

**Deutsche Kraftfahrtforschung**  
im Auftrag des Reichs-Verkehrsministeriums

---

**Heft 62**

99

# **Aufladevorgang von Viertaktdieselmotoren**

**Der Spülvorgang**

**Dipl.-Ing. Wilhelm Riedel**  
Institut für Verbrennungsmotoren  
an der Technischen Hochschule Graz  
(Leiter: Prof. Dr.-Ing. H. List)

**1941**

A-30

001056

Deutsche Kraftfahrtforschung  
im Auftrag des Reichs-Verkehrsministeriums

Heft 62

# Aufladevorgang von Viertaktdieselmotoren

Der Spülvorgang

Dipl.-Ing. Wilhelm Riedel

Institut für Verbrennungsmotoren  
an der Technischen Hochschule Graz  
(Leiter: Prof. Dr.-Ing. H. List)

Bibliothek  
der

Rheinische Allianzgesellschaft  
Oberhausen-Holten

Eingetragen unter  
Nr. 8838 208

1941

VDI-Verlag GmbH · Berlin NW 7

Alle Rechte vorbehalten • Copyright 1941 by VDI-Verlag GmbH, Berlin NW 7  
Printed in Germany • Druck: August Hopfer, Burg Bez. Magdeburg  
DW 898

## Inhaltsverzeichnis

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| I. Zweck und Ziel der Untersuchung.....                               | 1  |
| II. Anordnung und Durchführung der Versuche .....                     | 1  |
| a) Die Modellversuchseinrichtung.....                                 | 1  |
| b) Bauliche Ausführung .....                                          | 4  |
| c) Spülluftbehälter und Messung der Spülluftmenge .....               | 4  |
| d) Gaserzeugung und -absorption .....                                 | 5  |
| e) Durchführung der Spülversuche .....                                | 5  |
| f) Auswertung der Meßergebnisse .....                                 | 5  |
| III. Versuchsergebnisse .....                                         | 6  |
| a) Versuche mit einem Zylinderdeckel mit Kanälen in einer Ebene ..... | 6  |
| b) Versuche mit einem Zylinderdeckel mit verdrehbaren Kanälen .....   | 9  |
| IV. Zusammenfassung .....                                             | 10 |
| V. Schrifttumsverzeichnis .....                                       | 11 |

## I. Zweck und Ziel der Untersuchung

Die bisher veröffentlichten Untersuchungen an Auflademaschinen geben die Zusammenhänge zwischen dem Ladungszustand (Ladungsdruck) vor dem Motor und den Erfolgsgrößen, Mitteldruck und Brennstoffverbrauch. Eine Zergliederung des Aufladevorganges ist nur insoweit durchgeführt, als z. B. F. A. F. Schmidt [1]<sup>1)</sup> die zugeführte Gesamtluftmenge in Spülluft und Verbrennungsluft teilt.

Beim Auflademotor, der durch Überschneidung der Steuerzeiten eine Spülung des Verbrennungsraumes zum Zweck besserer Füllung und damit Leistungssteigerung gestattet, ist nach der oben angeführten Aufteilung der Ansatz zu einer Gliederung des Aufladevorganges in Spülung und Füllung naheliegend.

Während der Spülung stehen Einlaß- und Auslaßventil offen. Der Verbrennungsraum wird durch die unter Überdruck eintretende Ladung gespült. Nach dem-Schließen des Auslaßventiles strömt die Ladung während der Füllung infolge Überdrucks und Kolbenbewegung in den Zylinder. Die zweckmäßigste Durchführung jedes der beiden Vorgänge setzt ihre getrennte Untersuchung voraus.

Infolge anderer dringender Arbeiten wurde nicht, wie ursprünglich geplant, der gesamte Ladevorgang, also Spülung und Füllung, sondern nur der Spülvorgang untersucht<sup>2)</sup>.

### Spülung

Der Zweck der Spülung ist, die von der vorhergegangenen Verbrennung zurückgebliebenen Abgasreste aus dem Verbrennungsraum möglichst vollständig zu verdrängen und sie durch frische Ladung zu ersetzen. Dabei kommt es nun darauf an, mit einer möglichst geringen Spülmittelmenge auszukommen; denn bei raschlaufenden Maschinen ist die für die Spülung vorhandene Zeit sehr klein (entsprechend etwa 120° KW.) und damit die mit erträglichen Überdrücken einbringbare Spülmittelmenge beschränkt. Bei Ottomotoren mit äußerer Gemischbildung ist es auch eine wirtschaftliche Notwendigkeit; denn die Spülung erfolgt hierbei mit einem Kraftstoff-Luft-Gemisch, und jede mögliche Spülmittelersparnis setzt den Kraftstoffverbrauch herunter.

Die zur Untersuchung des Spülvorganges zur Verfügung stehenden Mittel sind der Modellversuch, das Sichtbarmachen des Spülstromes im Zylinder und Messungen an der laufenden Maschine.

## II. Anordnung und Durchführung der Versuche

Um auf einfache Weise den Einfluß von Veränderungen an Verbrennungsraum und Einstromorganen auf den Spülerfolg erfassen zu können, wurden Modellversuche angestellt.

### a) Die Modellversuchseinrichtung

Zur Durchführung der Modellversuche wurde eine Einrichtung verwendet, die in Anlehnung an eine Versuchseinrichtung von List [3] entwickelt wurde (Gesamtansicht Bild 1a und Schema Bild 1b). Diese Einrichtung ermöglicht es, mittels Durchspülen eines mit CO<sub>2</sub> gefüllten Zylindermodells den Spülerfolg im Zusammenhang mit der durchgeströmten Luftmenge zu ermitteln.

Es ist vorauszusetzen, daß die am Modell gewonnenen Versuchsergebnisse keine Absolutwerte für die den Spülerfolg bestimmenden Größen sind. Absolutwerte sind nur durch genaue Messungen an der laufenden Maschine zu ermitteln. Die Ursache dafür liegt in folgenden Vereinfachungen, die bei den Modellversuchen getroffen werden mußten:

Vernachlässigung der Kolbenbewegung und damit der Bewegung des Abgases in Richtung des Auslaßventils. Infolge der Kolbenbewegung ist nahe dem oberen Totpunkt der auszusplügende Raum kleiner als zu Beginn und am Ende der Spülung. Ein Ausgleich erfolgt, wie später genauer begründet wird, durch die Annahme eines zeitlich mittleren Raumes.

<sup>1)</sup> Die Zahlen in eckigen Klammern beziehen sich auf das Schrifttumsverzeichnis am Ende der Arbeit.

<sup>2)</sup> An dieser Stelle danke ich dem Herrn Reichsverkehrsminister, der die Versuche durch Bereitstellung von Mitteln unterstützte, und Herrn Prof. Dr.-Ing. H. List für die Anregungen und das Interesse, das er diesen Untersuchungen zuteil werden ließ.

