

Genehmigung  
tief  
nur durch  
zuer  
v Krauf  
hbronn  
Gäßle 16

Übersetzung aus der japanischen Zeitschrift

"Nainen Kikan" (Die Brennkraftmaschine)

Band 6, Heft Nr.64, Oktober 1967, Seite 11 - 16

Die Methoden zum Messen der Erscheinungen  
im Innern eines Kreiskolbenmotors und  
Beispiele solcher Messungen

von K.Takada, M.Miyachika und K.Maekawa  
Firma Toyo Kogyo K.K., Hiroshima

In der Arbeit wird ein Kreiskolbenmotor beschrieben, der als Spezialausführung eigens zu dem Zweck gebaut wurde, eine Untersuchung der Erscheinungen im Innern eines Kreiskolbenmotors während des Betriebes zu untersuchen. Von den verschiedenen Versuchen, welche die Verfasser an diesem Motor durchgeführt haben, sind diejenigen herausgegriffen worden, welche sich auf das Verhalten der Öldichtungen und auf die Temperatur des Läufers bezogen; in der Arbeit wird über die dabei erhaltenen Meßergebnisse berichtet.

Bei einem Kreiskolbenmotor ist es, bedingt durch dessen besonders gearteten Mechanismus, außerordentlich schwierig, die im Innern des Motors auftretenden Erscheinungen zu messen; dadurch jedoch, daß die Verfasser einen Spezialmotor mit eingebautem Schleifring konstruiert haben, ist es gelungen, solche Messungen durchzuführen.

1. Vorwort

Die Untersuchung der im Innern eines Kreiskolbenmotors während des Betriebes auftretenden Erscheinungen, so insbesondere das Verhalten des Läufers, die Temperaturänderung der verschiedenen Teile des Läufers, das Verhalten der im Läufer eingebauten Gasdichtungen und Öldichtungen usw. ist, bedingt durch die Besonderheit des Prüfverfahrens, sehr viel schwieriger als etwa die Messung der Kolbentemperatur bei einem mit hin- und hergehendem Kolben arbeitendem Motor.

An den nicht beweglichen Teilen des Motors ist es natürlich genau in der gleichen Weise wie bei einem Motor mit hin- und hergehendem Kolben möglich, die verschiedenen Erscheinungen abzugreifen, wenn man jedoch die mit dem rotierenden Läufer eines Kreiskolbenmotors zusammenhängenden Erscheinungen untersuchen will, dann sieht man sich der leidigen Tatsache gegenübergestellt, daß dies an einem Motor, so wie er in der Praxis tatsächlich läuft, überhaupt nicht möglich ist. Dies liegt darin begründet, daß bedingt durch den Mechanismus des Kreiskolbenmotors der Läufer eine Planetenbewegung ausführt, und daß die Rotationsgeschwindigkeit des Läufers und die Drehzahl der Leistung abgebenden Welle sich nicht wie 1:1 zueinander verhalten, sondern daß die beiden mit einem ganz bestimmten Rotationsverhältnis eine gegenseitige Bewegung ausführen. Demzufolge ist es beispielsweise nicht möglich, bei der Ausführung von Messungen auf elektrischem Wege die der Entnahme von Signalen dienenden Zuleitungsdrähte unmittelbar, was an sich selbstverständlich ist, aber auch dann, wenn man diese Drähte durch das Innere der leistung abgebenden Welle hindurch verlegt, aus dem Motor nach außerhalb herauszuführen.

Die Verfasser haben nun ohne die Hauptteile des Kreiskolbenmotors in irgend einer Weise zu verändern, dem besonderen Zwecke dieser Versuche entsprechend einen Spezialmotor gebaut und an diesem ihre Messungen ausgeführt. Im folgenden soll nun dieser Spezialmotor im einzelnen beschrieben werden, und außerdem sollen die mit diesem Motor erhaltenen Meßergebnisse mitgeteilt werden.

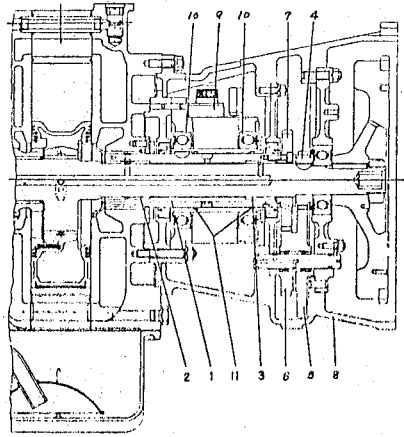


Abb.1 Längsschnitt durch den für die Messungen verwendeten Motor

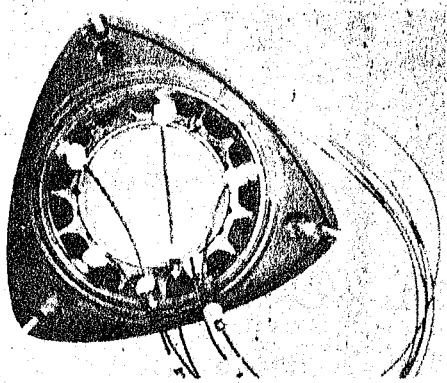


Abb.2 Beispiel eines für die Messungen verwendeten Läufers

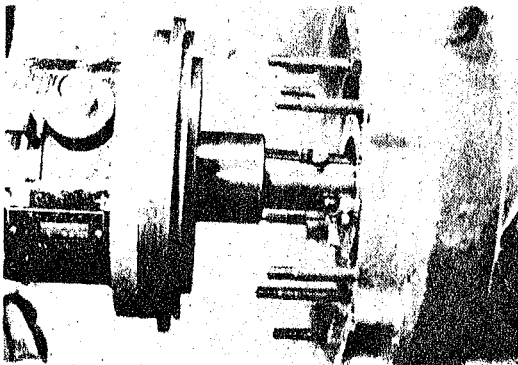


Abb.3 Die Befestigung der Schleifringeinrichtung an der Muffe

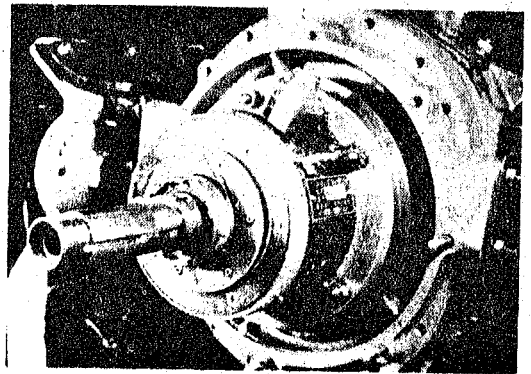


Abb.4 Das Anlöten der Anschlußdrähte an den Anschlußstellen der Schleifringeinrichtung

