

Die Überwachung der Kolbentemperatur bei der  
Betriebsstoffdauerprüfung.

Von Dipl.-Ing. Glaser, DVL, Inst. BS.

Die bisherigen Erfahrungen bei Ringsteckversuchen haben gezeigt, dass neben Kraftstoff und Schmierstoff in erster Linie die Temperatur von ausschlaggebendem Einfluß auf das Versuchsergebnis ist. Während im allgemeinen die Reproduzierbarkeit bei solchen Untersuchungen durchaus zufriedenstellend ist, kam es doch bei fast jeder Stelle schon mehrfach vor, dass trotz gleicher Ausgangsbedingungen und sorgfältigster Versuchsdurchführung mit ein und demselben Öl in weiten Grenzen schwankende Laufzeiten erreicht wurden. Ausserdem zeigen die einzelnen Motoren, so wie sie bei den prüfenden Stellen verwendet werden, sehr große Unterschiede in den Ergebnissen, wenn überall bei den gleichen Bedingungen gefahren wurde; es mußte deshalb die willkürliche Abmachung getroffen werden, bei jedem Motor die Bedingungen so einzustellen, daß für das Eichöl Rotring die Laufzeit von 8 bis 8 1/2 Stunden erreicht wird. Diese Unsicherheiten lassen sich auf die Tatsache zurückführen, dass die Vorgänge in der Kolbenringpartie trotz gleicher äußerer Bedingungen während des Laufes nicht genügend erfasst werden können. Aufgabe dieses Vortrages ist es daher, die bisherigen Überwachungsmethoden noch einmal näher zu beleuchten, auf die Vorgänge hinzuweisen, die unter Umständen die Temperatur in der Ringpartie - also auch das Ringstecken - beeinflussen und schließlich über das Kolbentemperaturmessverfahren am laufenden Motor zu berichten.

Die mechanischen Bedingungen, also Drehzahl und Leistung können im allgemeinen bei gutem Zustand der Messgeräte so sorgfältig eingehalten und überwacht werden, dass Unregelmäßigkeiten hierdurch nicht verursacht werden. Das gleiche ist über den Kraftstoffverbrauch und die Zündung zu sagen. Anders liegt der Fall bei der Überwachung der Zylindertemperaturen. Allein schon die Tatsache, dass die eine Stelle die Kerzenringtemperatur im Windschatten, die andere einen Messpunkt im Scheitel des Zylind-

derkopfes und eine weitere prüfende Stelle den Mittelwert von verschiedenen Zylinderwand- und -Kopftemperaturen als Richtwert gewählt hat, weist daraufhin, wie unregelmäßig die Zuverlässigkeit der einzelnen Messungen ist. Ich möchte deshalb noch einmal auf die hauptsächlichlichen Störquellen hinweisen:

### 1. Mangelhafter Einbau des Thermoelementes.

Im allgemeinen werden die Thermoelemente eingestemmt. Die Stemmstelle kann sich lösen, es bilden sich dann Oxydschichten oder Ablagerungen irgendwelcher Rückstände zwischen den Thermoelementen, durch die die Thermokraft wesentlich verändert wird. Um die Qualität des Einbaues zu überprüfen, wird vorgeschlagen, von Fall zu Fall den elektrischen Widerstand zwischen Zylindermaterial und Elementendraht zu messen. Wie später noch berichtet werden wird, hat sich diese Überwachungsmethode besonders beim Kolbentemperaturmessverfahren sehr gut bewährt. Lockerungen des Elementendrahtes, die mechanisch nicht feststellbar sind, oder die Ablagerung irgendwelcher Störschichten machten sich durch beträchtliche Widerstandsänderungen bemerkbar.

### 2. Mangelhafter Kontakt an den Verbindungsstellen und Umschaltern.

Auch hier können durch Oxydschichtbildungen und Wackelkontakte erhebliche Messfehler entstehen.

### 3. Mangelhafte Isolation der zwischen den Kühlrippen entlang laufenden Drähte.

Eine Störung tritt hier allerdings erst dann auf, wenn die Drähte in leitende Verbindung miteinander kommen oder wenn derselbe Draht mehrere, auseinander liegende Berührungsstellen mit anderen Metallteilen hat.

An vielen Motoren wird die Kerzenringtemperatur als Richttemperatur verwendet. Nach Versuchen der DVL an einem kleinen Motor spielt hierbei die Bauart der Zündkerze und die Art der Kühlluftabführung eine ausserordentlich grosse Rolle: Bei diesen Untersuchungen wurde die Temperatur der Zylinderwand ungefähr an der Stelle, an der der oberste Kolbenring den höchsten

Punkt erreicht, stets gleichgehalten und die Kerzenringtemperatur hierbei mit verschiedenen Zündkerzenarten gemessen. Es zeigte sich, dass der Wärmewert sowie die Länge des Schraubgewindes - also die Lage der Zündstelle in der Bohrung - keinen bemerkenswerten Einfluss hat, während Kerzen mit verschiedenen langen Gehäuse Temperaturunterschiede von mehr als  $35^{\circ}\text{C}$  brachten. Entstörbare Kerzen dürften sich in diesem Punkte noch stärker auswirken. Weiter wurde bei im übrigen gleichen Bedingungen die Kühlluftableitung verschieden stark gedrosselt. Hierbei konnte bei derselben Zylinderwandtemperatur die des Kerzenringes ebenfalls um mehr als  $20^{\circ}\text{C}$  verändert werden.

Es ist durchaus möglich, dass diese Beobachtungsergebnisse bei der Messung der Zylinderwandtemperatur an einer anderen Stelle oder bei anderer Lage der Zündkerze ganz anders ausfallen; es soll hierdurch nur gezeigt werden, welche Bedeutung die richtige Wahl der Richttemperaturmesstelle hat und dass die anfangs erwähnten verschiedenen Lagen und Werte der Bezugstemperatur für gleiche Laufzeit mit demselben Betriebsstoff dadurch erklärt werden kann.

Auch die Öleintritts- und Austrittstemperaturen sind für die einzelnen Motoren verschieden gewählt worden. Es ist selbstverständlich, dass die Temperatur des Öls ebenfalls die Kolbentemperatur und damit die Ringsteckzeit beeinflusst. Gleiche Laufzeiten machen also bei anderer Öltemperatur auch eine Änderung der Richttemperatur erforderlich.

Der Einfluss der Öltemperatur wird jedoch wohl durch die an den Kolben geschleuderten Ölmengen überdeckt. An anderer Stelle durchgeführte Versuche haben gezeigt, dass die Kolbentemperaturen um teilweise mehr als  $40^{\circ}\text{C}$  bei entsprechender Vergrößerung der an das Kolbeninnere gespritzten Ölmengen gesenkt werden konnten. Dieses sicherlich überraschende Ergebnis gab dazu Anlass, am BMW 132-Ölprüfmotor die an Zylinderwand und Kolben geschleuderten Ölmengen zu erfassen: Ein an Stelle eines Zylinderabschlusses angebrachtes Fenster am Kurbelgehäuse zeigte, dass die am Pleuel abgeschleuderten Ölmengen sehr unterschiedlich sind. Die größte Menge wird anscheinend an der

1082

der Ölzuführung zugewandten Seite des Pleuellagers abgeschleudert, in der Mitte verhältnismäßig wenig; an der anderen Seite steigt dann die Ölmenge wieder. Hieraus geht schon ziemlich klar hervor, dass das seitliche und radiale Spiel in Pleuellager von großem Einfluss ist. Die mengenmäßige Erfassung des abgeschleuderten Öles ist noch nicht abgeschlossen; es wird erst später darüber berichtet werden können.