Weiter ist es auch nicht möglich, die Ventilerhebungskurven der Maschine im Modell genau zu verwirklichen. Wie die Versuche zeigten, ist dieser Einfluß sehr gering.

Ferner hat die das Abgas darstellende  $\text{CO}_2$ -Füllung eine andere Dichte als das Abgas der Maschine; damit haben auch die Gas-Spülluftströme verschiedene Zähigkeiten.

Von diesen im Modell nicht berücksichtigten Einflüssen ist man jedoch berechtigt anzunehmen, daß sie bei allen zu den Versuchen verwendeten Anordnungen der Einströmorgane im gleichen Sinn wirksam sind und daß daher die Ergebnisse der Messungen gute Vergleichswerte der verschiedenen Spülsysteme ergeben, wie Ergebnisse von Zweitaktspüluntersuchungen gezeigt haben [2].

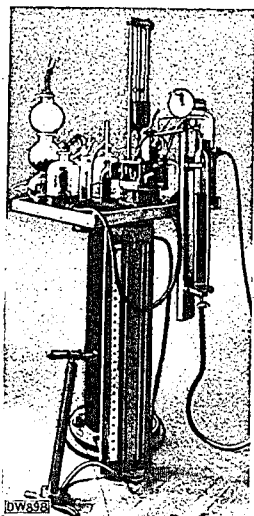


Bild 1a.  
Gesamtansicht.

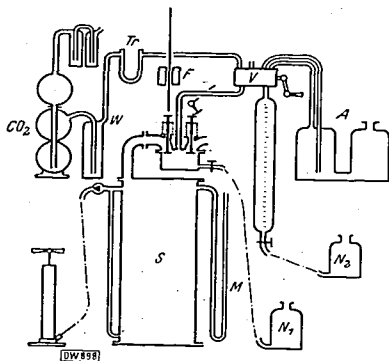


Bild 1b. Schema.

S Spülluftbehälter; M Manometerrohr;  $\text{CO}_2$  Kohlensäureentwicklungsapparat; W Waschflasche; T Trockenvorlage; V Ventillöcher; A Absorptionsgefäß;  $\text{N}_1$ ,  $\text{N}_2$  Niveaugefäße; F Fallgewicht.

Bild 1. Versuchseinrichtung.

Für den Entwurf des Modellversuchsstandes waren folgende Überlegungen maßgebend:

Um den Spülvorgang im Modell möglichst an den Vorgang in der laufenden Maschine anzugleichen, um also Vergleiche mit Messungen an dieser machen zu können, wurden die den Zylinderraum bestimmenden Größen übereinstimmend mit den Abmessungen der zum Sichtbarmachen der Strömung entworfenen Spülmachine bzw. einer vorhandenen Einzylinder Versuchsmachine gewählt (120 mm Bohrung, 150 mm Hub).

Der Veränderlichkeit des Zylinderraumes durch die Kolbenbewegung wurde durch die Ausführung eines während des Spülvorganges zeitlich mittleren Volums  $V_m$  Rechnung getragen (Bild 2).

Den Modellversuchen liegt die Annahme eines Verdichtungsverhältnisses 1:6 zugrunde.

Die Nachbildung der an der laufenden Maschine vorhandenen Ventilerhebungsgesetze wurde folgendermaßen gelöst: Angenommen wurde der Öffnungsbeginn des Einlaßventiles mit  $60^\circ$  vor o. T., Schluß des Auslaßventiles  $60^\circ$  nach o. T. Die Dauer des Spülvorganges erstreckt sich also über 120 Kurbelgrade. Unter Zugrundelegung einer üblichen Nockenform mit tangentialem Anlauf ergeben sich die Ventilerhebungskurven der nachzubildenden Viertaktmaschine (Bild 3). Die Fläche unter dem stark ausgezogenen Teil dieser sich schneidenden Kurven ist das Produkt aus Zeit ( $^\circ$  KW) und Ventilhub, Zeitquerschnitt.

Der Öffnungsquerschnitt des Ventiles ist proportional dem Ventilhub, daher ist die Fläche dem im Modell zu verwirklichenden Zeitquerschnitt proportional. Das Auslaßventil des Modells erhält einen über die Dauer der Spülung gleichbleibenden Hub. Der Zeitquerschnitt ist daher eine Rechteckfläche; wird diese gleich dem geforderten Zeitquerschnitt, dann ist die Höhe des Rechteckes der auszuführende Ventilhub.

Bei dem durch ein Fallgewicht aufgeschlagenen Einlaßventil ist das Erhebungsgesetz ein Stück (120°) einer Sinuslinie. Sinngemäß ist bei Flächengleichheit ihre Höhe der größte Ventilhübs  $h_E$  des Einlaßventiles des Modells. Diese Sinuslinie gibt auch den Zusammenhang zwischen Auslenkung (Ventilhübs) und Zeit des eine harmonische Schwingung ausführenden Systems aus Ventil, Ventilefeder und Fallgewicht. Ausgelöst wird diese Schwingung durch ein Fallgewicht, das aus der Höhe  $H$  auf das federbelastete Ventil fällt. Nach dem unelastischen Stoß, der durch eine Lederheilage zwischen Ventil und Fallgewicht erzielt wird, haben beide Teile die Geschwindigkeit

$$v_s = \frac{G + 2Gv}{G + Gv},$$

wobei  $G$  das Gewicht des Fallgewichtes,  $H$  die Fallhöhe und  $Gv$  das Gewicht des Ventiles samt Zubehör ist.

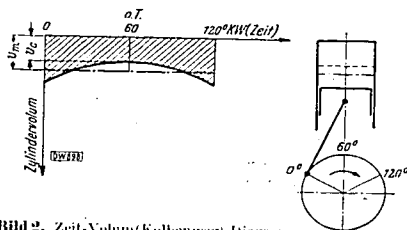


Bild 2. Zeit-Volum (Kolbenweg)-Diagramm.

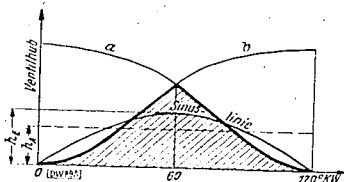


Bild 3. Ventilhubkurve des Auslaßventils (a) und des Einlaßventils (b).

Die schraffierte Fläche stellt den „Zeitquerschnitt“ dar.  
 $h_E$  Ventilhübs des Einlaßventils des Modells,  
 $h_A$  Ventilhübs des Auslaßventils.

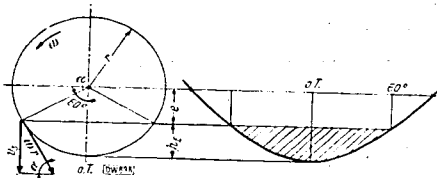


Bild 4. Zusammenhang zwischen Ventilhubgeschwindigkeit (Geschw. nach dem Stoß)  $v_s$ , Ventilhübs  $h_E$  und Kreisfrequenz  $\omega$ .