## 2. Der Meßmotor

### 2.1 Seine Konstruktion

Das Prinzip der Konstruktion dieses Motors besteht darin, daß die vom Läufer herausgezogenen Anschlußdrähte durch eine Bohrung hindurch, welche man in einer sich mit der gleichen Geschwindigkeit wie der Läufer drehenden Muffe vorgesehen hat, an einen im Motor eingebauten Schleifring herangeführt werden, und daß von diesem Schleifring Signale vom Motor nach außen entnommen werden. Im folgenden soll nun dieser Motor anhand der Abb.1 näher beschrieben werden.

Die Abb.1 zeigt einen Längsschnitt des für unsere Messungen verwendeten Motors, von der rückwärtigen Gehäusewand nach vorne zu ist dieser Motor genau gleich wie der normale Kreiskolbenmotor. Die leistungabgebende Welle jedoch haben wir nach hinten verlängert, und auf den äußeren Umfang der leistungabgebenden Welle hat man zwischen den beiden Lagern (2) und (3) eine Muffe (1) konzentrisch so aufgesetzt, daß die Welle und die Muffe gegeneinander verdreht werden können. Am hinteren Ende der Muffe (1) ist mit Hilfe von Schrauben ein Zahnrad (7) befestigt, welches über die Zahnräder (5) und (6) von einem sich mit bezug auf die Antriebswelle drehenden Zahnrad (4) aus angetrieben wird. Da in unserem Falle durch die Zahnräder (4) und (5) eine Drehzahlreduzierung im Verhältnis 1:2 und durch die Zahnräder (6) und (7) eine Drehzahlreduzierung im Verhältnis 2:3 bewirkt wird, dreht sich das Zahnrad (7) mit  $\frac{1}{3}$  der Antriebswellendrehzahl, demzufolge dreht sich die Muffe (1) mit einem Drittel der Antriebswellendrehzahl und somit mit der gleichen Drehzahl wie

der Läufer.

In einem am Seitengehäuse lagebestimmt angebrachten Gehäuse (8) ist ein Schleifring (9) befestigt, dessen Ring sich zusammen mit der Muffe (1) dreht. Der Raum, indem dieser Schleifring untergebracht ist, wird durch eine Öldichtung (10) und einen O-Ring (11) so abgedichtet, daß kein Öl hineinfließen kann.

Die vom Läufer her herausgezogenen Anschlußdrähte werden durch eine in der Muffe (1) in axialer Richtung vorgesehene Bohrung von 3 mm Durchmesser bis zum hinteren Ende herausgeführt, dort umgebogen und an den Anschlußklemmen des Schleifringes festgelötet und so angeordnet, daß der Zusammenbau möglichst erleichtert wird.

Die Abb.2 zeigt ein Beispiel eines für die Messungen verwendeten Läufers, die Abb.3 zeigt den Zusammenbau von Muffe und Schleifring, die Abb.4 zeigt die Anschlußdrahtenden in ihrem am Schleifring festgelöteten Zustand, die Abb.5 zeigt das Reduziergetriebe. In der Abb.6 sehen wir eine Gesamtaufnahme des Motors.

## 2.2 Die problematischen Punkte

Zunächst waren wir bei unserem für die Messungen verwendeten Spezialmotor hinsichtlich der Zahl der Meßstellen deshalb eingeengt, weil wir ja den Schleifring auf einem ganz begrenzten Raum unterbringen mußten; und so mußten wir uns von vornherein mit dem Nachteil abfinden, daß wir nicht gleichzeitig eine Vielzahl von Erscheinungen abgreifen konnten. Wir haben deshalb einen Schleifring mit 5 Anschlußstellen verwendet, den wir uns vom Hersteller in Sonderanfertigung bauen ließen. Dabei mußten

wir während unsere Versuche liefen, scharf darauf achten, ob nicht etwa der Isolationswiderstand des Schleifringes während unserer Versuche absank.

Die Drehzahl des Läufers und die Drehzahl des Ringes der Schleifringeinrichtung, d.h. also die Drehzahl der Muffe waren zwar gleich, die Sache wurde jedoch dadurch problematisch, daß, bedingt durch den Mechanismus des Kreiskolbenmotors, der Läufer eine Planetenbewegung ausführte. Wie wir aus der Abb.7 ersehen, ergibt sich hieraus die besondere Schwierigkeit, daß nämlich der Punkt, an dem die Anschlußdrähte vom Läufer abgehen, den geometrischen Ort A einer Trochoidenkurve beschreibt, während andererseits der Punkt, an dem die Anschlußdrähte in die Muffe eintreten den geometrischen Ort B einer Kreisbahn beschreibt, und daß sich die Entfernung zwischen diesen beiden Punkte während des Betriebes fortwährend ändert. Da also die Länge der Anschlußdrähte fortwährend geändert werden muß, so ist man gezwungen, sie irgendwo zu kompensieren.

