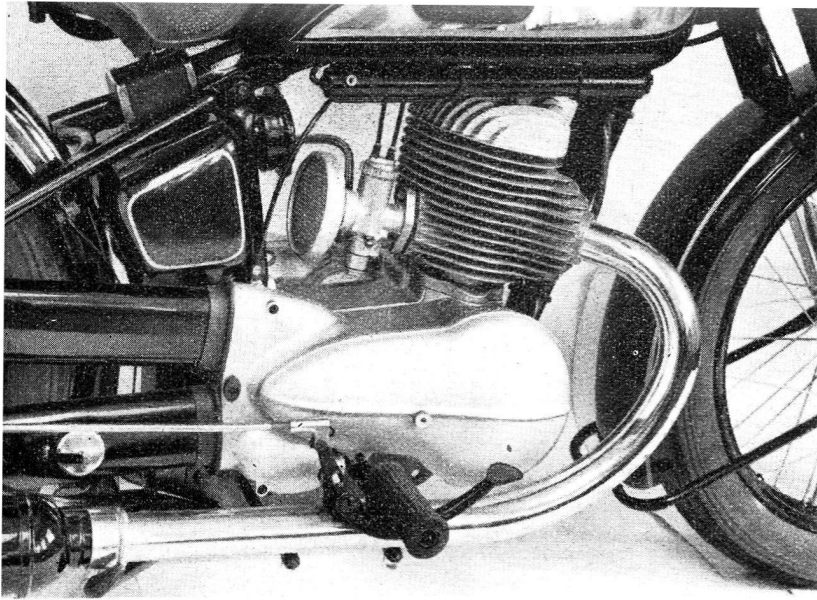


Triumph BDG 250 S

mit hartverchromtem Leichtmetallzylinder -
eine Pionierleistung

Der Motor der BDG 250 S ist der erste Serien-Zweitaktmotor des Motorradbaues, der mit hartverchromtem Leichtmetallzylinder ausgerüstet wird. Gerade der U-Zweitakter stellt besonders verwickelte thermische Probleme, zu deren Lösung die ausgezeichnete Wärmeleitfähigkeit des Leichtmetallzylinders in entscheidendem Maße beitragen kann.

(Triumph-Werkbild)



Als Alfred Wilm 1909 das Dur-Alumin entwickelte und mit dieser vergütbaren Aluminiumlegierung nachwies, daß dieses in unserer Erdrinde am meisten vertretene Leichtmetall neben seinem leichten Gewicht und seiner guten Wärmeleitfähigkeit nun auch noch durch geschickte Legierung die Wandlungsfähigkeit des Eisens erhalten konnte, als die ersten Elektroschmelzöfen die Möglichkeit schufen, den kostbaren Werkstoff zu einem erträglichen Preis herzustellen, da sagten weitblickende Ingenieure das Ende des Eisenzeitalters voraus — das Jahrhundert des Leichtmetalls schien angebrochen. Aber es war ein langer Weg, ehe man die Eigenheiten des lockenden und doch so spröden Aluminiums so weitgehend beherrschte, daß es ohne Sorge vor Rückschlägen Bauteil um Bauteil den Stahl und das Gußeisen ablösen konnte. Der Flugmotorenbau mit seinen extremen Forderungen nach niedrigem Baugewicht war der Vorkämpfer, dem der Fahrzeugbau zögernd und vorsichtig folgte. Reizte beim Kurbelgehäuse mit seinen großen Maßen vor allem die Gewichtseinsparung, so war der Zylinderkopf, über den rund 80% der insgesamt vom Motor abzuleitenden Wärme an die Kühlluft abgegeben werden, vor allem für die dreimal so gute Wärmeleitfähigkeit des Leichtmetalls — etwa 0,50 cal/cm °C sec. gegenüber etwa 0,17 cal/cm °C sec. bei Grauguß — sehr dankbar, denn diese bessere Wärmeleitfähigkeit gestattete gefahrlos höhere Verdichtungsgrade und damit eine höhere Leistungsausbeute. Der entscheidende Schritt für eine sprunghafte Steigerung der Leistung war aber der Uebergang vom Graugußkolben zum Leichtmetallkolben, denn hier wirkte sich die Gewichtsersparnis an einem Bauteil aus, das in jeder Sekunde hundert-, ja zweihundertmal vom Stillstand auf Geschwindigkeiten von 10, 15 ja 20 m/sec. beschleunigt und wieder zum Stillstand abgebremst werden mußte und dabei mit Massenkräften belastet wurde, die schon bei 3000 U/min dem 500-fachen und bei 4000 U/min dem 900-fachen des Eigengewichts entsprachen. Das ausgezeichnete Wärmeleitvermögen des Leichtmetalls entlastete den Kolbenboden, aber Ernst Mahle wußte schon, warum er den Kolben als „ein Stück Metall“ definierte, „eigens geschaffen zu dem Zweck, damit Ingenieure nicht größenwahnsinnig werden“. Es bedurfte jahrelanger Versuche mit vielen Rückschlägen, bis die Laufpaarung Leichtmetallkolben und Gußeisenzylinder sich miteinander vertrug, bis durch Stahleinsätze, ge-

