahl beträgt also im Höchsfalle, je drei Proben in Ansatz gebracht,

- 3 Zylinder,
- 3 Würfel senkrecht \perp ,
- 3 Würfel \parallel beansprucht,

für jede Temperaturstufe.

Beim Druck genügt meist eine zweite, höher liegende Stufe. Die Versuche bei verschiedenen Temperaturen sind derart vorzunehmen, daß die Probekörper 16 Stunden vor dem Druck in der gewünschten Temperatur gehalten und dann in die Maschine eingebaut werden. Diese Art der Prüfung ist ausreichend, da der Einbau schnell geht,

so daß Wärmez- 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 Proben werden sauber gereinigt in die Mitte der Druckflächen eingebaut, die untere oder obere Druckplatte der Maschine liegt in einem Kugellager. Nur so kann erreicht werden, daß der Druck ein wirklich gleichmäßiger über die ganze Fläche ist und die Druckrichtung durch die Mittelachse des Körpers läuft, bei weniger sorgfältigem Einbau werden einseitige, schiefe Brüche und Fehlschläge gezeitigt.

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 befürchtet man durch die vom Schleifen herrührende leichte Rillung der Endflächen derselben die Druckflächen der Maschine oder die Einsatzstücke zu beschädigen, so benutzt man eine Lage dünnen Papiers; weiche Einlagen zu verwenden ist falsch, je weicher diese, desto falscher der Meßwert.

Bei Blei oder ölgetränktem Fließpapier u. dgl. ergibt sich eine eigenartige Wirkung. Beim ersten Druckanfang tritt sofort — stark ölgetränktes Löschpapier in mehreren Lagen angenommen — aus den Randzonen das Öl leichtfließend aus. Dadurch wird die entölt Zone gedichtet, die Ölteile aus den mehr innen liegenden Zonen versuchen zu folgen, finden aber die äußeren Randteile des Papiers ziemlich trocken gepreßt und undurchlässig. Die vorher weiche und parallele Zwischenlage hat also eine etwas andere Form angenommen; der Querschnitt zeigt nicht mehr ein Rechteck mit parallelen Seiten, sondern wird, übertrieben dargestellt, linsenförmig, also von der Mitte nach außen dünner. Das innenstehende Öl bildet jetzt gewissermaßen eine verkleinerte Auflage. Der spezifische Druck auf die Flächeneinheit ist nicht mehr wie anfangs auf der ganzen Körperfläche der gleiche, es wird also die Probe nur noch in der Mitte beansprucht und in der Folge bei Preßdrucksteigerung durch den Mitteldruck gesprengt. Bei Blei- u. dgl. Einlagen tritt dieselbe Erscheinung auf. Diese Beobachtungen überraschen zunächst, man neigt meist dazu, anfangs mit weicher Einlage zu arbeiten; vom Verfasser sind im M. P. A. diesbezügliche ausführliche Versuche gemacht, die zur Verwendung nur dünnster Einlagen führten. Die Erscheinungen machen sich allerdings erst bei größeren Lasten und Flächen bemerkbar, sind bei diesen aber einwandfrei nachgewiesen¹⁾.

¹⁾ Demuth: Festigkeitsuntersuchungen an technischem Porzellan. E. T. Z. 1920, S. 891.

Andere Beobachter^{1) 2)} haben von dieser Erscheinung allerdings nichts bemerkt; es lagen hier wohl nur kleine Probengrößen vor. Die Versuche des Verfassers sind durch so große Reihen (Tausende von Prüfungen) durchgeführt und damit wohl zweifelsfrei.

Beobachtungen beim Druckversuch selbst sind nur wenige zu machen. Der Bruch tritt wieder, je nach Art des vorliegenden Stoffes, verschieden auf. Spröde springen mit hartem Klang nach Auslösung der ersten Spannungen in wenige große Stücke oder, falls der Körper

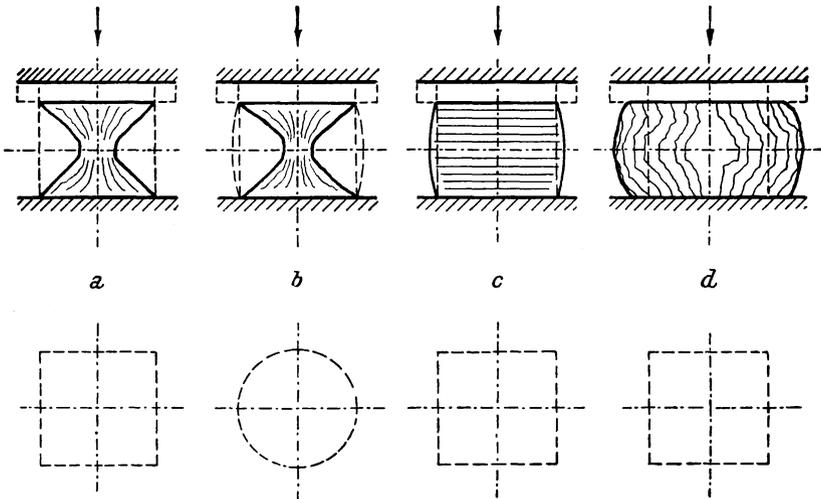


Abb. 34. Druck-Bruchfiguren.

spannungsfrei war, mit scharfem Knall fast in Staub, so daß besondere Bruchformen selten beobachtet werden können. Weiche Stoffe 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 am besten ausgeprägt.

Die Bruchbilder, wie sie hauptsächlich zu beobachten sind, zeigt die Abb. 34. In *a* ist ein würfelförmiger Körper aus mittelhartem, homogenem Werkstoff dargestellt, die Doppelpyramidenbildung ist erkennbar, ebenso wie beim Zylinder aus gleichem Stoff in *b* die Doppelkegelbildung. Die punktierte Linie zeigt die nach der Mitte zu wäh-

¹⁾ Rosenthal u. Singer: Die mechanischen Eigenschaften des Porzellans und exakte Prüfungsmethoden. E. T. Z. 1920, S. 705.

²⁾ Rosenthal: Die mechan. Eigenschaften keram. Massen und exakte Prüfungsmethoden. Berichte der techn.-wissenschaftl. Abt. des Verbandes keram. Gewerke in Deutschland Jg. V, Heft 5. 1919.

rend des Druckes auftretende Verdickung des Körpers an, der durch Punktierung begrenzte Teil des Körpers bis zum Doppelkegel fällt gewöhnlich in Staub ab. In c ist ein Würfel aus geschichtetem Werkstoff 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. 34 sind die Ursprungsformen der Proben punktiert gezeichnet, die Bruchformen ausgezogen.

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

Bei einigen sehr weichen Stoffen wird sich ein einwandfreier Bruchwert nicht feststellen lassen infolge sehr starker Quetschung und Ausweichung. In solchem Falle ist es angebracht, den Wert der Zusammendrückung bei einzelnen Laststufen abzulesen, 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 oder deren Skalen müssen sich überlappen, die Werte für die Höhenverminderung lassen sich so leicht bei den verschiedenen Druckstufen 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.

Ein 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 nach größerem Drucke aus der Durchsicht weitere Folgerungen.

Die Auffindung der Risse ist vielfach selbst mit der Lupe schwierig. Der Verfasser hat solche Flächen bei keramischen Stoffen mit Anilinfarbe oder roter Tinte behandelt, nach dem darauf vorgenommenen Abwischen der Druckflächen sind die vollgesaugten Risse deutlich erkennbar. Nach dem Zerschlagen zeigen sich die Risse in ihrer ganzen Tiefe gefärbt. Das Tuschiehen muß recht schnell geschehen, da die Risse sonst schon Luftfeuchtigkeit aufnehmen und dann die Farbe nicht mehr so begierig ansaugen.

Eingesprungene Körper gelten, wie erwähnt, nach dem ersten Risse oder Knistern als zerstört, ihre Bruchflächen und Sprünge würden sofort Wasser aufnehmen, außerdem besteht bei Frost die Gefahr des Zerfrierens. Die Durchschlagsfestigkeit ist damit naturgemäß ebenfalls erheblich vermindert.

Angesprungene Stücke tragen trotz der Risse, oder richtiger gerade wegen dieser, nach Auslösung innerer Spannungen noch größere Lasten. Es ist darum wissenswert, den P -Wert bei ihrer völligen mechanischen Zerstörung zu kennen und die Belastung zweckmäßig noch bis dahin fortzusetzen.

Die Amerikaner geben in ihren Veröffentlichungen oft erstaunlich hohe Werte an, meist sind hier die Endbruchwerte benutzt, die aber zu einer Täuschung führen müssen.

Alle Isolatoronstruktionen, die bestimmt sind, hohe Lasten aufzunehmen, müssen unbedingt nach der Probe die Farbkontrolle zulassen. Körper,

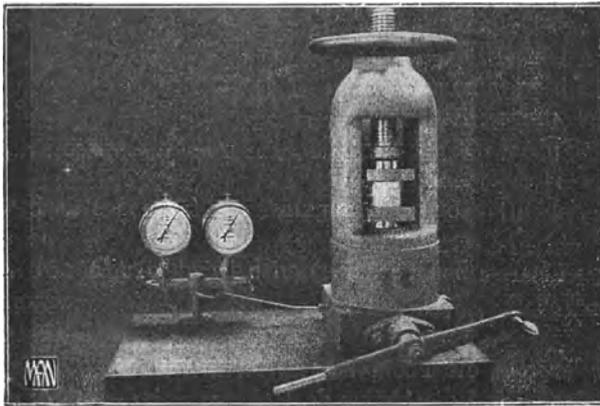


Abb. 35 Hydraulische Presse für 50 t mit Handkurbeltrieb von M.A.N.

die diese infolge Einbaues in Eisenarmaturen nicht gestatten, sind mindestens nachträglich einzeln noch der elektrischen Prüfung zu unterziehen.

Den Untersuchungen auf Druckfestigkeit wäre sinngemäß die Untersuchung auf **Knickfestigkeit** anzuschließen.

Im vorigen ist die Körperhöhe stets gleich dem Durchmesser gewählt, um Knickbeanspruchungen möglichst zu vermeiden und reine Druckbeanspruchung zu erhalten. Die Verwendung von Isolierstoffen auf Knickung dürfte jedoch in der Praxis sehr selten vorkommen, darum sei hier nur der Vollständigkeit wegen darauf hingewiesen. Gegebenenfalls gelten die vier bekannten Fälle der Einspannungsart und die Eulerschen Formeln.

Als **Maschinen für Druck- und Knickuntersuchungen** können einige der vorbeschriebenen Zerreißmaschinen nach Einbau von Druckvorrichtungen sowie die Universalmaschine benutzt werden. Für größere Drücke sind besondere Pressen zu beschaffen. Bei reinen Stoffproben in kleinen Versuchskörpern werden die Zerreißmaschinen, für die zweckmäßig gleich Einbauvorrichtungen für Druckuntersuchungen zu beziehen sind, im allgemeinen ausreichen. Sollen jedoch regelmäßig Druckproben auch an Fertigerzeugnissen ausgeführt werden, so lohnt sich dafür die Beschaffung einer meist ortsfesten Druckmaschine.

Die Abb. 35 zeigt eine solche für kleine Druckkörper nach Martens von der Firma Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg (M. A. N.)

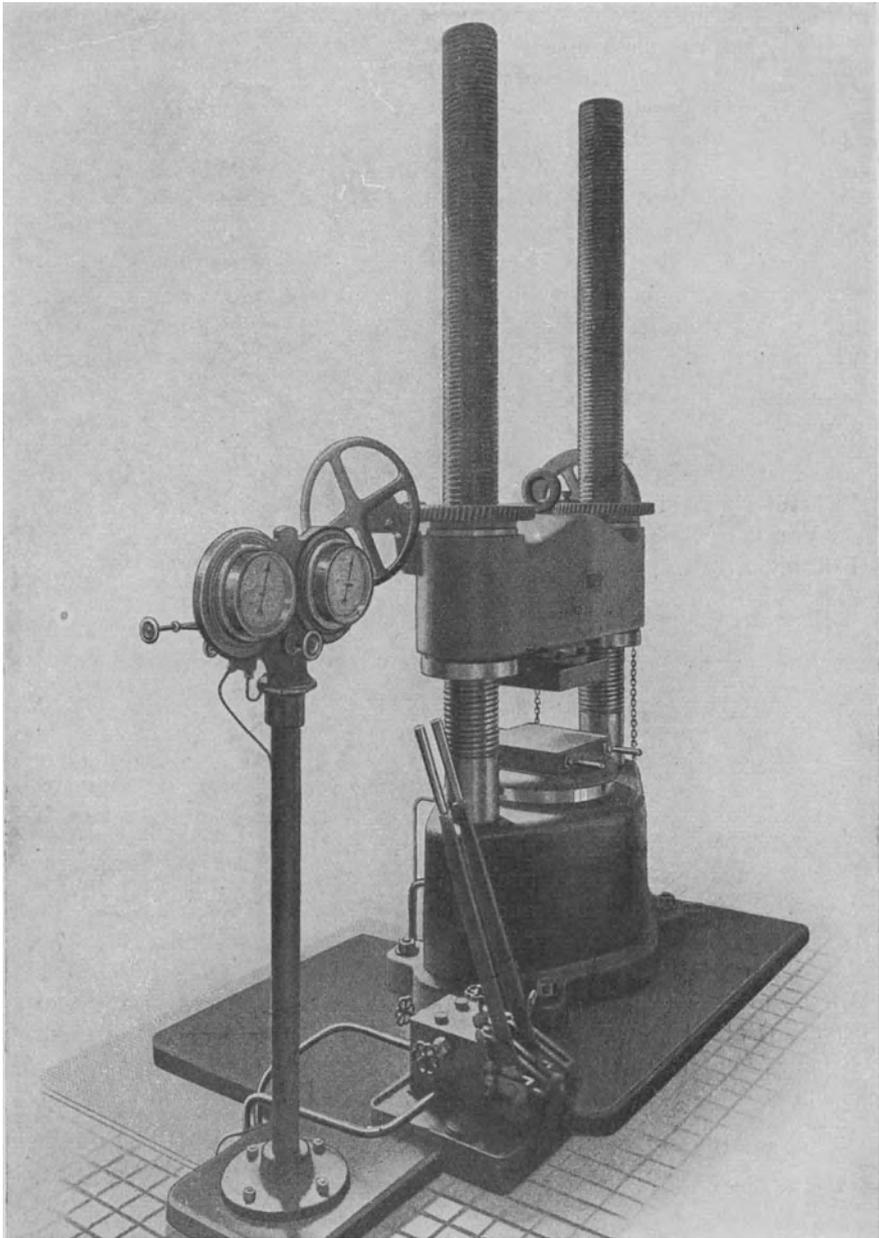


Abb. 36. 500-t-Pressen mit hydraulischem Antrieb, Handpumpe und Manometer-Druckablesung aus dem Zylinder von Mohr & Federhaff.

für 50 000 kg Druck mit Kraftmessung durch Meßdose und hydraulischem Antrieb durch Spindelpumpe, Abb. 36 eine solche für Lasten bis 500 t und große Baulänge mit verstellbarem Joch, Handpumpen-Antrieb und Manometerablesung der Firma Mohr & Federhaff. In Abb. 24 und 25 im Abschnitt über Kraftmessung bei den Meßgerätbeschreibungen ist eine ähnliche Bauart mit Dehnungsmessung der Säulen von Amsler gezeigt; die Abb. 15, Universalmaschine von Mohr & Federhaff, mag auch hier nochmals genannt werden.

Die Einzelheiten der Druckmaschinen als Krafterzeuger, Kraftanzeiger u. dgl. bedürfen hier keiner neuen Erwähnung, es kann auf die ausführliche Abhandlung in den früheren Absätzen verwiesen werden.

Die 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. ist darum diese Prüfung selbst im abgekürzten Verfahren vorgeschlagen^{1) 2)}. Die vom V. D. E. gegebenen Richtlinien 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. 37a und b gezeigt sind. Die für die vorliegenden Versuche gebräuchlichere Form und damit auch die vom V. D. E. in Gemeinschaft mit dem M. P. A. angewendete ist in Abb. 37b

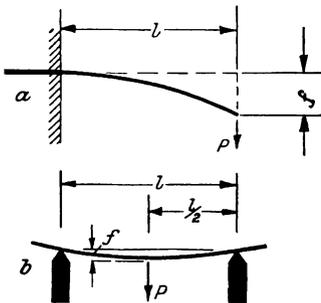


Abb. 37. Schema für den Biegeversuch.

dargestellt. Der frei über zwei Auflagern ruhende Stab wird in der Mitte durch die Kraft P zur Durchbiegung gebracht. Zu beobachten ist die Größe der Kraft P und die Durchbiegung (Biegepeil) bis zum Bruch. Es gilt für den vorliegenden Beobachtungsfall, ein Träger gleichbleibenden Querschnittes vorausgesetzt, für die Berechnung der Biegefestigkeit die Formel

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

¹⁾ V. D. E. Vorschriften. E. T. Z. 1922, S. 446 u. Erläuterungen S. 448.

²⁾ Mitt. Vereinigg. El.-Werke Nr. 291, S. 186.

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

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

oder

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

Für den selteneren Fall der Untersuchung von Rundstäben

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

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

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

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

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

- α) 5 Versuche mit dem Isolierstoff im Anlieferungszustand.
- β) 5 Versuche nach 30 tägiger Lagerung in Petroleum bei Zimmertemperatur. Versuchsausführung nach Abb. 38.

Die Kraft P greift in der Mitte zwischen den beiden Auflagern AA mit einer Druckfinne an, deren Abrundung $r = 10$ mm beträgt. Die Druckfinne ist so anzuordnen, daß sie sich freiwillig satt auf die Probe auflegt. Die Kanten der Auflagern AA sind bei ϱ nach $r = 1$ mm zu brechen. Stützweite gleich 100 mm.

Für stoßfreie Belastung und einwandfreie Kraftmessung ist Sorge zu tragen. Ferner ist darauf zu achten, daß die Probe auf den Widerlagern AA satt aufliegt.

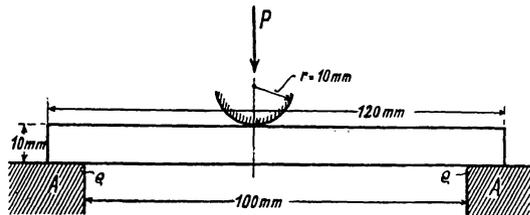


Abb. 38. Biegeversuchseinspannung nach V. D. E.¹⁾

Die Belastung ist mit gleichmäßiger Geschwindigkeit, und zwar mit 250 kg/qcm in einer Min. bis zum Bruch zu steigern.²⁾

Für die Feststellung der Gesamtdurchbiegung ist Ablesung am Millimetermaßstab hinreichend.

¹⁾ Die Kraft muß in der Mitte der Probe angreifen.

²⁾ Neuer Fassungsversuch gemäß E. T. Z. 1923, S. 577.

Die Vorschriften haben in vieler Beziehung gegen die früheren Änderungen erfahren.

Die **Probenausführung** ist aus der Skizze ersichtlich, die Maße, wie angegeben, $L = 120$, $b = 15$, $h = 10$ mm.

Die **Probenzahl** ist hierfür gering, es werden benötigt für

α) 5 Normalstäbe,

β) 5 Normalstäbe.

Sofern Werkstoffe mit Faserrichtung in Frage kommen, ist unter Umständen auch Prüfung über beide Achsen nötig, die Probenzahl also zu verdoppeln.

Die **Einspannung der Proben** ist aus der Abb. 38 klar. Die Proben liegen auf zwei Auflagern, die Kraft P wirkt in der Mitte, also der Fall b der Abb. 37.

Eine Abstufung für verschiedene Temperaturen ist vom V. D. E. für diese Untersuchungsart nicht vorgeschrieben, weil weiter unten (Wärme-

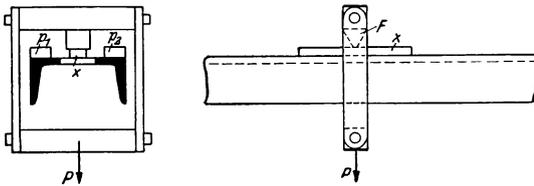


Abb. 39. Biegeversuchseinrichtung.

beständigkeit) besondere Untersuchungen der Stoffe auf Verhalten unter Temperatursteigerung bei gleichbleibender Last vorgesehen sind.

Aus den **Beobachtungen beim Versuch** sind die P - und σ -Werte zu errechnen. Die früher festgelegten Gütezahlen sind verlassen.

Die **Prüfungseinrichtung** für den Versuch ist einfach und leicht in laboratoriumsmäßiger Weise herzustellen. Es ist nur nötig, die in Abb. 38 gegebenen Maße einzuhalten, das übrige kann aus Holz oder Eisen beliebig zusammengebaut werden. Beispielsweise wurde für diesen Versuch im M. P. A. eine Vorrichtung benutzt, die im Prinzip etwa der Abb. 39 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 mindern, 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 Nullstrich dafür kann an dem Eisen als Zeiger gleichfalls durch Klebung angebracht werden.

Der Verfasser hat die Durchbiegungsversuche stets in größerem Umfange ausgeführt. Das in obigem vorgeschriebene Verfahren 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 großen Verschiedenheit der Stoffe keine reinen Vergleichsbilder. Es werden 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 bei sechs Temperaturstufen wie folgt:

je 2 Stäbe	⊥	und		zur Faser bei	— 20°
„ 2	⊥	„		„ „ „	0°
„ 3	⊥	„		„ „ „	+ 20°
„ 2	⊥	„		„ „ „	+ 40°
„ 2	⊥	„		„ „ „	+ 60°
„ 2	⊥	„		„ „ „	+ 80°
<hr/>					
13 · 2 = 26 Proben				im Anlieferungszustand (α)	
+ 26 „				nach Lagerung in Petroleum (β)	
<hr/>					
52 Proben.					

Die **Einspannung** geschieht, im Prinzip wie vorbeschrieben, je nach der zur Verfügung stehenden Einrichtung oder Maschinenart verschieden.

Für eine stehende Presse oder eine für den Biegeversuch umgebaute Zerreißmaschine eignet sich eine Vorrichtung nach Abb. 39, die Druckfinne wird an den oberen Druckstempel angesetzt. Die Erwärmung und Kühllhaltung geschieht durch einen geeigneten Umbau mit Gaslufterheizung oder Warmölumlauf oder mit der Kältemischung.

Ebenso leicht ist die Prüfung in einer stehenden Zerreißmaschine mit Hilfe einer kleinen Vorrichtung, wie sie bei Maschinen für Biegeversuche ähnlich schon üblich ist. Das Querhaupt mit der Probe wird mit dem oberen Spannkopf, die Druckfinne mit der Spindel unten verbunden. Die Vorrichtung ist einfach und kann von jedem Werkzeugmacher hergestellt werden. Auf ähnliche Weise ist auch eine liegende Maschine zu benutzen, doch ist dabei zu beachten, daß die Probe keine Durchbiegung nach unten erfährt.

Für Prüfräume ohne die für diese Untersuchung geeignete Maschinen sei hier auf ein besonders für diese Zwecke konstruiertes Gerät von Schopper hingewiesen. Als Proben dienen die V. D. E.-Normalstäbe, die Auflage entspricht der vorn angegebenen Anordnung des Verbandes. Die Belastung der Druckfinne geschieht durch einen Balken mit verschiebbarem Gewicht, die Durchbiegung wird an einer Skala abgelesen, deren 100 Teilstriche je $\frac{1}{10}$ mm wirklicher Durchbiegung an der Probe entsprechen.

Das Prüfgerät ist einfach, leicht zu bedienen und verhältnismäßig billig, also überall da zu empfehlen, wo Zerreißmaschinen nicht zur

Verfügung stehen. Eine Abbildung war derzeit nicht zu erreichen, da das Gerät in Neubearbeitung ist.

Die **Beobachtung beim Versuch** geschieht unmittelbar oder bei Abweichung von der Raumtemperatur nach entsprechendem Einbau durch eine Glimmerscheibe.

Die *P*-Stufenzahl ergibt sich aus den V. D. E.-Vorschriften oder ist von 5 zu 5 kg bei weichen, von 10 zu 10 kg bei härteren Stoffen anzusetzen. Zweckmäßig ist zunächst ein Bruchversuch zu machen, nach dessen Wert sind dann die weiteren Stufen festzulegen.

Die Bestimmung der Schlagbiegefestigkeit.

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

Die 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 Isolierstoffe vorgeschrieben. Der Wortlaut der V. D. E.-Vorschriften ist weiter unten wieder in besonderer Schriftart abgedruckt.

Im Maschinenbau wird mit der sog. Kerbschlagprobe¹⁾ gearbeitet, die aber als solche für die geringe Festigkeit der Isolierstoffe nicht notwendig ist, da diese verhältnismäßig spröde sind und bei dem geringen Querschnitt beim Anschlag sofort brechen, ohne erst eine Verbiegung zu erleiden.

Es werden die glatten Stücke, wie sie in den vorigen Abschnitten bei den V. D. E.-Prüfungen Verwendung fanden, benutzt, ohne daß ein Einschnitt oder eine Einkerbung erfolgt. In Amerika geht man auch bei Stahlprüfungen dazu über, ohne Einkerbung zu arbeiten²⁾.

Die Beschreibung der Pendelschlagwerke, wie sie für den vorliegenden Zweck benutzt werden, ist auch in diesem Abschnitt, wie in dem vorigen geübt, zum Schlusse gegeben. Jetzt sei nur erwähnt, daß 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 folgt³⁾:

α) 5 Versuche bei Zimmerwärme.

β) 5 Versuche in Kälte bei -20°C (letzterer Versuch nur bei Stoffen, die im Freien verwendet werden).

¹⁾ Näheres hierüber s. Ehrenberger: Die Kerbschlagprobe im Materialprüfungswesen. Deutscher Verb. f. d. Mat.-Prfg. d. Technik 1907.

²⁾ American Drop. Forger Jan.-Febr.-Heft 1921, S. 66—69 u. 131—134.

³⁾ V. D. E.-Vorschriften. E. T. Z. 1922, S. 446 u. Erläuterungen S. 448.

Die Schlagbiegeversuche sind mit einem Normalpendelschlagwerk für 150 cmkg¹) auszuführen. Die Schlagfinne soll einen Schneidenwinkel von 45° besitzen und ist nach $r = 3$ mm abzurunden. Die Stützweite beträgt 70 mm, die Auflagen AA müssen gemäß Abb. 40 nach einem Winkel von 15° hinterschnitten sein, die Auflagekanten ϱ 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 -20° C abgekühlt worden sind.

Die Ergebnisse sind in cmkg/qcm anzugeben.

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

Die Zahl der Proben beträgt nach den Vorschriften des V. D. E., 5 Parallelversuche vorausgesetzt,

$$5 \cdot 2 = 10 \text{ Stück.}$$

Der Verfasser hält auch hier wieder die Ausdehnung der Prüfung auf höhere Temperaturgrade für notwendig, da die Schaltgeräte 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 Biegebeanspruchung war aus dem gleichen Grunde die Temperaturprüfgrenze auf 80° angesetzt. Bei den Abhandlungen über Zug- und Druckfestigkeitsbestimmungen ist nur bis 60° gearbeitet, weil diese Grenze in den meisten Fällen genügen dürfte; doch muß auch da bei besonderen Anforderungen weiter hinauf gegangen werden.

Es ergibt sich hiernach unter Umständen eine Probenzahl von

$$\begin{aligned} 5 \cdot 6 = 30 & \text{ } \left. \begin{array}{l} \perp \\ \parallel \end{array} \right\} \text{Flachstäbe} \\ 5 \cdot 6 = 30 & \text{ } \left. \begin{array}{l} \perp \\ \parallel \end{array} \right\} \\ 5 \cdot 6 = 30 & \text{ } \bigcirc \text{ Rundstäbe} \\ \text{Also} & = 90 \text{ Stück.} \end{aligned}$$

Die Vorwärmung der Proben geschieht leicht im Sandbad.

Das Einspannen der Proben besteht hier nur in einem einfachen hochkantigen Auflegen auf die amboßartigen Auflager der Maschine, so daß die Höhe der Proben $h = 1$ cm in Richtung des Schlages liegt. Eine Befestigung ist nicht notwendig.

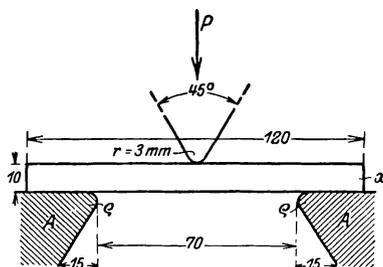


Abb. 40. Schlagbiegeschema.

¹) Die Größenangabe ist in einer neuen Fassung (E. T. Z. 1923, S. 577) gestrichen, ebenso der Buchstabe x in Abb. 40.

Die **Beobachtungen beim Versuch** erstrecken sich auf die einfache Ablesung des Pendelausschlages durch die Probe hindurch. Für die gegebene Gradteilung hat jede Maschine eine Umrechnungstafel oder Kurve. Der gefundene Wert in cmkg ist dann, wie unten angegeben, auf die Einheit zu verrechnen.

Zweckmäßig ist auch hier unter Umständen, wie beim Zugversuch, soweit der Werkstoff geeignet ist, eine Bruchaufnahme zu machen.

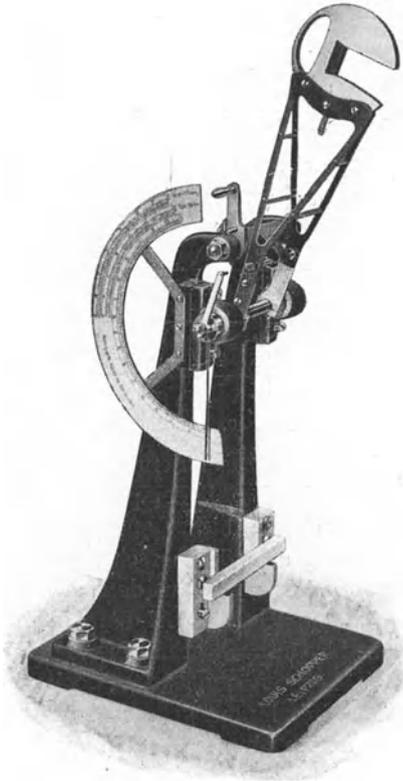


Abb. 41. Pendelhammer von 10 cmkg Arbeitsinhalt von L. Schopper.

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

Die Normalisierung für den Deutschen Verband wurde von den Firmen Friedrich Krupp A.-G. in Essen und Mohr & Federhaff in Mannheim ausgeführt.

Es wurden danach drei Größen von Pendelhämmern, und zwar für 10, 75 und 250 mkg Schlagarbeit gebaut, die kleinste Ausführung ist aber für die vorliegenden Arbeiten noch zu groß und es wurde dafür eine noch kleinere Form für eine Schlagarbeit von 150 cmkg entwickelt. Der Verfasser hat ursprünglich auch für Isolierstoffe mit diesem Gerät gearbeitet, aber gefunden, daß diese kleinste, für Metalluntersuchungen wohl geeignete Größe für Isolierstoffe noch reichlich

hoch angesetzt ist und daraufhin eine noch kleinere Ausführung für 10 cmkg Arbeitsinhalt, deren Konstruktion von Schopper, Leipzig, durchgebildet ist, benutzt. Auch das M. P. A. hat für diese Prüfungen das kleinere Gerät später angenommen. Es fällt auf, daß dennoch der V. D. E. wieder das größere Gerät anzieht, es dürfte für die wenigsten Isolierstoffe erforderlich sein.

Die Abb. 41 gibt den Hammer wieder.

Zwischen dem Doppelbock schwingt, frei in Kugellagern laufend, das Pendel mit dem scheibenförmigen Bärge wicht, der Hammerstiel,

der hier besonders leicht aus Blech gearbeitet ist, wird in seiner Ausgangsstellung durch eine Sperrklinke gehalten, er schlägt bei 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:

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

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 Durchschlagwinkels mit. Der an der Skala abgelesene Wert des Winkels läßt aus einer der Maschine beigegebenen Tafel 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 $\frac{P}{f} = \sigma = \text{spez. Schlagarbeit,}$

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 Abb. 40 gut hinterschnitten sein.

Als Versuchsbeispiel sei folgendes gegeben:

Aufgewendete Energie (E) = 10 cmkg,

Schwingungswinkel (W) = $16^\circ = 0,201$ mkg (Tafelwert),

beanspruchter Probekörperquerschnitt (f) = 1,5 qcm,

$E - W = \text{verbrauchte Schlagarbeit } V$

$10 - 0,201 = V = 9,799$ cmkg

$\frac{V}{f} = \text{spez. Schlagarbeit } \sigma,$

$\sigma = \frac{9,799}{1,5} = 6,533$ cmkg/qcm .

Eine andere ähnliche Art der Untersuchung auf Schlagbiegefestigkeit soll nicht unerwähnt bleiben; es ist dies das ältere Verfahren 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 Gerät in laboratoriumsmäßiger Weise für die Versuche vollkommen ausreichend herzustellen.

Die Bestimmung der Schlagzugfestigkeit.

Anschließend an die Schlagbiegefestigkeit bedarf die Prüfung auf Schlagzugfestigkeit der Erwähnung.

Der Vorgang und das Prüfgerät ist ähnlich dem der Schlagbiegeprobe. Der Prüfkörper hat zylindrische Form und wird hinten am Hammer mit der Längsachse in der Schlagrichtung befestigt und trägt an seinem zweiten Ende noch ein kleineres Querhaupt, das nunmehr an Stelle der Probe an die Auflager des entsprechend umgebildeten Prüfgerätes anschlägt. Beim Durchfallen des Hammers wird die Probe auf Schlagzug beansprucht.

Die Prüfung wird erschwert durch die Anbringung der beiden Gewindeverstärkungen an der Probe, außerdem muß das Bärgewicht einschließlich Probe und Querhaupt in jedem Falle neu bestimmt werden, da naturgemäß durch das verschiedene Gewicht der einzelnen Werkstoffe die Rechnung beeinflusst wird.

Die Prüfung ist nur auf solche Stoffe anwendbar, die das Schneiden von Gewinde oder doch eine sichere Kittung für die Fassung zulassen. Ob dieses Verfahren sich allgemein Eingang verschaffen wird, muß erst der praktischen Erprobung zur Entscheidung überlassen werden.

Die Wiedergabe einer Abbildung ist nicht angängig, bisher sind Pendelschlaghämmer der 10 cmkg-Größe noch nicht dafür ausgeführt. Die Konstruktion des Gerätes ist nach der vorgehenden Beschreibung genügend genau geschildert.

Die Bestimmung der Biegsamkeit.

Der vorbehandelten Untersuchung auf Biegefestigkeit, die bestimmte zahlenmäßige Werte ergibt, ist die Untersuchung auf Biegsamkeit verwandt. Diese ist da angebracht, wo es sich darum handelt, Isolierstoffe von geringer Stärke zum Bau von Spulenkörpern oder zum Umkleiden solcher zu benutzen.

Die Prüfung kann ähnlich 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. 42 sind *SB* zwei Schraubstockbacken, in welche die Prüfbacken *PB* eingelegt sind und die die Werkstoffproben fassen.

Der Halbmesser ρ wird zweckmäßig bei drei verschiedenen Backensätzen 2, 5 und 10 mm betragen. Diese Abstufung wird für die meisten der zur Untersuchung kommenden Stoffstärken und -arten ausreichen, für größere Dicken und besonders harte Proben sind 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.

Dieses Verfahren gestattet die Gewinnung einer ausreichenden Zahl von Vergleichswerten; falls Verarbeitung des Werkstoffes in warmem Zustand in Frage kommt, sind die Untersuchungen ebenfalls mit vorgewärmten Proben durchzuführen, die Backen *SB* müssen für den Fall gleichfalls vorgewärmt werden, um eine Abkühlung an der Biegestelle zu verhindern.

Als **Probstücke** dienen zweckmäßig drei Streifen von 100 · 50 mm Größe bei den verschiedenen Stoffstärken, wobei 50 die Breite der Biegekante ist.

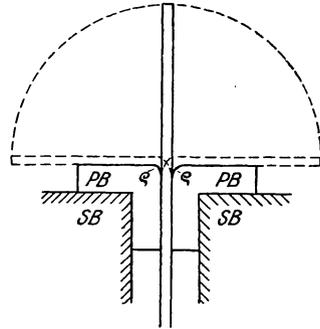


Abb. 42. Biegsamkeitsprobe.

Die 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 Hochfrequenzgeräte u. dgl.

Sehr gut verwendbar sind hierfür die Einrichtungen, wie sie sich für die Papieruntersuchung bewährt haben. Eines der gebräuchlichsten Prüfgeräte sei in folgendem beschrieben. Die Abb. 43 läßt den Grundgedanken erkennen: Zwischen vier senkrecht stehenden Rollen bewegt sich ein Blechschieber, der einen nach oben offenen Schlitz besitzt, etwa 2 cm nach vorn und hinten, wie es die Pfeilrichtung andeutet. Rechtwinklig zum Schieber wird der zu untersuchende Probband-

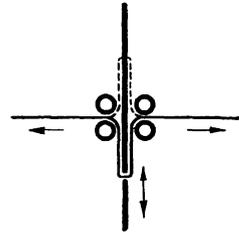


Abb. 43. Schema zum Falzbiegeprüfer von L. Schopper.

streifen zwischen dem einen Rollenpaar hindurch, durch den Schlitz des Schiebers und das zweite Rollenpaar geführt. Die Enden werden durch das Gerät selbst auf Zug gehalten, so daß sie beim Gleiten des Schiebers stets straff gespannt sind. Der Antrieb erfolgt durch einen kleinen Elektromotor.

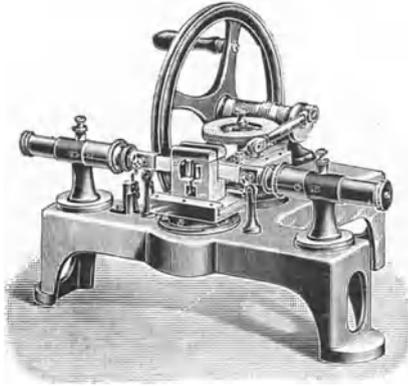


Abb. 44. Falzbiegeprüfer von L. Schopper.

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 Werkstoffes an.

Das Gerät Abb. 44 wird hergestellt von der Firma Louis Schopper in Leipzig.

Die Bestimmung der Härte.

Hierfür sind eine ganze Reihe verschiedener Verfahren in Anwendung. Für die Isolierstoffe ist die Härteprüfung noch verhältnismäßig wenig eingeführt, die Erfahrungen sind noch nicht sehr umfangreich, die Wahl der geeigneten Prüfmethode somit noch offen.

Der V. D. E. hat die Kugeldruckprüfung vorgeschrieben¹⁾. Für gewisse Stoffe ist diese jedoch nicht anwendbar, dafür sind andere Verfahren vorzuziehen.

Die Prüfung auf Kugeldruckhärte ist vorgesehen, um ein Maß für die Beurteilung der Bearbeitungsfähigkeit und der verschiedenen Verwendungsmöglichkeiten der Werkstoffe unter Druckbeanspruchung zu schaffen.

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

Diese Prüfung stellt eine ähnliche Beanspruchung dar, wie sie im ganzen Elektrogerätebau durch die Einsetzung von Anschlußbolzen

¹⁾ V. D. E.-Vorschriften. E. T. Z. 1922, S. 446 u. Erläuterungen S. 449.

und deren Festziehung durch Muttern herbeigeführt wird. Der Werkstoff erleidet dabei eine Druckbeanspruchung unter der Fläche der Unterlegscheibe; er drückt sich erst zusammen und quillt dann langsam 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 Gebrauchsgeräte entsprechend, auf verschiedene Temperaturen ausgedehnt wird.

Eine kurze Beschreibung der Einrichtungen für die Kugeldruckhärteuntersuchungen ist weiter unten gegeben.

Es seien zunächst die V. D. E.-Vorschriften in ihrer neuen Form wiedergegeben.

Drei Versuche.

Eine Stahlkugel von 5 mm Durchmesser ($D = 0,5$ cm) wird mit einem gleichbleibenden Druck von 50 kg in die Probe stoßfrei eingedrückt. Gemessen wird die Eindringtiefe h nach 10 und 60 s. Aus dieser wird der Härtegrad H in kg/qcm nach der Formel berechnet:

$$H = \frac{P}{\pi \cdot h \cdot D}.$$

Die Eindrücke sollen in der Mitte der 15 mm breiten Proben liegen.

Die Versuche sind bei 18–20° C auszuführen.

Die früheren Vergleichszahlen sind aufgegeben.

Als **Proben** werden die vom V. D. E. vorgeschriebenen Flachstäbe von 120 · 15 · 10 mm benutzt, es sollen drei Eindrücke auf einer Probe gemacht werden.

Die **Probenzahl** beträgt nach dem V. D. E. nur eine. Die Stücke werden zur Vorbereitung wieder 16 Stunden der entsprechenden Temperatureinwirkung ausgesetzt. Zweckmäßig verwendet man nicht einen Stab für drei Eindrücke, sondern je drei kleinere Einzelstücke, um die Haltung der Wärme für den zweiten und dritten Eindruck zu gewährleisten. Diese Prüfungen nehmen doch so viel Zeit in Anspruch, daß die weiteren Proben erhebliche Temperatursenkungen zeigen.

Die **Einspannung** besteht in einem sorgfältigen Einlegen auf den durch Schraubenspindel einstellbaren Druckteller.

Die **Beobachtungen** ergeben sich aus den unter den V. D. E.-Vorschriften angeführten.

Als **Prüfeinrichtung** für die Kugeldruckprobe dient eine von J. A. Brinell entworfene Anordnung, deren Prinzip in Abb. 45 gezeigt ist; eine Kugel vom Durchmesser D wird unter einer bestimmten Last P in den zu untersuchenden Stoff eingedrückt, der Durchmesser d

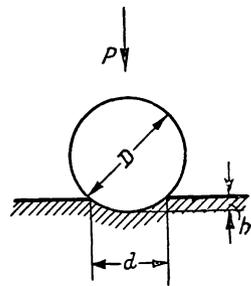


Abb. 45. Prinzip der Kugeldruckprobe.

der erzeugten Vertiefung unter einem Mikroskop, wie in Abb. 46 ein solches von der Firma Zeiß wiedergegeben ist, gemessen und hiernach die Oberfläche der Eindrucks-kugelkalotte berechnet.

Die Brinellsche Härtezahl ergibt sich dann aus der Formel

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

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

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

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

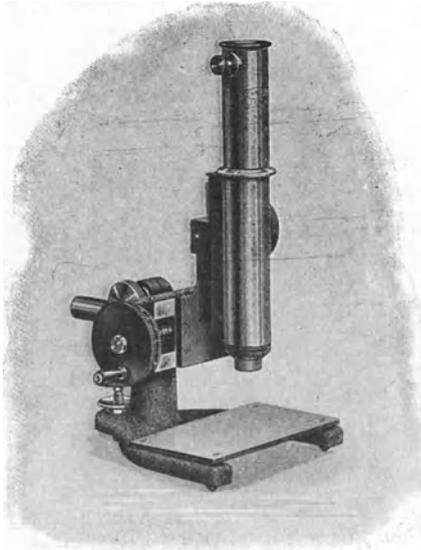


Abb. 46. Meßmikroskop von Zeiß.

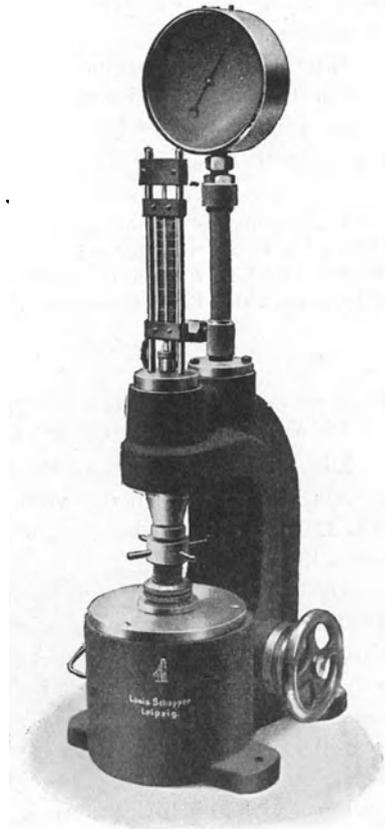


Abb. 47. Kugeldruckprüfer mit Tiefenmeßeinrichtung von Schopper.

Die Messung von d ist umständlich. Sie macht insbesondere bei Isolierstoffen, die leicht nach der Seite und nach oben ausweichen, Schwierigkeiten. Das Verfahren der Kugeldruckprüfung hat darum nach den Vorschlägen von Martens-Heyn gewisse Änderungen erhalten, die in einfachster Weise die direkte Ablesung der Eindrucktiefe h gestatten. Das Martens-Heynsche Gerät wird von Schopper, Leipzig, gebaut; die äußere Form ist in Abb. 47 gezeigt. Der untere Teil ent-

hält den mit Wasserleitungsdruck zu betreibenden Druckerzeuger, der obere Teil den Tiefenmesser für die Feststellung der Größe von h . Näheres über den vielteiligen Innenbau anzugeben verbietet der Raum; eine ausführliche Beschreibung wird dem Gerät mitgegeben, eine solche ist auch in Martens-Heyn II A enthalten, ebenso sei auch noch auf die Forschungsarbeiten¹⁾ verwiesen, insbesondere auf die darin angezogene Arbeit von Martens und Meyer.

Ob die Kugeldruckprüfung in der vorgeschilderten Form beibehalten werden wird, ist noch fraglich. Die Arbeiten haben doch gewisse Schwierigkeiten bei Isolierstoffen ergeben, die eine Neukonstruktion vielleicht auf anderer Grundlage erwünscht erscheinen lassen. Eine ausführlichere Beschreibung des Kugeldruckprüfers erübrigt sich darum.

Ein weiteres Kugeleindruckverfahren nach ähnlicher Grundlage, jedoch in weitaus vereinfachter Form, findet neuerdings in der Eisenindustrie vielfach Anwendung. Es ist dies ein Gerät, das etwa den Selbstschlagkörnern ähnlich ist und unter dem Namen **Kugelschlaghammer** in den Handel gebracht wird. Es ist ein Erzeugnis der Firma Fritz Werner A.-G., Berlin W 35. Ein ausführlicher Aufsatz darüber findet sich im „Betrieb“²⁾, auf den hierhingewiesen sei.

Ob das Gerät sich auch für Isolierstoffe bewähren wird, bedarf noch der Erprobung; es sollte hier jedoch nicht übersehen werden.

Als weiteres Verfahren für die Härtebestimmung käme die **Kugelfallprobe** in Frage. Es ist von A. F. Shore ausgearbeitet und hat hauptsächlich für Metalluntersuchungen Anwendung gefunden. Es gestattet eine schnelle und sichere Prüfung sowohl an Rohstoffen wie auch Fertigerzeugnissen, zumal nur kleinste Flächen hierzu nötig sind und Zerstörungen oder Beschädigungen nicht eintreten. Der Elektrotechniker wird das Verfahren zu Untersuchungen an seinen Baustoffen, wie Kupfer, Zink, Messing, Eisen usw. anwenden, aber auch für Isolierstoffprüfungen ist dasselbe, allerdings in sehr beschränktem Maße, übertragbar, für nichthomogene Stoffe ist das Gerät nicht anwendbar.

Das Prinzip beruht auf der Messung der Rückprallhöhe einer auf die Probe fallenden Kugel. Die Vergleichswerte bilden einen guten Beurteilungsmaßstab, wenn auch die Metall- und Isolierstoffwerte infolge der ganz anders gearteten Struktur gegeneinander nicht vergleichbar sind.

¹⁾ Forsch.-Arb. auf dem Gebiete des Ingenieurwesens Heft 75.

²⁾ Mitteil.: Ein neuer Materialprüfungsapparat. Betrieb Jg. 1921, Heft 26.

Härtegrade nach Shore¹⁾.

	geglüht	gehämmert
Blei, gegossen	2 ÷ 5	3 ÷ 7
Weißmetall	4 ÷ 9	—
Gold	5	8
Silber	6	20 ÷ 30
Messing, gegossen	7 ÷ 35	—
„ gezogen	10 ÷ 15	24 ÷ 25
Reines Zinn, gegossen	8	12
Wismut, gegossen	9	—
Platin	10	17
Kupfer, gegossen	6	14 ÷ 20
Zink, gegossen	8	20
Reines Eisen	18	25 ÷ 30
Weicher Stahl, 0,15 vH Kohlenstoffgehalt	22	30 ÷ 45
Nickel, gegossen	31	55
Graues Gußeisen	30 ÷ 45	—
Hartguß	50 ÷ 90	—
Werkzeugstahl, 1 vH Kohlenstoffgehalt	30 ÷ 35	40 ÷ 50
„ 1,65 vH „	35 ÷ 40	—
Schnellstahl, gehärtet	—	70 ÷ 105
Kohlenstoffstahl, gehärtet	—	70 ÷ 100
Vanadiumstahl	35 ÷ 45	—
Chromnickelstahl	47	—
„ gehärtet	—	60 ÷ 95

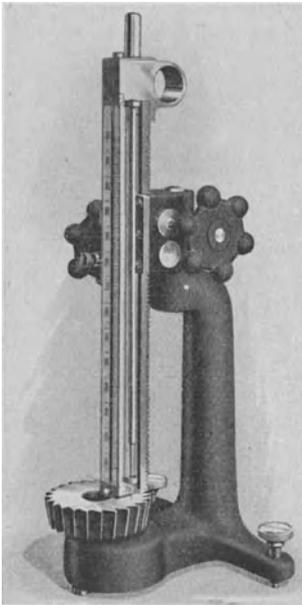


Abb. 48. Skleroskop von Shore.

Der Wichtigkeit und Einfachheit der Prüfmethode wegen, sei hier die dem Elektrotechniker sicher willkommene, von Shore aufgestellte Härteskala wiedergegeben.

Die angeführten Härtegrade sind nur annähernd und werden sowohl von der Zusammensetzung wie vom Zustand des Metalles beeinflusst. Die Bezeichnungen „geglüht“ und „gehämmert“ haben nur für die Metalle Gültigkeit, bei welchen ein anderer Zustand nicht angegeben ist oder ein solcher durch das Metall selbst bedingt ist, z. B. bei Gußeisen und Hartguß.

Für Isolierstoffe, wie Glas, Mineralien, Porzellan u. dgl., liegen Veröffentlichungen noch nicht vor.

Das Shoresche Skleroskop wird von der Firma Schuchardt & Schütte, Berlin C 2, in einer zum D. R. P. angemeldeten verbesserten Form mit Diamantfallhammer

¹⁾ Schuchardt u. Schütte: Härteprüfer. Anweisung 10.

in den Handel gebracht. Abb. 48 zeigt die Konstruktion des äußerst einfachen und handlichen Gerätes.

Als drittes Verfahren für Härteprüfungen sei die **Ritzhärteprobe** beschrieben. Sie ist von Mohs bereits zu Anfang des vorigen Jahrhunderts zur Gegenüberstellung von Mineralien eingeführt; sie läßt sich für viele der Isolierstoffe, insbesondere für die Minerale und die Lackarten dienstbar machen.

Die folgende Übersicht¹⁾ gibt in der ersten Spalte die von Mohs stammenden Werte, in der zweiten und dritten sind verschiedene nach dem Verfahren ermittelte Werkstoffe eingetragen²⁾.

1. Talk	Aluminium 2	Messing 3 $\frac{1}{2}$
2. Gips	Antimon 3 $\frac{1}{2}$	Platin 4 $\frac{1}{2}$
3. Kalkspat	Blei 1 $\frac{1}{2}$	Platin-ir. 6 $\frac{1}{2}$
4. Flußspat	Eisen 4 $\frac{1}{2}$	Silber 2 $\frac{1}{2}$ ÷ 3
5. Apatit	Glas 4 $\frac{1}{2}$ ÷ 6 $\frac{1}{2}$	Stahl, weich 5
6. Feldspat	Gold 2 $\frac{1}{2}$ ÷ 3	„ hart 8 $\frac{1}{2}$
7. Quarz	Graphit 1 $\frac{1}{2}$ ÷ 1	Zinn, gegossen 1 $\frac{1}{2}$
8. Topas	Iridium 6	
9. Korund	Kupfer 2 $\frac{1}{2}$ ÷ 3	
10. Diamant		

Die Härtezahl 6,5 z. B. kennzeichnet einen Stoff, der von 6 noch nicht, von 7 aber schon angegriffen (geritzt) wird.

Als Prüfgerät dient eine Einrichtung, wie sie nach Abb. 49 von den Vereinigten Fabriken für Laboratoriumsbedarf in Berlin geliefert wird. Die Anwendung ist nach dem Bilde sofort klar; je nach Belastung und der Härte der Probe wird ein verschieden tiefes Aufritzen des Werkstoffes zu beobachten sein, eine Messung der Ritzbreite kann notfalls noch mit dem Meßmikroskop durchgeführt werden.

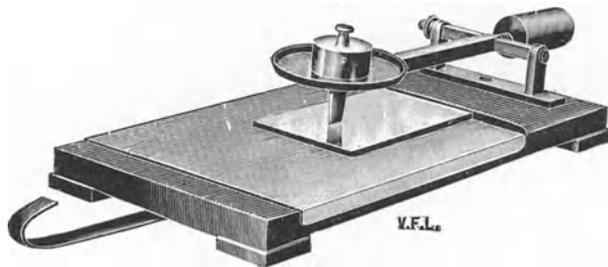


Abb. 49. Ritzhärteprüfer.

¹⁾ Winkelmann: Handbuch der Physik Bd. I.

²⁾ Berndt: Die Härte der Körper. Vortrag. Monatsbl. Berlin. Bez.-V. d. I. 1920, Nr. 9.

Will man genauere, allerdings auch nur empirische Werte der Ritzhärte haben, so empfiehlt sich die Anwendung des in Abb. 50 wiedergegebenen Ritzhärteprüfers nach Martens, bei dem ein Diamant mit einem

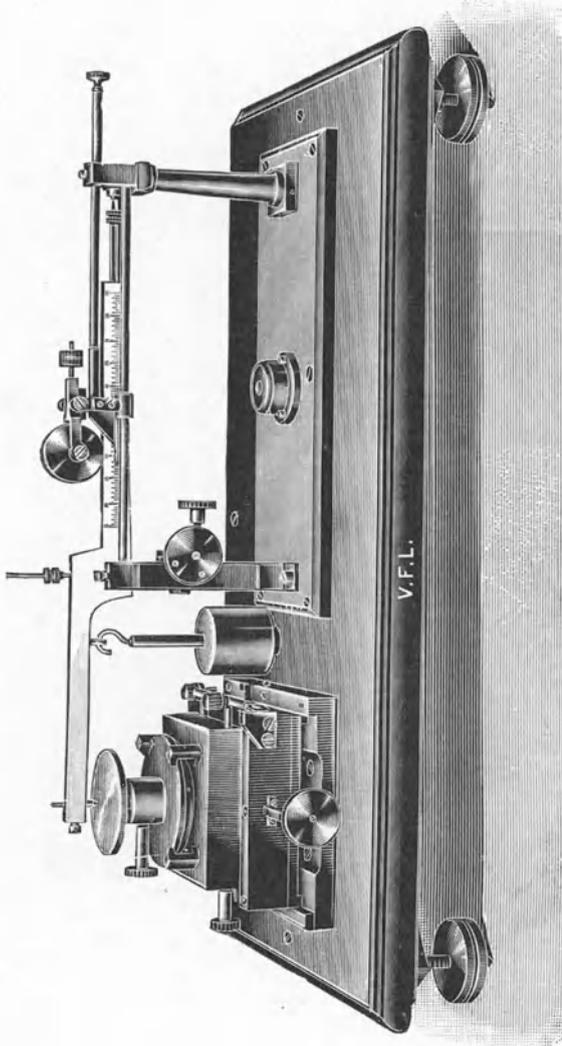


Abb. 50. Ritzhärteprüfer nach Martens.

Spitzenwinkel von nahezu 90° unter verschiedenen Belastungen die Probe ritzt und die erhaltene, mit dem Mikroskop zu messende Strichbreite als Vergleichsmaßstab dient. Bemerkt sei noch, daß zur Erhaltung einer Konstanten Martens vorge schlagen hat, diejenige Belastung des Diamanten in Gramm als Härtemaß gelten zu lassen, bei der in dem zu prüfenden Stoff eine Strichbreite von $0,01 \text{ mm}$ erzielt wird. Dieses kleine Maß mit Rücksicht auf die Ritzhärtebestimmung von Eisen und Metallen gewählt worden, die Martens hauptsächlich im Auge hatte.

Eine sehr praktische Anwendung und sinngemäße Umgestaltung des Ritzverfahrens, wie es im Wernerwerk der

Siemens & Halske A.-G. zur Prüfung der Emailleschichtgüte auf Kupferdrähten im Gebrauch ist, wird von Streubel¹⁾ beschrieben. Die Ritzung wird hier nicht durch Einschneidung, sondern durch Ein-

¹⁾ Streubel: Über Verfahren zur Beurteilung der Isolationsschicht bei emaillierten Feindrähten. Siemens-Zeitschrift Juli/August 1921.

drückung geschärfter Zahnkanten eines über den Draht unter Gewichtsbelastung laufenden Rädchens erzeugt. Der Aufsatz behandelt gleichzeitig noch eine vereinigte mechanische Biege- und elektrische Durchschlagsprüfung, auf die hier noch hingewiesen sein soll.

Ein viertes Verfahren, das für die Härteprüfung in Frage kommt, ist weiter vorn schon unter den Bearbeitungsmöglichkeiten erwähnt; es sei auf die von Kessner entworfene Bohrmaschine zur Bestimmung der Bearbeitungsfähigkeit hier nochmals hingewiesen.

Als letztes der bekannten Verfahren soll hier noch die von Gary vorgeschlagene, für Gesteinsprüfungen seit langem übliche **Abnutzungsprüfung durch Sandstrahl** behandelt werden. Sie wird sich besonders für keramische Erzeugnisse Eingang verschaffen.

Die Proben werden hierbei eine bestimmte Zeit der Einwirkung eines Sandstrahlgebläses, ähnlich wie solche in den Gießereien zum Reinigen der Gußstücke benutzt werden, ausgesetzt. Es wird der Gewichtsverlust bestimmt und das Aussehen der geblasenen Fläche nach ihrer Körnung, Faserung, Tiefe und Zeit beurteilt; zweckmäßig sind photographische Aufnahmen für Vergleiche zu machen.

Das Prüfgerät bedingt eine wohlüberlegte Konstruktion. Die Probe muß durch ein Planetengetriebe bewegt werden, um ein volles, gleichmäßiges Bestreichen durch den Sandstrahl zu sichern; der einmal benutzte Sand darf nicht wieder in das Vorratsgefäß zurückfallen. Ein Sondergerät für diese Zwecke wird geliefert vom Chemischen Laboratorium für die Tonindustrie, Berlin NW 21.

Vergleichswerte über die Härteprüfung an Isolierstoffen sind bisher noch nicht veröffentlicht, die verschiedenen Verfahren bedürfen erst noch der längeren Erprobung.

Die Bestimmung der Verdrehungsfestigkeit.

Isolierstoffe werden in Rücksicht auf ihre Eigenart praktisch selten auf Verdrehung beansprucht. Sie wird nur bei Schaltwalzen oder ähnlichen Geräteteilen auftreten; meist wird es sich hier um aus konstruktiven und elektrischen Gründen an sich schon so groß bemessene Teile handeln, daß eine eigentliche Verdrehungsbeanspruchung des Baustoffs nicht mehr in Anrechnung zu kommen braucht.

Die aus dem Maschinenbau bekannten Einrichtungen lassen sich nicht ohne weiteres verwenden. Drähte, Rundstäbe u. dgl. Körper aus Metall verlangen bis zu ihrer Zerstörung stets eine mehrfache Drehung, Isolierstoffe werden bei entsprechend geringen Querschnitten dagegen schon bei einem Teil der ersten Umdrehung zu Bruch gehen. Es wird meist nur darauf ankommen, größere Fertigerzeugnisse, wie Standisolatoren für Hochspannungs-Drehschalter aus Porzellan, Bakelit-

erzeugnissen, Papierrohr u. dgl., zu untersuchen, und derartige Teile sind auf einer liegenden Zerreißmaschine bei sinngemäßer Einspannung zu prüfen.

In den Veröffentlichungen finden sich über Verdrehungsversuche an Isolierstoffen sehr wenig Angaben, es sind wohl nur die Arbeiten von Rosenthal¹⁾ und Singer²⁾ bekannt, die unter anderem auch Verdrehungsuntersuchungen an Porzellan mit anführen. Allgemeine Erfahrungswerte für Isolierstoffe sind jedenfalls nicht veröffentlicht, die Prüfung muß notfalls in der Praxis erst noch weiter ausgebildet werden.

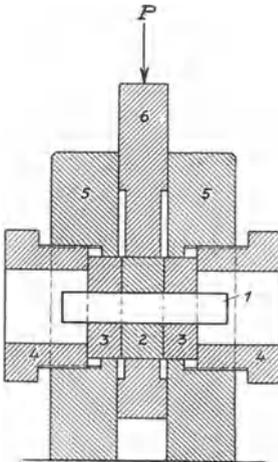


Abb. 51. Schereinrichtung.

Die Bestimmung der Scherfestigkeit.

Diese im Maschinenbau notwendige Prüfung sei hier nur der Vollständigkeit wegen erwähnt. Für Isolierstoffe wird diese Untersuchung nur selten notwendig. Die Beanspruchung von irgendwelchen Isolierstoffen auf Abscherung im reinen Sinne wird kaum auftreten, eher werden zusammengesetzte Beanspruchungen aus Zug, Druck, Biegung und Scherung auftreten; diesen rechnerisch oder durch entsprechende Versuche beizukommen, ist oft außerordentlich schwer.

Als Scherversuch im weiteren Sinne ist bei Isolierstoffen, wie bei Pappe, Lackpapier, Fiber und ähnlichem, der Loch- und Stanzversuch anzusehen. Dieser kann in die Reihe der Bestimmung der Bearbeitungsmöglichkeit aufgenommen werden. Zahlenmäßige Druckwerte hierfür aufzustellen ist mit Hilfe der bereits beschriebenen Einrichtungen, beispielsweise mit einer kleinen Druckmaschine, ohne Schwierigkeit möglich; zu Vergleichszwecken einzelner Stoffe wird diese Prüfungsart immerhin zweckmäßig sein.

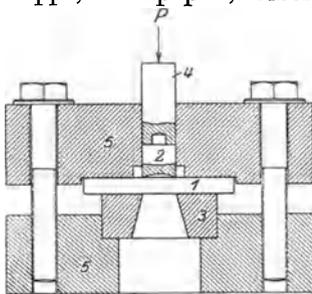


Abb. 52. Loch- (Stanz-) Einrichtung.

Die Anordnung des Scherversuches ist in Abb. 51 gezeigt, der öfter vorkommende Loch- oder Stanzversuch in Abb. 52. In Abb. 51 ist 1 die Probe, 2 die Scherscheibe, 3 und 4 sind Spannringe und Muffen,

¹⁾ Rosenthal: Die mechanischen Eigenschaften keramischer Massen und exakte Prüfungsmethoden. Ber. d. techn.-wissenschaftl. Abt. des Verb. keram. Gewerke in Deutschland Jg. 5, Heft 5. 1919.

²⁾ Singer u. Rosenthal: Die physikalischen Eigenschaften des Porzellans. Ber. d. deutsch. keram. Gesellschaft Bd. 1, 3. Heft. Dezember 1920.

5 ist der Sockel und 6 die Schubstange (Stempel). In Abb. 52 ist 1 die Probe, 2 der Stempel, 3 die Matrizze, 4 die Schubstange und 5 die Spanneinrichtung.

Die Form der Einrichtungen ist von Martens angegeben.

Als Rechnungsformel ergibt sich:

$$\sigma_{ST} = \frac{P}{f}.$$

Wenn h die Stoffstärke und d der Durchmesser des Lochstempels ist, so ist die Scherfläche $\pi \cdot d \cdot h$, also

$$\sigma_{ST} = \frac{P}{\pi \cdot d \cdot h}.$$

Der Lochstempel wird gewöhnlich etwas hohl gestaltet, das Widerlager hinterschnitten.

IV. Physikalische Prüfungen.

Die Bestimmung der Wärmebeständigkeit.

Vom V. D. E.¹⁾ ist eine besondere Untersuchung auf Wärmebeständigkeit nach der Abb. 53 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 vielleicht nicht so sichere Werte, da die Art des Einbaues für die skizzierte Vorrichtung einen verhältnismäßig großen Kasten verlangt, der die Beobachtung und die Ablesung der Biegewerte erschwert.

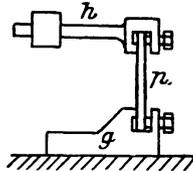


Abb. 53. Einspannung für die Wärmeprüfung nach V.D.E.

Der V. D. E. verlangt drei Parallelversuche. Die Wärmebeständigkeit ist durch die Martenssche Probe mit einem Normalgerät nach Abb. 53 festzustellen.

Die in senkrechter Lage von der Grundplatte g festgehaltenen Proben p werden durch angehängte Gewichtshebel h mit der konstanten Biegespannung $\delta = 50 \text{ kg/qcm}$ belastet und langsam erwärmt. Die Geschwindigkeit der Temperatursteigerung soll 50° C in der Stunde betragen. Ermittelt wird der Wärmegrad A_g , bei dem der Hebel h um 3 mm auf 120 mm Länge absinkt bzw. die Probe bricht.

Der V. D. E. gibt noch folgende Erläuterungen:

Da viele Isolierteile im Betriebe bei einer z. T. weit über Zimmerwärme liegenden Temperatur noch ausreichende Festigkeit besitzen müssen, ist eine dahin gehende Prüfung erforderlich. Von den verschiedenen sich hierfür bietenden Möglichkeiten hat man der Einfachheit der Versuchsausführung halber die Martensprobe in die Vorschriften aufgenommen.

¹⁾ V. D. E.-Vorschriften. E. T. Z. 1922, S. 446 u. Erläuterungen S. 449.

Die schematische Abb. 54 stellt die Beanspruchung des Probestabes beim Martensschen Warmbiegeversuch dar. Das Gewicht G erzeugt am Hebelarm l das Moment $M = G \cdot l$. Die Beanspruchung des Probestabes ist die gleiche wie bei einem auf B und C als festen Stützpunkten gelagerten, an den überkragenden Enden A und D im Abstände a von den Stützpunkten mit den gleichen Kräften P belasteten Biegebalken. Das Biegemoment steigt von A bis B und von D bis C auf seinen Höchstwert $M = G \cdot l$, der auf die ganze Länge b zwischen den Stützpunkten B und C konstant bleibt. Dem Moment $G \cdot L$ entspricht an der Probe das Moment $P \cdot a$, also $M = G \cdot l = P \cdot a$. Man wird zweckmäßig den Hebelarm a für die Kraft P nicht zu klein wählen, damit P nicht zu groß wird und damit örtliche Eindrücke an der Probe hervorruft. Die Länge b ist innerhalb weiter Grenzen gleichgültig. Bei zu großem b wird der Fehler nicht mehr vernachlässigbar, der durch Absinken des Belastungshebels H und seitliches Ausweichen der Probe eine Änderung des Momentes $G \cdot l$ bedingt. Die Abmessungen des Normalstabes ergeben jedoch für b eine zweckmäßige Größe. Wählt man l nicht zu klein, so daß G nicht zu groß wird, so ist auch die durch das Gewicht G erzeugte, im Stabe senkrecht wirkende Druckkraft vernachlässigbar. Oben ist das wirksame Moment der Einfachheit halber als $G \cdot l$ angegeben; es ist selbstverständlich nötig, das durch das Eigengewicht des Hebels H erzeugte Moment mit zu berücksichtigen: das auf die Probe wirkende Biegemoment M ist also $M = G \cdot l + H \cdot l = P \cdot a$.

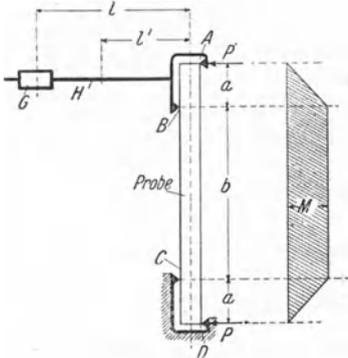


Abb. 54. Schematische Darstellung der Warmbiegeprüfungs-Einspannung nach V. D. E.

Bei der früher festgesetzten Geschwindigkeit der Temperatursteigerung von 125 bis 150° C in der Stunde tritt, wie Nachprüfungen ergeben haben, ein unzulässig großer Unterschied zwischen der Wärme der Proben und der des umgebenden Luftbades auf. Es ist deshalb die Geschwindigkeit der Temperatursteigerung auf etwa 50° C in der Stunde herabgesetzt, da hierbei die Wärme der Proben nur 5 bis 6° hinter der des umgebenden Luftbades zurückbleibt.

Als **Probenform** dient wieder der V. D. E.-Normalstab von $120 \times 15 \times 10$ mm.