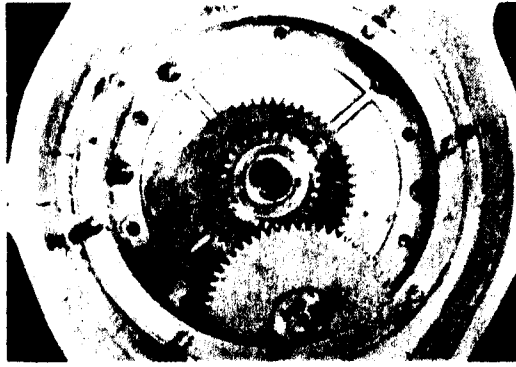
Wir haben deshalb durch Federn den Anschlußdrähten eine gewisse Zugkraft mitgeteilt, und diese Anschlußdrähte in dem Raum im Innern der Muffe ganz locker und lose verlegt oder wir haben auf den äußeren Umfang der Anschlußdrähte schraubenfederförmige Führungen aufgelegt, so daß die Drähte ganz frei und beliebig in die Bohrung im Innern der Muffe hineingeschoben oder herausgezogen werden konnten. Mit den beiden genannten Methoden haben wir Versuche gemacht, schließlich haben wir dann die Anschlußdrähte an dem Punkt, wo sie in die Muffe eintraten, befestigt und zwischen diesem Punkt und dem Punkt, wo sie den Läufer verließen, den Anschlußdrähten Biegungen (Schleifen?) mit-

geteilt und herausgefunden, daß dies die vernünftigste Lösung darstellt.

Da jedoch in diesem Falle die Anschlußdrähte während des Betriebes fortwährenden Biegungen unterworfen sind, so muß man natürlich sein besonderes Augenmerk darauf richten, daß man zu diesem Zwecke Anschlußdrähte von hoher Festigkeit verwendet, es war jedoch ganz klar, daß diese Drähte einer langdauernden Betriebszeit nicht standhalten würden und es war insbesondere fraglich, ob sie überhaupt höhere Drehzahlen aushielten.

Beim Zusammenbau des Motors kann man die gegenseitige Lage des Punktes, an welchem die Anschlußdrähte vom Läufer herausgeführt werden und des Punktes, wo sie in die Muffe eintreten, frei festlegen, man sollte dabei jedoch darauf achten, daß die Änderung der Entfernung zwischen diesen beiden Punkten während des Betriebes so klein als nur irgend möglich wird. Man drückt also die Änderung der Länge der den einen Punkt auf der Kurve A in der Abb.7 und den anderen Punkt auf der Kurve B verbindenden Strecke durch eine Zahlenformel aus und kann dann den Zusammenhang zwischen den beiden Punkten rechnerisch derart bestimmen, daß diese Entfernung ein Minimum wird. Hierbei ist jedoch die unerläßliche Bedingung, daß die die beiden Punkte verbindende gerade Linie in keinem Falle in das Innere des Kreises B eintritt (d.h. also den Kreis B schneidet. Anm.d.Üb.), denn durch das Innere des Kreises B geht ja die Leistung abgebende Welle hindurch.

Wenn wir von den auf diese Weise gefundenen Ergebnissen ausgehen, dann macht es keinen großen Unterschied aus,



An der dem Deckel zugewandten Seite ist die Schleifringeinrichtung befestigt

Abb.5 Das Reduziergetriebe

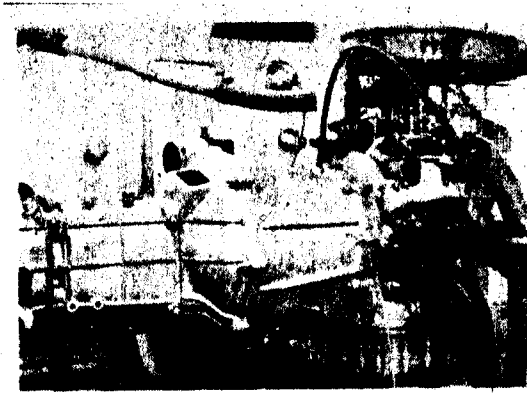


Abb.6 Die äußere Ansicht des für die Messungen verwendeten Motors

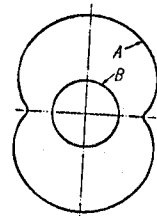


Abb.7 Die geometrischen Orte des Punktes A, an dem die Anschlußdrähte vom Läufer herauskommen u. des Punktes B an dem sie in die Muffe eingeführt werden

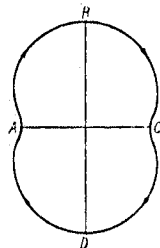
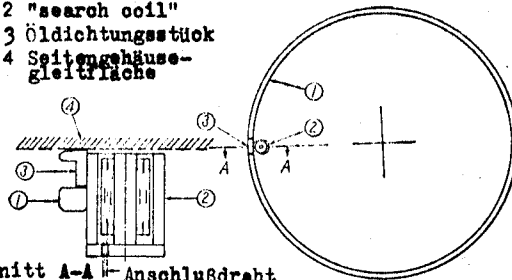


Abb.8 Der geometrische Ort eines ganz bestimmten Punktes auf der Öldichtung

- 1 Öldichtungskörper
- 2 "search coil"
- 3 Öldichtungsstück
- 4 Seitengehäusegleitfläche



Schnitt A-A — Anschlußdraht

Abb.9 Das Befestigen der "search coil" und eines Öldichtungsstückchens an dem Öldichtungskörper.



wie wir auch die Größe der Entfernungsänderung zwischen den beiden Punkten festlegen, letzten Endes dürfte es für die Lebensdauer der Anschlußdrähte umso günstiger sein, je größer der Absolutwert der Entfernung zwischen den beiden Punkten ist.