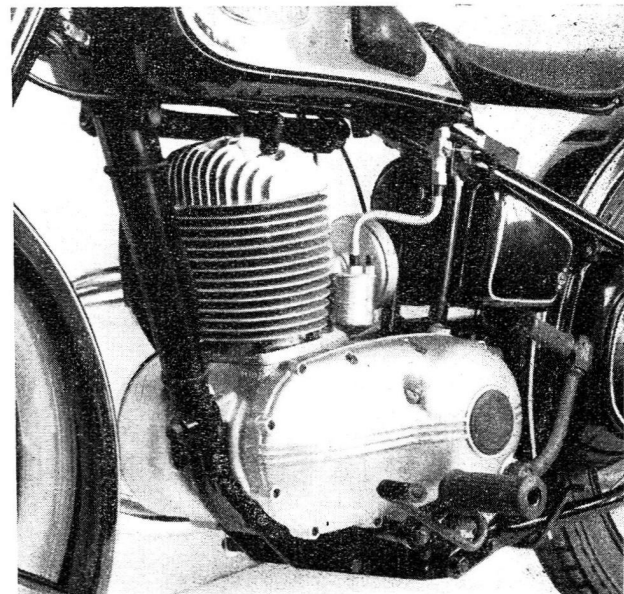
schickte Formgebung und sorgfältig ausgewählte Legierungen die Wärmedehnung des Leichtmetallkolbens soweit beherrscht wurde, daß der Kolben auch bei höchster und plötzlich einsetzender Belastung dem Träger und weniger wachsenden Zylinder nicht zu nahe trat, ohne durch zu großes Spiel bei niedriger Last und kaltem Motor zu klappern. Der Zylinder mußte diese Bestrebungen durch eine möglichst symmetrische Form und durch geschickte Unterteilung der Kühlrippen, die der Schrumpfwirkung entgegenwirkten, unterstützen, und je weiter man sich an die Grenzen der Leistung vortastete, um so klarer mußte man erkennen, daß in dem Zusammenspiel zwischen Kolben und Zylinder die Ausbildung des Zylinders mit den Fortschritten der Kolbentechnik nicht Schritt gehalten hatte.

Die Zylinderlaufbahn soll mit Rücksicht auf die mit steigender Temperatur rasch abnehmende Tragfähigkeit des Schmierfilms und den schnell wachsenden Abrieb nicht heißer als 150 bis 180°C werden — aber Temperaturen unter etwa 80°C führen bei Brennstoffen mit langen Siedeschwänzen schon zur Oelverdünnung und zu häßlicher Emulsionsbildung. Die Temperatur der Zylinderlaufbahn nimmt, da sie ja im Arbeitshub vom Kolben nur langsam den immer stärker entspannten und kühler werdenden Gasen freigegeben wird, vom Kopf zum Fuß stetig ab. Sie ist aber leider beim luftgekühlten Zylinder am Umfang durchaus nicht ausgeglichen: Die im Windschatten liegende Partie gibt beim frei angeblasenen Zylinder ja nach der Windgeschwindigkeit nur ein Viertel bis ein Sechstel der Wärmemengen ab, die die Kühlluft von der angeblasenen Seite je Flächeneinheit erhält, und auch gute Leitbleche setzen das Verhältnis nur auf etwa 1:3,5 herab. Beim Zweitaktmotor besteht darüber hinaus ein sehr starkes Temperaturgefälle vom Auslaßkanal zu den immer wesentlich kühler bleibenden Spülkanälen und zum Einlaßstutzen. Diese an Stahl- und Graugußzylindern gemessenen Mittelwerte zeigen schlagartig die überragende Bedeutung, die einem guten Wärmeaustausch innerhalb der Zylinderwand für ein einwandfreies Rund- und Geradbleiben der Kolbenlaufbahn zukommt. Größere Wärmeleitquerschnitte allein finden schnell ihre Grenze in der rapiden Gewichtszunahme und in der Trägheit, mit der ihre Ausdehnung dem Wachsen des Kolbens bei einer Steigerung der Betriebstemperatur folgt.