Die Schwingung kann man sich auch durch die Abbildung eines mit der Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  auf einer Kreisbahn umlaufenden Punktes auf den Durchmesser entstanden denken. Die Winkelgeschwindigkeit entspricht der Kurbelwellendrehzahl  $n$  der nachzubildenden Viertaktmaschine. Das gleiche  $\omega$  ist aber auch die Kreisfrequenz des schwingungsfähigen Systems Ventil, Feder, Fallgewicht. Zwischen den Größen  $v_s$ ,  $h_E$  und  $\omega$  besteht der aus Bild 4 zu ersiehende Zusammenhang.

Da vom Ventil nur der Teil der Schwingung zwischen  $-60^\circ$ , o. T. und  $+60^\circ$  ausgeführt werden muß, ist eine Federvorspannung nötig, die die Schlußlage des Ventils aus der Mittellage der Schwingung verschiebt.

Für  $\alpha = 60^\circ$  wird  $h_E = c$  ( $c$  = Federvorspannung in mm =  $\frac{f \text{ kg}}{c \text{ kg/mm}}$ ,  $c$  = Federkonstante) und damit  $r = 2 h_E$ . Aus der angenommenen Maschinendrehzahl  $n$  ergibt sich  $\omega = \pi n / 30$ ; die Geschwindigkeit des mit dem Radius  $r$  umlaufenden Punktes ist also  $\omega r$ .

Aus der geometrischen Beziehung  $v_s = \omega r \sin \alpha$  ergibt sich die notwendige Geschwindigkeit des Ventiles nach dem Stoß. Aus den Beziehungen

$$v_s = \frac{G + 2gH}{G + Gv} \quad \text{und} \quad \omega = \sqrt{\frac{c \cdot g}{G + Gv}},$$

bei bekanntem Gewicht  $Gv$  des Ventiles und einem angenommenen Fallgewicht  $G$  kann die Fallhöhe  $H$  und die Federkonstante  $c$  ermittelt werden.

Für die Drehzahlen 1500, 2000, 2500 U/min wurden Federn und Fallhöhen bestimmt.

## b) Bauliche Ausführung

Für die Ausführung des Versuchsstandes waren leichte Bedienbarkeit (wegen der großen Zahl der Versuche) und einfache Veränderlichkeit der Versuchsbedingungen maßgebend.

Das Modell besteht aus einem kurzen Zylinder, auf den verschiedene Zylinderdeckel aufgeschraubt werden können. Der Zylinder kann durch Einlegen von scheibenförmigen Holzeinlagen in seiner Größe verändert werden. Als Zylinderdeckel wurde ein vorhandener Deckel einer Einzylinder-versuchsmaschine verwendet. Mit ihm wurden auch die Versuche mit Schirmventil durchgeführt. Der Schirm war 12 mm hoch und wurde an den Ventilteller angeschraubt.

Um den Einfluß der Verdrehung der Kanäle auf den Spülerfolg festzustellen, wurde ein Deckel mit verdrehbaren Kanälen angefertigt. Um leichteres Dichten des Ventiles zu erreichen, wurden Kanal, Ventilsitz und Führung aus einem Stück gemacht. Mit einer Platte werden die Kanäle unter Zwischenlage einer Dichtung auf dem eigentlichen Deckel aufgespannt. Bei beiden Zylinderdeckeln wurde durch einen über Einlaß-Ventilführung und Schaft geschobenen Gummischlauch eine gute Abdichtung geschaffen und ein Entweichen der Spülluft vermieden. Die Hauptmaße der

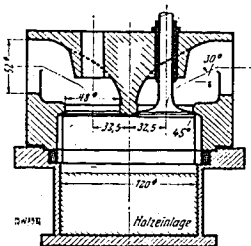


Bild 5. Modellzylinder mit Deckel.

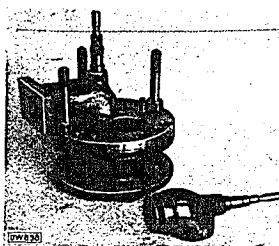


Bild 7. Ansicht des Zylinderdeckels mit verdrehbaren Kanälen.

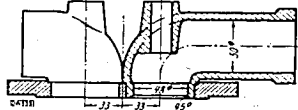


Bild 6. Zylinderdeckel mit verdrehbaren Kanälen.

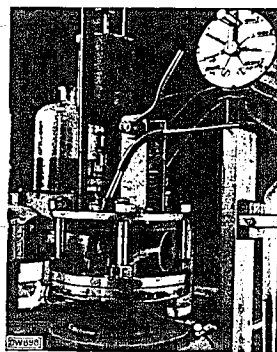


Bild 8. Teilansicht der Versuchseinrichtung.

beiden Deckel zeigt Bild 5 und 6. Der Deckel mit verdrehbaren Kanälen ist in der Gesamtansicht Bild 1 und in Bild 7, 8 zu erkennen. Das Modell wird über einen Krümmer an den Spülluftbehälter angeschlossen.

Die Spülluft tritt nun durch das vom Fallgewicht aufgeschlagene Einlaßventil in den Zylinder. Das Fallgewicht gleitet auf einer Führung. Ein verstellbarer Anschlag erlaubt es, das Fallgewicht nur bis zu einer vorher eingestellten Höhe zu heben.

Die Feder des Einlaßventiles wird durch eine Schraube mit mm-Teilung auf die gewünschte Vorspannung gebracht. Diese Vorrichtung ist in Bild 8 zu erkennen. Das Auslaßventil kann mit einem Griff durch einen einrastenden Hebel auf den notwendigen Hub geöffnet werden.

## c) Spülluftbehälter und Messung der Spülluftmenge

Die Spülluft wird einem Behälter entnommen, in dem der erforderliche Druck durch eine Handpumpe hergestellt wird. Die zur Ermittlung der Spülluftmenge nötige Messung des Druckabfalles im Behälter erfolgt an einem U-Rohr.

Um bei kleinen Spülluftmengen einen gut ablesbaren Druckabfall zu erzielen, besteht die Möglichkeit, einen Teil des Behälters mit Wasser zu füllen. Der verbleibende Luftinhalt kann an einem mit einer Literrteilung versehenen Wasserstandsrohr abgelesen werden.

## d) Gaserzeugung und -absorption

Das zur Füllung des Modells notwendige  $\text{CO}_2$  wird in einem Kippchen Apparat erzeugt und gelangt durch eine Waschflasche und eine zur Trocknung dienende Kalziumchloridvorlage zum Ventilblock und von dort zum Modell.

Das Absorptionsgefäß besteht aus zwei miteinander verbundenen Flaschen mit Kalilauge. Das nach der Spülung aus dem Zylinder entnommene  $\text{CO}_2$ -Luftgemisch perlt nach der Volumenmessung in einer Bürette durch ein bis an den Boden der einen Flasche reichendes Rohr durch die Lauge. Die übrige Luft verdrängt einen Teil der Lauge in die zweite Flasche. Bei einmaligem Durchperlen wird  $\text{CO}_2$  bereits vollständig absorbiert. Die nun über der Lauge stehende Luft wird wieder in die Bürette gesaugt und gemessen, dabei steigt die Lauge in der ersten Flasche wieder bis zu einer Marke im Flaschenhals.