Die abgeschleuderten Ölmenge werden jedoch wohl kaum allein über die thermische Belastung des Kolbens Auskunft geben. Es sollen deshalb in folgendem einmal alle diejenigen Gesichtspunkte aufgezählt werden, die auf die Temperatur in der Ringpartie vermutlich ebenfalls von Einfluss sind:

### 1. Das Spiel zwischen Kolben und Zylinder.

Es ist wünschenswert, das Spiel zwischen Kolben und Zylinder so klein als möglich zu halten (selbstverständlich muss es groß genug sein, damit ein Kolbenfresser vermieden wird), da dann die Temperatur des Kolbenschaftes am besten durch die Zylinderwandtemperatur, also die Kühlung, beherrscht werden kann. Bei größerem Spiel wird der Anteil der Wärmemengen, die durch das zwischen Kolben und Zylinder befindliche Öl abgeführt werden, immer größer, so dass die Überwachung von aussen noch schwieriger wird, wenn es nicht gelingen sollte, die durch das Öl abgeführte Wärme laufend zu messen. Bei noch größerem Spiel kann der Ölfilm als solcher nicht mehr abdichten, er zerreißt stellenweise, so dass der kontinuierliche Wärmefluss an diesem Teil des Kolbens ausserordentlich gestört wird. Als Folge der schlechter gewordenen Abdichtung können unter Umständen auch Verbrennungsgase, die durch die Kolbenringe nicht zurückgehalten wurden, durchtreten; hierdurch wird nicht nur die gleichmäßige Kühlung des Kolbens verhindert, sondern unter Umständen sogar für eine entsprechende örtliche Aufheizung desselben gesorgt. Da sich allerdings hierbei auch die Zylinderwand erwärmt, wird durch entsprechend stärkere Kühlung - die Zylinderwandtemperaturen (Richttemperaturen) werden ja während des Laufes stets gleichgehalten - ein Teil dieser Aufheizung wieder zunichte gemacht. Dass diese erhöhte Kühlung den Einfluss der durch-

blasenden Gase zum großen Teil ausschaltet, wird dadurch bestätigt, dass bei hohem Gasdurchtritt die Laufzeit nur wenig beeinflusst wird. Allerdings ist die Reproduzierbarkeit derartiger Läufe bei weitem nicht so gut wie bei geringem Gasdurchblasen.

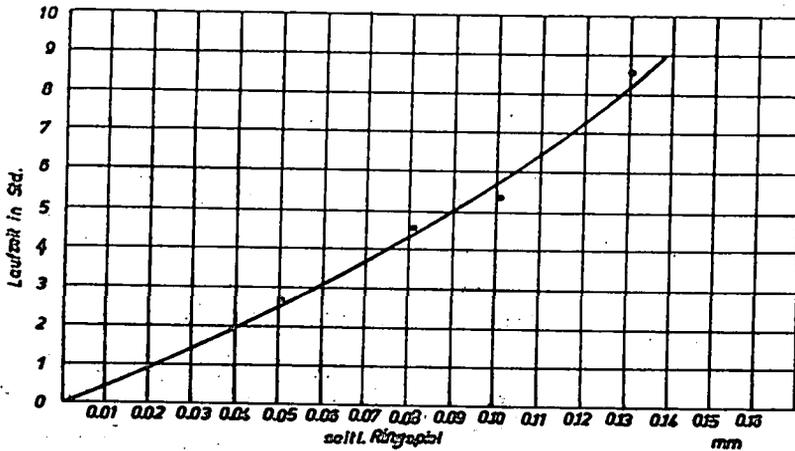
2. Das seitliche Ringspiel.

Dass das seitliche Ringspiel großen Einfluss hat, ist schon von den verschiedensten Stellen beobachtet worden. Die Größe dieses Einflusses ist jedoch besonders davon abhängig, in welcher Verteilung die Wärme vom Kolben abgeführt wird: Kolben mit großer Gleitfläche am Schaft führen selbstverständlich wesentlich mehr Wärme am unteren Teil ab als an der Ringpartie, während bei Kolben mit kleiner Gleitfläche - z.B. Gleitschuhkolben - der Fall ganz anders liegt; hier wird die Ringpartie wesentlich mehr belastet, so dass der Einfluss des Ringspiels viel größer ist als bei der ersteren Kolbenbauart. Auch bei größer werdendem Kolbenspiel im Zylinder wird die Wärmeabfuhr immer mehr nach der Ringpartie hin verschoben, so dass die Rolle des seitlichen Ringspiels immer wichtiger wird.

Der Einfluss, den das Ringspiel auf die Zeit bis zum Ringstecken hat, muß von zwei Gesichtspunkten aus betrachtet werden:

- a) Je größer das seitliche Spiel ist, desto größer ist der Raum, der von den Rückständen bis zum Stecken ausgefüllt werden muss und umso länger werden die Laufzeiten. Bei gleicher Temperatur in der Ringpartie müßte daher die Laufzeit linear mit dem seitlichen Spiel steigen. Dies konnte mit Hilfe des Kolbentemperaturmessgerätes, über das später noch berichtet wird, nachgewiesen werden (Abb.1). Die Tatsache, dass die Abhängigkeit bei diesen Versuchen nicht vollkommen geradlinig ausgefallen ist, dürfte wohl darauf zurückgeführt werden, dass die Temperatur nicht in der Ringnut, sondern im Kolbeninnern an einer Stelle in der Nähe der Ringpartie gemessen werden konnte.

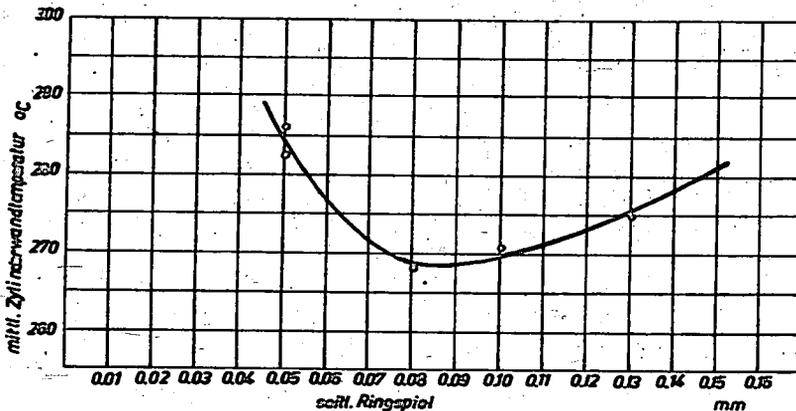
1,084



Bei gleicher Temperatur in der Nut ist die Laufzeit dem seitl. Ringspiel nahezu proportional

Abb.1: Abhängigkeit der Laufzeit bis zum Ringstecken vom seitl. Ringspiel bei gleicher Kolbentemperatur.

b) Weiter wird der Wärmeübergang vom Kolben zum Zylinder durch das Ringspiel beeinflusst: Bei sehr kleinem Abstand - also sehr kleinem Spiel - ist der Wärmeübergang gut, und der Ring nimmt ungefähr die Temperatur des ihn umgebenden Kolbenmaterials an. Bei größerem Spiel wird der Wärmeübergang schlechter, da das zwischen Ring und Nut befindliche Öl als Wärmepolster wirkt. Um die gleiche Kolbentemperatur zu erhalten, muß daher zunächst wesentlich mehr gekühlt werden. (Abb.2). Wird der Raum zwischen Ring und



Das seitl. Ringspiel beeinflusst den Wärmeübergang zwischen Kolben und Zylinder

Abb.2: Abhängigkeit der Zylinderwandtemperatur vom seitl. Ringspiel bei gleicher Kolbentemperatur.