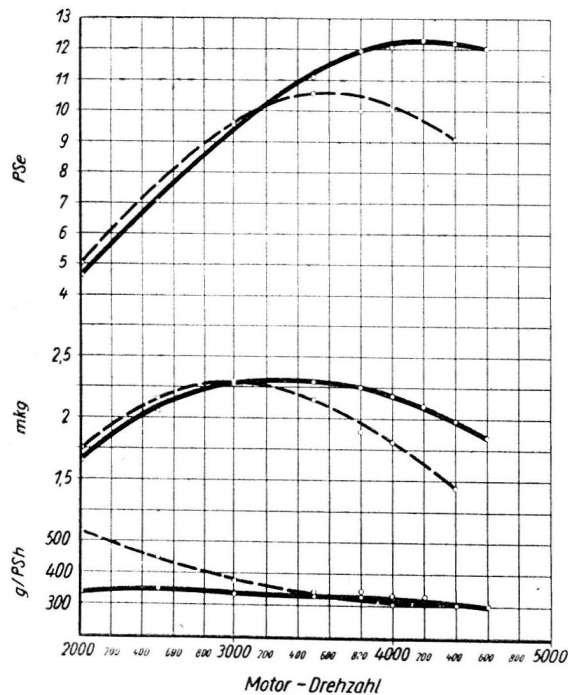
Diese Probleme, die schon beim kopfgesteuerten Viertaktmotor mit seinem symmetrischen Zylinder erhebliche Kopfschmerzen machen können, werden beim Zweitaktmotor mit seinen vielen Wanddurchbrüchen und der durchaus unsymmetrischen Materialverteilung noch erheblich verwickelter, wobei der U-Zweitakter mit seiner nur schwer zu kühlenden Mittelwand eine besonders harte Nuß zum Knacken gibt. Der Zylinder des U-Zweitakters stellt daher ein besonders interessantes Studienobjekt dar, den klassischen Grauguß durch das Leichtmetall mit seiner hohen Leitfähigkeit abzulösen, und so baute ja Triumph seinen ersten Hochleistungs-U-Zweitakter in der BD 250 mit einem Verbundguß-Zylinder, bei dem der Graugußblock mit fertig eingegossenen Kanälen für gute Laufeigenschaften und ein um diesen Block herum gegossener Leichtmetallkühlmantel mit Stachelverrippung für eine bessere Wärmeabfuhr und vor allem für eine bessere Wärmeverteilung sorgte. Es besteht kein Zweifel, daß schon mit dieser Konstruktion eine bedeutende Gewichtsersparnis und ein wesentlich verbesserter Wärmeausgleich erreicht wird, und das in Amerika entwickelte und von vielen europäischen Ländern übernommene Al-Finverfahren,

Der Leichtmetallzylinder der BDG 250 S von der Antriebsseite aus gesehen.

(Triumph-Werkbild)



— Kurve = Leichtmetall - Zylinder
 - - - Kurve = Grauguß - Zylinder



Vergleiche der Leistung des Drehmoments und des spezifischen Vollastverbrauchs zwischen der mit Leichtmetallzylinder ausgerüsteten BDG 250 S und der mit Graugußzylinder ausgerüsteten Triumph BDG 250. Es sei besonders darauf hingewiesen, daß die höhere Leistung der BDG 250 S nicht nur durch den Leichtmetallzylinder, sondern durch andere Steuerzeiten und andere Maßnahmen erzielt wurde, daß andererseits aber der Leichtmetallzylinder die gefährlose Steigerung der Dauerleistung erst möglich macht. (Triumph-Werkbild)

Bremsmessungen des Verfassers ergaben für die BDG 250 S noch etwas günstigere Leistungswerte als diese vom Werk festgestellten Daten.

bei dem die Gußbuchse vor dem Umgießen kurzzeitig in ein Aluminiumbad gehängt wird, hätte sicher durch eine bessere Bindung zum Aluminium den Wärmeübergang noch weiter begünstigt. Es ist aber nicht zu übersehen, daß die Wärme-dehnung von Aluminiumlegierungen rund doppelt so hoch liegt, wie die von Grauguß — es sei denn, man verwendet die allerdings recht kostspieligen nickelhaltigen Niresit-Büchsen mit ähnlicher Wärme-dehnung wie die von Aluminiumlegierungen. Die unvermeidlichen Spannungen zwischen Gußbuchse und Leichtmetallkühlmantel lassen nach längerer Betriebszeit eine Verschlechterung der thermischen Verhältnisse befürchten und auch diese Lösung nicht als ideal erscheinen.

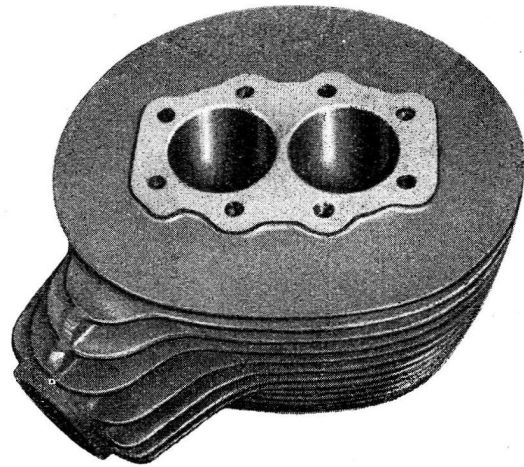
Schon Mitte der 20er Jahre hatte man versucht, Leichtmetallkolben ohne jede

Sonderbearbeitung in einem Leichtmetallzylinder laufen zu lassen, aber das führte schnell zu einer unmöglichen Laufbahn-abnutzung und zu einer durch Aluminiumschlamm restlos verstopften Ölpumpe. Auch die 10 Jahre später durchgeführten interessanten Versuche, eine Berührung des Leichtmetall-Kolbens mit dem ohne Laufbüchse ausgeführten Leichtmetallzylinder dadurch mit Sicherheit zu vermeiden, daß die Kolbenringe bei genauer Passung in den Ringnuten aufsaßen, führten zu keinem Erfolg.

