

Prüfverfahren zur Feststellung des Verhaltens von Weichdichtungen

Von Dr.-Ing. habil. KARL WELLINGER und Ing. ADOLF STANGER, Stuttgart

Mitt. aus der Staatlichen Materialprüfungsanstalt an der Techn. Hochschule Stuttgart

Zweck der Arbeit war, Prüfverfahren festzulegen, welche eine vergleichende Beurteilung des Verhaltens verschiedener Dichtungswerkstoffe ermöglichen. Die angewandten Prüfverfahren sowie die hierfür entwickelten Versuchseinrichtungen werden beschrieben. An Hand der durchgeführten Versuche¹⁾ werden kennzeichnende Beispiele des Verhaltens verschiedener Dichtungswerkstoffe bzw. maßgebender Einflüsse wiedergegeben.

Die bis jetzt vorliegenden Untersuchungen²⁾ an Weichdichtungen haben gezeigt, daß das Dichtungsvermögen in starkem Maße von der Verformung des Dichtungswerkstoffes abhängt, und daß z. B. zum Abdichten einer Flanschverbindung bei gegebenen Abmessungen eine dem Dichtungswerkstoff eigene Flächenpressung erforderlich ist. Um also ein Undichtwerden zu vermeiden, darf während des Betriebes der Dichtungswerkstoff seine Eigenschaften nicht ändern, und eine bestimmte Mindest-Dichtungspressung muß bestehen bleiben. Zur Beurteilung eines Dichtungswerkstoffes ist es daher wichtig, unter Betriebsbedingungen die erforderliche Dichtungspressung festzustellen und das Kriechverhalten des Werkstoffes nachzuprüfen. Dabei ist zu beachten, daß ein Kriechen des Dichtungswerkstoffes und damit bei einer Flanschverbindung ein Nachlassen der Schraubenspannung meist dadurch verursacht wird, daß ein Teil der federnden Zusammendrückung der Dichtung sich in eine bleibende verwandelt. Dieses Nachlassen der Schraubenspannung und damit der Dichtungspressung wird noch durch die Federung der einzelnen Teile der Flanschverbindung beeinflusst, u. zw. derart, daß die Abnahme der Dichtungspressung um so mehr verzögert wird, je größer die Federung der verspannenden Teile (Flansch, Schraube, Mutter) und je größer das Verhältnis dieser Federung zu der Federung der Dichtung ist. Als Grenzfälle hat man einerseits ein Kriechen bei konstanter Belastung unter Zunahme der Zusammendrückung, andererseits ein Kriechen der Dichtung bei konstanter gesamter Verformung unter Umwandlung von federnder in bleibende Zusammendrückung.

Aus diesen Gründen wurden mit den Dichtungswerkstoffen folgende Prüfungen durchgeführt:

1. Dichtungsversuche gegenüber Innendruck mit einer Ringdichtung, wobei für eine bestimmte zulässige Undichtheit die Abhängigkeit der Dichtungspressung vom Innendruck festgestellt wird.
2. Dauerversuche bei konstanter Druckbelastung unter Aufnahme von Zeit-Zusammendrücks-Schaulinien.
3. Dauerversuche bei konstanter Zusammendrückung unter Aufnahme von Zeit-Spannungs-Schaulinien.

Dichtungsversuche mit Druckluft gegenüber Innendruck

Die Prüfung einer Dichtung gegenüber Innendruck gibt Aufschluß über die Größe der zum Dichthalten eines Innendruckes notwendigen Dichtungspressung bzw. der zum Zusammenpressen der Flanschen erforderlichen Schraubenspannung. Als veränderliche Bedingungen kommen hierbei die Temperatur, die Dichtungsabmessungen, die Bearbeitung der Flanschen auf ihrer Dichtfläche und die Vorbelastung³⁾ in Frage.

Versuchseinrichtung

Den schematischen Aufbau der Versuchseinrichtung zeigt Bild 1. Die Dichtung befindet sich in einem Prüfflansch aus zwei Druckplatten, die in eine Presse eingespannt sind. Die Druckplatten sind an den Anliegeflächen

für die Dichtung — wenn nichts anderes bemerkt — mit einem Vorhub von rd. 0,4 mm, sowie einer Rillentiefe von rd. 0,2 mm überdreht und für die Warmversuche mit Heizspiralen versehen, Bild 2. In Bild 3 ist die elektrische Schaltung für Warmversuche wiedergegeben. Zur Messung der Temperatur dienen Thermoelemente, zur Regelung und Gleichhaltung ein Fallbügelregler.

