

Nur für den Dienstgebrauch
C 6 K 313

000151

Deutsche Luftfahrtforschung

Untersuchungen und Mitteilungen Nr. 695

Messung der Kolbentemperatur
am laufenden Motor

Glaser

Verfaßt bei

Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt E. V.
Institut für Betriebsstoffforschung
Berlin-Adlershof

Zentrale für wissenschaftliches Berichtswesen
der Luftfahrtforschung des Generalluftzeugmeisters (ZWB)
Berlin-Adlershof

000152

Zur Beachtung!

Dieser Bericht ist bestimmt für die Arbeiten im Dienstbereich des Empfängers. Der Bericht darf innerhalb dieses Dienstbereichs nur an Persönlichkeiten ausgehändigt werden, die aus dem Inhalt Anregungen für Ihre Arbeiten zu schöpfen vermögen.

Verwendung zu Veröffentlichungen (ganz oder teilweise) sowie Weiterleitung an Persönlichkeiten außerhalb des Dienstbereichs des Empfängers ist ausgeschlossen.

Der Bericht ist unter Stahlblechverschluß mit Patentschloß zu halten.

Messung der Kolbentemperatur am laufenden Motor.

Überzicht: Es wird über das in Amerika und Holland schon seit einiger Zeit angewendete Verfahren berichtet, die Kolbentemperaturen am laufenden Motor mittels Thermoelementen nach der Gegenstrommethode zu messen. Die Schwierigkeiten bei der Anwendung in der LVL waren weniger grundsätzlicher Art, sondern lagen vielmehr in der konstruktiven Gestaltung der Motoren. Trotzdem ist es gelungen, zufriedenstellende Messungen über längere Zeit durchzuführen, sodaß in Zukunft die Überwachung der Kolbentemperaturen bei Dauerversuchen möglich ist.

- Gliederung:
- I. Zweck der Temperaturmessung am Kolben
 - II. Beschreibung des Verfahrens
 - III. Anwendung des Verfahrens in den USA
 - IV. " " " " in der DVL

- 1. Die Gegenstromanlage
- 2. Die Gegenstromanlage als sichgerät für Thermolemente
- 3. Die Messung des Nullstromes
- 4. Der Einbau der Thermodrähte im Kolben
- 5. Die Schleifkontakte

- V. Schlußfolgerungen
- VI. Zusammenfassung
- VII. Schrifttum

Der Bericht umfaßt:

38 Seiten mit
20 Abbildungen

Institut für Betriebstoffforschung
der
Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt, E.V.

Der Bearbeiter:

W. Glaser
W. Glaser

I. Zweck der Temperaturmessung am Kolben.

Die umfangreichen Untersuchungen, die bisher über das Dauerverhalten von Kraftstoffen und Schmierstoffen angestellt worden sind, haben immer wieder gezeigt, daß die Rückstandsbildung, also die Neigung zum Kolbenringstecken, in erster Linie von den verwendeten Betriebsstoffen und der Temperatur abhängig ist (1,2).⁺

Bei der Prüfung von Kraftstoffen und Schmierstoffen (Bestimmung der Laufzeit bis zum Kolbenringstecken) war es bisher immer nur möglich, den Zustand des Motors durch Beobachtung bestimmter Zylindertemperaturen gleichzuhalten, wobei angenommen wurde, daß dann auch die Temperatur in der Kolbenringpartie konstant blieb. Tatsächlich ist jedoch die Kolbentemperatur nicht nur von der Zylinderwand- bzw. Kühltemperatur abhängig, sondern fast ebenso sehr von der Kühlung durch das Öl und vom Kolbenspiel im Zylinder. Es zeigte sich immer wieder, daß Motoren der gleichen Bauart unter vollkommen gleichen äußeren Bedingungen mit demselben Betriebsstoff außerordentlich unterschiedliche Laufzeiten ergaben, sodaß die Bezugstemperaturen (z.B. die Temperatur am Kerzenring im Windschatten) für gleiche Laufzeiten um mehr als 40°C schwankten.

Es muß mit ziemlicher Sicherheit angenommen werden, daß diese Unterschiede allein auf die bei den einzelnen Motoren sehr verschiedene und schwer überwachbare Verteilung der Wärmeabgabe des Kolbens zurückzuführen ist. Deshalb ist es dringend notwendig, bei jedem Prüflauf die Temperatur zu kennen, die jeweils in der Ringpartie herrscht. Aus diesem Grunde wird ein Verfahren, das die Beobachtung der Kolbentemperatur an einer bestimmten Stelle während des Laufes ermöglicht, die Zuverlässigkeit und Wiederholbarkeit von Betriebsstoffdauerprüfungen außerordentlich erhöhen.

⁺) Die eingeklammerten Zahlen verweisen auf das in Abschnitt VII zusammengestellte Schrifttum.

II. Beschreibung des Verfahrens.

Es ist naheliegend, die Kolbentemperaturen mittels Thermoelementen zu messen. Zur Lösung dieser Aufgabe sind schon die verschiedensten Wege beschritten worden (3); zu einem einigermaßen zufriedenstellenden Erfolg führte allein ein bisher in den USA und Holland angewendetes Verfahren (4, 5, 6)⁺, das im nachfolgenden näher beschrieben werden soll und auch als Grundlage für die in der DVL vorzunehmenden Maßnahmen diente.

An der Stelle, an der im Kolben die Temperaturen während des Laufes gemessen werden sollen, ist ein Thermoelement eingebaut, dessen beide Drähte zu Kontaktstücken führen, die sich am unteren Rand des Kolbens befinden. Diese Kontaktstücke berühren in der Zeit, in der sich der Kolben im unteren Totpunkt befindet, Gegenkontakte, über die der Thermostrom weitergeleitet wird. Da die Berührungszeit nur sehr kurz ist, würde ein an die Gegenkontakte über eine kalte Lötstelle angeschlossenes Millivoltmeter nur einen sehr kleinen Teil der tatsächlichen Thermokraft anzeigen; außerdem spielt der ständig schwankende Widerstand an den Kontakten hierbei eine Rolle, sodaß auch eine trägheitsfreie - z.B. oszillographische - Anzeige nicht den tatsächlichen Thermostrom wiedergibt.

Die Messung der Thermokraft geschieht daher nach der sogenannten Nullpunktmethode. Wird an das Thermoelement bzw. an die Gegenkontakte eine entgegengesetzt gerichtete EMK angelegt, so fließt in dem gesamten Kreis kein Strom, wenn die Thermokraft und die Gegen-EMK gleich groß sind. Um also die Temperatur an der Meßstelle zu bestimmen, muß der Gegenstrom, der ja ohne weiteres meßbar ist, so groß gemacht werden, daß in dem gesamten Kreis der Strom Null fließt. Die Größe des Gegenstromes entspricht dann der Temperatur an der Meßstelle.

⁺) mündl. Mitteilung der Bataafschen Petroleum Maatschappij, Proefstation "Delft".

Bei dieser Meßmethode spielt der Übergangswiderstand bekanntlich keine Rolle, da ja stets der Strom Null fließt, gleichgültig, ob der Widerstand unendlich groß (Unterbrechung) oder sehr klein ist. Bei sehr hohen Übergangswiderstand ist allerdings die Einstellung des Nullstromes schwieriger, da der Spannungsfall dann an den Übergangsstellen derartig groß ist, daß nur noch beträchtliche Unterschiede zwischen Thermostrom und Gegenstrom vom Meßinstrument angezeigt werden. Aus diesem Grunde muß dafür gesorgt werden, daß die Berührungsflächen möglichst groß und der Übergangswiderstand möglichst klein ist. Jedoch leidet bei schlechtem Übergang nur die Genauigkeit der Messung, ein Meßfehler tritt dabei nicht auf.

III. Anwendung des Verfahrens in den USA.

Um ein möglichst klares Bild über die Entwicklung des Verfahrens zu geben, soll hier zunächst kurz auf die Anwendung desselben in den USA eingegangen werden (5):

Der Gegenstrom wurde in Amerika aus einer durch eine Batterie gespeisten Wheatstone'schen Brücke entnommen; seine Regulierung erfolgte durch einen in der Brücke liegenden veränderlichen Widerstand. Die gesamte Anlage war so ge-eicht, daß die Größe des Brückenstromes, also die zu messende Temperatur, direkt an der Einstellung des Regulierwiderstandes abgelesen werden konnte. Zur Messung des Nullstromes wurde ein empfindliches Lichtmarkengalvenometer verwendet.

Bei Motoren mit niedriger Drehzahl waren die Übergangskontakte so ausgebildet, daß das am unteren Rand des Kolbens befindliche Kontaktpaar beim Durchlaufen des unteren Totpunktes zwei in Bewegungsrichtung des Kolbens federnde Gegenkontakte berührte. Bei hoher Drehzahl hat sich diese Ausführungsart nicht bewährt; sodaß sie durch Schleifkontakte ersetzt werden mußte. Als Kontaktmaterial brachte eine auf Stahlfedern aufgelötete Silberlegierung die besten Ergebnisse. Die Kontaktfedern waren so eingestellt, daß sie

bei Berührung um etwa 0,25 ms (in der Mitte der Gleitfläche gemessen) aus der Ruhestellung herausgedrückt wurden. Die Berührungszeit betrug etwa 70 bis 80°KV, was einer Berührungslänge von etwa 9,5 mm (lub 95mm) entspricht. Große Schwierigkeiten zeigten sich beim Einbau der Thermoelemente im Kolben. Die Drähte mußten isoliert bis an die Meßstelle geführt werden, wofür ein auch bei höheren Temperaturen zuverlässiges Material verwendet werden mußte. Die Befestigung der Thermoelemente mit Zement erwies sich als unbrauchbar, da während des Betriebes meist kleine Teile dieses Materialen herausbrachen, wodurch neben erhöhtem Abrieb auch des Öfftoren Fressen an den gleitenden Teilen auftraten. Deshalb wurden für die am Kolbenboden eingebauten Elemente spitzbogenartig gebogene Stahldrähte als Träger im Kolben verwendet; um diese Stützen wurde der eigentliche Thermodraht herumgewickelt und mit Fischleine und einem Dichtkitt befestigt. In einem anderen Falle wurde der Stützbogen aus Röhrenmaterial angefertigt, in das dann die Elementendrähte mit Zement eingekittet waren.

Unter diesen Bedingungen ließen sich während sehr langer Betriebszeiten einwandfreie Messungen vornehmen. Schließlich sei noch darauf hingewiesen, daß das Verfahren in letzter Zeit auch von Gege u. Niedermeyer (T.F.Graz((7) übernommen worden ist. Leider sind keine näheren Angaben gemacht, die Ausführungen lassen jedoch auf ziemlich geringe mechanische und thermische Beanspruchungen bei den Messungen schließen (Greugetkolben, Isolierungen am Kontakt durch Hartgummi, Kipphebel als Träger der Gegenkontakte).