Schon vor dem zweiten Weltkrieg hatte Triumph in enger Zusammenarbeit mit verschiedenen Werken der Leichtmetallindustrie systematische Versuche durchgeführt, hartverchromte Leichtmetallkolben in feinstgebohrten Leichtmetallzylindern laufen zu lassen, aber auch diese Versuche brachten noch nicht die erhofften narrensicheren Ergebnisse. Es galt, den Leichtmetallzylinder selbst mit einer Lauffläche von genügender Verschleißfestigkeit zu versehen, die den Wärmeübergang und die Wärmedehnung nicht behinderte. Die Lösung war der Leichtmetallzylinder mit hartverchromter Laufbahn, aber die vorsichtigen und gewissenhaften Nürnberger Ingenieure mußten sich durch viele Rückschläge hindurchkämpfen, ließen ihre Motoren über Tausende von harten Wettbewerbskilometern jagen, ehe sie jetzt die BDG 250 S als erste Serienmaschine der Welt mit hartverchromtem Leichtmetallzylinder als völlig betriebssicher dem Käufer in die Hand drückten.

Bevor ich auf die Ergebnisse eingehe, die bei eingehenden Versuchen mit dem in enger Zusammenarbeit mit Mahle in Cannstatt entwickelten Leichtmetallzylinder erzielt wurden, möchte ich noch einige grundsätzliche Betrachtungen über die Eigenschaften hartverchromter Laufbahnen und die vielen Einzelprobleme, die bis zu ihrer betriebssicheren Verwirklichung gelöst werden mußten, vorausschicken. Chrom hat als Werkstoff für die Kolbenlaufbahn zwei überzeugende Vorzüge: die durch die hohe Brinellhärte von 700 bis 1000 kg/mm² überragende Verschleißfestigkeit und den hervorragenden, ja einmaligen Widerstand gegen den Einfluß von Schwefelsäure. Schon Ricardo hatte ja vor Jahr und Tag durch zahlreiche Versuche nachgewiesen, daß die bei der Verbrennung anfallenden und vor allem bei niedrigen Betriebstemperaturen höchst aktiven Schwefel- und schwefeligen Säuren einen verheerenden Einfluß auf den Zylinderverschleiß haben.

Es ließ sich andererseits nicht übersehen, daß diesen verlockenden Eigenschaften des Chroms auch einige bittere Nüsse beigesellt waren. Eine Chrom-

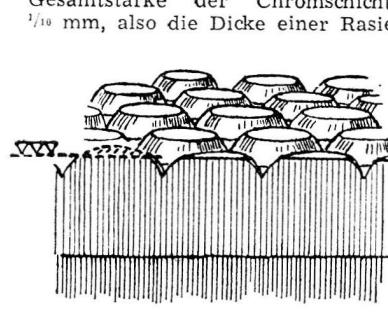
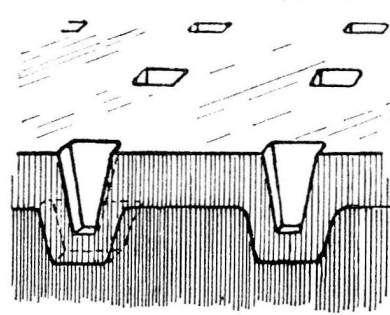
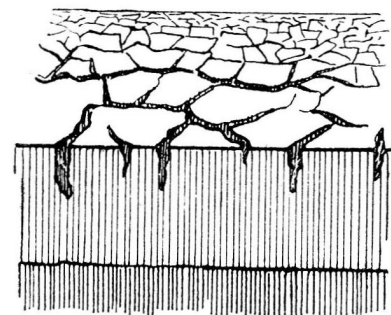


Triumph-Leichtmetallzylinder mit hartverchromter Laufbahn. (Werkbild Mahle)