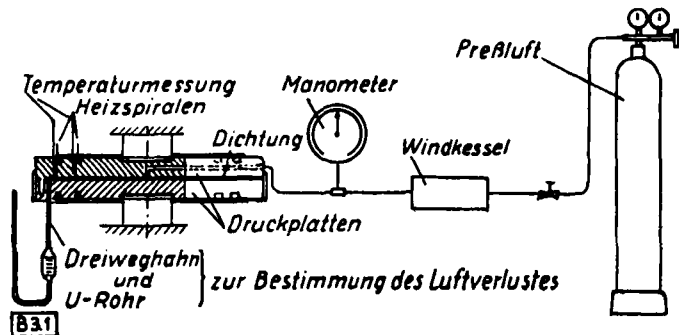


Bild 1
Schematischer Aufbau der Versuchseinrichtung für Dichtungsversuche gegenüber Innendruck

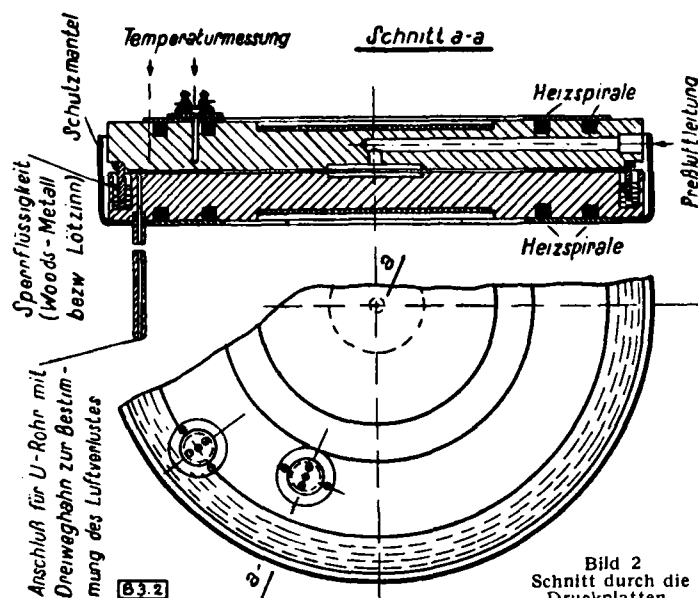


Bild 2
Schnitt durch die Druckplatten

Bild 3 (rechts)
Elektrische Schaltung für Wärmeversuche

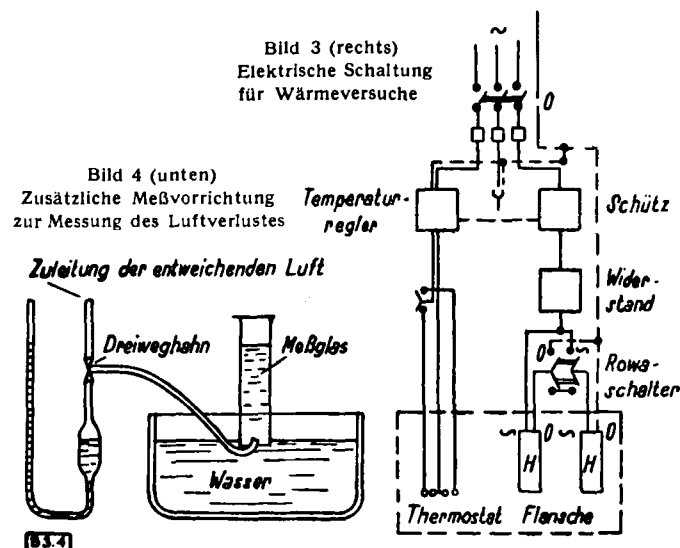


Bild 4 (unten)
Zusätzliche Meßvorrichtung zur Messung des Luftverlustes

¹⁾ Die Durchführung solcher Versuche wurde u. a. von der Max Buchner-Forschungsförderung Frankfurt a. M., der Firma Goetzwerke A.G., Burscheid bei Köln und der Firma Dynamit-Aktiengesellschaft, vormals Alfred Nobel & Co., Troisdorf (Bez. Köln), beantragt.

²⁾ E. Siebel, W. G. Hering u. A. Raible, Das Verhalten von Dichtungen, Forsch. Gebiete Ingenieurwes., Ausg. A 5, 298 [1934]. — E. Siebel, Untersuchungen an Dichtungen u. Flanschen, Mitt. VGB. [1935], H. 53, S. 122. — A. Raible, Das Verhalten von wichtigeren Dichtungen. Diss. Stuttgart 1937. — E. Siebel, Das Verhalten von Dichtungen bei hohen Drücken und Temperaturen. Maschinenelemente-Tagung Düsseldorf. VDI-Verlag, Berlin 1940. — E. Siebel u. K. Wellinger, Untersuchungen an Weichdichtungen, diese Ztschr. 15, 215 [1942]. — K. Wellinger, A. Stanger u. W. Seufert, Untersuchungen an BS-Dichtungen bei 20 und 150°. „Die Dichtung“ [1943] H. 10.

³⁾ Die Vorbelastung ist in der Praxis dadurch gegeben, daß die Flanschverbindung vor Aufgabe des Innendruckes angezogen wird und bei Aufgabe des Innendruckes die Dichtungspressung abnimmt. Bei den Versuchen wurde die Dichtungspressung während der Steigerung des Innendruckes konstant gehalten.