Ein für diese Untersuchung besonders von Martens entworfenes Prüfgerät mit elektrischer Heizeinrichtung wird von der Firma Schopper in Leipzig gebaut.

Dem vorstehenden Versuch sind zweckmäßig noch solche ohne mechanische äußere Belastung anzuschließen. Die Proben sind im Ofen, also ebenfalls trocken, unter der gleichen Temperatursteigerung wie vorher, langsam auf den vom Hersteller auf dem Fragebogen angegebenen Erzeugungswärmegrad zu bringen. Entsprechend diesem notfalls erst zu ermittelnden Grenzpunkte sind Zwischenpunkte für die weitere Prüfung 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, wagerechte Auflegung an den vier Eckpunkten.

Zu beobachten ist bei diesem Versuch, welche äußeren Veränderungen an der Probe erscheinen, ob irgendwelche Klebe- oder Bindemittel austreten oder ob sonstige Ausscheidungen stattfinden.

Es kommt vor, daß beispielsweise geschichtete Stoffe, wie Peralit, Pertinax, Turbonit u. dgl. nicht ausbakelisiert sind und noch feuchte, also nicht in den festen Aggregatzustand übergeführte Lackmassen enthalten; 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.

Für den Isolatorenbau sind vom V. D. E. noch Sonderbestimmungen herausgegeben, die eine Wärmeprüfung von Fertigerzeugnissen verlangen. Die Vorschrift ist hier mit aufzuführen, zumal sie auch gleich oder sinngemäß für einige andere Baustoffe benutzt werden kann. In diesem Falle handelt es sich nicht um Meßwerte an Werkstoffproben, sondern um Stichprüfungen an Fertigwaren in bezug auf Beständigkeit bei Temperaturwechsel.

Die Isolatoren werden dabei wechselweise mehrmals in kaltes und warmes Wasser getaucht. Die Vorschrift lautet¹⁾:

Die Prüfung wird an den Freileitungsisolatoren ohne Stützen vorgenommen. Die Prüfstücke werden dreimal abwechselnd in kaltes und warmes Wasser getaucht. Die Temperaturen der Bäder sollen betragen:

für gekittete und einteilige Isolatoren	15 u. 90° C
„ zusammenglasirierte Isolatoren	15 u. 65° C

Die Eintauchdauer muß ausreichen, um völliges Durchwärmen und Abkühlen der Proben zu gewährleisten. Nach der Prüfung dürfen die Stücke keinerlei Veränderung zeigen (Glasrisse, Sprünge u. dgl.). Die Körper müssen danach noch die elektrische Prüfung aushalten. Eine sinngemäße Prüfung für Hängeisolatoren mit den Temperaturgrenzen 15 und 75° ist in der E. T. Z. später gegeben²⁾.

Die Prüfung auf Risse geschieht, wenn diese nicht augenfällig, zweckmäßig durch Anschlagen (Klangvergleich) und nochmaliges elektrisches Nachbelasten.

Die Bestimmung der Frostbeständigkeit.

Diese Prüfung ist in den neuen V. D. E.-Vorschriften³⁾ fallen gelassen, ob mit voller Berechtigung, mag dahingestellt bleiben. Die Prüfung war besonders durch die Anforderungen des Krieges notwendig geworden. Es gab wohl kaum einen Zweig der Elektrotechnik, der

¹⁾ V. D. E.-Vorschriften. E. T. Z. 1922, S. 32.

²⁾ V. D. E.-Vorschriften. E. T. Z. 1922, S. 1348.

³⁾ V. D. E.-Vorschriften — Erläuterungen. E. T. Z. 1922, S. 449.

seine Erzeugnisse nicht in den Dienst des Heeres stellte. Die Anforderungen an Temperaturbeständigkeit sind bei Heeresgeräten ausnahmslos große, mag es sich um Schwachstrom-, Starkstrom-, Hochspannungs- oder Hochfrequenzgeräte handeln, darum wurde schon in den vorigen Absätzen Wert auf eine Prüfung durch eine große Temperaturskala hindurch gelegt.

Sind diese Rücksichten durch den traurigen Abschluß des Ringens um Deutschlands Großmachtstellung hinfällig geworden, so wird die deutsche Industrie doch fürs Ausland liefern wollen; die fremden Vorschriften, insbesondere die amerikanischen, verlangen vielfach noch die Frostprüfung. Das Verfahren ist darum hier weiter beibehalten.

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

Der Verband schrieb hierüber vor:

Die Proben werden nach vierwöchiger Lagerung unter Wasser abwechselnd 25 mal je 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 eine Platte 100 × 100 × 10 mm, wie sie für die Wärmebeständigkeitsprüfung ohne Belastung vorgeschlagen war.

Es genügt 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. Empfehlenswert ist es auch, die Platte mit festangezogenem Kontaktbolzen auszurüsten und diese dann auf etwaige Lockerung zu untersuchen.

Die **Beobachtung** soll nach jedem Einfrieren und Auftauen etwaige Veränderungen der Oberflächen, wie der Schnittkanten, Verdickungen, Aufbeulungen, Schrumpfungen, Abblättern, Austreten von irgendwelchen Beimengungen u. dgl. feststellen.

Der V. D. E. begründet den Fortfall der Vorschrift wie folgt:

Die Prüfung auf Frostbeständigkeit¹⁾ ist in den neuen Vorschriften in Fortfall gekommen, weil eine mangelhafte Frostbeständigkeit nur durch Wassergehalt (bzw. Wasseraufnahme) bedingt ist und weil die Feuchtigkeitsaufnahme durch die elektrische Prüfung in schärferer Weise erfaßt wird.

Die Bestimmung der Wasseraufnahme.

Diese Untersuchung ist eine der wichtigsten, sie muß fast bei jedem Isolierstoff durchgeführt werden.

¹⁾ V. D. E.-Vorschriften — Erläuterungen. E. T. Z. 1922, S. 449.

Als **Probe** wird auch hier wieder eine Platte von $100 \times 100 \times 10$ mm benutzt.

Bei geschichteten Stoffen, wie Pertinax, Preßspan, asbesthaltigen und ähnlichen, ist es notwendig, die Proben möglichst dick zu nehmen, damit viel Schnittfläche dem Wasser ausgesetzt wird; bei dünnen Proben und dichter Oberfläche wird nur wenig Feuchtigkeit aufgenommen werden können.

Zweckmäßig ist es, eine Platte nach nebenstehender Abb. 55 herzustellen. Die Löcher ergeben eine große Arbeitsfläche, wodurch die Wasseraufnahme beschleunigt wird; das Schneiden der Platte soll mit der Bandsäge geschehen, da die Kreissäge aufgerissene Schichten dichtet, oder die Kanten sind sämtlich zu polieren.

Die Proben sollen den Zustand des längere Zeit in Raumtemperatur lagernden Werkstoffes haben.

Es ist zunächst das Gewicht W_1 genau festzustellen, die Probe wird danach in den Trockenofen gebracht und bei 100°C gehalten, wenn nicht der Fragebogen und 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 für w in Hundertteilen zu W_2 aufzutragen.

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

Um noch weitere Vergleichsmöglichkeiten 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. 56 ist von Asbestschiefer aufgenommen. Bei füllstoffarmen Proben sind die Unterschiede weniger auffallend, die Kurve verläuft dabei viel flacher.

Bei dem vorbeschriebenen Versuch ist eine Platte mit teilweise bearbeiteter Fläche (Bohrlöchern) verwendet, der Versuch wird demnach für alle Fälle ausreichen. Für einige Stoffe, die vorwiegend lackiert und nur bei geringer Stärke benutzt werden, ist diese Prüfung eher zu scharf; es ist darum zweckmäßig, noch Proben mit dem Gebrauch entsprechend geschütztem Werkstoff parallel durchzuführen. Geeignet

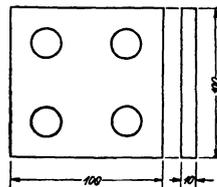


Abb. 55. Probe für Wasseraufnahme.

ist dabei die Benutzung fertiger Spulenkörper, bei denen der Stoff schon die fabrikationsmäßigen Biegungen durchgemacht hat und auch schon lackiert ist.

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

Anschließend sei auch hier eine vom V. D. E. festgelegte neue Sondervorschrift für Fertigerzeugnisse gebracht.

Gelegentlich der vom V. D. E. in Gemeinschaft mit dem Nadi (Normungsausschuß der Deutschen Industrie) getroffenen Festlegungen

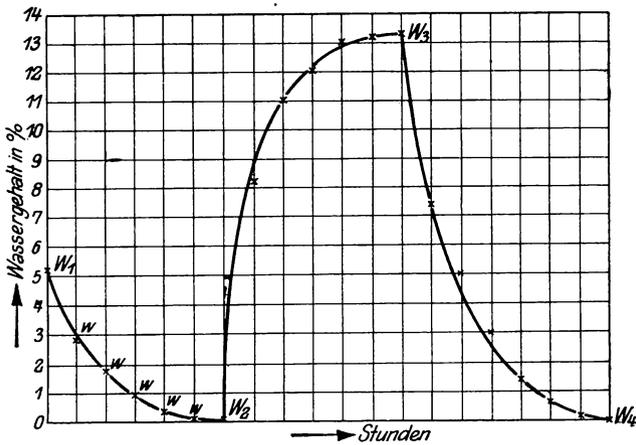


Abb. 56. Kurve für die Wasseraufnahme.

von Hochspannungsisolatoren¹⁾ wurde eine Prüfung auf Saugfähigkeit für keramische Erzeugnisse beschlossen. Den Grund dazu gaben insbesondere die Erfahrungen mit amerikanischem Porzellan während des Krieges im Auslande. Die hierfür nur allzu berechtigte Vorschrift auf deutsches Porzellan, das ganz anders geartet ist, zu übertragen, ist nach Ansicht der deutschen Porzellanfachleute kaum berechtigt; man hat sich darum wohl auch beim V. D. E. mit einer Abschwächung begnügt.

Der V. D. E. schreibt vor:

Bei frischen Bruchflächen der Prüfstücke wird eine Lösung von 1 g Fuchsin in 100 g Methylalkohol aufgetragen und darauf mit ungefärbtem Methylalkohol abgespült, die Farblösung darf keine nennenswerten Spuren hinterlassen. Im Zweifelsfalle ist durch Zerschlagen der Prüfstücke festzustellen, ob das Färbemittel in das Porzellan eingedrungen ist, oder ob es nur durch Kapillarwirkung an der körnigen Oberfläche festgehalten wird.

Im allgemeinen wird ein gut durchgebrannter deutscher Scherben keine Einwirkung ergeben. Die Amerikaner haben der Eigenart ihres

¹⁾ V. D. E.-Vorschriften. E. T. Z. 1922, S. 32.

Scherbens entsprechend die Prüfung auf Eindringung unter 15 at Druck vorgenommen¹⁾. Die Italiener²⁾, die ebenfalls viel amerikanisches und eigenes, dem deutschen Porzellan nicht gleichwertiges Erzeugnis verwenden, schreiben hierfür eine 24stündige Prüfung unter 6—7 at vor.

Für schnelle Prüfungen verwendet man einfacherweise auch hier wieder rote Tinte, die durch Federstrich aufgetragen wird und die im allgemeinen vollauf genügt. Die vom V. D. E. angegebene Lösung hat sich in der Praxis als übersättigt erwiesen, es reicht $\frac{1}{2}$ g Fuchsin auf 100 g Methylalkohol voll aus. Wünschenswert wäre ferner ein Ersatz des wegen seiner Giftigkeit nicht ungefährlichen Methylalkohols durch andere geeignete Stoffe.

Verhalten im warmen Wasser.

Diese Untersuchung ist nur durchzuführen bei solchen Werkstoffen, die Verwendung im Freien oder in Räumen finden, bei denen mit der Einwirkung von Wasserdampf zu rechnen ist. Es wird sich hierbei jedoch um nicht wasseraufnahmefähige und hitzebeständige Stoffe handeln, wenn die Geräte nicht noch gekapselt sind, so daß diese Untersuchung wohl nur selten notwendig sein oder nur zur allgemeinen Beurteilung herangezogen wird. Der Vollständigkeit des Arbeitsplanes wegen sei jedoch auch diese Prüfungsart mit aufgenommen.

Die Untersuchung schließt sich zweckmäßig der 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 Werkstoff. Um Vergleichswerte zu haben, wird durchweg die Wassertemperatur von 100° gewählt, die Tauchzeit soll gleichmäßig 15 Minuten betragen, eine kürzere Frist wird bei vielen Stoffen nicht ausreichen, um Veränderungen hervorzubringen.

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

¹⁾ Amerikanische Prüfvorschriften. Katalog der Jeffery-Dewitt-Insulator-Co., Huntington 1920.

²⁾ Italienische Prüfvorschriften. Italienische elektrotechnische Vereinigung (A. E. I.). L'Elettrotecnica Bd. 8, Nr. 9. 1921.

1. Als Härte verbleibt der Urzustand,
2. der Werkstoff wird geschmeidig, oder
3. sehr weich.

Der V. D. E. beabsichtigt weiter, nach der Bekanntgabe der Kommission für Isolierstoffe¹⁾, neue verschärfte Prüfvorschriften für gepreßte gummilose Isolierstoffe herauszugeben. Unbeschadet strengerer Vorschriften soll entweder bei einer Temperatur von 100° eine Verminderung der Festigkeitseigenschaften unter die Hälfte derjenigen bei der normalen Raumtemperatur von 20° unzulässig sein oder eine Mindesttemperatur festgesetzt werden (voraussichtlich nicht unter 100°), bei welcher die volle mechanische Beanspruchung der betreffenden Geräte ohne Bruch oder unzulässige Formänderungen ausgeübt werden kann.

Die Bestimmung der Feuersicherheit.

An Stelle der früheren „Untersuchung in der Flamme“ ist vom V. D. E. die Bezeichnung „Prüfung auf Feuersicherheit“ gewählt worden. Die Vorschriften²⁾ sind etwas umgestaltet, besonders ist die Lage des Brenners, die Größe und die Flammenhöhe festgelegt.

Der V. D. E. schreibt vor:

3 Versuche.

Es wird ein horizontal eingespannter Normalstab ($120 \times 15 \times 10$ mm) 1 min lang der Flamme eines mit Leucht-

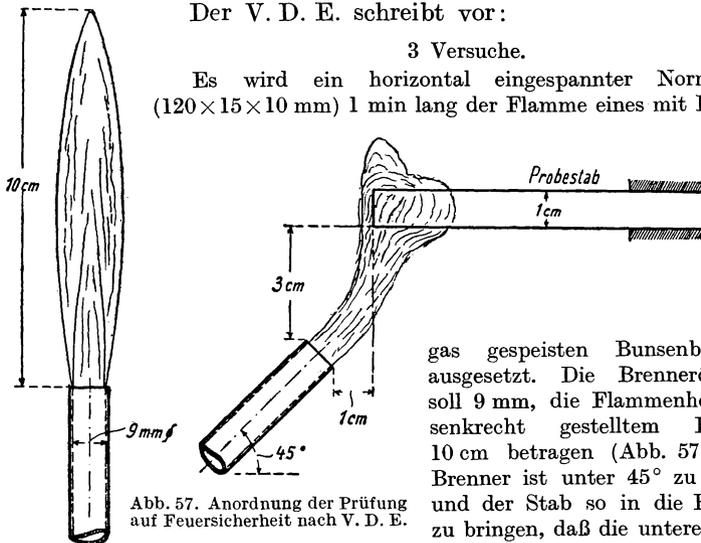


Abb. 57. Anordnung der Prüfung auf Feuersicherheit nach V. D. E.

gas gespeisten Bunsenbrenners ausgesetzt. Die Brenneröffnung soll 9 mm, die Flammenhöhe bei senkrecht gestelltem Brenner 10 cm betragen (Abb. 57). Der Brenner ist unter 45° zu neigen und der Stab so in die Flamme zu bringen, daß die untere 15 mm breite Stabfläche sich 3 cm über

der Brenneroberfläche und seine Stirnfläche sich 1 cm im wagerechten Abstand von der Brennerunterkante befindet.

¹⁾ V. D. E.-Vorschriften. E. T. Z. 1921, S. 579.

²⁾ V. D. E.-Vorschriften. E. T. Z. 1922, S. 446 u. 448.

Das Verhalten der Isolierstoffe ist nach folgenden Stufen zu beurteilen:

- 0) Der Stab brennt nach Entfernen der Flamme länger als $\frac{1}{4}$ min weiter.
- 1) Der Stab brennt nach Entfernen der Flamme nicht länger als $\frac{1}{4}$ min weiter.
- 2) Der Stab entzündet sich in der Flamme nicht.

Die Prüfung ist der in den Errichtungsvorschriften gegebenen Definition der Feuersicherheit angepaßt. Die unter 45° geneigte, von der Probe seitlich abgerückte Flammenstellung ist gewählt, um eine Verschmutzung des Brenners durch abtropfende Bestandteile der Proben zu verhindern.

Probenform (Normalstab $120 \times 15 \times 10$ mm), **-zahl** und **Einspannung** sind mit der V. D. E.-Vorschrift gegeben.

Säurebeständigkeit.

Hier kommt hauptsächlich der Einfluß von Schwefelsäure in Frage. Liegen Sonderanforderungen vor, wie beispielsweise bei Einrichtung chemischer Fabriken, so sind die Untersuchungen den jeweiligen Anforderungen entsprechend durchzuführen und beziehen sich dann gleichermaßen auf isolierende wie leitende Werkstoffe oder deren Schutz.

Die Untersuchungen werden 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 her-vorzurufen.

Die **Beobachtungen** erstrecken sich auf

1. die äußere Veränderung,
2. die Veränderung des Gewichtes in Hundertteilen,
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 erstere infolge der Schnittflächen viel schneller aufsaugen.

Die **Probenzahl** beschränkt sich auf eine.

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

Seitens der Vertreter der Eisenhüttenleute¹⁾ erging noch die An- regung, eine Prüfung vorzunehmen mit schwefliger Säure, da Schwefel- säure nicht in gleicher Weise auf die betreffenden Isolierstoffe einwirkt wie schweflige Säure. Man war damit einverstanden, daß für Stoffe, welche in erster Linie in den Bergwerks- und Hochöfenbetrieben Ver- wendung finden, eine derartige Prüfung vorgesehen werden soll, während man diese für die in anderen Anlagen zu verwendenden Isolierstoffe nicht für nötig hielt.

¹⁾ Mitt. Vereinigg. El.-Werke Nr. 291, S. 186.

Seewasserbeständigkeit.

Diese Untersuchung ist notwendig für alle Konstruktionen, die Seeluft- und Seewasereinflüssen ausgesetzt sind. Es kommen hierfür besonders in Frage die Isolationen für die Luftleiter der drahtlosen Telegraphie, die auf Schiffen dauernd in freier Luft hängen, auf Tauchbooten naturgemäß auch dem unmittelbaren Einfluß des Seewassers unterliegen, ferner die Isolatoren für Hochspannungsleitungen in Küstengebieten, soweit nicht Porzellan verwendet wird.

Die Prüfung kann ganz ähnlich der im vorigen Absatz behandelten auf Säurebeständigkeit durchgeführt werden. Die Lagerung in Seewasser geschieht mindestens 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 Abweichung wird gerade der Isolationswiderstand zeigen. Es ist dabei eine Messung auszuführen mit der aus dem Wasser genommenen und etwa 1 Stunde in senkrechter Lage 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, es ist angebracht, sie auf Fertigwaren auszudehnen.

Der Vorgang der notwendig hiermit zu verbindenden elektrischen Prüfung ist einem späteren Absatz zu entnehmen.

Wetterbeständigkeit (Alterung).

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

Die Veränderungen werden hervorgerufen durch atmosphärische wie elektrische Einflüsse. Feuchte Luft, Säuredämpfe, Ozonisierung und die unmittelbare Einwirkung der Spannung, Randstrahlung und Glimmlicht vermögen mit der Zeit eine Alterung oder Änderung herbeizuführen.

Die Ausführung diesbezüglicher Versuche ist sehr schwer. Sie müssen sich auf sehr lange Zeiträume erstrecken, lassen sich aber den-

noch nicht immer den in der Praxis vorkommenden Anforderungen vollkommen anpassen. Bestimmte Prüfungsvorschläge lassen sich daher nicht machen; es wird im allgemeinen nur möglich sein, stichweise Proben aus den Lieferungen zu entnehmen und diese dem Freien zur Einwirkung der Witterung auszusetzen und in bestimmten Abständen augenscheinliche Besichtigungen und auch elektrische Prüfungen vorzunehmen. Es ist ratsam, diese Proben aus den ausgeführten Anlagen einzufordern.

Die Bestimmung des Ausdehnungskoeffizienten.

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

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

Es gibt hierfür verschiedene Verfahren; das eine benutzt das unter „Zugfestigkeit (Maschineneichung)“ beschriebene Spiegelgerät von Martens, eine andere den Komparator von Zeiß, weitere werden in folgendem gleichfalls noch beschrieben.

Das Spiegelgerät (Abb. 28 und 29) gestattet die Durchführung der Messung unter Temperatursteigerung fortlaufend über die ganze Skala. Sie gibt vollständig einwandfreie Werte. Das Meßverfahren und die Handhabung des Gerätes ist früher behandelt, es erübrigt sich, hier nochmals darauf einzugehen.

Das Arbeiten mit dem Spiegelgerät ist schwierig, es erfordert geübtes Personal und vor allem einen vollständig erschütterungsfreien Boden. In den Stockwerken eines Fabrikgebäudes lassen sich die Messungen oft nur schwer ausführen, da selbst entfernt laufende Antriebswellen, Motore u. dgl. ausreichen, das Bild im Fernrohr zu stören. Es sei darum ein anderes Verfahren angegeben, das auch noch für die Praxis ausreichende Werte erzielen läßt, dabei von den vorbeschriebenen Umständen unabhängig ist.

Die Abb. 58 zeigt den Zeißschen Komparator, der für diese Untersuchungen mit Erfolg benutzt ist.

Auf einer horizontalen Gleitbahn B ist ein auf Rollen laufender Schlitten angebracht, dessen erste Hälfte einen Tisch T für die Auflegung der zu untersuchenden Probe trägt, auf der zweiten Hälfte ist festmontiert 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

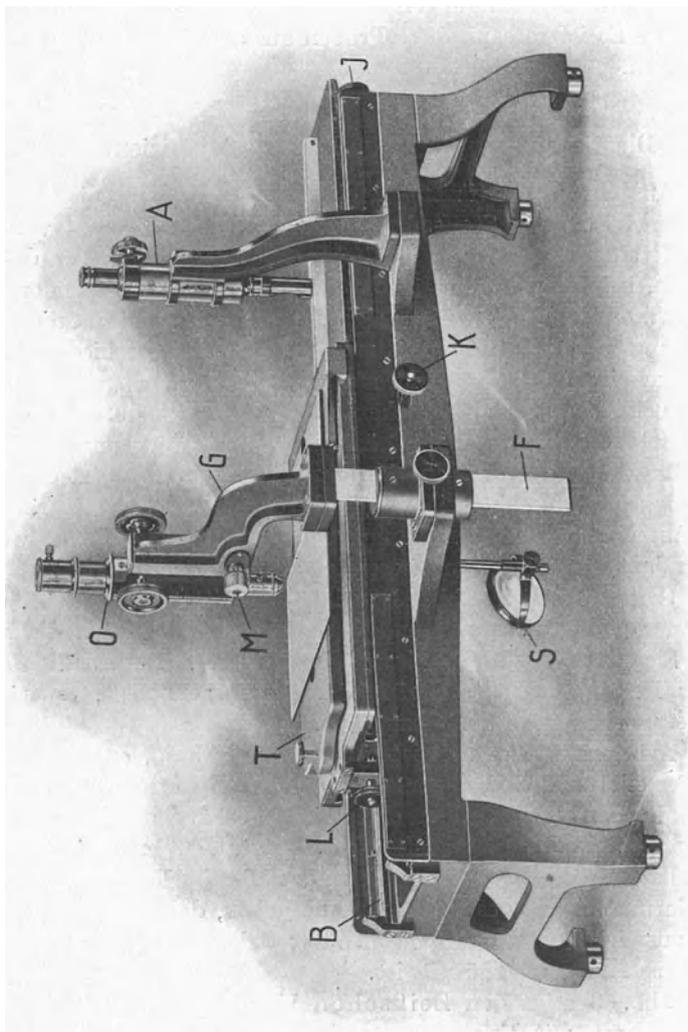


Abb. 58. Komparator von Zeiß.

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 *I*, danach wird am rechten Mikroskop *A* der Zahlenwert der

Skala abgelesen und niedergeschrieben. Die Probe bleibt unberührt liegen, der Tisch wird mit K nach links geschoben und die zweite Marke der Probe 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 oder 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. Der Temperaturvergleich 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 $+80^\circ$.

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 Gerätes mitzuliefernden Beschreibung enthaltenen Erläuterung.

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

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

Dieses Verfahren dürfte im allgemeinen ausreichen, es gibt wenigstens in den Graden über 0° genügend genaue Werte und ist in jedem Werkslaboratorium 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 eindeutigsten Werte und läßt die Messung über eine sehr große Temperaturskala zu.

Das Gerät ist von A. Lemann und A. Werner unter Mitteilungen der P. T. R. mit der Bezeichnung „Apparat zur Bestimmung thermischer Ausdehnungskoeffizienten bei höheren Temperaturen“ in der Zeitschrift für Instrumentenkunde¹⁾ ausführlich beschrieben.

Die Abb. 59 zeigt das Prüfgerät, wie es von der Firma C. P. Goerz A.-G. in Berlin-Friedenau geliefert wird, im Schnitt.

¹⁾ Zeitschr. f. Instrumentenkunde 1913. Heft 3.

Das Prinzip ist folgendes: Die zu untersuchende Probe A 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 Q auf einem im U-Bogen befindlichen Körner K parallel zu den Schenkeln eingesetzt; den oberen Haltepunkt bildet ein gleichfalls zwischen den Schenkeln geführtes Quarzstück S , das mit Federdruck und Körnerspitze die Probe in ihrer Länge feststellt. Das ganze Gestänge ist an einer horizontalen Platte G befestigt, die das den U-Körper umschließende Heizgefäß Z 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 ein in sinnreicher Weise angeordnetes, mit einem Prisma ausgerüstetes kippbares Tischchen P_2 . Das Prisma liegt horizontal, eine Kathetenseite nach vorn, die zweite nach oben gerichtet. Hierüber ist feststehend ein gleiches Prisma P_1 angebracht, eine Kathetenseite nach unten, eine nach vorn weisend. Die beiden horizontalen Katheten liegen mit ganz geringem Luftraum voneinander getrennt. Bei Verlängerung der Probe durch Wärmeeinfluß wird das Tischchen einseitig gehoben (gekippt), die Prismen verschieben sich zueinander, die Veränderung wird, ähnlich wie beim Martens-Gerät, mit Fernrohr abgelesen.

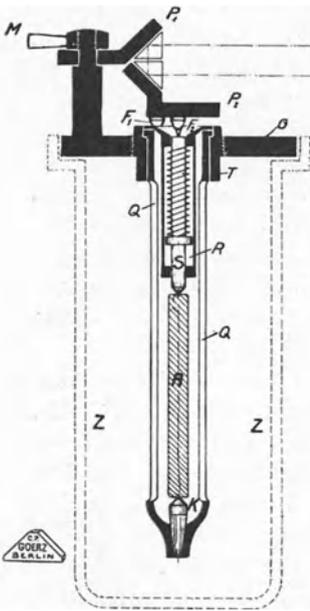


Abb. 59. Ausdehnungsmeßgerät nach Lemann & Werner, von Goertz, Friedenau.

Die üblichen Geräte zur Messung der Werkstoffdicken, wie Federtaster, Schieblehren, Fühlhebel, Mikrometerschrauben, selbst bester Konstruktion, reichen für die bei vielen Isolierstoffen 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 untersuchenden Stoffe sind.

Dickenbestimmungen.

Als Beispiel seien hierfür die Seidenpapiere und Glimmerplatten für den Kondensatorbau angeführt. Die vielen Tausende von Messungen, die hierfür fabrikationsmäßig nötig sind, müssen unbedingt sichere und von jeder persönlichen Handhabung freie Meßwerte ergeben.

Es werden in folgendem einige solcher Meßgeräte besprochen.

In der Abb. 60 ist ein „Schopperscher Dickenmesser“ wiedergegeben. Die Messung erfolgt hier unter Federdruck zwischen Platten von etwa 15 mm \varnothing . Zur Ablesung der Meßwerte dient eine Skala, die selbst $\frac{1}{1000}$ mm erkennen läßt.

Für Messungen in geringerer Zahl ist das Gerät genügend genau und ausreichend, für fabrikationsmäßige 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 bekanntes, in die Praxis aber überraschend schnell eingeführtes Meßgerät, das „Hirthsche Minimeter“, von den Fortunawerken in Stuttgart-Cannstatt gebaut, kurz beschrieben.

Die Abb. 61 zeigt das Prinzip des nur mit einer auf Schneiden ruhenden Hebelübersetzung arbeitenden Gerätes. Die Abnutzung ist im Gegensatz zu allen mit Verzahnung ausgerüsteten Konstruktionen eine äußerst geringe, die Genauigkeit dementsprechend hoch und dauernd gleichbleibend. Das System nach Abb. 61 ist in eine Hülse, nach Abb. 62 als geschlossenes Ganzes eingebaut, das die verschiedenartigste Verwendung und Einspannung gestattet. Die Fortunawerke liefern die den jeweilig gestellten Forderungen angepaßten Halter für Draht-, Platten-, Gewinde-, Tiefen-, Außen- und Innenmessungen. Für Massenmessungen in der elektrotechnischen Werkstatt wird sich meist ein Ständer nach Abb. 63 eignen.



Abb. 60. Dickenmesser von L. Schopper.



Abb. 61. Prinzip des Hirth-Minimeters, Fortuna-Werke, Stuttgart-Cannstatt.

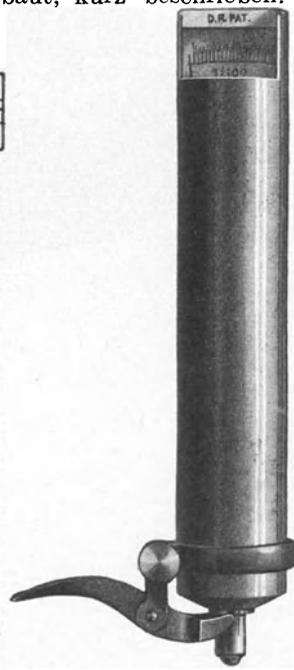


Abb. 62. Einbau

Die Meßgenauigkeit kann bei diesem Gerät vom Arbeiter nicht beeinflusst werden, die Schnelligkeit ist außerordentlich hoch.

Der unmittelbare Meßbereich beträgt je nach der Wahl der Übersetzung bis 0,4 mm. Durch Einsatz von Meßkalibern kann die einmalige

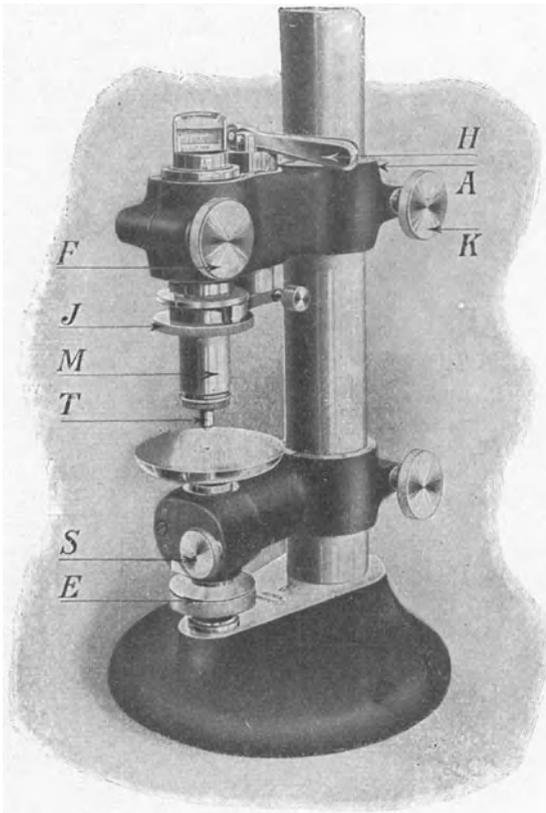


Abb. 63. Hirth-Minimeter in Gestell.

Einstellung für beliebige Meßweiten ausgeführt werden.

Ein ganz ähnliches Gerät wird jetzt unter dem Namen „Optimeter“ von der Firma Zeiß in Jena hergestellt.

Es sei an dieser Stelle bemerkt, daß jüngst eine die Dicken- und Längen-Meßgeräte ausschließ-lich behandelnde Arbeit von Berndt-Schulz¹⁾ erschienen ist. Es werden darin die Vorteile und Fehler aller bekannten Meßverfahren eingehend besprochen, so daß sich unter Hinweis auf dieses Buch die weitere Ausgestaltung des Aufsatzes hier erübrigt.

Die Bestimmung des spezifischen Gewichtes.

Die Errechnung erfolgt aus der Gewichtsbestimmung einer der für die vorigen Proben vorbereiteten Platten im Anlieferungszustand. Die Maße untereinander der an sich beliebig großen Proben müssen selbstverständlich mit größter Sorgfalt festgestellt werden. Bei unregelmäßig geformten Proben ist Abwiegen und Prüfung der

¹⁾ Berndt-Schulz: Grundlagen und Geräte für technische Längenmessungen. Berlin: Julius Springer.

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 spezifischen Gewichtes sind verschiedene zu diesem Zweck besonders gearbeitete sog. hydrostatische Wagen gebaut worden; es seien hier nur als Beispiele die Nicolsonsche Senkwage und die Westphalsche Wage angeführt.

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

Die Werte für die einzelnen Isolierstoffe sind, soweit bekannt, im Teil IB des Buches bei diesen selbst angeführt. Um aber der Arbeit die notwendige Vollständigkeit zu geben, seien hier die spezifischen Gewichte der für die Elektrotechnik wichtigsten Stoffe angegeben.

Spezifische Gewichte fester Körper.
[Aus der Hütte¹⁾.]

Aluminium, gehäm- mert	2,75	Gußeisen	7,25
Antimon	6,7	Guttapercha	0,96 ÷ 0,99
Arsen	5,7 ÷ 5,8	Hanfaser, lufttrock- ken	1,5
Asbest	2,1 ÷ 2,8	Harz	1,07
Blei	11,25 ÷ 11,37	Holz, lufttrocken:	
Bleiglanz	7,3 ÷ 7,6	Ahorn	0,53 ÷ 0,81
Braunstein	3,7 ÷ 4,6	Akazie	0,58 ÷ 0,85
Bronze	7,4 ÷ 8,9	Birke	0,51 ÷ 0,77
Cadmium	8,6	Eiche	0,69 ÷ 0,89
Eis	0,88 ÷ 0,92	Esche	0,57 ÷ 0,94
Eisen	7,8 ÷ 8	Fichte	0,35 ÷ 0,6
Elfenbein	1,83 ÷ 1,92	Kiefer	0,31 ÷ 0,76
Flußstahl	7,86	Linde	0,32 ÷ 0,59
Flußeisen	7,85	Mahagoni	0,56 ÷ 1,06
Gips	1,81	Nußbaum	0,6 ÷ 0,81
Glas (Fenster-) . . .	2,4 ÷ 2,6	Pappel	0,39 ÷ 0,59
Glas (Flint-)	3,15 ÷ 3,9	Pockholz	1,17 ÷ 1,39
Glas (Kron-)	2,45 ÷ 2,72	Roßkastanie	0,38
Glimmer	2,65	Rotbuche	0,66 ÷ 0,83
Gold, gehämmert . .	19,3 ÷ 19,35	Weißbuche	0,65 ÷ 0,82
Graphit	1,9 ÷ 2,3	Holzkohle, lufterfüllt	0,4
Gummifabrikate . . .	1,0 ÷ 2,0	Kupfer	8,8 ÷ 9,0

¹⁾ Hütte, Des Ingenieurs Taschenbuch.

Marmor	2,52 ÷ 2,85	Schnee, lose	0,125
Messing	8,43 ÷ 8,73	Schwefel, kristall.	1,96
Neusilber	8,4 ÷ 8,7	Schwefelkies	4,9 ÷ 5,2
Nickel	8,9 ÷ 9,2	Silber, gehämmert	10,5 ÷ 10,6
Papier	0,7 ÷ 1,15	Speckstein	2,6 ÷ 2,8
Paraffin	0,87 ÷ 0,91	Stahl	7,86
Phosphorbronze	8,8	Steinkohle i. Stück.	1,2 ÷ 1,5
Platin, gehämmert	21,3	Wachs	0,95 ÷ 0,98
Porzellan	2,29 ÷ 2,5	Weißmetall	7,1
Quarz	2,5 ÷ 2,8	Wismut, gegossen	9,82
Salmiak	1,5 ÷ 1,6	Wolfram	17,5
Schiefer	2,65 ÷ 2,7	Zink, gewalzt	7,13 ÷ 7,2
Schmirgel	4,0	Zinn, gewalzt	7,3 ÷ 7,5

Flüssige Stoffe:

Glycerin	1,26 bei 0°	Rizinusöl	0,97 bei 15°
Harzöl	0,96 „ 15°	Schwefelsäure	1,05 ÷ 1,89 „ 15°
Mineralöle	0,850 ÷ 0,935	Seewasser	1,02 ÷ 1,03 „ 15°
Quecksilber	13,59 „ 0°		

Aufbau eines Festigkeitslaboratoriums.

Die mit dem Vorstehenden gegebene Kenntnis der Einzel-Prüfgeräte wie der Prüfverfahren wird dem Ingenieur eine genügende Unterlage für die Anforderungen der Praxis geschaffen haben. Er wird in der Lage sein, das für den jeweilig vorliegenden Fall geeignete Prüfgerät zu finden.

Größere Überlegungen wird noch die Anlage eines ganzen Laboratoriums verlangen; auch hierfür soll durch ein Beispiel Anleitung gegeben werden. In der Abb. 64 ist der Grundriß des mechanischen Laboratoriums der Porzellanfabrik Hermsdorf i. Th., wie es vom Verfasser entworfen und ausgeführt ist, wiedergegeben. Die Abb. 65 zeigt eine Innenteilaufnahme.

Das Laboratorium enthält folgende Maschinen und Geräte (Abb. 64):

- a) Dreikolbige Druckflüssigkeitspumpe mit Luftsammler und selbsttätiger Regelung (Betriebsdruck 350 at) zur wechselweisen Speisung der drei Prüfmaschinen *b*, *c*, *d*.
- b) 500-t-Presse für eine Prüfkörperhöhe bis zu 2 m, Kraftmessung im Zylinder.
- c) 30 t stehende Zerreißmaschine für Zug-, Druck- und Biegeproben, Kraftmessung mittels Meßdose.
- d) 10 t liegende Vielfach-Prüfmaschine (D.R.P. a.) für Zug-, Biege-

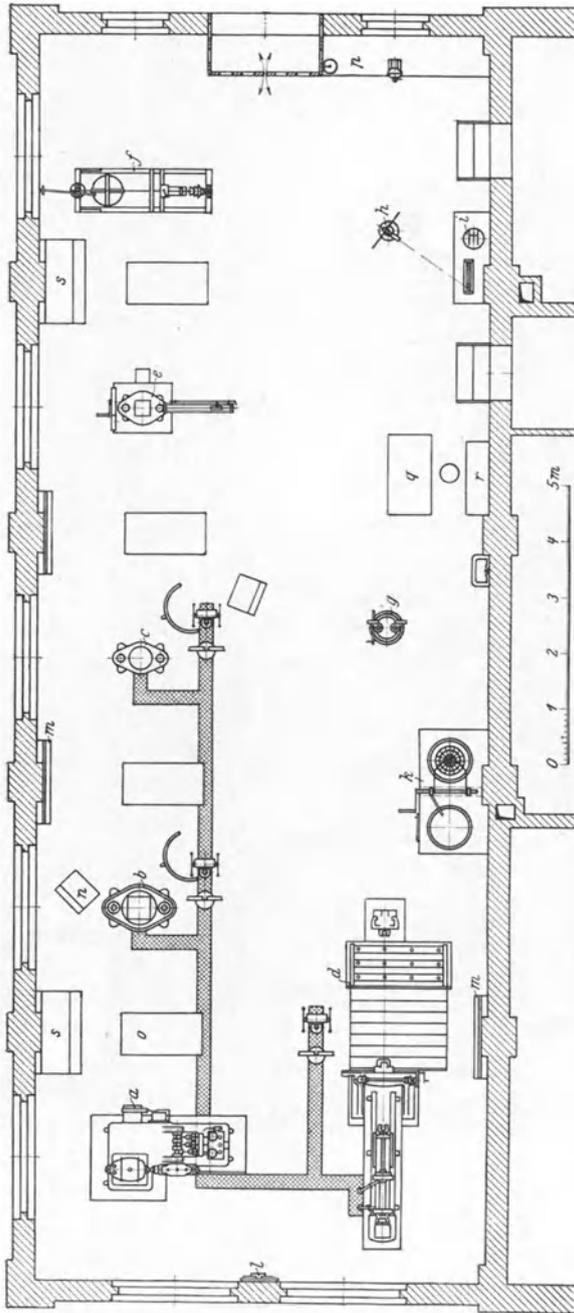


Abb. 64. Grundriß des mechanisch-technischen Laboratoriums der Porzellanfabrik Hermsdorf i. Th.

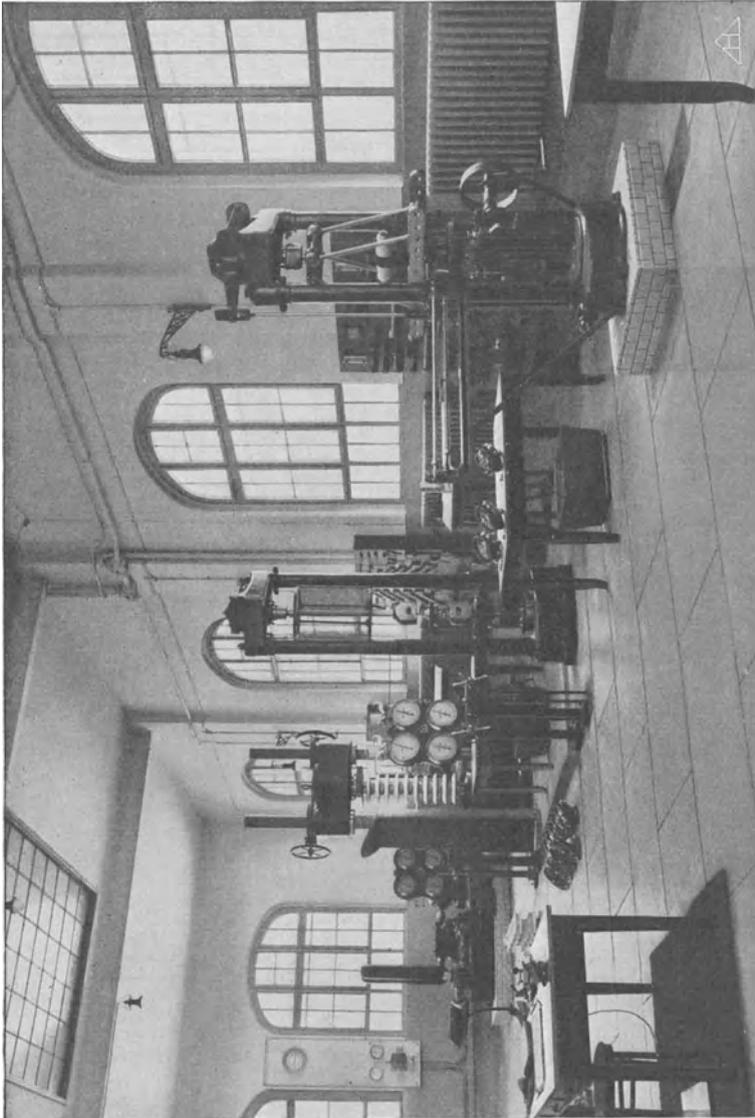


Abb. 65. Innenteilansicht nach Abb. 64.

und Drehversuche unter teilweise gleichzeitiger thermischer oder elektrischer Belastung. Kraftmessung mit Meßdose.

- e) 20 t stehende Zerreißmaschine mit Handantrieb für Zug-, Druck- und Biegeversuche. Verwendung hauptsächlich für Dauerbelastungen. Kraftmessung durch Laufgewichtswage.

- f) Biegegerät für Freileitungs-Stützenisolatoren mit Wasserlast und Hebelübersetzung für Dauerprüfungen.
- g) 1 t stehende Zerreißmaschine mit Handantrieb und Meßdosenablesung für Kleinisolatoren und Werkstoffproben.
- h) Gerät zur Bestimmung des Ausdehnungskoeffizienten an Werkstoffproben.
- i) Pendelschlagwerk für 10 cmkg Arbeitsinhalt für Werkstoffproben.
- k) Tauchgerät für Prüfungen unter Temperaturwechsel.
- l) Schalttafel.
- m) Tafeln mit Maschinenteilen.
- n) Versetzbare Schreibpulte.
- o) Arbeitstische.
- p) Werkbank.
- q) Schreibtisch.
- r) Bücherschrank.
- s) Feingeräteschränke.

Eine ausführliche Beschreibung ist bereits in technischen Zeitschriften erschienen^{1) 2)}. Der Leser wird verschiedene der vorbeschriebenen Maschinen darin wiedererkennen. Eine volle Wiedergabe der Aufsätze erübrigt sich durch diese Hinweise. Die Durchsicht wird jedoch für weitere neue Anlagen manche Anregung bieten.

V. Elektrische Prüfungen.

Bearbeitet von K. Bergk.

Bei Durcharbeitung auch der zweiten Auflage des Buches blieb es Absicht des Herausgebers, besonders die Teile ausführlich zu gestalten, deren Kenntnis dem Elektrotechniker bei seiner praktischen und theoretischen Ausbildung fremd geblieben war. Der Umfang der Gesamtarbeit ist aus diesem Grund erheblich gewachsen, das Buch damit verteuert. Um so eher konnte der rein elektrotechnische Teil kurz gehalten werden und fast auf die Wiedergabe der vorliegenden, ziemlich abschließend vom V. D. E. bearbeiteten Vorschriften beschränkt bleiben. Gerade die elektrische Werkstoffprüfung hat in Zeitschriften wie von namhaften Schriftstellern eingehende Behandlung gefunden und ist damit dem Elektrotechniker wohl zumeist geläufig. Es kann darum auf die besonders umfangreichen

1) Demuth: Die Entwicklung der Isolatoren für drahtlose Telegraphie und ihre mechan.-techn. Prüfung. Zeitschr. f. Hochfrequenztechnik Bd. 20, 1922. Heft 4.

2) Demuth: Die mechan.-techn. Werkstoffprüfung in der Porzellanfabrikation. E. T. Z. 1922, S. 605.

Arbeiten von Schwaiger¹⁾ ²⁾ verwiesen werden; bei Aufführung der Einzelprüfungen sind dann noch andere Veröffentlichungen angezogen.

Im folgenden werden hiernach nur kurz die Wege angegeben, die bei der fabrikmäßigen elektrischen Prüfung von Isolierstoffen beachtet werden müssen. Es ist Wert darauf gelegt, die Untersuchungen nicht vom rein wissenschaftlichen Standpunkt aus, sondern 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 einen Isolierstoff als solchen allgemein in der Schwach-, Starkstrom- und Hochspannungstechnik stellen muß, werden bei Bezeichnung der einzelnen Punkte von Fall zu Fall auch die Verhältnisse in Rücksicht gezogen werden, die sich bei der Verwendung des Werkstoffes in der Hochfrequenztechnik ergeben (Kondensatoren usw.) und die eine Auswahl desselben unter anderen Gesichtspunkten, als in der Hochspannungstechnik allgemein üblich, erforderlich machen.

Wenn auch bei einem Isolierstoff 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 und umfassenden Prüfung wird sich immer bezahlt machen, zumal bei der Vielseitigkeit der für den gleichen Verwendungszweck zur Verfügung stehenden Werkstoffe. Von Wichtigkeit ist eine solche Prüfung besonders bei Ersatzstoffen, die bei der Herstellung infolge Fabrikations- oder Rohstoffwechsels von Lieferung zu Lieferung verschieden ausfallen können. Es empfiehlt sich deshalb immer, auch bei bereits einmal untersuchten Werkstoffen, bei jeder Neulieferung Prüfungen anzustellen, die sich dann allerdings auf die für die Verwendung hauptsächlich in Betracht kommenden Punkte beschränken können.

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

¹⁾ Schwaiger: Über die Prüfung der elektrischen Eigenschaften von Isoliermaterialien. Mitteil. des Hochsp.-Labor. der Techn. Hochschule Karlsruhe.

²⁾ Schwaiger: Lehrbuch der elektr. Festigkeit der Isoliermaterialien. Berlin: Julius Springer 1919.

Die Hochspannungs-Prüfanlage.

Bei Einrichtung der **Hochspannungsprüfanlage** muß auf genügenden Schutz des Bedienungspersonals geachtet werden (siehe auch Schluß dieses Abschnittes). Die Regelung der Prüfspannung soll stufenlos und in möglichst weiten Grenzen ausführbar sein.

Bei Vorhandensein eines **Wechselstromanschlusses** ist dies leicht und zweckmäßig zu erreichen durch Verwendung eines Hochspannungs-**transformators** mit mehreren Primärstufen in Verbindung mit einer Tauchdrossel, welche die einzelnen Stufen überbrückt, oder besser noch durch einen regelbaren Hochspannungstransformator (Abb. 66).

Ist nur **Gleichstromanschluß** vorhanden, so ist zur Erzeugung der benötigten Wechselspannung entweder ein Einankerumformer zu verwenden, wobei die Regelung auf der Wechselstromseite, wie oben angegeben, ausgeführt wird (Abb. 67), oder ein Maschinensatz, bestehend aus einem Gleichstrommotor, der mit einem Wechselstromgenerator gekuppelt ist, aufzustellen und die Regelung der Wechselspannung mit Hilfe der Flederregung des Wechselstromgenerators zu betätigen (Abb. 68). Dies geschieht

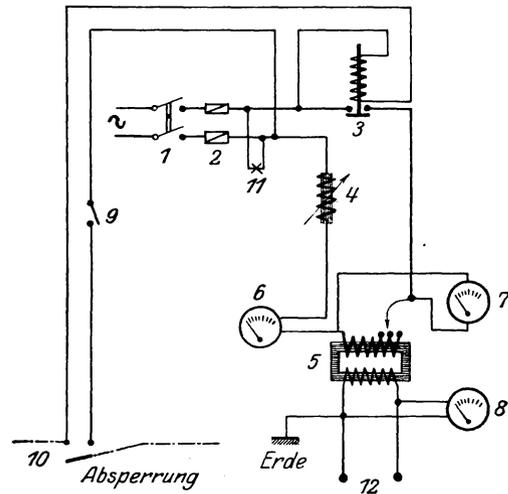


Abb. 66. Schaltbild einer Hochspannungsprüfanlage bei Wechselstromanschluß.

Zeichenerklärung:

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

auf die Weise, daß man vor das Feld des Wechselstromgenerators entweder einen regelbaren Spannungsteiler (Potentiometer) oder aber Schiebewiderstände legt. Im letzteren Fall ist man gezwungen, relativ hohe Widerstände zu nehmen, um auch auf niedrigere Spannungswerte kommen zu können, und es ist daher besser, 2 Hochspannungstransformatoren mit verschiedenen Übersetzungsverhältnissen zu wählen. Überhaupt ist es zweckmäßig, in allen vorher beschriebenen Fällen 2 Hochspannungstransformatoren zu verwenden, da hierdurch eine bessere Regelung der Spannung, hauptsächlich für niedrigere Werte, erzielt wird. Die beiden Transformatoren werden mit einem doppel-**piligen Umschalter** jeweils an die Wechselstromquelle angelegt.

Zum Ablesen der Hochspannung kann man bis etwa 10 000 Volt mit Vorteil und genügender Genauigkeit statische Voltmeter verwenden; für genügend sichere Ablesungen bis zu dieser Spannung sind 3 Stück nötig, und zwar mit einem jeweiligen Meßbereich bis 2500, 5000 und 10 000 Volt. Bei höherer Spannung wird bei diesen Instrumenten die Ablesung zu ungenau, und man arbeitet zweckmäßiger mit

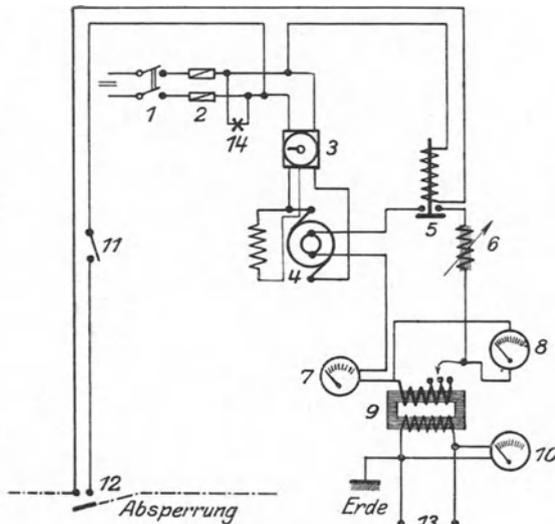


Abb. 67. Schaltbild einer Hochspannungsprüfanlage bei Gleichstromanschluß. Einankerumformer.

Zeichenerklärung:

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

Voltmetern auf der Niederspannungsseite des Transformators, die für die verschiedenen Übersetzungsverhältnisse der einzelnen Abzweigungen des Transformators am besten mittels Kurven zu eichen sind und deren Meßbereiche sich nach der angelegten Wechselspannung richten. In diesem Falle kommt man dann mit 2 Instrumenten gut aus.

In die Primärleitung des Transformators wird bei allen diesen Anordnungen zweckmäßig ein Amperemeter eingeschaltet, an dem man beginnende Durchschläge schon erkennen kann, ehe der Werkstoff zerstört wird.

Um Prüfungen mit **Hochfrequenz** anstellen zu können, wird, mit dem Hochspannungstransformator stöpselbar verbunden, ein Schwingungskreis, bestehend aus Funkenstrecke, Kondensator (Leidener Flasche) und Selbstinduktion (Kupferbandspule), vorgesehen sowie in Verbindung mit diesem ein Sekundärkreis, bestehend aus einer Koppungsspule mit verschiedenen Abzweigen, einer veränderlichen Selbstinduktion (Variometer) und einem Stufenkondensator. Ein Amperemeter im Sekundärkreis gestattet die Einstellung der Resonanz, während der zu prüfende Werkstoff an 2 Klemmen, welche zu den beiden Belägen des Kondensators führen, angeschlossen werden kann (Abb. 69). Die Wahl der Funkenstrecken sollte sich nach dem Verwendungszweck des Werkstoffes richten; es können sowohl eine oder mehrere in Reihe geschaltete Löschfunkenstrecken (Plattenfunkenstrecken in sehr ge-

ringem Abstand voneinander) als auch pilz- oder stabförmige Funkenstrecken Verwendung finden. In ersterem Falle und bei Verwendung des Transformators mit möglichst niedrigem Übersetzungsverhältnis erhält man in der Zeiteinheit zahlreiche Funken mit relativ niederen Span-

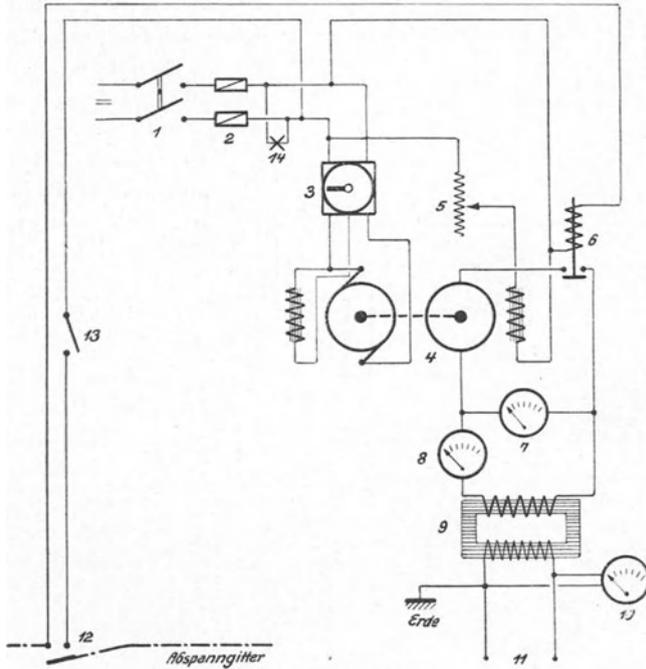


Abb. 68. Schaltbild einer Hochspannungsprüfanlage bei Gleichstromanschluß. Zweiankerumformer.

Zeichenerklärung:

- | | |
|--------------------------------|-------------------------------|
| 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 |

nungsamplituden, im zweiten Falle seltener Funken mit hohen Spannungsamplituden. An Stelle des induktiv gekoppelten Sekundärkreises kann man auch, besonders bei Verwendung stabförmiger Funkenstrecken in Verbindung mit kleinen Kapazitäten (Leidener-Flaschen), eine nach Art eines Tesla-Transformators ausgebildete Schwingungsspule benutzen (Abb. 69 punktiert). Die Resonanzeinstellung erfolgt ebenfalls mit Hilfe des Variometers, während der zu prüfende Werkstoff zwischen Anfang und Ende der ganzen Spule geschaltet wird. Eine einwandfreie Spannungsmessung wie bei Niederfrequenzprüfungen ist bei Hochfrequenz nicht ohne weiteres möglich und auch nicht unbedingt nötig.

Man kann sich wohl meistens damit begnügen, ungefähr den normalen Verwendungszustand des Werkstoffes herzustellen und durch Steigerung der Energie im Primärkreis (Erhöhung der Funkenstreckenzahl oder Vergrößerung

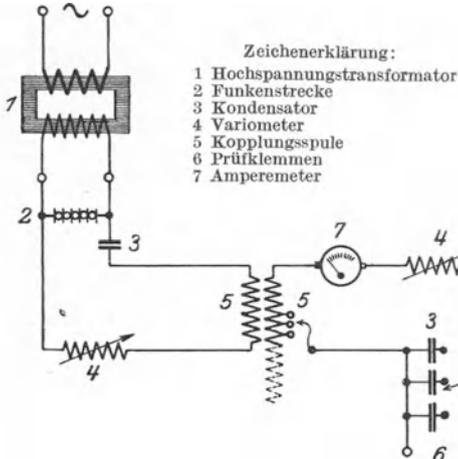


Abb. 69. Schaltbild für Hochfrequenzprüfungen.

des Funkenstreckenabstandes bei gleichbleibender Funkenzahl) die Belastung des zu prüfenden Werkstoffes 50—100 vH je nach Verwendungszweck hinaufzutreiben.

Der Vollständigkeit halber sei hier eine Einrichtung angeführt, die gestattet, die absolute Spannung an der Prüfstelle zu bestimmen (Abb. 70). Diese Einrichtung ist besonders zur Feststellung der absoluten Spannungen nicht sinusförmiger Wechselströme geeignet, kann aber auch mit Vorteil zur Messung der

absoluten Spannung von Hochfrequenzströmen benutzt werden.

Parallel dem zu prüfenden Werkstoff wird ein Glühventil (Elektronenröhre) in Verbindung mit einem statischen Voltmeter, dem ein

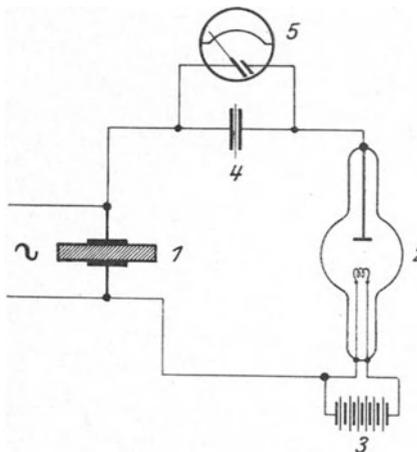


Abb. 70. Schaltbild für Spannungsmessung bei Hochfrequenz.

- Zeichenerklärung:
 1 Werkstoffprobe
 2 Glühventil
 3 Heizbatterie
 4 Kondensator
 5 Statisches Voltmeter

Kondensator parallel geschaltet ist, gelegt. Infolge der Wirkung des Ventils, elektrische Ströme nur in einer Richtung durchgehen zu lassen, wird der Kondensator nach und nach auf die vorhandene Spitzenspannung aufgeladen und diese durch das statische Voltmeter direkt gemessen.

Sollen auch Prüfungen mit hochgespanntem Gleichstrom angestellt werden, so ist der Einbau eines Wechselstromgleichrichters in die Prüfanlage erforderlich. (Quecksilberdampfgleichrichter oder Gleichrichter mit Glühkathode, notfalls Reihenschaltung mehrerer solcher.) Parallel zu diesen Gleichrichtern ist ein großer Kondensator zu schalten, um den durch die

Gleichrichter hergestellten pulsierenden Gleichstrom in einen solchen möglichst ohne Pulsationen umzuwandeln. Hier sei bemerkt, daß Oxyd-Glühkathodengleichrichter bei Verwendung von 50 periodischem Wechselstrom meistens sehr starken Spannungsabfall zeigen und mit Vorteil erst dann verwendet werden können, wenn höherperiodischer Wechselstrom (200 oder mehr Perioden) zur Verfügung steht.

Zu der Gesamtprüfanlage gehört noch ein Gefäß (größeres Akkumulatorglas, Porzellanbottich oder isoliert aufgestellter eiserner Behälter) mit wasserfreiem Paraffinöl, um Spannungsprüfungen unter Öl vornehmen zu können. Das ist im allgemeinen nur bei solchen Werkstoffproben nötig, bei welchen infolge ihrer kleinen Abmessungen Randüberschläge eintreten, ohne daß ein Durchschlag zu erzielen ist. Für Durchschlagsprüfungen an Porzellanisolatoren, deren Formen und Scherbenstärken so bemessen sind, daß stets eher Überschlag als Durchschlag eintritt, ist ein derartiges Gefäß unbedingtes Erfordernis.

Alle Hochspannung führenden Teile müssen gemäß den Vorschriften des V. D. E. vor Berühren geschützt sein, ebenso dürfen solche Leitungen nicht an die Schalttafel führen. Der Raum, in dem sich die Anlage befindet, muß als Hochspannungsraum kenntlich sein und es darf keinesfalls ungeschultes Personal zu demselben Zutritt haben. Im Hochspannungsraum selbst sind die hochspannungsführenden Teile mit Gitter abzugrenzen, und es ist eine Vorrichtung vorzusehen (Blockierung), die bei Öffnung des Gitters die Anlage spannungslos macht oder die Türen verriegelt, solange die Hochspannung nicht abgeschaltet ist (siehe Abbildungen).

Nachdem hiermit die verschiedenen Möglichkeiten für die Ausführung der Prüfanlage geschildert sind, sei, wie zum Schluß des mechanischen Teiles, auch hier noch auf eine Veröffentlichung über die Einrichtung ganzer Prüffelder hingewiesen, die von Hertel in der Siemens-Zeitschrift gegeben ist¹⁾. Es werden Prüfanlagen für 300 und 500 kV in einer Anordnung, wie sie hauptsächlich für die Massenprüfungen in Porzellanfabriken in Frage kommen, behandelt.

Hiernach kann zur Beschreibung der Einzelprüfarten übergegangen werden.

Die Durchschlagsfestigkeit

eines Werkstoffes wird bestimmt durch Messung der elektrischen Spannung, welche eben nötig ist, die Probe zu durchschlagen; hierbei ist, wie bei der mechanischen Prüfung, die Art der Herstellung und

¹⁾ Hertel: Ausführung von Hochspannungsprüfanlagen. Siemens-Zeitschr. 1921, S. 352.

Verwendung des zu untersuchenden Werkstoffes zu berücksichtigen, 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 Werkstoffes zu erhalten, müssen die Versuche für beide Richtungen durchgeführt werden.

Weiterhin ist zu empfehlen, die Prüfung nicht nur bei Raumtemperaturen auszuführen, sondern, wie bei den mechanischen Prüfungen bereits vorgesehen, auch über einen größeren Temperaturbereich auszudehnen [siehe auch Gra u¹⁾], je nachdem eine Verwendung in der Praxis zu erwarten ist. Die Unterschiede können besonders bei Werkstoffen, die mit Lacken oder leichtfließenden Harzen hergestellt sind, 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. am Orte der Verwendung. Alle elektrischen Prüfungen sind deshalb, soweit für den jeweilig vorliegenden Fall mit solchen Einflüssen gerechnet werden muß, auf entsprechend vorbehandelte Platten auszudehnen. In dieser Arbeit sind die einzelnen Prüfungen beschrieben, die verschiedenen Zusammenstellungen 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 Dicke derselben, weshalb es keinesfalls genügt, eine bestimmte Dicke zu untersuchen und hiernach die Festigkeit einer anderen zu errechnen. Der Wert für die Dickeneinheit sinkt mit zunehmender Stärke, wie dies die weiter hinten wiedergegebenen Durchschlagkurven von Porzellan oder Glimmer auch erkennen lassen. Zweckmäßig ist die Beschaffung von 10 Platten, die je nach der elektrischen Güte des Werkstoffes um Zehntel 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 Zustand im fertigen Gerät entsprechen. Für einzelne Werkstoffe, wie z. B. Glimmer, wird die Beschaffung so großer Platten Schwierigkeit machen, man kommt dann auch mit kleinen Stücken aus, muß aber unter Umständen die Prüfungen unter Öl vornehmen, um Randüberschläge zu vermeiden. Zu beachten ist hierbei, daß die Durchschlagswerte unter Öl niedriger liegen, weil die Beanspruchung infolge der Unterdrückung der Büschelentladungen höher ist.

¹⁾ Gra u: Durchschlagsspannung und Temperatur. E. u. M. 1908, S. 579.

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 poliertem 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 Werkstoff sicherer zu entdecken und so schneller zu einwandfreien Ergebnissen zu kommen, da bei Verwendung von Spitzen das Treffen von Fehlern mehr Zufallssache ist. Für die Untersuchung von röhrenförmigen Werkstoffen kommen nur Stanniolwicklungen als äußere Elektrode zur Verwendung, während das Innere der Röhre mit Stanniol ausgestopft oder auch bei engen Röhren Quecksilber zur Füllung verwendet wird.

Die Versuchsplatte wird auf die auf einem Isolator oder einer Glasplatte befestigte untere Elektrode aufgelegt und die obere Elektrode so aufgesetzt, daß dieselbe sich mit der unteren genau deckt.

Die **Spannungseinschaltung** erfolgt nun unter Einhaltung der notwendigen Vorsichtsmaßregeln. Die Steigerung bis zum Durchschlag soll stetig vor sich gehen, bestimmte Zeitvorschriften lassen sich für diese Steigerung nicht geben. Jedenfalls soll aber der Vorgang gleichmäßig für alle Proben durchgeführt werden.

Die **Beobachtungen beim Versuch** lassen verschiedene Stufen erkennen. 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. Da sich die ersten dieser Stufen vornehmlich nur durch schwache Lichterscheinungen bemerkbar machen, ist die Arbeit möglichst in ganz verdunkeltem Raum vorzunehmen, es sind dabei nur die Meßinstrumente mit abgeblendetem oder rotem Licht zu beleuchten. Der Beginn der einzelnen Entladungen ist im Prüfschein festzulegen, der Versuch ist mit dem Durchschlag abgeschlossen. Dieser ist deutlich am Geräusch und dem plötzlichen Absinken der Spannung sowie an dem Anstieg der primären Stromaufnahme des Transformators erkennbar.

Von **Einwirkung auf den Durchschlag** ist die Zeit, welche der Werkstoff unter Spannung steht. Für die Untersuchung von einzelnen Platten mag die geschilderte einfache stetige Steigerung der Spannung ausreichen und es lassen sich nach Aufnahme mehrerer Parallelwerte einwandfreie Kurven schaffen; für die Massenprüfung von fertigen Erzeugnissen muß jedoch anders verfahren werden. Werkstofffehler, Hohlstellen, leitende Beimischungen, wie sie sich gerade in den gepreßten

Stoffen in Form von Metallschrauben oder ähnlichem finden, geben durchaus nicht immer Anlaß zum sofortigen Durchschlag, oft führt erst die allmähliche Strahlungswirkung diesen herbei. Es ist darum nötig, die Prüfspannung längere Zeit stehen zu lassen.

In den Porzellanfabriken ist es üblich, bei der Prüfung von Massenerzeugnissen, wie Deltaglocken, Hängeisolatoren od. dgl., die Prüfspannung, die wenig unter dem Überschlagswert liegen soll, 15 Minuten wirken zu lassen. Schlägt zum Schluß noch ein Isolator durch, so wird nach Entfernung des Fehlerstückes die ganze Reihe nochmals der 15 Minutenprobe unterworfen¹⁾.