IV. Anwendung des Verfahrens in der DVL.

Grundsätzlich besteht zwischen dem in der DVL und den USA angewendeten Verfahren kein Unterschied. Lediglich in der Ausführung der einzelnen Teilgeräte sind von der DVL eigene Wege beschritten worden:

1. Die Gegenstromanlage.

Die Einregulierung des Gegenstromes mit Hilfe einer

Wheatstone'schen Brücke und seiner Messung durch die Einstellung des Regelwiderstandes kann nur dann absolut zuverlässig sein, wenn

- a) der Regelwiderstand weder durch Temperatur noch durch Verschleiß verändert wird,
- b) der Übergangswiderstand am Gleitbügel des Widerstandes stets gleich und sehr klein ist,
- c) der Ausgangstrom bei jeder Brückenbelastung gleich groß bleibt.

Diese Forderungen sind jedoch z.T. nur schwer zu erfüllen: Der Einfluß der Temperatur auf die Größe des Widerstandes läßt sich durch geeignete Wahl des Materials ohne weiteres ausschalten. Da der regulierbügel an jeder Stelle einen guten Kontakt haben muß und andererseits sicherlich viel reguliert wird, dürfte ein Abrieb des Widerstandsdrahtes an den Gleitstellen unvermeidlich sein, insbesondere, wenn eine sehr feine Regelmöglichkeit gefordert wird. Verschleiß, also in diesen Falle eine Querschnittsverkleinerung, bedeutet aber auch eine Widerstandsänderung. Diese Schwierigkeit könnte daher höchstens durch umständliche Sondermaßnahmen beseitigt werden. Schließlich müßte, um die unter c) angeführte Schwierigkeit zu beheben, eine automatische Regelvorrichtung (z.B. Eisen-Wasserstoff-Widerstand) für den Ausgangstrom verwendet werden.

Um diese Unsicherheiten von vornherein auszuschalten, ist die DVL einen anderen Weg gegangen: Der Gegenstrom wird hier von einem Thermoelement geliefert, das durch eine elektrische Heizanlage auf dieselbe Temperatur wie die Meßstelle im Kolben gebracht wird. Die Temperatur des Gegenelementes wird durch ein weiteres Thermoelement gemessen. Um irgendwelche Fehler und Unsicherheiten nach Möglichkeit zu vermeiden, sind Anzeige- und Gegenthermoelement in einem Knoten verschweißt. Dieser ist von einer elektrisch aufheizbaren Drahtspirale umgeben (Abb. 1a), durch die der Thermoknoten auf jede beliebige Temperatur gebracht werden kann. Es ist selbstverständlich, daß die Spirale freischwebend aufgebaut ist, sodaß der Knoten bezw. die Thermodrähte nicht berührt

werden. Zum Schutz gegen Luftströmungen, durch die u.U. eine ungleichmäßige Wärmeabgabe und damit Schwankungen der Temperatur des Thermoknotens verursacht werden können, ist über dieses thermostat ein Glaszylinder gestülpt (vgl. Abb. 1b). Dieser liegt nur lose auf, so daß die im Innenraum erwärmte Luft ohne weiteres entweichen kann.

Während die beiden Drähte des Gegenelementes über das Nullinstrument zu den Gegenkontakten im Motor führen, werden die des Anzeigeelementes über eine kalte Lötstelle geleitet (vgl. das Schema der Gesamtanlage Abb. 2). Ein direkt in Temperatur anzeigendes Kreisprofilgerät, das mit dem Elementenmaterial genau geeicht war, hat sich hierbei besonders gut bewährt.

Die Heizspirale ist über verschiedene Widerstände mit einem hochbelastbaren Transformator verbunden, der die Netzspannung auf 20 Volt heruntertransformiert. Die Schaltung der Heizanlage ist in Abb. 3 dargestellt. Zwischen Heizspirale und Stromquelle sind hier verschiedene Festwiderstände geschaltet, die durch die dazugehörigen Kurzschlußschalter wahlweise zu- und abgeschaltet werden können. In Reihe hiermit liegen dann noch drei sehr niedrigohmige, hochbelastbare Regelwiderstände zur Feineinstellung. Dieser Aufbau gestattet eine äußerst genaue und schnelle Einstellung der Temperatur des Thermoknotens. Entsprechende Versuche haben gezeigt, daß sich in kürzester Zeit (etwa 3 Minuten) jede beliebige Temperatur von 20°C bis etwa 850°C sehr genau einregulieren läßt.

Da bei einem Bruch der Thermoleitungen zwischen Meßstelle und Gegenelement ebenso wie bei der Messung selbst der Strom Null fließt, kann u.U. falsch gemessen werden, da die Störung nicht rechtzeitig bemerkt worden ist. Deshalb ist in der Anlage noch ein Druckknopfschalter eingebaut, der die drei Feinregelwiderstände kurz schließt; dadurch kann der durch die Heizspirale gehende Strom für kurze Zeit erhöht werden, was eine Änderung des Gegenthermostromes zur Folge hat. Das Nullinstrument muß dann ausschlagen, solange die Leitungen in Ordnung sind.

Die gesamte Bedanlage einschl. Nullinstrument ist in Abb. 4 u. 5 dargestellt. (In Abb. 6 u. 7 ist die neuere Ausführung des Gegenstromgerätes wiedergegeben.) Oben links (Abb. 4) befindet sich das Kreisprofilgerät zum direkten Ablesen der Temperaturen; der links vom Ampèremeter befindliche Schalter dient zum Ausschalten des gesamten Gegenstromgerätes; gleichzeitig wird damit auch das Anzeigeelement kurz geschlossen (vgl. auch Abb. 3), sodaß es beim Transport geschont wird. Bei der neuere Ausführung (Abb. 6) ist rechts der Druckknopfschalter eingebaut, der wie oben beschrieben, zur Prüfung des Zustandes der Thermoelemente dient. Die vier darunter liegenden Schalter dienen zum Kurzschließen der festen Widerstände. (Bei der in der Abb. 4 wiedergegebenen ersten Ausführung des Gerätes sind es Apparateklemmen, die wahlweise miteinander verbunden werden können.) Ganz unten befinden sich die 3 Knöpfe für die Feinregulierung. - Rechts neben dem Schaltkasten steht das Nullinstrument.

Die Rückansicht (Abb. 5) zeigt im Vordergrund rechts den Behälter mit schmelzendem Eis für die Kaltlötstelle, links daneben den Transformator; dazwischen weiter nach hinten liegend ist der Heizkörper zur Erzeugung des Gegenstromes zu sehen. Die übrigen Teile sind deutlich erkennbar, sodaß sie hier nicht näher beschrieben werden müssen.

2) Die Gegenstromanlage als Eichgerät für Thermolemente.

An dieser Stelle soll noch erwähnt werden, daß sich diese Gegenstromanlage auch ausgezeichnet zum Eichn der verschiedensten Thermoanlagen geeignet hat.

Aus diesem Grunde ist das Gerät so gebaut worden, daß der Heizkörper zur Erzeugung des Gegenstromes ausgetauscht werden kann (vgl. Abb. 7). Soll ein bestimmtes Thermolement geeicht werden, so ist ein Heizkörper zu verwenden, bei dem das Gegenstromelement durch das zu eichende Element ersetzt ist. Wird an das Element über eine kalte Lötstelle ein Millivoltmeter angeschlossen, so läßt sich, da ja jede beliebige Temperatur in kurzer Zeit mit dem Gegenstromgerät einge-

gestellt werden kann, sehr schnell eine Michkurve aufstellen.

Auf dieselbe Art läßt sich selbstverständlich auch ein Anzeigelinstrument oder eine Thermomeßanlage überprüfen. - Es wurden in der DVL eine größere Anzahl derartiger Heizkörper hergestellt, in die die verschiedensten Thermomaterialien eingebaut waren. Um eine schnelle und zuverlässige Überprüfung z.B. der in den Prüfständen eingebauten Meßanlagen vorzunehmen, war es nur notwendig, den Heizkörper mit dem entsprechenden Thermomaterial anzuschließen; die Kontrolle konnte dann in sehr kurzer Zeit (insgesamt etwa 10 Min.) durchgeführt werden. (In Abb. 1b ist z.B. ein Heizkörper zur Überprüfung der Meßanlage für die Kerzenringtemperatur am BMW 132-Ölprüfmotor wiedergegeben).

3. Die Messung des Nullstromes.

Um genaue Messungen vornehmen zu können, muß das Nullinstrument eine von weniger als 0,01 mV noch deutlich anzeigen. Diese Forderung wurde von einem Lichtmarkengalvanometer der Fa. Hartmann u. Braun^{*)} zufriedenstellend erfüllt (vgl. auch Abb. 4 rechts).

Da aber z.Zt. sehr große Beschaffungsschwierigkeiten für derartige Instrumente (Lieferzeit mindestens 18 Monate) bestehen, wurde von der DVL noch ein anderer Weg bei der Bestimmung des Nullstromes gegangen: Der Strom, der zwischen der Meßstelle im Kolben und dem Gegenthermoelement fließt, wird ja ständig der Motordrehzahl entsprechend unterbrochen. Ein derartig zackiger Gleichstrom läßt sich daher transformieren und auf bekannte Art verstärken; eine geeignete Niederfrequenzverstärkerschaltung mit elektr. Mittelwertbildung in der Endstufe ist in Abb. 8 wiedergegeben.⁺⁺⁾ Der an sich verhältnismäßig hohe Anodenstrom wird nach dieser Schaltung auf Null kompensiert, sodaß die über den Transformator auf das Gitter gegebenen Schwankungen durch entsprechende Verstärkung von einem empfindlichen Meßinstrument an-

*) Typ HL 2, Listen-Nr. 1672

++) Die Schaltung wurde durch Herrn Dr. Lichtenberger unter Mitarbeit von Ing. Ende zur Verfügung gestellt. (DVL, Inst. D)

gezeigt werden. Mit dieser Anlage konnten ebenfalls Messungen durchgeführt werden; die Anzeige war noch etwas undeutlich, was jedoch bei Verwendung einer weiteren Verstärkerstufe sicherlich noch verbessert werden kann. An dieser Stelle soll auch auf den sog. den Logge und Niederwayer (T.H.Graz)(7) hingewiesen werden, hingewiesen werden. Hier wird der Gegenstrom und die entsprechende Kompensation durch Zweignete in Gegen-takt geschaltete Röhren erreicht. Auch der von Schwenkthagen (T.H. Lanzig)(8) ausgearbeitete Steuerumformer zur Messung sehr kleiner Gleichströme wird sicherlich als Ersatzgerät für ein Lichttaarkongalvanometer geeignet sein.