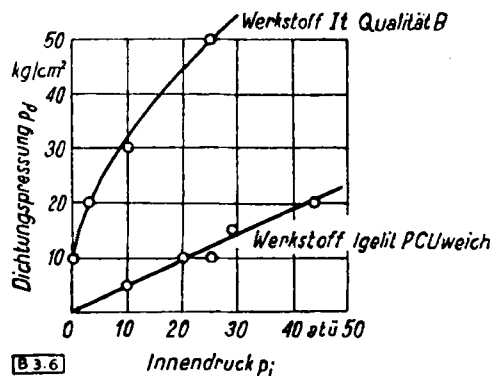
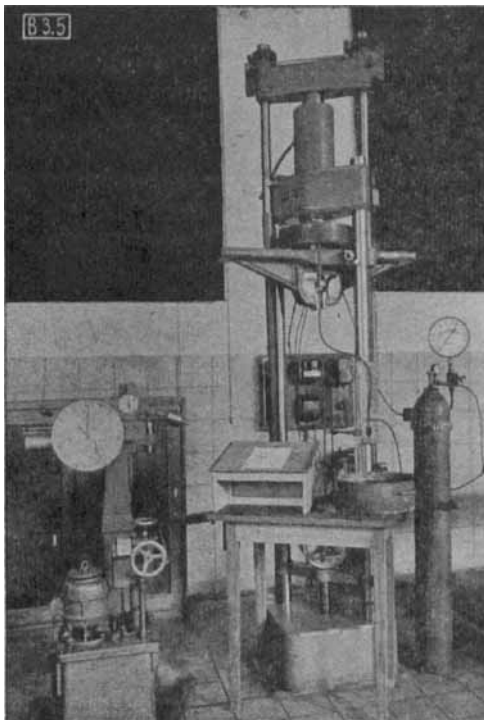


Bild 6
Verhalten von zwei verschiedenen Dichtungswerkstoffen
Werkstoffe: „It“ Qualität B bzw. Igelit PCU weich — Versuchstemperatur rd. 20°

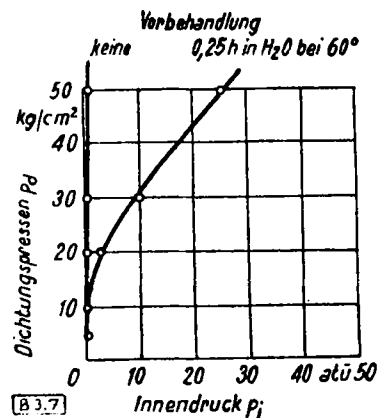


Bild 7
Einfluß der Vorbehandlung in Wasser
„It“ Qualität B, 318×276×2 mm, rd. 20°

Bild 5 (links)
Gesamtanlage der Versuchseinrichtung für Dichtungsversuche gegen Innendruck

Für Zuführung von Druckluft hat die obere Platte eine Bohrung, an welche die Leitung zu der Druckluftflasche angeschlossen wird, Bild 1. Um Druckstöße zu vermeiden und ein genaues Einhalten des Prüfdruckes zu ermöglichen, ist in diese Zuleitung ein Windkessel eingeschaltet, sowie ein Manometer zur Feststellung des aufgetragenen Innendruckes. Die Abdichtung nach außen wird durch eine Sperrflüssigkeit bewirkt — bei 20° Quecksilber, bei höherer Temperatur Woods-Metall bzw. Lötzinn —, die sich in einer Nut der unteren Druckplatte befindet. Die Unterseite der oberen Platte ist als Ring ausgebildet, der in die Sperrflüssigkeit eintaucht und so eine sichere Abdichtung ermöglicht. Der durch die Dichtung und die Nut für die Sperrflüssigkeit abgeschlossene Ringraum ist durch eine Bohrung über eine Leitung an ein U-Rohr angeschlossen. Wird die Dichtung undicht, so dringt Druckluft in den Ringraum ein, wodurch die Wassersäule im U-Rohr ansteigt. Eine zusätzliche Meßvorrichtung nach Bild 4, die mittels eines Dreiweghahnes an das U-Rohr angeschlossen ist, gestattet eine unmittelbare Messung der durch die Dichtung entweichenden Luft in cm³/min.

Bild 5 zeigt die Gesamtanlage.