Kolben jedoch noch größer, so beginnt das Öl dort zu fließen und kann daher einen Teil Wärme abführen. Es sind deshalb auch nicht mehr so niedrige Zylinderwandtemperaturen notwendig, um die Kolbentemperatur auf der gleichen Höhe wie bisher zu halten.

### 3. Die Abdichtung durch die Ringe.

Es ist selbstverständlich, dass auch mangelhafte Abdichtung zwischen Kolben und Zylinder die Temperatur beeinflusst. Dabei ist es gleichgültig, ob dies durch Unrunde oder schlecht einlaufende Ringe, mangelhafte Ringspannung oder durch zu große Unrunde des Zylinders verursacht wird. Die dabei durchblasenden Gase werden stets zu einer örtlichen Erwärmung beitragen. Allerdings kann diese Störung, wie schon vorher erwähnt, zum großen Teil wieder rückgängig gemacht werden.

### 4. Filmbildung und -haftung.

Es ist bekannt, dass man durch Abschrägung des unteren Kolbenrandes die Ölabstreifwirkung ausserordentlich beeinflussen kann. Ebenso wird der Zustand und damit die Wirkung der Ölabstreifringe auf die Qualität des Ölfilms zwischen Kolben und Zylinder Einfluss haben. Ein Ölfilm, der durch einen zu gut arbeitenden Abstreifring ständig zerrissen wird - dies ist um so mehr der Fall, je größer die Konizität und Unrunde des Zylinders ist - kann unmöglich einen gleichmäßigen Wärmefluss vom Kolben zur Zylinderwand gewährleisten.

Manche Öle, deren Filmhaftungsvermögen sehr schlecht ist, ergeben oft mangelhaft reproduzierbare und ziemlich kurze Laufzeiten, obwohl ihre Neigung zur Rückstandsbildung gar nicht ungünstig ist. Die kurze Laufzeit ist dann nur die Folge davon, dass durch die schlechte Haftung die Kolbentemperatur trotz gleicher Richttemperatur unter Umständen höher als bei dem Vergleichsöl mit besserer Haftung lag. Stärkere thermische Beanspruchung bringt aber auch meist größere Rückstandsbildung und damit kürzere Laufzeiten bis zum Ringstecken.

### 5. Der Abrieb.

Der Befund nach den Ringsteckkläufen zeigt sehr oft eine gewisse Gratbildung an den Laufflächen der Kolbenringe. Dies deutet darauf hin, dass in bestimmten Fällen die Temperaturen an der Gleitfläche derartig hoch werden, dass das Material zum Teil plastisch wird oder dass aus dem Gefüge herausgebrochene Teilchen mit dem Ringwerkstoff bei sehr hohen Temperaturen wie-

der verschweist werden. Es liegt daher der Gedanke nahe, daß in diesem Falle von einer Wärmeabfuhr durch den Ring nicht gesprochen werden kann, dass im Gegenteil eine Wärmequelle infolge hoher Reibung vorhanden ist, die vielleicht auch von Einfluss auf die Temperaturverteilung im Kolben sein mag. Leider liegen hierüber keine Untersuchungsergebnisse vor; der Vorgang wird jedoch erwähnt, um zu entsprechenden Versuchen Anregung zu geben.

6. Die Rückstände.

Schliesslich muss noch auf die Ablagerung der Rückstände hingewiesen werden. Es könnte durchaus möglich sein, dass die sich im Laufe der Zeit bildenden Ölkohleschichten eine Verschiebung des Wärmeflusses zur Folge haben. Auch hierdurch liess sich vielleicht manche Streuung erklären, insbesondere dann, wenn ein sehr temperaturempfindliches Öl geprüft wird.

Alle diese Erwägungen zeigen sehr deutlich, von welchem großen Wert es wäre, wenn man die Temperaturen in der Ringpartie während des Laufes sorgfältig überwachen könnte. Aus diesem Grunde hat die DVL versucht, ein geeignetes Verfahren für derartige Messungen zu entwickeln, über das im Folgenden nun berichtet werden soll.

Als Grundlage diene das Kolbentemperaturmessverfahren, über das vor einigen Jahren in den USA von Keyser und Miller<sup>+)</sup>  zum erstenmal Mitteilung gemacht wurde: 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 Kontakte 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 infolge seiner Trägheit nur einen sehr kleinen Teil der tatsächlichen Thermokraft anzeigen; ausserdem spielt

<sup>+)</sup>  vgl. P.V.Keyser u.E.F.Miller. Piston and pistonring temperatures. J.Inst.Petr.Techn. Bd.25 (Dez.1939) Nr.194, S.771/778

der ständig schwankende Übergangswiderstand an den Kontakten hierbei eine Rolle, so dass auch eine trägheitsfreie - z.B. oszillographische - Anzeige nicht den tatsächlichen Thermostrom wiedergibt.

Die Messung der Thermokraft geschieht daher nach der sogenannten Nullpunktmethod: 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.

Bei dieser Methode spielt der Übergangswiderstand bekanntlich keine Rolle, da ja stets der Strom Null fließt, gleichgültig, ob der Widerstand groß (Unterbrechung) oder sehr klein ist. Je höher der Übergangswiderstand um so empfindlicher muß allerdings das Nullinstrument sein, wenn die Messgenauigkeit nicht leiden soll; denn kleinere Unterschiede zwischen Thermostrom und Gegenstrom lassen sich dann wegen des hohen Spannungsabfalls nicht mehr feststellen.

In Amerika wurde der Gegenstrom aus einer durch eine Batterie gespeisten Wheatstone'schen Brücke entnommen; die Regulierung desselben erfolgte durch einen in der Brücke liegenden veränderlichen Widerstand. Die gesamte Anlage war so geeicht, dass die Größe des Brückenstromes, also die zu messende Temperatur, direkt an der Einstellung des Regelwiderstandes abgelesen werden konnte. Die Anwendung einer solchen Brückenschaltung gewährleistet nur dann eine zuverlässige Messung des Gegenstromes, wenn der Übergangswiderstand am Regulierbügel stets gleich und sehr klein ist. Ausserdem darf durch das Regeln der Draht nicht abgerieben werden, da sich sonst sein Widerstand ändern würde und die Anlage ständig neu geeicht werden müßte. Schwankungen der Stromquelle müssen selbstverständlich

ebenfalls ausgeschaltet werden.