4. Der Einbau der Thermodrähte im Kolben.

Ebenso wie in den USA war auch hier der Einbau der Thermoelemente in den Kolben außerordentlich schwierig. Besonders erschwerend war die Forderung, daß die Kolbentemperaturmessung an einem ganz bestimmten Motor durchgeführt werden sollte und nicht an einem beliebigen, der sich vielleicht besonders gut für den Einbau der Drähte und Kontakte eignete. Weiter mußte verlangt werden, daß die thermischen Eigenschaften des Kolbens (Wärmefluß, Gewicht) möglichst wenig verändert werden.

Wie anfangs erwähnt, sollte mit den Messungen in erster Linie das Verhalten der Temperaturen in der Kolbenringpartie während des Laufes erfaßt werden. Es war daher wünschenswert, ein Thermoelement so im Kolben einzubauen, daß die Temperatur der ersten Ringnut gemessen werden konnte. Um zuverlässige Ergebnisse zu erhalten, mußten folgende Gesichtspunkte umfassend berücksichtigt werden:

- 1) Ständige metallische Berührung des Thermoelementes mit dem Kolben. Ein allmähliches Zusetzen irgendwelcher freier Räume zwischen Element und Kolben durch Ölkohle oder andere Rückstände führt zu einer Änderung des Wärmeüberganges und damit zu einer Fehlmessung.
- 2) Isolierte Führung der Thermodrähte bis zur Meßstelle; Berührung zwischen Drähten und Kolben an anderen Stellen führt ebenfalls zu ungenauen Meßergebnissen

3) Um diese Störungen zu vermeiden, müssen die Drähte fest und schwingungsfrei im Kolben eingebaut sein.

Schon der Einbau des Thermoelementes in der Meßstelle machte außerordentliche Schwierigkeiten: Da alle Motoren, die für die Messungen vorgesehen waren, Leichtmetallkolben hatten, war ein Einlöten oder Verschweißen des Thermoelementes mit dem Kolbenmaterial nicht möglich. Der Versuch, ein kleines Eisen- oder Kupferklötzchen, in dem die Drähte hart eingelötet waren, in einer in der Folbennut vorgesehenen Bohrung zu verstemmen, führte nicht zum Erfolg, da als Folge der verschiedenen Wärmdehnung sich während des Betriebes stets kleine Spalte bildeten, durch die die Verbrennungsgase hindurchströmen konnten. Die in den Spalten abgelagerten Rückstände führten zu den unter 1 (s.o.) erwähnten Meßfehlern. Daher mußte auf eine direkt in der Kolbenringnut liegende Meßstelle verzichtet werden; Thermomaterialien mit einer dem Leichtmetall entsprechenden Wärmeausdehnung konnten, abgesehen von ungenügenden thermoelektrischen Eigenschaften, wegen ihrer zu geringen Festigkeit nicht verwendet werden.

(a) Der Einbau im NSU- und DKW-Kolben:

Da der Einbau des Elementes vom Kolbeninnern aus, insbesondere die Isolierung eines jeden Drahtes bis zur eigentlichen möglichst nahe hinter der Nut liegenden Meßstelle, zu erheblichen technischen und mechanischen Schwierigkeiten geführt hätte, mußte auch auf eine Messung direkt hinter der Nut verzichtet werden. Bei den beiden kleinen Motoren, die für die Messungen vorgesehen waren - dem NSU-Motor 501/OS (500 ccm) und dem DKW-Motor SW 301 (300 ccm) - wurden die Drähte sehr nahe nebeneinander im Kolbeninnern hinter der Kolbenringpartie verstemmt. Es zeigte sich, daß diese Art der Befestigung allen Beanspruchungen während des Laufes standhielt, da hier ein Durchblasen irgendwelcher Gase nicht auftreten konnte. Außerdem war anzunehmen, daß die Temperaturen an dieser Einbaustelle ungefähr denen der Ringnut proportional sind, sodaß von hier aus auf die Temperaturen

in der Kolbenringpartie geschlossen werden konnte. Der Einbau wurde durch Messen des Übergangswiderstandes an der Stemstelle vor und nach jedem Versuch überwacht. Schon die geringste Lockerung der Drähte führte zu einer deutlichen Widerstandsänderung.

Ebenso war der Einbau der Kontakte am unteren Kolbenrand, durch die der Thermostrom an die Gegenkontakte abgegeben werden sollte, mit einigen Schwierigkeiten verbunden: Ursprünglich wurden die in der Abb. 9a dargestellten Kontakte im DKW-Kolben (vgl. auch Abb. 10a u. b) eingebaut. Hierbei war der eigentliche Kontaktkörper durch Glimmer von der Befestigungsschraube und dem Kolbenmaterial isoliert. Da am unteren Kolbenrand Temperaturen von weniger als 200°C auftraten, konnten die Drähte an der Kappe des Kontaktes weich angelötet werden. Diese Ausführung hat sich jedoch nicht bewährt, da eine Lockerung der Befestigungsschraube während des Betriebes auftrat. Eine versenkt angebrachte Kontermutter (vgl. Abb. 10a) brachte ebenfalls keine zufriedenstellende Lösung, da das Kolbenmaterial hierdurch zu sehr geschwächt wurde.

Aus diesem Grunde wurde zu einer anderen Ausführung übergegangen: Das eigentliche Kontaktstück ist hier in einen Isolierkörper eingebettet, der seinerseits wieder durch zwei Schrauben am Kolbenrand befestigt ist (vgl. Abb. 9b). Der Thermodraht wird durch eine am Kontaktstück vorgesehene Bohrung hindurchgezogen und durch eine Madenschraube im Inneren festgeklemmt. - Schwierigkeiten machte hierbei lediglich die Auswahl des geeigneten Isoliermaterials. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die Eignung der verwendeten Werkstoffe:

<u>Bezeichnung</u>	<u>Eignung</u>
1) Preßzell	zerreißt im Betrieb, da Material geschichtet
2) Pertinax	desgl.
3) Novotext	schrumpft bei höheren Temperaturen zu spröde, zerspringt bei Montage
4) Trolitan S	gut geeignet, bis etwa 250°C temperaturbeständig
5) Igamid A	

Bezeichnung

6) Mycalex

7) Igamid

Eignung

thermisch sehr gut geeignet, zerbröckelt jedoch teils bei der Herstellung und teils bei der Montage

thermisch sehr gut geeignet (bis 1200°C), zerspringt jedoch bei Herstellung und Montage

aus dieser Aufstellung geht Igamid A als einziger geeigneter Werkstoff hervor. Dieses Material ist allerdings nur für solche Versuche geeignet, bei denen an unteren Kolben-
 ranne nicht höhere Temperaturen als etwa 250°C auftreten. Sowohl beim MSU- als auch beim DKW-Motor wird diese Temperatur erst bei etwa 270°C (entspricht schätzungsweise 310°C in Längsnut) an der Kontaktstelle überschritten; die an anderer Stelle behandelten Abhängigkeiten der Kolbentemperatur von den verschiedenen Betriebsbedingungen (9) und eine große Anzahl von Ringsteckversuchen konnten mit diesem Material ohne Störung durchgeführt werden. (Allerdings tritt unter der Einwirkung des heißen Öles eine geringe Verhärtung des Werkstoffes ein, sodaß sich bei zu strammem Einbau Risse bilden. Das Material hat jedoch derartig gute Festigkeitseigenschaften, daß es auch bei längerer Fortführung der Versuche nie zu einem Bruch des Isolierstückes gekommen ist). Aus Abb. 11 sind die in Igamid A eingebetteten Kontakte, sowie die Lage der Thermodrähte im MSU-Kolben ersichtlich (vgl. auch die Kontaktstücke am DKW-Kolben, Abb. 18). Da Igamid bei höheren thermischen Beanspruchungen jedoch nicht beständig ist, wurde der Kontakt in der in Abb. 9a dargestellten Weise ausgeführt. Das eigentliche Kontaktstück ist hier durch Glimmerplatten und Mycalexbuchsen vom Kolben isoliert eingebaut. Befestigungsschrauben aus Leichtmetall haben sich wegen ihrer günstigen Wärmeausdehnung gut bewährt; jedoch können sie auch durch Eisenschrauben mit Mutter ersetzt werden, da die unterschiedlichen Spannungen hier durch das Isoliermaterial aufgenommen werden.

Obwohl die in das Kolbenmaterial eingestemmtten Thermodrähte mechanisch allen Beanspruchungen standhielten und scheinbar zufriedenstellend gemessen werden konnte, zeigte diese Einbauart doch noch einen grundlegenden Nachteil: Als

Folge der verschiedenen Wärmedehnung zwischen Draht- und Kolbenmaterial bildeten sich Hohlräume, die z.B. allmählich durch irgendwelche Rückstände ausgefüllt wurden, so daß die in Punkt 1 auf S.10 geschilderten Meßfehler auftraten. Dies konnte dadurch festgestellt werden, daß bei einigen hintereinander durchgeführten, vollkommen gleichartigen Versuchsläufen (gleiche Betriebsbedingungen) die Kolbentemperatur allmählich stieg, um nach erneutem sorgfältigen Einstemmen wieder zu fallen. Der Übergangswiderstand an der Stemmenstelle zeigte - wenn auch nur in geringen Grenzen - den gleichen Verlauf (vgl. Abb.12).

Diese Feststellungen zwangen dazu, die Meßstelle in ähnlicher Art, wie es später für den BMW 132-Flugmotorenkolben gezeigt werden wird, in das Kolbeninnere zu verlegen. Aus Abb.13b ist ersichtlich, wie diese Forderung für den NSU-Kolben erfüllt worden ist: Der obere Kolbenrand wurde abgedreht und durch einen aus dem gleichen Material hergestellten aufschraubbaren Ring ersetzt. Zwischen dem Ring und dem eigentlichen Kolben befindet sich ein Hohlraum, der durch einen kleinen Ring aus Eisen ausgefüllt wird. In diesem Ring sind nun die beiden Thermodrähte sorgfältig hart eingelötet, die durch genügend große Bohrungen (so, daß sie das Kolbenmaterial nicht berühren) nach dem Kolbeninnern und weiter zu den am unteren Rand befindlichen Kontakten geführt werden. Allerdings wird nun nicht mehr die Temperatur einer bestimmten Stelle, sondern die Mitteltemperatur des Eisenringes gemessen; dieser nimmt die Temperatur des ihn umgebenden Kolbenmaterials an, auch wenn sich zwischen Ring und Kolbenmaterial Ölkohle ablagert, da der Wärmefluß durch diese Rückstände wohl kaum verändert wird.

Bei höherer Temperaturbeanspruchung hat sich bisher nur Glimmer oder Mikanit als geeignetes Isoliermaterial herausgestellt.