Modell, Gasentwickler, Bürette und Absorptionsgefäß stehen miteinander durch einen Ventilblock in Verbindung, der alle Verbindungsbohrungen enthält. Eine durch eine Schaltwalze angeordnete Gummihaut verschließt alle Bohrungen bis auf die jeweils notwendige Verbindung. Durch Drehen der Schaltwalze werden diese Verbindungen in der richtigen Reihenfolge hergestellt.

Bild 9 zeigt einen Schnitt durch eines der sechs Ventile des Blockes.

## e) Durchführung der Spülversuche

Der Spülluftbehälter wird auf den nötigen Spüldruck aufgepumpt. Durch ein mit Rohöl gefülltes Niveaugefäß wird  $\text{CO}_2$  in das Modell gesaugt. Währenddessen hat die Spülluft sich auf Raumtemperatur abgekühlt, und ihr Druck kann am Manometerrohr abgelesen werden.

Das Auslaßventil wird angehoben, und kurz darauf schlägt das Fallgewicht das Einlaßventil auf; dann wird das Auslaßventil geschlossen und das im Modell befindliche Gasgemisch mittels Niveaugefäß mit Salzwasserfüllung in eine Bürette geleitet und dann durch die Absorptionsflüssigkeit gedrückt. Währenddessen wird der Druck im Behälter wieder abgelesen, da zu diesem Zeitpunkt die Behälterluft sich wieder auf Raumtemperatur erwärmt hat.

Die nach der Absorption verbleibende Luftmenge wird in der Bürette gemessen und dann ausgeschoben.

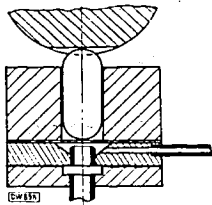


Bild 9. Schnitt durch eines der sechs Ventile des Ventilblocks.

## f) Auswertung der Meßergebnisse

Die jeweiligen Volume Luft + Restgas, und nach der Absorption die Luft allein erhält man — da die Bürette 1100  $\text{cm}^3$  Inhalt hat — durch Subtraktion der Bürettenablesungen vom Wert 1100  $\text{cm}^3$ .

Die in den Zylinder eingeströmte Spülluftmenge ergibt sich aus den Beziehungen:

$$\begin{aligned} p_1 V_1 &= G_1 RT \\ p_2 V_2 &= G_2 RT \\ (p_1 - p_2) V_s &= (G_1 - G_2) RT \\ (G_1 - G_2) RT &= 1 \text{ at} \cdot L_e \\ L_e &= \frac{(p_1 - p_2)}{1 \text{ at}} V_s \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= \text{Behältervolum} \\ p_1, p_2 &= \text{Druck vor bzw. nach der Spülung} \\ L_e &= \text{eingeströmtes Spülluftvolum auf Außendruck entspannt.} \end{aligned}$$

Die Ergebnisse der Spülversuche wurden in Form der „Spülkurve“ aufgetragen. Sie gibt anschaulich den Zusammenhang zwischen dem im Zylinder verbleibenden Luftvolum und der verdrängenden eingeströmten Luftmenge.

Das im Zylinder verbleibende Luftvolum  $L_2$  wird im Verhältnis zum Zylindervolum  $V_2$  als Spülvirkungsgrad

$$\eta_s = \frac{L_2}{L_2 + R_2} \cdot 100 \quad [\%]$$

als Ordinate aufgetragen. Aus praktischen Gründen wurde statt des gleichbleibenden  $V_2$  die jeweils aus dem Zylinder entnommene Summe aus  $L_2 + R_2$ , verbliebene Luft + Rest der ursprünglichen  $\text{CO}_2$ -Füllung, in Rechnung gesetzt. Dieses Volum weicht manchmal vom Zylindervolum ab, da durch kleine Undichtheiten des Auslaßventils ein Teil des Gasgemisches entweichen konnte oder etwas Luft beim Überführen des Gemisches in die Bürette eingesaugt wurde. Im letzteren Falle wurde die eingesaugte Frischluftmenge abgezogen, also  $V_2$  zur weiteren Auswertung verwendet.

Der Gasverlust bzw. die angesaugte Luft betragen bis zu  $5 \text{ cm}^3$ , also etwa  $1\%$  des Zylindervolums. Sie beeinflussen jedoch den Spülwirkungsgrad nicht, da ja die jeweiligen Gasanteile des Gemisches genau erfaßt werden können.

Als Abszisse wurde das Verhältnis  $L = L_c/V_z$  aufgetragen.  $L = 100\%$  heißt also, daß ein dem Zylindervolum gleiches Volum Spülluft eingeströmt ist. Unter Zylindervolum ist in obigen Zusammenhängen nicht  $V_k + V_c$ , sondern das früher erwähnte zeitliche mittlere Volum während der Spülung zu verstehen.

### III. Versuchsergebnisse

Wie bereits früher erwähnt, wurden Modelle mit einem Zylinderdeckel üblicher Bauart, Kanäle in einer Ebene (Bild 5) und solche mit einem Deckel mit verdrehbaren Kanälen untersucht (Bild 6).

#### a) Versuche mit einem Zylinderdeckel mit Kanälen in einer Ebene

##### 1. Untersuchungen bei veränderlichem Spüldruck.

Durch abgestimmte Federn, Fallgewichte und Höhen wurden Öffnungsgesetze erzielt, die den Drehzahlen 1500, 2000, 2500 U/min entsprechen. Die Veränderung der einströmenden Luftmenge wurde durch Ändern des Spüldruckes erreicht. Die Ergebnisse sind in den Bildern 10 bis 12 festgelegt. Die Spülkurven (stark ausgezogen) für die Drehzahlen 1500 und 2000 verlaufen ungefähr gleich, für 2500 liegt die Spülkurve etwas tiefer (also bei gleichem Luftaufwand geringerer Spülerfolg). In diesen Kurven ist auch der Verlauf des Spüldruckes (Anfangsdruck) eingezeichnet.

Der Zusammenhang zwischen dem durch diese Luftmenge erreichten Spülerfolg und dem Spüldruck ist in Bild 13 dargestellt. Für gleichen Spülerfolg sind bei höheren Drehzahlen größere Drücke nötig, da ja bei kürzerer Öffnungsdauer des Ventiles ein größerer Druck erforderlich ist, um die gleiche Spülluftmenge durchzuleiten.