Da die Erfüllung dieser Forderungen mit großen Schwierigkeiten verbunden sein dürfte, ist die DVL bei der Erzeugung des Gegenstroms einen anderen Weg gegangen (Abb.3): Der Gegen-

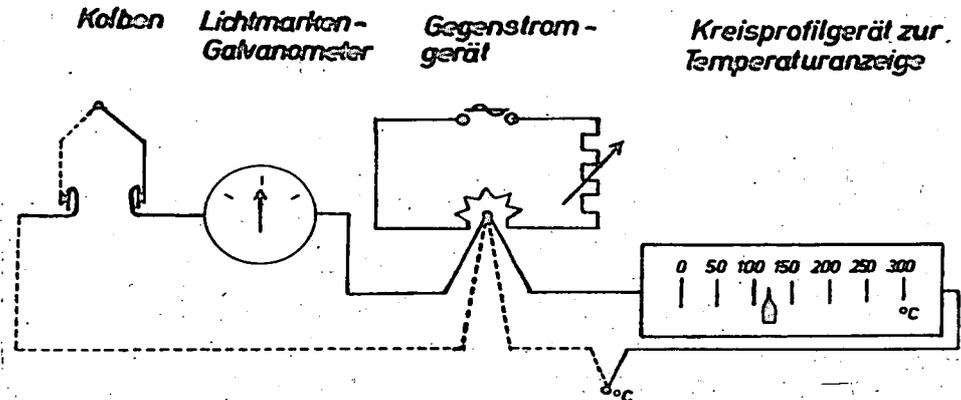
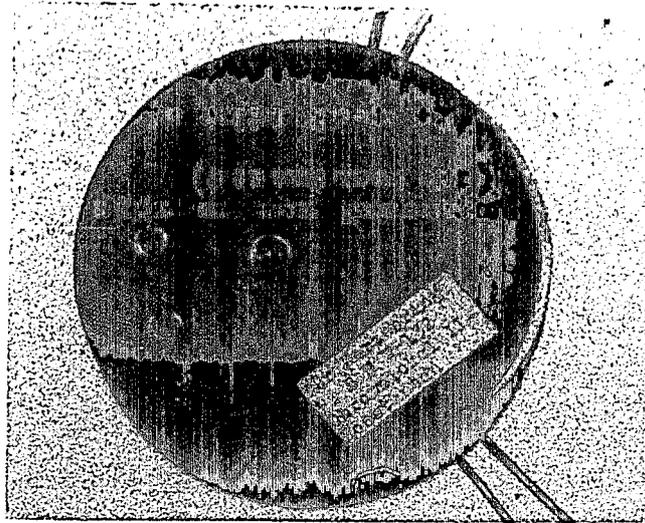


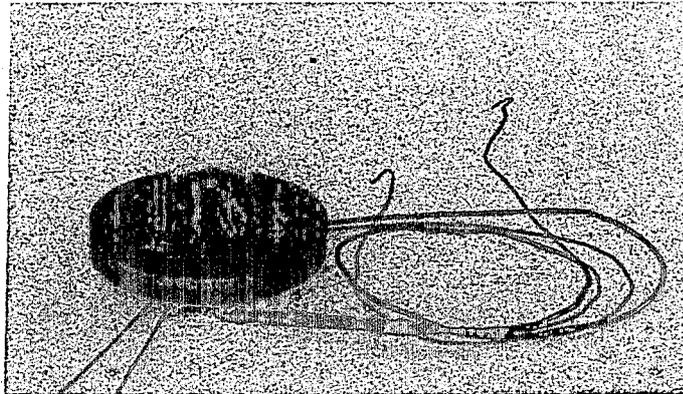
Abb.3: Schema für die Kolbentemperatur-Meßanlage.

strom wird hier von einem Thermoelement geliefert, das durch eine elektrische Heizanlage auf dieselbe Temperatur wie die Meßstelle im Kolben gebracht wird. Die Temperatur des Gegen- elementes wird durch ein weiteres Thermoelement gemessen. Während die beiden Drähte von der Gegenstromquelle über das Null- instrument zu den Kontakten im Motor führen, werden die Drähte des Anzeigeelementes über eine kalte Lötstelle zu einem Milli- voltmeter geleitet. Ein direkt in Temperaturen anzeigendes Kreisprofilgerät, das mit dem Elementenmaterial genau geeicht war, hat sich hierbei besonders gut bewährt.

Um irgendwelche Fehler und Unsicherheiten nach Möglich- keit zu vermeiden, sind Anzeige- und Gegenthermoelement in ei- nem Knoten verschweist (Abb.4). Dieser ist von einer elektrisch aufheizbaren Drahtspirale umgeben, durch die der Thermoknoten auf jede beliebige Temperatur gebracht werden kann. Es ist selbst- verständlich, daß die Spirale frei schwebend angebracht ist und den Knoten bzw. die Thermodrähte nicht berührt. Zum Schutz gegen Luftströmungen, durch die unter Umständen eine gleichmäßige Wärme- abgabe und damit Schwankungen der Temperatur des Thermoknotens verursacht werden können, ist über dieses Aggregat eine Glas- glocke gestülpt. Diese liegt nur lose auf, so daß die im Innen- raum erwärmte Luft ohne weiteres entweichen kann. (Abb.5)



**Abb.4:** Heizkörper zur Erzeugung des Gegenstromes  
(Ansicht von oben)



**Abb.5:** Heizkörper zur Erzeugung des Gegenstromes  
(Gesamtansicht)

Die Heizspirale wird über einen Transformator aus dem Netz geheizt. Einige verschieden abgestufte, dazwischen geschaltete Widerstände sorgen für eine äusserst genaue Regulierung. Die gesamte Anlage ist in Abb.6 dargestellt. Oben links befindet sich das Kreisprofilgerät zum direkten Ablesen der Temperaturen; der links vom Amperemeter befindliche Schalter dient zum Ausschalten des Gerätes. Gleichzeitig wird damit auch das Anzeigeelement kurzgeschlossen, so daß es beim

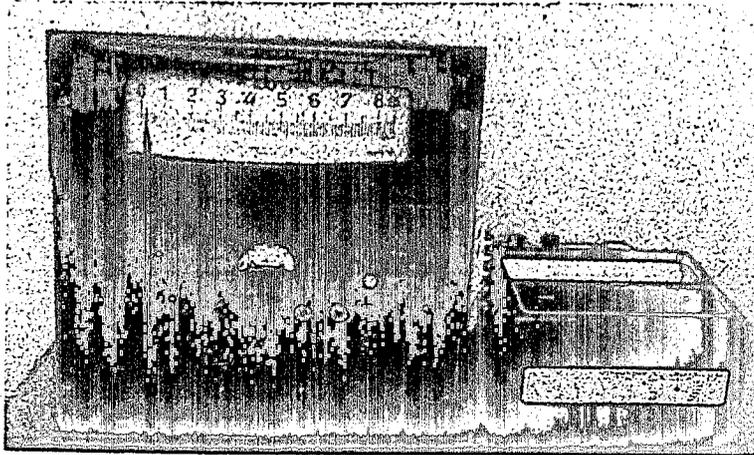


Abb. 6: Kolbentemperaturmeßanlage (Vorderansicht)

Transport geschont wird. Die darunter liegenden Apparatklemmen dienen zum Kurzschliessen der festen Widerstände zur Grobregulierung. Ganz unter befinden sich drei Knöpfe für die Feinregulierung. - Rechts neben dem Schaltkasten steht das Nullinstrument, ein Lichtmarkengalvanometer der Firma Hartmann & Braun.