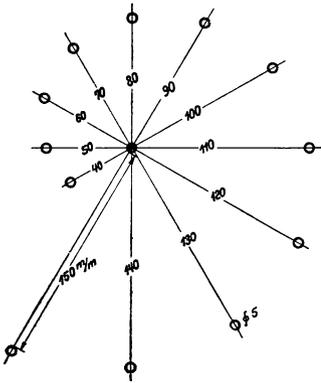


Abb. 71. Probe für Durchschlagsprüfungen parallel zur Schicht.

Für einzelne Werkstoffe, die nur in gewisser Stärke herstellbar sind, ist es für den Konstrukteur erforderlich, zur Erreichung bestimmter Festigkeiten eine größere Anzahl Platten oder Röhren übereinander zu verwenden. Die Durchschlagsspannungen steigen hier jedoch nicht im selben Verhältnis wie die Zahl der Lagen.

Für reine Durchschlagsprüfungen sind die hier angegebenen Vorschläge ausreichend. Wie vorn erwähnt, kommt es in der Praxis oft vor, Isolierstoffe, die als Baustoffe dienen, z. B. Trennwände, gleichzeitig als Stützpunkte für Leitungen zu verwenden oder solche Platten auch als Sockel für Schalterteile, Stöpsel, Buchsen od. dgl. zu benutzen. Der Werkstoff wird dann oft nicht quer zur Faserrichtung, sondern mit dieser gleichlaufend auf Isolation beansprucht. Bei Stoffen, welche aus Papierschichten unter Verwendung von Lacken und Harzen bestehen, tritt dann leicht ein Überschlag oder doch ein Kriechfunke innerhalb der Masse auf. Es ist darum zweckmäßig, die Versuche noch an Platten durchzuführen, die nach Abb. 71 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 oder aber der Lack nicht gleichmäßig die ganze Masse durchsetzt hat. Die Löcher sind glatt für den Durchgang von 5 mm starken Gewindebolzen zu bohren, letztere sind in der üblichen Weise mit normaler Unterlagscheibe und Mutter beiderseits zu versehen und festzuziehen. Die Schrauben dienen als Anschlußbolzen für den Versuch. In die Mitte kommt fest die eine Zuleitung des Transformators, die zweite wird wechselnd an die anderen Bolzen gelegt. Die Spannung ist, falls Überschläge nicht vorher erfolgen, bis zur Glimm-

¹⁾ V. D. E.-Vorschriften. E. T. Z. 1922, S. 32 u. 1348.

entladung zu steigern und 15 Minuten an jedem Punkt zu belassen. Die in der Skizze eingetragenen Maße geben die Länge des unberührten Werkstoffes zwischen den Löchern an. Die Benutzung von Gewindebolzen trägt zwar zur Strahlung bei, doch entspricht dies den in der Praxis meist vorherrschenden Verhältnissen.

Die unter dem Abschnitt 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.

Es wird auf folgende Veröffentlichungen hingewiesen^{1) 2)}.

Eine Mitteilung ganz neuer Beobachtungen bei der Beanspruchung von Isolierstoffen auf Durchschlag und der entsprechenden Meßverfahren ist von K. W. Wagner in Aussicht gestellt. Die Veröffentlichung wird in einem V. D. E.-Vortrag geschehen, die Wiedergabe in der E. T. Z. ist zu erwarten.

Bestimmung der Erwärmung unter dauernder Spannungsbelastung.

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

Die Proben werden in derselben Weise, wie beim Durchschlagsversuch beschrieben, an Hochspannung gelegt, wobei man dünne Elektroden verwendet, die Wärmeisolation haben, um eine Kühlung der Prüfstelle zu vermeiden. An einer Stelle wird diese Isolation entfernt und entweder ein Thermometer oder besser ein Thermoelement mit Galvanometer zur Messung der Übertemperaturen angelegt. Man setzt den zu untersuchenden Werkstoff nacheinander unter verschiedene Spannungen, die man erst dann erhöht, wenn die Temperatur nicht mehr steigt, also ein Dauerzustand 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 Werkstoffes in Abhängigkeit von der Plattendicke schließen.

Will man lediglich Vergleichswerte zwischen verschiedenen Werkstoffen erhalten, so genügt die Messung bei einer Plattenstärke, die

¹⁾ Gewecke u. v. Krukowsky: Elektrodengröße und Durchschlagsspannung bei Prüfung dünner Isolierstoffe. A. f. E. Bd. III u. IV. 1914.

²⁾ Schwaiger: Über die Ermittlung der Durchschlagsfestigkeit von hygroskopischen Isoliermaterialien. A. f. E. Bd. III.

natürlich bei den verschiedenen Stoffen gleich sein muß, und einer Spannung, die gerade unter der für den betreffenden Werkstoff ermittelten Spannungsgrenze für Glimmentladungen liegt.

Bestimmung des Oberflächen-Widerstandes.

Der V. D. E. schreibt vor¹⁾:

Der Oberflächen-Widerstand 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 3wöchiger Einwirkung von Schwefelsäure (25 vH);
- δ) nach 3wöchiger Einwirkung von Ammoniakdampf.

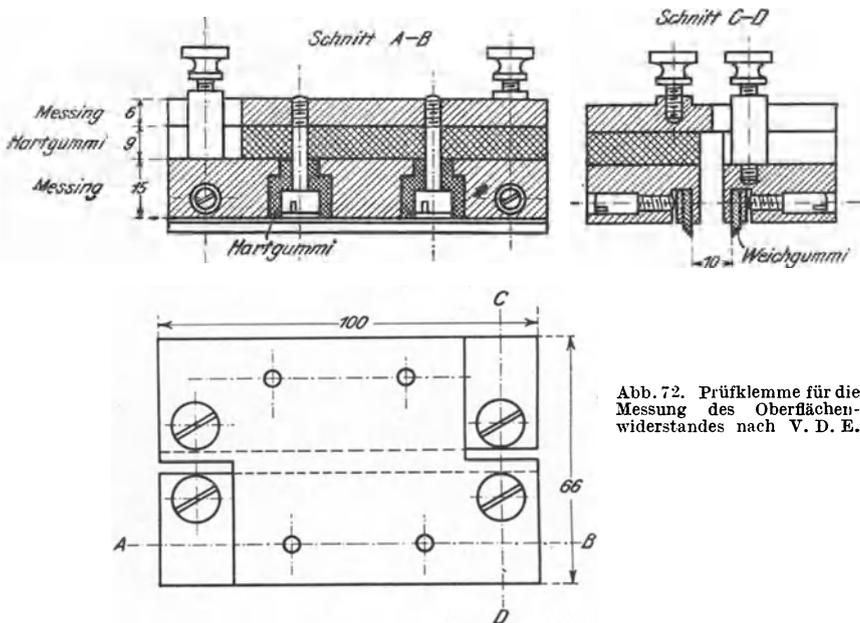


Abb. 72. Prüfklemme für die Messung des Oberflächenwiderstandes nach V. D. E.

Bei den Versuchen β) bis δ) wird die unter der Einwirkung der Flüssigkeiten und Gase etwa eintretende Gewichtsänderung in Hundertteilen ermittelt.

Zur Messung des Oberflächenwiderstandes werden zwei gerade, 10 cm lange mit Gummi und Stanniol gepolsterte Elektroden einander parallel in 1 cm Abstand auf die Platte gesetzt. Siehe Normalgerät Abb. 72. Die Schaltung zeigt Abb. 73. Die eine Elektrode wird über einen Schutzwiderstand von $10\,000\ \Omega$ 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.

¹⁾ V. D. E.-Vorschriften. E. T. Z. 1922, S. 447 u. 449.

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} A für 1 mm Ausschlag bei 1 m Skalenabstand betragen, durch den Nebenschluß ist die Empfindlichkeit stufenweise auf $1/10$, $1/100$, $1/1000$, $1/10000$ und $1/100000$ herabzusetzen. Ein Kontakt des Nebenschlusses dient ferner zum Kurzschließen des Galvanometers. Zur Eichung des Galvanometerauschlages wird beim Nebenschluß $1/10000$ statt des Oberflächengerätes ein Drahtwiderstand von $1 \text{ M } \Omega$ 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

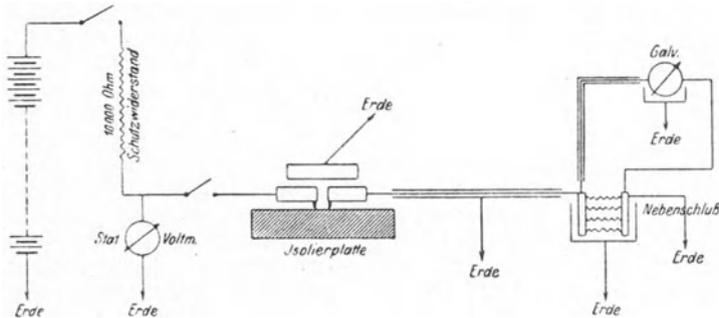


Abb. 73. Schaltbild für die Messung des Oberflächenwiderstandes nach V. D. E.

starkem Manganindraht, der unifilar auf 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 Oberflächengerät wird mit Hilfe des statischen Voltmeters die Gleichspannung auf 1000 Volt eingestellt. Bei kurzgeschlossenem Galvanometer wird dann der Schalter zu dem Oberflächengerät geschlossen. Sinkt dabei die Spannung des Voltmeters unter 500 Volt, so beträgt der Oberflächenwiderstand des Isolierstoffes weniger als $10\,000 \Omega$; bleibt die Spannung über 800 Volt, so kann mit dem Galvanometer gemessen werden.

Die Ablesung des Galvanometerauschlages erfolgt 1 min nach dem Anlegen der Spannung.

Die Vergleichszahlen stufen sich folgendermaßen ab:

Zu jeder Versuchsreihe sind drei Platten zu verwenden, an jeder Platte sind mindestens zwei Messungen vorzunehmen. Die zu dem Versuch β) verwendeten Platten können zu dem Versuch γ) weiter benutzt werden.

Zu β). Nach dem Herausnehmen aus dem Wasser werden die Platten mit einem Tuch abgerieben und senkrecht bei

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

Oberflächenwiderstand	Vergleichszahlen
Unter $1/100 \text{ M } \Omega$	0
$1 - 1/100$ „	1
100—1 „	2
10 000—100 „	3
1 000 000—10 000 „	4
über 1 000 000 „	5

Zu γ). Nach dem Herausnehmen aus der Schwefelsäure werden die Platten etwa 1 min 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.

Der V. D. E. gibt hierzu noch folgende Erläuterungen:

Auf elektrische Festigkeit, also auf Durchschlag, werden die isolierenden Baustoffe für Geräte und Installationsbaustoffe nicht in nennenswerter Weise beansprucht, es wird nur verlangt, daß der Isolierstoff nicht merklich leitet. In völlig trockenem Zustande isoliert eine große Anzahl von Stoffen vortrefflich, viele derselben aber werden durch Zutritt von Feuchtigkeit merklich elektrolytisch leitend und somit unbrauchbar. Dieses macht sich naturgemäß zuerst und am stärksten an der Oberfläche des Isolierstoffes bemerkbar, in elektrischer Hinsicht wird daher für den vorliegenden Zweck ein Isolierstoff durch einen Oberflächenwiderstand unter verschiedenen Einflüssen geeignet gekennzeichnet.

Mehrfach hat man einen nicht feuchtigkeitssicheren Isolierstoff durch einen wasserdichten Anstrich zu verbessern gesucht. Abgesehen davon, daß im Gebrauch diese dünne Haut leicht verletzt und ihre Schutzwirkung in Frage gestellt wird, soll hier der Stoff selbst und nicht der etwaige Anstrich untersucht und gekennzeichnet werden; daher ist vorgeschrieben, daß die Oberfläche der Platten vor der Prüfung abgeschliffen wird.

Der mit dem vorgeschriebenen Normalgerät gemessene Widerstand ist nun nicht rein der Oberflächenwiderstand, sondern Anteil an ihm hat auch das Innere des Isolierstoffes, da die elektrischen Feldlinien zwischen den beiden spannungsführenden Schneiden nicht nur an der Oberfläche verlaufen, sondern auch im Innern. Die Verhältnisse beim eingebauten Isolierstoff liegen aber in der Regel ganz ähnlich. Da das Gerät und die Proben in ihren Abmessungen vorgeschrieben sind, sind die Meßergebnisse völlig eindeutig, es ist lediglich die Bezeichnung des gemessenen Widerstandes als „Oberflächenwiderstand“ eine Abkürzung, die den wesentlichsten Teil nennt.

Die Probeplatte darf bei der Prüfung nicht auf eine geerdete Metallfläche gelegt werden, da hierdurch die elektrische Feldverteilung eine andere wird und der gemessene Widerstandswert zu hoch ausfallen kann.

Der Isolationswiderstand, namentlich der Oberflächenwiderstand, hat nicht einen festen Wert wie etwa der Widerstand eines Drahtes, sondern er nimmt im allgemeinen etwa umgekehrt proportional der Spannung ab. Es mußte daher eine einheitliche Meßspannung vorgeschrieben werden, die nicht zu niedrig gewählt werden durfte, um einerseits nicht zu günstig erscheinende Widerstände bei geringwertigen Stoffen zu erhalten, und um andererseits die hochwertigsten Stoffe erkennen zu können. Die Stromstärke ist durch den vorgeschalteten Schutzwiderstand von 10 000 Ω auf den Höchstwert von 0,1 A begrenzt, die Gleichstromquelle braucht daher nur 100 W zu leisten. Am bequemsten hierfür ist eine kleine Dynamo, deren Spannung mit der Erregung geregelt und durch Ausschalten der letzteren auf wenige Volt herabgesetzt werden kann, so daß die Prüflinge ohne Gefahr ausgewechselt werden können. Man kann auch kleine Akkumulatoren von 0,1 A Entladestromstärke in passenden Gruppen für die Ladung unterteilt, zu einer Batterie zusammensetzen; sie müssen in regelmäßigen Zeiträumen kräftig entladen und wieder aufgeladen werden, da die geringe Entladung beim Messen nicht genügt, das Verhärten der positiven Platten zu verhindern.

Ein anderer Weg ist der, eine Wechselspannung heraufzutransformieren und mit einem Gleichrichter gleichzurichten, doch ist darauf zu achten, daß die so erzeugte Gleichspannung nicht zu stark pulsiert. Ein Dreiphasen-Gleichrichter ist in dieser Hinsicht wegen der besseren Überlappung der Spannungshalbwellen wesentlich günstiger als ein einphasiger. Es werden aber auf alle Fälle besondere Mittel zur Begrenzung der Pulsationen anzuwenden sein; am vollkommensten gelingt dies, wenn man mit dem Gleichrichter eine Kapazität C aufladet. Soll bei Drehstrom von der Frequenz 50 Per/s die Pulsation der Gleichspannung von 1000 V bei einer Stromentnahme von i A durch das Oberflächenmeßgerät nicht mehr als 5% betragen, so muß: C in μF gleich $1,3 \times 10^{-4} i$ sein. Für $i = 1/10$ A würde sich hiernach C zu $13 \mu F$ ergeben; nun würde man aber wohl an manchen Stellen sich damit begnügen können, die Oberflächenwiderstände, z. B. unter $1 M\Omega$ (Grenze zwischen Vergleichszahl 1 und 2) mit geringerer Zuverlässigkeit zu messen, es würde dann für $i = 0,001$ die Kapazität C $0,13 \mu F$ groß sein müssen. Für 1000 V Gleichspannung ist solch ein Kondensator gut herstellbar. Bei Messungen von Widerständen über $10 M\Omega$ würden dann die Pulsationen unmerklich klein.

Statt des Kondensators kann man auch einen Widerstand (nicht eine Drosselspule) einschalten, der einen nicht zu geringen Strom, z. B. 0,5 bis 1 A, entnimmt und von dem man die Spannung zum Messen abzweigt; mit einer Drosselspule vor dem Widerstand kann man die Pulsationen des Stromes durch den Widerstand schwächen. Der Betrieb der Anordnung verzehrt aber nicht unbeträchtlich Energie.

Beim Oberflächenwiderstand interessiert nicht die genaue Größe, sondern nur die Größenordnung. Die Stufen derselben sind von¹ $1/100 M\Omega$ ausgehend mit dem Faktor 100 fortschreitend festgesetzt und mit Vergleichszahlen bezeichnet.

Von chemischen Einflüssen macht sich der Angriff von Säuren und Alkali im Oberflächenwiderstand scharf bemerkbar. Für die abgekürzte Prüfung sind die praktisch am häufigsten vorkommenden Einwirkungen dieser Art ausgesucht; verdünnte Schwefelsäure, wie sie in Akkumulatorenräumen durch das Gasen der Zellen beim Laden sich überallhin verbreitet, und Ammoniakdampf, der in Viehställen und dergleichen sich entwickelt. Da der Angriff sich zeitlich nicht beschleunigen läßt, mußte die Dauer der Einwirkung auf 3 Wochen festgesetzt werden.

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 entnehmen.

Nach den Beobachtungen der Praxis ist die Oberflächenmessung allein nicht ausreichend, sie ist sehr von dem Einfluß der jeweiligen Luftfeuchtigkeit abhängig. Die Meßwerte können darum erheblich schwanken. Es ist nötig, Luftfeuchtigkeit und Raumtemperatur mit anzugeben.

Bestimmung des Durchgangswiderstandes.

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

Der V. D. E. hatte hierüber Vorarbeiten durch die P. T. R. vornehmen lassen. Die Wiedergabe aus der E. T. Z.¹⁾ erfolgt hier wörtlich, wie bei den bereits vorher angezogenen V. D. E.-Vorschriften in besonderem Druck. Es sei darauf hingewiesen, daß diese Prüfung in den Vorschriften aus dem Jahre 1922 nicht mehr enthalten ist.

Zur Messung des Durchgangswiderstandes wurden die Isolationsplatten zwischen 2 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 Maßanordnung ist in Abb. 74 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 Schutz 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 Umhüllung 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 Ablesung wurde eine Minute nach dem Anlegen der Spannung vorgenommen. Nach dieser Zeit waren die Änderungen des Widerstandes nur noch unbedeutend. Bei den schlechter isolierenden Stoffen 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 Stoffe 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 der Stoff isoliert. Eine gesetzmäßige Abhängigkeit des Durchgangswiderstandes von der Dicke der Platte konnte nicht festgestellt werden. Der Grund hierfür ist wohl in der Inhomogenität des Werkstoffes zu suchen.

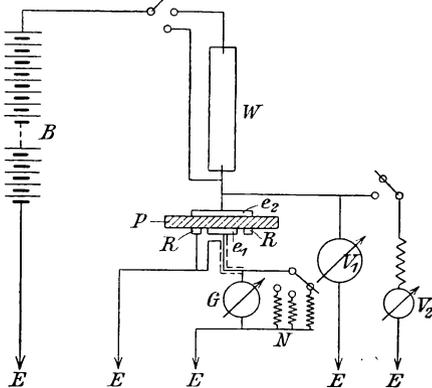


Abb. 74. Schaltbild für die Messung des Durchgangswiderstandes nach V. D. E.

¹⁾ V. D. E.-Vorschlag. E. T. Z. 1912, S. 452.

Bestimmung des inneren Widerstandes.

Diese Prüfung war bereits in die erste Auflage des Buches auf Grund der praktischen Beobachtungen des Herausgebers aufgenommen. Eine V. D. E.-Vorschrift bestand seinerzeit noch nicht und war auch nicht vorschlagsweise bekanntgegeben, sie erschien vielmehr erst im Vorjahre als Entwurf und ist auf der diesjährigen V. D. E.-Tagung endgültig eingesetzt. Wenn die erste Auflage mit dazu angeregt hat, so ist der im Vorwort ausgesprochene Wunsch erfüllt.

Der V. D. E. schreibt vor¹⁾:

Zwei Löcher von 5 mm \varnothing und 15 mm Mittenabstand sind in die Platte etwa $\frac{2}{3}$ der Plattenstärke tief zu bohren und mit Quecksilber zu füllen. Es wird der Widerstand zwischen den beiden Quecksilberelektroden bei 1000 Volt Gleichspannung gemessen. Ist derselbe kleiner als der bei dem Versuch α ermittelte Oberflächenwiderstand, so ist die Platte bis in tiefere Schichten abzdrehen und unmittelbar nach dem Abdrehen auf ihren Oberflächenwiderstand zu messen.

Bei Isolierstoffen, die Kunstharze enthalten, kommt es als Folge ungenügender Durchführung des Herstellungsganges vor, daß sich im Innern nachträglich Wasser abspaltet, während die Oberfläche hervorragend isoliert. Um derartige Fehler zu erkennen, ist bei der Neubearbeitung der Vorschriften die Messung des Widerstandes im Innern zugefügt.

Die Oberflächenmessung hängt, wie erwähnt, zu sehr von der Luftfeuchtigkeit ab, wodurch leicht Täuschungen hervorgerufen werden. Die Messung des Durchgangswiderstandes gilt nur für homogene Werkstoffe, da für geschichtete Stoffe, wie schon bei der Durchschlagsprüfung erwähnt, wesentliche Unterschiede bei der Messung \perp oder \parallel zum Lagenverlauf gefunden werden können. Auch hier spricht wieder die Dicke des Werkstoffes mit. So werden bei geringeren Stärken (z. B. Pertinax) auch die inneren Schichten durchbakelisiert sein, während bei größeren Stärken dieser Zustand 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 Werkstoffes zu schleifen, was ja von der vorliegenden Werkstoffart abhängig gemacht werden muß. Gewisse Werkstoffe bedingen die Erhaltung der Fabrikationshaut, wie beispielsweise alle Stoffe mit Asbest oder Holzfaser als Füllung, im anderen Falle würden diese sogleich eifrig Feuchtigkeit aufsaugen und so überhaupt keinen stetigen Meßwert ergeben. Solche Isolierstoffe lassen sich darum auch fast nur als Preßstücke für Schalter, Sicherungen u. dgl. verwenden. Andere Stoffe, wie z. B. Hartgummi, werden des schönen Aussehens der Platten wegen mit einer polierten Oberfläche geliefert, welche durch ein Verfahren erzeugt wird, das metallische Rückstände hinterläßt, weshalb hier unbedingt eine Bearbeitung vorgenommen werden muß. Dies gilt in erster Linie bei Ver-

¹⁾ V. D. E.-Vorschrift 1922, S. 446—450.

wendung solcher Werkstoffe für Zwecke der Radiotelegraphie und -telephonie, wo insbesondere bei empfindlichen Empfängern durch Unterlassung dieser Vorsichtsmaßregel das einwandfreie Arbeiten des Gerätes in Frage gestellt werden kann. Der Bearbeiter wäre erfreut, wenn dieser Hinweis dazu beitragen würde, 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 Aufsatzschiene ist jedoch die vom V. D. E. gegebene Vorschrift zu benutzen oder 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 zwei benachbarte Löcher werden 2 Konusstöpsel, wie solche bei Widerstandsbrücken üblich sind, fest eingesetzt. Die Oberfläche der Probe ist möglichst beiderseitig zu schleifen. Die Konusstöpsel tragen an ihrem oberen Ende Anschlußklemmen, die wie im Schema für die Oberflächenmessung angeschlossen werden. Die Messungen sind zwischen verschiedenen Lochpaaren vorzunehmen und die Werte untereinander zu vergleichen.

Soll der Werkstoff als Isolation zwischen Kontakten dienen, die hochfrequente Ströme mit hohem Spannungsunterschied führen, so empfiehlt sich eine Prüfung mit der Anordnung nach Abb. 69. Man koppelt mit der Selbstinduktionsspule induktiv oder galvanisch 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 Hitzdraht-Amperemeter im zweiten Schwingungskreis, welches mit der Selbstinduktion und Kapazität dieses Kreises in Reihe geschaltet wird und das bei stufenloser Veränderung der Selbstinduktion (Variometer) oder der Kapazität (Drehkondensator) bei Resonanz einen maximalen Ausschlag zeigt. 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 den Werkstoff mit den zur Messung des inneren Widerstandes oben angegebenen Kontakten an die beiden Belegungen des Kondensators im zweiten Kreis und unterzieht ihn einer Dauerbelastung von 10 Minuten. Hierbei werden in erster Linie geschichtete Werkstoffe 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 Werkstoffes und zum endlichen Überschlag führt. Wenn diese Prüfung auch keine absoluten Werte ergibt, so erhält man doch Vergleichswerte zwischen verschiedenen Werkstoffen, die ebenfalls zur allgemeinen Beurteilung wesentlich beitragen.

Die Bestimmung der Dielektrizitätskonstante.

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

Die Bestimmung der Dielektrizitätskonstante ist für viele Fälle nicht nötig, sondern kommt nur dann in Frage, wenn der betreffende Werkstoff im Kondensatorenbau als Trennung der Beläge Verwendung finden soll. Als Dielektrikum eignen sich nur wenige Isolierstoffe, z. B. Glas, Glimmer, Papier (getränkt), Hartgummi u. dgl. Bei diesen ist unbedingt die Dielektrizitätskonstante aufzunehmen. Bei allen anderen Isolierstoffen ist von Fall zu Fall zu entscheiden, ob eine diesbezügliche Prüfung nötig erscheint. Immerhin sollte eine solche in allen Fällen versucht werden, da auch diese Untersuchung zu einer erschöpfenden Beurteilung eines Werkstoffes wesentlich beiträgt. Sollten für einen Aufbau mehrere Isolierstoffe Verwendung finden, so ist die Bestimmung der Dielektrizitätskonstante äußerst wichtig, da grundsätzlich in diesem Falle nur Stoffe mit möglichst gleicher Konstante genommen werden dürfen. 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. 75) bestimmt.

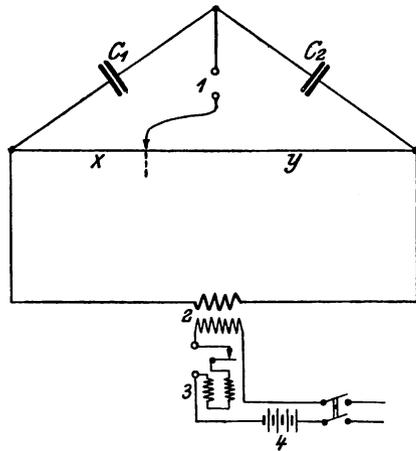


Abb. 75. Kapazitätsmeßbrücke¹⁾.

¹⁾ Der Schalter muß den Batteriekreis schließen.

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

$$C = \frac{l}{2 \log \cdot \text{nat} \cdot \frac{r_1}{r}}.$$

die Dielektrizitätskonstante

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

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

Zwischen zwei Metallelektroden, die isoliert voneinander an einem Gestell untergebracht sind, so, daß die eine mit einem feststellbaren Kugelgelenk und außerdem zur Veränderung des Abstandes verschiebbar angeordnet ist, wird die Versuchsplatte angebracht und die Kapazität wie oben angegeben gemessen. Darauf wird die zu untersuchende 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.

Als Schriftwerkhinweise seien folgende gegeben^{1) 2) 3) 4)}.

¹⁾ Wagner. K. W.: Dielektrische Eigenschaften verschiedener Isolierstoffe. A. f. E. Bd. III u. E. T. Z. 1915, S. 111.

²⁾ Pungs: Untersuchungen über das dielektr. Verhalten flüssiger Isolierstoffe bei hohen Wechselspannungen. A. f. E. Bd. I.

³⁾ Grüneisen u. Griebe: Anwendung des Dreiplattenkondensators zur Bestimmung der Dielektrizitätskonstanten fester Körper. E. T. Z. 1913, S. 445.

⁴⁾ Günther-Schulze: Die dielektrische Festigkeit von Gasen, Flüssigkeiten und festen Körpern. Helios 1922, Heft 34 u. 35.

Dielektrizitätskonstanten einiger Isolierstoffe.

Luft = 1 gesetzt	Mineralöl (Transformatoren) 2,5
Chatterton ∞ 2,5	Olivenöl 3
Glas, Spiegel-, weiß 6	Paraffin, fest 2÷2,3
„ Flint, sehr leicht 6,61	Paraffinöl 2÷2,2
„ „ leicht 6,72	Petroleum 2÷2,3
„ „ schwer 7,4	Porzellan 4,4÷5,4
„ „ sehr schwer 9,9	Rapsöl 2,3
Glimmer 3÷8	Rizinusöl 4,7
Guttapercha 4,2	Rüböl 3
Hartgummi 2÷3	Schellack 2,7÷3,7
Harzöle 3	Schwefel 12,4
Kautschuk, braun 2,12	Siegellack 4,3
„ grau 2,7	Terpentinöl 2,3
Kolophonium 2,6	Wachs 2,2
Mikanit 4,5÷6	Wasser 80

Bestimmung der Dämpfung, bezogen auf Luft.

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

Unbedingt nötig sind die Untersuchungen überall da, wo der Werkstoff, wie schon oben gesagt, als Kondensatorzwischenlage (Dielektrikum) verwendet wird, oder in Fällen, in denen auf den Werkstoff Spulen für Hochfrequenzkreise, besonders solche für ungedämpfte Schwingungen, gewickelt werden sollen. In beiden Fällen treten bei schlechtem Werkstoff Verluste auf, die die Arbeit eines Gerätes 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 Prüfungseinrichtung 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 Meßanordnung ist jedenfalls diejenige, in der der Werkstoff in einem Kondensator als Dielektrikum untersucht wird.

Abb. 76 zeigt die Prüfordnung, und zwar unter Verwendung einer Glühkathodenröhre als Hochfrequenzgenerator.

Die Prüfordnung 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 Feinstellung kann auch

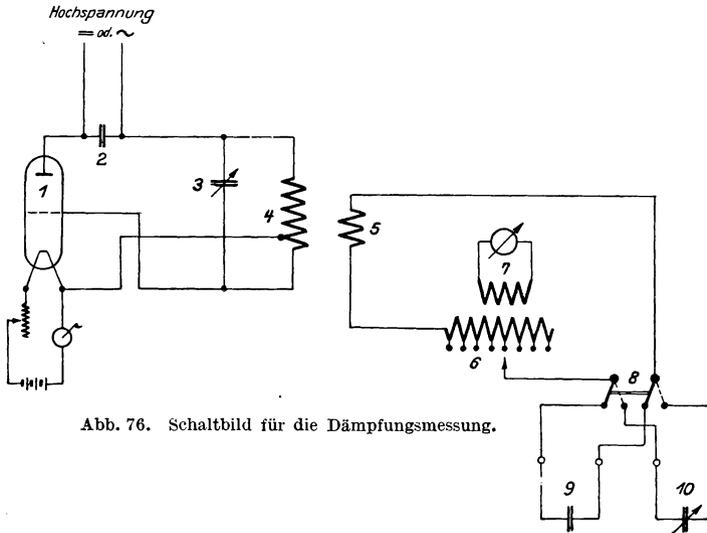


Abb. 76. Schaltbild für die Dämpfungsmessung.

ein fester Kondensator unter Parallelschaltung eines kleinen verstellbaren Kondensators Verwendung finden. Die Wellenlänge für die Messung wird zweckmäßig klein (etwa 300 bis 500 m) gewählt.

Der primäre Schwingungskreis überträgt seine Schwingungsenergie mit Hilfe der Kopplungsspule 4 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 Werkstoff als Dielektrikum, 10 ein verstellbarer Normal-Luftkondensator ist. Dieser letztere soll möglichst versilberte Plattensysteme und Einbauteile haben und die Zuleitung zum beweglichen System mit Hilfe eines einwandfreien Schleifkontaktes und nicht mit Spiralfeder 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 voll-

kommene Gleichheit herrscht. Ebenso müssen natürlich die Zuleitungen zu den beiden Kondensatoren 9 und 10 gleich lang und gleich weit voneinander entfernt sein. Der Wattzeiger 7 mit Koppungsspule dient einmal als Resonanzanzeiger, andererseits gestattet er direkt Energievergleiche anzustellen. Seine Empfindlichkeit soll möglichst hoch sein. Ein brauchbares Instrument ist der Wattzeiger von Hartmann & Braun mit einer Empfindlichkeit von $0,3 \times \frac{1}{10}$ Watt gesamte Skala.

Der Gang der Messung ist folgender:

Der zu untersuchende Werkstoff wird zwischen die im Abstand verstellbaren Platten des Kondensators 9 so eingespannt, daß er allseitig über diese hinausragt. Der Umschalter steht auf 9. Die Koppungsspule 5 wird fest gekoppelt und mit 6 grob abgestimmt. Hierauf stimmt man mit dem verstellbaren Kondensator des Primärkreises fein nach. Die Koppungsspule wird loser gekoppelt und mit dem Kondensator nachgestimmt. Dieses Loserkoppeln und Nachstimmen erfolgt so lange, bis der Wattzeiger eine deutliche Energieabnahme bei noch loserer Koppelung erkennen läßt. Man vermeidet durch diese Art der Einstellung unliebsame Rückwirkung des Sekundärkreises auf den Primärkreis. Hierauf wird der Umschalter auf 10 gelegt, alles andere möglichst unberührt gelassen und nun mit dem verstellbaren Kondensator auf genaue Resonanz abgestimmt. Der Unterschied der Ausschläge des Wattzeigers in den beiden Schaltstellungen des Umschalters 8 unter Berücksichtigung einwandfreier und gewissenhafter Abstimmung ergibt den Unterschied der Energie im Meßkreis zwischen dem zu untersuchenden Werkstoff als Dielektrikum und einem gleich großen Luftkondensator und kann hieraus direkt in Hundertteilen der Energieverlust in dem zu untersuchenden Werkstoff 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 Hundertteilen $\frac{25 - 20 \cdot 100}{25} = 20$ vH.

Es wird auf folgende Veröffentlichungen hingewiesen^{1) 2) 3)}.

¹⁾ Heinke: Zur Bestimmung der Energieverluste im Dielektrikum. E. T. Z. 1899, S. 200.

²⁾ Jordan: Messung dielektrischer Verluste an faserigen Isolierstoffen. E. T. Z. 1911, S. 127.

³⁾ Wagner, K. W.: Zur Messung dielektrischer Verluste mit der Wechselstrombrücke. E. T. Z. 1911, S. 1001.

Bestimmung der Lichtbogensicherheit.

Alle Werkstoffe, die in oder an Geräten, mit denen Stromkreise unterbrochen werden, welche das Ziehen von Lichtbogen zur Folge haben können, Verwendung finden, oder wo der Werkstoff auf andere Weise mit dem elektrischen Lichtbogen in nähere Berührung kommen kann, sind auf Lichtbogensicherheit zu untersuchen.

Der V. D. E. schreibt vor¹⁾:

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 Ω . Nach Bildung des Lichtbogens zwischen den Kohlen werden diese mit einer Geschwindigkeit, die 1 mm in der Sekunde nicht überschreiten soll, auseinander gezogen. Es werden dann folgende 4 Stufen der Sicherheit gegenüber dem Lichtbogen unterschieden:

0. Unter dem über 20 mm lang ausziehbaren Lichtbogen bildet sich eine leitende Brücke im Isolierstoff, welche auch nach dem Erkalten leitend bleibt.
1. Unter dem über 20 mm lang ausziehbaren Lichtbogen bildet sich eine leitende Brücke im Isolierstoff, welche aber nach dem Erkalten ihre Leitfähigkeit verliert.
2. Der Lichtbogen läßt sich weiter als 20 mm ausziehen, es bildet sich aber keine zusammenhängende leitende Brücke im Isolierstoff.
3. Der Lichtbogen läßt sich nicht über seine normale Länge von etwa 20 mm ausziehen.

Als Probe dient eine Platte der Größe 150×150×10 mm. Der Versuch ist auf jeder Platte 3 mal auszuführen.

Der V. D. E. gibt dazu noch folgende Erläuterung:

Die Anordnung der Kohlen bei der Prüfung der Lichtbogensicherheit ist so gewählt, daß die vom Lichtbogen aufsteigenden Flammengase frei nach oben entweichen können. An einem Stativ ist ein Isolierstück befestigt, das zwei eine Gerade bildende horizontale Rundeisenstäbe trägt, auf jedem gleitet ein Klotz, der eine um etwas mehr als 45° gegen den Stab geneigte Bohrung hat. In dieser wird der Kohlenstab festgeklemmt, die beiden Kohlen werden soweit durchgesteckt, daß ihre Ebene um etwa 60° gegen die Horizontalebene geneigt ist. Die Stromzuführungen werden mit Klemmschrauben an den Klötzen befestigt. Nach Zünden des Lichtbogens wird der eine Klotz mit der vorgeschriebenen Geschwindigkeit auf seinem Eisenstab entlanggeschoben, während der andere feststeht.

Die Lichtbogensicherheit wird danach beurteilt, in welchem Maße der Isolierstoff durch die Einwirkung des Lichtbogens dauernd oder vorübergehend an der Stromleitung teilnimmt. Bei der Neubearbeitung der Vorschriften sind die vier charakteristisch verschiedenen Fälle in ihrer Reihenfolge umgestellt und mit 0, 1, 2, 3 als Stufen der Lichtbogensicherheit bezeichnet. Die Gründe für das verschiedene Verhalten sind folgende:

0. Der Isolierstoff verkohlt, und diese Kohle leitet auch nach dem Erkalten den Strom, so daß sie wieder zum Glühen kommt.

¹⁾ V. D. E.-Vorschriften. E. T. Z. 1922, S. 447 u. Erläuterungen S. 450.

1. Im Isolierstoff bilden sich sogenannte Leiter II. Klasse (wie z. B. der Stift der Nernstlampe), welche in glühendem Zustande gut leiten, im kalten jedoch nicht.
2. Aus dem Isolierstoff entwickeln sich brennbare Gase, welche ein Auseinanderziehen des Lichtbogens über die natürliche Länge von 22 mm gestatten, der Isolierstoff selbst jedoch wird nicht leitend.

Prüfung mit Röntgenstrahlen.

Wenn auch nicht eigentlich zur elektrischen Prüfung gehörend und noch nicht allgemein als Prüfverfahren angenommen, so soll doch an dieser Stelle die Prüfung der Werkstoffe mit Röntgenstrahlen der Vollständigkeit wegen wenigstens kurz erwähnt werden. Es besteht doch Aussicht, daß diese Untersuchung für manche Werkstoffe Wert erhält.

Die Röntgenstrahlen haben bekanntlich die Eigenschaft, Stoffe entsprechend ihrer verschiedenen Dichte verschieden stark zu durchdringen. Außerdem lassen sich photochemische Effekte erzielen, so daß es möglich ist, lichtempfindliche Schichten entsprechend der Intensität der Strahlung mehr oder weniger stark zu beeinflussen. Legt man nun irgendeinen Gegenstand auf eine lichtempfindliche Schicht (photographische Platte), die durch Papierumhüllung od. dgl. gegen die Einwirkung des Lichtes geschützt ist, und setzt diese Anordnung den Röntgenstrahlen so aus, daß dieselben auf den betreffenden Gegenstand auftreffen, so erhält man ein Schattenbild dieses Gegenstandes in der Art, daß auf der photographischen Platte in schwarzem Felde sich derselbe entsprechend seiner Dicke und Dichte in mehr oder weniger tiefer Schwärzung darstellt. Es können also auf diese Weise Fehlerstellen (Gußfehler, Einlagerungen von fremden Körpern usw.) als Schattenbilder dargestellt werden. Ebenso ist es möglich, die Struktur der Werkstoffe, z. B. Stahl, Eisen usw., und ihre Veränderung nach irgendeinem Arbeitsvorgang sichtbar zu machen.

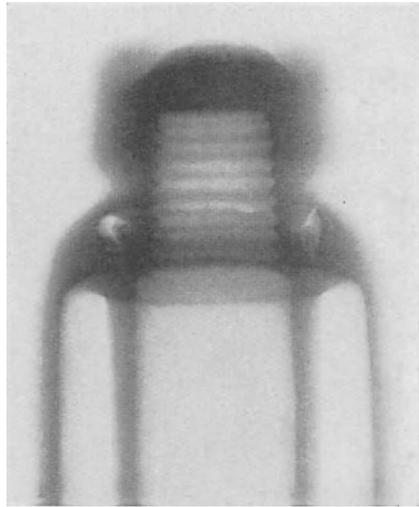


Abb. 77. Röntgenbild eines fehlerhaften Isolators.

Während nun bei der Prüfung der Metalle mit Röntgenstrahlen schon sehr gute Erfolge erzielt worden sind und diese Prüfung bereits

ein wesentliches Hilfsmittel der Metalluntersuchung geworden ist, treten bei der Untersuchung der Isolierstoffe weit größere Schwierigkeiten auf, welche in der geringen Dichte derselben ihren Grund haben. So sind Blasenbildungen (Lufteinschlüsse) in Isolierstoffen viel schwerer zu erkennen als in Metallen oder anderen dichten Stoffen, während

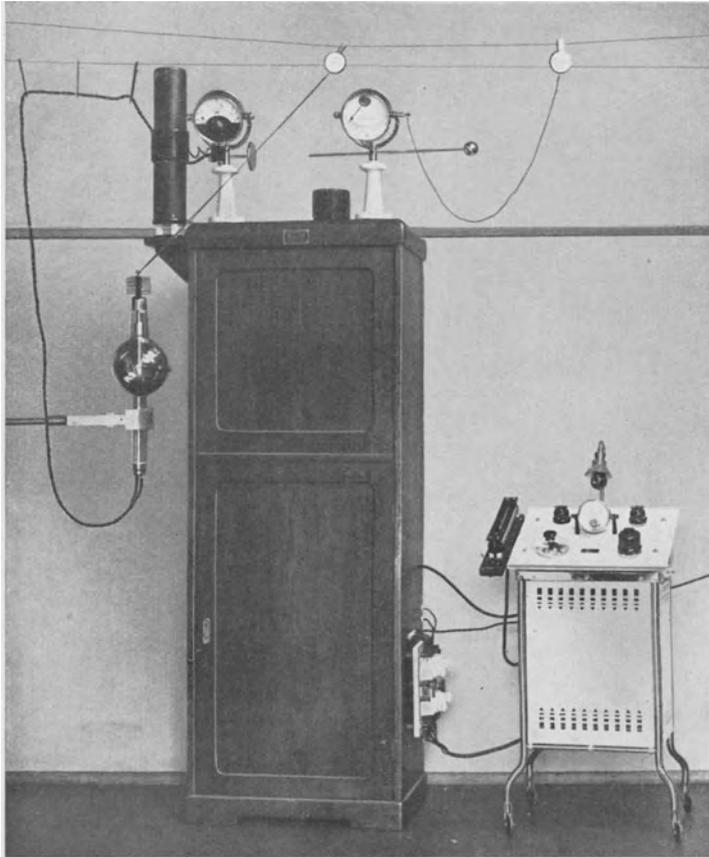


Abb. 78. Röntgenanlage.

Metalleinschlüsse deutlich in Erscheinung treten und man hierdurch in der Lage ist, bei mit Isolation umgebenen Metallteilen die richtige Lage derselben leicht festzustellen. Daß man aber auch Fehlerstellen in Isolierstoffen sichtbar machen kann, zeigt Abb. 77, wo deutlich eine undichte Stelle bei einem Isolator zu sehen ist. Ein solcher Luftpneinsehluß würde bei einem Hochspannungsisolator

immer zum Durchschlag führen. Ein fehlerfreier Isolator zeigt ein völlig gleichmäßiges Röntgenbild.

Die Untersuchungen werden ausgeführt mit Geräten, wie sie auch in der medizinischen Röntgentechnik Verwendung finden (Abb. 78), in Verbindung mit einer Röntgenröhre mit Glühkathode (Coolidge-Röhre). Bei einer solchen Röhre ist die Intensität der Strahlung in einfacher Weise durch Änderung der Glühtemperatur der Kathode und damit verbundenen Änderung der Elektronenemission zu erzielen. Die Anordnung der Röntgenröhre mit Schutzkasten zeigt Abb. 79. Auf das Grundbrett dieser Anordnung wird die photographische Platte gelegt und zwischen diese und die Röhre der zu untersuchende Gegenstand gebracht. Der Funkeninduktor der Einrichtung besitzt eine Schlagweite von rund 50 cm und ist mit einer Meßfunkenstrecke von 45 cm ausgerüstet.

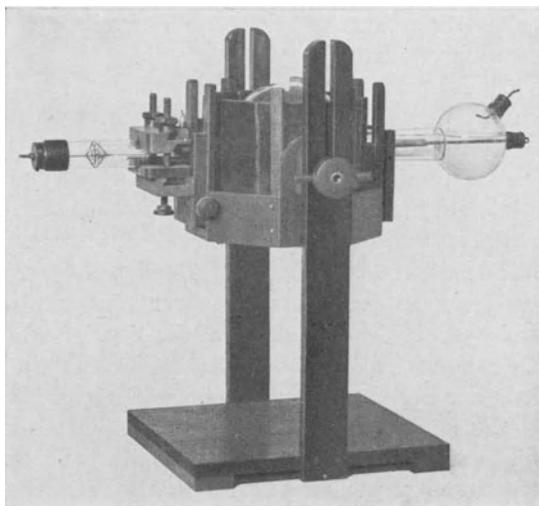


Abb. 79. Röntgenröhre mit Schutzkasten.

Eine zusammenfassende Darstellung des ganzen Gebietes, besonders für Metalluntersuchung, ist in einer Arbeit von Zacher¹⁾ gegeben, welche auch eine Zusammenstellung der bisher über dieses Gebiet erschienenen Veröffentlichungen enthält. Das dort Angeführte kann sinngemäß, soweit es die Eigenart der Isolierstoffe eben zuläßt, auch auf diese ausgedehnt werden. Es dürften besonders die Untersuchungen von mit Isolierstoff umkleideten Metallkörpern sowie Porzellanisolatoren in Zukunft gute Ergebnisse zeitigen. Das Gebiet ist an sich noch zu wenig bearbeitet, so daß die ausführliche Angabe von Erfahrungen aus der Praxis noch nicht möglich ist; immerhin sollte in Rücksicht auf die Vollständigkeit des Buches die Röntgenuntersuchung wenigstens mit angezogen werden.

¹⁾ Zacher: Praktische Radio-Metallographie. Zeitschr. f. Feinmechanik 1922, Heft 3—5.

B. Die festen Isolierstoffe und ihre Eigenschaften.

Bearbeitet von W. Demuth.

Bei der Behandlung dieses Buches war der Gedanke leitend, die in ihrer Wertigkeit annähernd gleichbleibenden Werkstoffe, wie die reinen Naturerzeugnisse und die daraus hergestellten, insbesondere keramischen Stoffe ausführlicher zu beschreiben, d. h. ihr Vorkommen, ihre Gewinnung, ihre Verarbeitung, ihre Eigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten eingehender zu schildern und auch die bezüglichlichen 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, spezifischen Gewichte, Herstellungsarten und Verwendungsgebiete anzugeben, also den im ersten Teil der Arbeit aufgestellten Fragebogen an Hand selbstgemessener oder von den betreffenden Erzeugern angegebener Werte zu beantworten, nur gattungsweise sind hier einzelne Fabrikationsbeschreibungen eingefügt. Eine Gewähr kann bei den auftretenden Schwankungen und der Verschiedenheit der Meßverfahren naturgemäß nicht übernommen werden.

Es ist hiernach ohne Schwierigkeit möglich, einen Überblick über die verschiedenen Arten der Isolierstoffe zu gewinnen und danach einzelne Erzeugnisse für bestimmte Verwendungszwecke zur näheren Prüfung herauszuziehen und gegenüberzustellen. Eine vollständige Durcharbeitung aller im Fragebogen angezogenen Eigenschaften muß den Verbrauchern im Einzelfalle überlassen werden. Schwierigkeiten können nach der gegebenen Anleitung kaum auftreten.

Eine Umfrage des Verfassers bei den bezüglichlichen Fabriken vor Bearbeitung der neuen Auflage hat bei den bedeutenderen Werken großes Entgegenkommen gefunden. Es gingen teils sehr ausführliche Unterlagen ein, so daß es unmöglich war, sie hier in vollem Umfang zu wiederholen. Die kleineren Werke zeigten zum Teil im Gegensatz dazu auffallend große Zurückhaltung; es mag dies damit zu deuten sein, daß die Wichtigkeit sachkundiger Werkstoffprüfungen noch nicht überall voll erkannt ist, andererseits finden sich auf dem Markte tatsächlich verschiedene Isolierstoffe, die einer eingehenden Prüfung infolge ihrer geringen Güte nicht standhalten und darum auch nur eine recht beschränkte Anwendung gestatten.

Die Aufzählung der Isolierstoffe macht trotz der langen Reihe noch keinen Anspruch auf Vollständigkeit, es ist ohnehin bei einer sorgfältig arbeitenden Fabrik eine eigene Untersuchung für den jeweils beabsichtigten Verwendungszweck nötig, sogar verschiedene Ausgaben des unter der gleichen Bezeichnung bestellten Werkstoffes weichen oft von-

einander ab. Sei es, daß eben die Rohstoffe nicht die gleichen waren, oder daß durch Einstellung neuen Personals oder Änderung des Arbeitsverfahrens die Güte schwankt.

Die Haupteinteilung der Isolierstoffe in „reine Naturerzeugnisse, keramische Erzeugnisse und Kunststoffe verschiedenster Zusammensetzung“ ist auch für diese Auflage beibehalten. Die fein abgestufte Unterteilung, wie sie für die verschiedenen Erzeugnisse von der Kommission für Isolierstoffe des V. D. E. [Untersuchungsstelle für Isolierstoffe an der Bayerischen Landesgewerbeanstalt Nürnberg¹⁾] in Aussicht genommen ist, gibt wohl eine zu weitgehende Zerspaltung oder vielfache Wiederholung einzelner Stoffe für die verschiedenen Verwendungsgebiete. So sehr eine solche Unterteilung zu wünschen ist, erfordert sie doch zu lange Bearbeitung, sie wird bei dem Wechsel der Stoffe und deren dauernder Verbesserung bei Fertigstellung stets schon teilweise überholt sein.

I. Reine Naturerzeugnisse.

Asbest.

Ein Mineral, das in Deutschland fast gar nicht, in anderen europäischen Ländern, wie Italien, Frankreich, Österreich, Ungarn und Rußland in großen Lagern vorkommt. Sibirien, Indien, Australien, Amerika (hier besonders Kanada) haben die abbauwürdigsten Fundstellen.

Die Kristallisierungsform ist nach Dr. Einecke²⁾ monoklin, Härte 5—6, spez. Gew. 2,5—3,3. Die Gewinnung erfolgt meist im Tagebau. Nach der Aufbereitung bildet der Rohstoff ein feines seidenartiges, weißes bis schmutziggelbes 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, ausgenommen höchstens für den Widerstandsbau. Das Mineral wird dagegen in Mischung mit Schiefer, Kautschuk, Lacken u. a. m. vielfach verwendet, es eignet sich dann zu Preßkörpern und Platten für Widerstände, Spulen, Schalter, Trennwände u. dgl. Als unmittelbarer Kontaktträger kommt es wegen der Feuchtigkeitsaufnahme nur unter Öl in Frage. Näheres hierüber bei den später noch zu nennenden Baustoffen.

¹⁾ Mitt. Vereinigg. El.-Werke Nr. 291, S. 186.

²⁾ Dammer u. Tietze (Dr. Einecke): Die nutzbaren Mineralien. Stuttgart: Enke 1914.

Basalt.

Ein Gestein, das als „Schmelzbasalt“ in neuerer Zeit mehrfach als Isolierstoff und zwar als Ersatz für Glas und Porzellan genannt wird. Die Verarbeitung im Gußverfahren soll alle Formen von Isolatoren zulassen.

Es hat sich in Linz a. Rh. eine Schmelzbasalt A.-G. niedergelassen, die die Verarbeitung durchführen will. Die Eigenschaften der daraus hergestellten Isolatoren sollen denen aus Porzellan gleichkommen. Praktische Erfahrungen liegen noch nicht vor, doch war dieser Hinweis der Vollständigkeit der Sammlung wegen notwendig.

Glimmer.

In diesem Werkstoff haben wir eines der ersten in der Elektrotechnik benutzten Isoliermittel. 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 auch ein 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. Er 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.

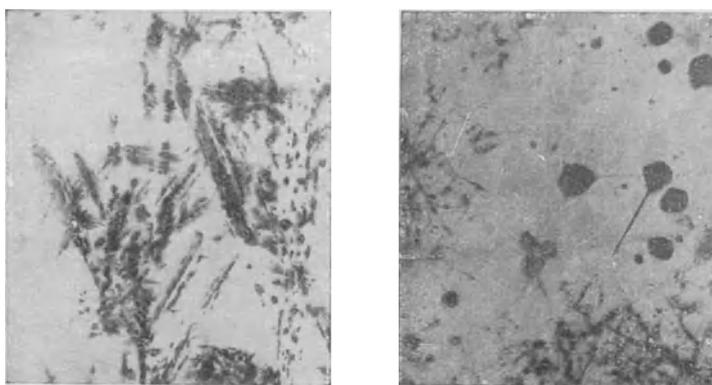
An zweiter Stelle ist der **Magnesiaeisenglimmer** „**Biotit**“ zu nennen. Er ist von grüner, dunkelgrüner, selten brauner Farbe, dabei aber durchsichtig, durchscheinend bis undurchsichtig.

¹⁾ Dammer u. Tietze (Dr. Bärtling).

Der **Magnesia-** oder **Bernsteinglimmer** „**Phlogopit**“ hat bräunliche bis gelbe Farbe, er enthält vielfach Natrium statt Kalium, Eisen statt Magnesium. Die kanadischen Vorkommen liefern fast ausschließlich Magnesiaglimmer.

Der **Lepidomelan** ist ein dem Biotit sehr ähnlicher Stoff, der Gehalt an Eisen ist sehr hoch, die Farbe tiefschwarz, nur in sehr dünnen Schichten tiefgrün oder braun durchsichtig. Die Spaltbarkeit ist sehr schlecht.

Der **Natronglimmer** „**Peragonit**“, der **Lithioneisenglimmer** „**Zinnwaldit**“ und **Lithionglimmer** „**Lepidolith**“ haben kaum praktische Be-



a
b
Abb. 80. Glimmerblättchen mit Einschlüssen.

deutung, wenigstens nicht für die Elektroindustrie, und seien nur der Vollständigkeit wegen erwähnt.

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 in polarisiertem 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 Glimmersorten.

Als Beimengungen finden sich in Glimmerkristallen oft Einschlüsse, Kristalle von Beryll, Turmalinnadeln, Quarz, Feldspat, Granat oder Zirkon, oder auch durch ihre braune und rote Farbe kenntliche Blättchen Eisen (Abb. 80 a u. b). Früher wurden solche Glimmerblättchen für elektrotechnische Zwecke ganz ausgeschlossen, bei dem immer größer werdenden Bedarf und der insbesondere durch die Verhältnisse geschaffenen ganz außergewöhnlichen Preissteigerung hat man noch eine gewisse Unterteilung der Wertigkeit eingeführt.

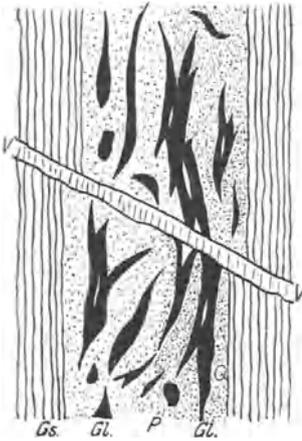


Abb. 81. Schema eines Glimmerganges.

Die Vorkommen von Glimmer sind auf der ganzen Erde außerordentlich zahlreich, doch ist der Rohstoff durchaus nicht immer abbauwürdig, da die Kristalle oft nur in kleinsten, elektrotechnisch nicht mehr verwertbaren Stücken gefunden werden. Die wirklich ausnutzbaren Vorkommen sind darum gering.

Der Glimmer findet sich fast ausschließlich, in Pegmatitgänge eingebettet, in Granit, Glimmerschiefer, Kaolin, Feldspat, Quarz in Platten und Stücken verschiedenster Größe und Dicke, seltener auch in Kontaktlagerstätten in kristallinen Kalken, hier besonders der Phlogopit.

Die Abb. 81 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

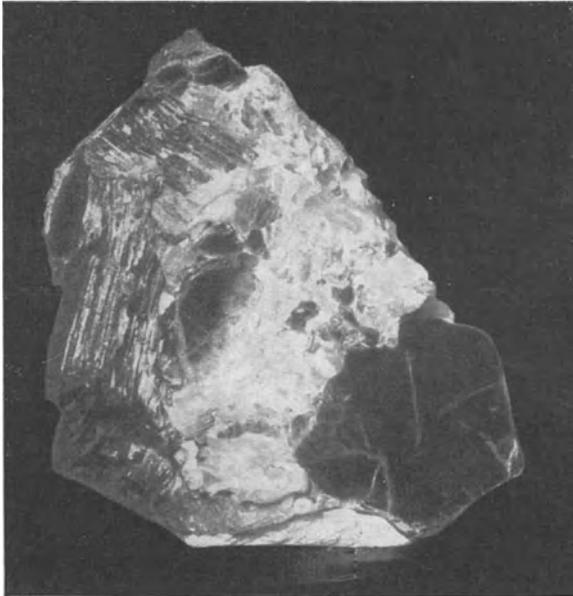


Abb. 82. Norwegisches Glimmergestein.

oft bis 40 mm starke Glimmeradern glatt quer durchgeschnitten werden. In Abb. 82 ist ein Stück norwegischen Feldspates von einem Vorkommen in der Nähe von Kragerö wiedergegeben, welches starke Quarz-

beimengungen und Glimmereinlagerungen zeigt. Die Glimmerpakete liegen vielfach quer zueinander. Die Unebenheit und Rissigkeit des Rohstoffes ist klar zu erkennen. Noch deutlicher ist die Unebenheit des Glimmers in Abb. 83 sichtbar, welche ein Stück rumänischen Gesteins wiedergibt. Der Glimmer liegt hier in fast reinem Feldspat.

Als Hauptlieferant ist Indien anzuführen, dann kommen Nordamerika, das ehemalige Deutsch-Ostafrika, Südamerika, Ostasien, Sibirien, Skandinavien und die Südkarpathen in Frage.

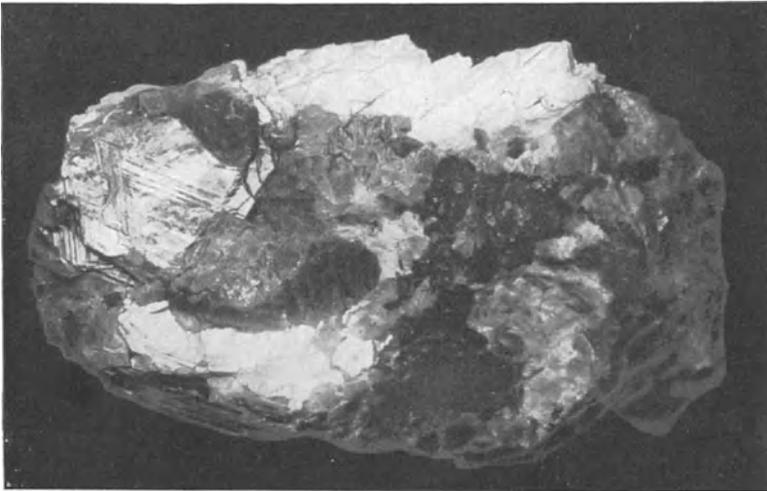


Abb. 83. Rumänisches Glimmergestein.

Der norwegische Rohstoff und der transsylvanische ist für technische Zwecke, soweit Reinheit und größere Platten verlangt werden, weniger geeignet. Er ist infolge starker Gebirgsverschiebungen vielfach verlagert, geschnitten (Abb. 84) und uneben, und läßt somit nur die Gewinnung kleiner, für Mikanit geeigneter Platten zu. Die rechte Kante der Probe ist durch Gebirgsverlagerungen (Abb. 81 bei V.) glatt abgeschert. Der chinesische Glimmer ist für unsere Zwecke als zu weich ganz zu verwerfen.

Die deutsche elektrotechnische Industrie ist nun zunächst mit ihrem Bedarf ganz auf ausländische Zufuhr angewiesen, sie wird bestrebt sein, den Glimmer möglichst zu ersetzen; daß dies zu einem Teil möglich ist, wird in dem Abschnitt „Glas“ nachgewiesen.

Die Bemühungen, deutsche Rohstoffe zu verwenden, sind vielleicht auch noch bei Glimmer wieder zu verwirklichen. In der Zeitschrift E. u. M. macht Dr. Hans Mohr¹⁾ Mitteilungen über Muskowitfunde

¹⁾ Mohr: Über Glimmerfunde in Deutsch-Österreich. E. u. M. 1921, Heft 19.

in Deutsch-Österreich (Steiermark). Es sind offenbar schon recht umfangreiche Untersuchungen durchgeführt, die gute Aussichten erhoffen lassen.

Die **Gewinnung des Glimmers** geschieht meist auf die einfachste Weise. In Indien, Afrika und China stehen billige Arbeitskräfte zur



Abb. 84. Rohglimmerplatte.

Verfügung, aber selbst in Norwegen und auf dem Balkan sah der Verfasser noch die rohesten Verfahren. Dabei ist allerdings zu sagen, daß der Glimmer dort dicht an oder unter der Oberfläche gefunden wird, der Abbau also verhältnismäßig leicht ist. Die norwegische Glimmerindustrie ist bis zum Kriege verhältnismäßig klein gewesen, erst der damit eingetretene große Bedarf und unsere Abgeschlossenheit vom

Auslande hat Veranlassung zu umfangreicherer Ausbeutung gegeben. Die vom Verfasser untersuchten Vorkommen liegen 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 und Stollen von geringer Tiefe und Länge. Die Schutthalden fallen meist rückwärts der Anschlagstelle vom Gebirge ab. Die Arbeit unterscheidet sich besonders dadurch vom Erzbergbau, daß es weniger darauf ankommt große Mengen zu fördern, sondern den gefundenen Rohstoff möglichst ohne Beschädigung zu gewinnen.

Die Ausbeute an handelsfähiger Ware ist zum Vergleich der Menge des gebrochenen Gutes sehr gering. Die Platten werden am Schlagort gereinigt, gespalten, soweit die Ausscheidung von groben Beimengungen es nötig macht, und beschnitten, so daß gerade Kanten entstehen. Die erhaltenen Formen sind ganz unregelmäßig. Auf den Sammelstellen folgt dann nochmals sorgfältigste Auswahl; stark gerissene oder verworfene Platten werden notfalls gespalten, danach wird eine eingehende Teilung nach Größe und Ebenheit vorgenommen.

In Indien, Ostafrika und wohl auch einigen anderen Vorkommen besseren Glimmers werden Platten bis zu $\frac{1}{2}$, selten auch mal bis annähernd 1 qm Fläche gefunden, die auch völlig eben und rißfrei sind; die Ausbeute an kleinen und mittleren Stücken ist das Übliche.

Die europäischen Vorkommen liefern fast durchweg nur kleinere Stücke bis höchstens $\frac{1}{4}$ m im Quadrat, doch sind auch sie meist so verlagert, daß es oft schwer ist, Plättchen von auch nur 5×10 cm daraus zu gewinnen. Die weit überwiegende Zahl ist kleinblättrig und nur für Mikanitverarbeitung geeignet. Dabei enthalten diese Glimmer sehr viele Beimengungen, besonders an Eisen. Vollständig reiner Muskowit ist jedenfalls in Europa selten.

Der Versand des Glimmers erfolgt in Kisten nach Größen der Platten unterteilt. Für den Handel haben sich folgende Normen 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 Verwendungsmöglichkeiten für Glimmer sind in der Elektrotechnik außerordentlich vielseitig, es seien darum seine Eigenschaften ausführlich gebracht. Hindernd ist der hohe Preis, der dazu führte,

den Rohstoff zu strecken und in Form von Preß- und Klebstücken (Mikanit) zu verarbeiten. Hierüber besonderer Abschnitt später.

Die **Druckfestigkeit** ist sehr hoch, doch kommt Glimmer wohl nie vorwiegend für eine solche Beanspruchung in Frage.

Die **Biegsamkeit** ist hervorragend. Platten von 0,2 mm Stärke lassen sich noch gut über \varnothing von 30—40 mm biegen (wickeln), ohne in ihrer Oberfläche zu reißen, dünnere lassen noch weit geringere Wickeldurchmesser zu.

Die **Spaltbarkeit** ist sehr groß, eine Eigenschaft, die für viele elektrotechnische Zwecke von hohem Werte ist. Es lassen sich Plättchen von weniger als $\frac{1}{100}$ mm erreichen.

Die **Härte** liegt nach der Mohsschen Skala zwischen 2 und 3, also ziemlich tief, doch schwanken die Glimmersorten unter sich noch recht erheblich. Nach Zeitler¹⁾ ergibt sich folgende Abstufung, nach der Nr. 1 die weichste Sorte darstellt:

1. Amber (gold, rot, schwarz);
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 von Amerika.

Die **Wärmebeständigkeit** liegt weit höher als bei jedem anderen Isolierstoff. Muskowit zeigt nach Zeitler¹⁾ bei 400—600° noch keine Veränderung, er behält seine Durchsichtigkeit und Elastizität vollkommen bei. Erst bei 900—1000° wird er silberweiß, spröde und pulverisierbar. Die Schmelzbarkeit liegt bei 1200—1300°. Selbst vor dem Lötrohr ist der Stoff nur in feiner Vermahlung schmelzbar. Gegen Temperaturwechsel ist Glimmer vollkommen beständig.

Die **Wasseraufnahme** ist bei gelockerten Schichten hoch, besonders bei den weichen Sorten. Die unversehrte Platte nimmt an der Fläche überhaupt kein Wasser an. Unmittelbare Wassereinfluß wird Glimmer nirgends ausgesetzt, es findet meist, wie z. B. im Kondensatorenbau, eine vollständige Einbettung in Lack, Paraffin, Öl u. dgl. statt.

Die **Säurebeständigkeit** ist bei Muskowit und Biotit verschieden. Wird Glimmer auch kaum mit Säure in Verbindung gebracht, so soll doch ein leichtes Unterscheidungsmerkmal angegeben werden. Magnesiaglimmer wird durch Kochen in konzentrierter Schwefelsäure vollständig zersetzt, während Kaliglimmer gegen Schwefel- und Salzsäure unempfindlich ist.

¹⁾ Zeitler: Glimmer. Berlin-Weißensee: Selbstverlag Jaroslaws erste Glimmerwarenfabrik.

Die **Ölbeständigkeit** ist im allgemeinen vollkommen, solange säure-freies Öl verwendet wird.

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 aber gute Erfahrungen vor.

Die **Wärmeleitfähigkeit** ist sehr gering, zahlenmäßige Angaben liegen nicht vor.

Die **Durchlässigkeit strahlender Wärme** ist gleichfalls sehr schwach, sie ist von Zeitler untersucht und verhält sich zu der des Fensterglases wie 6 : 10. Die praktische Ausnützung findet man an den Schaulöchern der elektrischen Öfen u. dgl.

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

Die **elektrische Durchschlagsfestigkeit** ist die vorzüglichste Eigenschaft des Glimmers, sie ist vom Verfasser nach der Kurve Abb. 85 bestimmt. Es ist hier reiner, fleckenfreier ostafrikanischer Glimmer zugrunde gelegt, die Zahlen schwanken bei den verschiedenen Sorten erheblich. Dem ostafrikanischen ist nur der indische klare Glimmer gleichzusetzen, alle übrigen Sorten sind unterlegen. Erwähnt sei dabei, daß Einlagerungen von Eisen auf die Durchschlagsfestigkeit kaum Einfluß haben, da sie zwischen den Schichten, also parallel zur Kristallisationsebene liegen. Bedeutende Beeinträchtigungen üben diese Beimengungen aber in anderer Richtung aus, sie führen zu erheblicher Steigerung der dielektrischen Verluste bei Kondensatoren.

Der **spezifische Widerstand** beträgt nach Angabe von Dr. Bärtling für

ostafrikanischen Glimmer . . .	900—980 Mill. Megohm,
kanadischen Glimmer . . .	700—900 „ „
besten indischen Ruby . . .	1200 . . „ „

Für den **Oberflächenwiderstand** sind, wie vorn unter der elektrischen Prüfung angedeutet, sehr schwer Zahlen anzugeben, da diese in bedeutendem Maße von der Luftfeuchtigkeit abhängen, andererseits schwankt der Wert sehr, je nach Reinheit der Ware.

Die **Dielektrizitätskonstante** liegt zwischen 3—8, je nach der Glimmerart.

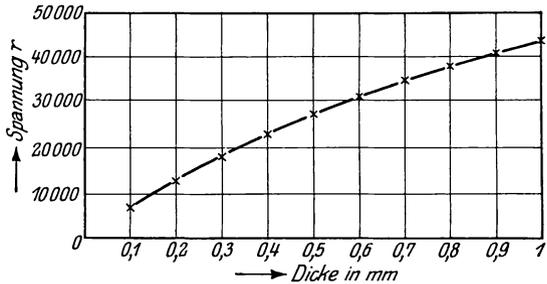


Abb. 85. Durchschlagskurve für Glimmer.

Der **Dämpfungswert** ist ebenfalls nach den Arten außerordentlich verschieden, er hängt von den jeweiligen Beimengungen ab und muß von Fall zu Fall untersucht werden. Die Verluste können in Kondensatoren bei fleckiger Ware gegenüber reinem ostafrikanischen Glimmer bis zu 70 und 80 vH betragen. Der Kreis der für diese Verwendung zulässigen Glimmersorten ist somit sehr beschränkt.