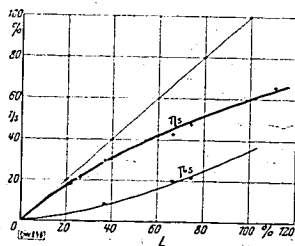


Bild 10.  $n = 1500 \text{ U/min}$

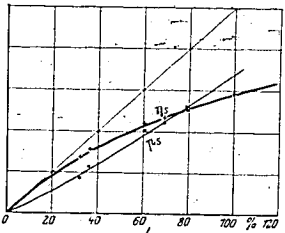


Bild 11.  $n = 2000 \text{ U/min}$

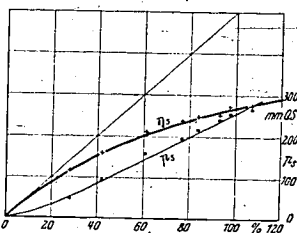


Bild 12.  $n = 2500 \text{ U/min}$

Bild 10 bis 12. Spülwirkungsgrad  $\eta_s$  und Spüldruck  $p_s$  in Abhängigkeit vom Luftaufwand  $L$ .

Zylinderdeckel mit Kanälen in einer Ebene (Bild 5). Spüldruck veränderlich.

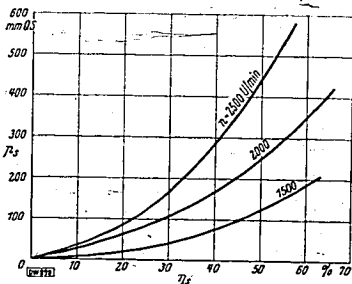


Bild 13. Zusammenhang zwischen Spülwirkungsgrad  $\eta_s$  und Spüldruck  $p_s$  bei den Versuchen mit dem Zylinderdeckel mit Kanälen in einer Ebene (Bild 5).

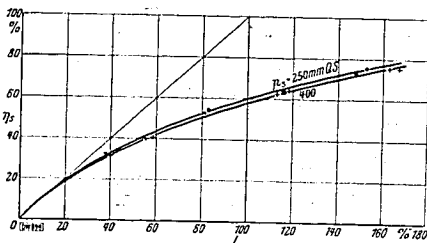


Bild 14. Spülwirkungsgrad  $\eta_s$  in Abhängigkeit vom Luftaufwand  $L$ .

Spüldruck annähernd gleichbleibend, Ventilöffnungsdauer veränderlich, Ventil ohne Schirm, Zylinderdeckel nach Bild 5.

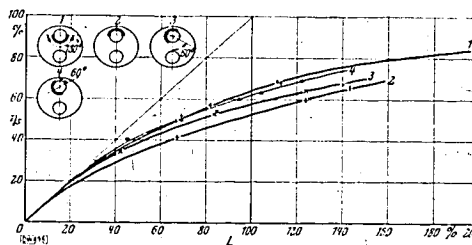


Bild 15. Spüldruck 250 mm QS

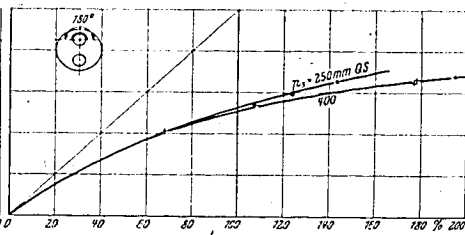


Bild 16. Stellung 2 gemäß Bild 15, Spüldruck 250 und 400 mm QS

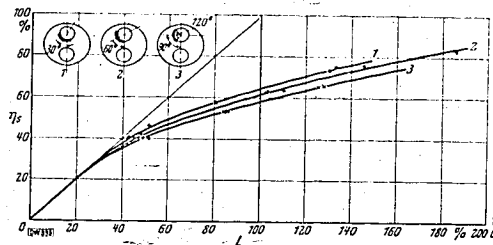


Bild 17. Spüldruck 250 mm QS

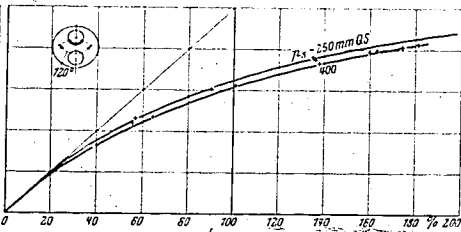


Bild 18. Stellung 0° gemäß Bild 17, Spüldruck 250 und 400 mm QS

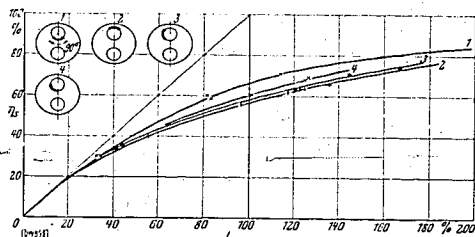


Bild 19. Spüldruck 250 mm QS

Bild 15 und 16. Einfluß des 180°-Schirmventils auf die Abhängigkeit des Spülwirkungsgrades  $\eta_{sp}$  vom Luftaufwand  $L$  bei verschiedenen Stellungen des Schirmventils.

Bild 17 und 18. Einfluß des 120°-Schirmventils auf die Abhängigkeit des Spülwirkungsgrades  $\eta_{sp}$  vom Luftaufwand  $L$  bei verschiedenen Stellungen des Schirmventils.

Bild 19. Einfluß des 90°-Schirmventils auf die Abhängigkeit des Spülwirkungsgrades  $\eta_{sp}$  vom Luftaufwand  $L$  bei verschiedenen Stellungen des Schirmventils.

Es wurde festgestellt, daß die Form der Erhebungskurve von geringem Einfluß auf den Spülvorgang ist. Bei einmaligem Aufschlagen des Ventiles mit schwächer gespannter Ventillfeder sowie bei zweimaligem Aufschlagen mit stärker gespannter Ventillfeder wurden Punkte ermittelt, die innerhalb der üblichen kleinen Streuung zu einer Kurve gehörig angenommen werden konnten. Damit ist auch der geringe Einfluß der Drehzahl auf den Spülvwirkungsgrad erklärt.

Auch bei Zweitaktspülversuchen wurden ähnliche Verhältnisse gefunden.

Diese Erkenntnisse rechtfertigen, bei den folgenden Versuchsreihen von der Abhängigkeit von den Drehzahlen abzugehen und die Kurven bei annähernd konstantem Spüldruck aufzunehmen; dabei wurde die durchströmende Luftmenge durch Änderung des Ventillhubes und der Öffnungszeit verändert.

2. Untersuchungen bei annähernd gleichbleibendem Spüldruck und veränderlicher Ventilöffnungszeit.

Aufgenommen wurden die Spülkurven bei 250 und 400 mm QS, Bild 14. Wie zu erwarten war, stimmen die Spülkurven, die auf obige Art gewonnen wurden, mit den Spülkurven für die Drehzahlen 1500 und 2000 gut überein. Bei 400 mm QS liegt die Spülkurve etwas tiefer als bei 250 mm Spüldruck.

### 3. Untersuchung des Einflusses eines Schirmventiles.

a) Schirmwinkel  $180^\circ$ . Bei dieser Untersuchung ergaben sich die in Bild 15 wiedergegebenen Spülkurven. Bei Drehung des Schirmventils zeigt sich, daß die Stellungen 2 und 3 einen schlechteren, die Stellungen 1 und 4 einen besseren Spülerfolg als derselbe Deckel mit Ventil ohne Schirm ergaben. Die Ergebnisse wurden bei einem Spüldruck von 250 mm QS erzielt.