### 3. Meßbeispiel I: Die Messung des Verhaltens der Öldichtungen

Die an der Seitenfläche des Läufers befestigten Öldichtungen haben die Aufgabe, das Durchlecken von Öl in das Innere der Verbrennungskammer hinein zu verhüten, sie stellen also praktisch außerordentlich wichtige Teile des Motors dar. Bei unserer Firma sind zum Zwecke der Entwicklung der Öldichtungen für den Kreiskolbenmotor am Versuchsstand alle möglichen Öldichtungsprüfungen durchgeführt worden, außerdem hat man aber auch Versuche bei der praktischen Fahrt im Wagen angestellt, und man hat dabei Messungen und analytische Betrachtungen zum Zwecke der grundsätzlichen Klärung der bei den Öldichtungen auftretenden Erscheinungen ausgeführt.

#### 3.1 Der Mechanismus der Öldichtung

In der Abb. 8 haben wir den geometrischen Ort eines Punktes auf der Öldichtung während seiner Bewegung dargestellt; dieser Punkt beschreibt eine Trochoidenkurve, und muß dabei auf den Strecken  $\widehat{A B}$  und  $\widehat{C D}$  auf dem Ölfilm dahingleiten (?) und auf den Strecken  $\widehat{B C}$  und  $\widehat{D A}$  das Öl abstreifen. Da praktisch diese beiden Wirkungen, nämlich das Dahingleiten auf dem Ölfilm und das Abstreifen des Ölfilmes gleichzeitig von verschiedenen Teilen einer und derselben Öldichtung ausgeführt werden müssen, so sind die

an eine Öldichtung beim Kreiskolbenmotor gestellten Anforderungen ungleich viel schärfer als dies bei dem Ölring eines Motors mit hin- und hergehendem Kolben der Fall ist

So werden beispielsweise der Ölverbrauch und die Lebensdauer der Öldichtung in hohem Maße von dem Lippenwinkel, von der Biagsamkeit der Lippen und des gesamten Dichtungskörpers, von der Querschnittsform der Dichtung, von der Einspannbelastung (Befestigungsbelastung?) der Öldichtung sowie von der Reibungs- und Abriebverschleißcharakteristika der Öldichtung gegenüber dem Material, mit welchem sie zusammenarbeitet (gegenüber der Gleitfläche) beeinflußt.

### 3.2 Die Meßmethodik

Wie man aus der Abb.9 ersehen kann, haben wir zum Zwecke des Abgreifens der Ölfilmstärke zwischen der Ölfilmrippe und der Gleitoberfläche, sowie zum Messen der Schwingungen der Öldichtung eine "search coil" verwendet und diese so angebracht, wie dies in der Abb.9 dargestellt ist (in Zusammenarbeit mit der Universität Hiroshima haben die Verfasser diese "search coil" entwickelt; Einzelheiten über diese "search coil" werden in den Forschungsberichten der Techn.Fakultät der Universität Hiroshima, Band 15, Heft Nr.2 mitgeteilt). Der Durchmesser der "search coil" war 7 mm, ihre Höhe betrug 9 mm, sie hatte die Form eines Kreiszyllinders; wie man in der Abbildung sehen kann, haben wir diese "search coil" an der Öldichtung befestigt und so die Änderung des Spaltes zwischen der Öldichtungsrippe und der Seitengehäusegleitfläche als die Änderung eines magnetischen Widerstandes abgegriffen.

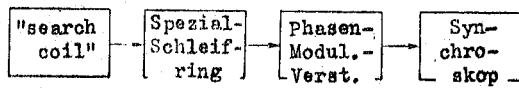


Abb.10 Blockdiagramm zum Messen der Verschiebungsschwingungen mit Hilfe der "search coil"

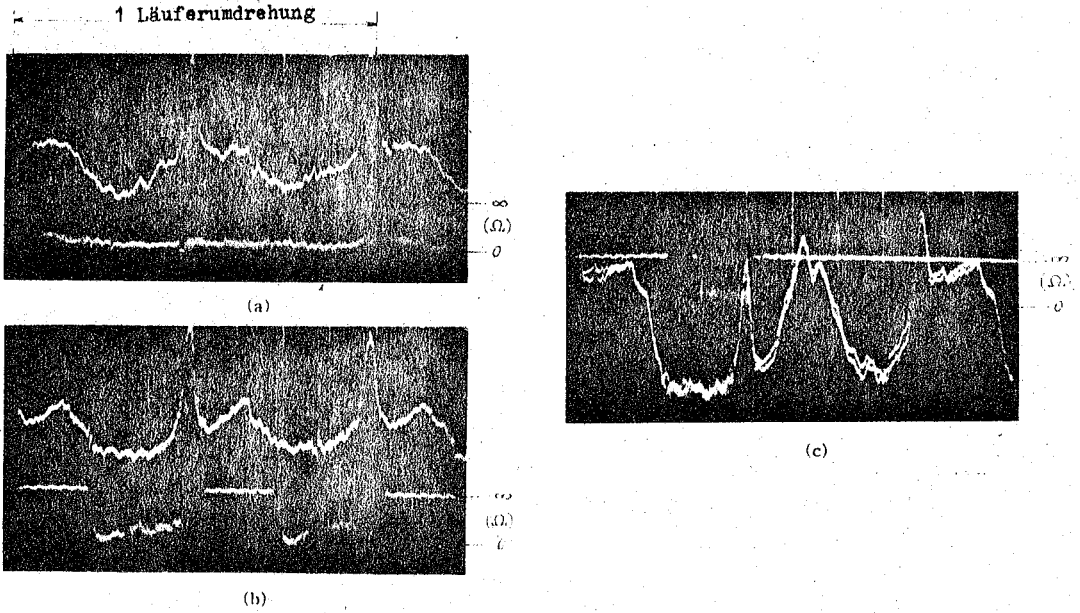


Abb.11 Beispiel der Messung der Schwingungen der Öldichtung und der gleichzeitigen Messung des Kontaktwiderstandes zwischen der Öldichtungslippe und der Seitengehäusegleitfläche mit Hilfe der "search coil" (Messung im Schiebetrieb (Motoring) bei der Drehzahl 3000 U/Min., die obere Aufzeichnung bezieht sich jeweils auf die mit der "search coil" festgestellte Wellenform, während die untere Aufzeichnung jeweils die Wellenform des Kontaktwiderstandes zeigt.)