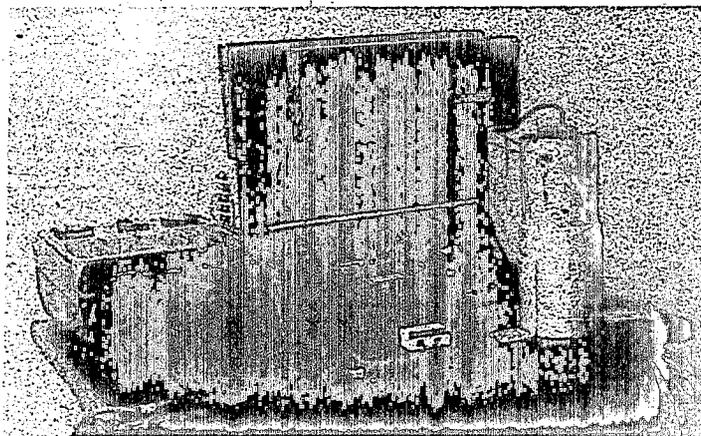


Abb. 7: Kolbentemperaturmeßanlage (Rückansicht)

Die Rückansicht zeigt im Vordergrund rechts den Behälter mit schmelzendem Eis für die Kaltlötstelle, links daneben den Transformator; dazwischen weiter nach hinten liegend ist der Heiz-

körper zur Erzeugung des Gegenstroms zu versehen. Die übrigen Teile sind deutlich erkennbar, so daß sie hier nicht näher beschrieben werden müssen.

Die Anlage gestattet eine äusserst genaue und schnelle Einstellung der Temperatur des Thermoknotens. Entsprechende Versuche haben gezeigt, daß sich in kürzester Zeit - etwa zwei bis drei Minuten - jede beliebige Temperatur von 20° bis ungefähr 850°C auf ein Grad genau einregulieren lässt.

An dieser Stelle soll noch erwähnt werden, daß die Gegenstromanlage sich 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 mit dem Thermoknoten ausgetauscht werden kann. Soll ein bestimmtes Thermoelement geeicht werden, so muß ein Heizkörper verwendet werden, 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 eingestellt werden kann, sehr schnell eine Eichkurve aufstellen.

Auf dieselbe Art lässt sich selbstverständlich auch ein Anzeigeelement oder eine Thermomessanlage überprüfen. Es wurde 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 Minuten - durchgeführt werden.

Um genaue Messungen vornehmen zu können, muss das Nullinstrument EMKe von weniger als 0,01 Millivolt noch deutlich anzeigen. Diese Forderung wurde von einem Lichtmarkengalvanometer der Firma Hartmann & Braun sehr zufriedenstellend erfüllt (vgl. auch Abb. 6 rechts).

Da aber zur Zeit sehr große Beschaffungsschwierigkeiten für derartige Instrumente (die Lieferzeit beträgt mindestens 18 Monate) bestehen, wurde von der DVL noch ein anderer Weg bei der Bestimmung des Nullstromes begangen: Der Strom, der zwischen der Meßstelle im Kolben und im Gegenthermoelement fließt, wird ja ständig der Motordrehzahl entsprechend unterbrochen. Ein derartiger zerhackter Gleichstrom läßt sich daher transformieren. Der in der Sekundärwicklung entstandene Wechselstrom kann dann durch eine geeignete Röhrenschialtung verstärkt werden. Mit einer derartigen versuchsweise aufgebauten Anlage sind bereits einige Messungen durchgeführt worden, die gezeigt haben, daß dieser Weg bei genügender Verstärkung aller Voraussicht nach zum Ziele führt.

Der Einbau der Thermodrähte im Kolben hat hier ebenso wie in Amerika ausserordentliche Schwierigkeiten gemacht: Da alle Motoren, die für die Messungen vorgesehen waren, Leichtmetallkolben hatten, war ein Verlöten 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 Kolbennut vorgesehenen Bohrung zu verstemmen, führte nicht zum Erfolg, da sich durch die verschiedene Wärmedehnung während des Betriebes stets kleine Spalte bildeten, durch die die Verbrennungsgase hindurchströmen konnten. Die in den Spalten abgelagerten Rückstände führten zu schwankenden Wärmeübergängen und daher zu Messfehlern. Aus diesem Grunde wurde auf eine direkt in der Kolbenringnut liegende Meßstelle verzichtet.

Da der Einbau des Elementes vom Kolbeninneren 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, wurde bei den beiden Kleinmotoren - dem NSU-Motor 501/OS (500 ccm) und dem DKW-Motor EW 301 (300 ccm) - auch auf eine Messung in der Nähe der Nut verzichtet und die Drähte nahe nebeneinander im Kolbeninneren hinter der Ringpartie verstemmt. Es zeigte sich, daß diese Art der Befestigung bei den kleinen Motoren allen Beanspruchungen während des Laufes standhielt, da hier ein Durchble-

gen irgendwelcher Gase nicht möglich war. Ausserdem kann man annehmen, daß die Temperaturen an dieser Einbaustelle ungefähr denen in der Ringnut proportional sind; so daß von hier aus auf die Temperaturen der Kolbenringpartie geschlossen werden konnte.

Abb.8 zeigt als Beispiel den Einbau der Drähte im NSU-Kolben. Darin sind auch deutlich die Kontakte am unteren Kolbenrand zu erkennen. Die Drähte sind in einer kleinen Bohrung durch die eigentlichen Kontakte geführt und mit Hilfe einer Madenschraube von innen festgeklemmt. Als Isoliermaterial wurde Igamid A

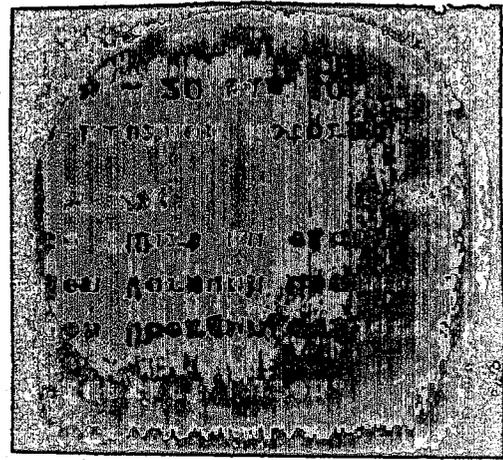


Abb.8: Einbau der Thermodrähte im NSU-Motor

verwendet, ein von der I.G. Farben hergestelltes Kunstharz, das bis nahezu 250°C vollkommen beständig bleibt. Die später angeführten Versuchsergebnisse sind alle unter Verwendung dieser Kontaktbauart erreicht worden. Für höhere thermische Beanspruchungen sind neuerdings ähnliche Kontakte verwendet worden, die durch Glimmer isoliert im Kolben befestigt waren.

