

4. Zusammenhang zwischen Ladungswechsel und Leistung

Von Dozent Dr.-Ing. habil. E. N i e d e r m a y e r , Graz

Die für die Behandlung von Zweitaktfragen notwendigen Wertungsgrößen werden im folgenden unter Berücksichtigung der Temperaturverhältnisse während der Spülung besprochen. Die angegebenen Kenngrößen können auch für die Behandlung des Ladungswechselforganges beim gespülten Viertaktmotor angewendet werden.

1. Definition der Kenngrößen

Zur Kennzeichnung des Erfolges des Ladungswechsels genügen drei Begriffe, die in Abb. 1 definiert und zusammengestellt sind. Der Liefergrad λ_l hat dieselbe Bedeutung wie beim nicht gespülten Viertaktmotor, der Spülwirkungsgrad λ_s gibt die Reinheit der Ladung an und der Luftaufwand Λ ist die auf das Hubvolumen bezogene, angesaugte Frischladung. Alle Verhältniszahlen sind in Anlehnung an die beim Viertaktmotor übliche Benennung des Liefergrades mit λ bezeichnet und mit einem sinngemäß gewählten Zeiger versehen. Zur Bestimmung des Kraftstoffverlustes bei gemischgespülten Maschinen ist überdies die Verwendung einer Verhältniszahl λ_g von Frischladung zur angesaugten Luftmenge üblich, die sich jedoch ebenso wie der Ladegrad λ_d aus den drei vorhergehenden Größen bestimmen läßt. Der Zusammenhang der erwähnten Kennwerte der Spülung mit der Motorleistung ist durch den in der Abbildung angegebenen Ausdruck für p_e bestimmt. In diesem ist auch der im Restgas vorhandene Sauerstoff durch die Luftüberschußzahl der Verbrennung berücksichtigt.

2. Beziehungen zwischen den Kenngrößen

Eine Beziehung zwischen Liefergrad und Spülwirkungsgrad kann durch eine grundsätzliche Betrachtung des Spülvorganges, bei welcher der auszuspülende Raum und der Ladungsdruck unveränderliche Größe haben sollen, aufgestellt werden. Mit dieser Voraussetzung ist bei gleicher Temperatur von Spülmittel und Ladung einströmendes und ausströmendes Gasvolumen einander gleich. Ist Temperaturgleichheit nicht vorhanden, so findet ein Wärmeaustausch statt, der eine durch die Verschiedenheit der spezifischen Wärmen von Spülmittel und Ladung bedingte Volumsvergrößerung der Ladung hervorruft. Trotzdem diese bis etwa 10 v.H. der Ladung betragen kann, ist ihr Einfluß auf den Spülerfolg vernachlässigbar, weil bei Verdrängerspülung der Spülwirkungsgrad wegen des geringen Wärmeaustausches durch Wärmeleitung fast zur Gänze, bei Verdünnungsspülung jedoch völlig unverändert bleibt.

Der Wärmeaustausch zwischen Spülmittel und Ladung kann sowohl durch Mischung und Wärmeleitung als auch durch Wärmeleitung allein, wie z.B. bei Kurzschlußspülung, erfolgen. Die nur durch Wärmeleitung allein übertragene Wärme ist verglichen mit dem durch gegenseitigen Austausch von Luft- und Abgasteilchen auftretenden Wärmetransport unbedeutend, so daß unter den gemachten Voraussetzungen die Feststellung zulässig ist, daß einem bestimmten Restgehalt

eine bestimmte mittlere Ladungstemperatur zugeordnet ist, und zwar unabhängig vom jeweiligen Verlauf der Spülung.

Mit dieser Vernachlässigung der durch Wärmeleitung übertragene Wärmemenge ist in jedem Zeitpunkt der Spülung eine Aufteilung des nach dem Vorhergesagten gleich bleibenden Ladungsvolumens in Luft und Abgasrest, letzterer vom Zustand bei Spülungsbeginn, möglich. Daraus ergibt sich der in Abb. 2 dargestellte Zusammenhang zwischen Spülwirkungsgrad und Liefergrad. Er ist für verschiedene Verhältnisse von Restgastemperatur T_R zu Spüllufttemperatur T_1 dargestellt, wobei das mittlere auszuspülende Zylindervolumen gleich dem Hubvolumen und die Zustandsgrößen der Luft nach ihrem Eintritt in den Zylinder gleich denen des Außenzustandes gesetzt sind.