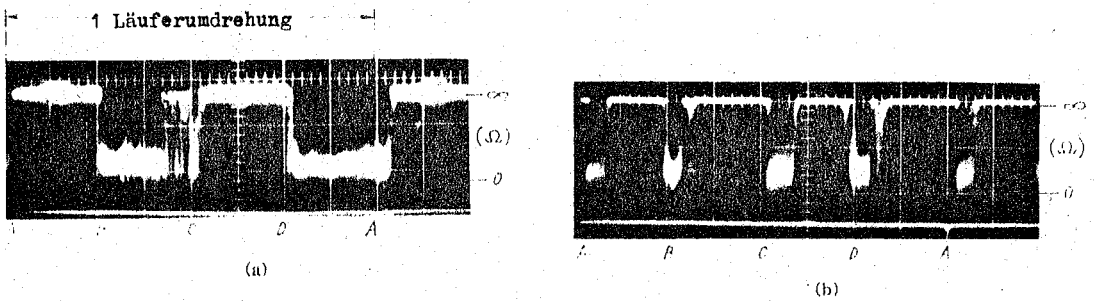


Abb.12 Die Form der Öldichtungslippenspitze und der Kontaktwiderstand (Drehzahl 3000 U/Min.; die unter den Abbildungen angegebenen Buchstaben A, B, C, D, A beziehen sich auf die einzelnen in der Abb.8 angedeuteten Lagen auf dem geometrischen Ort der Öldichtung)

An der einen Stelle, wo die "search coil" befestigt ist, haben wir die Öldichtung in der Form einer Ausnehmung aus geschnitten und an dieser Stelle ein Öldichtungsstück von 6 mm Länge und 3 mm Höhe mit Hilfe eines Isolationsklebstoffes befestigt, und dadurch, daß wir den Kontaktwiderstand zwischen dem vorderen Ende der Lippe (der Lippen spitze?) und der Gleitfläche maßen, konnten wir die Änderung des Spaltes zwischen der Dichtlippe und der Gleitfläche verfolgen.

In der Abb.10 haben wir in der Form eines Blockdiagrammes die Einrichtung zum Messen der Schwingungen der Öldichtung mit Hilfe der obengenannten "search coil" schematisch dargestellt; um die vom Zündsystem herrührenden Geräusche auszuschalten, haben wir einen Phasenmodulationsverstärker verwendet.

### 3.3 Die Meßergebnisse

Die Abb.11 zeigt die Ergebnisse, die wir bei gleichzeitiger Messung der Schwingungen der Öldichtung und des Kontaktwiderstandes zwischen der Dichtlippe und der Gleitfläche erhalten haben. Die obere Wellenform stellt die mit Hilfe der "search coil" gemessenen Schwingungen der Öldichtung dar, während die untere Wellenform die Änderung des Kontaktwiderstandes zwischen Dichtlippe und Gleitfläche zeigt. Wenn die Stelle, an welcher die "search coil" der Öldichtung befestigt ist, an den Punkten A und C der Abb.8 vorbeikommt, dann hebt sich die "search coil" von der Gleitfläche ab und man hat einen offenen Zustand, der im Diagramm in der Form einer Leistungsspitze erscheint, die jedoch mit der Schwingung der Öldichtung nichts zu tun hat.

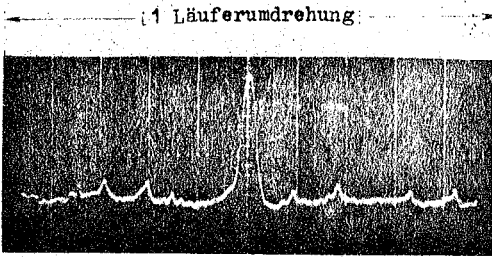
Die Abb.11(a) zeigt den Fall einer außerordentlich großen Befestigungslast (Einspannlast?) der Öldichtung, wir sehen aus dieser Abbildung, daß wir hier einen Grenzschmierzustand bzw. einen Metallkontaktzustand haben, die Öldichtung führt hier Torsionsschwingungen aus. In der Abb.11 (b) haben wir eine geringere Einspannlast als im Falle der Abb.11(a); hier treten die beiden Wirkungen der Öldichtung, das Dahingleiten auf dem Ölfilm und das Abstreifen des Ölfilmes ganz deutlich in Erscheinung, gleichzeitig stellen wir jedoch auch fest, daß an der Öldichtung selbst Torsionsschwingungen auftreten. Im Falle der Abb.11(c) haben wir eine äußerst kleine Einspannlast, so daß wir nahezu den Zustand eines Hochschwimmens der Öldichtung von der Gleitfläche weg haben, und wir sehen deutlich, daß die eigentliche Wirkung als Öldichtung verloren geht.

In der Abb.12 haben wir den Einfluß der Form der vorderen Enden der Öldichtungslippe mit Hilfe des Kontaktwiderstandes untersucht. Die Abb.12(a) zeigt den Fall einer Öldichtung mit guter Form der Lippenspitze, wir sehen aus dieser Abbildung, daß die beiden Wirkungen der Öldichtung, nämlich das Getragenwerden auf dem Ölfilm und das Abstreifen des Ölfilmes gut ausgeführt werden. Die Abb.12(b) zeigt den Fall eines schlechten Zustandes der Lippenspitze der Öldichtung; selbst an den Stellen, wo das Öl abgestreift werden müßte, wird die Dichtlippe vollständig auf dem Ölfilm getragen, so daß ihre Wirkung als Öldichtung nicht zustande kommt.