(b) der Einbau im BMW 132-Kolben:

Während diese Einbauart bei den kleinen Motoren auch bei hohen Drehzahlen und längerem Betrieb (20 bis 40 Std.)

allen Beanspruchungen standhielt, traten am BMW 132-Plug-Motorencylinder außerordentliche Schwierigkeiten auf; die Ursache ist wohl mit Sicherheit in den wesentlich höheren Kolbengeschwindigkeiten (11-12 m/sec bei 2000 U/min gegenüber 7 bis 8 m/sec bei den kleinen Motoren) also auch höheren Beschleunigungen zu suchen. - Frei im Kolben geführte oder mit Schellen und Inolierrohren befestigte Drähte rissen schon nach sehr kurzer Betriebszeit ab. Die Verlegung des Thermomaterials in Asbestschlauch, der durch Bohrungen in den Kühlrippen geführt wurde, brachte ebenfalls keinen Erfolg: Wurde der Draht zu fest eingespannt, dann riß er infolge der Wärmedehnung des Kolbens, bei lockerer Einspannung wurden die Bohrungen in kürzester Zeit durchgeschuert. Auch die in den USA angewendete Methode, die Leitungen in oder an einem geeigneten Träger (Stahldraht oder Rohr) zu verlegen, führte nicht zum Ziel.

Es wurde deshalb dazu übergegangen, die Drähte im Inneren des Kolbens zu verlegen. Der Kolbenboden wurde von der Nut aus und das Kolbenhemd vom Boden aus mit entsprechenden 3mm starken Bohrungen versehen, in die dann der in dünnem Asbestschlauch (neuerdings wird als Ersatz hierfür Glasgewebeschnlauch verwendet) eingebettete Draht eingeführt wurde. Die Hilfsbohrungen mußten mit einem Stopfen aus Kolbenmaterial blind verschlossen werden. Um die Leitungen unbedingt fest zu verlagern, wurde ein geeigneter Kitt unter Druck fest eingepreßt bis er auf der anderen Seite der Bohrungen wieder austrat.

Bei dieser Einbauart traten keine Störungen durch Losreißen der Drähte mehr auf. Da jedoch die Drahtenden bis in die erste Ringnut verlegt und dort mit dem Kolbenmaterial verstemmt waren, konnten bereits nach kurzer Zeit Störungen, wie sie schon vorher erwähnt worden sind, (vgl. S. 10/11) festgestellt werden. Es wurde versucht, diesen Fehler auf die verschiedenste Art zu beseitigen, jedoch traten immer wieder zwischen Element und Kolbenmaterial während des Betriebes kleinste Spalte auf, in denen sich irgendwelche Rückstände

ablagerten, wodurch die Messung beeinträchtigt wurde; (Messfehler von $\pm 10^{\circ}\text{C}$ und mehr).

Diese Feststellungen wurden in erster Linie an Hand der Fiderstandmessungen vor und nach jedem Versuch gemacht. Es hat sich gezeigt, daß diese Überwachungsmethode ein unerlässliches Hilfsmittel zur Überprüfung des Zustandes der Meßstelle ist.

Um solche Meßfehler unter allen Umständen auszuschalten, mußte beim B. 132-Kolben, ebenso wie beim NSU die Meßstelle in das Innere des Kolbens verlegt werden. In Abb. 13a ist die Art des Einbaues schematisch dargestellt: Im Kolbenboden ist eine Nut eingepaßt, in die eine schmale Waisenschiene eingelegt ist; an den beiden Enden ist je einer der beiden Thermodrähte hart eingelötet. Nach dem Einbau der Schiene wird der hierfür vorgesehene Raum durch eine eng eingepaßte trapezförmige Verschlussleiste aus Kolbenmaterial gegen das Eindringen von irgendwelchen Betriebsstoffteilen abgedichtet. Die Thermodrähte werden durch entsprechende Bohrungen durch die Kolbenwandung hindurch zu den Kontaktstücken geführt. Sie sind durch Asbestschlauch und eingepreßten Kitt isoliert. Die Kontaktstücke sind in ähnlicher Art, wie vorher beim NSU-Kolben beschrieben, ausgeführt (vgl. Abb. 14). Auch bei diesem Einbau wird nicht mehr an einer bestimmten Stelle gemessen, sondern ein Mittelwert zwischen den an den beiden Lötstellen zwischen Thermodraht und Waisenschiene auftretenden Temperaturen. Da diese beiden Stellen jedoch verhältnismäßig nahe an der Kolbenringnut liegen und andererseits sowieso für das Ringstecken für dessen Prüfung ja das Messverfahren eigentlich ausgearbeitet wurde - die allgemein in der Nut herrschende Temperatur maßgebend ist, bringt eine derartige Mittelwertbestimmung keine allzu großen Nachteile.

Bei dieser Ausführung wäre es naheliegend, den einen Thermodraht isoliert bis an das Ende des anderen Drahtes zu führen, sodaß an einer Stelle allein gemessen würde. Wichtig ist jedoch, daß das Thermoelement möglichst die Tem-

peratur des umgebenden Kolbenmaterials annimmt; was umso unsicherer ist, je kleiner die Berührungsfleichen sind. Dies tritt hier besonders stark in Erscheinung, da das Material des Kolbens und des Thermoelementes verschiedene Wärmeausdehnung hat und die Berührung sehr unterschiedlich sein dürfte. Aus diesem Grunde wurde die in Abb. 13 dargestellte Ausführung gewählt, durch die ein guter Wärmeübergang wegen der großen Berührungsfleichen sichergestellt ist.

Als Material für die Kontakte wurde ursprünglich Neusilber und später Phosphorbronze (WBz 6) verwendet. Die Wahl dieser Werkstoffe wird in dem nachfolgenden Abschnitt im Zusammenhang mit den Gegenkontaktfedern noch näher begründet werden.

5. Die Schleifkontakte.

Um irgendwelche störenden und zusätzlichen Thermokräfte zu vermeiden, müssen selbstverständlich der Kontakt am Kolben und die Gegenkontakte, bzw. zum mindesten die Berührungsfleichen, aus dem gleichen Material sein. Deshalb wurde ursprünglich hierfür entsprechend den in den USA gemachten Erfahrungen Neusilber verwendet. Das Trägermaterial für die Federn war Stahl, auf den dann ein Neusilberplättchen aufgebracht war. Da die Auflage nicht aufgelötet werden konnte (Weichlot schmilzt im Betrieb und Hartlot macht ein Nachhärten der Feder erforderlich) und auch genietete Plättchen sich sehr schnell lösten, wurde zu Bronzefedern übergegangen. Dies war von besonderem Vorteil, da nunmehr Kontakt und Feder aus demselben Werkstoff (Phosphorbronze WBz 6) hergestellt werden konnte. Die geringen störenden Thermokräfte, die durch die Temperaturdifferenz zwischen den Verbindungsstellen von Draht und Kontakt bzw. Gegenkontakt entstehen, wurden vorerst in Kauf genommen, da die Beseitigung der mechanischen Schwierigkeiten wichtiger erschien. Der isolierte Einbau der Teile läßt ohnehin nur einen geringen Temperaturunterschied zu, der wohl in erster Linie vom herumspritzenden Öl bestimmt wird. In Zukunft wird dieser Fehler durch Herstellung der Kontakte und Federn aus entsprechendem Thermomaterial beseitigt werden.

Eine weitere Schwierigkeit war die Wahl der geeigneten Federform. Sie ist bedingt einerseits durch den zur Verfügung

stehenden Raum und andererseits durch die Forderung, bei den verschiedensten Kolbengeschwindigkeiten und Beschleunigungen eine zufriedenstellende Berührung zwischen Kolbenkontakt und Feder zu gewährleisten. In Abb. 15 sind die einzelnen Federarten, so wie sie im Rahmen der Entwicklung untersucht wurden, schematisch dargestellt. Bei den in der oberen Reihe dargestellten Federformen (Ausführung 1 bis 5) zeigten sich bereits nach kurzer Betriebszeit Ermüdungsbrüche an den Biegungen. Es konnte festgestellt werden, daß die Federn, auch wenn der Federhub außerordentlich klein gehalten wurde ($< 0,2 \text{ mm}$), um mehr als 5 mm ausschlugen. Es ist verständlich, daß die Federn bei derartigen Ausschlägen entweder als Folge zu hoher Belastung brachen oder durch den Kolbenkontakt, der bei zu großen Schwingungsamplituden zu weit auf der oberen Biegung auflief, deformiert und abgerissen wurden.

Um diese Störungen zu vermeiden, mußte dafür gesorgt werden, daß

- 1) der Anpreßdruck an jeder Berührungsstelle gleich groß ist,
- 2) der Federausschlag begrenzt ist, ohne daß die federnde Eigenschaft selbst dadurch beeinträchtigt wird,
- 3) die Feder so gedämpft ist, daß keine störenden Schwingungen auftreten können.

Die Forderung entspr. Punkt 1 wird durch die in Abb. 15, Ausführung 5, dargestellte Form erreicht. Es tritt hier auf der Berührungsbahn stets das gleiche Gegenmoment auf. Die in den Punkten 2 und 3 erwähnten Forderungen wurden durch die Ausführungsform 8 u. 9 erfüllt: Der Federhub wird durch ein innenliegendes, festverankertes und der Form der Feder angepaßtes Klötzchen begrenzt. Störende Schwingungen werden dadurch gedämpft, daß die Feder doppelt ausgeführt ist und sich zwischen den beiden Federn und zwischen Innenfeder und Klötzchen ein enger Spalt befindet; die äußere Feder ist außerdem am freien Ende etwas aufgebogen. Zur Dämpfung der in dieser Art angeordneten Federn dient das von der Kurbelwelle herumgeschleuderte Öl. Es gelangt auch in die zwischen den Federn und dem Klötzchen befindlichen Spalte und wird durch die leicht aufgebogene Form der äußeren Feder sowie durch das ständige Größer- und Kleinerwerden der Spalte hin- u. hergepumpt.

Die Trägheit und die Oberflächenhaftung des Öles sorgen dafür, daß die Federn sich nicht so schnell und zu weit voneinander entfernen können, sodaß eine außerordentlich gute Dämpfung erreicht wird.

Bei den kleinen Motoren führte bereits die Ausführung 8 zu einem vollen Erfolg: Irgendwelche Deformationen oder Brüche traten selbst nach sehr langen Betriebszeiten (80 Std. und mehr) nicht mehr auf. Voraussetzung hierfür ist allerdings eine einwandfreie Herstellung der Federn: Das Material darf nicht zu scharf gebogen (zul. Biegeradius = 10 x Federblechstärke) und seine Oberfläche nicht durch das Werkzeug beschädigt (Kerbspannungen) werden. Der Federhub beträgt hierbei etwa 0,1 bis 0,2 mm. Trotz des geringen Hubes konnten stets einwandfreie und zuverlässige Messungen durchgeführt werden.