Versuchsdurchführung

Die zu prüfende Dichtung in Form einer flachen Ringdichtung wird in den Prüflansch eingebracht und in der Presse ohne Innendruck mit der Dichtungspressung belastet. Diese Pressung wird 15 min lang gehalten, damit der Dichtung die Möglichkeit gegeben wird, sich den Unebenheiten des Flansches anzupassen. Bei den Versuchen mit Vorpressung, entsprechend einem Mehrfachen der Dichtungspressung, wird nach 15 min wieder auf die Dichtungspressung zurückgegangen. Als dann wird bei konstanter Dichtungspressung Innendruck aufgegeben und dieser solange gesteigert, bis bei einem bestimmten Grenzdruck Luft austritt. Die durch die Dichtung entweichende Luft ergibt, wie oben erwähnt, ein Anwachsen des Druckes im Ringraum. Mengemäßig wird die entweichende Luft durch die Meßvorrichtung, Bild 4, gemessen. Als Undichtigkeitsgrenzen werden die Innendrucke ermittelt, bei welchen der Luftverlust je mittlere Dichtungsänge 0,1 bzw. 0,5 bzw. 1,0 cm³/min beträgt. Für jeden Versuch ist eine neue Dichtung zu verwenden.

In Bild 6 bis 10 sind für einige Dichtungswerkstoffe kennzeichnende Schaulinien der Dichtungspressung p_d in Abhängigkeit vom Innendruck p_i für eine Undichtigkeitsgrenze von 0,1 cm³/min wiedergegeben.

Bild 6 zeigt das Verhalten von zwei verschiedenen Dichtungswerkstoffen bei 20°. Danach verhält sich der weiche Werkstoff „Igelit PCU weich“ erheblich günstiger als der härtere „It“-Werkstoff. Allerdings können Dichtungen aus „It“-Werkstoff mit zunehmendem Innendruck noch größere Undichtigkeiten ertragen, ohne zu platzen, während dies bei „Igelit PCU weich“ nicht der Fall ist.

Bild 7: Einfluß der Vorbehandlung in Wasser von 60°. Hiernach wird bei den Dichtungen aus „It“-Werkstoff durch die Vorbehandlung in Wasser eine nennenswerte Verbesserung

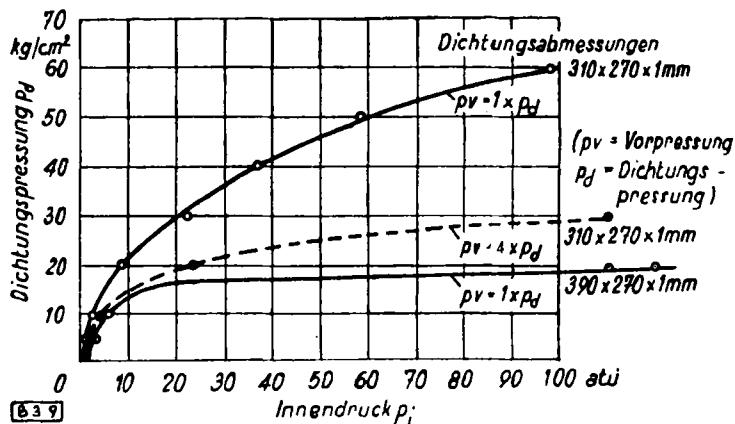


Bild 8
Einfluß der Dichtungsabmessungen und der Vorpressung
Werkstoff: „It“ Qualität A — Dichtungsabmessungen: 310×270×1 bzw. 390×270×1 mm. Versuchstemperatur: rd. 20°

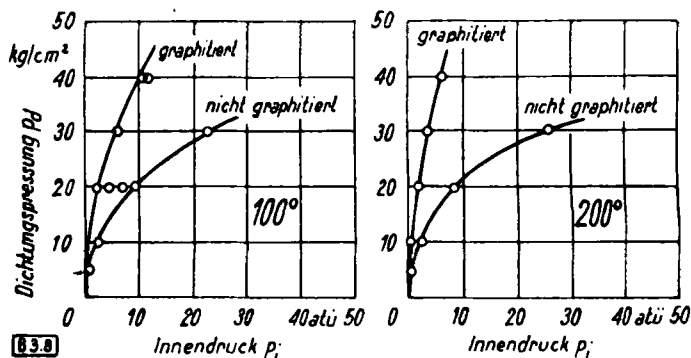


Bild 9
Einfluß der Graphit-Behandlung bei den Versuchstemperaturen 100° (links) und 200° (rechts)
Werkstoff: „It“ Qualität C — Dichtungsabmessungen: 353×267×2 mm

des Dichtungsvermögens bei 20° gegenüber den nicht vorbehandelten Dichtungen erzielt. Es kann z. B. mit einer Flächenpressung von 50 kg/cm² bei der vorbehandelten Dichtung ein Innendruck von 25 atü erreicht werden gegenüber nur 1 atü bei der nicht vorbehandelten Dichtung.

Bild 8: Einfluß der Vorpressung und der Dichtungsabmessungen. Bei einer Dichtungspressung von 30 kg/cm² beträgt der erreichte Innendruck bei 4facher Vorpressung etwa 120 atü gegenüber nur rd. 20 atü bei einer Vorpressung gleich der Dichtungspressung. Mit zunehmender Breite kann Abdichten jeweils mit niedrigerer Dichtungspressung erzielt werden.