Der Einbau wurde durch Messen des Übergangswiderstandes an der Stemmstelle vor und nach jedem Versuch überwacht. Schon die geringste Lockerung der Drähte führt zu einer deutlichen Widerstandsänderung.

Während diese Einbauart bei den kleinen Motoren auch bei hohen Drehzahlen und längerem Betrieb - 20 bis 40 Stunden - allen Beanspruchungen standhielt, traten am BMW 132 Einzylindermotor ausserordentliche Schwierigkeiten auf; die Ursache ist wohl mit Sicherheit in den wesentlich höheren Kolbengeschwindigkeiten (11 bis 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 Isolierrohren 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, so riss er infolge der Wärmedehnung des Kolbens, bei lockerer Einspannung werden die Bohrungen in kürzester Zeit durchgescheuert. 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 anzubringen. Der Kolbenboden wurde von der Nut aus und das Kolbenhemd vom Boden aus mit entsprechenden 3 mm starken Bohrungen versehen, in die dann der in dünnem Asbestschlauch (neuerdings wird als Ersatz hierfür Glasgewebeschlauch 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 eingepresst bis er auf der anderen Seite der Bohrungen wieder austrat.

Bei dieser Einbauart trat kein Losreißen der Drähte mehr auf. Da jedoch die Drahtenden bis an die erste Ringnut verlegt und dort mit dem Kolbenmaterial verstemmt waren, konnten bereits nach kurzer Zeit Störungen, wie sie schon vorher erwähnt worden sind, 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.

Diese Schwierigkeiten machten auch hier eine Verlegung der Meßstelle in das Kolbeninnere erforderlich. Abb. 9 zeigt schematisch die neueste Einbauart. In den Kolbenboden ist eine Nut eingefräst, in die ein schmales dünnes Eisenblech eingelegt ist. An den Enden dieses Bleches ist je einer der beiden Thermodrähte hart eingelötet. Der freie Teil über der Nut wird durch eine abgeschrägte, sehr stramm eingepasste Schiene aus Kolbenmaterial verschlossen. Die beiden Drähte werden wie bisher durch geeignete Bohrungen im Kolbenschaft zu den am unteren Rand befindlichen Kontakten geführt. Die Kontaktstücke

sind wie schon vorher erwähnt, durch Glimmer isoliert eingebaut.

Bei dieser Ausführung wird allerdings nicht mehr an einer bestimmten Stelle gemessen, sondern ein Mittelwert zwischen den Temperaturen an den beiden Verbindungsstellen der Drähte mit dem Eisenblech. Da diese beiden Punkte aber sehr nahe an der obersten Ringnut liegen, ist eine derartige Mittelwertbestimmung

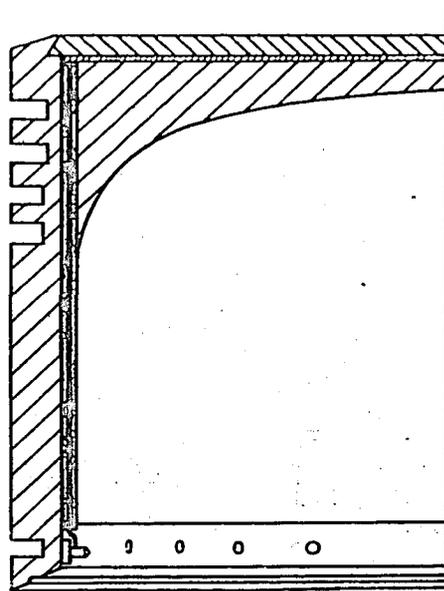


Abb.9: Einbau des Thermoelementes im BMW 132 - Kolben

vielleicht für die Überwachung der in der Ringnut herrschenden Temperaturen noch wünschenswerter als eine Messung an einer einzelnen Stelle. Ausserdem bringt die große Berührungsfläche des Eisenbleches mit dem Kolbenmaterial zuverlässigere Messwerte, als eine einzelne Meßstelle, da hier die Berührungsintensität wegen der verschiedenen Wärmedehnung der Materialien sehr schwanken würde.

Als Werkstoff für die Kontakte wurde Phosphorbronze verwendet. Aus demselben Material konnten auch die Gegenkontaktfedern hergestellt werden, so daß beim Schleifen keine zusätzlichen Thermokräfte entstehen können.

Große Schwierigkeiten macht auch die Wahl der geeigneten Federform. Abb.10 zeigt alle Ausführungen, die in der DVL erprobt worden sind. Die Form 1 bis 3 ist in Angleichung an die Erfahrung der Amerikaner auch aus Stahl mit Neusilberauflage hergestellt worden. (Selbstverständlich sind dabei die Kolbenkontakte ebenfalls aus Neusilber gewesen). Die Auflage löste sich jedoch sehr schnell, da ein zuverlässigeres Anbringen stets die Wirkung der Feder beeinträchtigte.

Als Folge der hohen Geschwindigkeit, mit der die Kontakte die Federn anfangs berühren, traten stets Schwingungen auf, die sehr schnell zum Bruch führten. Erst die Ausführungen 8

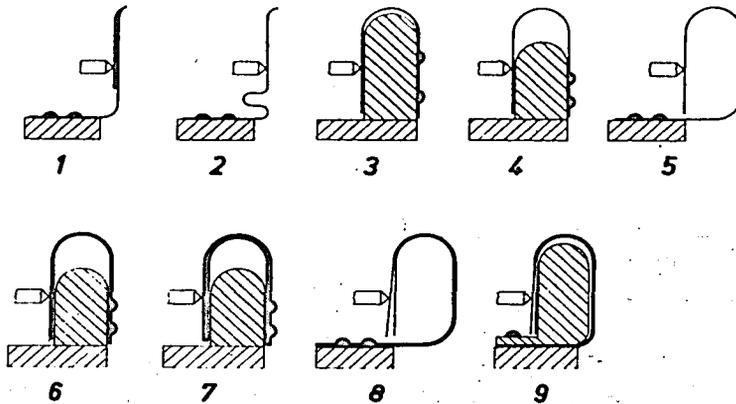


Abb.10: Ausführung der Gegenkontaktfedern.

und 9 brachten einen wirklich zufriedenstellenden Erfolg. Da die Federn im Kurbelgehäuse ständig von Öl benetzt sind, konnte durch die doppelte Lage und die Spreizung am unteren Ende eine Dämpfung durch das Öl erreicht werden. Am BMW 132 sorgte ein hinter der inneren Feder liegendes Klötzchen dafür, daß ein zu großer Ausschlag verhindert wurde, so daß hier eine weitere Dämpfung eintrat.