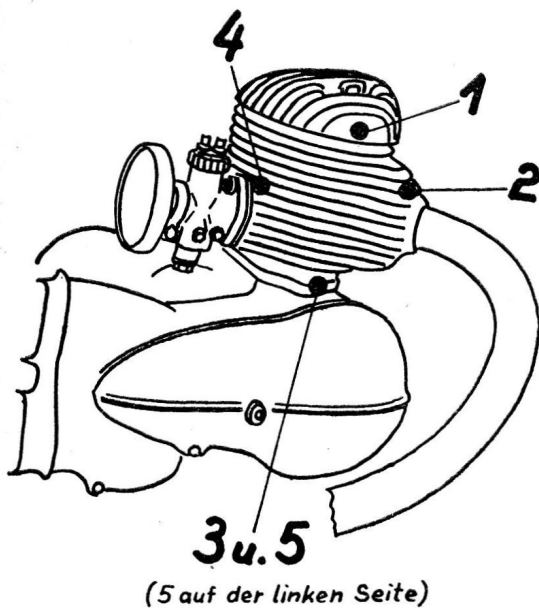
schicht zeigt wenig Neigung, sich von einem zusammenhängenden Schmierfilm benetzen zu lassen. Chrom hat nur rund 1/3 der Wärmedehnung von Leichtmetall — wie würde es sich bei Temperaturschwankungen verhalten? Und wie würde es sich mit dem Leichtmetall verbinden, das sich durch eine festhaftende Oxidschicht gegen jede allzu innige Verschmelzung sträubt? Nun, es wurde ein langer Weg; bis man die spröde Tugendhaftigkeit des Leichtmetalls mit Natronlauge und Salpetersäure, mit Nickelchlorür und Flußsäure überwinden hatte und eine einwandfreie und allen Temperaturstürmen trotzende Bindung erzielte. Die durch die unterschiedliche Dehnung unvermeidlichen Wärmespannungen lassen die Chromschicht spätestens bei der Bearbeitung, die nur durch Schleifen und Honen möglich ist, wie eine Eisschicht bei Föhnwind oder sehr hartem Frost in ein feines Netzwerk mit unzähligen Haarrissen aufspringen, ohne — und das ist eines der Wunder der Hartverchromung — die Bindung zum Grundmetall zu lockern. Wenn der Leichtmetallzylinder sich mit steigender Temperatur stärker dehnt, so bleibt jedes Chromblöckchen fest auf seinem Sitz haften, weil sich einfach die Risse verbreitern. Durch zweckmäßige Auswahl der Säurekonzentration, der Badtemperatur und der Stromdichte kann die Größe dieses Netzwerkes in weiten Grenzen verändert werden. Als besonders günstig hat sich eine „Schollen“-Größe von 0,4 bis 0,8 mm herausgestellt. Tiefe und Breite der Risse kann durch Aetzung oder — besser, da keine Rückwirkung auf das Grundmetall zu befürchten — durch Umpolung, also zeitlich gesteuertes, geringfügiges galvanisches Wiederabtragen der Chromschicht, wobei sich besonders die scharfen Ränder der Risse glätten, vergrößert werden. Bringt man auf eine so behandelte Chromschicht einen Tropfen Öl, so breitet er sich schon nach kurzer Zeit auf einer sehr viel größeren Fläche aus als auf der nicht geätzten Chromschicht. Wie genau hier gearbeitet werden muß, mag der Hinweis zeigen, daß die Gesamtstärke der Chromschicht etwa 1/10 mm, also die Dicke einer Rasierklinge

Schematische Darstellung der porösen Chromschicht verschiedener Herstellung nach dem Honen.

- Chemisch bzw. galvanisch porös gemachte Chromschicht mit Vertiefungen und Kanälen.
- Vor dem Verchromen durch Randrieren mechanisch porös gemachter Untergrund, der sich auf die Chromschicht überträgt.
- Körnige Chromschicht mit natürlicher Rauigkeit. An der Oberfläche wenig angeschliffen.



erreicht, und die Tiefe der Poren möglichst $\frac{1}{3}$ dieser Schichtdicke nicht überschreiten soll. Da das Aetzen und das Umpolverfahren nach dem Honen umständlich ist, vor dem Honen aber eine dickere und — auch wegen der Bearbeitung — teurere Chromschicht voraussetzt, geht Mahle — in weitgehender Übereinstimmung mit den bei hartverchromten Kolbenringen angewendeten Verfahren — immer mehr dazu über, das Grundmetall durch Rändeln oder Rillendrehen aufzurauben, da sich die Formgebung des Grundmetalls unverändert auf die Chromschicht überträgt. Durch eine in langen Versuchen ermittelte zweckmäßige Bemessung von Stromstärke und Säurekonzentration kann man erreichen, daß das Chrom sich in Form mehr oder weniger kräftiger Warzen auf dem Grundmetall niederschlägt und so schon von selbst eine natürliche Welligkeit aufweist, die nur noch durch ein hauchzartes Ueberhonen kalibriert werden muß. Der Vorgang kann so genau gesteuert werden, daß der Arbeitsgang „Maßschleifen“ durch die Maßverchromung überflüssig wird. Gerade mit



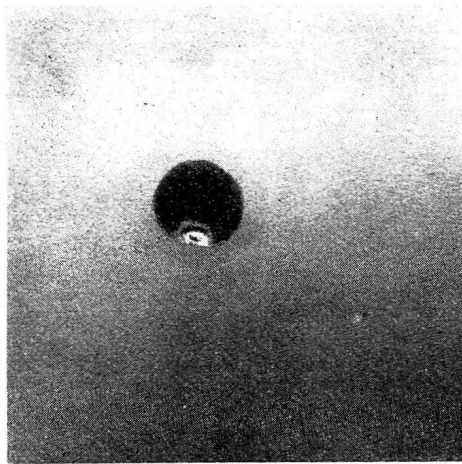
Temperaturstellen an den beiden Zylindern.
1. Zylinderkopf;
2. Auspuffstutzen;
3. Zylinderfuß rechts;
4. Ansaugstutzen;
5. Zylinderfuß links.