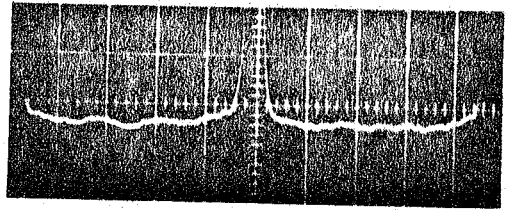
Die Abb.13 zeigt Beispiele der mit Hilfe der "search coil" durchgeführten Untersuchung des Einflusses des

Bearbeitungszustandes der Gleitfläche auf die Schwingungen der Öldichtung; die Abb.13(a) zeigt den üblichen Bearbeitungszustand, während die Abb.13(b) den Zustand einer Spezialbearbeitung darstellt, das Material war in beiden Fällen das gleiche. Im Falle des Bearbeitungszustandes der Abb.13(a) treten bei der Öldichtung wegen der schlechten Gleitfläche winzig kleine Schwingungen auf, auch der Ölverbrauch ist in diesem Falle ungünstiger; im Falle der Abb.13(b) treten dank der Spezialbearbeitung der Gleitfläche die winzig kleinen Schwingungen nicht auf und auch der Ölverbrauch ist hier ganz wesentlich besser.

Die Abb.14 zeigt die Ergebnisse, die wir bei der Beobachtung der Schwingungen dreier verschiedener Arten von Öldichtungen mit Hilfe unserer "search coil" erhalten haben. Die Öldichtung des 1.Typs stellt die heute verwendete Art der Öldichtung dar, auch die Schwingungsamplitude ist hier klein, und wir haben über einen weiten Drehzahlbereich hinweg eine hervorragende Öldichtungsleistung und eine sehr gute Abriebverschleißbeständigkeit. Die Öldichtung des 2.Typs ist aus einer Spezialkohle hergestellt, in diesem Falle wird die Schwingungsamplitude mit steigender Drehzahl größer, an der Lippe treten winzig kleine Schwingungen auf, die Schwingungscharakteristik der Öldichtung ist schlechter, mit bezug auf die Öldichtungsleistung und auf die Lebensdauer der Öldichtung, ist dies jedoch praktisch ohne Bedeutung. Der 3. in der Abb.14 (3) dargestellte Öldichtungstyp besitzt eine äußerst hohe Steifigkeit, was zur Folge hat, daß er irgend welchen wellenförmigen Erhebungen oder Vertiefungen in der Form


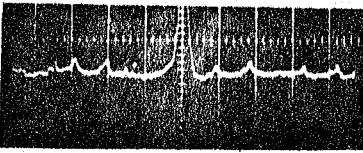
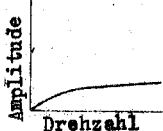

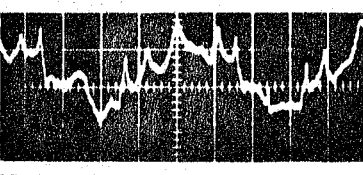
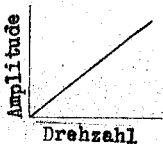
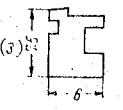
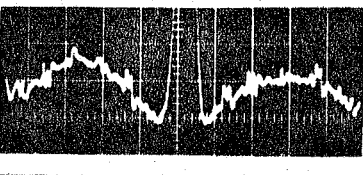
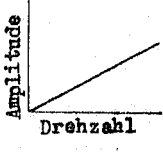


(a) Normalbearbeitung

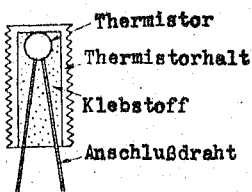


(b) Sonderbearbeitung

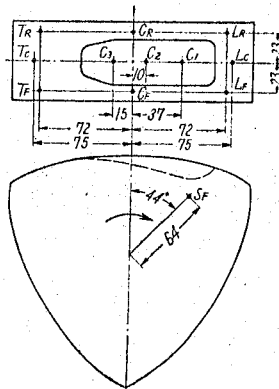
**Abb. 13** Der Bearbeitungszustand der Seitengehäusegleitfläche und die Schwingungen der Öldichtung (Drehzahl: 4500 U/Min.)

Öldichtungstyp	Öldichtungsschwingungen: 3000 U/min	Zusammenhang zwischen Drehzahl u. Amplitude
(1)  Spez. Gußeisen		
(2)  Spez. Kohle		
(3)  Spez. Gußeisen		

**Abb. 14** Die Schwingungscharakteristik der Öldichtung bei gleichem Seitengehäuse, jedoch verschiedenen Formen und Werkstoffen der Öldichtung



**Abb. 15** Die Befestigung des Thermistors



**Abb. 16** Die Temperaturmessstellen

der Gleitfläche nicht folgen kann, so daß sowohl das Getragenwerden auf dem Ölfilm, wie auch das Abstreifen des Ölfilmes schlecht ausgeführt werden. Auch die Schwingungseigenschaften sind ganz unabhängig von der Beschaffenheit der Gleitfläche über einen weiten Drehzahlbereich hinweg sehr schlecht.

#### 4. Das II.Meßbeispiel: Die Läufertemperatur während des Betriebes

Die Messung der Oberflächentemperatur des Läufers mit Hilfe von Temperaturkerzen ist zwar bereits bis zu einem gewissen Grade durchgeführt worden, ein Teil der dabei erhaltenen Ergebnisse ist an anderer Stelle mitgeteilt worden; bei der Verwendung von Temperaturkerzen jedoch hat man den Nachteil, daß dabei jeweils nur die maximale Temperatur festgestellt werden kann. Es ist von vornherein zu vermuten, daß die Temperatur des Läufers je nach den Betriebsbedingungen des Motors ganz erheblichen Änderungen unterworfen ist. Außerdem ist es ganz klar, daß diese Temperatur in hohem Maße von der Form der inneren Läuferkammern, von dem Zufluß und Abfluß des Öles in diesen Kammern, sowie von der Öldurchströmmenge beeinflusst wird.