Das Verhalten dieser Anordnung bei Änderung des Spüldruckes zeigen die Spülkurven in Bild 16. Diese wurden bei 250 und 400 mm QS aufgenommen.

β) Schirmwinkel  $120^\circ$ . Die mit einem auf  $120^\circ$  abgekürzten Schirm erzielten Ergebnisse sind in den Spülkurven in Bild 17 wiedergegeben.

Es zeigt sich, daß die Kurven für Stellung 1 und 2 höher, die für Stellung 3 tiefer liegen als die bei einem Ventil ohne Schirm gefundene Spülkurve.

Das Verhalten beim Ändern des Spüldruckes ist aus Bild 18 zu ersehen.

γ) Schirmwinkel  $90^\circ$ . Bei weiterer Abkürzung des Ventilschirmes auf  $90^\circ$  kommt man zu im wesentlichen ähnlichen Ergebnissen. Es liegt lediglich die der Stellung 1 entsprechende Spülkurve höher als bei dem Versuch ohne Schirm (Bild 19).

Zusammenfassend ist festzustellen, daß durch ein Schirmventil eine Verbesserung der Spülung erzielt werden kann. Der Schirmwinkel ist dabei von untergeordneter Bedeutung, denn sowohl mit  $180^\circ$  als auch mit  $90^\circ$  Schirmwinkel wurden Spülkurven ermittelt, die in ihrem allgemeinen Verlauf annähernd gleich sind.

Von größter Bedeutung dagegen ist die Stellung des Schirmes. In allen Fällen hat sich ergeben, daß eine bestimmte Stellung am günstigsten ist. Die anderen Stellungen ergaben, wie bereits besprochen, teils gleiche, teils schlechtere Ergebnisse als ohne Schirm. Dies dürfte auf die Begünstigung der Ausbildung einer Kurzschlußströmung von Ventil zu Ventil bei manchen Schirmstellungen liegen.

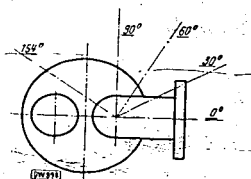


Bild 20. Kennzeichnung der verschiedenen Verdrehungen des Einlaßkanals.

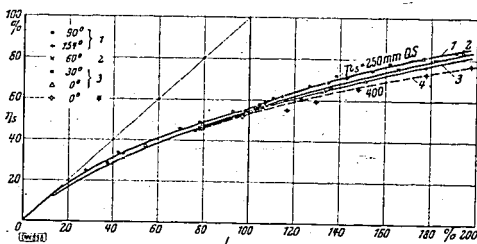


Bild 21. Abhängigkeit des Spülwirkungsgrades  $\eta_s$  vom Luftaufwand  $L$  bei Verdrehen des Einlaßkanals gemäß Bild 20.

Einlaßkanalstellungen:  $90^\circ$ ,  $154^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $0^\circ$ .

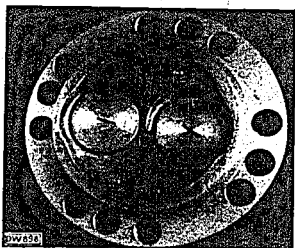


Bild 22. Ansicht der Deckel-Abschirmung Form 1.

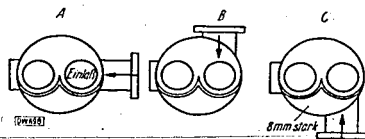
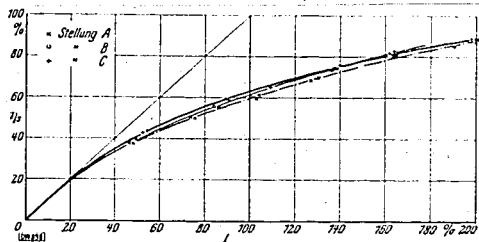
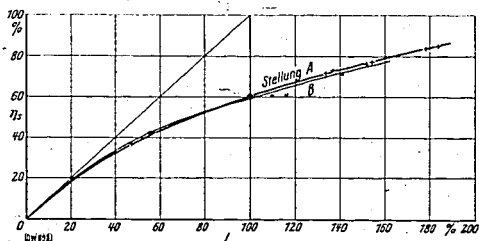


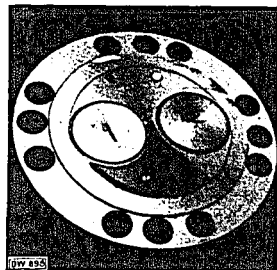
Bild 23. Verschiedene Stellungen des Einlaßkanals zur Deckel-Abschirmung Form 1.



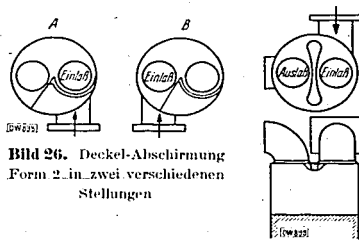
**Bild 24.** Abhängigkeit des Spülvirkungsgrades  $\eta_{sp}$  vom Luftaufwand  $L$  für die Stellungen des Einlaßkanals gemäß Bild 23 (Deckel-Abschirmung Form 1)  
Spalldruck 250 mm QS.



**Bild 27.** Abhängigkeit des Spülvirkungsgrades  $\eta_{sp}$  vom Luftaufwand  $L$  für die Stellungen gemäß Bild 26, Form 2.  
Spalldruck 250 mm QS.



**Bild 25.** Ansicht der Deckel-Abschirmung für kleinere Drosselung Form 2.



**Bild 26.** Deckel-Abschirmung Form 2 in zwei verschiedenen Stellungen



**Bild 28.** Deckel-Abschirmung Form 3.

## b) Versuche mit einem Zylinderdeckel mit verdrehbaren Kanälen

Bei dem Deckel mit drehbaren Kanälen (Bild 20) wurden folgende Ergebnisse erzielt:

1. Drehung des Auslaßkanales

Bei Verdrehung in weitesten Grenzen wurde kein Einfluß auf den Spülerfolg festgestellt.

2. Verdrehung des Einlaßkanales (vgl. Bild 20)

Die aus den Versuchen gewonnenen Ergebnisse sind aus den in Bild 21 wiedergegebenen Spülkurven zu ersehen. Dazu ist zu bemerken, daß eine dem bei der vorigen Untersuchung verwendeten Zylinderdeckel entsprechende Kanalstellung bei diesem Deckel eine schlechte Spülkurve ergab.

Der Einfluß der Verdrehung macht sich erst bei größeren Werten von  $L$  deutlich bemerkbar. Der beste Wert wird mit einer Stellung des Kanals normal zur Ebene durch die beiden Ventilachsen erreicht (Bild 20, 90°-Stellung, Kurve 1 in Bild 21). Eine über diese 90°-Stellung hinausgehende Verdrehung erbrachte keine Änderung des Spülvirkungsgrades.