Abb. 16 zeigt die endgültige Federausführung für den NSU-Motor; besondere Schwierigkeiten machte hier der Einbau der Federn (Abb. 17), da bei diesem Motor nur sehr wenig Raum zwischen Kolben und Kurbelwangen ist. In Abb. 18 ist die gesamte Kontaktanlage im DKW-Motor wiedergegeben.

Im BMW 132-Flugmotoreneinzylinder bewährte sich diese Ausführungsform 8 noch nicht: Trotz der erwähnten Dämpfung durch die doppelte Lage und das Öl traten Schwingungen auf, die nach einiger Zeit - 1 bis 2 Std. - zur Zerstörung führten. Die nachstehende Tabelle zeigt, daß bei diesem Motor die Berührungswege viel länger sein müssen als bei den kleinen Motoren, um die gleichen Berührungszeiten zu erhalten.

Motor	Berührungslänge Kurbelwinkel	x ¹⁾	Kolbengeschwindigkeit ²⁾ am Anfang d. Berührung c
DKW	40°	2,6mm	4,56 m/sec.
	60°	5,7"	6,55 "
	80°	9,8"	8,24 "
NSU	40°	3,8"	4,45 "
	60°	8,2"	6,38 "
	80°	14,3"	8,02 "
BMW 132	40°	5,8"	7,28 "
	60°	14,5"	9,49 "
	80°	23,0"	13,21 "

1) u. 2) s. folgende Seite

Andererseits waren bei einer Berührungswert von 40°K : die Messungen oft noch recht ungenau. Bei längeren Zeiten sind die Geschwindigkeiten und Beschleunigungen (bzw. Verzögerungen), mit denen sich der Kolbenkontakt auf der Feder bewegt, bereits derartig groß, daß die höhere Beanspruchung bei NSU 132 hiermit ohne weiteres erklärlich ist. Aus diesem Grunde wurde hier die Ausführungsform 9 (Abb. 15) verwendet, bei der der Federausschlag begrenzt ist und eine weitere Dämpfung - wie schon vorher erwähnt - durch das in dem Spalt zwischen Feder und Klötzchen befindliche Öl erreicht wird. Diese Ausführung hat sich bisher außerordentlich gut bewährt und auch bei längeren Betriebszeiten zu keinen Beanstandungen Anlaß gegeben. Wegen des geringen Raumes zwischen Kurbelwangen und Kolben war auch hier der Einbau nicht ganz einfach. Abb. 19 zeigt die in den Motor eingebauten Federn: auf den neben dem Zylinder liegenden Verschlussdeckeln ist ein Träger isoliert angebaut⁺), der zur Befestigung des Federsystems dient (vgl. Abb. 20). Um den Federhub auch nach dem Einbau noch einstellen zu können, ist der Träger um einen Bolzen drehbar im Deckel angeordnet.

+) Auf die beim Ölprüfmotor an diesen Verschlussplatten befindlichen Heizkörper mußte hier verzichtet werden.

$$1) x = L + \frac{S}{2} (1 - \cos \alpha) - \sqrt{L^2 - \frac{S^2}{4} \sin^2 \alpha}$$

S = Hub in mm
L = Schubstangenlänge in mm

$$2) c = \frac{\pi \cdot S \cdot n}{60 \cdot 000} \cdot \left(\sin \alpha + \frac{S}{4 \cdot L} \cdot \sin 2 \alpha \right)$$

Werte für S und L:

	DKW	NSU	
S	68	99	132
L	130	184	162
			340

V. Schlussfolgerungen.

Die Entwicklung der gesamten Anlage zur Kolbentemperaturmessung bei den einzelnen Motoren ist hier absichtlich etwas ausführlicher geschildert worden, um zu zeigen, welche Schwierigkeiten bei der Anwendung des an sich einfachen Verfahrens besonders bei schnelllaufenden Motoren mit Leichtmetallkolben bestehen. Die grundlegenden Schwierigkeiten dürfen als überwunden betrachtet werden, wenn auch noch manche weitere Entwicklungsarbeit geleistet werden muß. Es sei hier besonders auf die Aufgabe, die Kolbentemperatur an ganz bestimmten oder mehreren Stellen zu messen, hingewiesen. Vor-erst war es jedoch wichtig, das Verfahren so auszuarbeiten, daß die Temperatur ständig überwacht werden kann, da diese Messungen für die Weiterentwicklung der Betriebsstoffdauerprüfverfahren ausschlaggebend sind.

Die mit diesem Meßverfahren erreichten Versuchsergebnisse werden in einem weiteren Bericht (9) behandelt werden. Es wurde bei allen 3 Motoren die Abhängigkeit der Kolbentemperatur von den verschiedensten Betriebsbedingungen untersucht und gezeigt, inwieweit der Wärmeübergang zwischen Kolben und Zylinder durch das Ring- und Kolbenspiel beeinflußt werden kann. Schließlich wurde bereits eine größere Anzahl von Dauerversuchen mit laufender Kolbentemperaturmessung durchgeführt, die ebenfalls in dem erwähnten Bericht ausführlich besprochen werden.

Das Verfahren hat sich bei allen diesen Versuchen bisher sehr gut bewährt. Auch bei höheren Drehzahlen (2500 bis 3000 U/Min., mittl. Kolbengeschwindigkeit bis zu 13 m/sec.), sehr hohen thermischen Beanspruchungen (Kolbentemperaturen von mehr als 330°C in der Ringpartie) traten keine Störungen auf. Ebenso wurden Betriebszeiten von mehr als 80 Std. erreicht. Bei der hohen Empfindlichkeit des Nullinstrumentes konnten schon Temperaturänderungen von etwa 1/2°C ohne weiteres beobachtet werden. Da das Verfahren also in der hier dargestellten Form nur ganz geringe Meßfehler zuläßt und

die Sichtung des Thermomaterials sehr genau und sorgfältig durchgeführt worden war, beträgt die Meßgenauigkeit etwa $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

VI. Zusammenfassung.

Es wird über das seit einiger Zeit in den USA. angewendete Verfahren berichtet, die Kolbentemperatur am laufenden Motor nach der Gegenstrommethode zu messen. Die Schwierigkeiten bei der Anwendung des Verfahrens in der DVL lagen weniger in der Meßmethode selbst als in der technischen Ausführung. Der Einbau der Thermoelemente im Leichtmetallkolben erfordert im Gegensatz zu den in Amerika vorgenommenen Messungen am Graugußkolben wegen der verschiedenen Wärmeausdehnung des Kolben- und Thermomaterials besondere Maßnahmen; es wird auf die dabei auftretenden Schwierigkeiten hingewiesen und gezeigt, wie bestimmte Meßmessungen festgestellt und ausgeschaltet werden können. Die hohen Kolbengeschwindigkeiten (bis zu 13m/sec.) machten eine Verlegung der Drähte in das Kolbeninnere erforderlich. Der geringe Raum zwischen Kolben und Kurbelwange gestattete keine robuste Ausführung der Gegenkontakte; durch günstige Formgebung und andere Maßnahmen gelang es jedoch, die Gegenkontaktfedern schwingungsgedämpft arbeiten zu lassen.

Der Gegenstrom wird in der DVL mit Hilfe eines weiteren Thermoelementes erzeugt, das durch eine elektrische Heizung in sehr kurzer Zeit auf jede beliebige Temperatur gebracht werden kann. Aus diesem Grunde eignet sich das so entwickelte Gegenstromgerät auch sehr gut zur schnellen und zuverlässigen Sichtung von Thermoelementen und -anlagen.

Die Meßmethode wurde bei zwei kleinen, schnelllaufenden Motoren (einem Viertakter und einem Zweitakter) und beim BMW 132-Ölprüfmotor angewendet. Auch bei hoher thermischer Belastung und hohen Drehzahlen konnte während sehr langer Betriebszeiten einwandfrei gemessen werden. Die Meßgenauigkeit beträgt etwa $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

VII. Schrifttum.

- 1) v. Philippovich, Die motorische Betriebsstoffprüfung und Vorschläge zu ihrer weiteren Gestaltung, Öl u. Kohle, 15. Jahrg. (1939), Heft 28, S. 551/556
- 2) W. Glaser, Der Einfluss der Betriebsbedingungen auf das Kolbenringstecken bei der Betriebsstoffdauerprüfung, Luftfahrtforschung Bd. 16, (1939) Lfg. 8, S. 438/446, vgl. u. DVL-Bericht FB 1022, 7.2.39
- 3) M. Kuhn, Messung von Kolbentemperaturen in schnelllaufenden Verbrennungsmotoren. Archiv f. techn. Messen, Jan. 1941, V 8234-2, vgl. auch ATZ Jahrg. 1941, heft 24, S. 617/620
- 4) P. V. Keyser u. E. F. Miller, Piston and pistonring temperatures, J. Inst. Petr. Techn. Bd. 25 (Dez. 1939) Nr. 194, S. 771/78
- 5) Piston and jacket temperature measurement, Power plant engineering Bd. 44, Nr. 5 (Mai 1940), S. 90/92
- 6) Continuous measurement of piston temperatures, Automotive Industries, 15.6.40, S. 572/74 (vgl. a. das Referat hierüber: Kolbentemperaturen bei Zweitakt-Dieselmotoren, MTZ 1940, Heft 11, S. 365/66)
- 7) Egge, Niedermayer, Gerät zur Messung der Kolbentemperatur, ZWB-Bericht UM 664, 16.3.42
- 8) Schwenkhagen, Der Steuerumformer, ZWB-Bericht FB 1627, 10.7.42
- 9) W. Glaser, Der Einfluss der Betriebsbedingungen auf die Kolbentemperatur, ZWB-Bericht FB 1679

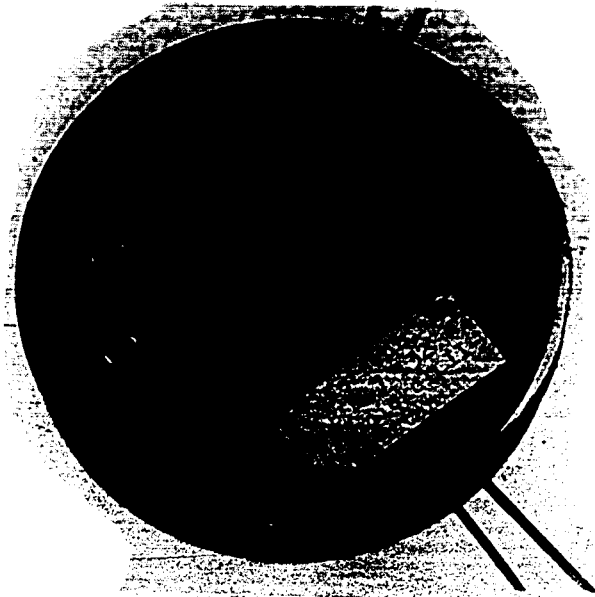


Abb. 1a: Heizkörper zur Erzeugung des Gegenstromes (Ansicht von oben) Foto-Nr. 34665