Als Beispiel für die tatsächliche Ausführung ist in Abb.11 die Gegenkontaktfeder im NSU-Motor wiedergegeben, und aus Abb.12 ist der Einbau der beiden Federn ersichtlich. Selbst-

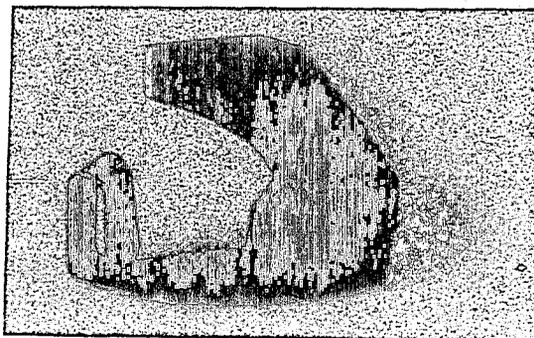


Abb.11: Gegenkontaktfeder für NSU-Motor

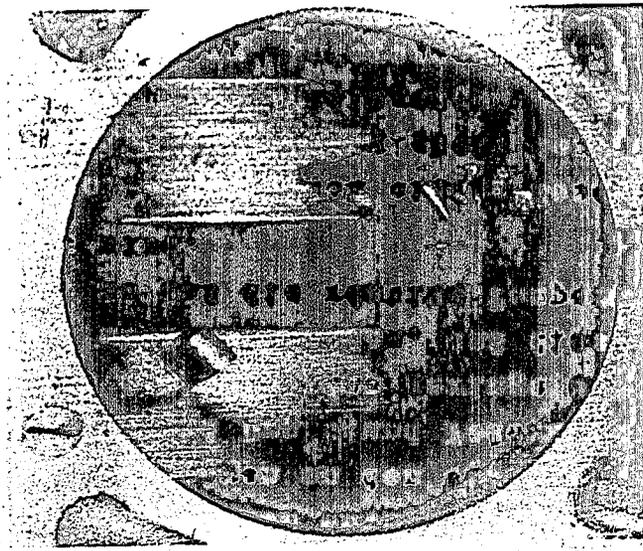
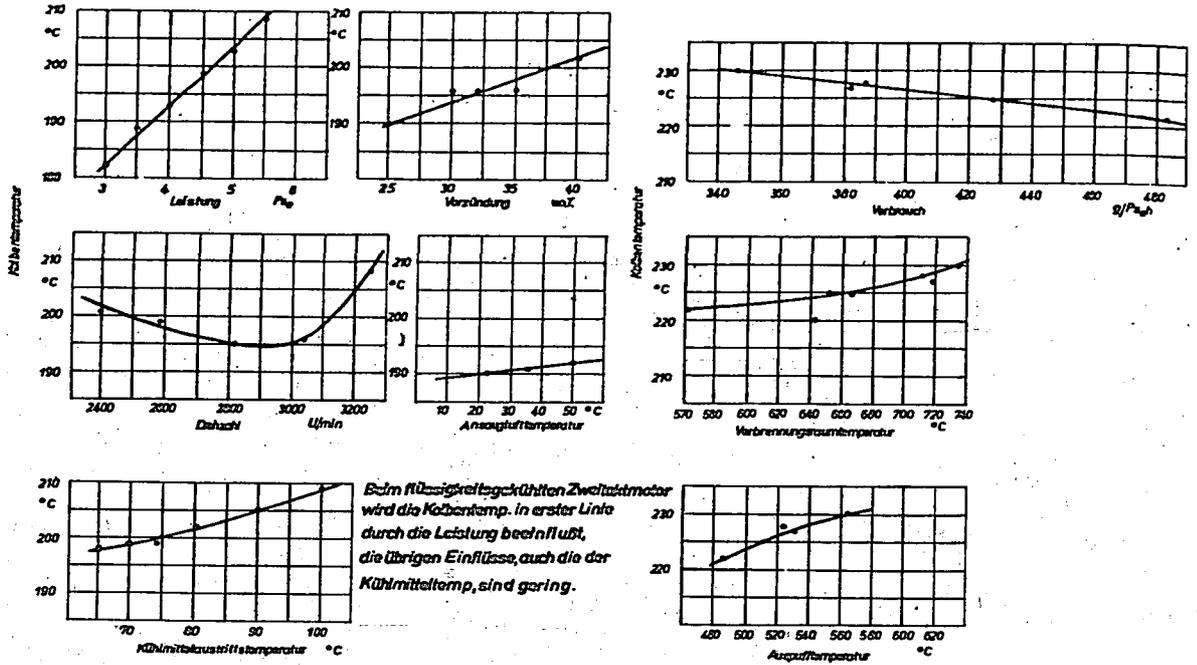


Abb. 12: Einbau der Gegenkontaktfedern am NSU-Motor verständlich ist die Ausführung am DKW- und BMW 132-Motor wieder etwas anders, je nach der Bauart des Motors, die Gestalt der Feder entspricht aber der eben erwähnten Form.

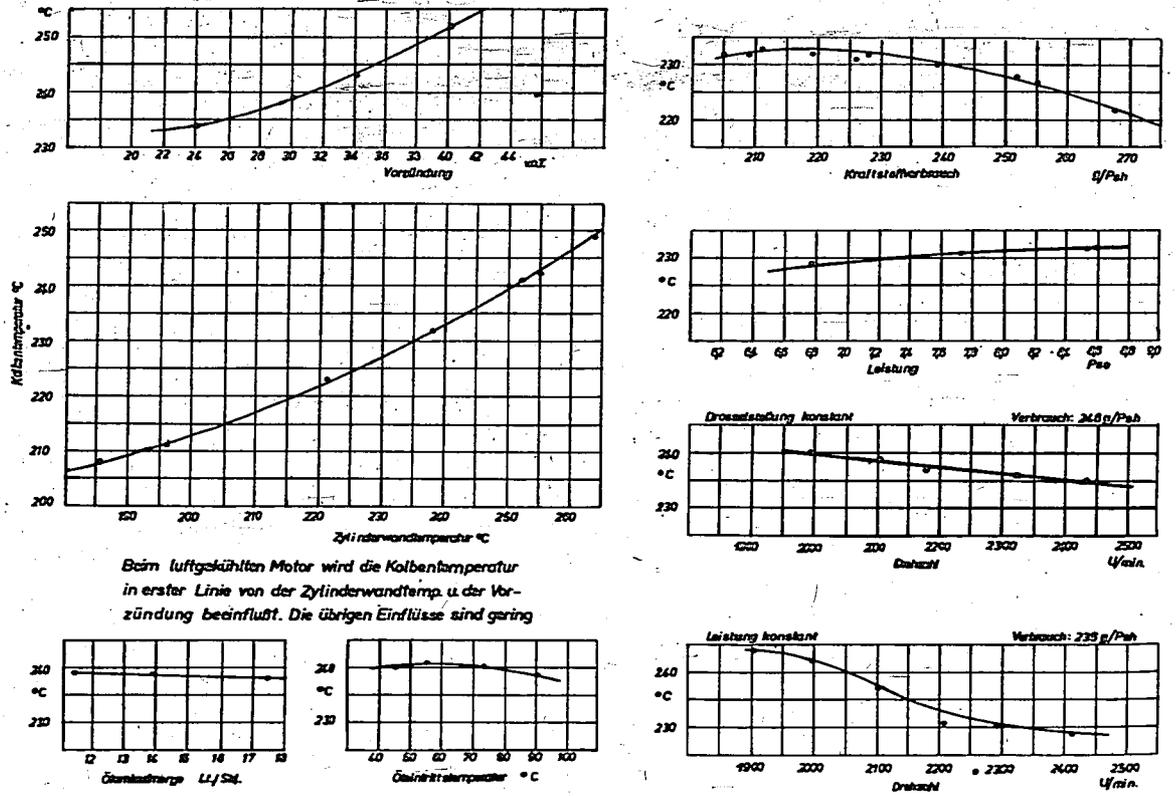
Schliesslich muß noch erwähnt werden, daß eine absolut einwandfreie Messung erst dann sichergestellt wäre, wenn die Kontakte und Federn aus dem entsprechenden Thermomaterial wären; denn die Temperaturen an den Verbindungsstellen zwischen Draht und Kontakten und Draht und Federn sind wohl nicht vollkommen gleich, so daß hier eine geringe störende Thermokraft entsteht. Es ist aber anzunehmen, daß diese Störquelle meist gleich groß ist, so daß die relative Temperaturmessung dadurch nicht beeinflusst wird.