Holz.

Dieses ist bei den ersten Starkstromanlagen, die noch mit Spannungen von 65 Volt arbeiteten, viel als Isolierstoff verwendet worden. Schalttafeln sind damals fast stets aus Holz gebaut, die Bezeichnung Schaltbrett ist bis heute noch nicht ausgerottet. In späteren Jahren ist man der Feuergefahr wegen zu Schiefer, Marmor und künstlichen Isolierstoffen, wie den bakelisierten Hartpapieren, übergegangen.

Die heute geltenden Errichtungsvorschriften des V. D. E. mit den von Weber¹⁾ bearbeiteten Erläuterungen lassen Holz nur noch bedingt zu, besonders für Bahnwageninstallationen sind gewisse Erleichterungen gegeben. Die volle Wiedergabe erübrigt sich nach diesem Hinweis.

Allgemein darf Holz nur noch als Konstruktions-, nicht aber als Isolationsstoff verwendet werden.

Marmor.

Der Marmor ist ein in der Starkstromtechnik viel benutzter Isolierstoff, im Schalttafel- und Gerätebau hat er sich noch immer fest behaupten können, obgleich ihm in den bakelisierten Papierplatten starke Gegner entstanden sind.

Marmor ist eine Abart des Kalksteines, die Korngröße des Stoffes ist auf den einzelnen Fundstellen sehr verschieden. Die Struktur ist gleichmäßig dicht, die Grundfarbe meist weiß bis gelblich, oft von dunkleren Adern durchsetzt, die zu grauer bis blauer Gesamttönung führen. Die elektrische Wertigkeit dieser Marmorarten ist gemindert, sie sind teils ganz unbrauchbar.

Die Vorkommen von Marmor sind sehr zahlreich, als deutsche Fundstellen seien das Fichtelgebirge, Gr. Kunzendorf i. Schl., der Odenwald und bis zum Kriegsende Deutsch-Südwestafrika genannt. Weiter finden sich in Europa viele andere Vorkommen, von denen besonders Karrara in Italien und die Griechenlands erwähnt seien. Das Kriegsende beschränkt uns nun auf die deutschen Fundstellen, es zeigt sich

¹⁾ Weber: Erläuterungen zu den Vorschriften für die Errichtung und den Betrieb von Starkstromanlagen. Berlin: Julius Springer 1921.

auch hier jetzt, daß der von dort kommende Werkstoff sehr wohl geeignet ist, uns von den teuren Auslandsstellen freizumachen.

Die Bearbeitung ist leicht, der Stoff läßt sich sägen, feilen, bohren und polieren. Für die Behandlung sehen die schon früher erwähnten Erläuterungen von Weber¹⁾ bestimmte Vorsichtsmaßnahmen und Einschränkung der Verwendung vor. Die Vorderseiten sind zu polieren, um die Aufnahmefähigkeit für Schmutz und Feuchtigkeit zu verhindern. Die Rückseiten und die Bohrungen sind mit gutem Lack zu streichen, besser noch sind die letzteren mit Mikanit oder ähnlichen Stoffen auszubuchen. Unter die Scheiben der Anschlußbolzen sind ebensolche Isolierscheiben zu legen. Auf jeden Fall ist der Baustoff vor dem Verbrauch sorgfältig durch Isolationsmessungen auf das Vorhandensein von leitenden Adern zu prüfen.

Gegen Säuren ist Marmor nicht beständig.

Für die Güte des deutschen Marmors mag folgender Auszug aus einem Prüfschein der P. T. R. sprechen, den die Firma H. Thust, Gr. Kunzendorf bei Neißة über ihre Erzeugnisse hellbunt, hell, hellextra zur Verfügung stellte.

Abschrift.

P. T. R. II 2662/20 W.

Zur Feststellung des hygroskopischen Verhaltens des Marmors wurde eine Platte nach Abschleifen der Oberfläche getrocknet und dann 24 Stunden in Wasser gelegt. Nach zweistündigem Liegen an der Luft wurde die Wasseraufnahme bestimmt, sie betrug weniger als 0,1 vH des Gewichtes der Platte.

An anderen Platten wurde der Oberflächenwiderstand einer Fläche von 11 cm Länge und 1 cm Breite bei 1000 Volt Gleichspannung gemessen:

Vorbehandlung des Werkstoffes	Vergleichszahl
1. Im Zustand der Anlieferung	4
2. Nach 48stündigem Liegen in einem Raum von 35 vH relativer Luftfeuchtigkeit	4
3. Nach 48stündigem Liegen in einem Raum von 80 vH relativer Luftfeuchtigkeit	4

Die Vergleichszahlen stufen sich nach den V. D. E. Vorschriften ab. Auf einer Platte war eine bräunlich-lilafarbene Stelle von geringerem Oberflächenwiderstand. Die Platte wurde daher zerschlagen und auf leitende Stellen untersucht. Die be-
anstandete Stelle wurde mit 2 Spitzenelektroden von 10 mm

1) Weber: Erläuterungen zu den Vorschriften für die Errichtung und den Betrieb von Starkstromanlagen. Berlin: Julius Springer 1921.

Abstand bei 1000 Volt abgetastet. Eine leitende Schicht konnte nicht festgestellt werden.

Es ist zu wünschen, daß sich die deutsche Elektrotechnik auch hier von Auslandslieferungen freimacht. Die Mächtigkeit der schlesischen Funde reicht voll aus, den Bedarf auf absehbare Zeit zu decken.

Schiefer.

Ein Kalkstein, der in Deutschland vielfach gewonnen wird und der in der Elektrotechnik zur Zeit der niedervoltigen Anlagen allgemein als Baustoff benutzt wurde.

Für die heutige Verwendung gilt das für Marmor bereits Gesagte in verstärktem Maße. Leitende Adern, insbesondere Eisen, finden sich hierin noch viel stärker vertreten. Weber nennt für die an sich sehr beschränkte Benutzung noch gesonderte Vorschriften.

Das spez. Gew. beträgt 2,65—2,7.

Durchschlagsfestigkeit: bei 1 mm Stärke 200—350 V.

II. Keramische Erzeugnisse.

Glas.

Dieser Werkstoff ist in Rücksicht auf seine Billigkeit und leichte Formbarkeit ursprünglich vielfach für die Zwecke der Elektrotechnik, insbesondere für die Freileitungsinstallation in Amerika, Belgien und Frankreich, teilweise auch in Deutschland benutzt worden.

Die Oberfläche wird jedoch von der Atmosphäre mit der Zeit in hohem Maße angegriffen, ferner ist die Widerstandsfähigkeit gegen Temperaturschwankungen gering, so daß Glas fast ganz von dem weit überlegenen Porzellan verdrängt wurde.

In neuerer Zeit wirbt besonders eine Schweizer Firma in hohem Maße, einzig wohl auf die Billigkeit gestützt, wieder für Glas-isolatoren; es werden aber in Rücksicht auf die vorgeschilderten Nachteile auch vorsichtigerweise meist nur Innenraumisolatoren, die also dem Witterungseinfluß nicht ausgesetzt sind, angeboten. In Hinsicht auf diese neuen Versuche mag hier bez. der Glaseigenschaften etwas weiter ausgeholt werden.

Zunächst verführen die in den Veröffentlichungen zu findenden hohen Festigkeitsangaben über Glas immer wieder dazu, diesen Werkstoff neu aufzugreifen. In einer Arbeit von Berndt¹⁾ sind Werte ge-

¹⁾ Berndt: Mitt. aus dem mechan. Laboratorium der Optischen Anstalt C. P. Goerz, Berlin-Friedenau. Verhandl. der deutschen physikalischen Gesellschaft XIX. Jahrg., Nr. 23/34.

nannt und zwar für Spiegelglas bei Druck 13 t/qcm. Die Beifügung der Größenangabe von nur 5 mm für Würfel oder Zylinder wird von vielen Konstrukteuren übersehen oder für allgemein gültig gehalten und auf beliebige Größen und, was noch viel schlimmer ist, Gestaltungen übertragen. Ein Standpunkt, der im Aufsatz über Druckuntersuchungen unter Hinweis auf die Porzellanwerte stark bekämpft wurde.

Die Möglichkeit der Druckbeanspruchung von Glasisolatoren ist vom Verfasser ebenfalls geprüft zum Zwecke des Vergleiches mit verschiedenen später noch zu nennenden Baustoffen. Es ergaben sich hier bei Körpern von 100 mm Höhe, 200 mm Auflagedurchmesser mit einem Flansch zur Verlängerung der Oberflächenisolation 150—200 t, was einem spez. Wert von nur $\sim 0,6$ t/qcm entspricht, also $\sim 1/20$ der oben angeführten Zahl.

Der Grund des Rückganges ist in der großen und besonders in der Wandstärke so wechselnden Formgebung zu suchen. Die Herstellung ist hier allerdings auch ausnahmsweise schwierig, die Verhältnisse verbessern sich wieder bei einfacheren Formen, doch werden verschiedene Abkühlungsverhältnisse und damit erhebliche innere Spannungen in den Körpern der Freileitungsisolatoren nie vermieden werden können. Den vom V. D. E. vorgeschriebenen Temperatursturzproben ist Glas keinesfalls gewachsen. Dazu kommt noch die Verwitterung der Oberfläche, die infolge der Rauheit zu Schmutz- und Rauchablagerungen und damit zur Herabsetzung der elektrischen Wertigkeit führt und die auch durch oftmaliges Reinigen nicht wieder behoben werden kann.

Es kann nach diesen Darlegungen Glas in Isolatorenform ernstlich nicht mehr in Frage kommen.

Der Gebrauch für Glühlampen, Bogenlampen, Kathodenröhren, Sammlerkästen u. dgl. wie in Form von Glaswolle ist hier nicht zu behandeln, da das Glas hier nicht unmittelbar elektrischen Zwecken dient. Allein für den Kondensatorenbau findet Glas heute umfangreiche Verwendung, es dient hier als Ersatz für den früher für diese Zwecke allein geltenden Glimmer.

Der Verfasser hat während des Krieges nach Erschöpfung aller Quellen des irgendwie brauchbaren Glimmers umfangreiche Versuche bei der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie (Telefunken) Berlin in seiner Eigenschaft als Prüffeldvorstand gemacht, die schließlich zu vollwertigem Ersatz der Glimmerkonstruktionen führten und deren Ausführung und Aufbaugedanken in mehreren Patenten der genannten Firma niedergelegt und geschützt sind.

Die Glaskondensatoren haben sich in sehr großen Stückzahlen für die verschiedensten Funk- und auch Röntengeräte bestens bewährt, und es besteht kein Anlaß, zu dem jetzt zwar wieder erreichbaren, aber so teuren Glimmer zurückzukehren.

Für Kondensatorzwecke eignet sich nur ein stark bleihaltiges Glas, das sog. Flintglas. Es wird als Glasgemenge in kleinen Einzelhäfen angesetzt und bei einer Temperatur von 1500° unter dauerndem Rühren geschmolzen, so wird ein Absinken der schweren Teile vermieden und große Gleichmäßigkeit erzielt. Die nur einmal zu benutzenden Häfen werden nach dem Erkalten, das in vorsichtigster Weise, etwa 12—14 Tage dauernd, durchgeführt wird, ausgeschlagen; der Hafeninhalt ergibt viele ganz ungleichmäßig große, zerrissene Brocken, diese werden jetzt durchsortiert und nach den verschiedensten Verfahren behandelt.

Der einfachste Weg der weiteren Verarbeitung ist der, die Stücke wieder auf annähernde Schmelztemperatur zu erwärmen und auszuwalzen, wie es in der Spiegelglaserzeugung üblich ist. Die Walzkuchen werden je nach dem Inhalt der ursprünglichen Brocken verschieden groß, der Abfall ist nach dem Zuschneiden erheblich. Die Walzstärke beträgt etwa 4 mm, die gewünschte Stärke muß dann durch Abschleifen erreicht werden, wonach noch der Poliervorgang folgt.

Der zweite Weg ist der in der optischen Industrie gebräuchliche, die erwähnten Brocken werden einzeln in Schamotteformen gelegt und in diesen in einem neuen Erhitzungsvorgang in besonderen Öfen, die wie die neueren Porzellanöfen nach dem Tunnelprinzip gebaut sind, „gesenkt“, d. h. das Glas kommt nicht ganz auf die Schmelztemperatur, wird aber so weit erhitzt, daß es zusammenfällt und schließlich die Form ausfüllt. Hiernach folgt im gleichen Ofen eine langsame Abkühlung. Die aus den Formen kommenden Stücke haben etwa Mauersteingestalt, sie werden an zwei gegenüberliegenden Seiten angeschliffen, poliert und nun in der Durchsicht auf Schlieren untersucht. Die brauchbaren Stücke gehen in die Schneiderei und Schleiferei und werden zu optischen oder den vorgenannten elektrotechnischen Zwecken verarbeitet.

Ein weiteres 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 Platten gebracht. Diese Herstellungsart ist die 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 erheblich, so daß dadurch wieder ein erheblicher Ausschuß entsteht.

Diese kurze Beschreibung der Herstellung mag genügen, für ausführlichere Unterrichtung muß auf Sonderarbeiten verwiesen werden.

Die Benutzung von Glas für Kondensatoren beschränkt sich immer mehr auf die Plattenform, die alte Leidener Flasche scheidet ihres großen Raumbedarfes und auch ihrer Unhandlichkeit wegen aus.

Entsprechend der sehr einseitigen Verwendung des Glases ergaben sich nach dem „Arbeitsplan“ folgende Antworten:

Verwendung: Kondensatoren.

Lieferungsform: Platten oder Zylinder.

Bearbeitung: gewalzt oder geblasen, mit geschliffener oder blanker Oberfläche, danach mit Stanniol beklebt, Kupfer belegt, galvanisiert oder geblasen (Schoop).

Spezifisches Gewicht: abhängig vom Bleigehalt (2,4÷3,9).

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

Erwärmung unter Prüfspannung: abhängig von der Zusammensetzung.

Dielektrizitätskonstante: desgl. $\sim 6,61 \div 9,9$.

Zusammensetzung: bis 50 vH Bleigehalt.

Porzellan.

Das Porzellan ist einer der wenigen Isolierstoffe, die die Elektrotechnik von Anbeginn her benutzt hat, seine Verwendung ist infolge der vielen hervorragenden Eigenschaften eine stets steigende gewesen, es wird durch keinen der im Laufe der Jahre entstandenen Ersatzstoffe wieder verdrängt werden können.

Es sei im folgenden zunächst ein kurzer Abriß über die Entstehung und die Fabrikation des Porzellans gegeben. Der Verfasser hielt eine solche Schilderung für zweckmäßig, da der Werdegang der Isolatoren dem Elektroingenieur in seiner eigenen Ausbildung meist fremd geblieben ist. Die Werkstattpraxis vollzieht sich mehr in Maschinen- oder rein elektrotechnischen Fabriken, der Konstrukteur ist darum leicht geneigt, vom Porzellan ähnliche Formmöglichkeiten und Genauigkeiten zu verlangen wie vom Metall.

1. Die Entwicklung der Porzellanindustrie.

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 Herstellung 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 Gotskowsky 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, ihre Erzeugnisse haben Anerkennung in der ganzen Welt gefunden.

Durch die in Deutschland an vielen Stellen vorhandenen Vorkommen von Porzellanerde (Kaolin) begünstigt, entwickelten sich dann bald neue Fabriken. Es entstand so die Schlesische, Thüringer, Sächsische, Bayerische und auf einige andere Gegenden Deutschlands verteilte große Porzellanindustrie. Diese zerfällt in zwei Hauptgruppen, die Kunst- und Geschirrporzellanerzeugung und die Herstellung chemischer und technischer Porzellanwaren.

2. Die Kennzeichnung des Porzellans.

Man unterscheidet zwischen dem Weich- und Hartporzellan; das erstere eignet sich in der Hauptsache für die Erzeugung von Kunst- 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 äußeres Merkmal einen muscheligen fein- bis grobkörnigen Bruch von reinweißer Farbe. Der Scherben ist vollständig dicht (unhygroskopisch) und in dünnen Stücken durchscheinend, ohne durchsichtig zu sein, er gibt beim Anschlag im Gegensatz zu minderwertigeren keramischen Erzeugnissen einen hellen Klang.

3. Rohstoffe.

Das von der deutschen Elektroindustrie verwendete Porzellan ist ein rein deutsches Erzeugnis, ein Vorteil, den es nur mit wenigen der übrigen Isolierstoffe gemeinsam hat. Die Urteile sind in der Hauptsache

Kaolin — Feldspat — Quarz,

wobei Kaolin der eigentliche Aufbaustoff ist, die beiden anderen sind Magerungs- und Flußmittel.

Kaolin oder Porzellanerde, der bildsame Teil des ungebrannten Werkstoffes ist eine feinkörnige, weiße, gelbliche bis bräunliche Masse, Abb. 86, kristallisiert monoklin, die Härte ist = 1 der Mohsschen Skala, das spez. Gew. ist 2,2÷2,6.

Verunreinigungen wie Eisenoxyd oder kohlensaurer Kalk färben die Masse und geben den grauen bis grünlichen Ton und den braunen Lehm. Der Schmelzpunkt quarzfreien Kaolins liegt bei rund 1750°.

Vorkommen in derben Massen sind in Deutschland so zahlreich, daß von der Verwertung fremdländischer 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 verfarbte Teile auszuschneiden, nicht beseitigte eisenhaltige Stoffe geben dem Scherben leberfleckartige, braune bis schwarze Fehlstellen.

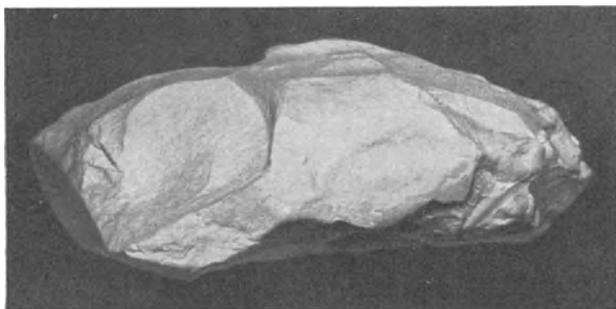


Abb. 86. Kaolin, roh.

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

Feldspat, Abb. 87, Orthoklas, Kalifeldspat, ein Mineral von der Härte = 5÷6 spez. Gew. = 2,35÷2,50, selten kristallinisch dimorph, monoklin, triklin meist in derben Massen in Granit, Gneis, Glimmer u. dgl. Bruch muschelrig 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 $\sim 12\div 1300^\circ\text{C}$.

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 wenigen Vorkommen. Die deutsche Porzellanindustrie hat den Rohstoff früher vielfach aus Norwegen bezogen.

Die Ware von dort ist ziemlich farblos bis grau, die der Abhandlung „Glimmer“ beigefügte Abb. 82 zeigt ein Stück Rohstoff 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“ (Măileasa) mitgeführtes Stück, Abb. 83 läßt gleichfalls die Herkunft aus Pegmatitgängen mit Quarz- und Glimmerbeimengungen erkennen. Der Feldspat hat hier eine reine weiße bis zartrosa Farbe.

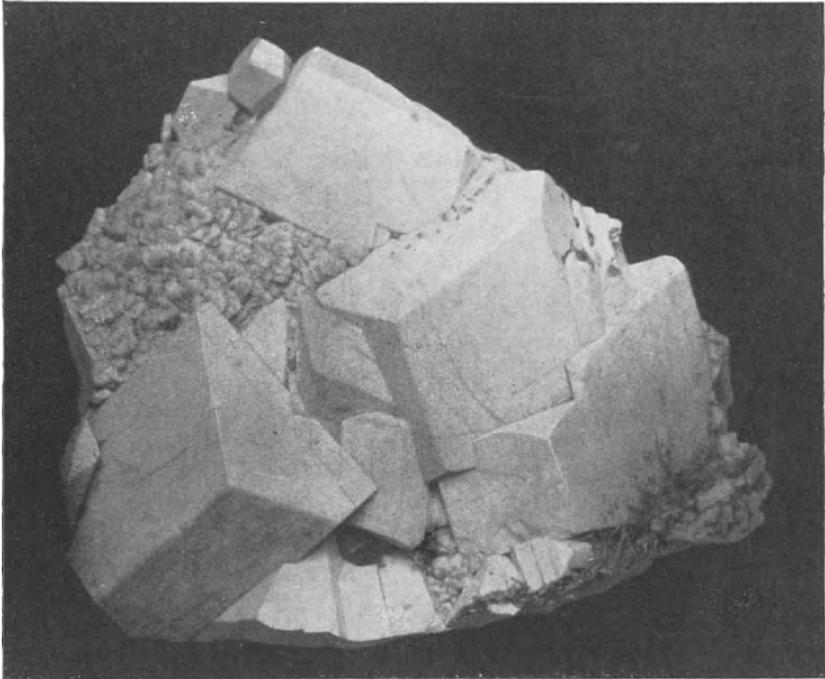


Abb. 87. Feldspat, roh.

Die Vermahlung des Feldspates geschah an den Fundstellen, teils auch in den Porzellanfabriken. Die nach dem Krieg eingetretenen Nahrungsverhältnisse haben die deutsche Industrie größtenteils veranlaßt, deutsche Rohstoffvorkommen, die wegen ihrer geringeren Abbauwürdigkeit früher vernachlässigt wurden, wieder aufzunehmen und auszubeuten.

Die Aufbereitung geschieht wie beim Kaolin.

Quarz, Abb. 88, hat die Härte 7, ein spez. Gew. = $2,5 \div 2,8$ meist derb, selten kristallinisch hexagonal. Von Säuren wird es nur durch Flußsäure gelöst, von Kalilauge wenig angegriffen; er ist durchsichtig bis undurchsichtig. Die Farbe ist wechselnd von farblos, weiß, gelb bis braun. Der Schmelzpunkt liegt bei 1700°C .

Quarz enthalten fast alle Gesteinsarten, als Beispiele 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. Eine Einfuhr kommt nicht in Frage.



Abb. 88. Quarz, roh.

Die Verarbeitung und Vermahlung ist, soweit letztere erforderlich, die gleiche wie bei den vorbeschriebenen Mineralien, für Stückenquarz ist u. a. noch ein Glühen vor dem Vermahlen zweckmäßig.

Die Thüringer Porzellanindustrie verwendet an Stelle von Stückenquarz, dessen Aufbereitung erhebliche Kosten verursacht, meist Quarzsande. Diese haben selbst oft hohen Anteil an Feldspat und Ton, wodurch wiederum die Massezusammensetzung beeinflusst wird.

Man rechnet im allgemeinen für die fertig zusammengesetzte Porzellanmasse an Anteilen

- Kaolin 50 vH
- Feldspat 25 vH
- Quarz 25 vH.

Das tatsächliche Mengenverhältnis, der sog. Versatz, schwankt stark nach der Reinheit der Einzelstoffe, es ist Geheimnis jeder einzel-

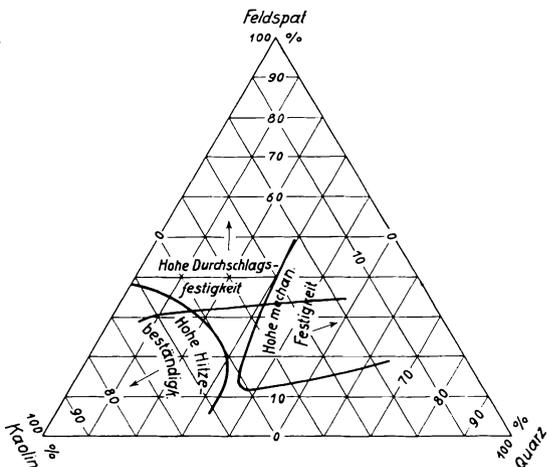


Abb. 89. Wirksamkeit der Bestandteile.

nen Fabrik. Die Höhe der einzelnen Anteile beeinträchtigt wiederum die Leistung des Porzellans, es ist nicht möglich, ein Porzellan zu erhalten, das gleichzeitig mit höchster mechanischer Festigkeit höchste elektrische Durchschlagsfestigkeit und auch noch höchste Temperaturbeständigkeit verbindet, die einzelnen Forderungen widersprechen sich gewissermaßen gegenseitig, es ist darum nötig, sich mit einem Mittel aus den drei Ansprüchen zu begnügen. Die Abb. 89 stellt ein dreiseitiges Koordinatensystem dar, das an Hand der eingetragenen Kurven gestattet, die Wirksamkeit der einzelnen Bestandteile zu erkennen.

4. Die Aufbereitung der Masse.

Dieser Absatz soll der Folgerichtigkeit wegen kurz erwähnt werden, um keine Lücke im Gang der Fabrikation zu lassen, es kann sich aber für den Elektrotechniker weder um eine eingehende Betrachtung des rein keramischen Arbeitsanteiles handeln, noch ist hier der Platz für derartig eingehende Schilderungen gegeben. Es bestehen über die Porzellanbereitung verschiedene auch für den Nichtkeramiker geeignete Schriftwerke, die zum Studium empfohlen werden können^{1) 2) 3)}, so daß hier ein kurzer Überblick ausreicht.

Die Zusammenbringung der Einzelbestandteile geschieht nach genauer Prüfung und Wägung unter Wasserzusatz im Massequirl, einem großen bottichartigen Gefäß aus Holz oder Stein mit darin umlaufenden gleichfalls hölzernen Mischflügeln. Der Porzellanbrei wird hier mit den Magerungsmitteln innig vermennt, läuft danach durch eine hölzerne Rille über eine Magneteinrichtung, wodurch ihm alle etwa anhaftenden Eisenteile entzogen werden, und über Feinsiebe in die Absatzbehälter.

Der aus den Sammlern nach Ablassen des Wasser erhaltene steife Massebrei besitzt noch einen erheblichen Wasseranteil, der die Verarbeitung noch nicht zuläßt. Das Massegemenge wird darum durch Filterpressen getrieben, die dann den sog. Kuchen mit nur etwa 20 vH Wasser liefern, diese werden dann wiederum zusammengestapelt und in feuchten Räumen einem längeren Lagern, dem „Faulen“ unterworfen, wodurch die Masse erheblich an Bildsamkeit gewinnt.

Der so erhaltene Rohstoff wird nun noch auf Masseschlagmaschinen geknetet (homogenisiert) und ist dann reif zur Verarbeitung.

¹⁾ Rieke: Das Porzellan. Hannover: Verlag Jänecke.

²⁾ Friese: Das Porzellan als Isolations- und Konstruktionsmaterial der Elektrotechnik. 1904. (Vergriffen.)

³⁾ Hegemann, Hans: Die Herstellung des Porzellans. 1904. (Vergriffen.)

5. Die Formgebung.

Der Arbeitsgang ist je nach den geforderten Isolatorformen verschieden, man unterscheidet hier drei Hauptarbeitsverfahren, die einzeln oder bei gewissen Körperformen zu mehreren angewendet das gewünschte Arbeitsstück ergeben.

Für elektrotechnisches Porzellan genügt es, wenn im engeren Rahmen dieses Buches die zwei großen Gruppen Hoch- und Niederspannungsporzellan, die wiederum in der Hauptsache die zwei meist angewendeten Erzeugungsverfahren umschließen, genannt werden.

Die Hochspannungsisolatoren, als Freileitungsstützenisolatoren, Freileitungs-, Hänge- und Abspannisolator, Innenraumstandisolatoren, Durchführungen usw. werden fast ausschließlich im

Dreherei-Verfahren,

Niederspannungs-Freileitungsisolatoren, Installationsteile als Schaltersockel, Schalterdeckel, Rosetten, Steckkontakte usw. meist im

Presserei-Verfahren

erzeugt.

Bei der Formgebung irgendeines Isolationsteiles soll schon der Konstrukteur überlegen können, welches Verfahren in Frage kommen wird und hiernach die Gestaltung einrichten.

Stellen wir uns nun kurz den Werdegang eines Freileitungsisolators einfachster Form als Beispiel für das „Drehverfahren“ vor. Die Abb. 90 zeigt in ihrer rechten Hälfte einen Freileitungs-Stützenisolator der vom V. D. E. genormten Form, wie er fertig aussehen soll, die linke Hälfte denselben Körper zu Beginn seiner Laufbahn im gleichen Maßstabe gezeichnet. Es fällt zunächst der Größenunterschied auf. Das Porzellan hat die unangenehme Eigenschaft, während der Verarbeitung erheblich zu schwinden.

Friese¹⁾ macht hierüber sehr ausführliche Angaben, die naturgemäß erhebliche Änderungen nicht erfahren haben, da sowohl die Rohstoffverteilung wie das Arbeitsverfahren auch seit 1904 im wesentlichen gleich geblieben sind, sie können darum hier wiederholt werden.

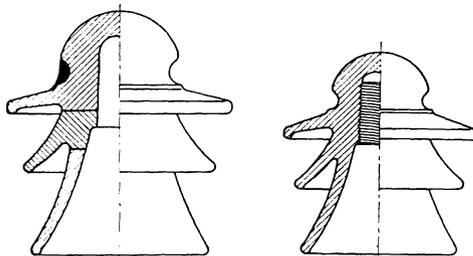


Abb. 90. Deltaisolator roh und fertig.

¹⁾ Friese: Das Porzellan als Isolier- und Konstruktionsmaterial der Elektrotechnik. 1904.

„Das Schwinden des Porzellans infolge des Zusammensinterns beim Glüh- und Glattbrande hängt von dem Herstellungsverfahren und bis zu einem gewissen Grade auch von der Formgebung ab. Daß es natürlich auch in hohem Maße abhängig ist von der Zusammensetzung der Masse ist wohl selbstverständlich. Es ist aber hier vorausgesetzt, daß immer mit ein und derselben für das Isolierporzellan günstigsten Zusammensetzung gerechnet wird. Es ist daher wohl verständlich, daß das Schwindmaß — trotz seiner Wichtigkeit — die unsicherste Größe ist, die angegeben werden kann. Dies um so mehr, weil zu der Schwindung noch eine andere Formveränderung hinzutreten kann, die oft mit der Schwindung verwechselt wird und darin besteht, daß beim Garbrande das Porzellan weich wird und nun unter der Wirkung der Schwerkraft je nach der Massenanhäufung des Formstückes noch Verbiegungen, Verwerfungen u. dgl. erleidet, nachdem die eigentliche Schwindung schon aufgehört hat. Aus diesem Grunde ist es bei schwierigeren Formen oft gar nicht möglich, vorgeschriebene Maße genau einzuhalten. Für Hermsdorfer Hartporzellan werden als ungefähre Mittelwerte der (linearen) Schwindung gefunden für

a) Drehereiware

vom Übergange aus grünem in verglühten Zustand eine Schwindung von 7 vH,
vom verglühten in den Garzustand 10 vH,
vom Grün- in den Garzustand 17 vH.

b) Pressereiware

grün in verglüht eine Schwindung von 2,5 vH,
verglüht in gar eine Schwindung von 13,5 vH,
grün in gar eine Schwindung von 16 vH.

c) Gegossene Ware

grün in verglüht eine Schwindung von 6 vH,
verglüht in gar eine Schwindung von 9 vH,
grün in gar eine Schwindung von 15 vH.

Besonders bemerkenswert ist die geringe Schwindung von grün in verglüht bei Pressereiware, was sich dadurch erklärt, daß die Masse verhältnismäßig trocken verarbeitet wird und durch den hohen Druck in den Pressen schon sehr dichte Stücke erzeugt werden.“

Zur Erläuterung des dem Elektrotechniker unverständlichen Wortes „grün“ sei gesagt, daß hiermit das Porzellan in nassem Zustand, also bei Formgebung, bezeichnet wird, getrocknete Ware, also die unmittelbar zum Verglühen fertige, wird „weiß“ genannt, die fertig gebrannte „gar“.

Die Schwindung darf, wie nach dem Vorgesagten wohl verständlich, keinesfalls vom Konstrukteur im Elektrogerätebau übersehen werden. Der Wunsch, genaueste Maßeinhaltung zu erreichen, kann nur in gewissen Grenzen erfüllt werden, es sprechen beim Schwinden und Einsinken der Ware im Brande so viel Umstände mit, daß nur der langjährige Porzellanmodelleur und Brennmeister in der Lage ist, alle Möglichkeiten voll zu überdenken und einzurechnen. Die Porzellanindustrie ist bestrebt, allen Forderungen nachzukommen, es ist aber nötig, daß der Elektrokonstrukteur die Genauigkeitsforderung nicht zu weit treibt, keramische Erzeugnisse dürfen nicht mit Metallguß verglichen werden, es muß im allgemeinen mit Abweichungen bis $\pm 5 \text{ vH}$ gerechnet werden.

Die für die Herstellung erforderlichen Gipsformen müssen nach diesen Ausführungen um das entsprechende Maß größer gehalten werden, die vorbenutzte Abb. 90 ist damit in ihren beiden scheinbar widersprechenden Teilen erläutert. Der vorliegende Isolator wird trotz seiner Einteiligkeit in drei voneinander zunächst unabhängigen Teilen hergestellt, diese werden dann erst zusammengesetzt oder, wie der Porzellanfachmann sagt, „garniert“. Die Verbindung der sorgfältig gerade gearbeiteten Flächen geschieht durch dünne Porzellanmasse, sog. „Schlicker“. Die Güte der Garnierstellen ist derjenigen der übrigen Teile des Isolators weder bez. der mechanischen Festigkeit noch der Durchschlagsfestigkeit, sorgfältige Arbeit vorausgesetzt, unterlegen. Die Form der Einzelteile ist erhalten aus 3 Gipsformen, die Negative der Einzelstücke (die Garnierstellen liegen zwischen den Schirmen) darstellen.

Die Masse wird in Gestalt des „Hubels“, eines dem Rauminhalt des zu drehenden Teiles ungefähr entsprechenden handgekneteten Ballens in die Gipsform eingelegt, mit Stempeldruck gepreßt und dann mit Zinkschablone innen auf Maß gearbeitet, nach Entnahme aus der Form auch außen noch nachgedreht. Die Einzelteile werden, wie es die schraffierten Stellen der linken Bildseite andeuten, dann wie vorbeschrieben zusammengesetzt, und der Isolator ist, nachdem auch noch das Gewinde für die Stütze eingeschnitten ist, fertig für den Trocken- und daran anschließenden Brennvorgang.

Im gleichen Sinne erfolgt die Formgebung für Stützer, Durchführungen und ähnliche Stücke.

Ehe der Arbeitsgang weiter behandelt wird, sei auch das zweite Hauptherstellungsverfahren noch kurz behandelt.

Für die Massenerzeugung von Kleinteilen hat sich ähnlich wie in der Metallindustrie ein „Preßverfahren“ durchbilden lassen, das selbst bei schwierigsten Formen einen Schnellbetrieb bei billigster Preisstellung gestattet, nur so war es möglich, auch auf dem Gebiete der

Niederspannungsisoliation das Porzellan ebenfalls an die Spitze aller Baustoffe zu bringen.

Die hier zur Verarbeitung kommende Masse ist zunächst die gleiche wie die zur Dreherei wandernde, sie macht aber hier noch einen weiteren Arbeitsgang durch. Die nasse Masse würde sich in Stahlformen nicht verwenden lassen, sie würde vor allem „kleben“ und damit nicht aus der Form zu bringen sein. Sie wird darum zunächst in Ballen getrocknet, wonach eine Vermahlung und Siebung und schließlich An-

feuchtung mit Rüböl und Petroleum zu ganz bestimmten Sätzen erfolgt. Die jetzt ziemlich krümelige Masse gibt den Werkstoff für die Presserei.

Als Werkzeuge dienen hier nicht mehr Gipsformen wie beim Drehverfahren, diese würden den erforderlichen Preßdruck von etwa 40 kg/qcm nicht vertragen, sondern Stahlformen, die etwa den Kokillen der Metallgießerei oder den Gesenken der Stahlpresserei verglichen werden können. Die Matrizen sind je nach der verlangten Porzellanform oft recht vielgestaltige Werkzeuge, die zur Konstruktion und Herstellung lange hierauf eingearbeiteten Schlosserpersonals bedürfen.

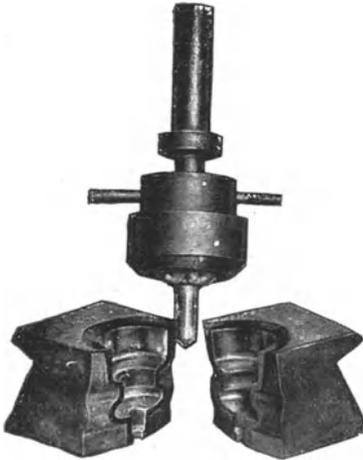


Abb. 91. Zweibackenmatrize.

Die einfachste Matrizenform ist die Zweibackenform Abb. 91, wie sie für Leitungsrollen benötigt wird, es folgt dann die Matrize mit Oberstempel und Ausheber für Schalterdeckel und ähnliche Teile, dann reihen sich Werkzeuge mit Seitenschiebern, Gewindeeinpressungen, Verriegelungen und anderen Schwierigkeiten an, die die Matrize zu einem Kunstwerk an sich gestalten.

Auf die verschiedenen Formen hier näher einzugehen, ist unmöglich, es muß auch hier auf die allerdings wenigen schon genannten Lehrbücher und auf den Aufsatz von Stock¹⁾ in der Werkstatttechnik verwiesen werden, der letztere gibt dem Elektrotechniker einen genügenden Überblick über die Presserei, wenn auch dort mehr die Werkzeuge für gummiartige Isolierstoffe besprochen werden.

Die Matrizen selbst werden in die aus der Metallindustrie bekannten handbetriebenen Säulen-Kniehebel- oder Kurbelpressen oder automatische Pressen eingespannt, der Arbeitsvorgang ähnelt dem in einer Metallstanzerei sehr, wodurch wahrscheinlich der technisch hier natur-

¹⁾ Stock: Werkzeuge zur Herstellung von Formstücken aus Isolationsmaterial. Werkst.-Technik 1920, Heft 1.

gemäß falsche, jedoch vielfach gebräuchliche, Ausdruck „Stanzporzellan“ entstanden ist. Beim Stanzen wird ein Körper aus einer Fläche durch Stempelindruck herausgeschnitten, beim Pressen aber wird der Körper erst aus einer losen Masse in einer Hohlform durch Druck erzeugt.

Nach dem Herausnehmen aus der Matrize werden die Preßlinge dicht bei dicht auf Bretter gesetzt, verputzt (oder wie die Metalltechnik sagen würde, vom Preßgrat befreit), getrocknet und reifen so dem Brennverfahren entgegen.

Hiermit sind die beiden Hauptherstellungsarten beschrieben auf die

Gießerei

sei noch kurz eingegangen. Sie wird angewendet zur Erzeugung von Hohlkörpern, wie Rohren, Einführungspfeifen u. dgl. Als Mittel wird wieder eine Gipsform, die je nach der Art des gewünschten Stückes mehrteilig ausgeführt sein muß, verwendet.

Als Werkstoff dient hier eine wasserhaltige Porzellanmasse mit Sodazusatz, der „Gießschlicker“, dieser wird in die Form eingefüllt, der Gips saugt das Wasser auf und die Porzellanmasse bildet schließlich eine beliebig stark zu haltende Wand, bis die Aufsaugfähigkeit der Gipsmasse erschöpft ist. Der überflüssige Schlicker wird wieder abgefüllt, nach einigem Stehen die Form geöffnet und der Körper entnommen. Die Gratkanten werden auch hier verputzt und die Stücke getrocknet.

Andere Sonderverfahren, wie das Freidrehen, Pressen aus dem Strang, Quetschen in Gipsformen u. dgl. hier noch zu behandeln, ist nicht möglich, sie führten zu weit ab.

Der Brennvorgang.

Die ihrer Form und Scherbenstärke entsprechend lange und vorsichtig getrockneten Körper aus den verschiedenen Arbeitsverfahren werden dem Brennhaus zugeführt. Der Brand selbst zerfällt bei den meisten Körpern in zwei getrennte Abschnitte, den Glüh- und den Fertig-, Glatt- oder Garbrand.

Im allgemeinen stünde nichts im Wege, die Porzellanteile sofort fertig zu brennen, genügend starke Stücke, die unglasiert bleiben oder infolge ihrer Stärken die Handhabung bei der Glasierung vertragen, werden vielfach unmittelbar dem Glattbrand zugeführt. Die meisten Teile sind jedoch nach dem Trocknen so stoßempfindlich, daß man es vorzieht, sie erst zu verglühen und damit behandlungssicherer zu machen.

Eine Schnittzeichnung eines der meist üblichen Porzellanrundöfen mit überschlagender Flamme ist in Abb. 92 gegeben. Links ist eine der auf den Umfang verteilten 7—9 Feuerungen sichtbar, die Pfeile deuten den Verlauf der Feuergase an, rechts unten sind die Zugkanäle erkennbar, die zur oberen Kammer führen; eine verschließbare Öffnung

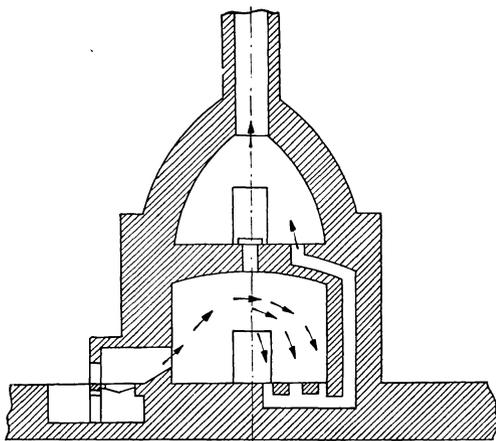


Abb. 92. Porzellanrundofen.

zwischen Unter- und Ober-raum des Ofens regelt den Abzug für Anbrand und später für die Abkühlung.

Näher auf die Konstruktion auch anderer Ofenausführungen, insbesondere die jetzt in Rücksicht auf wirtschaftlicheren Brand für Massenware vorzuziehenden Tunnelöfen, einzugehen, muß Sache eines Sonderwerkes sein, erwähnt sei nur, daß die Rundöfen für Teile, die unbedingt ruhigen Stand oder Aufhängung verlangen, nicht entbehrt werden können.

Der Oberteil des Ofens ist der für die Werdung des Porzellans zunächst in Frage kommende, hier wird die Ware bei etwa 900°C verglüht, während im unteren gleichzeitig schon weiter fortgeschrittene Erzeugnisse dem Garbrand bei $1350\text{—}1500^{\circ}\text{C}$ unterliegen.

Die Isolatoren werden den Bränden, um die Ware vor der unmittelbaren Feuerwirkung zu schützen, in Schamottekapseln ausgesetzt, für den

Glühbrand

kann das „Füllen“ der Kapseln, dicht bei dicht, also unter Berührung der einzelnen Porzellanstücke, geschehen, für den

Garbrand

muß sorgfältig auf feste, jedes Verschieben und Berühren ausschließende Lage gesehen werden, die glasierten Stücke würden zusammen verschmelzen.

Um einmal die Lage zu sichern, andererseits aber auch ein Verziehen der Stücke im Brande zu verhindern, wendet man Hilfskonstruktionen, Untersätze, die dem jeweiligen Körper entsprechen müssen, die sog. Bomse, an. Mit Unterstützung dieser Teile gelingt es einmal, Körper, die infolge ihrer Form leicht zum Verziehen neigen, wünsch-

gemäß gerade und rund zu halten, gleichzeitig kommt man so auch oft in die Lage, die an jedem glasierten Körper notwendig in Kauf zu nehmende unglasierte Brennaufgabe so anzubringen, daß diese außen nicht stört. Die Forderung des V. D. E., nach der unglasierte Flächen nicht größer als 1 qcm sein sollen, läßt sich praktisch nicht erfüllen.

Der Boms muß, wenn er mit dem Erzeugnis übereinstimmen, dieses also gegen Verwerfen schützen soll, gleich mit gepreßt werden und auch aus Porzellanmasse bestehen, um die gleiche Schwindung zu haben. Nach dem Brand ist der Boms wertlos, es muß also mit in den Preis der Erzeugnisse eingerechnet werden, es kann sogar vorkommen, daß der Boms selbst teurer wird als der Isolator.

Reine Stützbomse, wie sie als einfache Säulen beispielsweise zum Tragen der Teile von Freileitungsisolatoren benötigt werden, liegen nur mit kleinen Flächen auf, ihre Schwindung braucht nicht mit der des Isolators übereinstimmen, sie können darum aus Schamotte ausgestellt werden, notfalls erhalten diese kleine Porzellan-Bomsaufsätze.

Für gestreckte Körperformen ist es oft nötig, hängend zu brennen, in diesem Fall werden die Bomse mit angeformt, nach dem Brande werden sie abgeschlagen oder abgesägt und die Stellen verschliffen.

Zwischen beiden Bränden liegt die

Glasierung.

Die aus den Glühkapseln kommenden Teile haben eine gewisse Festigkeit erreicht, sie haben außerdem beim Anschlag schon einen leichten Klang. Die Glasierung geschieht fast ausnahmslos durch Tauchen, wobei die glasurfrei zu haltenden Stellen (Kittflächen für Eisenbewehrungen) nach Möglichkeit abgedeckt werden, notfalls werden sie mit Paraffin- oder Lacküberzug versehen, um nicht anzunehmen, oder aber auch nach dem Tauchen wieder abgewaschen.

Die Glasur besteht aus einem dünnen Schlicker, dem besonders viel Feldspat zugesetzt ist, nach Wunsch sind ihm Farbkörper beigemischt. Die Zusammensetzung ist wieder eine rein keramische Aufgabe, die den Elektrotechniker in Einzelheiten nicht berührt. Die Glasurteilchen bleiben auf der Oberfläche des getauchten Stückes liegen, das Wasser wird vom noch porösen Körper aufgenommen. Im Garbrande fließt die Glasur zu einer dünnen Schicht aus, die beim Erkalten erstarrt und so eine geschlossene, glänzende und glasige Haut bildet. Wichtig ist, daß der Ausdehnungskoeffizient der Glasur genau mit dem des Porzellans übereinstimmt, es entstehen sonst die von billigen Geschirren her bekannten vielen feinen Haarrisse, die zur Verschmutzung und damit zur Verringerung der Oberflächenisolation führen.

Die Aufstellflächen der Körper müssen glasurfrei gemacht werden,

um ein Anbrennen in der Kapsel zu vermeiden, ein Umstand, der vom Konstrukteur von vornherein zu beachten ist. Die Lagerstellen werden mit feinem Sand bestreut.

Der Zweck der Glasur ist es nur, dem Isolator eine glatte Oberfläche zu geben oder durch besondere Färbung die Augenfälligkeit des normalen weißen Porzellans zu verdecken oder auch besondere Leitungen zu kennzeichnen. Die elektrische Leistung des Porzellans wird durch die Glasur in keiner Weise berührt, also nicht etwa, wie vielfach angenommen wird, überhaupt erst dadurch gewährleistet. Die Durchschlagsfestigkeit glasierter und unglasierter Scherben ist die gleiche, wohl aber ist es von Wert, die Oberflächenisolation durch Glasierung dauernd hoch zu erhalten. Ein unglasierter Isolator wird der Staub- und Rußaufnahme viel leichter ausgesetzt sein als ein durch Glasierung glatter, insbesondere wird im letzteren Falle stets eine Selbstreinigung bei Regen eintreten.

Die Brandüberwachung

geschieht auf drei Arten. Das älteste Verfahren ist das der **Beobachtung des Schmelzflusses der Glasur** auf besonders zu diesem Zweck eingesetzten **Probetassen**, die dem Ofen nach gewissen Zeitabschnitten entnommen werden.

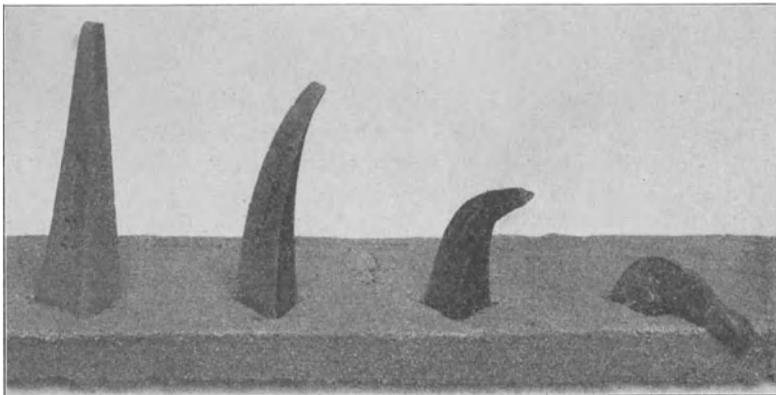


Abb. 93. Segerkegel

Genauere Beurteilung lassen die von Seger eingeführten **Kegel** zu. Es sind dies tetraedrische 5 cm hohe Körper nach Abb. 93, sie bestehen aus sorgfältig abgestuften keramischen Massen, die bei ganz bestimmten Temperaturen zum Schmelzen kommen. Seger hat so eine fortlaufende Reihe von Kegeln geschaffen, die die Überwachung

der ganzen Temperaturskala zulassen. Für die Beobachtung der richtigen Brandhöhe bei Hochspannungsporzellan benutzt man meist die Kegel 13, 14, 15 und 16, die den Temperaturen von 1380, 1410, 1435 und 1460° entsprechen, im vorliegenden Fall ist der Kegel 13 (rechts) bereits geschmolzen, Kegel 14 neigt mit seiner Spitze stark nach unten, er ist „umgegangen“, während 15 eben anfängt zu biegen und 16 noch aufrecht steht, der Brand ist also mit Kegel 14 beendet gewesen.

Der Einbau der Kegel erfolgt über den ganzen Ofen verteilt in seitlich offenen Kapseln, die durch Schaulöcher von außen beobachtet werden können. Die Segerkegel haben neuerdings auch in der Metallindustrie zu Glühofenbeobachtungen u. dgl. Eingang gefunden.

Ein vollkommen kurvenmäßiger Überblick, der auch später noch die Art eines jeden Brandes erkennen läßt, ist mit der auch sonst in der Industrie gebräuchlichen **Pyrometermessung** erreichbar, diese ist heute wohl auch bei allen größeren Werken in Gebrauch.

Die Zeit eines Ofenbrandes erstreckt sich auf etwa 60 Stunden, wovon rund 22 auf die Wärmesteigerung entfallen, etwa 3 Stunden wird die Höchsttemperatur gehalten und darnach setzt die Abkühlung ein.

Nach dem Abbrande und Kühlen des Ofens wird die Ware in den Kapseln ausgetragen, roh sortiert und den **einzelnen Prüfstellen** zugeführt.

Damit ist der kurze Rundgang durch die Fabrikation beendet, wenn das Porzellan in dieser Richtung ausführlicher behandelt ist, so geschah dies, weil keine Herstellungsart irgendeines anderen Isolierstoffes so aus dem Rahmen der dem Elektrotechniker eigenen Ausbildung herausfällt, wie die der keramischen Erzeugnisse und gerade hier ein Bedürfnis zur ausführlicheren Einführung vorlag.

Die Eigenschaften des Porzellans.

Über diese, insbesondere die mechanischen, sind außerordentlich verschiedene Werte im Umlauf, die zum Teil sehr irreführend sind. Verwunderlich ist dabei besonders, daß bekannte Schriftsteller die Werte scheinbar ohne Nachprüfung mehrfach übernommen haben. Der Verfasser hat bei seinen Arbeiten diese Zahlen bei Prüfungen von Porzellan verschiedenster Herkunft nie erreicht und zur Klarstellung den Deutschen Verband für die Materialprüfungen der Technik angerufen. Die Arbeiten des bereits früher erwähnten Ausschusses 18 haben nun zu sachgemäßen Prüfungen geführt, deren Ergebnisse bereits teilweise veröffentlicht wurden¹⁾. Der Verfasser findet danach die von ihm in der ersten Auflage genannten Werte bestätigt.

Als Folge für die einzelnen Werte wird der „Arbeitsplan“ benutzt.

¹⁾ Rieke - Gary: Die Prüfung von Porzellan. D. K. G. 1922, Heft 1.

Allgemeines.

Lieferungsform: Fast jeder Forderung kann bei sachgemäßer Gestaltung nachgekommen werden.

Herstellungstemperatur bis 1500°.

Farbe: Scherben weiß, Hartfeuerglasur beliebig, als praktisch und billig bevorzugt die Farben weiß, grün und braun.

Struktur: homogen, dicht, körnig, muscheliger Bruch.

Oberfläche: unglasiert rauh sog. Biskuit oder glasiert.

Mechanische Werte.

Zugfestigkeit: Nach Angaben von Friese¹⁾, Petersen²⁾, Fischer³⁾, Zipp⁴⁾ im Mittel 1700 kg/qcm.

Rosenthal⁵⁾ hat Zugwerte von 140 ÷ 160 kg/qcm festgestellt. Bedauerlich ist nur, daß bei derartigen Veröffentlichungen die Angabe der jeweilig benutzten Probenform so oft unterlassen wird, diese ist ganz allgemein von Wichtigkeit, bei keramischen Stoffen aber verlieren die Zahlenangaben ohne diese Darstellung fast vollkommen ihren Wert.

Peaslee⁶⁾ gibt für amerikanisches Porzellan, das seiner ganzen Art nach dem deutschen nicht gleichzusetzen ist, 106 kg/qcm an, auch hier ist die Formangabe für die Proben unterblieben.

Der Verfasser hat Isolatoren verschiedenster Form in großen Mengen geprüft und

240 kg/qcm

als sicheren Durchschnittswert gefunden, Höchstwert 360 kg/qcm, die Lieferungen stammten von der Kgl. Porzellanmanufaktur, bei von anderen Werken eingegangenen, vollkommen gleichgeformten Stücken lagen die Mittelwerte etwas tiefer. Jedenfalls haben Lieferungszahlen von mehr als 200000 Körpern, bei denen immer wieder Stichproben durch Bruchwerte gemacht wurden, ergeben, daß nur mit $\frac{1}{7}$ des vorn angeführten Wertes, also mit 240 kg/qcm Bruch, gerechnet werden kann. Die Isolatoren hatten dabei die geeignetste Form (Zylinder von 25 mm Ø), die Länge betrug 200—300 mm, die Einspannung war die für den Zug denkbar günstigste, die Körper waren hängend gebrannt,

¹⁾ Friese: Das Porzellan als Isolier- und Konstruktionsmaterial der Elektrotechnik. 1904.

²⁾ Petersen: Hochspannungstechnik.

³⁾ Fischer: Einführung in die moderne Hochspannungstechnik. Göschen 1912.

⁴⁾ Zipp: Handbuch der elektr. Hochspannungstechnik. Leiner 1917.

⁵⁾ Rosenthal: Die mechanischen Eigenschaften keramischer Massen und exakte Prüfungsmethoden derselben. Berichte der techn.-wissensch. Abt. des Verbandes keram. Gewerke in Deutschland 1919, Heft 5.

⁶⁾ Peaslee: Journ. Am. Electr. Eng. Bd. 39, Mai 1920.

praktisch gerade, so daß Biegungsbeanspruchungen, soweit irgend möglich, ausgeschlossen waren.

Reine Werkstoffproben, die man in gleicher Form, jedoch mit einer geraden Länge von annähernd 0, also nur mit einer Einschnürung zwischen den Einspannstellen auf 20 mm \varnothing ähnlich den bekannten Normalprobenformen für Zement (Abb. 94) nach Angabe des schon erwähnten Ausschusses 18 herstellte, haben keine erhebliche Veränderung gebracht, ein Zeichen, daß die oben verwendeten Isolatoren sehr gut gerade waren, Biegunszusätze also nicht mitsprachen.

Druckfestigkeit. Diese ist nach den Erfahrungen des Verfassers ebenso wie die Zugfestigkeit in den dort bereits angezogenen Veröffentlichungen viel zu hoch angesetzt. Der vielfach genannte Wert von 4780 kg/qcm ist, soweit der Verfasser in Erfahrung bringen konnte, an Würfeln von 5 mm Seitenlänge gefunden, er ist auf Stücke praktischer brauchbarer Form und Größe gar nicht übertragbar, Rechnungen mit diesem Zahlenwert müssen größte Mißerfolge geben. Der Verfasser baut seine Angaben auch hier wieder auf jahrelangen Erfahrungen auf, die durch Hunderte von Messungen bestätigt sind.

Die Höhe der untersuchten Körper schwankte zwischen 65 und 100 mm, der Durchmesser von 50—200 mm, bei den kleinen war also die Höhe etwas größer als der Durchmesser, bei den großen die Höhe etwa gleich dem halben Durchmesser, Knickbeanspruchungen waren soweit möglich, also ausgeschlossen.

Der Durchschnittsbruchwert betrug

3800 kg/qcm

bei den kleinen und fiel bald auf

1000 kg/qcm,

also fast $\frac{1}{4}$, herunter bei wachsender Körpergröße.

Die Festigkeitsabnahme ist in der Kurve, Abb. 95, dargestellt, sie erklärt sich daraus, daß es mit wachsender Körpergröße immer

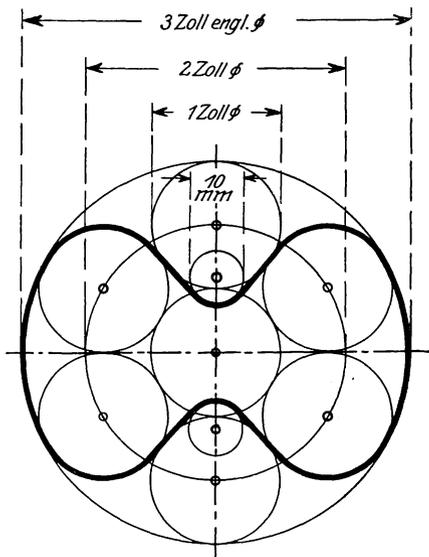


Abb. 94. Probeform-Drehkörper für Porzellan nach dem deutschen Verband für Materialprüfungen der Technik.

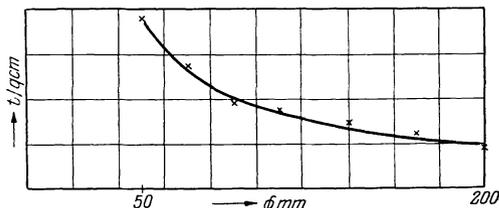


Abb. 95. Kurve für die Druckfestigkeit von Porzellan.

schwerer wird, die großen Massebatzen durchzuarbeiten und damit innere Spannungen zu vermeiden. Eine Arbeit von Rosenthal¹⁾ gibt Festigkeitswerte für Porzellan unter Angaben der Größen der untersuchten Körper, für Druck sind hier 4218 kg/qcm genannt bei Proben von 2 cm Höhe und Durchm., Abstufungen mit verschiedenen Körpergrößen sind scheinbar nicht durchgeführt, so daß auch dieser Wert leicht zu Trugschlüssen Anlaß geben kann. Auch spätere Veröffentlichungen von Rosenthal und Singer führen Werte von 4000 bis 5000 kg/qcm an, ohne daß dabei die Körpergröße bezeichnet ist.

Die vorgeschilderten Arbeiten führte der Verfasser für die ihm in seiner früheren Tätigkeit bei Telefunken gestellte Aufgabe, Isolationen für die Funktürme auszubilden, durch. Seit mehr als 10 Jahren hat sich der Einbau der Porzellandruckkörper nach dieser Rechnung bewährt²⁾.

Die neueren Versuche haben das in der ersten Auflage Gesagte nicht geändert, zumal die dort genannten Werte schon auf Grund ausführlicher Prüfungen gegeben waren. Es sei noch bemerkt, daß die Proben sämtlich gut plan und parallel geschliffen waren und nur je ein dünnes ungetränktes Blatt Papier als Zwischenlage verwendet war, über die Unzweckmäßigkeit der von manchen Beobachtern besonders hervorgehobenen nachgiebigen Zwischenlagen ist bereits früher unter Abschnitt Druckfestigkeitsprüfungen S. 49 berichtet.

Wiederholte Wechsellastprüfungen haben andere Werte für die Druckfestigkeit nicht herbeigeführt, es sind lange Reihen von Wechsellastprüfungen durchgeführt, ohne daß eine „Ermüdung“ des Porzellans beobachtet wurde.

Biegefestigkeit. Der in älteren Veröffentlichungen angegebene Wert von

$$400 \div 500 \text{ kg/qcm}$$

ist durch neuere Prüfungen im allgemeinen bestätigt, er hängt jedoch in hohem Maße von der Gestaltung des Stückes, Rundstab, einfache oder schwierige Isolatorform, ab. Der Wert für dünne glatte Proben kann bis zu 700 kg/qcm angesetzt werden.

Schlagbiegefestigkeit. Hierfür war in der ersten Auflage ein Wert von

$$5,6 \div 6,4 \text{ cmkg/qcm}$$

für Porzellan der Kgl. Porzellanmanufaktur angegeben, andere Erzeugnisse lagen z. T. erheblich tiefer, benutzt war seinerzeit ein Pendel-

¹⁾ Rosenthal u. Singer: Die mechanischen Eigenschaften des Porzellans und exakte Prüfungsmethoden zu ihrer Bestimmung. E. T. Z. 1920, Heft 36, S. 705.

²⁾ Demuth: Die Entwicklung der Isolatoren für drahtlose Telegraphie. Zeitschr. f. Hochfrequenztechnik 1922, Heft 4.

schlagwerk von 150 cmkg Arbeitsinhalt, die damals vorhandene kleinste Ausführung. Vorn war unter dem Abschnitt Schlagbiegefestigkeitsprüfungen bereits gesagt, daß inzwischen ein kleineres Modell ausgebildet ist.

Die Werte schwanken hier je nach der Masse außerordentlich. Es sei an dieser Stelle die ausführliche Veröffentlichung von Singer¹⁾ im Elektrojournal angezogen, die zahlreiche Aufschlüsse gibt.

Elastizitätsmodul. Die hierfür veröffentlichten Werte schwanken ebenfalls je nach der Masse erheblich, es werden

$$625000 \div 828000 \text{ kg/qcm}$$

genannt.

Härte. Die Ritzhärte nach Mohs liegt zwischen

$$7 \text{ und } 8.$$

wobei der höhere Wert für glasiertes Porzellan anzusetzen ist. Neuere Prüfverfahren hierfür sind nicht festgelegt, ob die von Gary für Gesteinsprüfungen eingeführte Sandstrahlabnutzung Eingang finden wird, müssen weitere Versuche noch entscheiden.

Eine Bearbeitung von Porzellan kommt seiner Härte wegen nur beschränkt in Frage, man kann lediglich Rand- und Dichtungsflächen schleifen oder auch Teile wie z. B. die erwähnten Bomse mit der Diamantsäge abschneiden.

Verdrehungsfestigkeit. Singer gibt hierfür

$$480 \div 500 \text{ kg/qcm}$$

an; ob diese Zahl praktischen Wert hat, ist anzuzweifeln, es kommt eine derartige Beanspruchung bei Porzellan kaum vor, dann wird das Ergebnis nicht nur nach der Masse, sondern auch nach der Herstellungsart oder bei Fertigware nach der Form sehr schwanken. Entsprechende Prüfgeräte dürften nur in den seltensten Fällen zur Verfügung stehen.

Wärmebeständigkeit. Diese Angabe hat hier im Sinne der bisher auf den reinen Werkstoff bezogenen Prüfungen für den Elektrotechniker selten Wert, im allgemeinen wird die Beanspruchung nicht annähernd bis an den Gefährpunkt reichen, doch mag der Vollständigkeit wegen auch noch diese Frage behandelt sein. Eigene Untersuchungen stehen dem Verfasser hierfür nicht zur Verfügung, hier muß auf Arbeiten der reinen Keramiker verwiesen werden. So sagt Rieke²⁾, daß Berliner Porzellan, in Stabform einseitig gespannt, bereits bei 600° eine schwache, bei 1000° aber schon sehr bemerkbare Durchbiegung erleidet. Bei 950° beginnen glasierte Gefäße schon aneinander zu kleben.

¹⁾ Singer: Über die Zähigkeit keramischer Isolierstoffe der Elektrotechnik. Elektro-Journal I. Jahrg., April 1921.

²⁾ Rieke: Dölter Mineralchemie Bd. II, S. 118.

Von ungleich höherem Nutzen sind für den Elektrotechniker jedoch die Untersuchungen fertiger Isolatoren auf Temperaturwechsel, wie sie durch den V. D. E. vorgeschrieben und vorn auch schon angezogen sind. Die vielartigen Scherbendicken und -formen an einem Isolator bedingen innere Spannungen, für die zahlenmäßige Werte nicht anzugeben sind. Hier kann nur die Tauchprüfung des V. D. E. eine gewisse Gütebeurteilung ergeben. S. 75.

Wasseraufnahme. Der Wert ist bei deutschem Porzellan gleich Null anzusetzen. Es kann auf die früher im Aufsatz über Wasseraufnahme gemachten Ausführungen verwiesen werden¹⁾; als kurze Angabe mag dienen, daß für den praktischen Gebrauch die Prüfung mit „roter Tinte“ vollkommen ausreicht, nur ein nicht ausgebrannter Scherben saugt an. Der Laie kommt jedoch bei einem Scherben mit weniger fein vermahlten Rohstoffen leicht zu einem falschen Urteil.

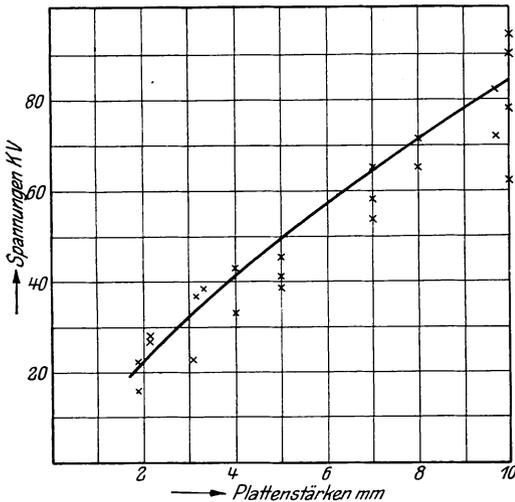


Abb. 96. Durchschlagskurve für Porzellan.

Frostbeständigkeit. Da Wasseraufnahme nicht erfolgt, kann auch eine Frostwirkung nicht eintreten. Von Wert ist die Erfahrung, daß gekühlte Körper in der Druckprüfung keine wesentlich abweichenden Werte ergaben.

Feuersicherheit. Brennbar im Sinne der V. D. E.-Vorschriften²⁾ ist Porzellan nicht, dagegen wird auf die Ausführungen weiter unten unter Lichtbogensicherheit hingewiesen.

Wetterbeständigkeit. Porzellan ist als vollkommen

wetterbeständig anzusprechen. Wenn in einzelnen Gegenden Rauhwerden der Glasur und damit Verminderung der Oberflächenisolation beobachtet sind, so ist dies stets eine Folgeerscheinung des Vorhandenseins von schädlichen Abgasen chemischer Fabriken gewesen.

Säurebeständigkeit. Porzellan ist dem Glas noch überlegen, es wird nur von Flußsäure angegriffen. Für Laboratoriumsporzellan bestehen besondere Prüfvorschriften, die hier nicht von Wert sind.

Ausdehnungskoeffizient. Nach Friese $0,0000045 \div 0,0000065$ linear. Der Wert ist kleiner als bei Glas, worin wohl zum Teil die Er-

¹⁾ V. D. E.-Vorschriften. E. T. Z. 1922, S. 32 u. 1348.

²⁾ V. D. E.-Vorschriften. E. T. Z. 1922, S. 446, 655, 858.

klärung dafür zu suchen ist, daß Glasisolatoren den heutigen Vorschriften des V. D. E. über Temperaturwechsel nicht zu widerstehen vermögen.

Spezifisches Gewicht, schwankend, je nach Art der Masse $2,29 \div 2,5$.

Die Durchschlagsfestigkeit des Porzellans ist nicht in einer allgemein geltenden Kurve festzulegen, die Werte schwanken naturgemäß sehr nach der Zusammensetzung der Masse, ferner sind sie in hohem Maße abhängig von der Elektrodenform und der Versuchsanordnung. In Abb 96 ist die bereits in der vorigen Auflage enthaltene Durchschlagsskurve von Schomburg-Porzellan gegeben. Es fällt auf, daß auch hier wie bei der früher angeführten Durchschlagsskurve für Glimmer die Werte nicht mit Zunahme der Plattenstärke gleichmäßig steigen. Die Messungen erfolgten, um Randentladungen zu vermeiden, unter Öl.

Weitere mehr theoretische Erörterungen über die günstigste Elektrodenform, Versuchsplattengestaltung, Einfluß der Wandstärke, der verschiedenen Versuchsbedingungen u. dgl. sind an dieser Stelle vermieden, ebenso das Eingehen auf die Untersuchung der Durchschlagsfestigkeit fertiger Isolatoren, es würde einmal die Behandlung des Porzellans in dieser Arbeit zu sehr bevorzugen, andererseits stehen hier bereits viele Veröffentlichungen zur Verfügung. Es sei besonders auf den Vortrag von Weicker¹⁾ aus der V. D. E.-Vortragsreihe vom Winter 1921/22 verwiesen, dessen Inhalt demnächst auch im Druck erscheint.