Bild 9: Einfluß der Vorbehandlung durch Graphitieren. Überraschenderweise wird bei „It“-Werkstoff durch das Graphitieren das Dichtungsvermögen wesentlich verschlechtert.

Bild 10: Verhalten eines Dichtungswerkstoffes bei verschiedenen Temperaturen. Der untersuchte „It“-Werkstoff verhält sich bei 100 und 200° günstiger als bei 20°, bei 300° dagegen ist eine Verschlechterung des Dichtungsvermögens gegenüber 20° eingetreten.

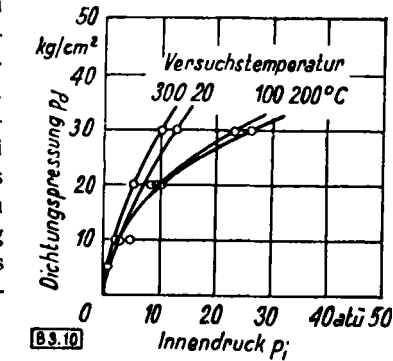


Bild 10
Verhalten bei verschiedenen Temperaturen
Werkstoff: „It“ Qualität C. Dichtungs-
abmessungen: 353×267×2 mm

Dauerversuche bei konstanter Druckbelastung

Bei den Dauerversuchen bei konstanter Belastung bzw. Spannung wird eine Voll- oder Ringscheibe aus dem Dichtungswerkstoff zwischen zwei Platten mit entsprechender Bearbeitung der Dichtflächen zusammengedrückt und die zeitliche Zunahme der Zusammendrückung der ursprünglichen Probendicke bei gleichbleibender Temperatur und Belastung an Hand von Zeit-Zusammendrückungs-Schaulinien ermittelt.

Versuchseinrichtung

Als Prüfmaschine kann eine Kugeldruckpresse üblicher Bauart verwendet werden. Aus Bild 11 ist die Art des Einbaues und die Anordnung der Meß-

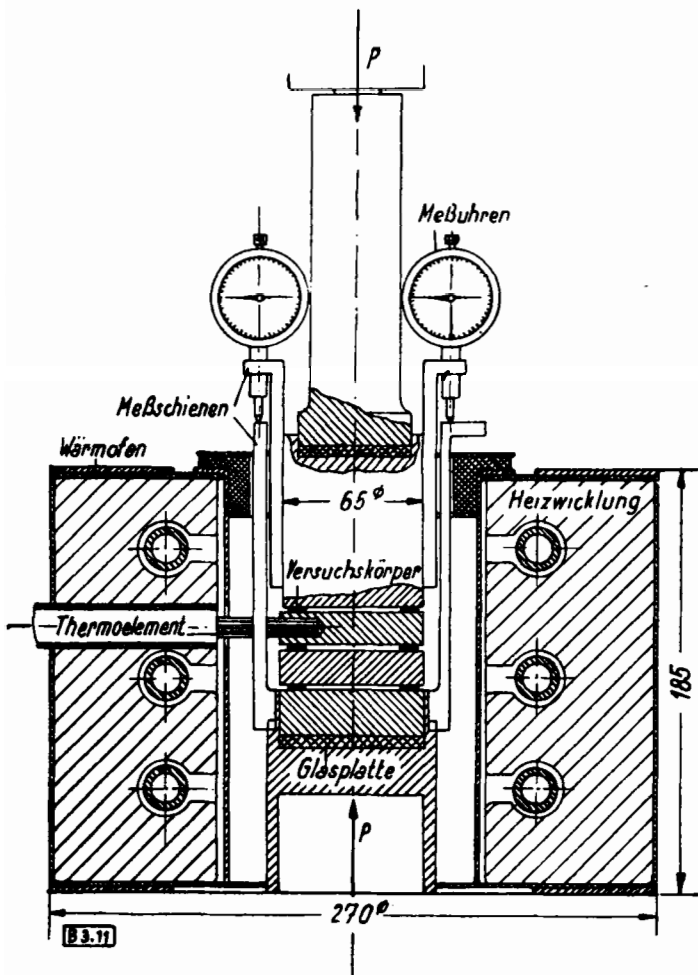


Bild 11

Versuchseinrichtung für Dauerversuche bei konstanter Druckbelastung

einrichtung ersichtlich. Des weiteren ist in diesem Bild ein Wärmofen zu Versuchen bei höheren Temperaturen dargestellt. Die zum Zusammendrücken der Versuchskörper verwendeten Druckplatten sind an den Auflageflächen in der Regel mit einem Vorschub von rd. 0,4 mm bei einer Rillentiefe von rd. 0,2 mm überdreht. Um einen Mittelwert zu erlangen, ist die Prüfung von jeweils 3 Proben zweckmäßig.