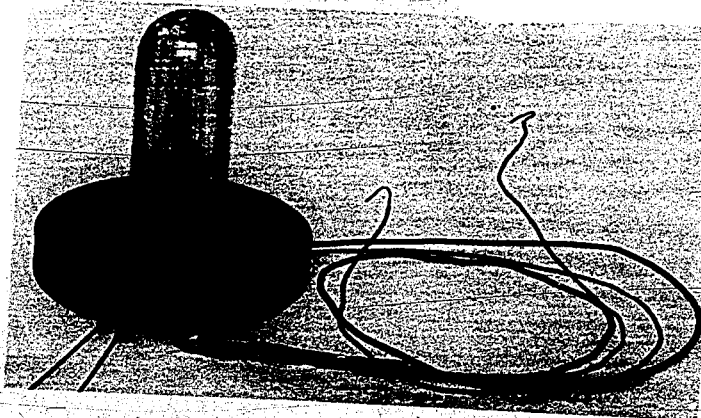


Abb. 1b: Heizkörper zur Erzeugung des Gegenstromes (Gesamtansicht) Foto-Nr. 34664

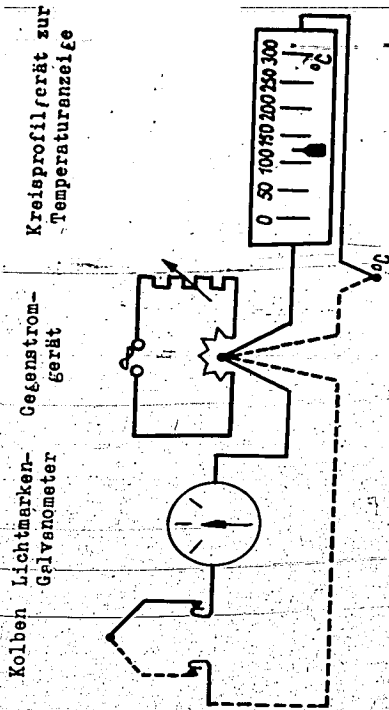


Abb.21 Schematische Darstellung der Kolbentemperaturmeßan-
lage.

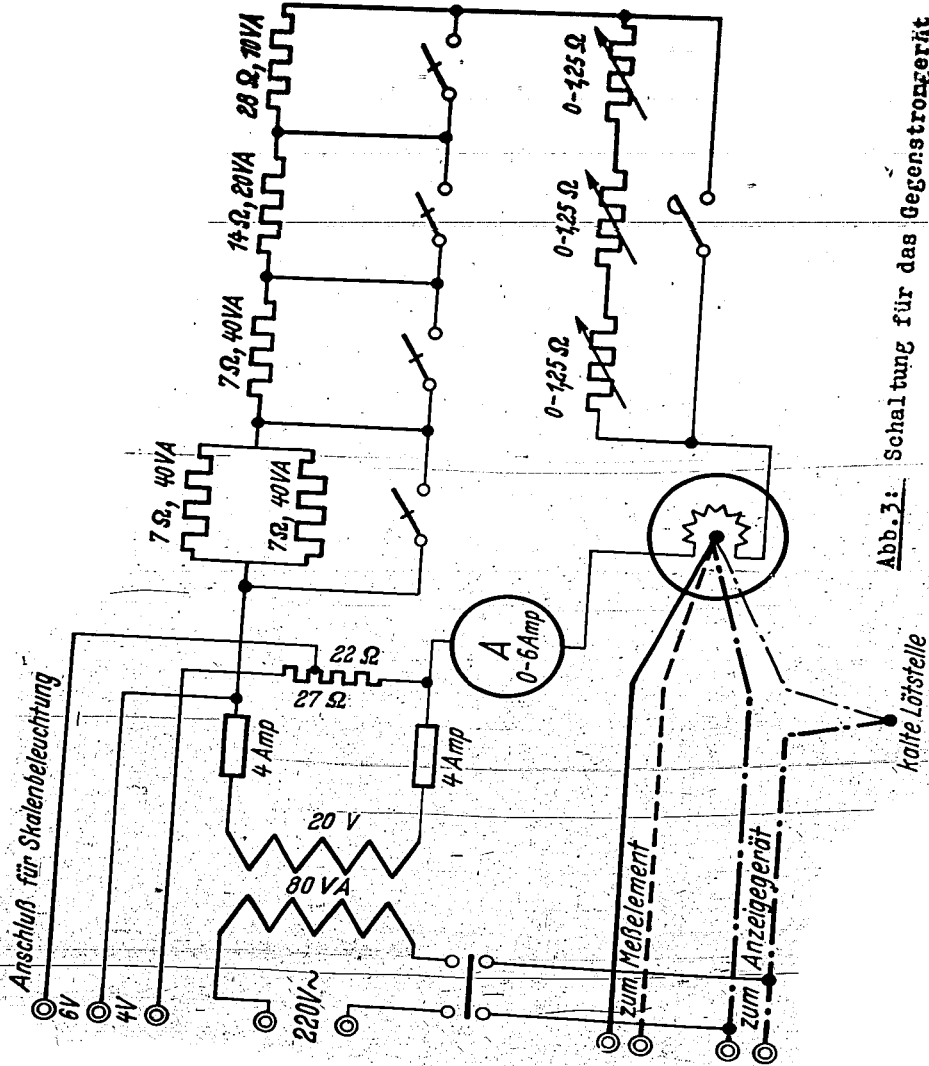


Abb. 3: Schaltung für das Gegenstromgerät

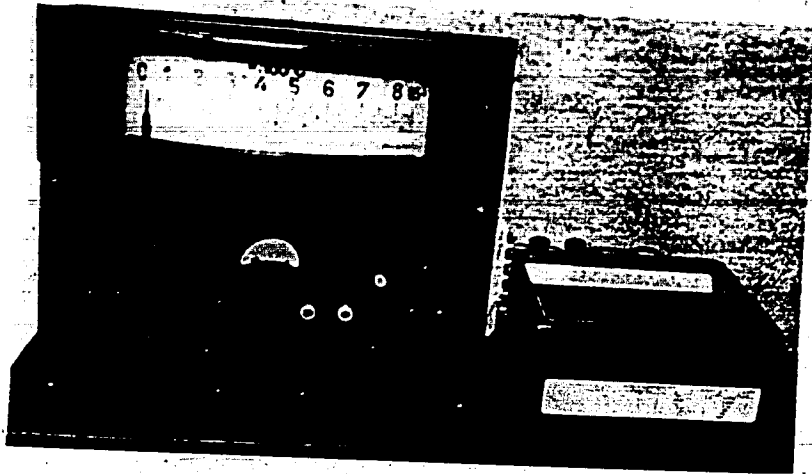


Abb.4: Kolbentemperaturmeßanlage (Vorderansicht) Foto-Nr.35988

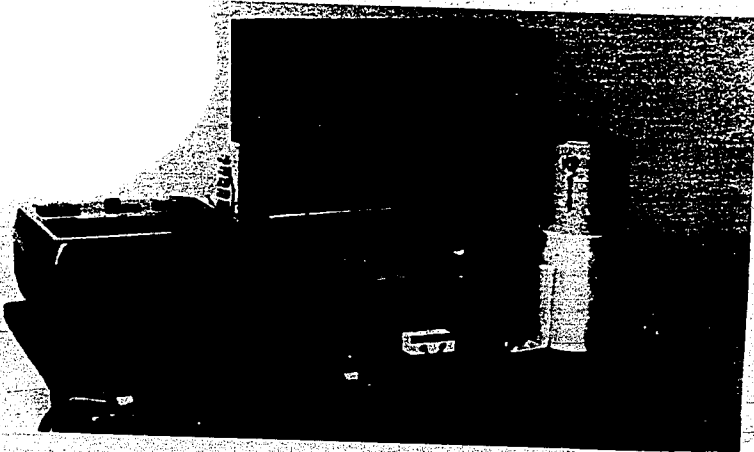


Abb.5: Kolbentemperaturmeßanlage (Rückansicht) Foto-Nr.35987

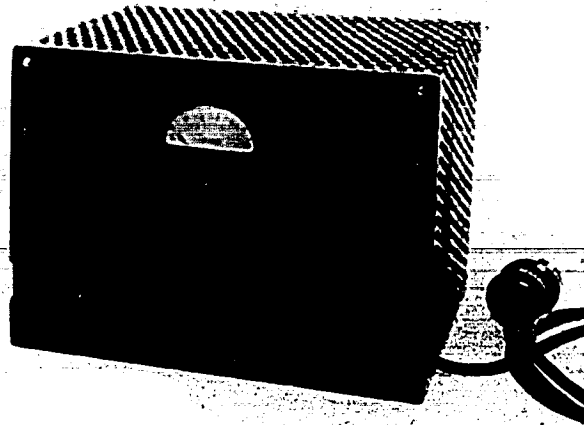


Abb. 6: Gegenstromgerät (Vorderansicht) - neueste Ausführung
Foto-Nr. 36390

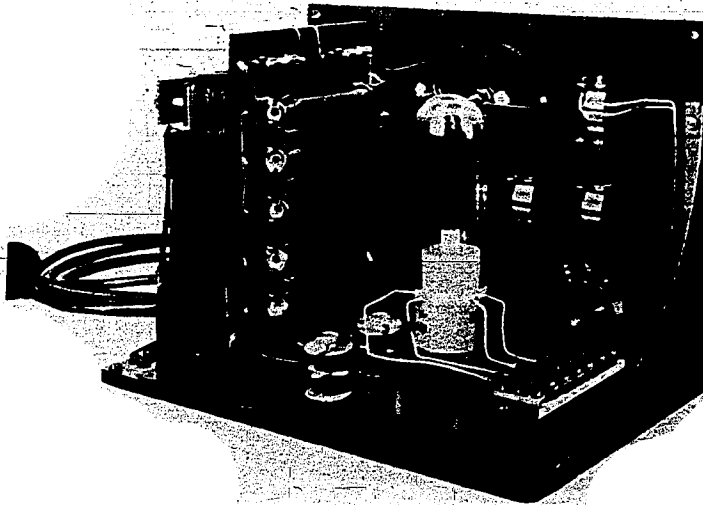


Abb. 7: Gegenstromgerät, neueste Ausführung (Rückansicht,
Schutzkasten entfernt) Foto-Nr. 36389