Die V. D. E.-Vorschriften²⁾ beziehen sich naturgemäß nur auf fertige Isolatoren, sie seien hier mit den bez. Abbildungen wiederholt:

I. Laufende Werkstoffproben.

1. Elektrische Prüfung. Nach dieser Vorschrift werden zweckmäßig Freileitungs-Stützenisolatoren oder deren Teile auf Durchschlag unter Öl geprüft. Die bei der Prüfung im Wasserbade benetzten Flächen werden mit einem leitenden Überzug versehen. Die Prüfspannung wird, mit etwa 70 vH der Überschlagsspannung in Luft beginnend, alle 5 Sekunden um je etwa 5000 V bis zum Durchschlag gesteigert. Die mittlere Durchschlagsspannung unter Öl muß mindestens das 1,3fache der Überschlagsspannung in Luft des ganzen Isolators oder des geprüften Teiles sein. Dabei wird vorausgesetzt, daß die Überschlags- und die Durchschlagsprüfung unter den gleichen Bedingungen, insbesondere mit demselben Transformator und in derselben Transformatorenschaltung vorgenommen wird.

Die übrigen Bedingungen, unter denen die Prüfung vorzunehmen ist (Wellenform, Frequenz, Regelung, Spannungsmessung u. dgl.), wird in der in Vorbereitung befindlichen V. D. E.-Vorschrift für Durchschlagsprüfung festgelegt werden.

¹⁾ Weicker: Vortragsreihe. V. D. E. 1921/22. T. H. Charlottenburg.

²⁾ V. D. E.-Vorschriften. E. T. Z. 1922, S. 31—32.

II. Stückprüfung.

Elektrische Prüfung.

Alle Isolatoren sowie einzelne Teile gekitteter Freileitungsisolatoren sind während 15 min mit einer Prüfspannung zu prüfen, die mindestens 95 vH der Überschlagespannung beträgt. Erfolgen bei der Prüfung Durchschläge, so muß die Prüfung vom ersten Durchschlag ab mindestens noch 10 min lang, bei weiteren Durchschlägen mindestens noch 5 min lang fortgesetzt werden. Als Überschlagespannung gilt die Spannung, bei der Überschläge in kurzer Folge — etwa alle 3 s — an verschiedenen Isolatoren auftreten.

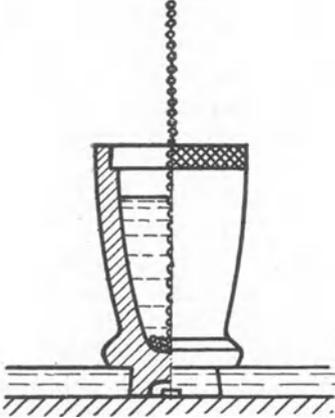


Abb. 97. Prüfanordnung für große Stützisolatoren nach V. D. E.

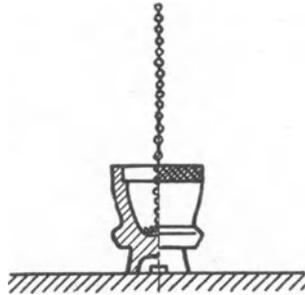


Abb. 98. Prüfanordnung für kleine Stützisolatoren nach V. D. E.

Mit Ausnahme sämtlicher Durchführungen und der Stützer *S 1* und *S 11* (Normungsbezeichnungen) wird die Prüfung im Wasserbade vorgenommen, und zwar:

a) Freileitungs-Stützenisolatoren oder ihre Einzelteile sind bis über die Halsrinne und bei Innenteilen bis zum Kittrande in Wasser zu tauchen. Die Innenräume sind bis zum Gewindeende des Stützenloches bzw. bis zum Kittrande mit Wasser zu füllen. Bei gekitteten Isolatoren soll diese Prüfung an 10 vH der fertigen Stücke einer Fabrikation, mindestens jedoch an 50 Stück, stattfinden. Erfolgen Durchschläge, so ist die ganze Fertigung einer Nachprüfung zu unterziehen.

b) Stützer von Größe *S 2* ab werden gemäß Abb. 97 bis zum Wulst ins Wasser gestellt und bis etwa drei Viertel der Höhe des Innenraumes mit Wasser gefüllt. Stützer *S 1* und *S 11* werden gemäß Abb. 98 mit dem Kopfe auf eine Metallplatte gestellt und ohne Wasserfüllung geprüft.

c) Durchführungen werden gemäß Abb. 99 auf Metallstäbe, die in die Bohrungen passen, gesteckt, um die Riffelfläche werden Ketten oder Metallbänder geschlungen.

Die übrigen Bedingungen, unter denen die Prüfung vorzunehmen ist (Wellenform, Frequenz, ¹Regelung, Spannungsmessung u. dgl.), wird in der in Vorbereitung befindlichen V. D. E.-Vorschrift für Durchschlagsprüfung festgelegt werden.

Der Oberflächenwiderstand ist wie unter dem Absatz „elektr. Prüfungen“ ausgeführt, sehr schwer meßbar, er hängt im höchsten Maße von dem jeweiligen Feuchtigkeitsgehalt der Luft ab. Er beträgt nach Messungen von Weicker an einem Schwachstromisolator, Reichspost-

modell I, bei etwa 40 vH Feuchtigkeitsgehalt der Luft 2 000 000 Megohm, bei 60 vH 65 000, bei 80 vH 2000 und bei Wasserdampf 100 Megohm.

Der Durchgangswiderstand ist bei deutschem Hartporzellan so hoch, daß er vernachlässigt werden kann, die Güte eines Isolators wird vielmehr vom Oberflächenwiderstand beeinflusst. Eine Messung im Sinne der vorausgeführten Vorschriften ist nicht zu machen, die Angabe von Zahlenwerten nicht möglich, ebenso auch nicht für den inneren Widerstand.

Die Dielektrizitätskonstante ist mit

$$4,4 \div 5,4$$

festgestellt. Als Dielektrikum für den Kondensatorenbau ist Porzellan versuchsweise verwendet, doch hat sich hier das Glas (Flint) infolge

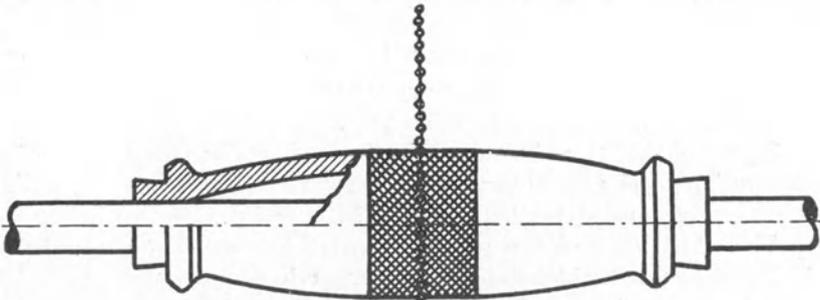


Abb. 99. Prüfanzordnung für Durchführungen.

der leichteren Bearbeitungsfähigkeit als überlegen erwiesen. Die Angabe des Wertes hat jedoch für den Durchführungsbau Wichtigkeit.

Die dielektrischen Verluste sind bei Porzellan nach Weicker zu vernachlässigen. Der oben angezogene Vortrag gibt auch hier für den Isolatorbau noch einige Beispiele.

Die Lichtbogensicherheit läßt sich hier nicht nach den V. D. E.-Vorschriften bestimmen, der vorliegende Werkstoff ist im allgemeinen als lichtbogensicher anzusprechen. Gewöhnliche Überschlüge bei der Prüfung von Isolatoren vermögen Porzellan nicht anzugreifen, erst Durchschläge bei großen Leistungen führen zur Schmelzung im Durchschlagskanal.

Specksteinmassen.

Steatit, Melalith, Stecolith u. a.

Speckstein, der Hauptbestandteil vorgenannter Isolierstoffe, ist nach Dammer¹⁾ ein wahrscheinlich monoklin kristallisierendes Mineral, spez. Gew. = 2,6 ÷ 2,8, Härte = 1, die durch Glühen auf 6 zu bringen ist. Er findet sich als eine Abart des Talkes in dichten Massen

¹⁾ Dammer u. Tietze: Die nutzbaren Mineralien. Encke 1914.

in Kalk, Serpentin, Granit und Glimmerschiefer, fühlt sich fettig an und ist von weißer, gelber, grüner bis grauer Farbe.

Speckstein findet sich in Nord- und Südamerika, in Frankreich, Spanien, den Alpen und an anderen Orten. Für die deutsche Specksteinindustrie kommen allein die ziemlich ausgedehnten Lager im Fichtelgebirge in Betracht.

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

Der so bearbeitete Stoff findet Verwendung für die verschiedensten Industrien, hier hat nur die Betrachtung für die Herstellung von Isolatoren Wert.

Die Verarbeitung vollzieht sich in ganz ähnlicher Weise wie die Porzellanfabrikation, so daß hier nur auf die dort gegebene ausführliche Beschreibung verwiesen werden braucht.

Speckstein hat gegenüber dem Kaolin den Vorteil weniger zu schwinden, er eignet sich daher ganz besonders zur Herstellung von Preßteilen, bei denen genaue Maßeinhaltung gewünscht wird.

Viele Abnehmer stoßen sich daran, daß Specksteinkörper auf der Außenfläche eine leicht bräunliche Färbung erhalten, die Bruchfläche ist weiß, in dünnen Stücken durchscheinend bis durchsichtig, der Bruch des Scherbens ist muschelrig. Man hat versucht, den Specksteinerzeugnissen eine Glasur zu geben wie dem Porzellan, um auch äußerlich eine diesem gleiche Ware zu erhalten; es haben sich hier Schwierigkeiten ergeben, die nicht leicht zu überwinden sind. Die Ausdehnung von Speckstein- und Glasurmasse ist zu verschieden, es tritt dadurch meist ein Reißen der Glasur im Brande auf.

Man ist schließlich dazu übergegangen, nicht mehr Speckstein allein zu verwenden, sondern hat einen erheblichen Kaolinzusatz gegeben, so daß große Unterschiede zwischen reinem Porzellan und den Specksteinmassen nicht mehr bestehen.

Die Specksteinindustrie versucht für die Elektrotechnik die gleichen Erzeugnisse zu liefern wie die Porzellanwerke, für Kleinzeuge wie Massenpreßteile ist dies gelungen, Freileitungsisolatoren, Durchführungen, Hänge- und Abspannisolatoren zu erzeugen, ist bisher nicht geschafft, jedenfalls waren Unterlagen hierfür von den bez. Werken nicht zu erlangen.

Als Lieferanten für Steatit- und ähnliche Massen kommt die Steatit-Magnesia A.-G. in Nürnberg-Ostbahnhof und Berlin-Pankow in Frage, sie umschließt eine Reihe früher in Nürnberg selbständiger Firmen.

Der Verfasser hat vor Jahren gelegentlich der Druckkörperprüfungen aus Glas und Porzellan auch Melalith mit untersucht, die Werte lagen

etwas über den Zahlen für Porzellan, zeigten aber eine erhebliche Ungleichmäßigkeit.

Die Zugwerte erreichten nicht die des Berliner Porzellans.

Über Speckstein-Kleinzeug, Isolith genannt, liegt eine Veröffentlichung von der Firma Bosch durch Greiner¹⁾ vor, die den Werkstoff für ihre Zünder verwendet.

Es werden folgende Werte angegeben:

Biegefestigkeit: 788 kg/qcm.

Ausdehnungskoeffizient: 0,0000106.

Schwindung: je nach Zusammensetzung und Stückform 11 ÷ 22 vH.

Durchschlagsfestigkeit: 17400 Volt für 1 mm Dicke.

Steinzeug

findet in neuester Zeit versuchsweise Anwendung für Hochspannungs-Isolationen, insbesondere für Durchführungen großer Abmessungen.

Erfahrungen mit den verschiedenen Massen liegen noch wenig vor, es kann selbst über die Ergebnisse an reinen Werkstoffproben noch nicht berichtet werden.

III. Kunststoffe verschiedenster Zusammensetzung.

Adit.

Erzeuger: Gebr. Adt in Ensheim (Pfalz).

Hergestellt aus einer Mischung von Silikaten und Harzen.

Lieferungsform: Preßteile, in die sich Metalle einpressen lassen.

Farbe: schwarz.

Weitere Angaben liegen nicht vor.

Aeternit.

Erzeuger: Gummifabrik Westend, G. m. b. H., Berlin-Siemensstadt-Gartenfeld.

Hartgummiähnlicher Isolierstoff, der in fünf Sorten hergestellt wird.

Lieferungsform: Platten und Formstücke, diese auch mit Metall-einpressung.

Verwendung: Steuerwalzen, Widerstände, Schaltgeräte, Wicklungs-träger. Als Preßteil, für Schaltplatten mit eingelegten Schleifkontakten, für Zündgeräte u. dgl.

Farbe: H 62 und 72 schwarz,

H 70 rot,

H 63 braunrot,

H 48 braun.

¹⁾ Greiner: Unsere Isolith-Abteilung. Bosch-Zünder 1920, Heft 9.

Bearbeitungsfähigkeit gut, schwach glänzend und polierbar.

Biegefestigkeit: H 72 862 kg/qcm,

H 62 410 „

H 70 470 „

H 63 560 „

H 48 700 „

Schlagbiegefestigkeit: H 72 12,4 cmkg/qcm

62 6,2 „

70 6,7 „

63 12,3 „

48 9,8 „

Wärmebeständigkeit: bis 80°.

Wasseraufnahme: nach 24stünd. Wasserbad

unbearbeitet 0,

bearbeitet H 72, 62, 70, 63 Spuren,

H 48 Null.

Flammsicher: nein.

Beständig bei Zimmertemperatur gegen

Alkali: nein,

Säure: nein,

Öl: ja.

Spez. Gew.: H 72 1,7,

H 62 1,72

H 70 1,7,

H 63 1,72,

H 48 1,83.

Oberflächenwiderstand: über 1 Million Megohm.

Lichtbogensicherheit: Es bildet sich eine leitende Brücke, die nach dem Erkalten nicht mehr leitet.

Agalit.

Erzeuger: Gewerkschaft Agathe, Milspe i. Westf.

Bestandteile: Gips, Asbest und Steinkohlenteer.

Lieferung in 2 Güten:

Agalit I in Platten und Formstücken.

Verwendung: Grundplatten, Tafeln, Scheiben, Buchsen u. dgl.

Metallteile einpreßbar.

Bearbeitungsfähigkeit: vielseitig.

Wärmebeständigkeit: bis 400°.

Wetterbeständigkeit: gut.

Agalit F nur in Formstücken.

Verwendung: Kontrollerteile, Funkenlöscher u. dgl.

Bearbeitungsfähigkeit: vielseitig.

Wetter- und Feuchtigkeitsbeständigkeit nur durch besondere Behandlung erzielbar.

Ambroin.

Erzeuger: Vereinigte Isolatorenwerke A.-G. Berlin-Pankow.

Bestandteile: Asbestfasern mit organischen Bindemitteln.

Lieferungsform: Platten oder Preßteile, in die auch Metallteile eingeformt werden können.

Verwendung: Konstruktionsteile für elektrische Maschinen und Geräte wie auch Installationsteile, Zählertafeln u. a.

Farbe: dunkelgrün bis schwarz.

Bearbeitung soll zweckmäßig nicht vorgenommen werden, die Fabrikationshaut ist zu erhalten.

Durchschlagsfestigkeit: Von der Firma liegen hierfür Meßwerte nicht vor, Zipp¹⁾ gibt an:

Plattenstärke 2 mm	30—33000 V.
5 „	48—54000 „
8 „	64—70000 „
10 „	78—85000 „

Die Wärmebeständigkeit ist bei 80° schon begrenzt, die Verwendung ist also nach den neuesten V. D. E.-Vorschriften, die mindestens 100° verlangen, sehr beschränkt.

Spez. Gew.: 1,5.

Amianit.

Erzeuger: Preßspan und Isolationsmaterialienwerke vorm. H. Weidmann, Rapperswil (Schweiz).

Gummifreier, vulkanisierter Asbestisolerstoff.

Lieferungsform: Preßteile, Platten, Stangen, Röhren u. a.

Verwendung zu Platten, Scheiben, Spulenkörpern, Schutzkästen, Kontrollerteilen u. ä.

Farbe: dunkel.

Bearbeitung: durch schneiden, sägen, stanzen und bohren.

Wärmebeständig: bis 100°.

Beständig gegen Öl bei niedrigen Temperaturen.

Wasseraufnahme: gering.

Durchschlagsfestigkeit: 1 mm Dicke bei 4500 V.

Spez. Gew. 1,7.

¹⁾ Zipp: Handbuch für elektr. Hochspannungstechnik. Leiner 1917.

Asbestzement.

Erzeuger: Preßspan, Weidmann, Rapperswil (Schweiz).

Bestandteile: Asbest und Zement.

Lieferungsform: Platten von 3 mm Stärke an.

Verwendung: Funkenplatten, Kontrollerisolation u. ä.

Farbe: grau.

Bearbeitung: durch sägen, bohren.

Wärmebeständigkeit: unverbrennbar, zerfällt bei langem Glühen.

Feuchtigkeitsaufnahme: erheblich.

Spez. Gew. 2.

Durchschlagsfestigkeit: 1 mm Dicke 1000 V.

Australit.

Erzeuger: Gebr. Adt, Ensheim (Pfalz).

Bestandteile: Asbestfasern und Harze.

Lieferungsform, nur in Preßteilen, wodurch Verwendung zum Teil festgelegt.

Farbe: grau.

Spez. Gew. 2,34.

Weitere Werte nicht vorliegend.

Bakdura.

Erzeuger: Brown, Boveri & Cie., Mannheim.

Bestandteile: Bakelisiertes Gemisch verschiedener Füllstoffe wie Asbest, Holzmehl, Fiberfaser u. a.

Lieferungsform: Preßteile.

Farbe: braun und schwarz.

Bearbeitung: schneiden, bohren, sägen.

Wärmebeständig: bis 250° je nach Mischung.

Wasseraufnahme: gering.

Beständig: gegen Öl.

Spez. Gew.: 0,5—1,6.

Durchschlagsfestigkeit: 1 mm 10 000 V.

Über Arbeitsmöglichkeiten mit bakelisierten Stoffen siehe Absatz „Bakelit“.

Bakelit.

Bei diesem hervorragenden Isolierstoff, dessen verschiedene Verarbeitungsmöglichkeiten und Anwendungsgebiete nicht seiner Wertigkeit entsprechend bekannt sind, erschien dem Verfasser wieder eine eingehendere Beschreibung erforderlich.

Bakelit ist ein in der Elektrotechnik in reiner Form oder auch mit anderen Stoffen gefüllt in neuester Zeit gern benutztes Isoliermittel. Es wird in Deutschland von der Bakelite G. m. b. H. in Erkner bei Berlin erzeugt.

Erfinder ist Dr. L. H. Baekeland in Yonkers bei New York. Es ist ein künstliches Harz, ein Kondensationserzeugnis aus Karbolsäure und Formaldehyd^{1) 2) 3)}.

Bakelit ist durch eine Sondereigenschaft allen anderen Isolierstoffen gegenüber gekennzeichnet, es besitzt je nach dem Herstellungsforgang drei verschiedene Aggregatzustände, die jeder für sich besondere Verarbeitung zulassen.

Das Bakelit A ist das Kondensationsanfangserzeugnis, es kommt in flüssiger und fester Form in den Handel, es ist löslich in Alkohol, Glycerin und anderen bekannten Lösungsmitteln. Die feste Stufe ist schmelzbar, durch längeres Erhitzen gehen beide Formen in

Bakelit B über, das als Zwischenerzeugnis anzusehen ist. Es ist in Kälte fest, in Wärme gummiartig plastisch, unschmelzbar, auch die Löslichkeit wie bei A angegeben, besteht nicht mehr. Nach weiterem Erwärmen tritt die Überführung in die letzte Art, das

Bakelit C über. Diese stellt dann eine feste bernsteinartige Masse dar. Das Enderzeugnis ist weder schmelzbar noch löslich, noch auch nur quellbar.

Die Verarbeitungsmöglichkeit ist vielseitig und leicht (hornartig).

Das spez. Gew. dieser Form ist 1,25.

Die Widerstandsfähigkeit gegen Stoß, Druck, Ritzung ist hoch.

Erhitzung bis auf 300° ist unbedenklich, darüber tritt Verkohlung jedoch keine Verbrennung ein.

Die Wasseraufnahmefähigkeit ist ganz gering.

Verdünnte Säuren, Alkalien und Feuchtigkeit greifen nicht an, vielmehr erst heiße konz. Schwefel- und Salpetersäure.

Die Isolationsfähigkeit ist hoch.

Die Verwendung dieses so eigenartigen Werkstoffes ist allein in der Elektrotechnik außerordentlich mannigfach.

Der Preis des reinen Stoffes ist erheblich, er findet darum meist in „gemagertem“ Zustand, also mit den verschiedensten Füllstoffen wie Papier, Holzmehl, Asbest, Glimmer u. v. a., Anwendung, die drei sich einander anschließenden Verarbeitungsformen geben hierfür die besten Möglichkeiten. Es werden auf diese Weise sämtliche, sonst beispielsweise

1) Baekeland: Phenol-Formaldehyd-Kondensationsprodukte. Chem.-Ztg. 1912, Nr. 128

2) Baekeland: Bakelit, ein neues synthetisches Harz. Chem.-Ztg. 1909, Nr. 35.

3) Lebach: Bakelit und seine Verwendung. Chem.-Ztg. 1913, Nr. 73 u. 75.

aus Porzellan erzeugte Preßteile, wie Schaltersockel, Dosen, Griffe, Deckel u. ä., hergestellt.

Eine andere große Reihe von Isolierkörpern, die bisher nur die Porzellanindustrie hervorbringen konnte, bilden die Durchführungen, Standisolatoren u. dgl., sie sind neuerdings bis zu den höchsten Spannungen in Gebrauch. Für die Erzeugung dient hier Papier, das mit Bakelit getränkt, gewickelt, geschichtet, gepreßt nach dem vorbeschriebenen Verfahren über B in C übergeleitet wird. Auf gleiche Weise werden Platten für den Schalttafelbau erzeugt.

Weitere Benutzung findet Bakelit zur Tränkung von Spulen, Papp- und Asbestkörpern.

Die Bakelite G. m. b. H. liefert nur den Urstoff, das reine Bakelit, die Verarbeitung, geschieht durch die verschiedensten Firmen, die Erzeugnisse sind unter den entsprechenden Namensbezeichnungen angezogen.

Bikarton.

Erzeugnis von Brown, Boveri & Cie. in Baden.

Bestandteile: bakelisiertes Papier.

Lieferform: Platten.

Verwendung hauptsächlich für Schalttafeln, Trennwände u. ä.

Bearbeitung: durch schneiden und sägen.

Wärmebeständig: bis 100°.

Feuchtigkeitsaufnahme: gering.

Beständig: gegen Öl.

Spez. Gew.: 1,4.

Durchschlagsfestigkeit: 1 mm Stärke 20000 V.

Über Fabrikation allgemein siehe Aufsatz „Bakelit“.

Bituba.

Erzeuger: Brown, Boveri & Cie., Mannheim.

Bestandteile: Papier und Bakelit.

Lieferform: Rohre, fertig gewickelte Standisolatoren, Durchführungen u. ä.

Bearbeitung: schneiden und sägen, meist werden die genannten Körper fertig geliefert.

Wärmebeständig: bis 100°.

Feuchtigkeitsaufnahme: gering.

Beständig: gegen Öl.

Spez. Gew.: 1,4.

Durchschlagsfestigkeit: 1 mm Stärke 20000 V.

Über Fabrikation allgemein siehe Aufsatz „Bakelit“.

Cellon.

Erzeuger: Cellon-Werke, Charlottenburg, Bismarckstraße 71, nach den Patenten von Dr. A. Eichengrün. Teilfabrikation bei Dr. Hunäus, Hannover.

Bestandteile: Azetylhydrozellulose mit indifferenten Erweichungsmitteln, äußerlich dem Zelluloid ähnlich.

Lieferform: Platten, Stäbe, Röhren und Formstücke.

Verwendung: Griffe, Skalen, Scheiben, Spulen u. v. a.

Farbe: hellgrau durchsichtig, fast fensterglasklar, jedoch auch in jeder beliebigen Farbe.

Bearbeitung: sehr leicht, es läßt sich sägen, schneiden, bohren, feilen, polieren und gravieren, es ist hierin vollständig mit Hartgummi vergleichbar.

Die Zugfestigkeit ist vom Verfasser an Abspannisolatoren von etwa 180 mm gerader Länge und 25 mm \varnothing mit 200—300 kg/qcm ermittelt.

Die Wärmebeständigkeit geht nur bis etwa 70°.

Beständig gegen Öl, Fett, Alkohol, Benzin, Wasser.

Das spez. Gew. ist gleich 1,35.

Die Durchschlagsfestigkeit beträgt nach Angaben des Erzeugers:

0,2 mm = 13200 V.

0,35 „ = 22000 „

0,45 „ = 25000 „

1,0 „ = 26000 „

1,3 „ = 30000 „

2,0 „ = 35000 „

Die Feuersicherheit ist etwa der von Hartgummi gleich, im Gegensatz zu Zelluloid brennt Cellon nicht explosionsartig auf.

Erheblich größere Bedeutung als dem Hartcellon kommt noch den Cellonlacken zu, diese sind im Teil II aufgeführt.

Cornit.

Erzeuger: Preßspan-Weidmann, Rapperswil (Schweiz).

Bestandteile: nicht bekannt.

Lieferform: Preßteile.

Verwendung: für verschiedenste Zwecke.

Farbe: weiß, grau, grün, schwarz, braun.

Bearbeitung: vielseitig.

Wärmebeständig: je nach Sorte 100—300°.

Wasseraufnahme: meist nicht aufsaugend.

Beständig: gegen Öl und Säure.

Spez. Gew.: im Mittel 1,9.

Durchschlagsfestigkeit: 1 mm Stärke 1500—5000 V.

Durax.

Erzeuger: Continentale Isola-Werke A.-G. in Birkesdorf b. Düren.

Bestandteile: Papier und Bakelit.

Lieferungsform: Preßstücke, in die sogar Metallteile eingelegt werden können.

Verwendung: vielseitig.

Farbe: braun.

Wärmebeständig: bis 175°.

Spez. Gew.: 1,4.

Durchschlagsfestigkeit: 1 mm = 10000 V.

Durax unterscheidet sich von den meisten anderen bakelisierten Papiererzeugnissen dadurch, daß es nicht geschichtet, sondern homogen ist, wozu ein besonderes Arbeitsverfahren angewendet wird.

Eburin.

Erzeuger: Gesellschaft für Straßenbahnbedarf m. b. H. in Berlin NW 7, Dorotheenstr. 57. Werk Habelschwerdt i. Schl.

Bestandteile: Mischung von Faserstoffen, synthetischen Harzen und Lösungen aus fossilen Kopalen.

Lieferungsform: Preßteile.

Verwendung: Isolationsteile für Straßenbahnen, Kranleitungen, Oberbauteile, für Motore, Controller, Widerstände, Kupplungen u. ä.

Die Teile haben Hochglanz, erhebliche Festigkeit bei voller Wetterbeständigkeit.

Eisengummi.

Erzeuger: Verschiedene Werke. Die folgenden Angaben machte das Gummiwerk Westend, Berlin-Siemensstadt-Gartenfeld.

Bestandteile: Hartgummi mit Füllstoff.

Lieferungsform: Platten und Formstücke, diese auch mit Metall-einlage.

Verwendung: Für Teile, bei denen höhere Wärmebeanspruchung erwünscht ist, als dies Hartgummi im allgemeinen zuläßt, hauptsächlich für Kran- und Oberleitungsteile. Die Mischungen binden sehr gut mit den Eiseneinlagen.

Farbe: grauschwarz, nicht ganz so sauber aussehend wie Hartgummi.

Bearbeitungsfähigkeit: gut, doch gering polierbar.

Biegefestigkeit: H 13 = 564; H 64 = 420 kg/qcm.

Schlagbiegefestigkeit: H 13 = 8; H 64 = 6,7 cmkg/qcm.

Wärmebeständigkeit: H 13 und 64 bis 50°; H 42 und 24 bis 40°.

Wasseraufnahme bei allen Sorten gleich 0.

Feuersicherheit bei allen Sorten nicht vorhanden.

Beständigkeit bei Zimmertemperatur gegen Alkali alle Sorten: ja.

„ „ „ „ Säure „ „ nein,

„ „ „ „ Öl „ „ ja.

Spez. Gew.: H 13 und 42 = 1,4; H 64 und 24 = 1,5.

Oberflächenwiderstand: über 1 Million Megohm.

Lichtbogensicherheit: Der Lichtbogen bildet eine leitende Brücke, die nach dem Erkalten leitet.

Eshalit (E 70 und E 60 J).

Erzeuger: Gummiwerk Westend, Berlin-Siemensstadt-Gartenfeld.

Bestandteile: Asbesthaltiger jedoch gummifreier Isolierstoff.

Lieferungsform: Einfache Preßteile mit und ohne Metalleinlagen in neun verschiedenen Güten erzeugt.

Verwendung: E 60 Preßteile für Funkenfänger, Schutzwände.

E 60 J für Zählerplatten.

Farbe: E 60 weiß, E 60 J schwarz.

Bearbeitungsfähigkeit: schlecht, nicht polierbar.

Biegefestigkeit: E 60 = 120 kg/qcm, E 60 J = 200 kg/qcm.

Schlagbiegefestigkeit: E 60 = 1,8 cmkg/qcm, E 60 J = 2,0 cmkg/qcm.

Wärmebeständigkeit: E 60 ÷ 500°, E 60 J ÷ 500°.

Wasseraufnahme: E 60 unbearbeitet 2,1 vH; bearbeitet 2,5 vH,
E 60 J „ 0,05 vH; „ 0,06 vH
nach 24stündigem Wasserbad in Zimmertemperat.

Feuersicherheit: für beide Sorten vorhanden.

Beständig bei Zimmertemperatur gegen Alkali E 60 nein, E 60 J ja,

„ „ „ „ Säure E 60 nein, E 60 J nein,

„ „ „ „ Öl E 60 ja, E 60 J ja.

Spez. Gew. beider Sorten: 2,1.

Oberflächenwiderstand: E 60 = 10000 Megohm, E 60 J = 40000 Megohm.

Lichtbogensicherheit: Der Lichtbogen läßt sich bei beiden Sorten nicht über 20 mm ausziehen.

Eshalit (E 61 und 59).

Lieferungsform: Preßteile jeder Art ohne und mit Metalleinlagen.

Verwendung: E 61 für Schalterkappen und Stecker.

E 59 für Schaltersockel, Steigeleitungskästen, Hebel-schaltergrundplatten.

Farbe beider Sorten: schwarz.

Bearbeitungsfähigkeit: schlecht, doch polierfähig.

Biegefestigkeit: E 61 = 120 kg/qcm, E 59 = 300 kg/qcm.

Schlagbiegefestigkeit: E 61 = 2,5 cmkg/qcm, E 59 = 3,2 cmkg/qcm.

Wärmebeständigkeit: E 61 ÷ 200°, E 59 ÷ 400°.

Wasseraufnahme: E 61 unbearbeitet 0,25 vH, bearbeitet 0,30 vH,
E 59 „ 0,20 vH, „ 0,18 vH,
nach 24stündigem Wasserbad in Zimmertemp.

Feuersicherheit für alle Sorten vorhanden.

Beständig bei Zimmertemperatur gegen Alkali E 61 ja, E 59 nein,

„ „ „ „ Säure E 61 ja, E 59 ja,

„ „ „ „ E 61 ja, E 59 ja.

„ „ „ „ Öl E 61 ja, E 59 ja.

Spez. Gew.: E 62 = 2, E 59 = 1,9.

Oberflächenwiderstand: E 61 = 14000 Megohm, E 59 = 100000 Megohm.

Lichtbogensicherheit: Der Lichtbogen bildet eine leitende Brücke, die nach dem Erkalten nicht mehr leitet.

Eshalit (E 70, 71, 72).

Lieferungsform: Platten 4—10 mm stark 0,5×0,5 m,

„ 10—40 „ „ 1×1 „

Verwendung: Mechanisch hoch beanspruchte Teile, die aus Platten hergestellt werden können wie Schalterplatten, Hebelschaltertraversen u. ä.

Farbe: E 70 und 71 braun, E 72 blauschwarz.

Bearbeitungsfähigkeit: ziemlich gut bis gut, E 70 nicht polierbar, E 70 und 72 polierfähig.

Biegefestigkeit: E 70 = 330 kg/qcm, E 71 und 72 = 450 kg/qcm.

Schlagbiegefestigkeit: E 70 = 3,6, E 71 = 4, E 72 = 4,4 cm/kgqcm.

Wärmebeständigkeit: E 70 ÷ 300°, E 71 und 72 ÷ 100°.

Wasseraufnahme: E 70 unbearbeitet 0,25 vH, bearbeitet 0,50 vH,
E 71 „ 0,12 vH, „ 0,12 vH,
E 72 „ 0,05 vH, „ 0,13 vH,
nach 24stündigem Wasserbad bei Zimmertemp.

Feuersicherheit für alle Sorten vorhanden.

Beständig bei Zimmertemperatur gegen Alkali nein,

„ „ „ „ Säure ja,

„ „ „ „ Öl ja.

Spez. Gew.: E 70 = 1,9, E 71 = 1,3, E 72 = 1,3.

Oberflächenwiderstand: E 70 = 40000, E 71 und 72 = 60000 Megohm.

Lichtbogensicherheit: Der Lichtbogen bildet eine leitende Kruste, die nach dem Erkalten leitet.

Eshalit (E 80 und 81).

Lieferungsform: Preßteile jeder Art ohne und mit Metalleinlagen.

Verwendung: Preßstücke, die hochglänzend aus der Form kommen, wie Hörmuscheln u. dgl.

Farbe: tiefschwarz.

Bearbeitungsfähigkeit: schlecht, doch polierfähig.

Biegefestigkeit: E 80 = 350 kg/qcm, E 81 = 190 kg/qcm.

Schlagbiegefestigkeit: E 80 = 4,4 cmkg/qcm, E 81 = 1,4 cmkg/qcm.

Wärmebeständigkeit: E 80 ÷ 65°, E 81 ÷ 45°.

Wasseraufnahme: E 80 unbearbeitet 0,30 vH, bearbeitet 0,70 vH,
E 81 „ 0,40 vH, „ 0,80 vH,
nach 24stündigem Wasserbad bei Zimmertemp.

Feuersicherheit: E 80 ja, E 81 nein.

Beständig bei Zimmertemperatur gegen Alkali E 80 nein, E 81 ja,

„ „ „ Säure E 80 ja, E 81 ja,

„ „ „ Öl E 80 ja, E 81 ja.

Spez. Gew.: beider Sorten 1,9.

Oberflächenwiderstand: E 80 = 50000, E 81 = 40000 Megohm.

Lichtbogensicherheit: Der Lichtbogen bildet eine leitende Brücke, die nach dem Erkalten leitet.

Eswelit.

Erzeuger: Gummiwerk Westend, Berlin-Siemensstadt-Gartenfeld.

Bestandteile: nicht genannt, hartgummiähnlich.

Bezeichnung: H 320.

Lieferungsform: Platten und Preßteile, diese auch mit Metalleinlage.

Verwendung: Teile, die möglichst lichtbeständig sein müssen wie Platten, Knöpfe, Griffe für Geräte, Hörmuscheln u. dgl.

Farbe: tiefschwarz.

Bearbeitungsfähigkeit: gut, Politur glänzend.

Biegefestigkeit: 300 kg/qcm.

Schlagbiegefestigkeit: 4,3 cmkg/qcm.

Wärmebeständigkeit: bis 90°.

Wasseraufnahme: unbearbeitet und bearbeitet 0,3 vH.

Feuersicherheit: nicht vorhanden.

Beständig bei Zimmertemperatur gegen Alkali nein,

„ „ „ „ Säure ja,

„ „ „ „ Öl ja.

Spez. Gew.: 1,35.

Oberflächenwiderstand: über 1 Million Megohm.

Lichtbogensicherheit: Der Lichtbogen bildet eine leitende Brücke, die auch nach dem Erkalten leitet.

Faturan.

Erzeuger: Dr. Heinr. Traun Söhne, Hamburg.
 Herkunft: Kondensationserzeugnis aus Phenol und Formaldehyd.
 Lieferungsform: Homogene Platten, Stäbe, Röhren und Preßteile
 in mehreren Güten. Metallteile einpreßbar.
 Verwendung: Ersatz für Hartgummi.
 Farbe: schwarz und rot.
 Bearbeitung: leicht einschließlich Politur.
 Zugfestigkeit: $250 \div 400$ kg/qcm.
 Wärmebeständigkeit: bis 175° .
 Beständig gegen Säuren jedoch nicht Alkalien.
 Spez. Gew.: $1,2 \div 2,25$.
 Oberflächenwiderstand: schwankend nach Sorte.
 Durchschlagsfestigkeit desgl.

Fermit.

Erzeuger: Continentale Isolawerke, Birkesdorf b. Düren.
 Bestandteile: nicht genannt.
 Lieferungsform: Fermit I in Formteilen ohne und mit Metalleinlage
 „ II „ Platten,
 „ III „ „
 Verwendung: als Preßteil in verschiedenster Form.
 als Platten für Schalt- und Zählertafeln.
 Farbe: I braun bis schwarz, II grau, III schwarz.
 Bearbeitungsfähigkeit: gering.
 Wärmebeständigkeit: I $\div 250^{\circ}$, II $\div 700^{\circ}$, III $\div 700^{\circ}$
 Wasseraufnahme: nicht vorhanden.
 Spez. Gew.: 1,9—2,0.

Festonit.

Erzeuger: Vacuum Preßgut G. m. b. H., Berlin NW 7, Dorotheen-
 straße 57. Werk Habelschwerdt i. Schl.
 Bestandteile: Mischung aus Silikaten, synthetischen Harzen und
 kolloidalem Zellstoff.
 Lieferungsform: Platten und Preßteile, diese ohne oder mit Metall-
 einlagen.
 Verwendung: für alle Zwecke der Elektrotechnik.
 Farbe: schwarz, grau, rot, blau, grün, gelb und weiß.
 Zugfestigkeit: $300 \div 500$ kg/qcm je nach Sorte.
 Druckfestigkeit: $300 \div 1600$ kg/qcm je nach Sorte.
 Biegefestigkeit: $180 \div 400$ kg/qcm je nach Sorte.
 Wärmebeständigkeit: $70\text{—}400^{\circ}$ je nach Sorte.
 Beständig: gegen Alkali, Säure, Öl je nach Sorte.

Spez. Gew.: 1,4 ÷ 2,25 je nach Sorte.

Oberflächenwiderstand: 300000 ÷ 27000000 Megohm.

Durchschlagsfestigkeit: 4000 ÷ 28000 V. für 1 mm Stärke.

Futurit.

Erzeuger: Kabelfabrik und Drahtindustrie A.-G. Wien.

Bestandteile: Kunstharz mit je nach der Verwendung abweichenden Füllstoffen in verschiedenen Arten hergestellt.

Bezeichnung: Futurit G 120 (als Beispiel herausgegriffen).

Lieferungsform: Preßteile jeder Art ohne und mit Metalleinlagen.

Verwendung: vielseitig, auch schwierigste Formen herstellbar.

Farbe: schwarz.

Bearbeitungsfähigkeit: wie bei Hartgummi.

Wärmebeständigkeit: ÷ 300°.

Wasseraufnahme: nicht vorhanden.

Flammsicherheit: nicht brennbar.

Durchschlagsfestigkeit: 5000 ÷ 6000 V. für 1 mm.

Lichtbogensicherheit: verkohlt ohne selbst weiterzubrennen.

Galalith.

Erzeuger: Galalith Gesellschaft Hoff & Co., Harburg a. Elbe.

Bestandteile: Kunsthorn unbekannter Zusammensetzung.

Lieferungsform: Platten und Rundstäbe.

Verwendung: vielseitig als Schalterabdeckungen, Druckknöpfe, Griffe, Stöpsel, Rosetten, Skalen u. dgl.

Farbe: beliebig, sogar in Schattierungen (schildpattartig).

Bearbeitungsfähigkeit: Jedes Werkzeug anwendbar, sogar Gewinde läßt sich einschneiden. In erwärmten Zustand biegsam wie Hartgummi.

Wasseraufnahme: verhältnismäßig hoch, daher nur für vollkommen trockene Verwendung geeignet.

Beständig: gegen Öle, Fette, Benzin, Äther.

Spez. Gew.: 1,4.

Gummi

verwendet die Elektrotechnik in vielfacher Gestalt und in allen Härten, rein oder gemischt mit Füllstoffen.

Der natürliche Kautschuk ist ein tropisches Erzeugnis, der milchweiße Saft des Gummibaumes, der durch Vulkanisierung unter Zusatz von Schwefel in die für die weitere Verarbeitung geeignete Form gebracht wird. Die ursprünglich weiße Farbe geht dabei in grau über. Die verschiedenen Härten werden durch Anwendung abgestufter Wärmegrade

und Schwefelmengen erzielt. Als Hauptlieferanten kommen Brasilien, Indien und Afrika in Frage.

Der teure Preis des Rohkautschuks bedingte schon im Frieden sparsamste Verarbeitung, die besten Isolierstoffe enthielten darum nur bis zur Hälfte frischen Rohstoff. Während des Krieges wurde der natürliche Kautschuk bald knapp, es mußten auch hier Ersatzstoffe beschafft werden.

Wirklich brauchbare Ware stellten nur die Regenerate aus Altgummi und Abfällen dar, wenn sich auch hierin manchmal weniger geeignete „Füllstoffe“ wie Gleitschutznägel von Autoreifen u. ä., die dem Verfasser oftmals zu langwieriger Fehlersuche Anlaß gaben, fanden.

Der deutschen Industrie gelang es in verhältnismäßig kurzer Zeit, künstlichen Kautschuk (Methylkautschuk) zu erzeugen, der dann in hohem Maße Verwendung fand und auch heute noch trotz neuer Zufuhr von Naturkautschuk vielfach verarbeitet wird. Bezüglich der Verwendung des künstlichen Gummis sei auf eine Veröffentlichung von Geisler [Doktorarbeit¹⁾] verwiesen.

Weichgummi kommt in der Hauptsache für die Kabelisolation in Frage, für die Untersuchung werden hier die amerikanischen Vorschriften²⁾ angezogen, für Hartgummi und Ersatzstoffe reichen die vorn angegebenen Prüfverfahren aus, Meßwerte sind bei den einzelnen Stoffen genannt.

Gummiest.

Erzeuger: Gummiwerk Westend G. m. b. H., Berlin-Siemensstadt-Gartenfeld.

Bezeichnung: Gummiest 451.

Lieferungsform: Platten und Preßteile ohne und mit Metalleinlage.

Verwendung: Maschinenbauzwecke, Bürstenhalterplatten, Kommutatorringe u. ä.

Farbe: grau.

Bearbeitung: sehr schlecht.

Biegefestigkeit: 300 kg/qcm.

Schlagbiegefestigkeit: 4,3 cmkg/qcm.

Wärmebeständigkeit: ÷ 120°.

Wasseraufnahme: unbearbeitet 0,05, bearbeitet 0,10 vH.

Feuersicher: ja.

Beständig: gegen Alkali, Säure und Öl.

¹⁾ Geisler: Über die Verwendbarkeit des künstlichen Kautschuks (Methylkautschuk) für elektrische Isolierungen. Forsch.-Arb. Deutscher Ing., Heft 250.

²⁾ Chemische Untersuchung gummiisolierter Leitungen. Analysenverfahren der Underwriter's Laboratories. Chem.-Ztg. 1922, Nr. 104.

Spez. Gew.: 2.
Oberflächenwiderstand: 30000 Megohm.
Lichtbogensicherheit: Der Lichtbogen bildet eine leitende Brücke, die auch nach dem Erkalten leitet.

Gummoid.

Erzeuger: Kabelfabrik und Drahtindustrie, Wien.
Bestandteile: Geschichteter Isolierstoff aus Kunstharzen und imprägnierter Zellulose, unter Anwendung hohen Druckes hergestellt.
Lieferungsform: Platten, Scheiben, Rohre.
Verwendung: Schalttafeln, Schalterplatten, Zählertafeln u. dgl. infolge seiner hohen Festigkeit auch für Zahnräder.
Farbe: rotbraun.
Bearbeitung: mit allen Werkzeugen.
Zugfestigkeit: etwa 1000 kg/qcm.
Elastizitätsmodul: 120000 kg/qcm.
Wärmebeständigkeit: \div 190°.
Wasseraufnahme: 0.
Feuersicher: nein.
Beständig: gegen Alkohol, Ammoniak, Benzin, Petroleum, Öl.
Durchschlagsfestigkeit: senkrecht zur Schicht 8000—9000 V. für 1 mm.

Gummon.

Erzeuger: Kabelfabrik und Drahtindustrie, Wien. Rhein.-Westfälische Sprengstoff A.-G., Köln-Troisdorf. Die erste Firma nennt:
Bestandteile: Asbest, alkalische Erden und Asphalt.
Lieferungsform: Preßstücke aller Art ohne und mit Metall-einlage.
Verwendung: Klemmen, Zählertafeln, Dachständer-einführungen u. ä.
Farbe: schwarz.
Bearbeitung: Die Preßlinge können geschliffen, poliert und lackiert werden.
Wärmebeständigkeit: \div 300°.
Wasseraufnahme: nein, wetterbeständig.
Beständig: gegen Säuren, Laugen, Seewasser.
Durchschlagsfestigkeit: 3000 \div 5000 V. für 1 mm Stärke.
Die Wiener Firma liefert eine zweite Sorte in einfachen Preßstücken, besonders hart und bis 1000° hitzebeständig, eine dritte Sorte für besonders hohe elektrische Festigkeit mit 10000 V. für 1 mm Stärke.

Haresplatten.

Erzeuger: H. Römmler, Berlin W 8, Mauerstr. 33.

Bestandteile: nicht genannt, geschichteter Isolierstoff, wahrscheinlich bakelisiertes Papier.

Lieferungsform: Platten, Rohre und Formstücke.

Verwendung: für Tafeln aller Art.

Farbe: schwarz oder braun.

Bearbeitung: mit fast allen Werkzeugen.

Zugfestigkeit: in Schichtungsrichtung 1750 kg/qmm.

Druckfestigkeit: senkrecht zur Schicht 5000 kg/qmm.

Wärmebeständig: $\div 200^{\circ}$.

Beständig: gegen Säure, Fette, Ammoniak.

Spez. Gew.: 1,4.

Durchschlagsfestigkeit: 25000 V. für 1 mm.

Dielektrizitätskonstante: 4,5.

Hartgummi.

Hierin haben wir den hochwertigsten aber auch teuersten, in der Elektrotechnik, besonders im Gerätebau zunächst ganz allgemein gebrauchten Isolierstoff, der in verschiedenen Arbeitsvorgängen zu Platten und Formstücken aus Naturkautschuk, aus Regenerat und Methylkautschuk gefertigt wird.

Der teure Preis gab Veranlassung zur Ausarbeitung von Ersatzstoffen, wie sie in dieser Zusammenstellung vielfach angegeben sind und in gewissen Eigenschaften dem Hartgummi teils über- teils unterlegen sind.

Hartgummi wird von mehreren großen Werken erzeugt, dazu noch in mehreren Abstufungen. Es ist darum nicht möglich, alle Sorten hier aufzuführen, es wird deshalb nur die Siemenstafel und auch diese im Auszug wiedergegeben.

Das Gummiwerk Westend stellt Hartgummi schwarz allein schon in 13, farbig in 5 Sorten her, im folgenden sind darum nur die Grenzwerte angegeben. Der Abnehmer muß sich bei Bedarf unter Nennung der jeweiligen Verwendungsart an die Erzeuger wenden, um die für ihn geeignete, dabei im Preise billigste Ware zu erhalten.

Lieferungsform: Platten, Stäbe, Rohre, Formstücke jeder Art ohne und mit Metalleinpressung.

Verwendung: für alle Zwecke der Elektrotechnik, hauptsächlich Gerätebau.

Farbe: schwarz, elfenbein, rot, braunrot, blau, grün, marmoriert.

Bearbeitung: in jeder Weise.

Biegefestigkeit: 340 \div 1030 kg/qcm.

Schlagbiegefestigkeit: $4,2 \div 22,4$ cmkg/qcm.
 Wärmebeständigkeit: $40 \div 50^\circ$.
 Wasseraufnahme: = 0.
 Feuersicherheit: nein.
 Beständig: gegen Alkali, Säure, Öl.
 Spez. Gew.: 1,2—2,7.
 Oberflächenwiderstand: über 1 Million Megohm.
 Lichtbogensicherheit: Der Lichtbogen bildet eine leitende Brücke,
 die auch nach dem Erkalten leitet.
 Dielektrizitätskonstante (nach Zipp) $2 \div 3$.

Heliosit.

Erzeuger: H. Römmler A.-G., Berlin W 8, Mauerstr. 33.
 Bestandteile: nicht genannt, hergestellt in mehreren Güten.
 Lieferungsform: Preßteile.
 Verwendung: vielfach.
 Farbe: tiefschwarz glänzend.
 Bearbeitungsfähigkeit: leicht.
 Wärmebeständigkeit: $50 \div 100^\circ$ je nach Sorte.
 Wasseraufnahme: nein.
 Beständig: gegen Säure.
 Spez. Gew.: $1,2 \div 2$.

Karton.

Unter den Namen Karton, Preßspan, Karta, Kartogen und ähnlich klingenden werden viele verwandte Erzeugnisse auf den Markt gebracht, die alle einzeln anzuführen dem an sich nicht sehr hochwertigen Stoff nicht zukommt, meist wird versucht, die Eigenschaften durch Lackierung, Aufbringung von Glimmerblättchen u. ä. zu verbessern.

Verwendung finden diese Stoffe zum Aufbau von Spulen, Wicklungen u. dgl., überall tritt aber noch eine Nachbehandlung zur Erreichung der Beständigkeit ein.

Als Richtschnur für die Durchschlagsfestigkeit seien hier die von der Frankfurter Glimmerwarenfabrik Landsberg und Ollendorf i. Frankfurt a. M. aufgestellten Werte wiedergegeben.

0,15 mm stark	2 000 Volt
0,2 „ „	3 500 „
0,3 „ „	5 000 „
0,4 „ „	6 000 „
0,6 „ „	8 000 „
0,8 „ „	10 500 „

1,0 mm stark	14 000 Volt
1,5 „ „	18 000 „
2 „ „	22 000 „

In Rücksicht auf die Verschiedenartigkeit der Nachbehandlung können weitere Werte nicht angegeben werden.

Leinwand.

Isolierleinen und auch Seiden werden in verschiedensten Güten hergestellt, eine große Reihe von Firmen beschäftigt sich mit der Erzeugung von Bändern und Leinenstoffen, die je nach der verwendeten Tränkung Öle, Lacke, Asphalt usw. bezeichnet werden. In ihrer Wertigkeit werden diese Stoffe den mannigfaltigen Zwecken angepaßt, allgemeine Übersichtstafeln sind hierfür nicht zu geben.

Leatheroid.

Erzeuger: Frankfurter Glimmerwarenfabrik, Landsberg und Ollendorf Frankfurt a. M., Preßspan-Weidmann, Rapperswil i. Schweiz,

Farbe: grau.

Ersatzstoff für Plattenvulkanfiber.

Meßwerte liegen nicht vor.

Lithogen.

Erzeuger: Gummiwerk Westend, Berlin-Siemensstadt-Gartenfeld.
Bestandteile nicht genannt.

Bezeichnung: H 85 und 89.

Lieferungsform: H 85 in Formstücken ohne und mit Metalleinlage.
H 89 in Platten und Formstücken.

Verwendung: für Teile, die hohe Wärmebeständigkeit bedingen.

Farbe: H 85 schwarz, H 89 grau.

Bearbeitungsfähigkeit: gut einschließlich Politur.

Biegefestigkeit: H 85 = 510 kg/qcm, H 89 = 405 kg/qcm.

Schlagbiegefestigkeit: H 85 = 9,6 cmkg/qcm, H 89 = 8,1 cmkg/qcm.

Wärmebeständig: H 85 ÷ 55°, H 89 ÷ 100°.

Wasseraufnahme: = 0.

Feuersicher: nein.

Beständig: gegen Alkali, Säure, Öl.

Spez. Gew.: H 85 = 1,405, H 89 = 2,1.

Lichtbogensicherheit: Der Lichtbogen bildet eine leitende Brücke, die auch nach dem Erkalten weiterleitet.

Lonarit.

Erzeuger: Cellon-Werke, Charlottenburg, Bismarckstraße 71.

Bestandteile: nicht genannt.

Lieferungsform: Pulver, Platten, Rohre, Stäbe, Formstücke.

Verwendung: an Stelle von Hartgummi.

Farbe: schwarz, elfenbein u. a.

Bearbeitung: wie Hartgummi. Aus dem Pulver Pressung von Formstücken, die keinerlei Schwindung zeigen sollen. Ein weiterer Vorteil ist die leichte Klebfähigkeit mit Azeton.

Meß- oder Erfahrungswerte mit diesem ganz neuen Stoff liegen nicht vor.

Megohmit.

Erzeuger: Meirovsky & Co. A.-G., Köln-Porz.

Bestandteile: Glimmer und Klebemittel.

Lieferungsform: Platten, hart und weich, Formstücke.

Verwendung: für den Kollektorbau und Heizkörper.

Weiter werden von der Firma alle anderen Glimmererzeugnisse, wie Stoffe und Papiere geliefert, deren Namen und Unterschiede hier nicht alle aufgeführt werden können.

Megotalc.

Erzeuger: Frankfurter Glimmerwaren-Fabrik, Landsberg & Ollendorf, Frankfurt a. M.

Bestandteile: Glimmer und Klebemittel

Lieferungsform: Platten und Bänder, hart und weich, Formstücke.

Verwendung für Heiz- und Kochgeräte, Kollektorbau u. ä.

Weitere ähnliche Erzeugnisse für Sonderzwecke werden ebenfalls hergestellt, für folgende bestehen Wertangaben:

Megotalc.	bei 0,5 mm Stärke	23000 Volt
Glimmerleinwand	„ 0,4 „ „	11000 „
Glimmerpapier	„ 0,15 „ „	5500 „
Glimmerpapier	„ 0,30 „ „	11000 „

Mikanit.

Erzeuger: A. E. G., Meirovsky, Landsberg & Ollendorf, Jaroslaw und viele andere Firmen.

Bestandteile: Glimmerschuppen und Klebemittel, unter hohem Druck und Wärme verarbeitet.

Lieferform: Platten, Ringe, Formstücke.

Verwendung: Spulenbau, Formkörper, allgem. Maschinen-Isol. u. v. a.

Farbe: braun und grau.

Bearbeitung: nur durch schneiden, Form möglichst bei Herstellung durch entsprechende Klebung erreichen.

Druckfestigkeit sehr hoch. Körper ähnlich den früher beschriebenen Glas- und Porzellanproben von 200 mm Auflageflächen \varnothing und 100 mm Höhe zeigten bei 2 t/qcm keinerlei Veränderung.

Wärmebeständigkeit: $80 \div 100^\circ$ je nach dem verwendeten Lack.
Feuersicher: nein.

Durchschlagsfestigkeit: senkrecht zur Schicht $25 \div 30\,000$ Volt für 1 mm.

Dielektrizitätskonstante: (nach Zipp $4,5 \div 5,5$).

Die Glimmererzeugnisse sind vielartig benannt, es sind mehrere in dieser Zusammenstellung angeführt.

Peralit.

Erzeuger: Frankfurter Glimmerwarenfabrik, Landsberg & Ollendorf, Frankfurt a. M.

Bestandteile: bakelisiertes Papier.

Lieferungsform: Platten, Stäbe, Ringe, einfache Formstücke und Papiere.

Verwendung: Schalttafeln, Gerätebau.

Farbe: gelblichbraun und schwarz.

Bearbeitung: in vielfacher Weise.

Wärmebeständigkeit: $\div 200^\circ$.

Wasseraufnahme gering, nicht wetterbeständig.

Spez. Gew.: 1,28.

Durchschlagsfestigkeit bei 1,8 mm Stärke und 16° 44000 Volt, 100° 18 000 Volt.

Pertinax.

Erzeuger: Meirowsky & Co. A.-G., Köln-Porz.

Bestandteile: Ursprünglich Papiersichten durch Naturharz verklebt, jetzt dafür Bakelit.

Bezeichnung: Pertinax A.

Lieferungsform: Platten und Rohre aller Größen, Papiere.

Verwendung: Für alle Konstruktionen des Innenbaues, Schaltplatten, Trennwände, Schaltersockel, neuerdings auch für einfache Isolatorenformen.

Farbe: gelblich-braun oder schwarz.

Bearbeitung: mit allen Werkzeugen jedoch geringer Schnittgeschwindigkeit, die Oberfläche ist zu schleifen und zu polieren.

Wärmebeständig: kurzfristig $\div 200^\circ$.

Wasseraufnahme: sehr gering, nicht wetterbeständig.

Beständig: gegen Säure, heißes Öl und alle Lösungsmittel bis auf starke Laugen.

Spez. Gew.: 1,3.

Durchschlagsbeanspruchung: für 1 mm mit 5000 Volt dauernd zulässig.

Dielektrizitätskonstante: 4,5.

Pilit.

Erzeuger: Frankfurter Glimmerwarenfabrik Landsberg & Ollendorf, Frankfurt a. M.

Eine Preßspanart nach patentiertem Verfahren, die Überlegenheit gegenüber dem üblichen Preßspan besteht in der Unempfindlichkeit gegen Feuchtigkeit.

Für die Durchschlagsfestigkeit werden folgende Werte genannt:

0,1 mm stark	5 000 Volt	0,50 mm stark	10 000 Volt
0,15 „	„ 6 000 „	0,60 „	„ 11 000 „
0,20 „	„ 7 000 „	0,80 „	„ 13 000 „
0,30 „	„ 8 000 „	1,00 „	„ 16 000 „
0,40 „	„ 9 000 „	1,50 „	„ 20 000 „

Pyrostat.

Erzeuger: Preßspan-Weidmann, Rapperswil i. Schweiz.

Bestandteile: Asbesterzeugnis ähnlich dem Amianit.

Die Hitzebeständigkeit ist besonders groß.

Andere Angaben fehlen.

Repelit.

Erzeuger: Siemens-Schuckert-Werke, Charlottenburg.

Bestandteile: Ein in die Reihe der Hartpapiere fallender Isolierstoff.

Lieferungsform: Fertige Isolatoren, Durchführungen, Stützer.

Verwendung: nur für Innenbau.

Bearbeitungsfähigkeit wie bei Holz, es lassen sich vielerlei Formen daraus herstellen.

Biegefestigkeit: 500 kg/qcm.

Durchschlagsfestigkeit: hoch, soweit es jedoch an Stelle von Porzellan benutzt wird, sind für Durchführungen ins Freie Schutzüberzüge aus diesem nötig, die Zwischenräume müssen ausgegossen werden.

Nähere Angaben sind bisher nicht gemacht.

Resistan.

Erzeuger: H. Römmler, Berlin W 8, Mauerstr. 33.

Bestandteile: nicht genannt.

Lieferungsform: Platten und Preßteile.

Verwendung: für Schaltplatten, Sockel und Teile für hohe mechanische Beanspruchung.

Wärmebeständigkeit: \div 250 und 600° je nach Sorte.

Spez. Gew.: 2.

Wasserbeständig: ja.

Beständig gegen Öl und Säure.

Rhadoonit,

Plattenförmiger Isolierstoff aus Schieferabfällen, Pech und Asbestfasern.

Der Werkstoff ist durch härtere und wärmebeständigere Erzeugnisse überholt und hier nur der Vollständigkeit wegen mit genannt.

Stabilit.

Erzeuger: A. E. G. Kabelwerk Oberspree, Berlin.

Bestandteile nicht angegeben.

Lieferungsform: Platten, Stangen, Rohre, Preßteile.

Verwendung: Schalt- und Geräteplatten, Schaltgestänge und die verschiedensten Massenteile für Maschinen und Geräte.

Farbe: schwarz, rot, braun, homogen.

Bearbeitung: durch alle Werkzeuge.

Spez. Gew.; 1,7.

Stabilit wird wie Hartgummi in so vielen Sorten hergestellt, daß Einzelmeßwerte nicht angegeben werden können. Der Verbraucher muß hier unter Angabe seiner besonderen Verwertungsart von Fall zu Fall anfragen. Stabilit ist ein sehr hochwertiger Baustoff.

Tenacit.

Erzeuger: A. E. G. Kabelwerk Oberspree, Berlin.

Bestandteile: nicht genannt.

Lieferungsform: Platten und Formteile.

Verwendungsform: für alle Gebiete, sieben verschiedene Sorten für alle Anforderungen bereit.

Farbe: grauschwarz, weiß, braun und schwarz.

Bearbeitung: durch alle Werkzeuge.

Spez. Gew.: 1,44 \div 2,41.

Auch hier muß der vielen Sorten wegen auf Einzelangaben verzichtet werden, der Bezieher muß unter Angabe seiner Wünsche zurückfragen.

Turbonit.

Erzeuger: Jaroslaws erste Glimmerwarenfabrik, Berlin SO 36, Reichenberger Straße und Berlin-Weissensee.

Bestandteile: bakelisiertes Papier.

Lieferungsform: Platten, Rundstäbe, Profiltröhren.

Verwendung: Konstruktionsstoff für alle Innenraumzwecke.

Farbe: rötlich-braun.

Bearbeitung: mit allen Metallwerkzeugen.

Zugfestigkeit: 800 kg/qcm.

Druckfestigkeit: 2300 kg/qcm.

Biegefestigkeit: 1500 kg/qcm nach 30 tägiger Lagerung in Petroleum.

Schlagbiegefestigkeit: 30 cmkg/qcm.

Wärmebeständigkeit: 120° und darüber.

Wasseraufnahme: fast 0, jedoch nicht wetterbeständig.

Beständig: gegen heißes Öl, Salzlösungen, Säuren.

Spez. Gew.: 1,3—1,45.

Durchschlagsfestigkeit: quer zur Schicht 16 000 Volt für 1 mm Stärke.

Oberflächenwiderstand: 50 000 Megohm bei mittlerer Temperatur und Luftfeuchtigkeit.

Dielektrizitätskonstante: im Mittel 3,5.

Vulcoasbest.

Erzeuger: Preßspan-Weidmann, Rapperswil i. Schweiz.

Bestandteile: Asbest mit Klebstoffen.

Lieferungsform: Preßkörper.

Verwendung: für Bürstenhalter, Controller, Widerstände.

Bearbeitung: leicht durch schneiden, bohren, stanzen.

Wärmebeständig ÷ 70°.

Wasserbeständig: ja.

Spez. Gew.: 1,7.

Beständig gegen Öl bei niedriger Temperatur.

Vulcanfiber.

Ein früher viel benutzter platten-, stangen- oder rohrförmiger, geschichteter Isolierstoff, der jetzt durch viel hochwertigere Erzeugnisse fast ganz verdrängt ist. Der V. D. E. gibt hierfür sehr einengende Vorschriften, Aufzählung hier nur der Vollständigkeit wegen.

Bestandteile: Holzfasern, die mit Schwefelsäure und Chlorzink unter Druck behandelt sind.

Bearbeitung: durch sägen, bohren, feilen, polieren.

Wärmebeständigkeit: 100 ÷ 180°.

Wasseraufnahme erheblich.

Durchschlagsfestigkeit: 2500 Volt für 1 mm Stärke.

Spez. Gew.: 1,3.

Zweiter Teil.

Die flüssigen Isolierstoffe einschl. erhärtender Lacke u. dgl.

Bearbeitet von H. Franz.

I. Allgemeine Vorfragen über Herkunft und Lieferungsform.

Obwohl das vorliegende Handbuch nur die isolierenden Stoffe der Elektrotechnik behandeln soll, erscheint es dem Bearbeiter zweckmäßig, außer den als reine Isoliermittel geltenden Transformatoren- und Schalterölen auch die für elektrische Maschinen und für die zum Antriebe von Dynamos dienenden Dampfmaschinen, Turbinen und Verbrennungsmotoren in Frage kommenden Schmieröle und Fette einer etwas eingehenderen Betrachtung zu unterziehen. Die Prüfung derselben kann mit den für Transformatorenöle nötigen Geräten und den gleichen Verfahren durchgeführt werden, andererseits wird von diesen Betriebsstoffen in manchen Fällen auch eine gewisse Isolierfähigkeit vorausgesetzt, die durch die Beschaffenheit des betreffenden Stoffes in Frage gestellt werden kann und daher eine Prüfung seiner Eigenschaften erfordert.

Der im ersten Teil des Buches aufgestellte ausführliche Fragebogen findet für die flüssigen Isolierstoffe keine Verwendung; die Fragen beschränken sich auf

genaue Bezeichnung des Werkstoffes,
Lieferant oder Hersteller,
Ursprung und Herkunft,
Lösungsmittel,
Gewinnungs- und Veredelungsverfahren,
Verwendungszweck.

Daneben wird man von Fall zu Fall dem besonderen Verwendungszweck entsprechende Eigenschaften verlangen, die im Abschnitt „Verwendungs- und Lieferungsbedingungen“ eingehend behandelt werden.

Schon eine etwas genauere Beantwortung der obigen Fragen kann wertvolle Aufschlüsse über den angebotenen Werkstoff geben und in vielen Fällen von vornherein für eine Verwerfung desselben maßgebend sein. So wird man beispielsweise ein Öl, das ein Raffinat des Erdöles (Mineralöl) sein soll, verwerfen, wenn die Beantwortung der Frage nach dem Ursprung und dem Gewinnungs- oder Veredelungsverfahren ergibt, daß es sich um ein Steinkohlenteerdestillat oder um Harzöl handelt. Sehr oft wird man über diese Fragen vom Lieferanten keine erschöpfende Auskunft bekommen können, da der Handel mit flüssigen Isolierstoffen, insbesondere Ölen, zumeist in rein kaufmännischen Händen liegt. Im Ölhandel ist die Angabe von Analysendaten, das spezifische Gewicht, den Flüssigkeitsgrad (Viskosität) und den Flammpunkt betreffend, allgemein üblich, aber zu einer vollständigen Gütebeurteilung bei weitem nicht ausreichend. Seltener bekommt man Auskunft über chemische Beschaffenheit und bei Ölen für reine Isolierzwecke wohl nie über elektrische Werte.

Sowohl vom wirtschaftlichen Standpunkt aus, um vorteilhaft einzukaufen, als auch vom technischen, um Betriebsstörungen von vornherein zu vermeiden, ist eine Prüfung der vom Lieferanten angegebenen und der für den besonderen Verwendungszweck erforderlichen Eigenschaften auf alle Fälle durchzuführen.

Die Lieferungsformen sind für Öle und Fette ohne weiteres gegeben, doch ist unter Umständen die Art der Versandgefäße zu bestimmen, z. B. ob Eisen- oder Holzfässer für Öl genommen werden sollen. Für Lacke bedarf die Frage der Lieferungsformen der Aufklärung, da diese dem Verbraucher sowohl in flüssiger, als auch in fester Form zugeführt werden.

II. Verwendungs- und Lieferungsbedingungen.

1. Transformatoren- und Schalteröle.

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

In erster Linie kommen die Öle zur Füllung von Transformatoren und Schaltgeräten in Betracht, wo sie den Zweck haben, die Wicklungen zu kühlen und das Überschlagen von Funken zwischen den Drahtwicklungen und blanken Teilen zu verhüten. Unbedingte Voraussetzung für die Verwendung im Schalter oder im Transformator ist die Neutralität des Öles, damit weder Metallteile noch zur Zwischenisolation dienende Isolierstoffe und Kitte angegriffen werden. Die im Betrieb auftretenden Erwärmungen bis zu 90° C erfordern eine geringe Verdampfbarkeit und das Fehlen der Neigung zum Zersetzen oder zur Bildung von Niederschlägen. Diese und noch andere Anforderungen,

die an die elektrisch hoch beanspruchten Öle zur Vermeidung von Betriebsstörungen gestellt werden müssen, haben bereits in der Vorkriegszeit zu besonderen technischen Bedingungen der Vereinigung der Elektrizitätswerke geführt, die u. a. einige Prüfvorschriften, so z. B. zur Bestimmung der Teerzahl, enthielten, und auch zumeist von anderen Verbraucherkreisen als maßgebend angesehen werden. Die im Jahre 1911 aufgestellten Bedingungen mußten infolge der schwierigen Rohstoffverhältnisse im Kriege gemildert werden und wurden 1918 in entsprechend veränderter Form lediglich als „Richtlinien“ herausgegeben. Im August 1921 erschienen dann die „Vorläufigen technischen Bedingungen für die Lieferung von Transformatoren- und Schalterölen“, die in einigen Punkten von den Bedingungen des Jahres 1911 abwichen, da man lediglich auf die Einfuhr amerikanischer Öle angewiesen war, während in der Vorkriegszeit vor allem russische Öle mit anderen Eigenschaften zur Verfügung standen. Neu war bei den „Vorläufigen Bedingungen“ von 1921 die Vorschrift einer Durchschlagsfestigkeit des Öles von mindestens 40000 V zwischen zwei metallischen Kugeln von 12,5 mm \varnothing in einer Entfernung von 5 mm. In der im August 1922 erschienenen endgültigen Fassung der Bedingungen ist diese Vorschrift wieder gestrichen worden. Außerdem wurden mehrere andere Paragraphen geändert, und zwar im allgemeinen nach den Vorschlägen von Stern¹⁾, so daß sich folgender endgültiger Wortlaut ergab:

Technische Bedingungen für in Kesselwagen oder eisernen Fässern angelieferte Mineralöle für Transformatoren und Schalter.