Sind die Temperaturen von Spülmittel und Ladung einander gleich, wie dies für Versuche am Spülmodell zutrifft, so ist der Spülwirkungsgrad gleich dem so reduzierten Liefergrad. Bei erhöhter Ladungstemperatur ist jedoch der Spülwirkungsgrad stets größer als der Liefergrad, und zwar entsprechend dem von der Temperatur abhängigen Verhältnis von Hubvolumen zu Ladungsvolumen.

Den bisherigen Überlegungen lag, wie Abb. 3 links zeigt, die Anschauung zu Grunde, daß das eintretende Luftvolumen ein gleich großes Ladungsvolumen verdrängt und daß durch einen Wärmeaustausch eine Vergrößerung dieses Luftvolumens bei gleichzeitiger Verkleinerung des Restgasvolumens vor sich geht. Nach einer anderen Vorstellung des Spülvorganges, in der Abbildung rechts dargestellt, ist die Aufeinanderfolge von Spülung und Wärmeaustausch umgekehrt. Das Spülluftvolumen wird durch den Wärmeaustausch vergrößert und bewirkt die Ausspülung eines durch Abkühlung dichteren Ladungsvolumens von derselben Größe. Die Erhöhung des Spülwirkungsgrades läßt sich damit erklären, daß im ersten Fall einem bestimmten Luftgewicht ein durch die erhöhte Ladungstemperatur verkleinertes Ladungsgewicht entspricht. Im zweiten Fall erfolgt die Erhöhung des Spülwirkungsgrades durch die scheinbare Vergrößerung des Luftaufwandes.

In Abb. 4 sind einige durch Versuche an einem Zweitaktmotor ermittelte Spülwirkungsgrade über dem zugehörigen gemessenen Luftaufwand aufgetragen. Je nach der Zustandsänderung der Ladung während des außerhalb des Ladungswechsellvorganges liegenden Teiles des Arbeitsspieles können einem Luftaufwand verschiedene Spülwirkungsgrade zugeordnet sein. Bezieht man die Spülwirkungsgrade nach der früheren Angabe nach Abb. 3 auf eine Ladungstemperatur, die gleich der Lufttemperatur ist, so erhält man die durch Kurve a zusammengefaßten reduzierten Spülwirkungsgrade; bezieht man die Spülwirkungsgrade jedoch auf ein durch die höhere Ladungstemperatur vergrößertes Spülluftvolumen ^{1) 2)}, so erhält man Kurve b. Während bei der Ermittlung der Spülwirkungsgradkurve nach dem in Abb. 4 links dargestellten Verfahren der durch Wärmeleitung allein verursachte Wärmeaustausch zwischen Spülmittel und Ladung vernach-

- 1) U. Schmidt, Zusammenhang zwischen Spülung und Leistung bei dem gemischgespülten Zweitaktmotor, Kraftfahrtechn. Forschungsarb. Heft 7, VDI-Verl.
- 2) E. Niedermayer, Untersuchungen des Spülvorganges an Zweitakt Dieselmotoren, Forsch. Ing.-Wes. Bd. 7 (1936) No. 5, S. 227.

lässigt wird, gilt das in der Abbildung rechts dargestellte Verfahren wegen der notwendigen Berechnung der mittleren Ladungstemperatur nur für Verdünnungs- und Verdrängerspülung und erfordert größeren rechnerischen Aufwand als das erstere. Wie das Schaubild zeigt, führen bei dem untersuchten Spülssystem beide Überlegungen zum annähernd gleichen Ergebnis, also zu ein und derselben Spülwirkungsgradlinie, die den Spülerfolg sowohl für die Verhältnisse am Motor als auch für die am Spülmodell angibt.