Versuchsdurchführung

Ausgehend von einer Vorbelastung (Vorspannung) wird die Versuchsbelastung (Versuchsspannung) aufgebracht. Sofern die Aufzeichnung der Zeit-Zusammendrückungs-Schaulinien nicht selbsttätig erfolgt, wird zu deren Festlegung die Zusammendrückung in entsprechenden Zeitabständen abgelesen. In Bild 12 und 13 sind mit zwei verschiedenen Dichtungswerkstoffen bei rd. 22° Versuchstemperatur erlangte Schaulinien wiedergegeben.

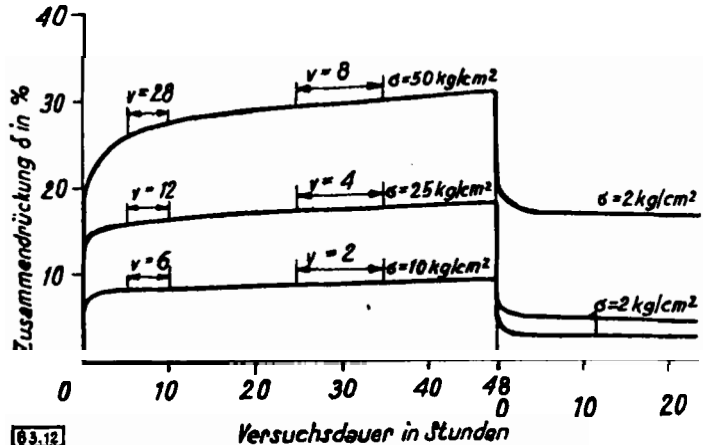


Bild 12

Zeit-Zusammendrückungs-Schaulinien für einen weichen Dichtungswerkstoff
Werkstoff: Sehr weich eingestellte Mipolam-Masse. Probenabmessungen:
57×43×2 mm. Versuchstemperatur: rd. 20°; v mittlere Zusammendrück-
ungsgeschwindigkeit in 10⁻²%/h δ Druckspannung

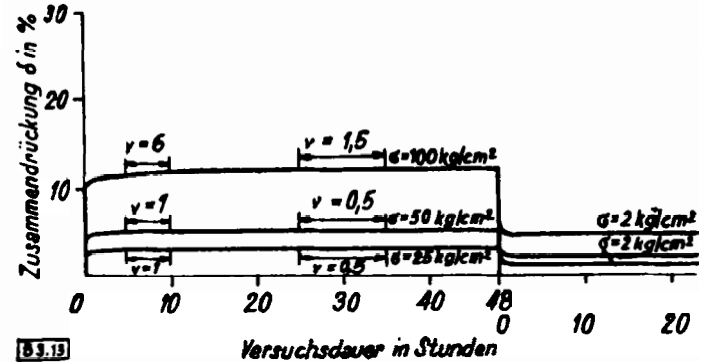


Bild 13

Zeit-Zusammendrückungs-Schaulinien für einen härteren Dichtungswerkstoff
Werkstoff: Weichgemachtes Igamid 6 a. Probenabmessungen: 57×43×2 mm
Versuchstemperatur: rd. 20° — Buchstabenerklärung s. Bild 12

Als Kenn- und Vergleichswerte kommen in Frage

1. Die Zusammendrückungen nach bestimmten Versuchszeiten.
2. Die an Hand der Zeit-Zusammendrückungs-Schaulinien für einen bestimmten Zeitabschnitt ermittelte Zusammendrückungsgeschwindigkeit.
3. Die einer bestimmten Zusammendrückung und Versuchsdauer entsprechende Spannung.

Dauerversuche bei konstanter Zusammendrückung

Bei den Dauerversuchen bei konstanter Zusammendrückung wird eine Voll- oder Ringscheibe aus dem Dichtungswerkstoff zwischen zwei Platten mit entsprechender Bearbeitung zusammengedrückt und die zeitliche Abnahme der ursprünglich aufgegebenen Belastung bzw. Spannung bei gleichbleibender Temperatur und gleichbleibender gesamter Zusammendrückung an Hand von Zeit-Belastungs-(Zeit-Spannungs-)Schaulinien ermittelt.

Versuchseinrichtung

Als Prüfmaschine wird eine 3-t-Kugeldruckpresse üblicher Bauart mit einem verschiebbaren Laufgewicht verwendet, Bild 14. Bild 15 zeigt die Art des Einbaues, die Anordnung der Meßeinrichtung und den Wärmofen für Versuche bei höheren Temperaturen. Auch hier sind die zum Zusammendrücken der Versuchskörper verwendeten Druckplatten an den Auflageflächen in der Regel mit einem Vorschub von rd. 0,4 mm bei einer Rillentiefe von rd. 0,2 mm überdreht. In Bild 16 ist die elektrische Schaltung schematisch dargestellt.