Bei dem Meßbeispiel, das nachstehend noch eingehend dargelegt werden soll, haben wir die Änderung der Oberflächentemperatur des Läufers während des Betriebes bei den verschiedenen Betriebszuständen untersucht und zu diesem Zwecke für einen Teil unserer Messungen Thermistoren verwendet; derartige Messungen sind überhaupt nur möglich, wenn man einen Spezialmotor, wie wir ihn oben beschrieben haben, verwendet.



#### 4.1 Die Meßmethodik

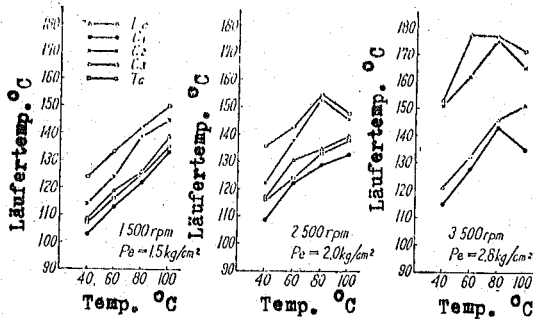
Um ein möglichst kleines Meßelement zu bekommen, haben wir unbedeckte (unbewährte? nicht überspannene?) Thermistoren verwendet; wie dies in der Abb.15 dargestellt ist, haben wir den Thermistor mit Hilfe eines Klebemittel in einem Halter befestigt und in die Läuferoberfläche eingelassen. Dabei hat man darauf geachtet, daß der temperaturempfindliche Teil des Thermistors in einer etwa 0.5 - 1 mm von der Oberfläche entfernten Tiefe zu liegen kam. Die Meßstellen sind aus der Abb.16 ersichtlich.

Bedingt durch die Zahl der Anschlußmöglichkeiten bei der in den Meßmotor eingebauten Schleifringeinrichtung konnten wir unsere Messungen an nicht mehr als gleichzeitig vier Punkten ausführen, wir haben deshalb die einzelnen Punkte für die Messung aufgeteilt und haben es so eingerichtet, daß bei jeder einzelnen Messung unbedingt immer ein Meßpunkt der vorhergehenden Messung mit enthalten war; dadurch daß wir die Temperatur dieses gemeinsamen Punktes mit einbezogen, haben wir erreicht, daß die Meßbedingungen bei jeder einzelnen Messung gleich waren.

Für die Ablesung der Temperatur haben wir einen Thermistorvielpunkttemperaturmesser verwendet. Die benützten Thermistoren wurden, wohl deshalb, weil nur wenige zur Verfügung standen (?), schnell schlecht, und es gab schon während der Messungen Punkte, an denen die Messung unmöglich war. In der Abb.16 haben wir diese Punkte weglassen.

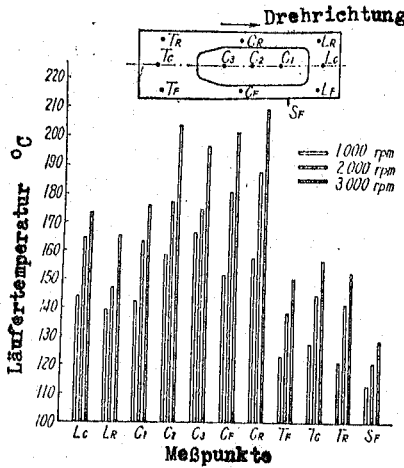
#### 4.2 Die Meßergebnisse

Wir wollen hier einige Beispiele aus den Ergebnissen einer



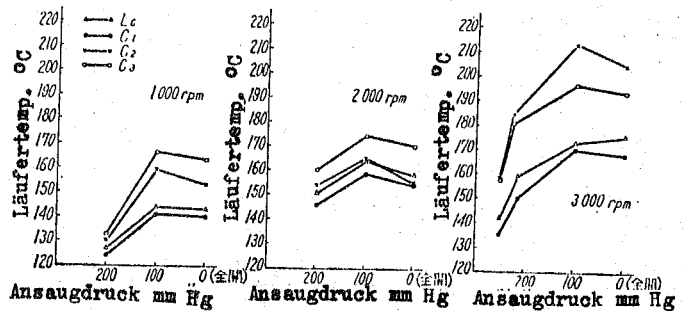
Kühlwassertemperatur:  $80^\circ\text{C}$

**Abb.17** Temperatur des Läuferkühlöles und die Läufer-temperatur



Druck in der Ansaugleitung:  $-100 \text{ mm Hg}$ , Kühlwassertemperatur:  $80^\circ\text{C}$ , Öltemperatur:  $80^\circ\text{C}$

**Abb.18** Der Zusammenhang zwischen der Temperatur und der Drehzahl an den verschiedenen Meßpunkten



Kühlwassertemperatur:  $80^\circ\text{C}$ , Temperatur des Läuferkühlöles:  $80^\circ\text{C}$  bei ganz geöffneter Drosselkl.

**Abb.19** Der Zusammenhang zwischen der Last und der Läufer-temperatur

Versuchsreihe anführen. Die Abb.17 zeigt den Zusammenhang zwischen der Temperatur des Läuferkühlöles und der Läufer-temperatur, es sind hierbei die auf der Läufermittellinie erhaltenen Meßergebnisse herausgegriffen worden. Ganz allgemein kann man sagen, daß die Änderung der Läufer-temperatur und die Änderung der Öltemperatur in einem im wesentlichen linearen Zusammenhang stehen, dies hat sich auch an den anderen Meßpunkten gezeigt. Bei einer Öltemperatur von  $100^{\circ}\text{C}$  gibt es zwar Meßstellen (?), an denen die Läufer-temperatur niedriger ist, dies kann jedoch von dem Zustand der Verbrennung in dem betreffenden Augenblick herrühren, oder aber kann dies auch mit dem Zustand des Ölzustromes zum Innern des Läufers zusammenhängen, diese Frage ist noch nicht vollständig geklärt. Auch an anderen Meßpunkten haben wir bisweilen eine derartige Tendenz beobachtet.