Dieses Ergebnis zeigt auch, daß für diese thermodynamische Betrachtung des Spülvorganges die eingangs gemachte Voraussetzung eines während der Spülung gleichbleibenden Zylindervolumens und Ladungsdruckes zulässig ist.

Reduziert man den gemessenen Liefergrad auf den während der Spülung herrschenden mittleren Gaszustand, so ist, wie die in der Abbildung mit einem Doppelkreis bezeichneten Versuchswerte zeigen, Liefergrad und reduzierter Spülwirkungsgrad einander gleich.

Durch den Zusammenhang mit der Ladungstemperatur kommt dem Spülwirkungsgrad erhöhte Bedeutung zu, die bei Kenntnis der gesamten Spülwirkungsgradkurve noch dadurch gesteigert wird, daß aus deren Verlauf Schlüsse auf die Art der Spülung gezogen werden können. Als Vergleichsgrundlage können gerechnete Spülwirkungsgradkurven gewählt werden, die jedoch die Abnahme der Verdrängerwirkung mit fortschreitender Spülung berücksichtigen müssen.

Ein Vergleich der so berechneten Spülwirkungsgradkurve mit der gemessenen läßt somit Schlüsse auf die Größe der Verdrängerwirkung zu.

3. Messung der Kenngrößen

Von den angegebenen Kenngrößen kann außer dem Luftaufwand nur der Spülwirkungsgrad mit verhältnismäßig einfachen Mitteln bei genügender Genauigkeit gemessen werden.

Der Spülwirkungsgrad wird zweckmäßig durch Bestimmung des Kohlendioxidgehaltes der Ladung vor und nach dem Ladungswechsel bestimmt. Wegen der örtlich verschiedenen Ladungszusammensetzung können Messungen mittels kleiner Gasproben nicht befriedigen, so daß die jeweils ein- oder zweimalige Entnahme einer größeren Probe zweckmäßig ist. Bei der Berechnung des Spülwirkungsgrades aus den gemessenen Kohlendioxidkonzentrationen muß der Wasserdampfgehalt der Abgase berücksichtigt werden. Die Größe dieses Einflusses zeigt Abb. 5.

Für die Aufzeichnung der Spülwirkungsgradkurve ist die Kenntnis der Restgastemperatur bei Spülungsbeginn T_R erforderlich. Diese kann bei bekanntem Ladegrad aus der Gleichung

$$T_R = \frac{1}{\lambda_d} \cdot T_a \frac{V_H}{V_{za}} \cdot \frac{p_a}{p_{za}} \cdot \left(\frac{p_{ze}}{p_{za}} \right)^{\frac{m-1}{m}}$$

berechnet werden. Darin bezeichnet der Zeiger a den Außenzustand und die Zeiger za und ze den Zustand beim Öffnen der Auslaß- und Einlaßsteuerquerschnitte.

Der Liefergrad kann entweder mittels der gemessenen Luftüberschußzahl der Verbrennung oder bei bekannter Abgasmenge durch Bestimmung des mittleren Kohlensäuregehaltes des Abgases bestimmt werden.

Nach dem erstgenannten Verfahren ist

$$\lambda_1 = \frac{L_0 B}{V_H} \left[1 + (\lambda - 1) \lambda_s \right]$$

und nach dem zweiten Verfahren

$$\lambda_1 = \frac{L_{ges}}{V_H} - \frac{V_a}{V_H} \left[1 - \frac{v''(CO_2)}{v'(CO_2)} \right]$$

Darin ist:

B [kg/Spiel] der Kraftstoffverbrauch
 V_a [m³ außen/Spiel] die trockene Abgasmenge
 $v'(CO_2)$, $v''(CO_2)$ [R.T.] der Kohlensäuregehalt der Ladung vor der Spülung und des Abgases.

Das erste Verfahren liefert nur bei sehr genauer Messung der Luftüberschußzahl brauchbare Ergebnisse. Auch bei der Anwendung des zweiten Verfahrens ergeben sich Schwierigkeiten, da die aus dem Abgasstrom entnommenen Gasproben nur bei besonderen versuchs-technischen Maßnahmen der mittleren Abgaszusammensetzung entsprechen.