Gemäß Bild 15 ist an dem Meßgerät üblicher Bauart ein Kontaktschalter angebracht. Bei eintretendem Kriechen wird durch den Kontaktschalter über ein Relais ein Motor eingeschaltet, der mittels eines Übersetzungsgetriebes das Laufgewicht soweit zurückschiebt, bis die bei Aufgabe der Versuchsbelastung eingestellte Gesamtzusammendrückung wieder erreicht ist. Alsdann können sich die Proben wieder um den Schaltweg zusammendrücken, worauf sich das

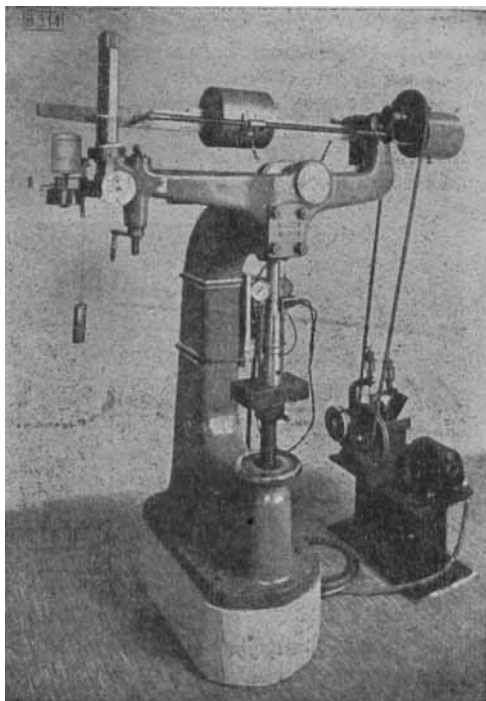


Bild 14

Versuchseinrichtung für Dauerversuche bei konstanter Zusammendrückung

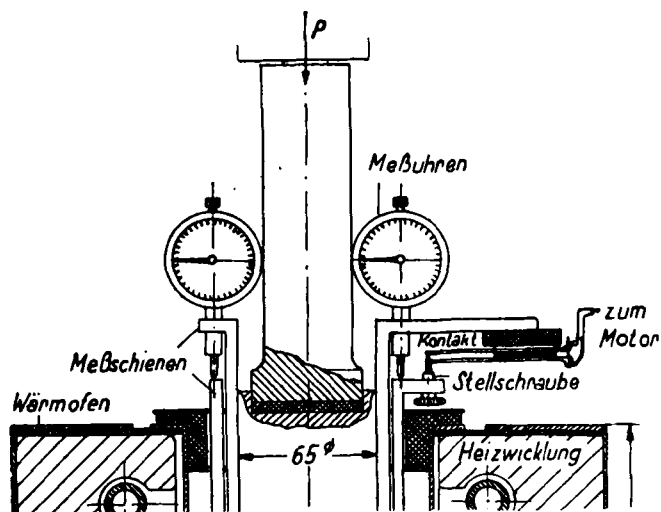


Bild 15

Versuchseinrichtung (Meßeinrichtung mit Wärmofen) für Dauerversuche bei konstanter Zusammendrückung

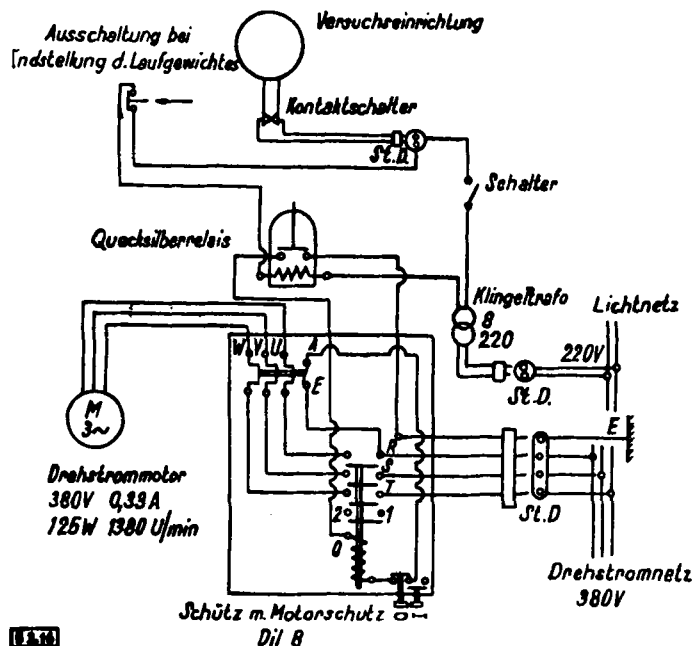


Bild 16

Elektrische Schaltung bei Dauerversuchen mit konstanter Zusammendrückung

Spiel wiederholt. Ein Absinken der Belastung (Spannung) tritt also nur dadurch ein, daß ein Teil der federnden Zusammendrückung sich in bleibende Zusammendrückung verwandelt; die zu Anfang des Versuchs erzeugte Gesamtzusammendrückung bleibt gleich. Die Zeit-Belastungs bzw. Zeit-Spannungs-Schaulinien werden selbsttätig durch eine Schreibvorrichtung mit Uhrwerk aufgenommen.