Die Abb.18 zeigt für die einzelnen Meßpunkte die Änderung der Läufer-temperatur mit der Drehzahl, wir haben dabei als Beispiel den Fall eines Druckes in der Ansaugleitung von  $-100\text{ mm Hg}$  herausgegriffen. Aus der Abbildung sehen wir deutlich, daß die Temperatur mit steigender Drehzahl zunimmt, es ist also ganz klar, daß wir dafür sorgen müssen, daß mit steigender Drehzahl die Läuferkühlölmenge höher wird.

Die Abb.19 zeigt Beispiele für den Fall, daß sich die Last ändert, dabei stellen wir die interessante Erscheinung fest, daß wir bei Vollast nicht immer die maximale Temperatur haben.

Die Abb.20 zeigt den Einfluß der Kraftstoffdurchströmmenge

Da sich in diesem Falle natürlich Hand in Hand mit der Änderung des Verbrennungszustandes auch die abgegebene Leistung ändert, so weist hier die Läufer-temperatur sehr starke Unterschiede auf.

Aus den Versuchsergebnissen geht hervor, daß ganz allgemein die Läufer-temperatur in der Mitte am höchsten wird, daß sie sodann auf der mit bezug auf die Drehrichtung fortschreitenden Seite niedriger wird und auf der mit bezug auf die Drehrichtung ~~der~~ zurückbleibenden Seite am niedrigsten ist (?). Es ist anzunehmen, daß dies damit zusammenhängt, daß die Verbrennungskammer des Kreiskolbenmotors schmal und lang ist, daß sie zudem umläuft, daß das Gasgemisch in der Drehrichtung des Läufers strömt, und daß die Entflammung Schwierigkeiten hat, entgegengesetzt der Drehrichtung des Läufers fortzuschreiten.

##### 5. Schlußwort

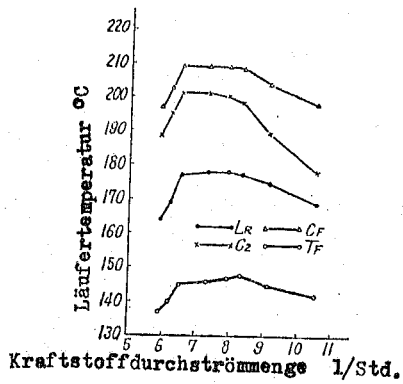
In der vorliegenden Arbeit berichten die Verfasser über einen von ihnen eigens zum Zwecke der Messung der Erscheinungen im Innern eines Kreiskolbenmotors gebauten Versuchsmotor und sie legen einen Teil der bei ihren Versuchen erhaltenen Ergebnisse vor. Außerdem wird dieser Versuchsmotor auch bei der Messung und der Analyse einer ganzen Reihe anderer auf das engste mit dem Verhalten der Öldichtungen zusammenhängenden Erscheinungen verwendet, wie etwa der Bewegung des Läufers in axialer Richtung, der Schwingungen der Andrückfedern (back up springs) für die Öldichtungen und die Gasdichtungen, der Druckschwankungen in der Nähe der Öldichtungen, des Verhaltens der verschiedenen Arten von Gasdichtungen usw.; somit ist es

also gelungen, durch den von uns konstruierten Versuchsmotor einen großen Beitrag zur Erfassung der Charakteristiken des Kreiskolbenmotors und zu seiner weiteren Entwicklung zu leisten. Die Tatsache, daß es gelungen ist, eine Erforschung dieser so wichtigen Erscheinungen im Innern des Kreiskolbenmotors durchzuführen, hängt auf das Innigste mit diesem Meßverfahren zusammen, wobei man der Entwicklung der in ihren Abmessungen äußerst kleinen und in ihrer Leistung so hervorragenden "search coil" viel zu verdanken hat.

Trotz alledem haften unserem Versuchsmotor noch immer gewisse Mängel an und man kann nicht sagen, daß er bereits ausreichend entwickelt ist. So kann man z.B. nicht gleichzeitig eine größere Zahl von Erscheinungen messen, bei hohen Drehzahlen wird die Lebensdauer der Anschlußdrähte problematisch usw., dies sind nur einige Punkte, die ganz besonders einer weiteren Verbesserung bedürfen. Bis jetzt haben wir mit unserem Versuchsmotor Erfahrungen gesammelt und angewandt, wir sind zur Zeit damit beschäftigt, neue Meßeinrichtungen versuchsweise herzustellen, mit denen wir die Möglichkeit bekommen, den Motor in nahezu unveränderter Normalausführung zu verwenden, und da bei diesen neuen Einrichtungen auch keine Anschlußdrähte mehr gebraucht werden, so dürfen wir erwarten, daß damit auch die Frage der Lebensdauer gelöst ist.

Zum Schluß unserer Arbeit wollen wir noch bemerken, daß sowohl die Entwicklung des hier beschriebenen Meßverfahrens, wie auch die auf diesem Verfahren beruhenden Versuche unter Führung des Leiters der Kreiskolbenmotoren-

Forschungsabteilung, Herrn Yamamoto, durchgeführt worden sind und daß dabei der Chef der Kreiskolbenmotoren-Planungsabteilung, Herr Kuroda, sowie Herr Takeuchi von der Kreiskolbenmotoren-Prüfabteilung mitgewirkt haben.



Vollastbetrieb, Kühlwassertemperatur:  $80^{\circ}\text{C}$ ,  
Temperatur des Läuferkühlöles:  $80^{\circ}\text{C}$

Abb. 20 Der Zusammenhang zwischen der Kraftstoffdurchströmung und der Läufer-temperatur