(Zeichnung: H. W. Bönsch)

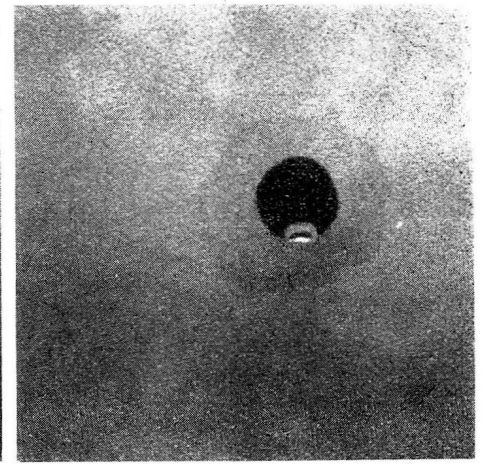
diesen Arbeitsverfahren der letzten Entwicklungsstufe hat man großartige Erfolge erzielt, wenn auch der Weg bis zu dieser Beherrschung des sehr vielseitigen Problems hart und dornenvoll war.

Aus der Fülle der erst zu sammelnden Erfahrungen mag nur ein Beispiel die Sorgfalt der Bearbeitung zeigen: Um den Schleif- und Chromstaub restlos aus dem Netzwerk zu entfernen, ist nach der Bearbeitung eine viermalige Dampfwäsche erforderlich, die nacheinander fünfzig, siebenundzwanzig, dreizehn und zehn Prozent der Verunreinigungen herauspült.

Am Lehrstuhl für Kolbenmaschinen der technischen Hochschule in Braunschweig laufen zur Zeit unter der Leitung von Prof. Dr. Löhner, einem der führenden deutschen Forscher auf dem Spezialgebiet der Luftkühlung, sehr interessante Vergleichsversuche zwischen Leichtmetall- und Graugußzylindern, die nach neuartigen Methoden auch einen unmittelbaren Vergleich zwischen Fahr- und Prüfstandsergebnissen zulassen. Leider sind diese Versuche im Augenblick noch nicht abge-



Ausbreitung von Öeltropfen gleicher Größe nach 15 Minuten
a) auf ungeätzter Chromschicht; b) auf porös geätzter Chromschicht



(Werkbild Mahle)

schlossen, so daß noch keine exakten Zahlen über die unterschiedliche Wärmeverteilung an den beiden Zylindern genannt werden können. Ich habe aber mit den Versuchsingenieuren von Triumph einmal einige tastende Vorversuche durchgeführt, um überhaupt eine Vorstellung von der zu erwartenden Temperaturverteilung zu erhalten. Zu diesem Zweck wurde eine BDG 250 mit Graugußzylinder und eine BDG 250 S mit Leichtmetallzylinder vom Kaltstart aus mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten über eine Strecke von 5 km auf der Autobahn Tennenlohe gefahren und markante Stellen des Zylind-

ders mit Thermochromstiften unmittelbar nach dem Anhalten geprüft. Ich weiß, daß diese primitive Methode keine absoluten Temperaturwerte liefern kann, aber die völlig gleichgehaltenen Fahrbedingungen und die genaue Beobachtung des Farbumschlages der genau gleichzeitig aufgetragenen Thermochromstifte ergibt doch recht brauchbare Relativwerte. Als kennzeichnende Punkte wurden der Zylinderkopf, der Auspuffkrümmer, der Zylinderfuß auf beiden Seiten und der Vergaserstutzen angesehen. Die Meßstellen sind im Bild gekennzeichnet. Die nachstehende Tabelle zeigt die Ergebnisse.

Temperaturmessungen an Triumph BDG 250 und BDG 250 S

Geschwindigkeit Meßstelle	50 km/h		70 km/h		90 km/h	
	Al	Guß	Al	Guß	Al	Guß
1	90° C	90° C	100° C	120° C	120° C	120° C
2	100° C	110° C	120° C	150° C	150° C	150° C
3	65° C u.	65° C	—	—	70° C üb.	65° C
4	65° C u.	65° C	üb. 75° C u.	65° C	75° C	65° C
5	65° C u.	65° C	75° C üb.	65° C	65° C üb.	65° C

Der Zylinderkopf wird also bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h und 90 km/h bei beiden Motoren etwa gleich warm, während der Zylinderkopf beim Leichtmetallzylinder bei einer Geschwindigkeit von 70 km/h rund 20° C unter der Temperatur des Zylinderkopfes der Maschine mit Graugußzylinder liegt. Während bei 50 km/h wegen der niedrigen Belastung kaum ein wesentlicher Unterschied zu erwarten ist, entspricht 90 km/h schon nahezu der Höchstgeschwindigkeit der BDG 250, die hierbei weitgehend im Bereich der Hauptdüse arbeitet und thermisch auf diese Höchstgeschwindigkeit abgestimmt ist. Die bessere Kühlwirkung des Leichtmetallzylinders, der bei dieser Geschwindigkeit noch durchaus im Bereich der Naddüse arbeitet und, wie ein Vergleich der Verbrauchskurven zeigt, wesentlich sparsamer eingestellt ist, wird hier durch den Einfluß des ärmeren Gemisches ausgeglichen. Anders liegen die Verhältnisse bei der mittleren Geschwindigkeit von 70 km/h, denn hier arbeiten beide Motoren in dem sparsamen Bereich, der von der Düsenadel dosiert wird. Obwohl aus der Verbrauchskurve hervorgeht, daß die BDG 250 S bei 70 km/h 2,75 L/100 km verbraucht, während bei der BDG 250 bei gleicher Geschwindigkeit genau 3 L/100 km durchfließen, bleibt der Kopf der Maschine mit dem Leichtmetallzylinder wesentlich kühler.