000167

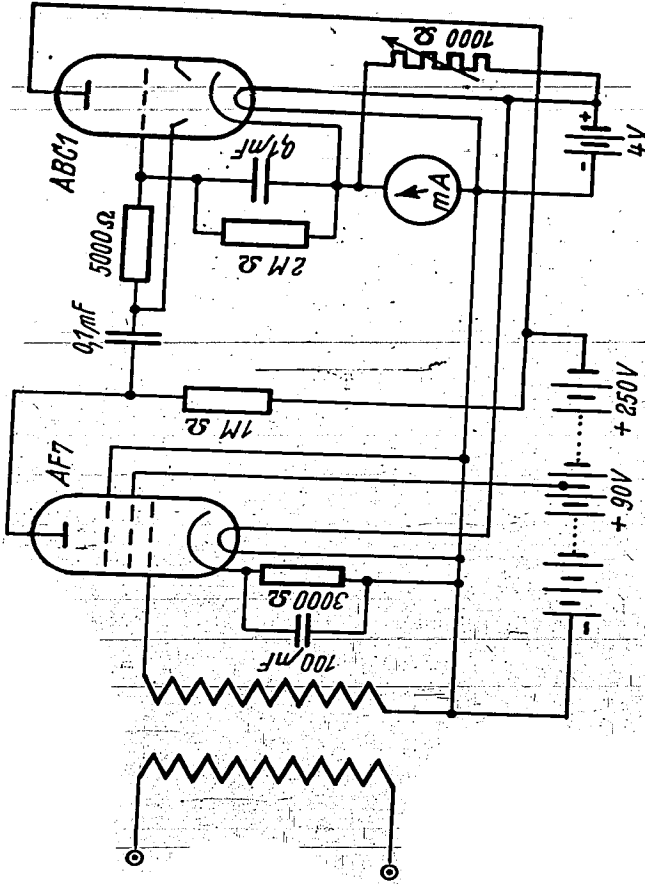
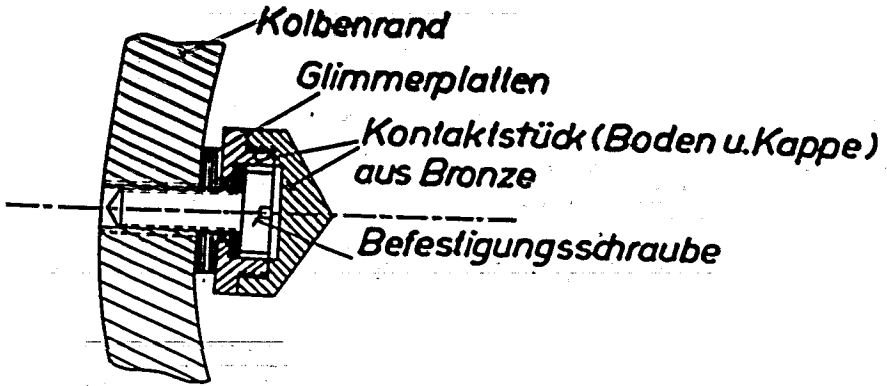
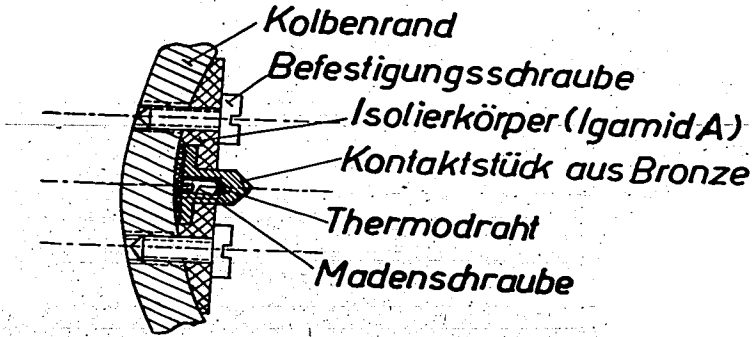


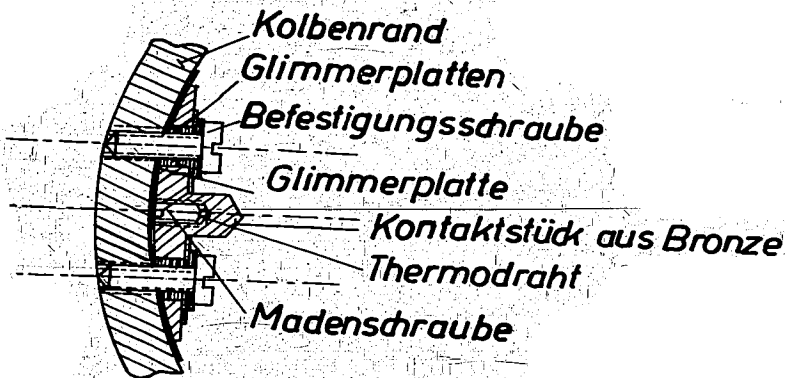
Abb. 6: Niederfrequenzverstärkerschaltung



a) Ursprüngliche Ausführung (vgl. Abb. 10a und b)



b) Ausführung für geringe thermische Belastung (vgl. Abb. 11 und 18)



c) Endgültige Ausführung für hohe thermische Belastung.

Abb. 9: Einbau der Kolbenkontakte



Abb.10a: Einbau der Thermodrähte und Kontakte im DKW-Kolben
(erste Ausführung) Foto-Nr. 34669

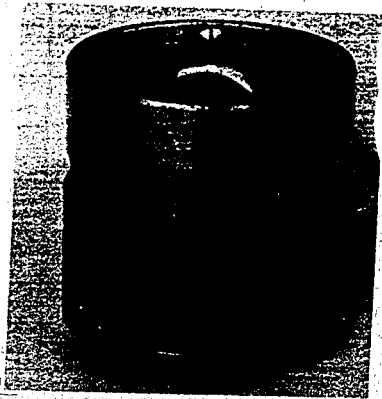


Abb.10b: Einbau der Thermodrähte und Kontakte im DKW-Kolben
(erste Ausführung) Foto-Nr. 34666

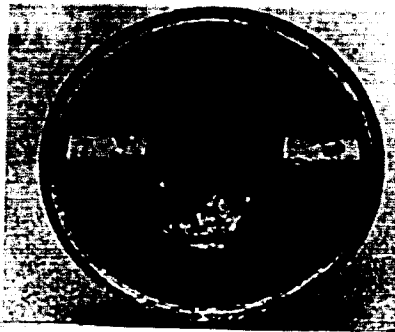


Abb.11: Lage der Thermodrähte und Kontaktstucke im NSU-Kolben Foto-Nr. 36077

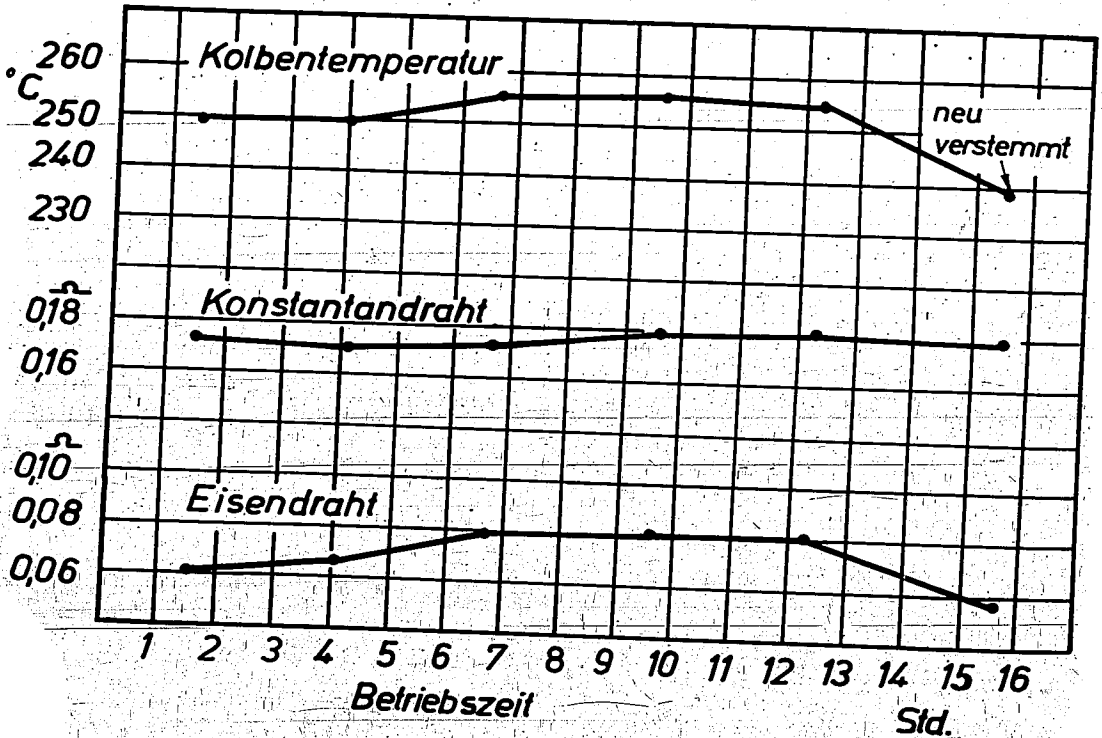
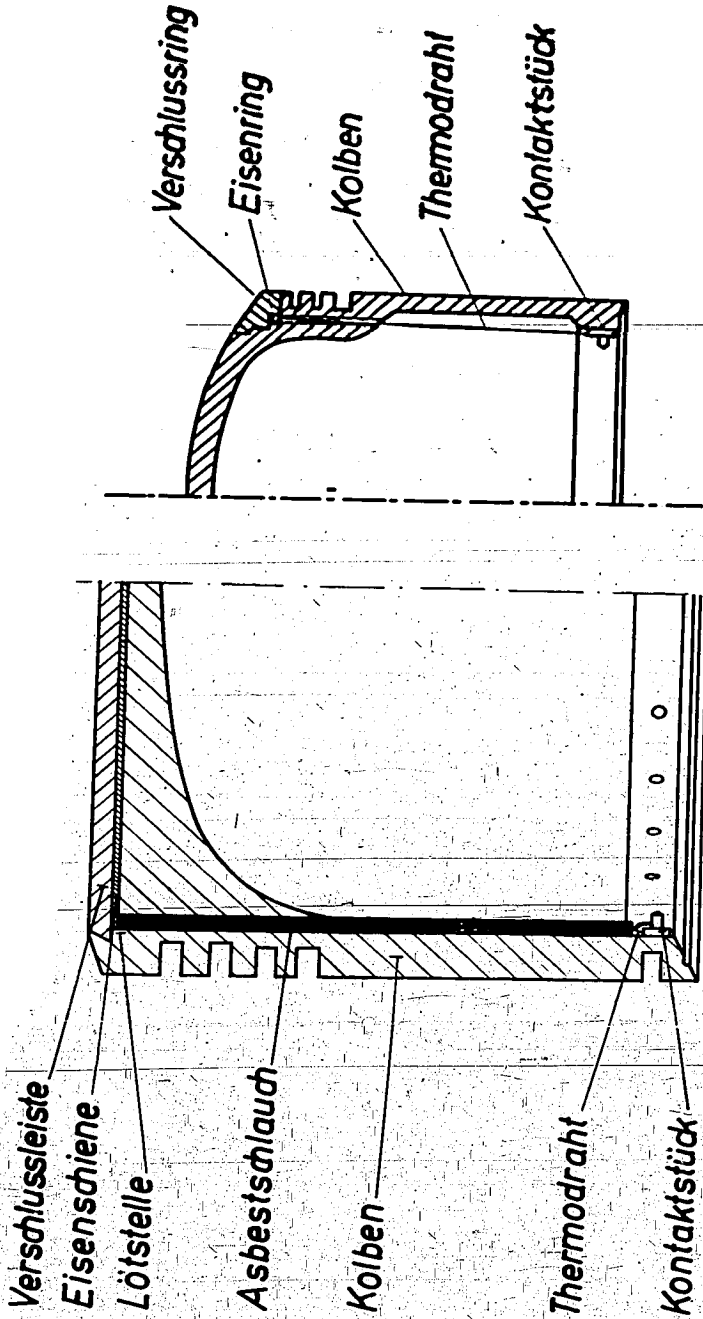