1. Als Mineralöle sollen für Transformatoren und Schalter nur Raffinate verwendet werden. Die Anlieferung darf nicht in Holzfässern erfolgen.
2. Das spezifische Gewicht darf nicht weniger als 0,85 und nicht mehr als 0,95 bei 20° C betragen.
3. Der Flüssigkeitsgrad (Viskosität), bezogen auf Wasser von 20° C, soll bei einer Temperatur von 20° C nicht über 8° Engler sein.
4. Der Flammpunkt, nach Marcusson im offenen Tiegel bestimmt, soll nicht unter 145° C liegen.
5. Stockpunkt: Der Stockpunkt des Transformatorenöles soll minus 5°, derjenige des Schalteröles minus 15° C betragen; d. h. das Verhalten des Öles in der Kälte muß derart sein, daß es nach einstündigem Abkühlen auf minus 5° C bzw. minus 15° noch fließt. Um Verwechslungen der beiden Öle im Betriebe zu vermeiden, soll das Schalteröl mit einem chemisch indifferenten Färbemittel, das im Angebot zu benennen ist, rot gefärbt sein.
6. Das Öl soll bei 20° C vollkommen klar sein; es soll frei sein von Mineralsäure. Der Gehalt an organischer Säure darf höchstens 0,2, berechnet als Säurezahl, betragen. Der Gehalt an Asche darf 0,01 vH nicht übersteigen.

¹⁾ Stern: Transformatoren- und Schalteröle. Bemerkungen zu den vorläufigen technischen Bedingungen der Vereinigung der Elektrizitätswerke für die Lieferung von Transformatoren- und Schalterölen. E. T. Z. 1922, S. 140.

7. Das Öl soll praktisch frei von mechanischen Beimischungen sein.
8. Die Verteerungszahl des ungebrauchten Öles darf 0,3 vH nicht übersteigen.
9. Die Prüfung der Transformatoren- und Schalteröle hat nach den hierfür gegebenen Ausführungsbestimmungen zu erfolgen*).

*) Das Öl ist vor dem Einfüllen in die Transformatoren und Schalter zu trocknen.

Die für die Prüfung gegebenen Ausführungsbestimmungen werden weiter unten im Abschnitt über Prüfung der Öle und Lacke beschrieben werden.

Im einzelnen ist zu den endgültigen Bedingungen folgendes zu bemerken:

Wegen des Leck- und Brüchigwerdens von Holzfässern, wodurch Verluste und Verunreinigung des Öles durch Holzfasern entstehen, hat man als Lieferungsform eiserne Fässer und bei Großbezug Kesselwagen vorgeschrieben.

Früher gebrauchte man der besseren Isolierfähigkeit wegen für Transformatoren auch 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 der Einheitlichkeit wegen für Mineralöl entschieden.

Die Bezugstemperatur für das spezifische Gewicht wurde von der früher allgemein üblichen Temperatur von 15° C auf 20° C geändert.

Mit dem Flammpunkt ist man etwas heruntergegangen, in der richtigen Voraussetzung, daß der Flammpunkt des Öles als solcher keinen Einfluß auf die Eignung für Transformatoren hat, da bei Transformatorbränden auch ein noch so hoher Flammpunkt das Öl vor dem Verbrennen nicht schützt. Dagegen ist es möglich, eine Reihe Ölsorten, darunter auch solche aus deutschen Erdölvorkommen stammende, zu verwenden, die man sonst lediglich des Flammpunktes wegen hätte ausscheiden müssen.

Der Stockpunkt des Transformatorenöles wurde mit — 5° C als genügend angesehen, da während des Betriebes stets eine gewisse Erwärmung stattfindet. Für Schalteröl hat man aber den Stockpunkt auf — 15° C festgesetzt, um beispielsweise bei Schaltern von Freileitungen Störungen in der Schaltbewegung zu verhüten. Diesbezügliche ausführliche Versuche wurden u. a. im Laboratorium von Brown, Boveri & Cie. A.-G., Baden durchgeführt und veröffentlicht¹⁾.

Die Bedingung der vollkommenen Wasserfreiheit des Öles bei der Anlieferung hat man fallen lassen, da dies praktisch undurchführbar

¹⁾ Das Verhalten von Transformatoren- und Schalterölen bei tiefen Temperaturen und die Kälteprüfung der Öle. V. D. I.-Zeitschr. 1922, S. 809—810.

ist, dafür aber eine Trocknung des Öles vor dem Einfüllen in die Geräte vorgeschrieben.

Auch in anderen Ländern hat man sich auf bestimmte Normen für Transformatorenöl festgelegt. So hat z. B. in Frankreich die Union des Syndicats de l'Electricité Lieferungsbedingungen für Transformatorenöl herausgebracht¹⁾, die sehr ausführlich gehalten sind und genaue Prüfarten und Verfahren vorschreiben. Da dieselben auch noch Einzelheiten in bezug auf Bemusterung, Probeentnahme und Schiedsanalyse enthalten, so sollen sie hier im Wortlaut wiedergegeben werden:

Beschaffenheit des Öles. Man wird für Transformatoren nur vollkommen reine, durch fraktionierte Destillation von Erdöl gewonnene Mineralöle verwenden, die nicht mit anderen Stoffen gemischt werden und keine suspendierten Fremdkörper, wie Staub, Sand, Fasern u. a. m. enthalten dürfen.

Zur Beurteilung der Eignung eines Öles als Kühlmittel in Transformatoren ist die Kenntnis folgender Eigenschaften nötig:

1. Neigung zur Rückstandsbildung,
2. Flamm- und Brennpunkt,
3. Flüssigkeitsgrad bei verschiedenen Temperaturen,
4. Gewichtsverlust durch Verdampfen,
5. Spezifisches Gewicht,
6. Stockpunkt,
7. Gehalt an Säure, Alkali und Schwefel,
8. Feuchtigkeitsgehalt,
9. Isoliervermögen.

Angebot und Lieferung. Der Lieferant hat mit seinem Angebot eine Probe von 1 kg einzureichen. Die Prüfung dieses Musters durch den Käufer bezweckt lediglich eine Kontrolle der im Angebot gemachten Angaben über die wichtigsten Eigenschaften.

Die Übernahme der Lieferung nach erfolgter Bestellung wird von den Versuchsergebnissen mit einer dieser Lieferung entnommenen Probe abhängig gemacht.

Probeentnahme. Nachdem ein vom Vertreter des Käufers ausgewähltes Faß der Lieferung genügend durchgeschüttelt ist, wird eine Probe von 1 kg abgefüllt, unter Umständen in Gegenwart eines Vertreters des Lieferanten. Diese Probe dient zu den Versuchen im Laboratorium des Käufers oder in der von ihm bestimmten Prüfstelle. Auf Wunsch des Lieferanten kann zu gleicher Zeit eine zweite Probe entnommen werden, die von den beiden Vertretern versiegelt und so bezeichnet wird, daß jede Verwechslung ausgeschlossen ist.

Versuchsausführung. Wenn die Untersuchungen ergeben, daß die Lieferung nicht die nachstehend aufgeführten Bedingungen erfüllt, kann die Übernahme der Lieferung ohne Vorbehalt und gegebenenfalls Ersatz verlangt werden.

Im Falle von Unstimmigkeiten über die so ermittelten Versuchsergebnisse kann auf Verlangen des Lieferanten eine Schiedsanalyse vorgenommen werden. Hierfür sind zuständig: In Paris: das Gewerbemuseum (Conservatoire des Arts et Métiers) oder das Elektrotechnische Zentral-Laboratorium (Laboratoire Central de l'Electricité), in der Provinz: die elektrotechnischen Institute von Grenoble, Lille, Nancy, Toulouse.

¹⁾ Rev. gén. électr. Bd. 7, S. 727, 1920. Referat: E. T. Z. 1921, Heft 35.

Die Kosten dieser Gegenuntersuchung hat der Lieferant zu tragen.

Bei der Ermittlung der Eigenschaften sind die weiter unten gegebenen Anweisungen in bezug auf Prüfverfahren genau zu beachten, da nur bei deren genauen Innehaltung ein Vergleich der erhaltenen Werte miteinander möglich ist.

A. Öle erster Sorte.

1. a) Das Öl darf nach 5stündigem Erwärmen auf 150° C keine Rückstände bilden; nach 50stündigem Erwärmen auf 150° C soll der Rückstand weniger als 0,06 vH und nach 135stündiger Erwärmung auf die gleiche Temperatur weniger als 0,3 vH betragen.
- b) Der zur Kennzeichnung der Unveränderlichkeit des Öles benutzte „Entfärbungsgrad“ darf nach 5stündiger Erwärmung auf 150° rund 0,5 und nach 50stündiger Erwärmung auf dieselbe Temperatur rund 16 betragen.
2. Der Flammpunkt darf nicht unter 160°, der Brennpunkt nicht unter 180° liegen.
3. Der Flüssigkeitsgrad nach Engler*) soll bei 20° C nicht über 8 und bei 50° C nicht über 2,5 sein.
4. Der Verdampfungsverlust soll nach 5stündiger Erwärmung auf 100° nicht mehr als 0,2 v. H. betragen.
5. Das spezifische Gewicht soll zwischen 0,850 und 0,920 liegen.
6. Der Stockpunkt soll nicht höher als -1° sein. (Hierfür sind verschärfte Ansprüche in Aussicht genommen, wenn man statt der amerikanischen wieder russische oder galizische Öle zur Verfügung hat.)
7. Ein Säuregehalt des Öles von 0,02 vH (berechnet als Schwefelsäure) ist zugelassen; im übrigen soll das Öl frei von Alkalien und Schwefel sein.
8. Das Öl soll praktisch wasserfrei sein.
9. Die Durchschlagsfestigkeit zwischen zwei Kugeln von 12,5 mm Durchmesser im Abstand von 5 mm soll höher sein als 40000 V Wechselstrom.

*) Die Zugrundelegung von Englergraden soll durch solche nach Barbey oder einem anderen Forscher ersetzt werden, wenn die Versuche mit den entsprechenden Apparaten abgeschlossen sind.

B. Öle zweiter Sorte.

Diese sollen nur in Einzelfällen für wenig warm werdende Transformatoren, wie z. B. Meßtransformatoren, und nur nach vorhergegangener Verständigung mit den Konstrukteuren benutzt werden.

Die Bedingungen 2, 4, 5, 6, 7, 8 und 9 sind die gleichen wie die für Öle erster Sorte; in bezug auf die Punkte 1 und 3 sollen die Öle zweiter Sorte folgenden Anforderungen genügen:

1. Neigung zur Rückstandsbildung.

a) Das Gewicht des in Tetrachlorkohlenstoff löslichen Rückstandes soll nach 50stündiger Erwärmung auf 150° unter 0,09 vH und nach 135 stündiger Erwärmung auf gleiche Temperatur unter 0,45 betragen. Im übrigen darf auf dem Filter kein bemerkenswerter Rückstand verbleiben.

b) Der Entfärbungsgrad soll etwa 0,9 nach 5stündiger Erwärmung auf 150° C und etwa 20 nach 50stündiger Erwärmung auf gleiche Temperatur betragen.

Der Flüssigkeitsgrad nach Engler soll nicht unter 9 bei 20° und nicht unter 3 bei 50° liegen.

Die gleichfalls vorgeschriebenen Prüfverfahren sind weiter unten im Abschnitt über Prüfung der Öle und Lacke eingehender behandelt.

Die in den französischen Vorschriften zur Kennzeichnung der Öle herangezogenen Eigenschaften decken sich im großen und ganzen mit denen der deutschen, wenn auch die Zahlenwerte unterschiedlich sind. Abweichend ist die wichtige Frage der Rückstandsbildung behandelt. In Deutschland ist dafür der feste Begriff der „Verteerungszahl“ nach Kißling eingeführt, die, wie aus der im Kapitel über Prüfung der Öle und Lacke beschriebenen Einrichtung ersichtlich, unter der Wirklichkeit ziemlich nahekommenden Versuchsbedingungen ermittelt wird und nur die innerhalb einer gewissen Zeit sich ergebende Gesamtmenge verharzter Stoffe berücksichtigt. Das nach den französischen Bedingungen vorgeschriebene Prüfverfahren sieht dagegen eine dreifach abgestufte Ermittlung der Gewichtsmenge Rückstand und außerdem die Bestimmung des Entfärbungsgrades vor. Es besteht so die Möglichkeit, daß ein zu untersuchendes Öl z. B. die zulässigen Gewichtsmengen gebildeter Rückstände nicht überschreitet, aber einen höheren Entfärbungsgrad zeigt; entspricht das Öl auch sonst allen Bedingungen, so wird natürlich niemand die Übernahme des Öles verweigern. Daher ist dieser Prüfung nur ein beschränkter Wert zuzusprechen. Außerdem kann der Fall eintreten, daß der während der 50-stündigen Erwärmung auf 150° C gebildete Rückstand mehr als 0,06 vH beträgt, der nach 135 stündiger Erwärmung jedoch weniger als 0,3 vH, da die Zunahme der Rückstandsbildung nicht immer proportional der Zeit und der Temperatur verläuft. Daraus könnten sich Streitfragen zwischen Abnehmer und Lieferant ergeben.

Der Stockpunkt konnte in den französischen Bedingungen mit — 1° C festgesetzt werden, da die Vorschriften sich nur auf Transformatoröl, nicht aber auf Schalteröl erstrecken.

Außerdem ist in den französischen Bedingungen an der Vorschrift einer Durchschlagsfestigkeit festgehalten worden.

Nach dem Einfüllen des getrockneten Öles in den Transformator kann eine Wasseraufnahme aus der über dem Öl befindlichen, wegen der Wärmeausdehnung des Öles erforderlichen Luftschicht durch Einbringen kleiner, mit Chlorkalzium gefüllter Gefäße verhindert werden. Der Luftraum ist nur so groß als unumgänglich nötig zu halten, um auch der oxydierenden Wirkung des Luftsauerstoffes vorzubeugen.

In den Hochspannungsschaltern soll das Isoliervermögen des Öles vor allem Funken- oder gar Lichtbogenbildung verhüten. Die plötzlich eintretende Erwärmung der Schalterteile und damit des Öles erfordert eine möglichst geringe Verdampfbarkeit. An den Metallteilen des Schalters dürfen sich außerdem weder Säureeinwirkungen noch Niederschläge des Öles bemerkbar machen. Es ergeben sich also trotz

der abweichenden Art der Beanspruchung gleiche Eigenschaften für Transformatoren- wie für Schalteröle; deshalb sind die deutschen Lieferungsbedingungen auch für beide Ölsorten die gleichen bis auf den Stockpunkt, der, wie bereits erwähnt, für Schalteröle mit -15° festgesetzt ist.

Die während des Krieges unmöglich gewordene Beschaffung genügender Mengen reiner Mineralöle oder zur Verarbeitung geeigneter Rohöle machte auch Ersatz für Transformatorenöle nötig. Während die einheimischen Teeröldestillate für viele Schmierzwecke ausreichten, stand ihrer Verwendung als Transformatoren- und Schalteröl ihre chemische Struktur entgegen, insbesondere wegen der großen Neigung zur Ausscheidung harzartiger Bestandteile. Nach D. R. P. 299 691 will die Tetralin G. m. b. H. in Berlin durch ein Reinigungsverfahren, bei dem die Öle mit Metallen oder Alkalien in fein verteilter Form unter Wasserstoffdruck behandelt werden, Steinkohlen- und Braunkohlenteeröle als Transformatoren- und Schalteröle verwendbar machen. Die „Hydrierung“ der genannten Öle soll bewirken, daß einerseits Schwefelverbindungen und Säuren durch die Metalle, Metallverbindungen oder Alkalimetalle, andererseits die die Harzbildung verursachenden ungesättigten Verbindungen durch Kondensation und Polymerisation entfernt werden.

Nach der Reinigung sollen die Öle bis auf die Frage des Ursprungstoffes allen Bedingungen der Vereinigung der Elektrizitätswerke für Transformatoren- und Schalteröle entsprechen.

2. Schmieröle und Fette.

Für die Auswahl und Beurteilung von Ölen zur Schmierung von Lagern elektrischer Maschinen, Transmissionen, sowie der Zylinder der zum Antrieb von Dynamos in Eltwerken dienenden Wärmekraftmaschinen sind mit Hinsicht auf den Zweck des Öles ganz andere Gesichtspunkte als für Transformatoren- und Schalteröle maßgebend. Ist bei diesen letzten Endes das von verschiedenen Faktoren abhängige Isoliervermögen das ausschlaggebende, so tritt bei jenen die mannigfaltigen Einflüssen mechanischer, physikalischer und chemischer Art ausgesetzte Schmierfähigkeit zur Reibungsverminderung zwischen zwei aufeinander arbeitenden Teilen in den Vordergrund.

Die Schmierungsfrage ist schon immer Gegenstand eifriger Forschungsarbeit gewesen. Seit Drucklegung der ersten Auflage des vorliegenden Buches sind in dieser Hinsicht eine Reihe bedeutender Ergebnisse zu verzeichnen, auf die in Anbetracht der nur ergänzenden Besprechung der Schmiermittel in dieser Arbeit nicht näher eingegangen werden kann, die aber doch kurz gestreift werden sollen. Die

angezogenen Veröffentlichungen über diesen Gegenstand seien für ein vertieftes Studium empfohlen.

Von besonderer Bedeutung für die Betrachtung des Schmiervorganges ist der Begriff der Zähigkeit des Öles. Aus der Hydrostatik ist bekannt, daß beim Hindurchströmen einer Flüssigkeit durch ein Kapillarrohr die Geschwindigkeit der parallelen Flüssigkeitsschichten verschieden ist, und zwar ist sie an der Berührungsfläche der Flüssigkeit mit der Rohrwand gleich Null, während sie nach der Mitte zu ständig wächst. Das Bestreben der inneren Schichten, die benachbarten, langsameren Schichten zu beschleunigen, bildet die innere Reibung der Flüssigkeit, deren Größe abhängig ist von dem Reibungskoeffizienten η der Flüssigkeit, auch Zähigkeits- oder Viskositätskonstante genannt. Nach der Poisseuilleschen Formel

$$v = \frac{\pi r^4}{8 \eta \cdot l} \cdot p,$$

in der v die Flüssigkeitsmenge, p den Druck in der Versuchseinrichtung, r den Halbmesser und l die Länge des Kapillarrohres bedeuten, läßt sich für alle Flüssigkeiten die wirkliche absolute Zähigkeit in g/cm/s berechnen. Wegen der Empfindlichkeit des zu dieser Messung nötigen Gerätes und der auf niedere Temperaturen beschränkten Anwendung hat sich dieselbe für Öle nicht eingeführt. Da die Zähigkeit mit steigender Temperatur abnimmt und gerade die Kenntnis des Verhaltens der Schmieröle bei Erwärmung außerordentlich wichtig ist, sind für den praktischen Gebrauch bestimmte Zähigkeitsmesser (Viskosimeter) entstanden, mit denen man aber die absoluten Zähigkeiten nicht ermitteln kann, sondern nur empirische Vergleichswerte erhält, die vielfach zu falschen Vorstellungen Anlaß gegeben haben. Dies gilt auch für die mit dem am meisten verbreiteten Engler-Viskosimeter (Beschreibung s. S. 204) erhaltenen Zähigkeitsgrade. Da dieses Gerät und der Begriff des Flüssigkeitsgrades (Viskosität) nach Engler sowohl bei der Industrie als auch in den Abnahmebedingungen der Behörden und privaten Verbraucher noch als maßgebend anerkannt sind, so wurden dieselben auch für diese Arbeit zur Prüfung und Kennzeichnung der Öle beibehalten. Es soll hier gleich betont werden, daß sich die Englergrade als Gütezahl für die Schmierwirkung der Öle in der Praxis sehr gut bewährt haben. Trotzdem sind natürlich die Bestrebungen, diese empirischen Werte durch physikalisch feststehende Zähigkeitszahlen unter Einreihung in das C.G.S.-System zu ersetzen, sehr zu begrüßen und zu unterstützen¹⁾. So haben v. Dallwitz-

¹⁾ Holde: Über einige Erfahrungen in der Mineralölprüfung. Petroleum, Bd. XVIII, Nr. 20, S. 853. 1922.

Wegner und Duffing einen Zähigkeitsmesser konstruiert, der eine einfache Messung der absoluten Zähigkeit von Ölen auch bei höheren Wärmegraden gestattet und dessen Bau sowie Wirkungsweise in der Zeitschrift für technische Physik genau beschrieben sind¹⁾.

Wird zwischen zwei aufeinander arbeitende Teile (z. B. Welle und Lager) Öl gebracht, so verursacht die Drehung der Welle eine Bewegung der Ölschichten gegeneinander. Ist das Öl zähflüssig, so wird zur Überwindung der inneren Reibung des Öles mehr Kraft verbraucht werden, also ein größerer Verlust entstehen, als bei dünnflüssigem Öl. Demnach ist das dünnflüssigste Öl in dieser Beziehung am vorteilhaftesten. Nun ist aber weiter zu berücksichtigen, welcher Druck zwischen den zu schmierenden Teilen wirkt, welche Temperatur herrscht und wie groß die Umlaufgeschwindigkeit der Welle ist. Stärkerer Druck erfordert eine bessere Tragfähigkeit der Ölhaut, also ein zäheres Öl; ebenso bedingt eine höhere Temperatur ein viskoses Öl, da, wie oben erwähnt, die Zähigkeit mit zunehmender Erwärmung geringer wird. Je größer aber die Geschwindigkeit ist, desto kleiner soll die innere Reibung des Öles sein.

Die sich unter Berücksichtigung dieser Umstände teilweise zuwiderlaufenden Anforderungen an die Öle müssen zweckmäßig miteinander in Einklang gebracht werden, um eine richtige und vorteilhafte Schmierung zu erzielen.

Während sich die Ermittlung der Schmierfähigkeit bisher lediglich auf die durch kohäsive Eigenschaften bestimmte Zähigkeit des Öles stützte, bringt v. Dallwitz-Wegner die Schmiereignung mit der Schmierergiebigkeit in Zusammenhang, die er auf Grund von Adhäsionseigenschaften, wie der Oberflächenspannung, der Kapillarität und des Randwinkels zwischen Öl und geschmierter Fläche, zahlenmäßig bestimmen will²⁾. Die zur Messung dieser physikalischen Konstanten entwickelten Geräte sind ausführlich in verschiedenen Abhandlungen besprochen²⁾.

1) v. Dallwitz-Wegner, R.: Die synthetische Berechnung geschmierter Lager aus der inneren Reibung des Schmieröles und der kapillaren Eigenschaften von Schmieröl und Lagermetall zur Beurteilung des Schmieröls. Z. f. techn. Physik 1922, H. 1, S. 21.

2) v. Dallwitz-Wegner: Über neue Wege zur Untersuchung von Schmiermitteln. Verlag R. Oldenburg, München, 1919. — Ders.: Das Wesen der Kapillarität, ihre Beziehungen zur Schmierergiebigkeit der Schmieröle und zur Schmierfähigkeit des Metalls. Petroleum 1920, H. 8 und 9. — Ders.: Zur Schmierölprüfung auf Grund der kapillaren Eigenschaften der Schmiermittel. Petroleum 1921, S. 849 bis 885. — Ders.: Die Messung der Oberflächenspannung von Ölen. Zeitschr. f. angew. Chemie, 1921, Nr. 66 S. 433. — Ders.: Zeitschr. f. techn. Physik. s. Fußnote 1).

Diese Anschauungen haben teilweise lebhaften Widerspruch durch G ü m b e l¹⁾ gefunden, der die Schmierungsfrage zum Gegenstand seiner Forschung gemacht hat und, wie hier gleich noch erwähnt sei, ebenfalls ein neues Viskosimeter vorschlug, das eine Abänderung des Engler-Gerätes zur Ermittlung der absoluten Zähigkeit darstellt¹⁾.

Im nachfolgenden sollen die Schmiermittel für die den Elektrotechniker interessierenden Maschinen in bezug auf ihre Eigenschaften besprochen werden.

Für Dynamoöle wird man im allgemeinen folgende Eigenschaften verlangen:

Spezifisches Gewicht bei 15° C	0,850 ÷ 0,900
Flüssigkeitsgrad nach Engler bei 50° C	3 ÷ 4,5
Flammpunkt	160 ÷ 180° C
Brennpunkt	190 ÷ 220°

Außerdem muß das Öl frei von mechanischen Verunreinigungen, Wasser und Säure sein.

Zur Schmierung besonders schwerer Elektromotoren und Dynamomaschinen ist ein etwas dickflüssigeres Öl mit einem Flüssigkeitsgrad von etwa 5 bis 6 bei 50° C zu wählen.

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 Pensky-Gerät nicht unter 175° liegen. Die Viskosität soll — auf Wasser von 20° bezogen — in dem amtlich geeichten Englerschen Gerät bei +20° C = 30 bis 40, bei +50° C = 5 bis 7 sein.

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

Zu diesen Bedingungen ist zu bemerken, daß die Verwendung des gleichen Öles sowohl für Dynamo- als auch für Gaskraftmaschinen wahrscheinlich der vereinfachten Lagerhaltung und zur Vermeidung von Verwechslungen vorgesehen ist; sie bedingt eine größere Zähflüssigkeit für die Zylinderschmierung der letztgenannten Maschinen.

¹⁾ G ü m b e l: Der heutige Stand d. Schmierungsfrage. Forschungsarbeiten des V. D. I. 1920, H. 224.

Auf die Auswahl von Ölen für Motoren, die im Betriebe der Witterung ausgesetzt sind, wie z. B. die Motoren von Triebwagen, elektrischen Lokomotiven, Straßenbahnen und zum Antrieb landwirtschaftlicher Maschinen ist besonderes 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. In größeren Betrieben ist die Verwendung besonderer „Sommer- und Winteröle“ durchaus empfehlenswert, da große Ersparnisse insofern gemacht werden können, als der Preis sonst gleichwertiger Öle mit der Zähflüssigkeit steigt.

Auch die Berliner Straßenbahn verlangt für Schmiermittel den verschiedenen Zwecken entsprechende Eigenschaften. Die als „Vorläufige Normen für Öle und ¹Fette“ bezeichneten Vorschriften lauten:

Bezüglich der Öle wird bedingt, daß nur reine Mineralöle, welche gut gereinigt und entschleimt sein müssen, und welche weder sauer noch alkalisch 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 Übersicht gibt ferner die verlangten besonderen Eigenschaften der Öle usw. an:

Benennung:	Verwendungszweck:	Flüssigkeitsgrad bei		Spezifisches Gewicht:	Flammpunkt $^{\circ}\text{C}$	Schmelzpunkt $^{\circ}\text{C}$
		50°C	100°C			
Motorenöl	Ölen der Motore	7 ÷ 8	—	0,930	200 ÷ 250	Kältep. —15
Dynamoöl	Schmierender Dynamo	2,5 ÷ 4,5	—	0,875 ÷ 0,940	200	—
Kompressorenöl	Für Luftkompressor	—	4 ÷ 5	0,900 ÷ 0,950	265 ÷ 200	—
Heißdampf-Zylinderöl	Ölen der Dampfmasch.	—	5 ÷ 7	0,930	310 ÷ 330	—
Wagenöl	Ölen der Bremsen u. a.	6,5 ÷ 8	—	0,900 ÷ 0,930	150	—
Achslagerfett	Schmierender Radachsen	—	—	—	—	85 ÷ 90
Zahnradfett	Schmierender Zahnradgetriebe	—	—	—	—	—

Sowohl unter Berücksichtigung der weiter oben dargelegten Erwägungen und durch entsprechende Prüfung der Öle als auch auf Grund praktischer Erfahrungen ist die richtige Wahl eines den Betriebsverhältnissen angepaßten Öles für jegliche Lagerschmierung verhältnismäßig leicht.

Nicht so einfach liegen die Verhältnisse bei der Zylinderschmierung von Wärmekraftmaschinen, da in diesen die Öle hohen Temperaturen und chemischen Einwirkungen ausgesetzt sind. Besonders schwierig wird die Frage bei Verbrennungskraftmaschinen mit unmittelbarer Verbrennung des Betriebsstoffes im Arbeitszylinder der Maschine.

Der Schmiervorgang beruht bei den Dampfmaschinen (mit Ausnahme von Turbinen, deren Schmierung weiter unten gesondert behandelt wird) auf der Bildung einer Ölhaut, und zwar infolge der Einwirkung des einströmenden Dampfes auf das Öl, wodurch dieses auf die Zylinderwandungen fein verteilt wird und mit dem Dampf ein schmierfähiges Gemisch bildet; der Dampf unterstützt also die Schmierung. Hat das Öl aber einen zu niedrigen Flammpunkt, so wird es bei der Temperatur des gesättigten oder überhitzten Dampfes vergasen und in Dampfform mit dem Wasserdampf in den Auspuff gehen oder, was noch schlimmer ist, sich zersetzen. Auf alle Fälle ist die Schmierwirkung aufgehoben, bei der Zersetzung bildet das Öl außerdem Rückstände und greift durch die dabei freiwerdende Ölsäure die Maschine an. Daher spielt der Flammpunkt für Dampfzylinderöle eine große Rolle; je nach Art der Maschine muß er 250—330° C betragen. Der Flüssigkeitsgrad ist auch sehr wichtig, damit das Öl an den Zylinderwandungen, an denen durch die Kondensation des Wasserdampfes infolge Wärmeausstrahlung des Zylinders ungefähr eine Temperatur von 100° herrscht, noch haften bleibt.

Eine große Sorge aller Betriebsingenieure ist die Rückstandsbildung in den Zylindern der Dampfmaschinen. Ganz zu vermeiden ist dieser Übelstand auch bei ausschließlicher Verwendung teuerster, gefilterter, heller Öle pennsylvanischer Herkunft nicht, da sich mit der Zeit ein langsamer Zersetzungsprozeß kleinster Teile vollzieht, der eine gewisse Rückstandsbildung verursacht. Sehr ungünstig wirkt in dieser Beziehung ein hoher Gehalt an asphaltartigen Stoffen, auf die man bei der Untersuchung von Zylinderölen besonderes Augenmerk richten muß. Nicht immer ist aber das Öl als die Ursache einer Rückstandsbildung anzusehen, wie Schlüter¹⁾ nachgewiesen hat. Durchschnittswerte guter Zylinderöle sind:

¹⁾ Schlüter: Über Bildung von Ölrückständen in Zylindern und Lagern von Dampf- und Kraftmaschinen. Chem.-Ztg. 1913, Nr. 22.

	Sattdampf	Heißdampf
Spezifisches Gewicht bei 15° C . . .	0,890 ÷ 0,915	0,890 ÷ 0,915
Flüssigkeitsgrad n. Engler bei 100° C	2,5 ÷ 4	4,5 ÷ 6,5
Flammpunkt	250 ÷ 290° C	300 ÷ 330° C
Brennpunkt	290 ÷ 330° C	340 ÷ 380° C
Gehalt an Asphalt	höchstens 1,5 vH.	

Der Vollständigkeit halber soll die neuerdings aufgetauchte „Emulsionsschmierung“ (D. R. P. 322 587) hier ebenfalls kurz gestreift werden. Unter Emulsion versteht man eine durch innige Berührung von Ölen mit Alkalien unter Schaumbildung entstehende Mischung, wie sie z. B. in der Seifenfabrikation mit fetten Ölen und Ätznatron oder Ätzkali angewendet wird. Das patentierte Verfahren sieht nun eine Emulsionsbildung von Mineralöl mit Kalkwasser (Lösung: etwa 1,2 g Kalk auf 1 l destilliertes Wasser) vor, und zwar im Verhältnis von ungefähr 55 vH Mineralöl zu 45 vH Kalkwasser. Die Herstellung der Emulsion geschieht in einem Rührwerk unter Beobachtung einiger besonderer Erfahrungen. Während fette Öle beim Emulgieren vollständig verseifen, bilden Mineralöle mit dem Kalkwasser nur eine „suspendierte“ Emulsion, d. i. ein loses Gemenge, das sich mit der Zeit teilweise wieder entmischt.

Über Versuche mit Emulsionsschmierung berichtet Hilliger in der Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure¹⁾ und kommt zu dem Schluß, daß die Schmierfähigkeit der Emulsion eine bessere ist als die des Öles, aus dem die Emulsion hergestellt wurde, ferner, daß die Emulsion gegen überhitzten Dampf widerstandsfähiger ist und Emulsionen aus geeigneten Sattdampfzylinderölen bis zu Dampftemperaturen über 400° C betriebssicher verwendet werden können. Es ist einleuchtend, daß durch dieses Schmierverfahren enorme Ersparnisse im Verbrauch der teuren, nur vom Ausland zu beziehenden Zylinderöle gemacht werden können, was vom volkswirtschaftlichen Standpunkt aus sehr zu begrüßen wäre.

Theoretisch erklärt man die günstige Wirkung der Ölemulsion durch die feinere und gleichmäßigere Verteilung im Zylinder durch den Dampfstrahl. Bei der Verdampfung des in der Emulsion enthaltenen Wassers wird Wärme verbraucht und so eine Kühlung der Ölteilchen erreicht, wodurch das Öl auch in den hohen Temperaturen einen größeren Schmierwert behält und sich nicht zersetzt, also auch keine Rückstände bildet. Der mit der Verdampfung des Wassers verbundene Wärmeverlust ist in bezug auf die Menge des einströmenden Dampfes so gering, daß praktisch eine Temperaturniedrigung im Zylinder und damit ein

¹⁾ Hilliger: Die Schmierung von Dampfmaschinenzylindern mit Ölemulsion. Z. V. d. I. 1921, S. 248.

Expansionsverlust und schlechterer thermischer Wirkungsgrad nicht auftreten. Dabei ist zu berücksichtigen, daß auch bei der bisher üblichen reinen Ölschmierung eine Wärmeaufnahme durch das Öl stattfindet. Ungeklärt ist nur die Frage nach dem Verbleib und der Einwirkung des Kalkes, der sowohl im Zylinder als auch unter Umständen bei der Kondensation des Abdampfes als unliebsamer Fremdkörper auftreten kann. Die erwähnten Versuche von Hilliger geben hierüber keinen Aufschluß, insbesondere nicht über ein mögliches Auftreten des Kalkes im Kondensat, da die Versuche an einer Auspufflokomobile durchgeführt wurden.

Ein endgültiges Urteil über dieses Schmierverfahren anzugeben, ohne die Erfahrungen objektiver und einwandfreier Dauerbetriebsversuche zu kennen, wäre verfrüht.

Zur Unterstützung der Schmierwirkung und zum Zwecke der Ersparnis an Öl wird diesem manchmal Graphit zugesetzt. Da durch das hohe spezifische Gewicht des Graphits von etwa 2,1 dieser sich in dem Öl absetzen würde, während er zur Erzielung voller Wirksamkeit in dem Öl gerade sehr fein und gleichmäßig verteilt sein soll, setzt man ihn zweckmäßig in kolloidalem Zustande dem Öl zu. Solche kolloidalen Graphitlösungen werden gebrauchsfertig in den Handel gebracht. Für elektrische Maschinen ist Graphit wegen seiner Leitfähigkeit nicht zu empfehlen.

Den Ölen für Dampfturbinen ist besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Die eigenartige Beanspruchung dieser Öle im Betriebe durch die hohe Umlaufzahl der Turbinen und die Vermengung des Öles mit dem Wasser durch heftige Schleuderwirkung erfordert ganz bestimmte physikalische und chemische Eigenschaften. Eine Hauptrolle spielt dabei die Emulgierbarkeit, d. i. die mehr oder minder große Neigung des Öles, mit dem Wasser eine schaumige Vermengung einzugehen, wodurch es seine Schmierfähigkeit verliert. Diesen Fehler vermeidet man durch Wahl eines Öles mit möglichst niedrigem spezifischen Gewicht, das aus besten Rohstoffen hergestellt und hoch raffiniert sein muß; die Zähflüssigkeit darf nach dem oben Gesagten nicht zu groß sein.

Die Elektrizitätswerke haben in Erkenntnis der Wichtigkeit der Dampfturbinenschmierung sich entschlossen, auch hierfür besondere Liefervorschriften herauszugeben, die in den „Mitteilungen der Vereinigung der Elektrizitätswerke“¹⁾ erschienen und nachstehend wiedergegeben sind:

Technische Bedingungen für die Lieferung von Dampfturbinenöl.

(Aufgestellt von der Vereinigung der Elektrizitätswerke.)

1. Als Dampfturbinenöle dürfen nur reine, raffinierte Mineralöle verwendet werden, die in eisernen Fässern oder Kesselwagen oder gereinigten, dichten Holzfässern anzuliefern sind. Fette oder fette Öle dürfen den Turbinenölen nicht zu-

¹⁾ Dampfturbinenschmierung. Mitt. der Vereinig. El.-Werke 1920, Nr. 303.

gemischt werden. Das Öl muß ferner frei sein von mechanischen Beimengungen jeder Art.

2. Das spezifische Gewicht darf nicht über 0,93 bei 20° C betragen.
3. Der Flüssigkeitsgrad nach Engler, bezogen auf Wasser von 20° C, soll bei einer Öltemperatur von 50° C 2,5 bis 4,0 betragen.
4. Der Flammpunkt, im offenen Tiegel nach Marcusson bestimmt, soll nicht unter 180° C liegen.
5. Der Stockpunkt soll nicht über +5° C liegen. (Für der Kälte ausgesetzte Leitungen sind im Winter je nach der im Maschinenhaus etwa auftretenden Kälte (längere Betriebsunterbrechungen) Öle mit tieferem Stockpunkt (0° C bis -5° C zu empfehlen.)
6. Das Öl soll bei +20° C vollkommen klar sein. Es soll frei sein von Mineralsäure. Der Gehalt an organischer Säure darf höchstens 0,2, berechnet als Säurezahl, betragen. Der Gehalt an Asche darf 0,01 vH nicht übersteigen.
7. Das Öl muß frei von Asphalt und asphaltartigen Stoffen und daher in Normalbenzin im Verhältnis 1 : 40 klar löslich sein. Die Lösung darf nach 24 Std. keine Abscheidungen zeigen.
8. Die Verteerungszahl des Öles (50h 120°) darf 0,3 vH nicht überschreiten. (Die Bestimmung der Verteerungszahl hat nach Methode C der nachstehenden Ausführungsbestimmungen zu erfolgen).
9. Das Öl darf nicht emulgierbar sein.
10. Hinsichtlich der Untersuchungsmethode wird auf die nachstehenden Ausführungsbestimmungen verwiesen.

Anm. Die Ausführungsbestimmungen sind im späteren Absatz „Prüfung der Öle und Lacke“ behandelt.

Wie bereits erwähnt, bietet die Schmierung von Verbrennungsmotoren besondere Schwierigkeiten. Da solche als Dieselmotoren in neuerer Zeit ausgedehnte Verwendung für Erregeraggregate gefunden haben, soll ihre Schmierung auch etwas eingehender behandelt werden. Vorausgeschickt sei, daß es grundfalsch wäre, Dampfmaschinenzylinderöle in Verbrennungsmotoren zu verwenden. Während die schweren Zylinderöle so beschaffen sind, daß sie auch bei den höchsten Temperaturen im Dampfmaschinenzylinder nicht vergasen, gibt es kein Öl, das der im Arbeitszylinder der Verbrennungsmotoren bei der Verpuffung auftretenden Temperatur von mehr als 1000° C widersteht. Der über dem Kolben befindliche Teil des Öles verbrennt, und diese Verbrennung soll eine vollständige sein, da eine unvollständige Verbrennung, wie sie bei Verwendung schwerer Öle mit hohem Flammpunkt eintritt, überschüssige Kohlenstoffablagerung und Rückstandsbildung zur Folge hat, wodurch Verschmutzungen und Betriebsstörungen hervorgerufen werden. Andererseits kommen leichte Öle auch nicht in Frage, da sie vorzeitig Ölgas bilden und keine genügende Haftfähigkeit zwischen Zylinderwand und Kolben gewährleisten. Dementsprechend haben sich halb-schwere Öle für Dieselmotorenbetrieb mit den nachstehenden Güte-ziffern in der Praxis bewährt:

Spezifisches Gewicht bei 15° C	0,885 ÷ 0,940
Flammpunkt	190 ÷ 220° C
Brennpunkt	220 ÷ 260° C
Flüssigkeitsgrad nach Engler bei 50° C	5,5 ÷ 7,5

Vorbedingung ist, daß das Öl reines, raffiniertes, säure-, wasser- und harzfreies Mineralöl mit möglichst geringem Aschengehalt ist.

Dieselben Öle sind auch für ortsfeste Gasmotoren verwendbar, jedoch nicht, was ergänzend bemerkt sei, für Kraftwagenmotoren, die ein bedeutend zähflüssigeres Öl verlangen.

Konsistente Fette finden als reine Isolierstoffe in der Elektrotechnik keine Verwendung, dagegen vielfach als Schmiermittel. Gewisse isolierende Eigenschaften werden bei ihrem Gebrauch zum Schmieren der Kollektoren an elektrischen Maschinen verlangt, wo sie den Zweck haben, eine Funkenbildung zu verhüten.

Die konsistenten Fette sind zumeist Mischungen von Mineralöl und fetten Ölen (pflanzlichen oder tierischen Ursprungs) mit Kalkseife und Wasser. Erforderliche Eigenschaften sind helle Farbe, Fehlen von mechanischen Verunreinigungen, Beschwerungsmitteln, Säure und freiem Alkali, nicht zu hoher Wasser- und Kalkseifengehalt, möglichst hoher Tropfpunkt, der aber nur bis etwa 85° C ohne hohen Kalkseifengehalt oder Beschwerungsmittel zu erreichen ist.

Eine Sonderheit bilden die sog. Heißlagerfette, die einen Tropfpunkt bis 150° C haben. Wichtig ist auch die Höhe des „Fließbeginns“ vor dem Tropfpunkt, worüber näheres bei der „Prüfung der Öle und Fette“ ausgeführt ist.

3. Isolierlacke und Vergußmassen.

Isolierlacke und Vergußmassen werden in der elektrotechnischen Industrie vielseitig angewandt. Teils dienen sie als unmittelbare isolierende Hülle, wie z. B. bei Emaillackdrähten, Klemmstellen, Kabelverbindern, Ankern, teils als Überzug besonders zu schützender Teile, wie der Spulen von Motoren, Dynamos, Transformatoren, sowie als Schutzanstrich für Transformatorenbleche und im Freien befindliche Leitungsteile und Armaturen von elektrischen Bahnanlagen.

Die Lacke können magere Lacke, auch flüchtige genannt, oder fette Lacke, auch Öllacke genannt, sein. Zu den ersten gehören die Lösungen von natürlichen und künstlichen Harzen, wie Kopal, Schellack, Bernstein, Kumaron, Kolophonium, Phenole in ätherischen Stoffen, wie Alkohol, Azeton, Azetonöl, Amylacetat, Methylalkohol, Benzin, Benzol, Xylol, Solventnaphtha, Tetrachlorkohlenstoff und Terpentinöl, während die fetten Lacke Zusätze von pflanzlichen fetten Ölen (Leinöl), Harzöl oder Firnissen haben.

Neben dem Isoliervermögen wird man an die Lacke je nach ihrem Verwendungszweck noch besondere Anforderungen, so z. B. bezüglich der Art oder der Dauer des Trocknens, des Härtegrades und der Biegsamkeit der getrockneten Schicht, Wasser-, Öl-, Wärme- und Säurebeständigkeit stellen. Unter allen Umständen ist Voraussetzung, daß die Lösungsmittel keine angreifende Wirkung, weder auf Metalle noch auf die Isolation ausüben. Für bestimmte Fälle sind auch Lacke mit wasserhaltigen Lösungsmitteln, wie z. B. denaturiertem Spiritus, nicht zu empfehlen, da das nach dem Verflüchtigen des Alkohols zurückbleibende Wasser von saugfähigen Stoffen aufgenommen wird und auf darunter liegende leitende Metallteile korrodierend wirkt. Ferner ist bei Imprägnierung von Geweben, Papier und anderen tränkfähigen Stoffen die Menge des nach der Verflüchtigung des Lösungsmittels oder vollständiger Trocknung verbleibenden Harzes, die sog. Trockensubstanzaufnahme von Wichtigkeit, die den Wert des betreffenden Lackes insofern wesentlich beeinflußt, als davon der Verbrauch abhängt.

Zu den mageren Lacken gehören auch die Cellonlacke, die als Besonderheit anzusehen sind, da sie kein Harz, sondern „Azetylhydrozellulose“, die nach einem besonderen Verfahren aus Baumwolle hergestellt wird, als Grundstoff enthalten. Cellonlacke werden in verschiedenen Härtelagen, und zwar von geringster Festigkeit bei größter Biegsamkeit bis zu besonders hoher Festigkeit und Härte, und sowohl dünn- als auch dickflüssig geliefert. Ihre Anwendungsmöglichkeit in der Elektrotechnik ist eine sehr große, sie haben sich für viele Zwecke ausgezeichnet bewährt^{1) 2)}.

Allgemein gültige Werte in bezug auf Trocknungsdauer, Art der Trocknung und dazu erforderliche Temperatur, Lösungsmittel, Härte, Erweichungsgrad liegen nicht fest, da die Natur der zahlreichen Grundstoffe und Lösungsmittel zu verschieden ist. Ebenso fehlen ausreichende Angaben über elektrische Werte.

Als Vergußmassen dienen teilweise die gleichen Grundstoffe wie für Isolierlacke, nur werden sie nicht gelöst, sondern durch Erwärmen vergießbar gemacht und erhärten nach dem Erkalten. Für Schwachstromteile genügen auch Steinkohlenteererzeugnisse, Pech, Asphalt und verwandte Stoffe. Dagegen kommen für elektrisch höher beanspruchte Vergußmassen in erster Linie Paraffin, Wachs, Talg, Zeresin und deren Mischungen in Frage, die aber keine mechanische und Wärmebeanspruchung vertragen.

¹⁾ Raskop: Die Verwendung der Cellonlacke in den Instandsetzungswerkstätten für elektrische Maschinen. Die elektr. Maschine vom 28. 2. 21.

²⁾ Wiegand: Über die Verwendung von cellonierten Drähten. Vortrag auf der II. Elektrotechn.-Woche Essen 1921.

Bestimmte Bedingungen für alle Vergußmassen lassen sich nicht aufstellen. Bei solchen aus Fetten, wie den zuletzt erwähnten, ist vor allem auf chemische Reinheit und vollständige Wasserfreiheit Gewicht zu legen. Wegen der durch den elektrischen Strom bewirkten Erwärmung ist die Kenntnis des Schmelz- oder Erweichungspunktes von Wichtigkeit. Im übrigen sind für bestimmte Verwendungszwecke den besonderen Anforderungen mechanischer, physikalischer und chemischer Art entsprechende Eigenschaften vorzuschreiben.

Es besteht in der elektrotechnischen Industrie das Bestreben, auch für Isolierlacke und Vergußmassen Normen in bezug auf Beschaffenheit und Prüffarten zu schaffen, und es ist zu hoffen, daß dieses Bestreben bald verwirklicht wird, um Klarheit zu schaffen, die sowohl den Verbrauchern als auch dem Hersteller von Nutzen sein wird.

Kastalsky¹⁾ hat sich eingehender mit Vergußmassen für Kabelmuffen und Endverschlüsse an Starkstromkabeln befaßt und fordert einen Erweichungspunkt von mehr als 50° C. Als sehr wesentlich betrachtet er in seinen Ausführungen, daß bei schneller Abkühlung keine Risse entstehen und die Masse die Eigenschaft besitzt, Risse, die durch Erschütterungen der Kabelleiter entstanden sind, allmählich wieder durch Zusammenlaufen verschwinden zu lassen. Obwohl solche Massen, wenn nicht für sehr gutes Abdichten der Armaturen gesorgt wird, leicht tropfen, sind sie harten und spröden Massen vorzuziehen. Außerdem soll die Masse bei einer Vergießtemperatur von etwa 130° C dünnflüssig, blasenfrei vergießbar sein, kein großes Schwindmaß und keine Neigung zur Bildung von Trichtern und Hohlräumen bei schneller Abkühlung haben.

III. Prüfung der Öle und Lacke.

1. Öle und Fette.

a) Probeentnahme.

Eine richtige Probeentnahme ist von großer Wichtigkeit, um bei der Untersuchung die meistens spezifisch schwereren mechanischen Verunreinigungen oder höheren Wassergehalt zu ermitteln.

Die Vereinigung der Elektrizitätswerke hat deswegen auch in den von ihr neuerdings vorgeschriebenen Untersuchungsverfahren zu den Lieferungsbedingungen für Transformatoren- und Schalteröle auch die Probeentnahme mit folgendem Wortlaut aufgenommen:

Zur Entnahme von Proben aus den zur Ablieferung bzw. zur Abnahme bereitstehenden Tankwagen oder Fässern wird wie folgt verfahren:

¹⁾ Kastalsky: Über Kabelmuffenausgußmassen. Mitt. Vereinig. El.-Werke April 1922, Nr. 310, XXI, S. 190.

a) Für Tankwagen:

Ein Glasrohr von $1\frac{1}{2}$ —2 m Länge (ca. 15 mm l. W.), welches auf der einen Seite rund abgeschmolzen ist, so daß man es gut mit dem Daumen verschließen kann und auf der anderen Seite ein wenig stumpf ausgezogen ist, wird im geöffneten Zustande langsam durch den Dom des Wagens bis zum Boden des Tankwagens eingeschoben, so daß beim Durchschieben aus allen Teilen des Wageninhaltes Teile in das Rohr eintreten. Wenn das Rohr den Boden berührt, wird es mit dem Daumen verschlossen und aus dem Wagen herausgehoben. Der Inhalt des Rohres und das eventuell außen anhaftende Öl wird in ein Gefäß gebracht. In gleicher Weise wird die Probeentnahme so oft wiederholt, bis mindestens eine Probemenge von 2 Litern vorhanden ist. Es wird nochmals gut umgerührt und die so entnommene Probe in zwei Teile geteilt, von denen die eine für eine Kontrollprüfung für den Fall der bei der Werkuntersuchung gefundenen Abweichung zurückgestellt wird. Wird die Probe als einwandfrei erachtet, so kann eine Gegenprobe höchstens für die Sammlung von Vergleichsmaterialien resp. Beanstandungen genau bezeichnet und einwandfrei verschlossen zurückgehalten werden. Eine Verpflichtung hierzu besteht aber bei erfolgter Abnahme nicht.

b) Für Fässer:

Ein Glasrohr gleicher Ausführung wie zu a) beschrieben, aber entsprechend kürzer, wird durch das geöffnete Spundloch eines jeden fünften Fasses eingeführt. Aus jedem dieser Fässer wird eine Probe entnommen, oder doch jedenfalls so viel, daß aus der gesamten Sendung wieder eine Probemenge von rund 2 Litern gebildet werden kann. Auch hier wird wieder gut durchgemischt und im übrigen wie oben verfahren.

b) 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 annehmen. Ferner kann man das Öl nach seiner Konsistenz als dünnflüssig, zähflüssig oder dickflüssig ansprechen und nach dieser Feststellung unter Umständen sogleich von seiner Verwendung Abstand nehmen. Zum Beispiel wäre dies der Fall, wenn ein als Transformatorenöl angebotenes Erzeugnis zäh oder dickflüssig wäre, da für diesen Zweck, wie wir bereits weiter oben gesagt haben, nur dünnflüssige Öle wegen der besseren Isolierfähigkeit zulässig sind. Ebenso wird man ein durch hohen Wassergehalt trübe erscheinendes Öl auf alle Fälle ohne weitere Untersuchung zurückweisen.

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

Mechanische Verunreinigungen. 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. Der Gewichtsunterschied ergibt den Gehalt an Verunreinigungen, bezogen auf das Gewicht der Fettprobe.

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 ein mit dem zu prüfenden Öl gefülltes Gefäß, in das es je nach dem Gewicht des Öles mehr oder weniger tief eintaucht, und liest das spezifische Gewicht an der Röhre in Höhe des Flüssigkeitsspiegels unmittelbar ab. Die Genauigkeit dieser Bestimmung genügt für die Praxis zumeist vollkommen, doch verwende man nur ein mit einem Thermometer ausgerüstetes Aräometer, da die Temperatur von Einfluß auf das Gewicht ist. Die Angaben sollen sich stets auf eine Temperatur von 15° C beziehen; in den Vorschriften für Transformatoren- und Schalteröle der Vereinigung der Elektrizitätswerke ist jedoch in den neuesten Bedingungen eine Bezugstemperatur von 20° C angenommen. Zur Umrechnung der für andere Wärmegrade gefundenen Werte gilt die Formel

$$d_{15} = d_t \cdot [1 + \alpha (t - 15)],$$

wenn d_{15} das für 15° C zu ermittelnde spez. Gew.,
 d_t das für eine beliebige Temperatur ermittelte spez. Gew. und
 α der Ausdehnungskoeffizient des Öles ist,

der bei den für unsere Betrachtungen in Frage kommenden leichten und halbschweren Ölen zwischen 0,0006 und 0,0008 schwankt. Benutzt man den Mittelwert von 0,0007, so erhält man genügend genaue Korrekturen.

Der Vollständigkeit halber seien hier auch die zu genaueren Bestimmungen des spez. Gew. dienenden Pyknometer und hydrostatischen Wagen (Abb. 100 und 101) erwähnt.

Hat man keines der aufgeführten Geräte zur Hand, so kann man sich auf folgende Weise helfen. Ein Gefäß wird genau gewogen, mit einer bestimmten Raummenge des Öles gefüllt und damit gewogen;

dann wird dasselbe Gefäß mit der gleichen Raummengde Wasser gewogen. Bezeichnet

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

so ist das spez. Gew. des Öles

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

Die hier besprochenen Bestimmungen und Werte gelten alle für Raumtemperaturen. Bestimmungen des spez. Gew. bei höheren Tem-

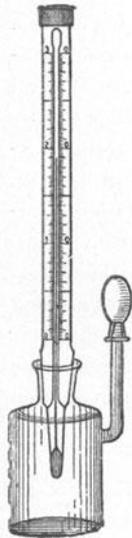


Abb. 100.
Pyknometer.

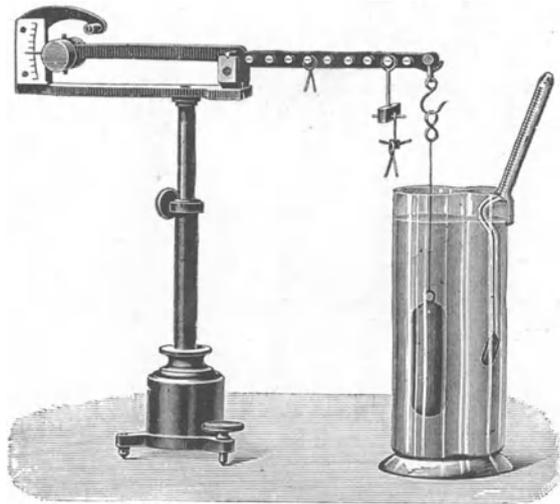


Abb. 101. Hydrostatische Waage.

peraturen oder bei Kältegraden haben nur wissenschaftlichen Wert, weswegen von einer Beschreibung hier Abstand genommen ist.

Bestimmung des Ausdehnungskoeffizienten. Auf diese Bestimmung wird man im allgemeinen verzichten können, da man, wie oben erwähnt, den Ausdehnungskoeffizienten für die meisten Mineralöle im Durchschnitt zu 0,0007 annehmen kann. Besteht die Notwendigkeit trotzdem, den Ausdehnungskoeffizienten zur genauen Berechnung von Expansionsräumen bei der Füllung von Transformatoren, Schaltapparaten oder Hochspannungsdurchführungen zu bestimmen, was in den seltensten Fällen vorkommen wird, so nimmt man das bei verschiedenen Temperaturen bestimmte spezifische Gewicht zu Hilfe. Ist

das spezifische Gewicht bei einer Temperatur von $t^0 = a$, bei $t_1^0 = b$, so ist

$$\alpha = \frac{a - b}{b(t_1 - t)}$$

Zur unmittelbaren Bestimmung von α dienen Dilatometer, über deren Anwendung näheres im Holde¹⁾ zu finden ist.

Flüssigkeitsgrad. Wie später unter Abschnitt „Schmieröle und Fette“ erläutert, ist die Bestimmung der Zähigkeit von Ölen nach dem absoluten Maßsystem nicht eingeführt, sondern man begnügt sich mit empirischen Werten, die je nach der Art des verwendeten Gerätes verschieden und nicht untereinander vergleichbar sind.

Das in Deutschland fast ausschließlich und auch im Ausland sehr viel angewandte Gerät ist das Englersche Viskosimeter, das zu einem Normalgerät nach den Bestimmungen des III. Internationalen Petroleum-Kongresses ausgebildet wurde.

Es sei hier bemerkt, daß alle in dem vorliegenden Buche angegebenen Flüssigkeitsgrade solche nach Engler sind. Abb. 102 veranschaulicht das Englersche Normalgerät, das von den

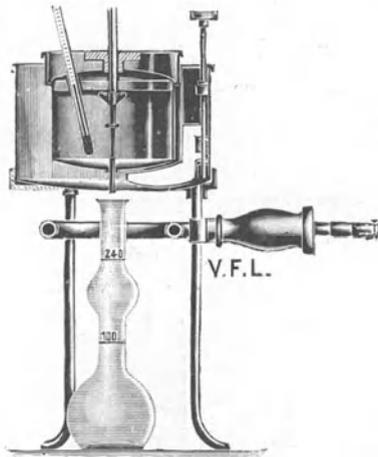


Abb. 102. Viskosimeter nach Engler.

Vereinigten Fabriken für Laboratoriumsbedarf, Berlin, geliefert wird. Die Arbeitsweise mit demselben ist folgende:

Das zu prüfende Öl wird in das innere, vergoldete Gefäß bis zu einer durch drei 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, wodurch der Versuch gestört würde, verhindert. In das Gefäß ragt außerdem ein, ebenfalls durch den Verschlussdeckel geführtes Thermometer zum Ablesen der Temperatur des Versuchsöles. Umgeben wird das innere Gefäß von einem zweiten, äußeren, das mit einer Füllung von Wasser oder einem hochsiedenden Öl als Heizbad dient. Die vermittels des Handrädchens bewegliche Rührfläche bewirkt eine gleichmäßige Erwärmung der Heizbadflüssigkeit.

¹⁾ Holde: Untersuchung der Kohlenwasserstofföle und Fette. Berlin: Julius Springer 1917.

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

Ist das in dem inneren Gefäß befindliche Probeöl auf die gewünschte Temperatur (üblich 20, 50 oder 100° C) gebracht und auf dieser eine gewisse Zeit lang konstant gehalten worden, wird, unter gleichzeitigem

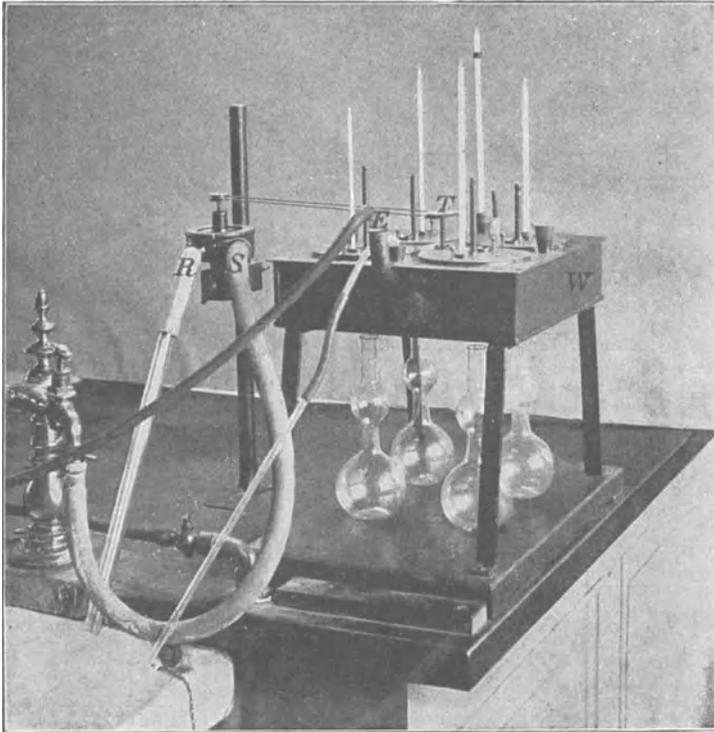


Abb. 103. Vierfach-Viskosimeter nach Martens.

Ingangsetzen einer Stoppuhr, der Stift hochgezogen und mit seinem Ansatz auf dem Deckel festgehalten. Das Öl fließt in einen für 100 und 200 cm³ gemarkten Meßkolben. Sind 200 cm³ ausgeflossen, wird die Uhr gestoppt. Die ermittelte Zeit wird durch die Ausflußzeit einer gleichen Menge Wasser bei 20° C dividiert; der Quotient wird als Flüssigkeitsgrad nach Engler bezeichnet. Zur Kontrolle merkt man sich auch die Auslaufzeit von 100 cm³, die in den von Ubbelohde¹⁾ herausgegebenen Tafeln neben der jeweiligen Gesamtauslaufzeit vermerkt ist.

¹⁾ Ubbelohde: Tabellen zum Englerschen Viskosimeter. Leipzig: Verlag Hirzel.

Die Tafeln gestatten unmittelbare Ablesung der Engler-Grade ohne Rechnung.

Die Ausflußzeit des Wassers soll bei jedem Gerät durch die Physikalisch-Technische Reichsanstalt geprüft und das Gerät entsprechend geeicht sein. Die Zeitdauer, die zwischen 50 und 52 s beträgt, wird auf dem mitgegebenen Prüfschein der P. T. R. vermerkt und außerdem zweckmäßig in den äußeren Mantel des Gerätes geprägt. Nach dem Gebrauch mehrerer Jahre, bei starker Inanspruchnahme des Gerätes schon eher, ist eine Nacheichung erforderlich.

Nach Möglichkeit sind von jeder Ölsorte drei Bestimmungen zu machen, aus deren Ergebnissen, die nicht mehr als $\frac{1}{10}$ s voneinander abweichen dürfen, der Durchschnittswert als endgültiger Flüssigkeitsgrad angenommen wird.

Nach jeder Benutzung ist das Viskosimeter, insbesondere das vergoldete Gefäß, durch Auswaschen mit Benzol, Petroläther und Nachspülen mit Alkohol sorgfältig zu reinigen.

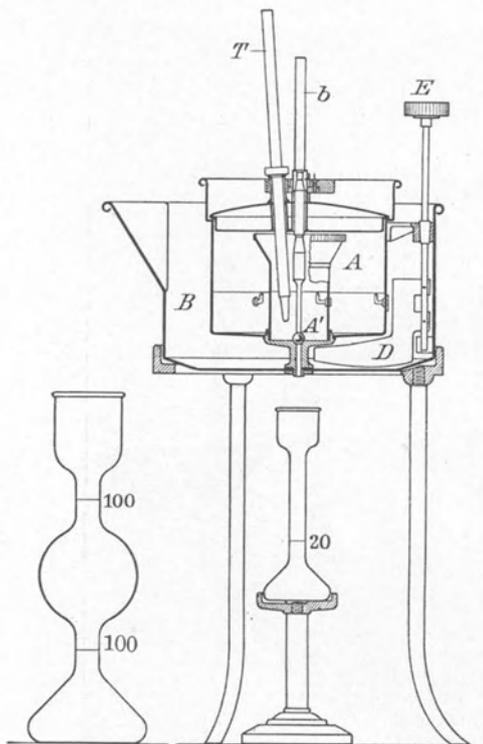


Abb. 104. Viskosimeter nach Ubbelohde.

Die Bestimmung des Flüssigkeitsgrades in dem Englerschen Gerät nimmt, vor allem bei den Prüftemperaturen von 20 und 50° C eine ganze Zeit in Anspruch. Die Durchführung mehrerer Versuche mit einem Öl, in erhöhtem Maße mit mehreren Ölen zum Vergleich untereinander ist so zeitraubend, daß man auf Vorrichtungen zur Abkürzung der Versuche gesonnen hat. Martens erreicht dies durch das in Abb. 103 wiedergegebene Vierfach-Viskosimeter mit vier nach Engler ausgebildeten Ausflußgefäßen in einem gemeinsamen Wasserbade *W*. Es ist eine kleine Wasserturbine, die das Schaufelrad *T* zwecks gleichmäßiger Wärmeverteilung drehend bewegt. Die Temperaturregelung geschieht durch Zufluß kalten Wassers bei *E* oder, zur Erhöhung der Temperatur, durch eine

kleine Gasflamme. Auf diese Weise kann man vier Ölarten zugleich prüfen.

Einen anderen Weg zur Abkürzung der Versuche hat Holde eingeschlagen, der die Ausflußzeit kleiner Raummengen bestimmt und diese auf die Ausflußzeit der üblichen 200 cm³ umrechnet. Wenn $v_n =$ der Ausflußzeit von n cm³ bei einer beliebigen Temperatur ist, so ist die Ausflußzeit von 200 cm³ bei der gleichen Temperatur

$$\begin{aligned} v_{200} &= 11,95 \cdot v_{20} \\ &= 5,03 \cdot v_{50} \\ &= 2,353 \cdot v_{100}. \end{aligned}$$

Diese von Holde nachgewiesenen, gesetzmäßigen Beziehungen treffen jedoch nur für Öle zu, die bei der jeweiligen Versuchstemperatur einen Flüssigkeitsgrad > 5 haben. Für Transformatorenöle ist das abgekürzte Verfahren also nur bei 20° C anwendbar.

Während Holde für die kleinen Raummengen das Normalgerät von Engler benutzt, arbeitet Ubbelohde mit einem in dem Ausflußgefäß des Normalgerätes befindlichen Zehntelgefäß genau vorgeschriebener Abmessungen nach Abb. 104. Nach Untersuchungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt ergibt die Ausflußzeit von 20 cm³ Öl bei jeder Temperatur, bezogen auf die Ausflußzeit der gleichen Menge Wasser, unmittelbar den Englergrad.

Das Gefäß ist in gleicher Weise für die normale Raummenge von 200 cm³ zu benutzen.

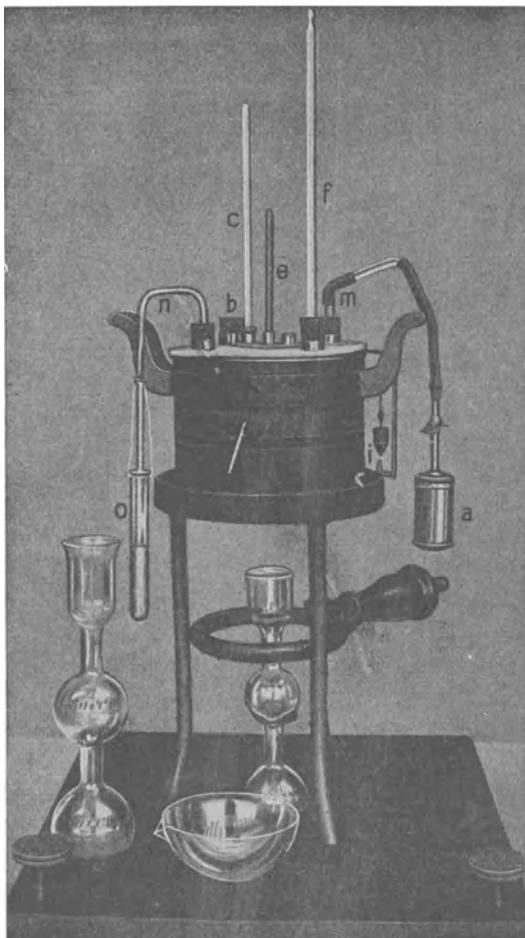


Abb. 105. Metallviskosimeter von Holde.