Sehr ähnlich liegen die Verhältnisse bei Meßstelle 2 am Auspuffkrümmer. Sehr deutlich lassen schon diese groben Versuche die wesentlich bessere Wärmeverteilung in der Längsachse des Zylinders und vor allem auch über den Zylinder-

umfang erkennen. Auch hier ist der Vergleich bei der mittleren Geschwindigkeit von 70 km/h besonders aufschlußreich. Die Temperaturdifferenz zwischen dem heißen Auspuffkrümmer und dem Vergaserstutzen beträgt bei dem Leichtmetallzylinder ca. 40° C, bei dem Graugußzylinder etwa 90° C, die Temperaturdifferenz zwischen dem Zylinderkopf und dem Zylinderfuß liegt beim Leichtmetallzylinder bei etwa 25° C, beim Graugußzylinder bei ca. 50° C.

Die mit diesen einfachen Versuchen gewonnenen Zahlenwerte decken sich recht gut mit Temperaturmessungen, die an anderer Stelle mit einem Viertaktmotor durchgeführt wurden. Dort ergaben sich bei gleicher Leistung und gleichem Verdichtungsverhältnis bei Verwendung eines Leichtmetallzylinders gegenüber dem Graugußzylinder Temperatursenkungen des Zylinderkopfes von 10 bis 20° C. Bei gleichen Wandstärken wurde zwischen Kopf- und Fußende des Zylinders beim Graugußzylinder ein Temperaturunterschied von 95° C, beim Leichtmetallzylinder von 80° C gemessen. An dem gleichen Zylindermodell betrug der Temperaturunterschied zwischen der Luv- und Lee-seite des Zylinders bei Grauguß 80° C, bei Leichtmetall 30° C.

Die Temperatursenkung des Zylinderkopfes ist nicht nur auf die bessere Wärmeabgabe an die Luft zu erklären — durch die bessere Wärmeleitfähigkeit ist der Wärmeanfall in die einzelne Rippe geringer, so daß auch die Rippenspitzen wesentlich zur Wärmeabgabe herangezogen werden — sondern der Wärmeübergang vom Zylinderkopf auf den Zylinder selbst wird erheblich verbessert. Durch

diesen besseren Wärmeübergang und durch die gleichen Dehnungsverhältnisse von Zylinderkopf und Zylinder treten sehr viel geringere Wärmespannungen zwischen diesen beiden Teilen auf, so daß der Sitz des Kopfes auf dem Flansch sehr viel „satter“ wird.

Durch den besseren Wärmeausgleich in der Zylinderwandung wird die Verzugsgefahr stark vermindert, eine Eigenschaft, die sich in gleichbleibenden Laufspielen höchst vorteilhaft auswirkt. Es darf auch nicht übersehen werden, daß die Chromschicht in erheblichem Maße die Wärmestrahlung der arbeitenden Gase reflektiert und damit nicht nur den Zylinder entlastet, sondern zu einer Steigerung des thermischen Wirkungsgrades beiträgt.

Die geringere Verzugsgefahr des Zylinders und die gleichmäßige Ausdehnung von Zylinder und Kolben hält das Kolbenpiel über den ganzen Bereich der Betriebstemperaturen praktisch konstant, so daß das bei Graugußzylindern übliche Kolbenpiel bei Triumph um rund 50% herabgesetzt werden konnte. Das bedeutet geringere Gasdurchtrittsverluste, verbesserte mechanische Laufruhe und geringeren Verschleiß.

Vielleicht interessiert noch ein Hinweis auf die Gewichtersparnis: Das Gewicht des Graugußzylinders in einbaufertigem Zustand ohne Kolben beträgt 9,8 kg, das des Leichtmetallzylinders 4,25 kg, also noch nicht einmal die Hälfte.

Wir sind bei den bisherigen vergleichenden Betrachtungen von der Annahme ausgegangen, daß die Leistung der beiden miteinander verglichenen Motoren gleich ist. Tatsächlich wurde die Leistung der BDG 250 S gegenüber der BDG 250 ganz erheblich gesteigert. Das Schaubild, dessen Werte vom Werk gemessen wurden,