Abb.12: Änderung des Übergangswiderstandes an der Stemmstelle (gemessen zwischen Kontakt und Kolbenmaterial) und Verhalten der Kolbentemperatur bei langerer Betriebszeit.



a) BMW 132

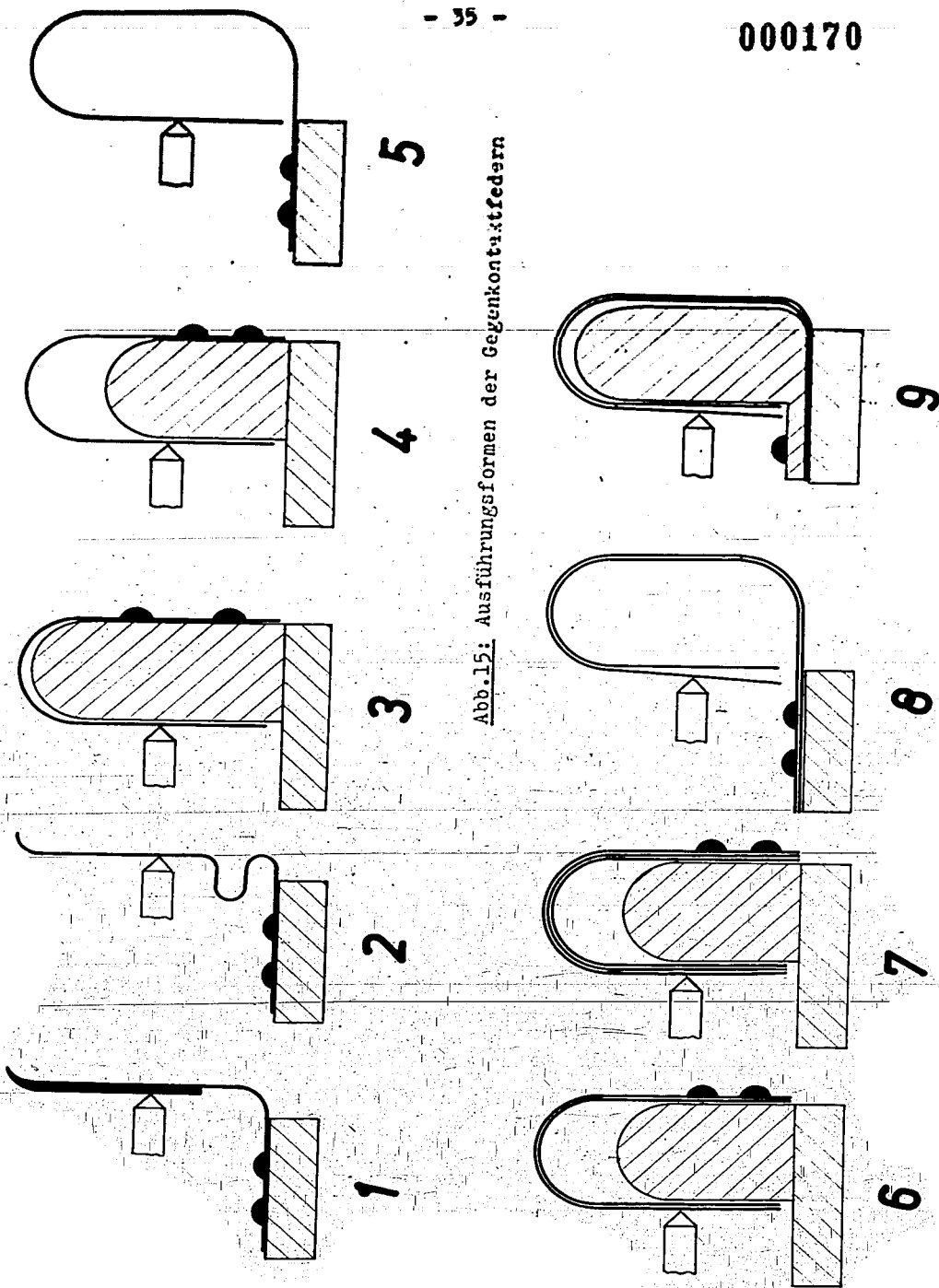
b) NSU

Abb. 13: Einbau der Thermodrähte im BMW 132- und NSU-Kolben (schematische Darstellung)



Abb. 14 Einbau der Kontaktstücke am BMW 132-Kolben Foto-Nr. 34668

Abb. 15: Ausführungsformen der Gegenkontaktfedern



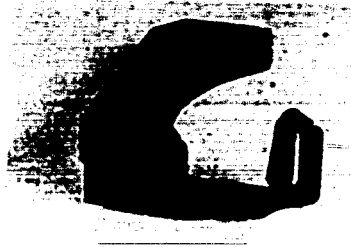


Abb.16: Gegenkontaktfeder für NSU-Motor Foto-Nr.35952

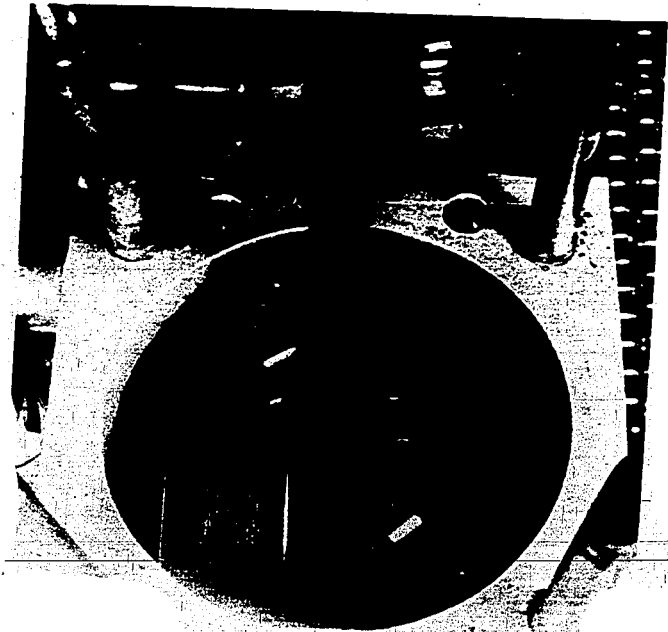


Abb.17: Einbau der Gegenkontaktfedern im NSU-Motor Foto-Nr.35989



Abb.18: Kolbenkontakte und Gegenkontaktfedern im DKW-Motor
Foto-Nr. 36083

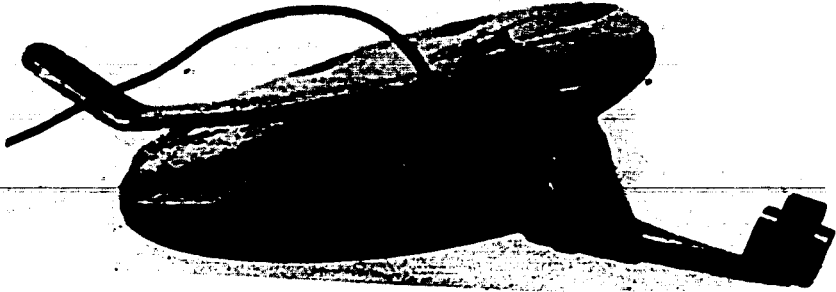


Abb.19: Gegenkontaktfedern mit Träger für den BMW 132-Ölprüfmotor Foto-Nr. 37034

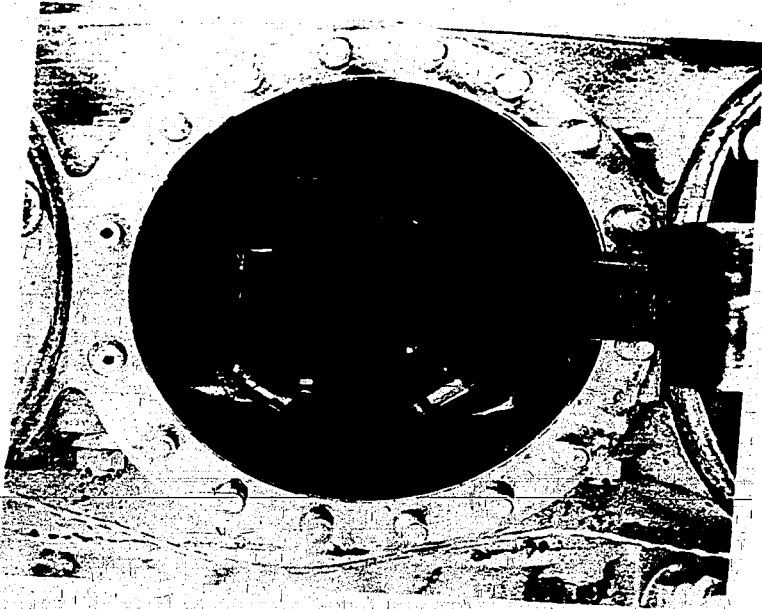


Abb.20: Einbau der Gegenkontaktfedern im BMW 132-Ölprüfmotor
Foto-Nr. 37033