3. Versuche mit am Zylinderdeckel angebrachten Abschirmungen

Aus dem günstigen Ergebnis der Kanalstellung (90°) wurde der Schluß gezogen, daß man durch Führung der bei dieser Stellung sich ausbildenden Strömung noch bessere Erfolge erzielen könnte.

Zu diesem Zwecke wurden Holzabschirmungen hergestellt, die aus 8 mm starken Brettchen geschnitten waren und an dem Zylinderdeckel angeschraubt wurden.

Abschirmung Form 1. Die Art dieser Abschirmung geht aus Bild 22 hervor. Hierbei wurden auch verschiedene Kanalstellungen untersucht (Bild 23), jedoch ergab die erwähnte 90°-Stellung (Stellung C) die günstigsten Werte (Spülkurve Bild 24).

Abschirmung Form 2 (Bild 25, 26, 27). Sie wurde aus voriger Abschirmung entwickelt, um kleinere Drosselung zu erzielen, brachte aber etwas niedrigere Werte für den Spülvirkungsgrad.

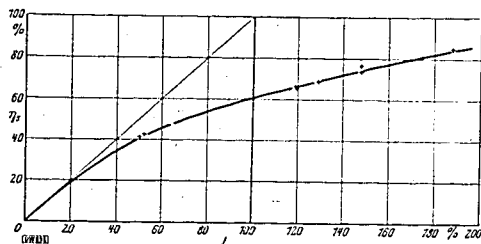


Bild 29. Abhängigkeit des Spülwirkungsgrades  $\eta_s$  vom Luftaufwand  $L$  für Deckel-Abschirmung Form 3 nach Bild 28. Spüldruck 250 mm QS.

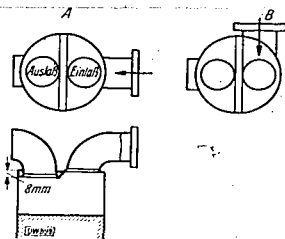


Bild 30. Deckel-Abschirmung Form 4 in zwei verschiedenen Stellungen.

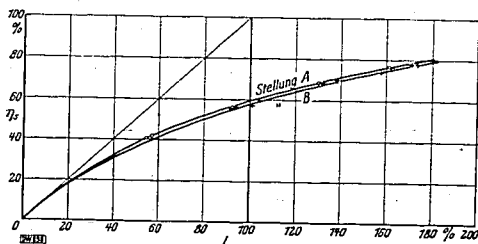


Bild 31. Abhängigkeit des Spülwirkungsgrades  $\eta_s$  vom Luftaufwand  $L$  für die Stellungen gemäß Bild 30 der Deckel-Abschirmung Form 4. Spüldruck 250 mm QS.

Abschirmung Form 3 (Bild 28) wurde aus dem Bestreben heraus entworfen, die unmittelbare Strömung von Ventil zu Ventil zu unterdrücken. Die Spülkurve (Bild 29) deckt sich annähernd mit derjenigen der Abschirmung Form 2.

Mit Abschirmung Form 4 (Bild 30) wurde eine andere Möglichkeit zur Vermeidung der Kurzschlußströmung dadurch versucht, daß sich Ein- und Auslaßventil in verschiedenen Ebenen befinden. Das Auslaßventil wurde um 8 mm tiefer gesetzt und durch eine Holzeinlage ein in der Mitte zwischen den Ventilen abgestufter Deckel erzielt. Das Ergebnis zeigt Bild 31. Bei kleineren Werten von  $L$  liegt die Spülkurve über der ohne Abschirmung, bei größeren  $L$ -Werten haben sich ungefähr gleiche  $\eta_s$ -Werte mit und ohne Abschirmung ergeben.

#### IV. Zusammenfassung

Wie schon früher erwähnt, sind die vorliegenden Ergebnisse keine Absolutwerte. Jedoch gestatten die Modellversuche Schlüsse auf die Spülung in der Maschine zu ziehen; denn es ist anzunehmen, daß Änderungen der Einstromorgane gleichsinnigen Einfluß auf die Spülung der laufenden Maschine und im Modell haben.

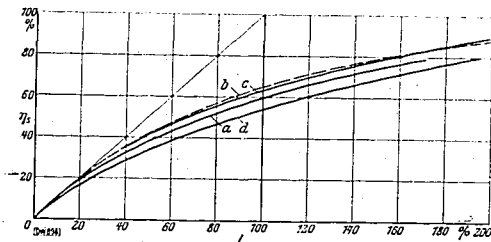
Durch vorliegende Versuche hat sich gezeigt, daß sowohl durch Abschirmung am Ventil und am Zylinderdeckel als auch durch Verdrehung des Einlaßkanales eine wesentliche Beeinflussung des Spülwirkungsgrades zu erreichen ist (Bild 32). Beim Schirmventil z. B. ergab sich bei einem Luftaufwand  $L = 100\%$  eine Verbesserung des Spülwirkungsgrades von 60 auf 65 %, also etwa 8 %. Bei Betrachtung der zum Erreichen desselben Spülwirkungsgrades (65 %) nötigen Luftmenge ergibt sich ein Verhältnis 100 zu 115 % (mit und ohne Schirm).

Der Einfluß der Verdrehung äußert sich erst bei größeren  $L$ -Werten stärker, aber in Vereinigung mit Abschirmungen wurde erzielt, daß bei günstigster Kanalstellung und Einbauten bei  $L = 100\%$  ein  $\eta_s$  von 63 % erreicht wird; dem gegenüber steht ein  $\eta_s$  von 54 % bei ungünstigster Stellung ohne Einbauten. Es wurde also  $\eta_s$  über 15 % vergrößert. Wenn wieder bei gleichem  $\eta_s$  die Luftmengen verglichen werden, ergibt sich  $L = 100\%$  zu 131 %, das ist also für diese Werte bereits eine annähernd 30 % ige Spülmittelparsnis. Hierbei ist zu erwägen, daß eine kleinere Spülmittelmenge eine schlechtere Innenkühlung zur Folge haben kann.

Wie die Arbeit zeigt, ist durch einfaches Ändern der Einströmorgane der Spülerfolg zu verbessern, jedoch hat das Schirmventil eine Drosselung der eintretenden Ladung zur Folge, die seine Verwendung auf Sonderfälle beschränken dürfte.

Durch Verdrehung des Einlaßkanales ist eine Verbesserung der Spülung zu erhalten und mit der Bauform der Mehrzylindermaschinen in Einklang zu bringen.

Einbauten im Brennraum zwecks günstiger Spülluftführung verschlechtern die Brennraumform, und es kann die beiden Forderungen gerecht werdende Bauform nur durch Versuche ermittelt werden.



**Bild 32.** Gegenüberstellung der Spülkurven verschiedener Spülsysteme.

- a Zylinderdeckel nach Bild 5.
- b Zylinderdeckel nach Bild 5, mit 120°-Schirmventil, 0°-Stellung (Bild 18).
- c Zylinderdeckel nach Bild 6, 90°-Stellung gemäß Bild 20, mit Deckel-Abschirmung Form 1.
- d Zylinderdeckel nach Bild 6, 0°-Stellung gemäß Bild 20.