Zum Schluß sollen nun noch einige Messergebnisse gebracht werden: Abb. 13 zeigt die Abhängigkeit der Kolbentemperatur von den verschiedenen Betriebsbedingungen am kleinen flüssigkeitsgekühlten Zweitakt-Motor. Interessant ist hier, daß die Kühlmitteltemperatur nur wenig Einfluß auf die Temperatur des Kolbens hat; steigende Drehzahl bewirkt im normalen Bereich ein langsames Fallen der Kolbenringtemperaturen und bei sehr hohen Drehzahlen ein stärkeres Ansteigen; jedoch müßte diese Kurve nochmals überprüft werden, da ihr Verlauf etwas unklar erscheint. Bis auf die Leistung sind alle übrigen Einflüsse sehr gering.

1,098



**Abb.13:** Einfluß verschiedener Betriebsbedingungen auf die Kolbentemperatur beim DKW-Motor



**Abb.14:** Einfluß verschiedener Betriebsbedingungen auf die Kolbentemperatur beim DKW-Motor

Die Ergebnisse beim kleinen luftgekühlten Motor (NSU) (Abb.14) zeigen, daß hier die Zylinderwandtemperatur die des Kolbens sehr stark beeinflußt. Von etwas geringerer Einwirkung ist die Vorzündung, während die Änderung aller anderen Bedingungen die Kolbentemperatur nur wenig be-  
rührt.

Das gleiche Ergebnis, jedoch in wesentlich verstärktem Maße, ist durch Messungen am BMW 132 (Abb.15) gefunden wor-

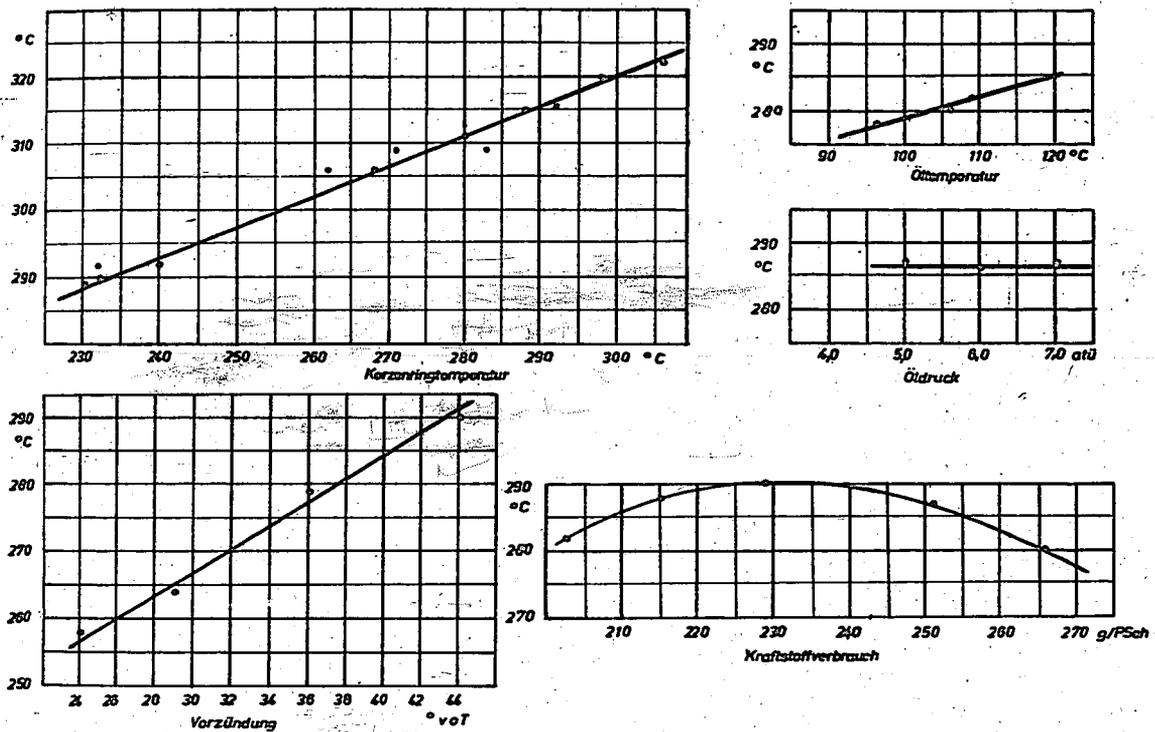


Abb.15: Einfluß verschiedener Betriebsbedingungen auf die Kolbentemperatur beim BMW-132-Ölprüfmotor

den. Erstaunlich ist hier der geringe Einfluß des Öldruckes; es kann allerdings angenommen werden, daß die Pleuellagerspiele selbst einen viel größeren Einfluß haben, während der Öldruck die abgeschleuderten Ölmengen nur wenig verändert. Aus mangel an Zeit konnten hier noch nicht alle Abhängigkeiten aufgestellt werden. (Die Abhängigkeit der Kolbentemperatur von der des Kerzenringes wurde noch mit einem Kolben aufgestellt, bei dem das Thermoelement in die erste Ringnut ein-

1100

gestemmt war. Es traten dabei die vorhin geschilderten Störungen auf, die zu den in dem Bild ersichtlichen Streuungen führten). - Es muß an dieser Stelle nochmals betont werden, daß bei den Messungen nur immer ein Wert geändert worden ist, während alle übrigen Bedingungen stets gleichgehalten wurden. So ist z.B. der Einfluß der Zündung bei stets gleicher Zylinderwand- bzw. Kerzenringtemperatur am BMW 132 aufgestellt worden.

Das Ergebnis läßt vermuten, daß die großen Unterschiede in der Höhe der Richttemperaturen bei gleichen Laufzeiten mit demselben Öl vielleicht darauf zurückzuführen sind, daß fast jede prüfende Stelle eine andere Vorzündung für ihre Versuche gewählt hat.

Die Untersuchungen zeigen, daß die bisherige Anwendung des Kolbentemperaturmessgerätes bereits interessante und wertvolle Ergebnisse gebracht hat. Die allgemeine Einführung des Verfahrens ist sicher sehr wünschenswert, jedoch müßten noch einige Erfahrungen insbesondere auf dem Gebiet des Einbaues der Thermolemente und der Federn gesammelt werden.