zeigt für die BDG 250 eine Spitzenleistung von 10,6 PS, bei 3600 U/min, für die BDG 250 S eine Spitzenleistung von 12,3 PS bei 4200 U/min. Der spezifische Brennstoffvollastverbrauch konnte vor allem im unteren Drehzahlbereich beachtlich gesenkt werden. Versuche, die ich im Rahmen der VFM-Typwertung auf dem Prüfstand von Triumph durchgeführt habe, ergaben für den Motor mit Leichtmetallzylinder noch etwas günstigere Werte, denn ich bremsen eine Spitzenleistung von 12,5 PS schon bei einer Drehzahl von 3990 U/min nach 15 Minuten Vollgaslauf. Es ist nicht so, daß diese Leistungssteigerung etwa nur durch den Leichtmetallzylinder erzielt worden ist, sondern die BDG 250 S arbeitet mit höherem Vorverdichtungsverhältnis, größerem Vergaserquerschnitt und auch leicht veränderten Steuerzeiten. Entscheidend ist, daß der Motor diese höhere Leistung klaglos über beliebig lange Strecken durchhält und daß der Straßenverbrauch, wie ein Vergleich der beiden Verbrauchskurven eindeutig zeigt, trotz der höheren Leistung noch erheblich verbessert werden konnte. Das Verdichtungsverhältnis ist bei beiden Motoren mit einem Verdichtungsraum von 48 ccm gleich gehalten. Die geringere Vorzündung des Motors mit Leichtmetallzylinder von 8 mm vor o. T. gegenüber 10 mm vor o. T. ist vermutlich auf den besseren Spülwirkungsgrad infolge der veränderten Steuerzeiten zurückzuführen. Die Braunschweiger Versuche werden darüber hinaus mit exakten Zahlen die praktische Erfahrung bestätigen, daß der Motor mit Leichtmetallzylinder an langen Steigungen, wo höchste Leistung mit verminderter Kühlluftgeschwindigkeit zusammenfallen, dem Graugußzylinder in seinem

thermischen Stehvermögen klar überlegen ist.

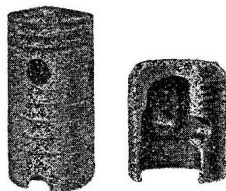
Während ich die BDG 250 im November sitzend mit 94,0 und langliegend mit 104,6 km/h stoppte, erreichte die BDG 250 S im März aufrecht sitzend 106,5 und langliegend 113,5 km/h. Erstaunlich ist die Spitze des Gespannes mit dem leichten Steib-Seitenwagen: Ohne Windschutzscheibe und mit einem allerdings sehr klein gemachten, stark geduckt sitzenden Passagier kam die BDG 250 S auf 88,3 km/h, während die BDG 250 82,0 km/h erreichte! Durch den neuen Leichtmetallzylinder hat die Triumph BDG 250 S wieder jenen Abstand zu den in den letzten Jahren bedrohlich aufgerückten Einkolbenweitakttern gewonnen, der den höheren baulichen Aufwand des Doppelkolbenmotors rechtfertigt, denn der Motor erreicht die Spitze der besten vergleichbaren Einkolbenweitakter bei einer um rund 1000 U/min niederen Drehzahl, und jede neue Versuchsfahrt bestätigt eben immer wieder den prächtigen Rundlauf des Motors bei niedrigen Drehzahlen und das enorme Drehmoment.

Etwa zur gleichen Zeit entstand auch für die kleinere Schwester der BDG 250, für die BDG 125 ein Leichtmetallzylinder mit hartverchromter Lauffläche, der von Triumph in Zusammenarbeit mit Karl Schmidt in Neckarsulm entwickelt wurde. Die mit dieser Umstellung erzielten Ergebnisse decken sich weitgehend mit den an der BDG 250 S gewonnenen Erkenntnissen.

Die Einführung des Leichtmetallzylinders mit hartverchromter Laufbahn in den Serienbau ist eine technische Pionierleistung ersten Ranges, deren Auswirkung auf die gesamte Entwicklung noch nicht abzusehen ist.

Meilensteine im Motorenbau!

1921



Die ersten seriengefertigten gegossenen und geschmiedeten Leichtmetallkolben auf dem Kontinent

Schon vor über 30 Jahren hat MAHLE den herkömmlichen Graugußkolben durch den Leichtmetallkolben abgelöst und in pionierhafter Entwicklungsarbeit eine Fülle erfolgreicher Bauarten geschaffen. 50 Millionen MAHLE-Kolben wurden seither für alle Arten von Verbrennungsmotoren in bewährten Speziallegierungen für Zwei- und Viertakter gebaut!

1927



Die ersten Zweimetallkolben mit dehnungshemmenden Stahleinlagen in Deutschland

Seit 25 Jahren ist der Zweimetallkolben mit Stahleinlagen zur Regulierung der Wärmeausdehnung eine MAHLE-Spezialität: in Invarstreifen-, Autothermik- und Vollschaft-Autothermik-Bauart der lauffähigste Hochleistungskolben von großer Gestaltfestigkeit für hochwertige Zwei- und Viertaktmotoren!

1931



Die ersten seriengefertigten Ringträgerkolben mit starrer Ringverankerung

Schon vor über 20 Jahren hat MAHLE den Ringträgerkolben mit eisenarmerter Ringzone im Serienbau eingeführt und damit auch bei besonderer Verschleißgefährdung längste Laufzeiten erzielt.

1951



Die ersten serienmäßigen Aluminium-Chrom-Zylinder der Welt im Fahrzeugbau

Wieder eine kühne MAHLE-Tat: Leichtmetall-Zylinder mit verchromter Lauffläche zeichnen sich durch niedrige Betriebstemperatur, hohen Wirkungsgrad, geringes Kolbeneinbauspil, Laufruhe und Verschleißsicherheit aus und haben sich bereits in Serien- und Rennfahrzeugen ausgezeichnet bewährt.