Bei allen Kurven Spüldruck 250 mm QS.

Zur weiteren Klärung des Spülvorganges war eine Untersuchung des Strömungsverlaufes im Zylinder geplant. Durch das hohlgebohrte Einlaßventil und eine am Ventilsitz mündende Bohrung sollte Rauch oder ein ähnliches Mittel eingebracht werden, das beim Abheben des Ventiles vom Sitz austreten kann. Durch Verdrehen des Ventiles könnte dann von jedem Punkt des Ventilumfanges aus der Verlauf der Strömung durch den Zylinder verfolgt werden. Durch stroboskopische Beleuchtung könnten der Kolben und die Ventile optisch in jeder beliebigen Lage stillstehend beobachtet werden. Dadurch wäre es also möglich, die zeitliche und örtliche Ausbreitung des Spülmittels zu untersuchen. Diese Versuche mußten wegen anderer dringender Arbeiten vorläufig eingestellt werden.

## V. Schriftumsverzeichnis

- [1] F. A. F. Schmidt: Thermodynamische Untersuchung über Abgasturboaufladung und grundsätzliche Versuche an einer Abgasturbine — Luftf.-Forsch. Bd. 14 (1937) S. 233/37.
- [2] H. List und E. Niedermayer: Versuche an der Zweitakt Dieselmotoren. I. Untersuchungen ohne Aufladung (H. List), II. Untersuchungen mit Aufladung (E. Niedermayer) — Forsch. Ing.-Wes. Bd. 8 (1937) S. 265/78.
- [3] H. List: Spüluntersuchungen an einem kleinen Zweitaktzylindermodell — Mitt. techn. Inst. Univ. Wörsung II. 6 (1932).
- [4] K. Kühner: Die Leistungsbemessung beim Fahrzeugmotor. Anpassung des Triebwerks an den Geländebetrieb — Z. VDI Bd. 82 (1938) S. 1143/52.

Neue Hefte

# Deutsche Kraftfahrtforschung im Auftrag des Reichs-Verkehrsministeriums

- Heft 63 **Zündverzögerung und Bewertung des Kraftstoffes.** Grundlagen zur Entwicklung eines einheitlichen Prüfverfahrens für Diesel- und Ottokraftstoffe. Von H. Ernst VDI. **Zündverzögerungsmessungen an Diesel- und Ottokraftstoffen.** Von O. Widmaier. DIN A 4, 36 Seiten mit 44 Bildern und 4 Zahlentafeln. 1941. Brosch. 3,40 RM.
- Heft 62 **Aufladevorgang von Viertakt Dieselmotoren.** Von W. Riedel. DIN A 4, 14 Seiten mit 32 Bildern. 1941. Brosch. 1,30 RM.
- Heft 61 **Der Spülvorgang auf Grund einer neuen Auffassung der Expansionsströmung.** Von F. Schultz-Grunow VDI und K. Wieghardt. DIN A 4, 15 Seiten mit 15 Bildern. 1941. Brosch. 1,50 RM.
- Heft 60 **Der Betrieb gemisch-gespülter Zweitaktmotoren mit Flüssigras.** Von U. Schmidt. DIN A 4, 16 Seiten mit 19 Bildern. 1941. Brosch. 1,50 RM.
- Heft 59 **Das Schmiermittel im Zahnradgetriebe unter besonderer Berücksichtigung der Grenzreibung.** Von E. Pietsch VDI. DIN A 4, 24 Seiten mit 20 Bildern, 25 Oszillogrammen und 2 Zahlentafeln. 1941. Brosch. 2,25 RM.
- Heft 58 **Progressive Federung von Kraftwagen.** Von E. Lehr VDI. DIN A 4, 12 Seiten mit 21 Bildern. 1941. Brosch. 1,15 RM.
- Heft 57 **Versuche zur Frage der Kraftstoffaufbereitung durch die Einspritzdüse.** Von W. Oschatz. DIN A 4, 32 Seiten mit 102 Bildern. 1941. Brosch. 3,— RM.
- Heft 56 **Vorspannung und Dauerhaltbarkeit an Schraubenverbindungen mit einer und mehreren Schrauben.** Von A. Thum VDI und H. Lorenz VDI. DIN A 4, 20 Seiten mit 34 Bildern und 13 Zahlentafeln. 1941. Brosch. 1,85 RM.
- Heft 55 **Kraftstoff und Motor beim Anlassen von Fahrzeugdieselmotoren.** Mit folgenden Beiträgen: Der Einfluß der Zündwilligkeit des Kraftstoffes auf das Anlaßverhalten von Fahrzeugdieselmotoren. Von W. Rixmann. Einfluß der Drehzahl auf die Selbstzündungsbedingungen beim Anlassen von Dieselmotoren. Von F. Schaub. Die Anlaßdauer beim Fahrzeugdieselmotor in Abhängigkeit von der Außentemperatur. Von H. J. Conrad. DIN A 4, 83 Seiten mit 88 Bildern und 15 Zahlentafeln. 1941. Brosch. 7,85 RM.
- Heft 54 **Nachweis der Schmierölndurchbrechung durch Messen des elektrischen Übergangswiderstandes zwischen Kolbenring und Zylinder.** Von R. Poppinga VDI. DIN A 4, 31 Seiten mit 41 Bildern. 1941. Brosch. 3,— RM.
- Heft 53 **Das Aufspritzen des Kraftstoffes im Dieselmotor.** Von K. Blume VDI. **Zündverzögerungsmessung mittels Photozellen in verschiedenen Wellenlängen.** Von K. Stallechner VDI. DIN A 4, 48 Seiten mit 66 Bildern und 8 Zahlentafeln. 1941. Brosch. 4,50 RM.
- Heft 52 **Vergleichende Untersuchungen an Lagerschalenwerkstoffen.** Von E. Heidebroek VDI und A. Döring. DIN A 4, 12 S. mit 26 Bildern und 1 Zahlentafel. 1941. Brosch. 1,45 RM.
- Heft 51 **Das Kühlgebläse des Kraftfahrzeugs und sein betriebliches Verhalten.** Von B. Eckert VDI/ATG. DIN A 4, 63 Seiten mit 74 Bildern und 2 Zahlentafeln. 1941. Brosch. 4,— RM.
- Heft 50 **Die Luftkräfte und ihre Momente am Kraftwagen und die aerodynamischen Mittel zur Beeinflussung der Fahrtrichtungshaltung.** Von E. Sawatzki. DIN A 4, 55 Seiten mit 3 Zahlentafeln. 1941. Brosch. 3,40 RM.

*Verzeichnis der früher erschienenen Hefte steht kostenlos zur Verfügung*

Bezug durch jede Buchhandlung!



**VDI-VERLAG GMBH · BERLIN NW 7**