Versuchsdurchführung

Um gleiche Versuchsbedingungen leichter einhalten zu können, werden die eingebauten Proben zunächst 5 min unter der vorgesehenen Anfangsspannung gedrückt. Die nach dieser Zeit erreichte Zusammendrückung wird nunmehr, wie oben beschrieben, konstant gehalten. Nach Einschaltung der Schreibvorrichtung wird die Zeit-Spannungslinie z. B. über 24 h (1. Versuch) aufgenommen. Anschließend wird wieder die Anfangsspannung aufgebracht und während 5 min konstant gehalten. Nunmehr wird in gleicher Weise wie beim 1. Versuch die Zeit-Spannungslinie bei konstanter Zusammendrückung während weiterer 24 h (2. Versuch) aufgenommen. Als Beispiel sind in Bild 17 und 18 mit zwei verschiedenen Dichtungswerkstoffen erreichte Zeit-Span-

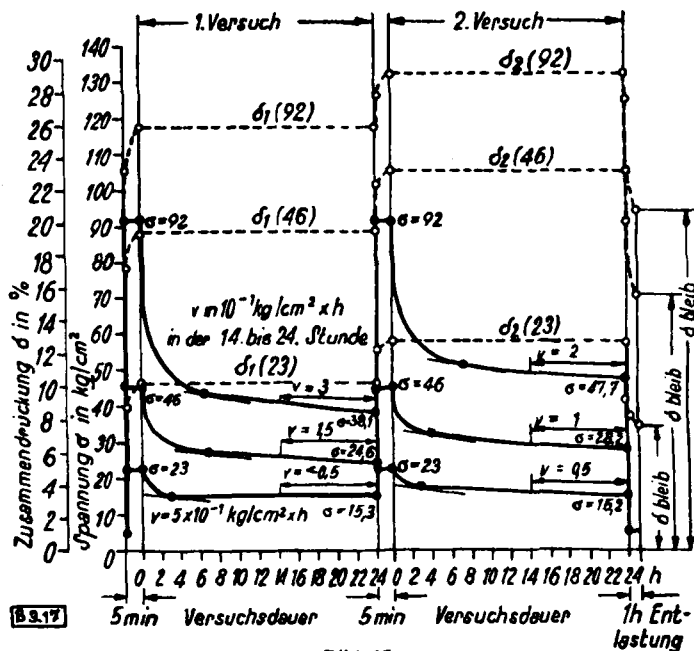


Bild 17

Zeit-Spannungs-Schaulinien für einen weichen Dichtungswerkstoff
Werkstoff: Sehr weich eingestellte Mipolam-Masse — Probenabmessungen: 57×43×2 mm — Versuchstemperatur: rd. 20°

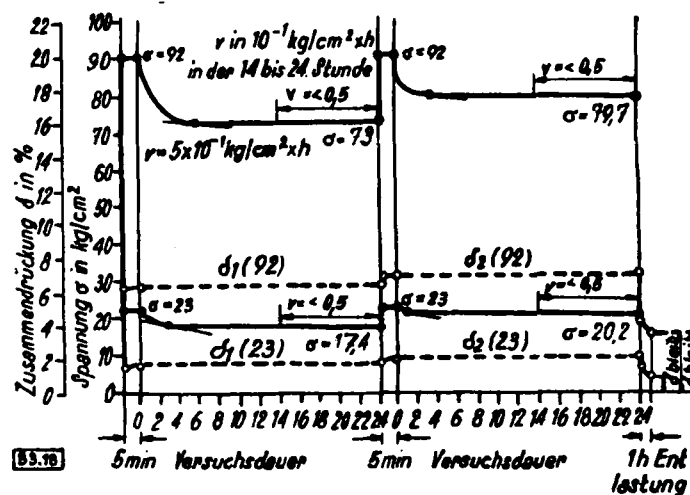


Bild 18

Zeit-Spannungs-Schaulinien für einen härteren Dichtungswerkstoff
Werkstoff: Weichgemachtes Igamid 6a — Probenabmessungen: 57×43×2 mm — Versuchstemperatur: rd. 20° — v mittlere Entspannungsgeschwindigkeit in $10^{-1} \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{h}$ — δ_1 und δ_2 gesamte Zusammendrückung in % — σ Druckspannung in kg/cm^2

nungs-Schaulinien bei konstanter Zusammendrückung wiedergegeben. An Hand solcher Zeit-Spannungslinien werden dann z. B. bestimmt

1. Die Endspannung nach dem 1. bzw. 2. Versuch
2. die Spannung, bei der die Spannungsabnahme $5 \cdot 10^{-1} \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{h}$ beträgt,
3. die mittlere Spannungsabnahme während der 14. bis 24. h.

Durch die angebrachten Meßuhren können zudem noch die beim Aufbringen der Anfangsspannung bzw. während der Entspannung, sowie nach Entlastung aufgetretenen Zusammendrückungen festgestellt werden.

Eingeg. 20. Nov. 1944 [B 3]