Eine Verbesserung des Englerschen Viskosimeters stellt das in Abb. 105 gezeigte Metallviskosimeter von Holde dar, das vor allem bei der Versuchstemperatur von 100°C wegen der leicht zu erreichenden Konstanthaltung des Wärmegrades gute Dienste leistet. Von dem Normalgerät unterscheidet es sich durch die schmale Form des Öl-

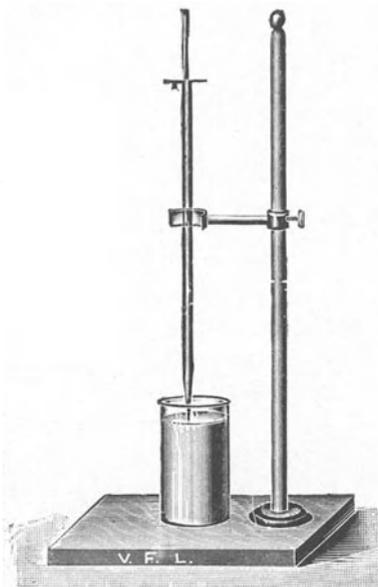


Abb. 106. Gerät für Konsistenzprüfung nach Kißling.

gefäßes, wodurch die Ausflußhöhe größer wird, während das Bad breiter gestaltet ist. Statt der im Normalgerät vorgesehenen Markenspitzen zur Begrenzung der Ölfüllung sieht Holde ein Überlaufrohr d vor, was nicht nur die Handhabung erleichtert, sondern auch den im Normalgerät vorhandenen, für die Wärmehaltung schädlichen Luftraum über dem Öl vermeidet. Das in der Abbildung sichtbare Handgebläse a diente ursprünglich zur Bewegung des Heizbades durch Luft, ist aber, wie eingehende Untersuchungen ergeben haben, nicht nötig, da die Temperaturhaltung durch das von Holde vorgesehene Wasserbad erreicht wird. no ist ein Druckregler für Versuche bei 100°C , durch den der aus dem Heizbad entweichende Wasserdampf hindurchgeht. Das in dem Ge-

fäß o befindliche Quecksilber bewirkt einen kleinen Überdruck, dessen Höhe nach dem jeweiligen Barometerstand geregelt wird. Bei einer Siedetemperatur des Wasserbades von etwas mehr als 100°C steigt die Temperatur des Versuches auf 100°C und bleibt konstant.

Für die mit dem Holdeschen Metallviskosimeter erhaltenen Ausflußzeiten sind Zahlentafeln zur unmittelbaren Ablesung in Englergraden aufgestellt

Die neuerdings gebauten Viskosimeter zur Bestimmung der absoluten Zähigkeit sind bereits S. 191 erwähnt worden.

Konsistenz. Bei der geringen Verwendung konsistenter Fette (für die allein diese Prüfung nur in Frage kommt) in der Elektrotechnik wird die Konsistenzprüfung nur in den seltensten Fällen nötig sein.

Das einfachste Verfahren ist das nach Kißling, bei dem ein zuspitzter 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 Gerätes zeigt Abb. 106.

Interessenten finden ausführliche Beschreibung in dem „Laboratoriumsbuch für die Erdölindustrie“ von Dr. Kißling¹⁾.

Flammpunkt. Die sich beim Erwärmen eines Öles bildenden Dämpfe sind je nach der Art und der Beschaffenheit des betreffenden Öles bei verschieden 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 s 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 Dampfbildung 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.

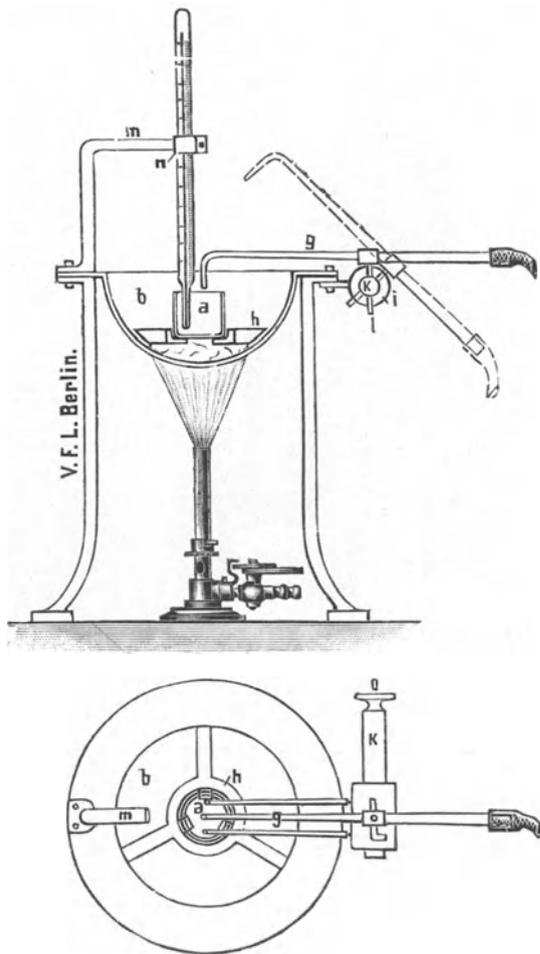


Abb. 107. Flammpunktprüfer nach Marcussen.

¹⁾ Kißling: Laboratoriumsbuch für die Erdölindustrie. Halle a. S.: Knapp.

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

Für Öle mit niedrigem Flammpunkt (bis etwa 160° C) wird das von Marcusson (vom Staatlichen Materialprüfungsamt) erbaute Gerät nach

Abb. 107 benutzt, das von den Vereinigten Fabriken für Laboratoriumsbedarf, Berlin geliefert wird.

Der mit dem Probeöl bis zu einer Marke gefüllte Porzellantiegel *a* von 4 cm \varnothing und 4 cm Höhe wird in dem Einsatz *b* 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 Zündrohres *g* wird auf folgende Art bewirkt. Der

mit dem Zündrohr fest verbundene Stift *l* ist

durch den in das Rohr *f* genau eingepaßten Bolzen *k* geführt, der ein-

seitig verlängert ist und an seinem Ende eine hölzerne Handhabe *o* trägt.

Der Weg des Stiftes *l* und damit des Zündrohres *g* ist durch den Schlitz im Rohr *f* bestimmt und begrenzt. Die punktiert gezeichnete Ruhelage nimmt



Abb. 108. Flammprüfer nach Marcusson.

Das 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, selbsttätiges Zurückfallen des Zündrohres erlaubt. Die Erwärmung des Gerätes geschieht mittels eines regelbaren Brenners so, daß die Temperatur für 1 min um 2 bis 5 Grade steigt; nähert sich die Temperatur dem wahrscheinlichen Flammpunkt, so wird die Temperaturerhöhung noch etwas langsamer gehalten. Die Vereinigten Fabriken für Laboratoriumsbedarf führen die Flammprüfer auch mit elektrischer Heizung aus, bei der die Temperaturerhöhung durch einen Regelwiderstand bestimmt wird.

Ungefähr 40 Grade unter dem wahrscheinlichen Flammpunkt beginnt man mit der eigentlichen Prüfung, indem man von 5 zu 5 Grad mit der Flamme über das Öl streicht; etwa 20 Grade höher prüft man von 1 zu 1 Grad. 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; somit wird eine Überhitzung des Öles an den Wandungen und durch die Flamme selbst, was die Versuchsergebnisse erheblich beeinträchtigen würde, vermieden.

Abb. 108 zeigt einen Flammpunktprüfer (gleichfalls nach Marc usso n) für Öle mit höheren Flammpunkten. Die Sandbadschale ist bei diesem Gerät 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, da-

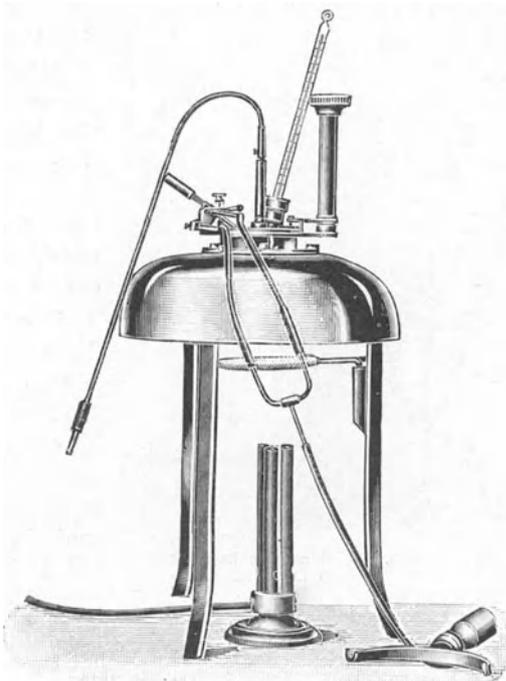


Abb. 109. Flammpunktprüfer nach Pinsky-Martens.

mit seine senkrechte Lage auch bei einem möglichen, durch die starke Erwärmung 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. Das hierfür ausgebildete Gefäß nach Pinsky - Martens ist in Abb. 109 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 Bowden-drahtes bewegt wird. Durch Drehung des Handgriffes *G* wird der Verschuß geöffnet und gleichzeitig die am Gefäß *E* oben sichtbare Zündflamme in den Behälter getaucht. Die Entflammung macht sich deutlich durch ein Verpuffungsgeräusch bemerkbar.

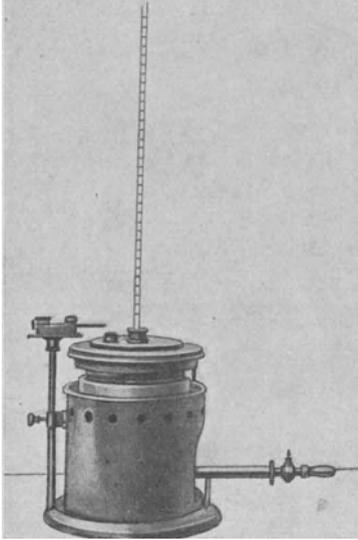


Abb. 110. Flammpunktprüfer nach Luchaire.

Die Flammpunktwerte im Pensky-Martens-Prüfer liegen durchweg niedriger als die im offenen Tiegel ermittelten; ein Umstand, der 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 Ermittlung im offenen Tiegel oder nach Pensky-Martens gilt. Die in der vorliegenden Arbeit genannten Flammpunkte beziehen sich alle auf die Bestimmung im offenen Tiegel.

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

Für Transformatoren- und Schalteröle wird nach den deutschen Bedingungen ein Flammpunkt von mindestens 145° C gefordert; die französischen Normen schreiben (s. S. 187) 160° C vor und bedingen seine Ermittlung in dem in Abb. 110 gezeigten Gerät nach Luchaire¹⁾, das geschlossen ist und die sich entwickelnden Öldämpfe durch ein Rohr entweichen läßt, an dessen Mündung die Zündflamme geführt wird.

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

¹⁾ Nach Rev. gén. électr. 1920.

Stockpunkt. Der sowohl für Transformatoren- und Schalteröle als auch für im Freien verwendete Schmieröle wichtige Stockpunkt 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. 111 wiedergegebenen Gerät nach Hofmeister bestimmt werden.

Die Reagiergläser mit den zu prüfenden Ölproben werden in einen, mit Salzlösungen verschiedener Gefriertemperatur beschickten, 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, in denen die Proben 1 st lang verbleiben. Solche Salzlösungen sind für eine Temperatur von

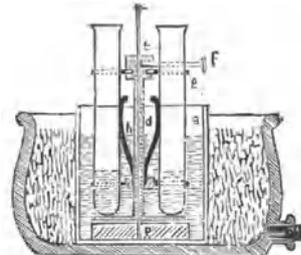


Abb. 111. Kälteprüfer nach Hofmeister.

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

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

Für Transformatorenöl ist in den neuen Bedingungen folgende Untersuchung vorgeschrieben :

Das Öl wird in ein 15 mm weites Reagenzglas 3 cm hoch mittels eines Gestelles oder Halters vertikal eingestellt und so eine Stunde lang bei —15° abgekühlt. Die Einfüllung muß mittels einer Pipette so erfolgen, daß die Glaswand nicht benetzt wird. Die Abkühlung erfolgt in einer Salzlösung, die durch Auflösung von 25 Teilen Salmiak in 100 Teile Wasser zu bereiten ist. Die Abkühlung dieses Bades wird durch Einstellung der Lösung in eine Mischung von Eis und Viehsalz bewirkt. Nach Ablauf einer Stunde wird das Reagenzglas, ohne es herauszunehmen, in eine schräge Lage gebracht und die Veränderung des Flüssigkeitsspiegels beobachtet. Der flüssige Zustand des Öles zeigt sich nach dem Herausnehmen des Reagenzglases daran, daß die Glaswandung vom Öl einseitig benetzt ist.

Zu genaueren wissenschaftlichen Untersuchungen, unter Berücksichtigung gleichbleibenden Luftdrucks, dient das in Abb. 112 dargestellte Gerät nach Holde, das von den preußischen Eisenbahnverwaltungen vorgeschrieben ist (U-Rohrmethode). Bezüglich Anwendung dieses Gerätes wird auf das bekannte, bereits erwähnte Buch von Holde „Untersuchungen der Kohlenwasserstofföle und Fette“

(Verlag Julius Springer, Berlin) verwiesen.

Im Laboratorium der Brown, Boveri & Cie. A.-G., Baden, ist zur Bestimmung des Stockpunktes ein besonderes Verfahren eingeführt worden. In der in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure erschienenen Veröffentlichung¹⁾ sagen die B. B. C. über die Arbeitsweise des von ihnen entwickelten Prüfverfahrens und des dazu erforderlichen Gerätes folgendes:

„Für die Praxis wäre die Kennzeichnung eines Öles durch einen einzigen, genau

umschriebenen Kältepunkt sehr erwünscht. Dieser Kältepunkt ist diejenige Temperatur, bei welcher das Öl beginnt, den Fließgrenzen einer reinen Flüssigkeit nicht mehr zu gehorchen. In der Kurve der absoluten Zähigkeit, in Abhängigkeit von der Temperatur, drückt sich dieser Punkt aus durch eine mehr oder weniger scharfe Abbiegung im Sinne einer rasch eintretenden Erhöhung der Viskosität.

Das Verfahren von B. B. C. gestattet die Festlegung dieser Abbiegung. Es unterscheidet sich von dem Holdeschen dadurch, daß nicht die Steighöhe des Öles, sondern die Fließbarkeit für die Zurücklegung einer bestimmten Fließstrecke gemessen wird und daß der Luftdruck im Verhältnis zur Fließstrecke groß gewählt wird (400 mm W.-S.). Die erhaltene Maßzahl wird dann mit großer Genauigkeit eine Proportionale der absoluten Zähigkeit sein (in $\frac{g \cdot s}{cm^2}$ gemessen, nicht zu ver-

¹⁾ Das Verhalten von Transformatoren- und Schalterölen. Z. V. d. I. 1922, S. 809—810. Vergl. S. 185.

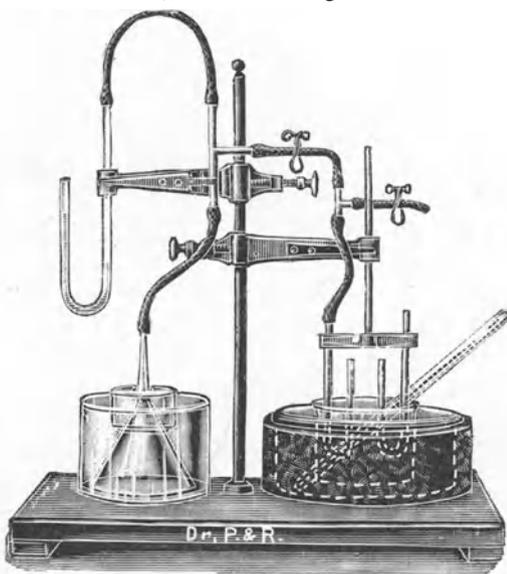


Abb. 112. Kälteprüfer nach Holde.

wechseln mit der Viskosität in Englergraden, die der absoluten nicht proportional ist).

Dies gilt natürlich nur, solange das Öl flüssig ist. Gehorcht es nicht mehr den Fließgesetzen, so ist der Begriff der Zähigkeit im physikalischen Sinne überhaupt nicht mehr anwendbar.

Der somit als Knickung in der Fließkurve gekennzeichnete Temperaturpunkt wird als der eigentliche Stockpunkt bezeichnet, dessen Lage somit, entgegen der bisherigen Kennzeichnung, eindeutig festgelegt wird.

Für die Aufstellung des Prüfgerätes (Abb. 113) werden zwei Chemikerstative *k* benutzt. Das Wasser aus dem Becherglas *g* ist bei geöffnetem Hahn *b* bestrebt, durch das gefüllte Heberrohr *f* in die Woulffsche Flasche *d* überzufließen. Dadurch wird in *d* ein Druck erzeugt, dessen Größe, in mm W.-S. gemessen, gleich dem Höhenunterschied $H = 400$ mm

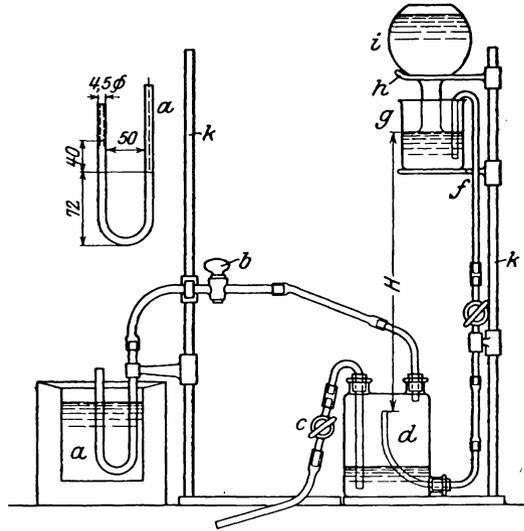


Abb. 113. Stockpunktprüfer von Brown, Boveri & Cie.

ist. Durch Nachfüllen aus dem Kolben *i*, der auf der Gabel *h* liegt, ergänzt sich das aus dem Becherglas entnommene Wasser fortlaufend, so daß H unverändert erhalten bleibt. Das Probierrohrchen *a* aus Glas mit möglichst überall gleichem Durchschnittsquerschnitt trägt drei eingeritzte Beobachtungsmarken und ist durch den Dreiwegehahn *b* entweder mit der Druckluft aus *d* oder mit der Außenluft in Verbindung zu bringen. Der Hahn *c* dient zum Entleeren von *d*, falls diese Flasche aufgefüllt ist. Das Versuchsöl wird bis auf etwa 1 mm oberhalb der unteren Marken in das U-Rohr unter Beachtung der Zusammenziehung beim Abkühlen eingefüllt.

Zur Vornahme der Ölprüfung wird zunächst die Lage des Stockpunktes annäherungsweise bestimmt, wobei die Dicke des Öles lediglich durch Neigen des Rohres beobachtet wird. Für die Aufnahme der Fließkurven müssen Punkte im Abstände einiger Zehntelgrade aufgenommen werden. Nach Herstellung der gewünschten Temperatur im Kältebad durch Lösung von gestoßenem Eis und Viehsalz wird das

Rohr etwa 3 min im Bade belassen. Sodann wird der Luftdruck darauf gegeben und mittels einer Stoppuhr die Fließzeit bis zur oberen Marke gemessen.

Vor jeder Messung muß die Probe in Wasser von Raumtemperatur auf völlig flüssigen Zustand aufgewärmt werden. Vor jeder Probe wird das *U*-Rohr sorgfältig mit Benzin ausgewaschen und getrocknet.

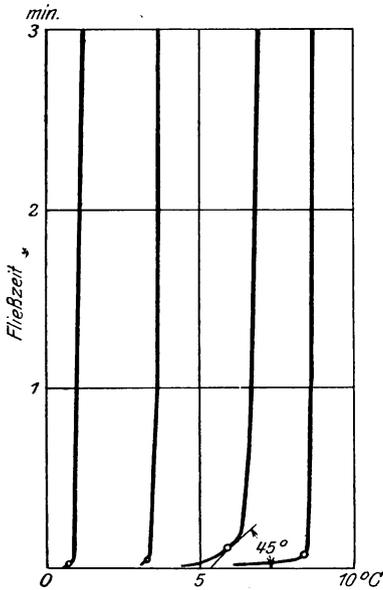


Abb. 114. Fließkurven für Transformatoröl.

In Abb. 114 sind einige der erhaltenen Fließkurven von Transformatoren- und Schalterölen dargestellt. Die Abbiegung der Kurven ist sehr deutlich zu erkennen, sie umfaßt einen Temperaturbereich von höchstens $1,5^\circ$. Zur genauen Festlegung des Stockpunktes kann man sich folgenden Verfahrens bedienen: Die Kurven werden stets in den gleichen Maßstäben aufgetragen, z. B. $1^\circ\text{C} = 1\text{ cm}$ auf der Abszisse und 1 s Fließzeit = 1 mm auf der Ordinate. Als Stockpunkt ist dann derjenige Punkt der Kurve gewählt, bei welchem die angelegte Tangente einen Winkel von 45° gegen die Abszissenachse bildet. Für sehr dickflüssige Mineralöle, wie z. B. Zylinderschmieröle, wählt man den Maßstab für die Fließzeit zweckmäßig etwas anders.“

Wie bei den auf S. 187 aufgeführten französischen Lieferungsbedingungen für Transformatorenöle erwähnt, begnügen sich diese mit einem Stockpunkt von -1°C , der als Erweichungspunkt auf die nachbeschriebene Weise ermittelt wird¹⁾:

Das Versuchsol befindet sich in Reagiergläsern von 15 mm \varnothing und 150 mm Länge, die mit Korken versehen sind, durch die ein Alkoholthermometer mit Einteilung von $+30$ bis -40°C gesteckt wird. Das Öl wird 5 cm hoch eingefüllt, damit das Thermometergefäß vollständig eintaucht. Zum Gefrierenlassen der Proben bedient man sich der durch Abb. 115 erläuterten Einrichtung. *A* ist ein Holzkasten von $400 \times 400\text{ mm}$ Grundfläche und 600 mm Höhe. *B* ist ein Bleieinsatz, der den Gebrauch schwefelsäurehaltiger Gefriermittel erlaubt. Dieser Einsatz hat einen Durchmesser von 200 mm und eine Höhe von 400 mm und kann durch ein Steingutgefäß ersetzt werden. Der Raum zwischen Kasten *A* und Einsatz *B* ist mit Baumwollabfällen als Wärmeisolierung ausgefüllt. Ein Holzdeckel *C* bedeckt das Bleigefäß; darüber ordnet man eine

¹⁾ Nach „Rév. gén. élect.“ 1920.

weitere Schicht Baumwollabfälle an, und der Deckel *n* schließt das Ganze ab.

Zur Erreichung einer Temperatur von etwa 0° C tut man in das Gefäß *E* eine Mischung von zerkleinertem Eis oder besser von Schnee mit Schwefelsäure. Diese Mischung wird mehrere Stunden vor dem Versuch eingefüllt, damit die gesamte Vorrichtung auf gleiche Temperatur kommt. Falls erforderlich, ersetzt man unmittelbar vor dem Versuch diese Mischung durch ein ähnliches, frisch hergestelltes, inniges Gemisch aus 1 Teil Seesalz und 2 Teilen Schnee oder kleinen Eisstückchen. Dann setzt man die Probiertgläser ein, schließt das Ganze und wartet eine Stunde. Unter diesen Verhältnissen fällt die Temperatur der Ölproben auf etwa - 20° C. Es genügt dann, ein Glas herauszunehmen und es umgekehrt zu halten. Das Öl beginnt an den Wandungen zu schmelzen und fließt einige Sekunden nach dieser Beobachtung in dem Probiertglas, das Thermometergefäß vollständig freilegend. Die in diesem Augenblick am Thermometer abgelesene

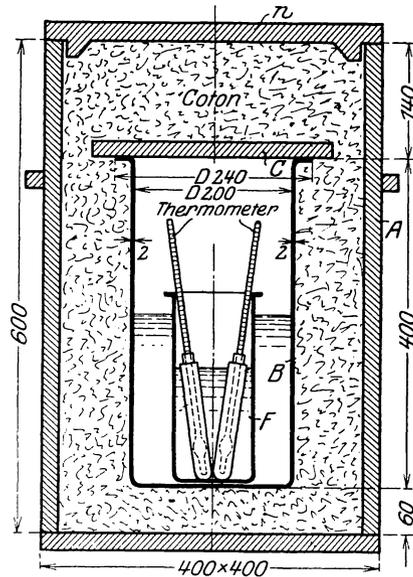


Abb. 115. Kälteprüfer nach franz. Vorschriften.

Temperatur wird als Erweichungspunkt bezeichnet.

Je nach der Art der Öle wird man diesen angepaßte Kältemischungen wählen, um einen genügenden Temperaturabfall zu erzielen; für die meisten Öle reicht aber die oben angegebene Mischung vollkommen aus.

Tropfpunkt. Zur Beurteilung der zum Schmieren gebrauchten konsistenten Fette und gleichzeitig zu ihrer Unterscheidung von anderen Fetten benutzt man den Tropfpunkt, dessen Bestimmung am zweckmäßigsten mit dem Gerät nach Ubbelohde (Abb. 116) erfolgt.

Das zu untersuchende Fett wird in das unter dem Quecksilberbehälter des Thermometers befindliche Gefäß gefüllt, der Rand glatt gestrichen und das Gefäß von unten in die Hülse bis zu den Anschlägen geschoben. Das ganze Gerät wird durch einen Kork in ein etwa 4 cm weites Reagierglas gesteckt und im Wasserbade langsam erwärmt (Temperaturzunahme 1° in der Minute). Man beobachtet und merkt sich die Temperatur, bei der das Fett aus dem Gläschen zu treten beginnt, als „Fließbeginn“. Etwa 5 bis 10 Grade später fällt der Fetttropfen ab, diese Temperatur ist der „Tropfpunkt“.

Die Höhe des Fließbeginns zum Tropfpunkt ist wichtig; es wird dadurch das Fett insofern charakterisiert, als der Fließbeginn von verschiedenen Umständen bei der Herstellung des Fettes und von der Art der dazu verwendeten Rohstoffe abhängig ist. Je gleichmäßiger und inniger die Stoffe bei der Herstellung vermischt werden, desto homogener wird das Fett und desto höher liegt auch dessen Fließbeginn zum Tropfpunkt.

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

Verdampfbarkeit. In den neuesten Bedingungen für Transformatoren- und Schalteröle der Vereinigung der Elektrizitätswerke hat man den Verdampfungsverlust, der sowohl in den Bedingungen der Vorkriegszeit als auch in den 1921 erschienenen „Vorläufigen Bedingungen“ mit höchstens 0,4 vH nach fünfstündigem Erhitzen auf 100° C festgesetzt war, ganz unberücksichtigt gelassen, wohl aus der Erwägung heraus, daß bei den neuesten Bauarten der Transformatoren eine unmittelbare Berührung der Öboberfläche mit der Außenluft gar nicht vorkommt, so daß die bei der Erwärmung verdampfenden Teile sich im Innern des Gehäuses niederschlagen.

Nach den französischen Lieferungsbedingungen geschieht die Prüfung auf Verdampfbarkeit in einem Glas von 16 mm Durchmesser und 100 mm Höhe, in das genau 150 g Öl getan werden. Die Erwärmung erfolgt in einem Trockenschrank bei 100° C, der Verdampfungsverlust wird durch Wägen vor und nach der fünfstündigen Erwärmung ermittelt und in Gewichtsprozenten ausgedrückt. Durchmesser und Höhe des Gefäßes dürfen nicht willkürlich gewählt werden, auch soll das Gewicht des Versuchsöles stets 150 g betragen, da abweichende Versuchsbedingungen keinen Vergleich der Ergebnisse gestatten.

Der Verdampfungsverlust für Dampfmaschinen-Zylinderöle soll nach zweistündigem Erwärmen auf 200° C nur 0,2 vH betragen. Die Bestimmung geschieht am besten in dem von Holde angegebenen Gerät nach Abb. 117.

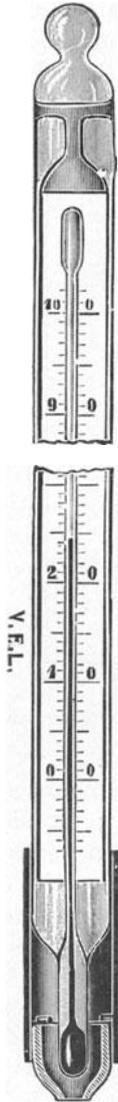


Abb. 116.
Tropfpunktbestimmer nach Ubbelohde.

Das zweckmäßig elektrisch heizbare Gerät besteht aus einem Dampfbad, das als Badflüssigkeit eine bei 107° C siedende 33 proz. Kochsalzlösung in Wasser enthält. Die sich entwickelnden Dämpfe werden in einem Wasserkühler oder einem aufsteckbaren, sog. Dephlegmatorrohr rückgekühlt. Durch Wärmestrahlungsverluste nimmt dann das Versuchsöl eine

Temperatur von 100°C an. Die in der Abbildung sichtbaren zylindrischen Öffnungen dienen zur Aufnahme der Tiegel mit dem Versuchsol. Zur gleichmäßigen Erwärmung und Temperaturkonstanthaltung ist zwischen Dampfbad und Tiegelbehälter eine Glycerinschicht vorzusehen. 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 Dampfbaades eingesetzt, wenn dieses eine gleichbleibende Temperatur von 107°C zeigt. Will man die genaue Temperatur des Öles während 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 gefüllten Tiegel zu wägen, um damit nach Beendigung des Versuches das am Thermometer haftende Öl zu entfernen. Nach der vorgeschriebenen fünfständigen Baddauer werden die Tiegel herausgenommen, vorsichtig in Wasser abgekühlt, das an den Tiegelwänden

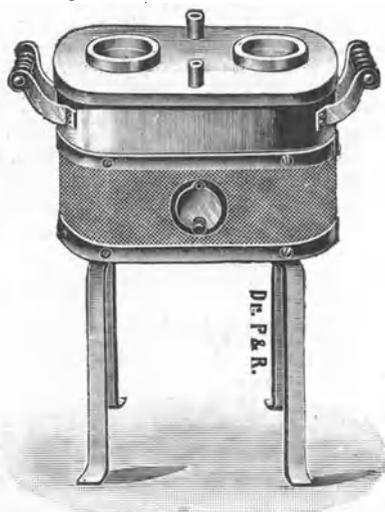


Abb. 117. Verdampfbarkeitsprüfer nach Holde.

haftende Wasser abgetrocknet und die Tiegel $\frac{1}{2}$ st im Exsikkator aufbewahrt. Der Exsikkator ist ein mit Chlorkalzium gefüllter Glasbehälter, der durch einen Glasdeckel luftdicht in der Weise abgeschlossen ist, daß zwischen die geschliffenen Ränder des Behälters und des Deckels eine feine Ölschicht gebracht wird; das Chlorkalzium 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 Hundertteilen.

Emulgierbarkeit von Dampfturbinenölen. Das von der Vereinigung der Elektrizitätswerke zur Feststellung der Emulgierbarkeit von Dampfturbinenölen vorgeschriebene Prüfverfahren entspricht den von der Schmiermittelstelle des Vereins deutscher Eisenhüttenleute herausgegebenen Richtlinien¹⁾ und lautet wie folgt:

100 cm³ Öl werden in einem kalibrierten Zylinder von 36 cm Höhe und 4,3 bis 4,5 cm³ l. W. mit 50 cm dest. Wasser auf dem Wasserbade erwärmt; hat die

¹⁾ „Richtlinien für den Einkauf und die Prüfung von Schmiermitteln.“ 3. Auflage. S. 20. Düsseldorf: Verlag Stahleisen G. m. b. H.

Mischung etwa 100° C erreicht, so wird 10 Minuten lang Dampf aus einem sauberen Dampferwicklungsgefäß (Rundkolben oder Blechkanne), das mit dest. Wasser gefüllt ist, scharf eingeblasen. Die Spitze des Ausblaserohres soll möglichst dicht über dem Boden des Glasgefäßes sein, zu dessen Schutze unter dem Austritte des Ausblaserohres ein Blechplättchen angebracht ist.

Nach dem Dampfeinleiten wird das durchmischte Öl wiederum wenigstens 10 min lang ins Wasserbad gestellt, um die Trennung zwischen Wasser und Öl zu beschleunigen; alsdann überläßt man das Öl eine Stunde lang der Ruhe.

Nicht emulgierendes Öl trennt sich nach einigen Minuten in glatter Schicht vom Wasser. Auch bei guten Ölen tritt oft eine leichte Trübung (schwache Spuren von Feuchtigkeit — Hygroskopizität —) ein, die nach kurzer Zeit wieder verschwindet. Bei wenig gutem Öl bleibt eine stärkere Trübung und an der Trennungsstelle eine schaumige Mischung von Wasser und Öl. Ist diese Schicht nach 20 min Stehen nicht stärker als 2 mm, so gilt das Öl als schwach emulgierbar; ist sie stärker als 2 mm, oder ist überhaupt eine klare Trennungsschicht nicht zu erkennen, so ist das Öl stark emulgierbar.

c) Chemische Prüfungen.

Allgemeine Reinheit des Öles. In Punkt 6 der neuesten technischen Bedingungen für Transformatoren- und Schalteröle ist gesagt, daß das Öl bei 20° C vollkommen klar sein soll. In den zu den Lieferungsbedingungen gehörigen Untersuchungsvorschriften wird zu dieser Feststellung folgendes vorgeschrieben:

Eine frisch aus dem Versandgebilde entnommene Probe wird in einem Reagenzglas von 15 mm l. W. 1 st lang bei 20° C der Ruhe überlassen. Ist die Probe nach dieser Zeit klar, so entspricht sie den Anforderungen.

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.

Transformatoren- und Schalteröle müssen unter allen Umständen wasserfrei sein, da schon ein geringer Feuchtigkeitsgehalt die elektrische Durchschlagsfestigkeit ganz bedeutend herabsetzt; es ist deshalb erforderlich, auch auf kleinste Mengen Wasser zu prüfen.

Eine einfache Art der qualitativen Prüfung besteht darin, daß man eine Probe des Öls mit völlig wasserfreiem Kupfersulfat erwärmt; auch nur Spuren von Wasser verraten sich durch eine deutliche Blaufärbung des Salzes.

Nach einem anderen Verfahren werden 5 cm³ des Öles in einem Reagierglas, dessen Wandung zuvor mit dem Öl benetzt wird, in einem Bad von flüssigem Paraffin auf etwa 160° C erwärmt. Außer Schäumen und Stoßen (siehe Flammprüfung) zeigt sich der Wassergehalt durch Emulsion an der mit Öl benetzten Wandung nach dem Erkalten.

Die französischen Bedingungen für Transformatoröl lassen u. a. eine Prüfung auf Wasser zu, nach der man ein auf Rotglut gebrachtes

Stückchen Eisen in das Probeöl taucht; ein Zischen oder Knistern beweist die Feuchtigkeit des Öles. Diese Prüfart darf wohl keinen Anspruch auf Zuverlässigkeit machen und ist daher keineswegs empfehlenswert. Außer der oben erwähnten Prüfung mit wasserfreiem Kupfersulfat beschreiben die französischen Vorschriften weiter kein Verfahren zur Feuchtigkeitsbestimmung, was in Anbetracht der Wichtigkeit gerade dieser Prüfung sehr zu verwundern ist. Dagegen machen sie Angaben über zweckmäßige Trocknung des Öles, wenn auf die beschriebene Weise ein Wassergehalt festgestellt wurde. Es wird die Verwendung des in Abb. 118 gezeigten Gerätes empfohlen, das aus einem Metallkessel besteht, der zweckmäßig luftleer zu pumpen ist, da dann schon eine Erwärmung auf 65 bis 80° C zur vollständigen Trocknung des Öles ausreicht, ohne daß das Öl verändert wird. Zur Kontrolle entnimmt man nach einiger Wärmzeit dem Kessel eine Probe und prüft diese auf ihre Durchschlagsfestigkeit. Man setzt die Trocknung fort und prüft von neuem, bis die Spannung nicht mehr wächst; dies soll die

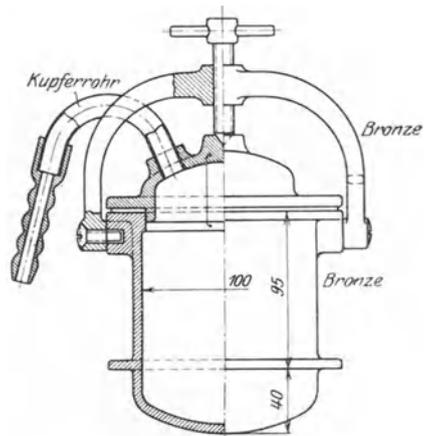


Abb. 118. Öltrockenkessel.

Anzeige für vollständige Vertreibung der Feuchtigkeit aus dem Öl sein. Da die Durchschlagsfestigkeit, wie weiter unten erwähnt, aber nicht nur vom Wassergehalt, sondern auch von der Art desselben und mikroskopisch kleinen Verunreinigungen abhängt, so ist diese Prüfung anfechtbar. Die genaue quantitative Bestimmung des Wassergehaltes nimmt man nach dem Destillationsverfahren von Marcusson vor; die hierzu nötige Geräteanordnung ist aus Abb. 119 ersichtlich. Der Prüfungsvorgang ist folgender:

In die über dem Brenner befindliche Kochflasche tut man 100 cm³ des mit 50 cm³ Xylol versetzten Öles und fügt zur Verhütung von Siedeverzug einige Bimssteinstückchen hinzu. An dem unteren Rohransatz des Kühlers wird der Schlauch von der Wasserleitung, 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 cm³ eine unmittelbare Ablesung des Wassergehaltes.

Eine neuartige quantitative Wassergehaltsbestimmung auf Grund der durch ein Präparat hervorgerufenen Temperaturerhöhung beschreibt Oertel in der Chemiker-Zeitung 1920, S. 854 und 1921, S. 64. Das der Firma Hans Oertel, Neuenahr durch Patent geschützte und von ihr zu beziehende Präparat wird folgendermaßen angewandt:

In ein dünnwandiges Becherglas von 35 cm³ Inhalt bringt man einen Teil des zu untersuchenden Öles oder Fettes, und zwar bei einem ungefähren Wassergehalt von

0 ÷ 3 vH (bei Ölen)	20 g ohne Lösungsmittel
3 ÷ 15 vH „ „	4 g in 16 g Petroleum gelöst
0 ÷ 15 vH (bei Ölen u. Fetten)	4 g in 16 g „ „
15 ÷ 30 vH „ „ „ „	2 g in 18 g „ „

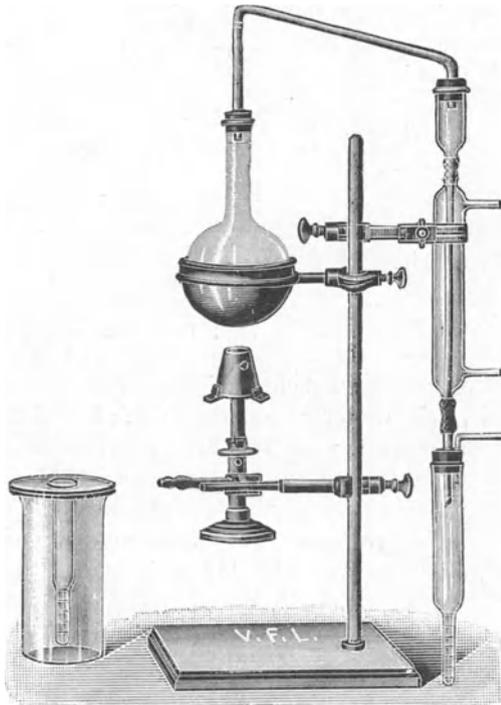


Abb. 119. Gerät zur Bestimmung des Wassergehaltes nach Marcusson.

Nachdem die Temperatur der Probe oder ihrer Lösung mittels eines in Zehntel-Grade geteilten Thermometers festgestellt wurde, schüttet man das Präparat in die Lösung und beobachtet unter Umrühren mit dem Thermometer die Temperaturerhöhung. Zur Vermeidung von Fehlern infolge eines möglichen Wassergehaltes im Petroleum bestimmt man ein für allemal die vom Petroleum allein verursachte Temperaturerhöhung und zieht diesen Wert jeweilig ab. Aus einer mit dem Präparat zu liefernden Zahlentafel kann man den einer bestimmten Temperaturerhöhung entsprechenden Wassergehalt in Hunderten unmittelbar ablesen.

Säuregehalt. Durch Säure werden vor allem die im Öl befindlichen Metallteile angegriffen; eine der Hauptbedingungen für Transformatoren- und Schalteröle, sowie auch für Schmieröle aller Verwendungszwecke ist daher Säurefreiheit. Es können im Öl organische und anorganische Säuren als Ölsäure, Mineralsäure und Schwefelsäure vorhanden sein. Da Säure vollständig fehlen soll, genügen qualitative Nachweise.

Zur Prüfung auf Mineralsäure erwärmt man eine Mischung von 100 cm³ Öl mit 150 cm³ destilliertem Wasser, schüttelt die Mischung gut durch und läßt das Wasser sich dann wieder absetzen. 30 cm³ des wässerigen Auszuges werden mit einer Pipette entnommen und mit einigen Tropfen Methylorange (0,3 g Methylorange auf 1 l Wasser) versetzt. Eine Rotfärbung deutet auf einen Gehalt an Mineralsäure.

Ganz ähnlich lautet die Vorschrift der Vereinigung der Elektrizitätswerke zum Nachweis von freier Mineralsäure in Transformatoren- und Schalterölen:

Zum Nachweis von freier Mineralsäure werden (nach Holde) 100 cm³ Öl mit 200 cm³ heißem, destilliertem Wasser in Scheidetrichter oder Kolben kräftig durchgeschüttelt, bis sich das Öl genügend im Wasser verteilt hat. Nach dem Absetzen filtriert man durch ein angefeuchtetes Faltenfilter und versetzt das Filtrat mit einigen Tropfen Methylorange, wobei keine Rotfärbung eintreten darf.

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

Zum Nachweis von Schwefelsäure bedient man sich der Reaktion von Chlorbarium, durch das bei Gegenwart von Schwefelsäure ein weißer Niederschlag (schwefelsaures Barium) entsteht.

Säurezahl. Ein Gehalt an organischer Säure ist in den neuen Lieferungsbedingungen für Transformatoren- und Schalteröle mit 0,2, berechnet als Säurezahl, zugelassen, zu deren Bestimmung das folgende Prüfverfahren vorgeschlagen wird:

10 g Öl werden in einem 200 cm³ fassenden Erlenmeyerkolben eingewogen und in 75 cm³ eines vorher neutralisierten Gemisches von 2 Teilen Benzol und 1 Teil Alkohol aufgelöst. Hierbei wird nach Versetzen mit einigen Tropfen Phenolphthaleinlösung aus einer Bürette eine genau eingestellte, $\frac{1}{10}$ normal alkoholische Kalilauge bis zur deutlichen Rotfärbung zugegeben. Die Säurezahl ist der Verbrauch an mg KOH für 1 g angewandtes Öl. Wurden bis zum Farbumschlag beispielsweise $\frac{3}{10}$ cm³ KOH verbraucht, so errechnet sich die Säurezahl wie folgt:

$$\frac{0,3 \cdot 5,6}{10} = 0,168 \text{ mg KOH.}$$

Angriffsvermögen auf Metalle und Baumwolle. Will man sich nicht auf den chemischen Nachweis von Säure beschränken, sondern das durch die Säure bewirkte Angriffsvermögen auf Metalle und Baumwolle in besonderen untersuchen, so verfährt man folgendermaßen:

Mehrere (mindestens aber 3) kleine Platten von 30 × 30 × 3 mm aus dem dem Öl ausgesetzten Metall werden sauber geschliffen und nach Entfernung aller von der Bearbeitung noch anhaftender Teilchen und

Entfettung durch Alkoholäther auf einer hochempfindlichen Wage gewogen. Danach legt man sie in mit dem Versuchsöl gefüllte, durch einen Deckel gegen Staub geschützte Glas- oder Porzellanschalen und setzt sie mehrere Wochen hindurch einer Lufttemperatur von etwa 50° C aus. Nach Ablauf dieser Zeit werden die Platten nach Reinigung mit Fließpapier und Alkoholäther gewogen; der Gewichtsverlust und die Veränderung des Aussehens der Platten geben die Einwirkungen des Öles auf Metalle durch seinen Säuregehalt zu erkennen. Um die Veränderung des Metalles genau beurteilen zu können, ist es zweckmäßig, ein weiteres, in gleicher Weise vorbereitetes Plättchen im Exsikkator zum Vergleich mit den dem Öl ausgesetzten aufzubewahren.

Zur Prüfung des Angriffsvermögens des Öles auf Baumwolle, die für die Umspinnungen der Windungen in Transformatorenspeulen benutzt wird, verfährt man in der Weise, daß man mehrere Baumwollbänder aus einem größeren Stück herstellt und die Hälfte davon in einer kleinen Faserstoffzerreißmaschine, wie in Abb. 6 (Teil I, Feste Isolierstoffe) gezeigt, nur in kleinerer Ausführung, auf Zugfestigkeit und Dehnung prüft, während die andere Hälfte mehrere Wochen lang den Einwirkungen des im Luftbade auf 60° bis 70° C erwärmten Öles ausgesetzt und dann ebenfalls auf Festigkeit und Dehnung geprüft wird. Bei vollständig säurefreiem Öl wird man eine Abnahme der Festigkeit nicht feststellen. Bei der Prüfung ist genau darauf zu achten, daß alle Bänder in einer Richtung geschnitten sind, da die Festigkeit in Kette und Schuß (Längs- und Querrichtung) verschieden ist.

Harzöl. Nach den Bedingungen für Transformatoren- und Schalteröle der Vereinigung der Elektrizitätswerke sollen diese Öle nur reine Mineralöle sein. Wie bereits S. 185 erwähnt, verwendete man früher Harzöle zur Füllung von Transformatoren, da deren dielektrische Festigkeit größer ist als die des Mineralöles. Dagegen haben die Harzöle eine verhältnismäßig sehr hohe Verdampfbarkeit und kommen zur Schalterfüllung wegen der durch Lichtbogen infolge ihres hohen Kohlenstoffgehalts auftretenden Verkohlungen überhaupt nicht in Frage. Deshalb hat man wohl zur vereinfachten Lagerhaltung auf den Werken und zur Vermeidung von unliebsamen Verwechslungen einheitlich die ausschließliche Verwendung reiner, unvermischter Mineralöle vorgeschrieben.

Als Schmiermittel sind Harzöle unbrauchbar, da sie schon bei geringer Temperaturerhöhung in kürzester Zeit klebrig werden, „verharzen“, und die Schmierfähigkeit einbüßen. Oft werden sie in geringen Mengen Mineralschmierölen zur Erhöhung des Flüssigkeitsgrades zugesetzt, was als Verfälschung angesehen wird.

Zur Unterscheidung von Harzöl und Mineralöl oder zum Nachweis von Harzöl in Mineralöl gibt es eine ganze Reihe Prüfarten.

So kann man schon durch das spezifische Gewicht die beiden Ölarten unterscheiden, da Harzöle ein spez. Gew. von 0,970 bis 1,00, Mineralöle ein solches von 0,850 bis 0,940 haben.

Ein anderes physikalisches Unterscheidungsmerkmal ist durch das optische Verhalten der Öle gegeben; am deutlichsten durch die Drehung in der Polarisationsebene, die bei Mineralölen bis höchstens etwa 3° , bei Harzölen dagegen 30 bis 50° beträgt. Verfälschungen von Mineralöl mit Harzöl geben sich entsprechend zu erkennen, da schon ein geringer Harzölzusatz das Drehungsvermögen stark positiv beeinflusst. Die Ausführung der Untersuchung erfolgt zweckmäßig in dem Polarisationsgerät nach Lippich-Landolt (Abb. 120), bezüglich dessen Anwendung auf Holde verwiesen sei.

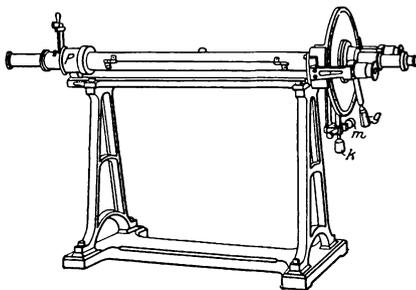


Abb. 120. Polarisationsgerät nach Lippich-Landolt.

Ein einfacher chemischer Nachweis von Harzöl in Mineralöl, der auch von den Zollbehörden angewandt wird, besteht in einer Farbreaktion auf Schwefelsäure. 1 cm^3 des zu untersuchenden Öls wird mit 1 bis 2 cm^3 Essigsäureanhydrid in einem Scheidetrichter gut durchgeschüttelt, in welchem man die essigsäure Schicht wieder absitzen läßt, so daß man nach Öffnen des Hahns am Ablaufrohr des Trichters einen Teil derselben in einem Reagierglas auffangen kann. Gibt man zu dieser Menge einen Tropfen Schwefelsäure von 1,53 spez. Gew., so tritt bei Gegenwart von Harzöl eine rotviolette Färbung ein.

Bezüglich quantitativer Bestimmungsarten sei auf die bereits an anderer Stelle genannten Werke von Holde und Kießling verwiesen.

Schwefelgehalt. Schwefel soll in Mineralölen nicht vorhanden sein; seine Gegenwart ist ein Zeichen für eine nicht einwandfreie Raffination des Öles. Er tritt jedoch nur selten und dann in Spuren auf, so daß die Prüfung nur in bestimmten Fällen vorgenommen wird.

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

1 cm^3 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 von Schwefelsilber.

Die französischen Vorschriften für Transformatorenöl begnügen sich mit einer noch einfacheren Prüfung, indem ein Kupferblech in das Öl bei 85° C getaucht wird, das nach einer Einwirkung von 15 bis 20 min darauf geprüft wird, ob es angelauten ist.

Gehalt an freiem Alkali. Ein ebenfalls von unsachgemäßer Raffination herrührender Gehalt an freiem Alkali kann nachgewiesen werden, indem man eine kleine Menge des zu untersuchenden Öles in der gleichen Menge Alkoholäther (1 : 4), der durch Phenolphthalein neutralisiert ist, löst; tritt Rotfärbung ein, ist freies Alkali zugegen.

Aschegehalt. Unter Punkt 6 der Technischen Bedingungen für Transformatoren- und Schalteröle ist ein Höchstgehalt an Asche von 0,01 vH festgesetzt. In den zu den Bedingungen gehörigen Ausführungsbestimmungen wird von der Vereinigung der Elektrizitätswerke folgendes Verfahren zur Bestimmung des Aschegehaltes angegeben:

Etwa 20 g, besser etwa 100 g Öl werden in einem Tiegel aus Platin, Porzellan oder Quarz auf der analytischen Wage eingewogen (Schale ist vorher auszuglühen und für sich zu wiegen) und über freier Flamme langsam bis zum Brennpunkt erhitzt.

Sobald die Öldämpfe sich entzündet haben, muß man mit dem Erhitzen vorsichtig fortfahren, um Verspritzungen zu vermeiden. Nachdem das Öl abgebrannt ist, wird der entstandene Ruß vorsichtig abgeglüht. Sollte sich schwer verbrennlicher Koks gebildet haben, so ist die Asche mit heißem Wasser auszuziehen und durch ein quantitatives Filter zu filtrieren. Das Filtrat wird in dem vorher benutzten Tiegel, nachdem die Kohle und das Filter in diesem verbrannt sind, zur Trockne eingedampft. Der gesamte Rückstand wird dann vorsichtig bis zur beginnenden Rotglut erhitzt und nach dem Erkalten gewogen.

Die gleiche Prüfmethode kann auch für alle Arten Schmieröle angewendet werden.

Asphaltgehalt. Harter Asphalt wird zumeist in den hellen Transformatoren- und Schalterölen fehlen; außerdem wird er gegebenenfalls bei der nachfolgend beschriebenen Verharzungsprobe zusammen mit den Harzen ausgeschieden. Deswegen erübrigt sich seine besondere Bestimmung für diese Öle.

Dagegen tritt er in dunklen Zylinderölen auf, wodurch diese zu Rückstandsbildungen in den Maschinenteilen neigen. Ein einfacher qualitativer Nachweis für harte Asphalte ist der folgende (Verfahren nach Bender - Holde):

Man löst in einem größeren Reagierglase 1 cm³ Öl in 40 cm³ Normalbenzin; dies ist ein Benzin bestimmter Siedetemperatur, das von C. A. F. Kahlbaum, Berlin geliefert wird. Die Lösung läßt man 24 st in einem möglichst verdunkelten Raum stehen und prüft dann, ob sich am Boden des Reagierglases ein dunkler Niederschlag abgesetzt hat; ein solcher entsteht bei Gegenwart von hartem Asphalt.

Verteerungszahl. Bei der im Gebrauch von Transformatorenöl auftretenden Erwärmung dürfen sich, wie bereits bei den Lieferungsbedin-

gungen für Transformatorenöle gesagt wurde, keine harz- und asphalt-ähnlichen Stoffe abscheiden, da diese sich auf den Wicklungen ablagern und die Isolation gefährden. Die Verharzungsprobe ist daher eine der wichtigsten Untersuchungen für Transformatorenöle. Von der Vereinigung der Elektrizitätswerke ist die Kißlingsche Verharzungsprobe und die darauffolgende quantitative Teerzahlbestimmung als Verteerungszahl zusammengefaßt und in den von ihr herausgegebenen Prüfbestimmungen wie folgt endgültig festgesetzt worden:

A. Verfahren für die Bestimmung, das allgemein anzuwenden ist und im Zweifelsfalle als Schiedsmethode gilt.

150 g des frischen, ungebrauchten filtrierten Öles werden in einem 300 cm³ fassenden Erlenmeyerkolben (Schott & Gen., Jena) in einem Ölbad 70 st ununterbrochen unter gleichzeitigem Durchleiten von Sauerstoff auf 120° C erwärmt. Der Sauerstoff passiert 2 Waschflaschen, von denen die erste mit Kalilauge (spez. Gew. 1,32), die zweite mit konz. Schwefelsäure (spez. Gew. 1,84) beschickt ist. (Die Waschflaschen sollen ein Fassungsvermögen von mindestens ¼ Liter haben bei hoher zylindrischer Form und sollen zu etwa ⅓ ihrer Höhe mit der Waschflüssigkeit beschickt sein.)

Die Erwärmung wird in einem zuverlässig regulierbar geheizten Ölbad ausgeführt. Die vorgeschriebene Temperatur ist in dem zu untersuchenden Öl zu überwachen. Das Ölbad ist mit einem Rührwerk auszustatten. Der Kolben ist durch einen Korkstopfen mit seitlicher Einkerbung verschlossen, durch den das 1—2 mm über dem Boden des Kolbens mündende Einleitungsrohr führt. (Die lichte Weite des Einleitungsrohres soll genau 3 mm, die Anzahl der Blasen pro Sekunde 2 betragen.)

Nach der geschilderten 70stündigen Vorbehandlung werden 50 g des gut durchgerührten Öles in einem mit Rückflußkühler versehenen, 300 cm³ fassenden Erlenmeyer nach Zusatz einiger Siedesteine 20 min lang auf siedendem Wasserbade mit 50 cm³ einer Lösung erwärmt, welche durch Auflösen von 75 g möglichst reinem Ätznatron in 1 l dest. Wasser und durch Hinzufügen von 1 l 96 proz. Alkohols zu bereiten ist. Ohne den Rückflußkühler zu entfernen, wird hierbei das warme Gemisch 5 min lang kräftig geschüttelt, wobei der Kolben zweckmäßig mit einem Tuch umwickelt wird. Sein Inhalt wird nach dem Erkalten in einen Scheidetrichter übergeführt und nach eingetretener Schichtung ein möglichst großer Anteil der alkoholisch-wässrigen Lauge durch ein gewöhnliches Filter in einen Kolben filtriert. Von dem Filtrat werden 40 cm³ abpipettiert, in einem zweiten Scheidetrichter mit einigen Tropfen Methylorange versetzt und mit Salzsäure bis zur deutlichen Rotfärbung der Flüssigkeit angesäuert (hierzu sind etwa 6 cm³ Salzsäure vom spez. Gew. 1,124 erforderlich). Die durch das Ansäuern abgeschiedenen Teerstoffe werden in 50 cm³ reinem Benzol vom Siedepunkt 80—82° (das beim Eindämpfen auf dem Wasserbade keine Spur eines Rückstandes hinterlassen darf) aufgenommen. Starkes Schütteln ist zu vermeiden, da sonst Emulsionsbildung eintritt. Das Ausschütteln ist mit 50 cm³ Benzol in einem dritten Scheidetrichter noch einmal zu wiederholen.

Nach dem Ablassen der wässrigen Schicht wird der erste Benzolauszug im Scheidetrichter Nr. 3 mit dem zweiten Benzolauszug vereinigt, wobei der Scheidetrichter Nr. 2 mit etwas Benzol nachzuspülen ist.

Der Benzolauszug wird dann im Scheidetrichter Nr. 3 zweimal mit je 50 cm³ destilliertem Wasser sorgfältig ausgeschüttelt.

Nach dem Ablassen der letzten sichtbaren Wasserreste wird die im Scheidetrichter zurückbleibende Benzollösung in einen Weithalsstehkolben von 250 cm³ Inhalt (Schott & Gen., Jena) übergeführt, der zuvor mit einigen Siedesteinen gemeinsam auf der analytischen Wage gewogen wurde. Dieser Kolben wird mit einem tadellosen, gut ausgepreßten und von jeglichem Korkstaub befreiten, durchbohrten Korken, in dem ein möglichst direkt über ihm abgelenktes weites Dampfableitungsrohr steckt, das in einen Kühler mündet, verschlossen und mittels eines Ringes, welcher Einkerbungen zum Durchleiten des Wasserbaddampfes besitzt, auf das Wasserbad gestellt. Kolben und Ableitungsrohr werden dann mit einem oben geschlossenen Blechmantel überdeckt, der an einer Seite zur Durchführung des Ableitungsrohres geschlitzt ist. Das Wasserbad wird dann so stark erhitzt, daß die in den Blechmantel steigenden Dämpfe diesen und damit auch Kolben und Ableitungsrohr mit erwärmen und so jegliches Dephlegmieren der Benzoldämpfe verhindern. Nach dem Eindampfen wird etwas Alkohol (absoluter oder 98 Proz.) zugegeben, um etwas vorhandenes Wasser zu verjagen, und der Kolben offen und liegend auf das mit gewöhnlichen Ringen versehene Wasserbad gestellt, so daß die schweren Dämpfe bequem abfließen können. Dann wird der Kolben in einem auf 105° C eingestellten Trockenschrank 10 min lang getrocknet und nach dem Erkalten gewogen. Die gefundene Teermenge wird mit 2,5 multipliziert und die Verteerungszahl prozentual errechnet.

B. Das von der AEG vorgeschlagene Natriumsuperoxyd-Verfahren kann angewendet werden. Falls die Ergebnisse den Grenzwert überschreiten, ist der Wert der als Schiedsmethode angegebenen Bestimmungsmethode ausschlaggebend.

Bei Ausführung der Natriumsuperoxydmethode kommt die 70stündige Vorbehandlung mit Sauerstoff in Fortfall. Es werden in dem 400 cm³ fassenden Erlenmeyerkolben, der absolut trocken sein muß, 3 g Natriumsuperoxyd eingewogen. Dazu werden 50 g des frischen filtrierten Öles gegeben und danach 50 cm³ der oben beschriebenen alkoholisch-wässrigen Lauge hinzugefügt. Der Kolben wird mit Rückflußkühler verschlossen und auf dem Wasserbade vorsichtig unter häufigem Umschütteln 20 Minuten lang erwärmt. Wird die Reaktion zu heftig, so muß zwischendurch der Kolben vom Wasserbade entfernt werden.

Die weitere Arbeitsweise ist die gleiche, wie oben geschildert, nur mit der Änderung, daß zum Ansäuern der Lauge eine größere Menge Salzsäure erforderlich ist.

C. Methode nach Prof. Schwarz und Prof. Marcusson (50 st 120° C).

50 g Öl werden in einem enghalsigen Normal-Erlenmeyerkolben (Jenaer Glas) von 200 cm³ Inhalt (vgl. Z. f. angewandte Chemie Nr. 88, S. 629, vom 3. 11. 1922) 50 st ununterbrochen auf 120° C erhitzt. Bewährt hat sich für die Erhitzung auf konstante Temperatur eine elektrisch heizbare Platte mit angeschweißtem Rand für Ölbad und selbsttätiger Wärmeregulierung oder ein elektrisch geheiztes Luftbad (Hersteller: Heraeus, Hanau). Nach Beendigung der Erhitzung wird das Öl 15 min auf etwa 80° C am Rückflußkühler mit 50 cm³ einer Lösung erwärmt, welche durch Auflösen von 75 g reinem Ätznatron in 1 l dest. Wasser und durch Hinzufügen von 1 l 96 Proz. Alkohol zu bereiten ist. Das warme Gemisch wird 5 min kräftig geschüttelt; sodann gießt man das Flüssigkeitsgemisch in einen Scheidetrichter und läßt über Nacht absitzen. Ein möglichst großer Teil der Lauge wird in einen Meßzylinder abfiltriert und mit 30 cm³ leichtsiedendem Benzin ausgezogen. Der Benzinauszug wird nochmals mit 10 cm³ 50 Proz. Alkohol unter Zusatz einiger Tropfen Natronlauge behandelt; die alkoholische Schicht wird mit

der Teerseifenlösung vereinigt, die vereinigten Seifenlösungen dann mit verdünnter Salzsäure bis zur sauren Reaktion versetzt. Nach zwei- bis dreimaligem Ausschütteln der sauren Lösung mit je 50 cm³ Benzol werden die vereinigten Benzolauzüge mit wenig dest. Wasser mineral säurefrei gewaschen und eingedampft. Der Rückstand wird etwa 10 min bei ungefähr 105° C getrocknet und gewogen.

Die Menge der erhaltenen Teerstoffe ist, da nicht die gesamte Lauge abfiltriert wurde, auf 50 cm³ zu beziehen, schließlich ist der Befund auf die angewandte Ölmenge prozentual umzurechnen.

Die französischen Lieferungsbedingungen für Transformatoröl bestimmen die in Tetrachlorkohlenstoff löslichen asphaltartigen Rückstände, deren höchst zulässiger Gehalt, wie auf S. 187 angegeben, nach 50stündigem Erwärmen auf 150° C weniger als 0,06 vH und nach 135stündiger Erwärmung auf die gleiche Temperatur weniger als 0,3 vH beträgt; bis zu einer 5stündigen Erwärmung darf sich kein Rückstand bilden. Zu diesen Feststellungen ist folgender Untersuchungsgang vorgesehen:

Für jedes zu untersuchende Öl werden mindestens zwei Proben benötigt, die eine zur Ermittlung des gebildeten Rückstandes, die andere zur anschließenden Beobachtung des „Entfärbungsgrades“. Das Probeöl wird 5,50 und 135 st lang in Normal-Reagiergläsern von 15 mm Durchmesser und 150 bis 160 mm Höhe, in die es etwa zu $\frac{8}{10}$ eingefüllt wird, erwärmt. Das Gewicht der Probeölmengen wird vor dem Versuch durch Wägen ermittelt; es beträgt je nach dem spezifischen Gewicht bei Einhaltung der obigen Maße 10 bis 12 g. Die Erwärmung der Proben erfolgt im Ölbad in einem mit Temperaturregler versehenen Trockenschrank gemäß Abb. 121.

Das Ölbad ist zur gleichzeitigen Aufnahme mehrerer Probegläser eingerichtet. Die nicht für Versuchsöl benötigten Gläser füllt man zweckmäßig mit einem beliebigen Öl an. Die Gläser werden in einem einfachen, runden Gestell in ein doppelwandiges Gefäß (das Ölbad) eingesetzt und das Ganze durch einen Deckel verschlossen. Sowohl

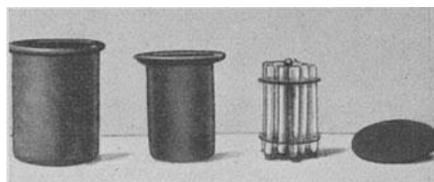
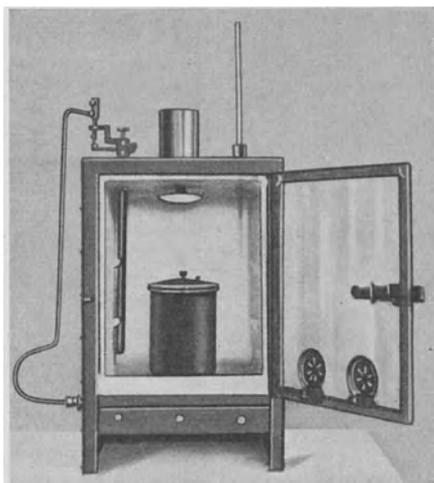


Abb. 121. Trockenschrank mit Einsätzen.

der Mantelraum als auch der das Gestell mit den Gläsern fassende Innenraum werden mit einem als Badflüssigkeit dienenden Öl angefüllt. Nach beendeter Erwärmung nimmt man die Gläser heraus und läßt sie unter einer Glocke erkalten. Dann wird der Inhalt des Probeglasses für die Rückstandsbestimmung auf ein Filter gespült und der Rückstand auf dem Filter mit reinem Petroläther von 0,730

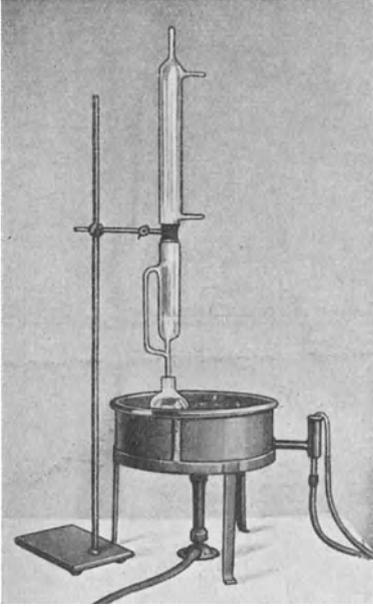


Abb. 122. Soxhlet-Gerät.

spez. Gew. behandelt. Der Petroläther wird auch zum Reinigen des Probeglasses benutzt. Nach erschöpfendem Auswaschen werden das Filter und sein Inhalt der Behandlung mit Tetrachlorkohlenstoff in einem Soxhletgerät mit Rückflußkühler nach Abb. 122 bis zur völligen Extraktion unterworfen. Die Rückstandslösung wird in eine gewogene Platin-Abdampfschale gebracht und im Trockenofen bei 90 bis 100° C abgedampft. Nach Erkalten im Exsikkator wird die Schale mit Inhalt gewogen und der Rückstand nach Gewichtsprozenten berechnet.

Aus dem zweiten Probeglas wird nach Entfernen etwa gebildeter Rückstände eine bestimmte Menge Öl (etwa 1 cm³) entnommen und in ein Reagierglas umgefüllt, in das man mit Hilfe einer Meßbürette

Amylalkohol gibt, bis das Öl seine ursprüngliche Färbung wieder angenommen hat, dessen man sich durch Vergleich des Versuchsöls mit einer Probe des Öls im Anlieferungszustand vergewissert. Beide Proben müssen sich in gleichstarken Reagiergläsern befinden und werden gegen eine Mattscheibe gehalten. Das Verhältnis der aufgewendeten Menge Amylalkohol zu der entnommenen Menge Versuchsöl gibt den „Entfärbungsgrad“ an.

d) Maschinelle Ölprüfung.

In dem Bestreben, für den wirklichen Schmierwert eines Öles einheitliche Konstanten zu schaffen, sind eine ganze Reihe technischer Ölprüfmaschinen entstanden, die sowohl durch ihre Bauart als auch durch die ihnen zugrunde gelegten Gedanken erheblich voneinander abweichen. Da die vorliegende Arbeit sich mit den Schmierölen nur

in ergänzender Weise befaßt, soll auch die allein für Schmieröle in Frage kommende maschinelle Ölprüfung nur kurz gestreift werden. Erschöpfende Angaben über solche Prüfungen finden sich u. a. in dem Buche von Rupprecht, Schmiermittel (Verlag Dr. Max Jänecke, Hannover).

Die nachstehend beschriebenen beiden Ölprüfmaschinen sind aus der großen Zahl der vorhandenen deshalb gewählt worden, weil sie dem Bearbeiter aus der Praxis bekannt sind; die Brauchbarkeit anderer Maschinen soll dadurch keineswegs in Zweifel gezogen werden.

Für rein praktische Versuche an Maschinenölen eignet sich die in Abb. 123 gezeigte Ölprüfmaschine der Firma Rudolph Barthel, Chemnitz, deren Arbeitsweise kurz folgende ist. Auf den Bremslagerzapfen, der das in der Abbildung sichtbare Pendel trägt, werden mit einer Pipette 3 Tropfen des zu prüfenden Öles getan, dann wird das Pendel, dessen Lagerschalen durch die seitlichen Flügelschrauben geöffnet und geschlossen werden können, aufgesetzt, das Lager geschlossen und durch Drehen der ränderierten Schraube am untersten Ende des Pendels ein Lagerdruck von 5 bis 15 kg, je nach Art der Beanspruchung des Öles in der Wirklichkeit, eingestellt. An einer Skala des Pendels sind die verschiedenen Lagerdrücke ablesbar. Die Maschine wird von einem kleinen Elektromotor von etwa 0,5 PS oder durch eine Transmission und Vorgelege angetrieben und soll 1000 bis 1200 Umdr./min machen. Die Prüfung kann man nun auf verschiedene Arten vornehmen, indem man entweder das Bremslager sich auf eine bestimmte Höchsttemperatur erwärmen läßt und die dabei erreichte Gesamtumlaufzahl an dem an der Maschine befindlichen Umlaufzähler feststellt, oder umgekehrt eine bestimmte Umlaufzahl wählt und die danach aufgetretene Höchsttemperatur ermittelt; außerdem kann man auch eine bestimmte Zeitdauer wählen, welche Prüfart der letzten analog ist, da die Umlaufzahl/min gleichmäßig sein soll. Die von Minute zu Minute ermittelten Werte des Pendelausschlages und der Wärmegrade trägt man zweckmäßig graphisch auf und kann so mehrere Öle miteinander vergleichen. Eine Konstante hat man also nicht, sondern nur Vergleichswerte; wenn aber z. B. nur ein Öl für einen bestimmten Verwendungszweck laufend in Frage kommt, so kann man selbst nach einer Reihe von Versuchen Mindest- oder Normenwerte für diese Ölart festlegen und zur Beurteilung bei weiteren Prüfungen heranziehen.

Für wissenschaftliche Versuche ist die Ölprüfmaschine nach Dettmar (Lieferant Vereinigte Fabriken für Laboratoriumsbedarf, Berlin) vielfach in Anwendung, die in vereinfachter Ausführung auch für rein praktische

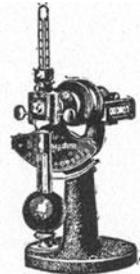


Abb. 123.
Ölprüfmaschine
von Barthel.
Chemnitz.

Zwecke geliefert wird. Der Grundgedanke der Maschine ist kurz der, daß der Schmierwert des zu prüfenden Öles nach der Zeitdauer des Verbrauchs einer bestimmten Menge beurteilt wird. Eine Welle, die in dem mit dem zu untersuchenden Öl geschmierten Prüflager gelagert ist, wird durch einen Elektromotor auf eine bestimmte minutliche Umdrehungszahl gebracht, dann vom Motor abgekuppelt und läuft durch die symmetrisch angebrachte Schwungmasse so lange, bis das Öl verbraucht ist bzw. dessen Schmierfähigkeit aufhört. Die Dauer der Auslaufzeit unter Beobachtung der in dem Prüflager herrschenden Temperatur ist für die Beurteilung des Öles maßgebend. Der Schmierwert des Öles ist den Auslaufzeiten proportional, die Reibungskonstante der Öle steht zu ihnen im umgekehrten Verhältnis, was durch folgende Gleichungen ausgedrückt werden kann: Ist

r_1	die Reibungskonstante des Öles	1	
r_2	,,	,,	2
T_1	,,	Auslaufzeit	,,
T_2	,,	,,	2,

so ist also

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{T_2}{T_1}.$$

Legt man für r_1 auf Grund von Versuchen mit einem bestimmten Öl den Wert 1 fest, so wird

$$r_2 = \frac{T_1}{T_2},$$

d. h. ist $T_2 > T_1$, so wird $r_2 < 1$, das Öl wäre demnach besser als das Normenöl 1; im anderen Falle, wenn $T_2 < T_1$ und $r_2 > 1$, ist das Versuchöl schlechter als das Normenöl 1.

Die Maschine ist mit einer Heizschlange für Dampf- oder Warmwasserheizung versehen, um während der Versuchsdauer gleichbleibende Temperatur zu haben; das Ölbad ist aber auch elektrisch heizbar. Mit Hilfe eines Zählwerkes kann man die Auslaufzahl durch die Zahl der Umdrehungen bis zum Stillstand der Maschine selbsttätig ermitteln, ohne mit der Uhr in der Hand die Auslaufzeit beobachten zu müssen. Außerdem gehören zu der Maschine verschiedene Lagerschalen für höhere Lagerdrücke, eine schwächere Welle zu Versuchen mit dickeren Ölschichten, eine Einrichtung zur Untersuchung des Schmiervorganges bei geteilten Lagern und eine Fettbüchse zur Prüfung konsistenter Fette.

Besonderer Erwähnung bedarf die Ölprüfmaschine der Stern-Sonneborn A.-G. mit Reibungswage nach Duffing¹⁾, die selbsttätig eine Reibungskurve aufzeichnet.

¹⁾ Über Reibungsversuche und Reibungsmessung unter Bezugnahme auf die Verwendung von Schmierölen. Vortrag auf der Hauptversammlung des Vereins Deutscher Chemiker 1922. Bericht in Stahl und Eisen 1922, Heft 25, Seite 982.

Die vorstehenden Prüfungen sind mit besonderer Rücksicht auf die Praxis ausgesucht worden, so daß auch der Nichtchemiker sie 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 im Text und im Literaturnachweis angegebenen Sonderwerke hingewiesen.

2. Isolierlacke und Vergußmassen.

a) Mechanische und physikalische Prüfungen.

Spezifisches Gewicht. Das spezifische Gewicht kann als Identitätsnachweis für Vergußmassen dienen und wird in einfacher Weise nach dem „Schwimmverfahren“ bestimmt, indem man die vorsichtig erwärmte Masse in ein Becherglas mit Wasser tropfen läßt; schwimmt die Masse, so läßt man weitere Mengen nacheinander in Alkohol-Wasser-Gemische verschiedenen spezifischen Gewichts tropfen bis zum Sinken.

Die feste Vergußmasse kann man auch nach dem auf S. 88 beschriebenen Wasserverdrängungsverfahren prüfen.

Schmelz- oder Erweichungspunkt. Dieser ist besonders für Vergußmassen wichtig, die durch Betriebs- oder Witterungseinflüsse erwärmt werden, dann dient er auch zur Kennzeichnung und Unterscheidung verschiedener Harze. Sofern nicht Stoffe in



Abb. 124.

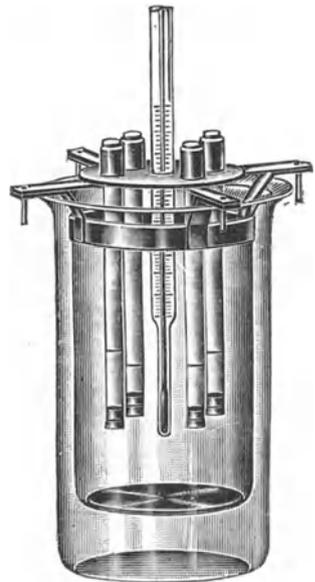


Abb. 125.

Gerät zur Bestimmung des Schmelz- und Erweichungspunktes für Lack- und Vergußmassen nach Krämer-Sarnow.

Frage kommen, deren Tropfpunktbestimmung nach Ubbelohde gemäß Beschreibung auf S. 218 möglich ist, wie Paraffin, Zeresin, Wachs, erfolgt die Bestimmung des Schmelzpunktes zweckmäßig mit dem in den Abb. 124 und 125 wiedergegebenen Geräten nach Krämer-Sarnow, die insbesondere für Asphaltlacke, Teerpechvergußmassen und verwandte Stoffe geschaffen wurden.

In dem in Abb. 126 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 Glasröhrchen von 6 bis 7 mm lichter Weite durch Eintauchen des einen Endes in die Masse und Verschließen der anderen Öffnung beim Herausnehmen mit dem Daumen eine Probe, die man erkalten läßt. 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 oder ein gleich schweres Messingstäbchen von passendem Durchmesser; das Ganze wird mittels besonderer Vorrichtung in ein mit Wasser gefülltes und mit Thermometer versehenes Becherglas gehängt (Abb. 125), das sich in einem zweiten Gefäß mit Wasser befindet. Nun wird langsam erwärmt und die Temperatur festgestellt, bei der das Quecksilber bzw. das Messingstäbchen die Masse durchbricht. Diese Temperatur wird als Schmelz- oder Erweichungspunkt bezeichnet. Wie in der Abbildung ersichtlich, läßt sich der Versuch gleichzeitig für mehrere Proben durchführen.

Ritzhärte. Die Ritzhärte kann einen Maßstab zur Beurteilung der Trockendauer, Härte und Sprödigkeit von Lacken bilden. Das zur Ritzhärteprüfung erforderliche einfache Gerät ist bereits in Abb. 49, S. 69 dargestellt. Bei der Vergleichsprüfung verschiedener Lacke auf Trockendauer wird man beispielsweise mit kleinster Belastung ritzen und die empfindlichste als am schlechtesten trocknend ausscheiden u. s. f. 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 Lackschicht bezüglich Splitters.

Die durch das Ritzen verursachten verschiedenen Erscheinungen ordnet Clemen in der „Farbenzeitung“ vom 4. Januar 1921 folgendermaßen:

1. Mehr oder weniger starkes Eindringen des Lackaufstriches;
2. Durchschneiden des Lackaufstriches unter Bildung von mehr oder weniger deutlich sichtbaren und mehr oder weniger sich rollenden Ritzspänen;
3. Bildung von mehr oder weniger muscheligen bzw. bröckeligen Splitters infolge der Zertrümmerung des Aufstriches,

und schlägt vor, diese Erscheinungen unter Zugrundelegung der jeweiligen Belastung der Schneide als Eindruckzahl, Durchschneidezahle und Zersplitterszahle ziffernmäßig festzulegen, was auf die auf S. 70 vermerkte, von Martens stammende Anregung hinauskommt.

Biegsamkeit. Sehr oft wird von Isolierlacken eine gewisse Elastizität verlangt werden. Die Prüfung geschieht in einfacher Weise durch Biegen einiger mit den betreffenden Lacksorten überzogener Blech-

streifen nach völliger Trocknung um einen Winkel von 90° und gegebenenfalls weiter, bis die Lackschicht an der Biegestelle bricht. Ein Vergleich mehrerer Lacke untereinander ist so leicht möglich, doch wird man auf Grund möglichst vieler Versuche und Beobachtung der praktischen Bewährung mit der Zeit Normen für Mindestwerte aufstellen können.

Trockensubstanzaufnahme. Die Lösungsmittel der Lacke verdampfen nach dem Auftragen. Es ist unter Umständen wünschenswert, die Menge der zurückbleibenden Trockensubstanz zu ermitteln. Dies kann auf ganz einfache Art geschehen, indem man eine Fläche genauer Abmessung (z. B. 1 m^2) 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.

Wasser-, Öl- und Säurebeständigkeit von Isolierlacken prüft man durch teilweises Eintauchen eines mit dem betreffenden Lack gestrichenen Blechstreifens in mit Wasser, Öl oder Säure gefüllte Bechergläser und Beobachtung der Veränderung im Aussehen gegenüber dem herausragenden Teil in bestimmten Zeitabständen.

b) Chemische Prüfungen.

Da für die Praxis die vorbeschriebenen Prüfungen des Verhaltens der Lacke und Vergußmassen unter verschiedenen Einflüssen ausschlaggebend sind, werden eingehende chemische Untersuchungen, die sich mit der Art dieser Stoffe befassen, selten vorgenommen werden; die über den molekularen und atomistischen Aufbau derselben Aufschluß gebende Elementaranalyse kommt nur für rein wissenschaftliche Zwecke in Frage, scheidet also hier vollkommen aus.

Wichtig sind für die Praxis einfache Prüfungen zur Unterscheidung von flüchtigen und fetten Lacken, sowie zur Bestimmung der Art und Menge der Lösungsmittel. Die Natur der zur Lackherstellung verwendeten Harze einwandfrei nachzuweisen, bietet bei der großen Anzahl der dafür in Betracht kommenden Stoffe selbst dem Chemiker Schwierigkeiten, und es sollen dafür auch nur einige allgemeine Einweise gegeben werden.

Unterscheidung von mageren und Öllacken. 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 vollständig und es bleibt ein sprödes Harz zurück, fette Öle haben einen dickölgigen Rückstand.

Gehalt an Lösungsmitteln. Zur Bestimmung des Gehaltes an Lösungsmitteln werden nach dem Verfahren von Marcusson 10 bis 20 g Lack mit Wasserdampf destilliert, bis kein Öl mehr übergeht. Das Destillat wird in einem Kolben gemäß Abb. 126 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.

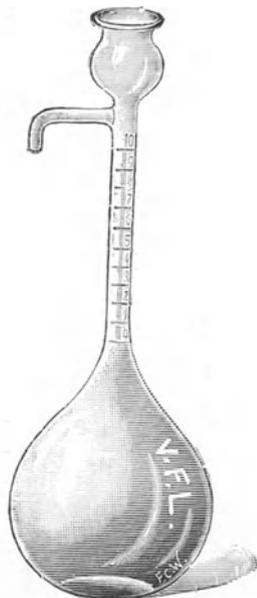


Abb. 126. Meßkolben.

Ist das Lösungsmittel selbst wasserlöslich (Alkohol, Azeton), so wird der Lack ohne Wasserdampf vorsichtig bis höchstens 200° C erhitzt.

Art der Lösungsmittel. Die Zahl der Lösungsmittel ist besonders durch die während des Krieges aufgetauchten Ersatzmittel, die sich zum Teil gut bewährt haben, sehr groß geworden. Ihre Unterscheidung ist für den auf diesem Sondergebiete Unerfahrenen nicht einfach, zumal viele Stoffe miteinander eng verwandt sind; nach einiger Übung ist man aber in der Lage, schon durch den Geruch das Lösungsmittel selbst oder wenigstens seine Zugehörigkeit zu einer bestimmten Gruppe verwandter Stoffe festzustellen. Zur sicheren Erkenntnis dienen das spezifische Gewicht,

der Siedeverlauf und für den größten Teil der in Frage kommenden Lösungsmittel die Reaktion auf Dracorubinpapier.

Das spezifische Gewicht wird gemäß S. 202 bestimmt, und zwar für diese sich im Gewicht teilweise sehr fein unterscheidenden Flüssigkeiten am besten mit der Westphalschen Wage (Abb. 101).

Der Siedeverlauf charakterisiert die Lösungsmittel sehr genau; er wird in der in Abb. 127 gezeigten Einrichtung ermittelt. In den links sichtbaren Siedekolben tut man 100 cm³ des zu prüfenden Lösungsmittels, das man aus dem Lack nach der im Absatz „Gehalt an Lösungsmitteln“ beschriebenen Weise erhalten hat, und erwärmt langsam und vorsichtig, um sowohl ein Springen des Glaskolbens und damit einen Brand der zumeist leicht entzündlichen Flüssigkeiten zu vermeiden, als auch genaue Ergebnisse zu erhalten. Die sich bildenden Dämpfe werden in dem wassergekühlten Ablaufrohr niedergeschlagen und fallen tropfenweise in das Meßglas am anderen Ende der Einrichtung. Die beim Abfallen des ersten Tropfens am Thermometer des

Kolbens abgelesene Temperatur ist der Siedebeginn. Dann merkt man sich die entweder von 5 zu 5 Grad oder bis zu einer bestimmten Temperatur übergegangenen Mengen, wozu man auch mehrere in einem Drehgestell befindliche Meßgläser benutzen kann, wie die Abbildung zeigt. Sind je nach Art des Lösungsmittels 90 bis 95 vH übergegangen, kann man den Versuch abbrechen. Es gibt Stoffe, die bis zu 95 vH

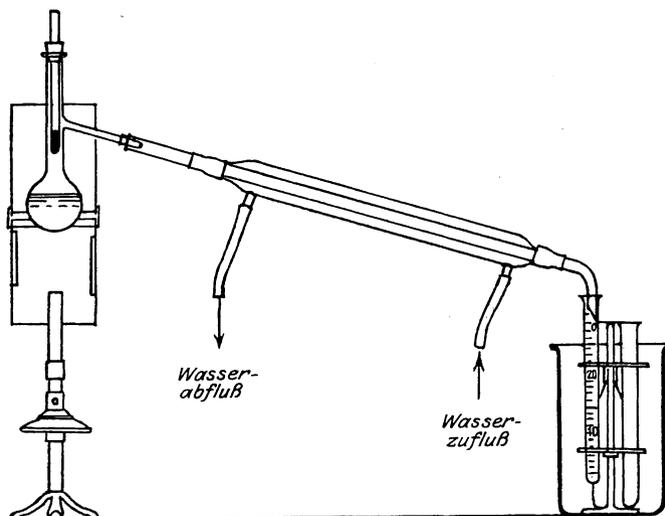


Abb. 127. Siedeverlauf-Prüfeinrichtung.

innerhalb eines Wärmegrades übergehen, wie z. B. Reinbenzol, Reintoluol, Azeton, während andere sehr weit auseinanderliegende Siedegrenzen haben, wie z. B. Lackbenzin.

Der Siedeverlauf bzw. die Siedegrenzen der hauptsächlichsten Lacklösungsmittel sind in der am Schluß des Kapitels folgenden Aufstellung angegeben.

Die Reaktion auf Dracorubinpapier nach Dieterich ist eine sehr einfache und schnell auszuführende Prüfung für die meisten Lösungsmittel. Dracorubin ist ein aus dem Harz von sumatranischem Palmendrachenzblut hergestelltes Pulver¹⁾, mit dem in gelöstem Zustande Filtrierpapier getränkt wird. Lieferant ist die Chemische Fabrik Helfenberg A.-G. vorm. Eugen Dieterich in Helfenberg i. Sa. Die Reaktionen verschiedener Flüssigkeiten sind zum größten Teil sehr deutlich, vor allem unterscheiden sich scharf die Hauptgruppen der aliphatischen und aromatischen Kohlenwasserstoffe (Benzin und Benzol mit ihren Verwandten), sowie auch der Alkohole. Zur besseren Kenn-

¹⁾ Dieterich: Über sumatranisches Palmendrachenzblut. Dissertation. Arch. d. Pharmazie 1896, Bern.

zeichnung wendet Dieterich außerdem zwei Arten der Prüfung an, und zwar die „Dracorubinprobe“, bei der das Reagenzpapier ganz von der Flüssigkeit umgeben ist, in welcher es 24 st verbleibt, und die „Dracorubin-Kapillarprobe“, zu deren Ausführung das Papier nur 1 cm tief in die Flüssigkeit taucht und nur 2 st darin bleibt. Die Färbung der Flüssigkeit und das Aussehen des Papiers geben sehr gute und, wie erwähnt, deutliche Unterscheidungsmerkmale. Ausführliche Beschreibung der mit verschiedensten Flüssigkeiten ausgeführten Versuche und der danach festgelegten Merkmale findet man in dem Sonderabdruck aus den „Berichten der Deutschen Pharmazeutischen Gesellschaft“ (Verlag Gebr. Borntraeger, Berlin W 35) von Dieterich „Die Dracorubin- und Dracorubin-Kapillarprobe als einfaches Hilfsmittel zur Kennzeichnung und Unterscheidung farbloser Flüssigkeiten in der pharmazeutischen und chemischen Laboratoriumspraxis“.

Zur Erleichterung bei der Untersuchung seien nachstehend die wichtigsten Lacklösungsmittel mit ihren besonderen Charakteristiken kurz beschrieben.

1. Terpentinöl.

In der Vorkriegszeit das wichtigste Lösungsmittel für Lacke; wird hauptsächlich aus Amerika und Frankreich eingeführt.

Fast geruchlos; Farbe wasserhell.

Spez. Gew.: 0,863—0,890.

Siedeverlauf: 155—162° C etwa 80 vH.

163—175° C Rest.

2. Kienöl.

Dem echten Terpentinöl sehr ähnliches deutsches Erzeugnis, wird auch russisches Terpentinöl genannt.

Brenzlich riechend; Farbe wasserhell bis schwach gelblich.

Spez. Gew.: 0,865—0,874.

Siedeverlauf: 170—180° C.

3. Lackbenzin.

Schon vor dem Kriege viel angewandtes Ersatz- und Zusatzmittel für Terpentinöl; hochsiedendes Benzin, das sich als Motorenbetriebsstoff einerseits und zu Leuchtzwecken andererseits nicht eignet.

Spez. Gew.: 0,760—0,800.

Siedeverlauf: von 100—240° C stark schwankend.

4. Benzol.

Durch die im Friedensvertrage vorgesehene Abgabe von 75 vH der deutschen Benzolerzeugung an Frankreich nur in beschränktem Maße für Lackherstellung zur Verfügung stehend.

Süßlicher Geruch; Farbe wasserhell bis gelb.

	Reinbenzol	Handelsbenzol I	Handelsbenzol II	Handelsbenzol III
Spez. Gew.:	0,883—0,885	0,880—0,883	0,875—0,877	0,870—0,872
Siedeverlauf:	80—81° 95 vH.	bis 100° 90 vH, bis 120° 100 vH.	bis 100° 50 vH, bis 120° 90 vH.	bis 120° 90 vH.

5. Solvent-Naphtha.

Handelsbenzole, die zwischen 120 und 170° C sieden; viel als Ersatz für Reinbenzol und Handelsbenzole I, II, III angewandt.

Spez. Gew.: 0,870—0,910.

Siedeverlauf: bis 175° C. 90 vH.

6. Toluol.

Wie Benzol ein Erzeugnis der Steinkohlenteeröledestillation; in den oben genannten Handelsbenzolen I, II und III zu 13 bis 75 vH enthalten. Reintoluol hat

Spez. Gew.: 0,869—0,871

Siedeverlauf: 109—110° C. 95 vH.

7. Xylol.

Gleichfalls in Handelsbenzolen von 3 bis 10 vH enthalten. Reinxylol hat

Spez. Gew.: 0,865—0,869.

Siedeverlauf: 137—142° C. 95 vH.

8. Äthylalkohol.

Rein als absoluter (100 proz.), 98 und 96 proz. Alkohol oder, durch Behandeln mit Pyridinbasen u. a. für Branntweinzwecke unbrauchbar gemacht, als „denaturierter Spiritus“ angewandt.

Spez. Gew.: 100 vH 0,794

98 „ 0,800

96 „ 0,806.

Siedepunkt des reinen Alkohols: 78,3° C.

9. Methylalkohol.

Dem Äthylalkohol ähnliches Erzeugnis der Holzverkokung, daher auch Holzgeist genannt.

Farblos, mit schwach alkoholischem Geruch.

Spez. Gew.: 0,796.

Siedepunkt: 66° C.

10. Azeton.

Ebenfalls ein Erzeugnis aus Holzessig, farblos, mit eigentümlichem Geruch. Wegen seines niedrigen Siedepunktes hauptsächlich als Lösungsmittel für Tauchlacke angewandt.

Spez. Gew.: 0,797.

Siedepunkt: 56° C.

11. Chlorierte Kohlenwasserstoffe.

Diese haben als Zusätze große Verbreitung gefunden; die wichtigsten sind:

- α) Tetrachlorkohlenstoff, auch Benzinoform genannt; nicht brennbar, aber giftig.
Spez. Gew.: 1,602.
Siedepunkt: 77—78° C.
- β) Tetrachloräthan, besitzt besonders große Lösungsfähigkeit für Azetylzellulose, wurde daher während des Krieges zur Herstellung von Cellonlacken gebraucht, wegen seiner stark giftigen Wirkung aber bald verboten.
Siedepunkt: 147° C.
- γ) Trichloräthylen, nicht brennbar, farblose Flüssigkeit, deren Dämpfe sehr schädlich sind.
Siedepunkt: 88° C.

Die Harze. Bietet schon die Erkennung der Lacklösungsmittel, wie erwähnt, in Anbetracht ihrer Zahl und ihrer teilweisen großen Ähnlichkeit für den Anfänger gewisse Schwierigkeiten, so ist dies in weit größerem Maße der Fall bei der Bestimmung der zur Lackherstellung verwendeten Harze. Wieder von dem Grundsatz ausgehend, daß die Prüfung eines Isolierlackes auf seine technischen Eigenschaften und nicht auf seine chemische Zusammensetzung in erster Linie maßgebend ist, wird die Untersuchung eines Lackes auf die Art des zu seiner Herstellung verwendeten Harzes nur selten erfolgen und sich gegebenenfalls auf einfache Nachweise gewisser Erkennungsmerkmale beschränken.

Auch die Zahl der Harze ist sehr groß; sie zerfallen in die beiden Hauptgruppen:

1. Natürliche Harze (Bernstein, Dammar, Kopal, Terpentin, Drachenblut, Mastix, Sandarak, Schellack).

2. Kunstharze, die entweder als sog. „Kondensationsharze“ durch Einwirkung von Phenolen (Karbolsäure und dieser verwandte Chemikalien) auf Aldehyde (Polymerisationsprozeß) oder aus den Erzeugnissen der Steinkohlen-, Holz- und Braunkohlenteerdestillation hergestellt werden. Die Kondensationsharze sind nur alkohollöslich, sie werden daher überwiegend zu festen Isolierstoffen verarbeitet.

Von den Teererzeugnissen ist am wichtigsten das Kumaronharz, dessen Urstoff Kumaron durch Behandeln von Solventnaphtha (s. S. 239) mit Schwefelsäure entsteht. Dies schon vor dem Kriege verwendete Harz erlangte durch das Fehlen ausländischer Rohstoffe während des Krieges besondere Bedeutung für die Lackindustrie und wurde wegen des wesentlich gesteigerten Bedarfes zwangsweise bewirtschaftet. Kumaronharze sind in Terpentinöl, Benzol und seinen Verwandten, Solventnaphtha, Azeton, Tetrachlorkohlenstoff, Trichloräthylen löslich; auch in Benzin, aber nur unter Zusatz von Benzol oder Solventnaphtha. Nach Härte bzw. Konsistenz und nach Farben hat der Kriegsausschuß für Öle und Fette seinerzeit 30 Sorten von Kumaronharzen unterschieden, deren Erweichungsgrad zwischen 60 und 80° C liegt.

Zur Unterscheidung der Harze, wenigstens in bezug auf ihre Herkunft, gibt der Geruch des vom Lösungsmittel vollständig befreiten Harzes bei seiner Verbrennung einen Anhalt. Während die natürlichen Harze zumeist angenehm aromatisch oder auch siegellackartig riechen, erkennt man die Kondensationsharze an ihrem karbolartigen und die Teererzeugnisse an ihrem Pech- oder Teergeruch.

Außerdem gibt Wagner¹⁾ noch folgende Proben zur Erkennung verschiedener Harze an:

1. Unlöslich oder nur schwerlöslich in Terpentinöl, leicht löslich in Alkohol, unlöslich in fetten Ölen und schwer- bis unlöslich in Kohlenwasserstoffen,
 - schmilzt schwer oder gar nicht Phenolharze,
 - leicht löslich in Alkohol mit roter Farbe,
 - löslich in Benzol Drachenblut.
2. Löslich in Terpentinöl.
 - a) Schmilzt oder erweicht bei Wasserbadtemperatur. Harz gelblich bis dunkelbraun, kaum löslich in Alkohol und aliphatischen Kohlenwasserstoffen, leicht löslich in Benzolkohlenwasserstoffen.
 - Erweichungspunkt 30—50° C.
 - Schmelzpunkt 50—70° C Kumarone
 - Harz weißlich gelb,
 - löslich in heißem Alkohol,
 - beim Verbrennen stark aromatisch riechend . . . Mastix.
 - Harz gelb, zähflüssig, klebrig,
 - löslich in Alkohol,
 - beim Verbrennen Siegellackgeruch Terpentin.

¹⁾ Wagner: Über die Analyse von Farblacken und Farbgemischen. Farbenzeitung vom 16. 8. 1919.

Harz gelb bis bräunlich,
 löslich in Alkohol,
 beim Verbrennen pechartig riechend,
 Erweichungspunkt etwa 70° C Kolophonium.

Harz braun,
 leicht löslich in Alkohol oder heißer Boraxlösung,
 leicht schmelzend,
 beim Verbrennen siegellackartig riechend . . . Schellack.

Harz schwarz, sehr leicht erweichend,
 in Alkohol teilweise, in Benzol gut löslich,
 Geruch bituminös Asphalt.

b) Schmilzt nicht bei Wasserbadtemperatur.

Teilweise löslich in Alkohol, löslich in Benzol und fetten Ölen,
 auch etwas in Benzin,
 farblos bis gelb,
 beim Verbrennen zuerst süßlich-kratzend, dann pechartig
 riechend,
 Schmelzpunkt etwa 120° C Dammar.

Teilweise löslich in Alkohol,
 löslich in Amylalkohol und fetten Ölen,
 beim Verbrennen scharf süßlich riechend,
 Schmelzpunkt 180° C Kopal.

Nicht unerwähnt bleiben soll, daß oft mehrere Harze, und zwar auch natürliche mit künstlichen untereinander gemischt werden, wodurch die Untersuchung noch erschwert wird.

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 Stoffe 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 sollten.

Bei Ölen wird man unter Widerstandsmessungen nur den Durchgangswiderstand bestimmen, obgleich dieser nur von untergeordneter Bedeutung ist; ferner ist die Dielektrizitätskonstante und die Dämpfung

nur dann festzustellen, 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 besonders 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 und die Frostbeständigkeit, 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 es 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 Probestplatten durch Gießen hergestellt werden.

Hierher gehört auch die Feststellung, ob Feuchtigkeit sich auf der Oberfläche des Werkstoffes 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 der Güte wird man zu berücksichtigen haben, ob der Werkstoff 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 zwei Elektroden, die in einem Abstand von etwa 5 mm parallel 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 Cellon sein kann, kleinere Proben untersucht werden können, zeigt Abb. 128.

Zur Prüfung des elektrischen Widerstandes gießbarer Isolierstoffe dient auch das in Abb. 129 wiedergegebene Gerät nach Dr. Planer.

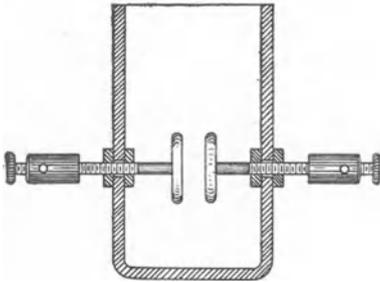


Abb. 128. Vorrichtung zur Widerstandsmessung von Ölen.

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. 130.

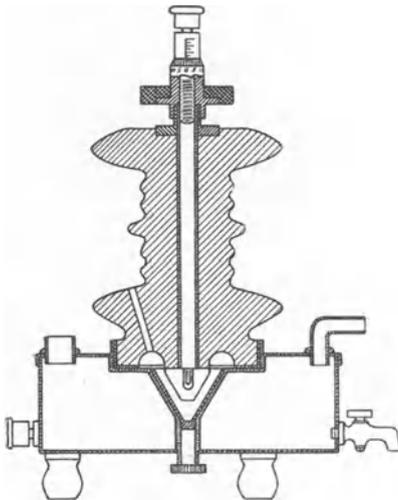


Abb. 129. Widerstandsmeßgerät für Vergußmassen nach Planer.

Die Messung erfolgt nun genau wie bisher üblich. Der Kondensator wird erst als Luftkondensator mit dem aufgesetzten Blechkasten und den Kämmen gemessen, sodann erfolgt das Vergießen desselben bis über die Oberkante der Platten und nach dem Erkalten die zweite Messung.

Dielektrizitätskonstante. Die Dielektrizitätskonstante wird bestimmt bei Ölen und Vergußmassen mit derselben elektrischen Prüfungsanordnung 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

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 Kämmen 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

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

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

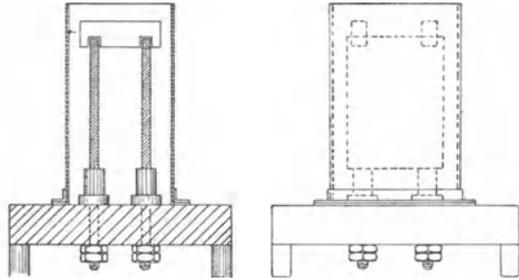


Abb. 130. Vorrichtung zur Messung der Dielektrizitätskonstante.

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. 76 zeigt, an Stelle der Kondensatoren 9 und 10 sind zwei mechanisch und elektrisch ganz gleichartige Spulen aus Emaillelitze 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 veränderlicher Kondensator einzuschalten.

Der Meßvorgang ist genau der gleiche, wie vorn bei der Dämpfungsmessung beschrieben. Abb. 131 zeigt die Abweichung gegen das Schaltbild 76.

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; man benutzt Versuchsplatten, die durch Gießen des zu untersuchenden Materials oder Begießen mit demselben hergestellt sind. Auch hier erfolgt die Untersuchung an Platten verschiedener Stärke oder Auftragungen.

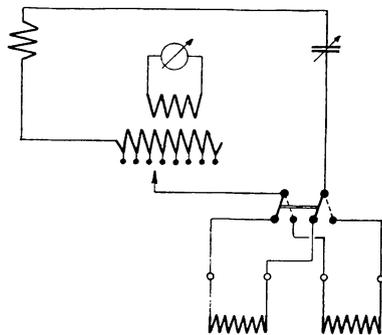


Abb. 131. Schema der Dämpfungsmessung.

Die Durchschlagsfestigkeit der Öle ist in hohem Grade abhängig von dem Wassergehalt derselben, und es können aus der Höhe der Durchschlagsfestigkeit bis zu einem gewissen Grad Schlüsse auf den Wassergehalt gezogen werden. Einen ähnlich ungünstigen Einfluß haben Verunreinigungen (Staub, Fasern u. dgl.). 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 Öls im Vakuum bei wesentlich niedrigerer Temperatur, wie z. B. in den französischen Prüfvorschriften für Transformatorenöl angegeben (s. S. 221). Nach Tobey erfolgt die Entfeuchtung am besten mit Hilfe von Filtrierpapier, durch welches das Öl durchgepreßt wird.

Seit dem Erscheinen der ersten Auflage des vorliegenden Buches hat sich die Forschung in lebhafter Weise mit der Frage der elektrischen Festigkeit von Isolierölen beschäftigt. Erwähnt seien u. a. die Arbeiten von Friese¹⁾, Zipp²⁾, ferner von Hirobe und Wedmore³⁾, sowie ein Bericht in der „Electrical World“⁴⁾ über Versuche der Amerikanischen Gesellschaft für Materialprüfungen, betreffend den „Einfluß von Abstand, Art der Funkenstrecke, Temperatur u. a. m. auf Spannungsversuche mit Öl“. Die Ergebnisse der Untersuchungen und die daraus gefolgerten Schlüsse widersprechen sich zum Teil; dies rührt von den verschiedenen Versuchsbedingungen her, unter denen die Öle geprüft wurden, und beweist, daß eine ganze Reihe Faktoren, die man bisher nicht gebührend berücksichtigte, von erheblichem Einfluß auf die Durchschlagsfestigkeit der Öle sind.

Übereinstimmend ist festgestellt, daß nicht nur der Wassergehalt des Öles, sondern auch mikroskopisch kleine Fasern und amorphe Stoffgebilde, die nach Zipp harzartiger Natur zu sein scheinen, vermindernd auf die Durchschlagsfestigkeit der Öle einwirken.

Die zur vollständigen Entwässerung des Öles angewendete Erhitzung darf nicht bei zu hoher Temperatur erfolgen, da sich sonst teerartige Stoffe ausscheiden, die die Werte wieder herabsetzen. Nach den umfangreichen Versuchen von Zipp liegt die günstigste Temperatur zur Entwässerung bei 110° C; vorteilhafter ist jedoch, wie bereits erwähnt, die Trocknung im Vakuum bei nur 60° bis 80° C.

Die Wasseraufnahme des Öles aus der Luft hat nach den Untersuchungen von Friese eine bedeutende Verschlechterung der elektrischen Eigenschaften zur Folge. Ein Öl, das nach einem besonderen Verfahren vollkommen entfeuchtet war und eine hohe Durchschlagsfestigkeit hatte, verlor durch dreitägiges Stehen in einem Raume mit

¹⁾ Friese: Über Durchschlagsfestigkeit von Isolierölen. Wissenschaftl. Veröffentlichl. a. d. Siemens-Konzern 1921, H. 2.

²⁾ Zipp: Zur Frage der elektrischen Prüfung von Transformatoren- und Schalterölen. Mitt. Vereinigg. El.-Werke Nr. 320, Sept. 1922.

³⁾ Hirobe u. Wedmore: Electr. 1921.

⁴⁾ Ölprüfung. El. World Bd. 78, Nr. 15 vom 8. 10. 1921.

80% relativer Luftfeuchtigkeit rund 59 vH, nach 8 Tagen rund 80 vH und nach 13 Tagen rund 84 vH der ursprünglichen Festigkeit.

Die Beseitigung gröberer Fasern und anderer Stoffe durch Filtern erhöht, wie verschiedene Forscher festgestellt haben, die Durchschlagsfestigkeit; eine vollkommene Entfernung der kleinsten Teile ist jedoch nur durch besondere kolloidale Filter möglich. So behandelte Öle vertragen bedeutend höhere Spannungen. Hirobe führt vorzeitige Durchschläge weder allein auf die Feuchtigkeit des Öles noch auf die Verunreinigungen an sich, sondern auf die Hygroskopizität dieser Verunreinigungen zurück.

Die Untersuchungen von Friese erstrecken sich auch auf den Einfluß des Luftdruckes und der Temperatur.

Die Fragen der einwandfreiesten Elektrodenform, ihrer Abmessungen, des Abstandes derselben, der Aufeinanderfolge mehrerer Durchschläge, des Umlaufs des Öles an den Elektroden und des Spannungsanstieges sind noch nicht restlos geklärt. Zweckmäßig ist der Abstand der Elektroden nicht unter 0,5 cm zu wählen; als Elektrodenformen sind Platten oder Kugeln üblich, während von der Benutzung von Spitzen oder Spitze gegen Platte abzusehen ist.

Die noch bestehenden Mängel in der Prüfung der dielektrischen Stärke von Öl haben dann auch Veranlassung gegeben, die in den „Vorläufigen technischen Bedingungen für Transformatoren- und Schalteröle der Vereinigung der Elektrizitätswerke von 1921“ aufgenommene Vorschrift, nach der die Öle eine Durchschlagsfestigkeit von 40 000 V zwischen zwei Kugeln von 12,5 mm im Abstand von 5 mm haben sollten, in der endgültigen Fassung von 1922 wieder zu streichen.

In den auf S. 187 aufgeführten französischen Bedingungen für Transformatorenöl wird jedoch eine dielektrische Stärke für Transformatorenöl von mindestens 40 000 V Wechselstrom vorgeschrieben, die zwischen zwei Kugeln von 12,5 mm im Abstand von 5 mm in dem in Abb. 132 gezeigten Gerät¹⁾ ermittelt werden soll. Die untere Elektrode dieser Vorrichtung befindet sich in einem zylindrischen Metallsockel, der einen mit Gummi gedichteten ringförmigen Ansatz zur sicheren Befestigung

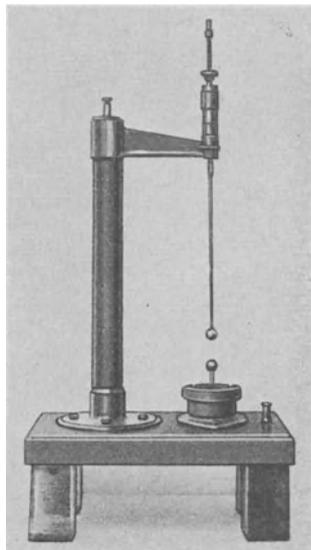


Abb. 132. Funkenstrecke für Öldurchschlagsprüfungen (nach französischer Vorschrift).

¹⁾ Aus *Rév. Gén. de l'Electr.* 1920.

eines Glasgefäßes für die Aufnahme des Versuchsöls hat. Die obere Elektrode ist in einer Führung mit Mikrometerschraube verschiebbar angeordnet, die eine genau unterteilte Skala zur richtigen Einstellung des Elektrodenabstandes trägt und das Ende der Elektrode durch eine Klemmschraube festhält. Die Gummidichtung wird natürlich nach kurzer Gebrauchsdauer durch das Öl zerstört werden.

Verzeichnis

der benutzten oder angezogenen Schriftwerke.

- American Drop. Forger. Jan.-Febr.-Heft 1921, S. 66—69 u. 131—134.
Amerikanische Porzellan-Prüfungsvorschriften. Katalog der Jeffery-Dewitt Insulator Co. Huntington 1920.
Bach: Elastizität und Festigkeit. Springer 1920.
Baekeland: Phenol-Formaldehyd-Kondensationsprodukte. Chem.-Ztg. 1912, Nr. 128.
— Bakelit, ein neues synthetisches Harz. Chem.-Ztg. 1909, Nr. 35.
Berndt: Die Härte der Körper. Monatsbl. d. Berlin. Bez.-V. d. I. 1920, H. 9.
— Mitteilungen aus dem mechanischen Laboratorium der Optischen Anstalt C. P. Goerz, Berlin-Friedenau. Verhandl. d. dtsh. physikal. Gesellsch. XIX. Jg., Nr. 23—24.
Chemische Untersuchung gummiisolierter Leitungen. Analysenverfahren der Underwriters Laboratories. Chem.-Ztg. 1922, Nr. 104.
v. Dallwitz-Wegener: Die synthetische Berechnung geschmierter Lager. Zeitschr. f. techn. Phys. 1922, H. 1, S. 21.
— — Über neue Wege zur Untersuchung von Schmiermitteln. Oldenbourg 1919.
— — Das Wesen der Kapillarität, ihre Beziehungen zur Schmierergiebigkeit der Schmieröle. Petroleum 1920, H. 8 u. 9.
— — Die Messung der Oberflächenspannung von Ölen. Zeitschr. f. angew. Chem. 1921, Nr. 66, S. 433.
— — Zur Schmierölprüfung auf Grund der kapillaren Eigenschaften der Schmiermittel. Petroleum 1921, S. 849.
Dammer u. Tietze: Die nutzbaren Mineralien. Encke 1914.
Dampfturbinenschmierung. Mitt. d. Ver. dtsh. Elektrizitätsw. 1920, Nr. 303.
Demuth: Festigkeitsuntersuchungen an technischem Porzellan. ETZ 1920, S. 891.
— Die Entwicklung der Isolatoren für drahtlose Telegraphie. Zeitschr. f. Hochfrequenztechn. 1922, H. 4.
— Die mechanisch-technische Werkstoffprüfung in der Porzellanfabrikation. ETZ 1922, S. 605.
Dieterich: Über sumatranisches Palmendrachblut, Dissertation. Arch. f. Pharmaz. Bern 1896.
Dölter-Rieke: Mineralchemie Bd. 2, S. 118.
Duffing: Über Reibungsversuche und Reibungsmessung unter Bezugnahme auf die Verwendung von Schmiermitteln. Stahl u. Eisen 1922, H. 25, S. 982.
Ehrenberger: Die Kerbschlagprobe im Materialprüfungswesen. Dtsch. Verb. f. d. Materialprüf. d. Technik 1907.
Forschungsarbeiten aus dem Gebiete des Ingenieurwesens H. 75.

- Friese: Über Durchschlagsfestigkeiten von Isolierölen. Wissenschaftl. Veröffentl. d. Siemens-Konzerns 1921, H. 2.
 — Das Porzellan als Isolier- und Konstruktionsmaterial der Elektrotechnik. 1904.
 Geisler: Über die Verwendung des künstlichen Kautschuks für elektrische Leitungen. Forsch.-Arb. H. 250.
 Gewecke u. Krokowsky: Elektrodengrößen und Durchschlagsspannungen bei Prüfung dünner Isolierstoffe. Arch. f. Elektrot. Bd. 3 u. 4, 1914.
 Grau: Durchschlagsspannung und Temperatur. El. u. Maschinenb. 1908, S. 579.
 Greiner: Unsere Isolier-Abteilung, Bosch-Zünder 1921, H. 9.
 Grüneisen u. Griebe: Anwendung des Dreiplattenkondensators zur Bestimmung der Dielektrizitätskonstante fester Körper. ETZ 1913, S. 445.
 Gümbel: Der heutige Stand der Schmierungsfrage. Forschungsarbeiten 224.
 Günther u. Schulze: Die dielektrische Festigkeit von Gasen, Flüssigkeiten und festen Körpern. Helios 1920, Nr. 34 u. 35.
 Hegemann: Die Herstellung des Porzellans. 1904.
 Heinke: Zur Bestimmung der Energieverluste im Dielektrikum. ETZ 1922, S. 200.
 Hertel: Ausführung von Hochspannungs-Prüfanlagen. Siemens-Zeitschr. 1921, S. 352.
 Hilliger: Die Schmierung von Dampfzylindern mit Ölemulsion. Zeitschr. d. V. d. I. 1921, S. 248.
 Hirobe u. Widmore: Electr. 1921.
 Holde: Über einige Erfahrungen in der Ölprüfung. Petroleum 1922, S. 853.
 — Untersuchung der Kohlenwasserstofföle und Fette. Springer 1917.
 Hütte: Des Ingenieurs Taschenbuch.
 Italienische Porzellan-Prüfvorschriften. Italien. Elektrot.-Verein. A. E. I. L'Elettrotecnica Bd. 8, 1921, Nr. 9.
 Jordan: Messung dielektrischer Verluste an faserigen Isolierstoffen. ETZ 1911, S. 127.
 Kastalsky: Über Kabelmuffenausgußmassen. Mitt. d. Ver. dtsh. Elektrizitätswerke 1922, Nr. 310.
 Kissling: Laboratoriumsbuch für die Erdölindustrie. Knapp.
 Lebuch: Bakelit und seine Verwendung. Chem.-Ztg. 1913, Nr. 73 u. 75.
 Martens I: Handbuch der Materialkunde für den Maschinenbau. Springer 1898.
 Martens - Heyn: Materialkunde für den Maschinenbau IIa, S. 415.
 Martens u. Guth: Denkschrift zur Eröffnung des Kgl. Material-Prüfungsamtes in Berlin-Lichterfelde. 1904.
 Memmler: Material-Prüfungswesen. Göschen.
 Mitan: Ein neuer Material-Prüfungsapparat. Betrieb 1921, H. 26.
 Mitteilungen d. Ver. dtsh. Elektrizitätswerke Nr. 291, S. 186.
 Mohr: Die Glimmerfunde in Deutsch-Österreich. El. u. Maschinenb. 1921, H. 19.
 Ölprüfung. El. World Bd. 78, Nr. 15 v. 8. X. 1921.
 Peaslee Journ. Am. Electr. Eng. Bd. 39, Mai 1920.
 Petersen: Hochspannungstechnik.
 Pungs: Untersuchungen über das dielektrische Verhalten flüssiger Isolierstoffe bei hohen Wechselspannungen. Arch. f. Elektrot. Bd. 1.
 Raskop: Die Verwendung der Cellonlacke in den Instandsetzungswerkstätten für elektrische Maschinen. Die elektr. Masch. v. 28. II. 1921.
 Reubold: Die Material-Prüfungsanstalt einer neuzeitlichen Maschinenfabrik. Hanomag-Nachrichten III, 1916, H. 8.
 Rev. gén. électr. 1920.
 Richtlinien für den Einkauf und die Prüfung von Schmiermitteln. Stahl Eisen, Düsseldorf.

- Rieke: Das Porzellan. Jaenicke, Hannover.
- Rieke u. Gary: Die Prüfung von Porzellan. Berichte d. D. K. G. 1922.
- Rosenthal: Die mechanischen Eigenschaften keramischer Massen und exakte Prüfungsmethoden. Ber. d. techn.-wissenschaftl. Abt. d. Verb. keram. Gewerke Bd. 5, H. 5. 1919.
- Rosenthal u. Singer: Die mechanischen Eigenschaften des Porzellans und exakte Prüfungsmethoden. ETZ 1920, S. 705.
- Rudeloff: Normblattentwürfe 1581. Masch.-B.-Ztg. 1922, S. 486—487.
- Schlüter: Über die Bildung von Ölrückständen in Zylindern und Lagern von Dampf- und Kraftmaschinen. Chem.-Ztg. 1913, Nr. 22.
- Schuchardt u. Schütte: Härteprüfer. Anweisung 10.
- Schwaiger: Über die Prüfung der elektrischen Eigenschaften von Isoliermaterialien. Mitt. d. Hochsp.-Labor. d. T. W. Karlsruhe.
- Lehrbuch der elektrischen Festigkeit von Isoliermaterialien. Springer 1920.
- Über die Ermittlung der Durchschlagsfestigkeit von hygroskopischen Isoliermaterialien. Arch. f. Elektrot. Bd. 3.
- Singer: Die Zähigkeit keramischer Isolierstoffe der Elektrotechnik. Elektro-Journal 1. Jg. 1921.
- Singer u. Rosenthal: Die physikalischen Eigenschaften des Porzellans. Ber. d. dtsh. K. G. Bd. 1, H. 3. 1920.
- Stern: Transformatoren- und Schalteröle. ETZ 1922, S. 140.
- Stock: Werkzeuge zur Herstellung von Formstücken aus Isolationsmaterial. Werkst.-Techn. 1920, H. 1.
- Streubel: Über Verfahren zur Beurteilung der Isolationsschicht bei emaillierten Feindrähten. Siemens-Zeitschr. Juli/Aug. 1921.
- Ubbelohde: Tabellen zum Englerschen Viskosimeter. Hirzel, Leipzig.
- Verhalten von Transformatoren- und Schalterölen bei tiefen Temperaturen und die Kälteprüfung der Öle. Zeitschr. d. V. d. I. 1922, S. 809 u. 810.
- Vorschriften der Ver. dtsh. Elektrizitätswerke in ETZ 1912, S. 452 u. 455; 1913, S. 79 u. 688; 1914, S. 399; 1921, S. 500 u. 579; 1922, S. 32, 446—450, 655, 858, 1348.
- Wagner, K. W.: Die elektrischen Eigenschaften verschiedener Isolierstoffe. Arch. Elektrot. Bd. 3 u. ETZ 1915, S. 111.
- Zur Messung dielektrischer Verluste mit der Wechselstrombrücke. ETZ 1911, S. 1001.
- Wagner: Über die Analyse von Farblacken und Farbgemischen. Farbenzeitung v. 16. VIII. 1919.
- Waza u.: Eine neuartige Festigkeitsmaschine. Zeitschr. d. V. d. I. 1919, S. 79.
- Neue Kraftmesser für Festigkeitsprüfungen. Forsch.-Arb. f. Ing. H. 3, Reihe M.
- Weber: Erläuterungen zu den Vorschriften für die Errichtung und den Betrieb von Starkstromanlagen. Springer 1921.
- Weicker: Vortragsreihe des V. d. E. über Isolierstoffe. T. H. Charlottenburg.
- Wiegand: Über die Verwendung von zellonierten Drähten. Vortrag, Essen 1921.
- Zacher: Praktische Radiometallographie. Zeitschr. f. Feinmechanik 1922, H. 3/5.
- Zeitler: Glimmer. Verlag Jaroslaw.
- Zeitschr. f. Instrumentenkunde 1913, H. 3.
- Zipp: Handbuch für die elektrische Hochspannungstechnik. Leiner 1917.
- Zur Frage der elektrischen Prüfung von Transformatoren- und Schalterölen. Mitt. d. Ver. dtsh. Elektrizitätswerke 1922, Nr. 320.

Sachverzeichnis.

- Abnahmebestimmungen für Materialprüfmaschinen 47.
Abnutzung durch Sandstrahl nach Gary 71.
Adhäsion von Ölen 191.
Adit 159.
Äternit 159.
Äthylalkohol 239.
Agalit 160.
Alkali in Ölen 226.
Alterung 82.
Ambroin 161.
Amianit 161.
Angriffsvermögen von Ölen 223.
Arbeitsplan 1.
Asbest 121.
Asbestzement 162.
Aschegehalt in Ölen 185, 198.
Asphaltgehalt in Ölen 194, 195, 197, 226.
Asphaltlack 233, 242.
Ausdehnungskoeffizient 83.
— von Ölen 203.
Ausdehnungsmeßgerät nach Leman-Werner 85.
Australit 162.
Azeton 240.
- B**akdura 162.
Bakelit 162.
Basalt 122.
Bearbeitungsmöglichkeiten 6.
Benzol 238.
Bernstein 240.
Biegefestigkeit 54.
Biegsamkeit 62.
Bikarton 164.
Bituba 164.
Bolzenkraftprüfer 44.
Brennpunkt von Ölen 192, 198, 212.
Bruchdehnung 13.
- Cellon 165.
Cellonlack 199.
- Chlorierte Kohlenwasserstoffe 240.
Cornit 165.
- D**ammar 242.
Dampfmaschinenöle 194, 218.
Dampfturbinenöle 196, 219.
Dämpfung 113, 245.
Dehnung δ 8.
Dehnungsmesser 46.
Dickenbestimmung 86.
Dickenmesser 87.
Dielektrizitätskonstante 111, 244.
—, Übersichtstafel 113.
Dieselmotorenöle 197.
Drachenblut 241.
Dracorubinprobe 237.
Druckerzeugung, hydraulische 22.
Druckfestigkeit 47.
Druckmaschinen 52.
Druckmessung durch Meßdose 32.
— im Zylinder 31.
Druckumformer 24.
Durchgangswiderstand 107, 243.
Durchschlagsfestigkeit 99, 245.
— von Ölen 184, 187.
Durax 166.
- E**burin 166.
Einspannvorrichtungen 38.
Eisengummi 166.
Elastizitätsmodul 9.
Elektr. Antriebe für Prüfmaschinen 16.
— Lokomotiven (Öl) 193.
— Prüfung fester Isolierstoffe 93.
— von Ölen 242.
Elektromotorenöl 192, 193.
Emulgierbarkeit von Ölen 197, 219.
Emulsionsschmierung 195.
Entfärbungsgrad von Öl 187, 188.
Erwärmung unter Spannungseinwirkung 103.
Erweichungspunkt von Vergußmassen 233.
Eshalit 167.
Eswelit 169.

- Fallbär** 62.
Falzbiegefestigkeit 63.
Faturan 170.
Federwagen 27.
Feldspat 137.
Fermit 170.
Feste Isolierstoffe, Eigenschaften 120.
Festigkeitslaboratorium 90.
Festonit 170.
Fette, konsistente 189, 193, 198, 232.
Feuersicherheit 80.
Flammpunkt von Ölen 184, 185, 194, 197, 198.
Flammpunktprüfer nach Marcusson 209, 210.
 — nach Pensky-Martens 211.
 — nach Luchaire 212.
Fließgrenze 9.
Flüssigkeitsgrad von Ölen 184, 190, 197, 198, 204.
Fragebogen für feste Isolierstoffe 3.
Frostbeständigkeit 75.
Futurit 171.
- Galalith** 171.
Glas 132.
Glimmer 122.
Graphitschmierung 196.
Gummi 171.
Gummiasbest 172.
Gummoid 173.
Gummon 173.
- Haberer Prüfgerät** 44.
Haresplatten 174.
Hartgummi 174.
Härte 64.
Harze 198, 240.
Harzöl 185, 224.
Handantrieb bei Prüfmaschinen 16.
Hebelwagen 29.
Heliosit 175.
Heißdampfzylinderöle 193, 195.
Heißlagerfette 198.
Hirth-Minimeter 87.
Hochspannungs-Prüfanlage 95.
Holz 130.
Hydraulischer Antrieb bei Prüfmaschinen 21.
Hydraulische Druckerzeugung 22.
 — **Kraftmessung** 31.
Hydrieren von Teerölen 189.
- Innerer Widerstand** 109.
Isolierlacke 182, 198, 233.
Isolierstoffe, feste 120.
 —, **flüssige** 182.
- Kältepunkt von Öl (s. Stockpunkt).**
Kaolin 136.
Kapillarität von Ölen 191.
Karton 175.
Keramische Stoffe 132.
Keßner-Bohrmaschine 7.
Kienöl 238.
Knickfestigkeit 52.
Kohlenwasserstoffe, chlorierte 240.
Kolophonium 242.
Komparator nach Zeiß 83.
Kompressoröle 193.
Kondensationsharze 241.
Konsistente Fette 189, 198, 208.
Konsistenzmesser 208.
Kopal 242.
Kraftmessung 27.
 — durch **Hebelwagen** 27.
 — durch **Meßdose** 32.
 — durch **Wazau-Kraftprüfer** 35.
 — durch **Säulendehnung nach Amsler** 36.
Kugelfallprobe 67.
Kugelschlaghammer 67.
Kumaron 241.
Kunstharze 240, 241.
Kunststoffe 159.
- Lackbenzin** 238.
Lacke 198, 233.
Lasterzeugung für Prüfmaschinen 15.
Laufgewichtswagen 30.
Leatheroid 176.
Leinwand 176.
Leman-Werner-Ausdehnungsmesser 85.
Lieferungsbedingungen für Dampfturbinenöle 196.
 — für **Transformatoren- und Schalteröle** 183 ff.
 —, **französische** 186.
Lithogen 176.
Lonarit 177.
Lösungsmittel für Lacke 198, 236.
- Marmor** 130.
Martens-Spiegelgerät 40, 83.
Maschinelle Ölprüfung 231.
Mastix 241.

- Mechanisch-technologische Prüfungen 6.
 Megohmit 177.
 Megotale 177.
 Melalith 157.
 Meßdose 32.
 Meßgeräte 40.
 Meßlänge *l* 8.
 Metallviskosimeter 207.
 Methylalkohol 79, 239.
 Mikanit 177.
 Mineralöle 184.
 Mineralsäure 185, 222, 223.
 Minimeter 87.

 Nikolsonsche Wage 89.
 Normalstäbe des deutschen Verb. f. d.
 M.-Prfg. d. T. 10.
 Normung von Ölen 184, 186, 193.
 — von Isolierlacken und Vergußmas-
 sen 200.

 Oberflächenspannung von Ölen 191.
 Oberflächenwiderstand 104, 243.
 Ölbeständigkeit von Lacken und Ver-
 gußmassen 235.
 Öllacke 198, 235.
 Ölprüfmaschinen 231.
 Ölsäure 222.
 Optimeter von Zeiß 88.
 Optische Prüfung von Ölen 225.

 Pendelmanometer von Amsler 25.
 Peralit 178.
 Pertinax 178.
 Phenolharze 240, 241.
 Physikalische Prüfungen fester Stoffe 73.
 Pilit 179.
 Polarisationsgerät 225.
 Porzellan 135.
 Preßflüssigkeit 21.
 Probeentnahme von Ölen 186, 200.
 Proportionalitätsgrenze 12.
 Proportionalstäbe des deutschen Ver-
 bandes 11.
 Prüfscheinvordruck 13.
 Prüfmaschinen 14.
 Abnahmebestimmungen 47.
 Bauart 14.
 Kraftmessung 27.
 Lastausübung (Erzeugung) 15.
 Preßflüssigkeit 21.
 Vergleichsmeßgeräte 40.
 Prüfung von Ölen und Lacken 200.
- Prüfung, optische, von Ölen 225.
 —, mechanische, von Ölen 231.
 Pyrostat 179.

Quartz 138.
 Querschnittsverminderung 9.

Randwinkel 191.
 Reibung, innere, von Ölen 190.
 Reibungskoeffizient von Ölen 190.
 Reibungskonstante von Schmierölen
 232.
 Reinheit von Ölen 220.
 Repelit 179.
 Resistan 179.
 Rhadoonit 180.
 Riemenantriebe für Prüfmaschinen 16.
 Ritzhärte 69.
 — von Lacken 70, 234.
 Röntgenprüfung 117.
 Rückstandsbildung von Ölen 186, 187,
 194, s. a. Verteerungszahl 197.

Sandarak 240.
 Sandstrahlprüfung nach Gary 71.
 Sattdampfzylinderöle 195.
 Säurebeständigkeit 81.
 — von Lacken und Vergußmassen
 235.
 Säuregehalt von Ölen 185, 187, 197,
 222.
 Säurezahl von Ölen 185, 197, 223.
 Schalteröle 183.
 Schaubildzeichner 46.
 Schellack 242.
 Scherfestigkeit 72.
 Schiefer 132.
 Schlagbiegefestigkeit 58.
 Schlagzugfestigkeit 62.
 Schmelzpunkt von Vergußmassen 200,
 233.
 Schmieröle 189, 224, 226, 230.
 Schmierwert von Ölen 232.
 Schwefelgehalt von Ölen 225.
 Schwefelsäure in Ölen 222, 223.
 Siedeverlauf 236.
 Solventnaphtha 239.
 Sommeröle 193.
 Spannungsgrenze σ 9.
 Specksteinmassen 157.
 Spezifisches Gewicht 88.
 — —, Tafel 89.
 — — von Ölen 184, 197, 202, 225.

- Spezifisches Gewicht von Isolierlacken und Vergußmassen 233, 236.
 Spiegelgerät nach Martens 40, 83.
 Stabil 180.
 Steatit 157.
 Stecolith 157.
 Steinzeug 159.
 Stockpunkt von Ölen 184, 185, 187, 197, 213.
 Straßenbahnmotoren, Schmierung von 193.

Teeröle 189.
 Teerzahl (s. Verteerungszahl).
 Tenacit 180.
 Terpentin 241.
 Terpentinöl 238.
 Tetrachlorkohlenstoff 240.
 Tetrachloräthan 240.
 Tetralin 189.
 Toluol 239.
 Transformatorenöle 183, 201.
 Trichloräthylen 240.
 Triebwagenmotoren, Schmierung von 193.
 Trockensubstanzaufnahme von Lacken 199, 235.
 Tropfpunkt von Fetten 198, 217.
 Turbinenöle 196 219.
 Turbonit 180.

Verbrennungsmotoren, Schmierung von 197.
 Verdampfbarkeit von Ölen 187, 219.
 Verdrehungsfestigkeit 71.
 Vergußmassen 198, 199, 200, 233.

 Verhalten in warmem Wasser 79.
 Verlängerung λ 8.
 Verteerungszahl von Ölen 185, 197.
 Verunreinigung, mechanische, von Ölen 201.
 Viskosimeter nach Engler 190, 204.
 — nach Holde 207.
 — nach Martens 205.
 — nach Ubbelohde 206.
 Viskosität (s. Flüssigkeitsgrad).
 Vulkoasbest 181.
 Vulkanfiber 181.

Wagen-Kraftmessung 27.
 Wärmebeständigkeit 73.
 Wasseraufnahme 76.
 Wasserbeständigkeit von Lacken und Vergußmassen 235.
 Wassergehalt von Ölen 185, 220.
 Wazau-Kraftprüfer 35.
 Westphalsche Wage 89.
 Wetterbeständigkeit 82.
 Widerstandsmessung 104, 107, 109, 243.
 Winteröle 193.

Xylol 239.

Zähigkeit von Ölen 190.
 Zähigkeitsmesser (s. a. Viskosimeter) 191, 192, 204.
 Zeiß-Komparator 83.
 Zugfestigkeit 7.
 Zylinderöle für Dampfmaschinen 194, 195, 204, 218.
 — für Verbrennungsmotoren 197.

Vorschriften und Normen des Verbandes Deutscher Elektrotechniker.

Herausgegeben von dem Generalsekretariat des VDE. Elfte Auflage. Nach dem Stande am 31. Dezember 1922. 1923. Gebunden GZ. 6.5

Vorschriften für die Konstruktion und Prüfung von Installationsmaterial. (Dosenschalter, Steckvorrichtungen, Sicherungen mit geschlossenem Schmelzeinsatz, Fassungen und Lampenfüße, Edisongewinde, Nippel, Handlampen, Rohre, Verteilungstafeln.) Gültig ab 1. Juli 1922. (Sonderabdruck aus „Vorschriften und Normen des VDE.“ 11. Auflage.) 1923.

1 Exemplar GZ. 1; 10 Exemplare GZ. 9; 25 Exemplare GZ. 20

Erläuterungen zu den Vorschriften für die Konstruktion und Prüfung von Installationsmaterial, den Vorschriften für die Konstruktion und Prüfung von Schaltapparaten für Spannungen bis einschl. 750 V und den Normalien über die Abstufung von Stromstärken und über Anschlußbolzen. Im Auftrage des Verbandes Deutscher Elektrotechniker herausgegeben von **Georg Dettmar**, Generalsekretär des Verbandes. Mit 46 Textabbildungen. Unveränderter Neudruck. 1922. GZ. 3.6

Erläuterungen zu den Normalien für Bewertung und Prüfung von elektrischen Maschinen und Transformatoren, den normalen Bedingungen für den Anschluß von Motoren an öffentliche Elektrizitätswerke und den Normalien für die Bezeichnung von Klemmen bei Maschinen, Anlassern, Regulatoren und Transformatoren. Im Auftrage des Verbandes Deutscher Elektrotechniker herausgegeben von **Georg Dettmar**. Sechste Auflage. In Vorbereitung

Handbuch des Materialprüfungswesens für Maschinen- und Bauingenieure. Von Dipl.-Ing. **Otto Wawrziniok**, ord. Professor an der Technischen Hochschule, Dresden. Zweite, vermehrte und vollständig umgearbeitete Auflage. Mit 641 Textabbildungen. 1923. Gebunden GZ. 22

Festigkeitseigenschaften und Gefügebilder der Konstruktionsmaterialien. Von Professor Dr.-Ing. **C. Bach** in Stuttgart und Professor **R. Baumann** in Stuttgart. Zweite, stark vermehrte Auflage. Mit 936 Figuren. 1921. Gebunden GZ. 15

Lehrbuch der elektrischen Festigkeit der Isoliermaterialien. Von Professor Dr.-Ing. **A. Schwaiger** in Karlsruhe. Zweite Auflage. Mit etwa 100 Textabbildungen. In Vorbereitung

Isolationsmessungen und Fehlerbestimmungen an elektrischen Starkstromleitungen. Von **F. Ch. Raphael**. Autorisierte deutsche Bearbeitung von Dr. **Richard Apt**. Dritte, neubearbeitete Auflage. Mit etwa 122 Textfiguren. In Vorbereitung

Die Isolierstoffe der Elektrotechnik. Von Professor Dr. **H. Schering**, Oberregierungsrat, Charlottenburg, unter Mitarbeit von Fachleuten. Im Auftrage des Elektrotechnischen Vereins, Berlin. Mit etwa 200 Textabbildungen. In Vorbereitung

Die Porzellan-Isolatoren. Von Professor Dr. **Gustav Benischke** in Berlin. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit etwa 150 Textabbildungen. Erscheint im Herbst 1923

Die Grundzahlen (GZ.) entsprechen den ungefähren Vorkriegspreisen und ergeben mit dem jeweiligen Entwertungsfaktor (Umrechnungsschlüssel) vervielfacht den Verkaufspreis. Über den zur Zeit geltenden Umrechnungsschlüssel geben alle Buchhandlungen sowie der Verlag bereitwilligst Auskunft.

Chemische Technologie der Emailrohmaterialien für den Fabrikanten, Emailchemiker, Emailtechniker usw. Von Dr.-Ing. **Julius Grünwald**, gew. Fabrikdirektor, beratender Ingenieur für die Eisenemailindustrie. *Zweite, verbesserte und erweiterte Auflage.* Mit 25 Textabbildungen. 1922.
Gebunden GZ. 8.8

Das säurebeständige Email und seine industrielle Anwendung im Apparatebau. Ein Handbuch für die chemische Industrie, Nahrungsmittelfabrikation und andere der Chemie verwandte Industriezweige. Von **B. Liebing**. Mit 34 Textabbildungen. 1923.
GZ. 2.6; gebunden GZ. 3.8

Hilfsbuch für Metalltechniker. Einführung in die neuzeitliche Metall- und Legierungskunde, erprobte Arbeitsverfahren und Vorschriften für die Werkstätten der Metalltechniker, Oberflächenveredlungsarbeiten u. a. nebst wissenschaftlichen Erläuterungen. Von **Georg Buchner**, selbständiger öffentlicher Chemiker in München. *Dritte, neubearbeitete und erweiterte Auflage.* Mit 14 Textabbildungen. 1923.
Gebunden GZ. 10

Die wissenschaftlichen Grundlagen der Elektrotechnik. Von Professor Dr. **Gustav Benischke**. *Sechste, vermehrte Auflage.* Mit 633 Abbildungen im Text. 1922.
Gebunden GZ. 15

Kurzes Lehrbuch der Elektrotechnik. Von Dr. **Adolf Thomälen**, a. o. Professor an der Technischen Hochschule Karlsruhe. *Neunte, verbesserte Auflage.* Mit 555 Textbildern. 1922.
Gebunden GZ. 9

Die Elektrotechnik und die elektromotorischen Antriebe. Ein elementares Lehrbuch für technische Lehranstalten und zum Selbstunterricht. Von Dipl.-Ing. **Wilhelm Lehmann**. Mit 520 Textabbildungen und 116 Beispielen. 1922.
Gebunden GZ. 9

Elektrische Starkstromanlagen. Maschinen, Apparate, Schaltungen, Betrieb. Kurzgefaßtes Hilfsbuch für Ingenieure und Techniker sowie zum Gebrauch an technischen Lehranstalten. Von Studienrat Dipl.-Ing. **Emil Kosack** in Magdeburg. *Sechste, durchgesehene und ergänzte Auflage.* Mit 296 Textfiguren. 1923.
GZ. 5; gebunden GZ. 5.8

Grundzüge der Starkstromtechnik. Für Unterricht und Praxis. Von Dr.-Ing. **K. Hoerner**. Mit 319 Textabbildungen und zahlreichen Beispielen. 1923.
GZ. 4; gebunden GZ. 5

Elektrische Schaltvorgänge und verwandte Störungserscheinungen in Starkstromanlagen. Von Professor Dr.-Ing. und Dr.-Ing. e. h. **Reinhold Rüdemberg** in Berlin. Mit 477 Abbildungen im Text und 1 Tafel. 1923.
Gebunden GZ. 16

Die Grundzahlen (GZ.) entsprechen den ungefähren Vorkriegspreisen und ergeben mit dem jeweiligen Entwertungsfaktor (Umrechnungsschlüssel) vervielfacht den Verkaufspreis. Über den zur Zeit geltenden Umrechnungsschlüssel geben alle Buchhandlungen sowie der Verlag bereitwilligst Auskunft.