Es ist daher in vielen Fällen zweckmäßiger, an Stelle des Liefergrades den Ladegrad unmittelbar zu messen.

Es konnten dafür bisher 2 Methoden angegeben werden 1) 2). Nach der einen Art (nach Abb. 6) wird das durch Druck- und Temperaturmessung mittels Thermoelement zu bestimmende Gasgewicht auf einen Bruchteil des Ladungsgewichtes beschränkt, während der Großteil durch Auffüllen eines Meßbehälters nach beendetem Ladungswechsel unmittelbar gemessen wird.

Bei dem zweiten Verfahren, Abb. 7, kann die Temperaturmessung entfallen, da durch Verwendung eines zweigeteilten Kolbens, dessen Oberteil nach dem Öffnen des Entnahmeventiles an den Zylinderkopf anschlägt und dort stehen bleibt, auch die im Verdichtungsraum befindliche Ladung in den Meßbehälter gedrängt werden kann.

Alle angegebenen Meßverfahren erfordern bei entsprechender Meßgenauigkeit ein Entnahmeventil, dessen Durchgangsquerschnitt die einmalige Entnahme eines großen Teiles der Ladung, etwa ein Drittel, ermöglichen muß. Der Einbau dieses Ventils kann bei Versuchsmotoren schon beim Entwurf berücksichtigt werden. An der fertigen Maschine jedoch sind ohne wesentliche Änderungen des Brennraums meistens nur beschränkte Einbaumöglichkeiten vorhanden, so daß in diesen Fällen wegen der dadurch notwendigen Verkleinerung der Abmessungen des Entnahmeventiles nur eine beschränkte Meßgenauigkeit zu erwarten ist.

4. Bemessung der Auslaßquerschnitte

Von den Problemen des Forschungsauftrages wird eines zur Erörterung herausgegriffen, das die Bemessung der Auslaßschlitze zur Aufgabe hat.

Im Gegensatz zur Viertaktmaschine kann bei der Zweitaktmaschine der Ladungswechsel durch den vorhergehenden Verbrennungs- und Arbeitsvorgang wesentlich beeinflusst werden. Diese Rückwirkung tritt bei erhöhter Drehzahl, bei hoher Belastung und Kraftstoffüberschuß oder bei klein bemessenen Auslaßquerschnitten ein. Erreicht der Ladungsdruck im Zeitpunkt der Einlaßöffnung bei voller Belastung etwa die Größe des Spülluftdruckes, wie dies bei langsam laufenden Motoren zutrifft, so ist trotzdem noch eine Beeinflussung des Spülvorganges durch die Größe der Restgastemperatur möglich.

Eine Verkürzung der Auslaßschlitzhöhe vergrößert das nutzbare Hubvolumen und erhöht während und nach beendetem Ladungswechsel den Ladungsdruck. Sie verkleinert jedoch andererseits den nutzbaren Zeitquerschnitt der Einlaßsteuerung und verursacht durch teilweises Überströmen des Restgases in die Spülluftleitung eine Verminderung der Sauerstoffkonzentration und eine Temperaturerhöhung des Spülmittels.

Um einen Überblick über die gegenseitige Beeinflussung der einzelnen Größen zu erhalten, wurde der Vorgang vorerst rechnerisch durch punktweises Fortschreiten im Sinne des zeitlichen Ablaufes des Vorganges untersucht. Die Richtigkeit der Rechnung kann im darauffolgenden Versuch durch Aufzeichnung leicht meßbarer Größen, z. B. des Druckes, überprüft und die bei der Rechnung verwendeten Konstanten danach korrigiert werden.

In Abb. 8 ist das Ergebnis einer Berechnung des Ladungswechselvorganges für einen Motor von 120 mm Bohrung und 150 mm Hub bei verschiedenen Auslaßschlitzhöhen dargestellt. Die Kenngrößen der Spülung sind über der Höhe der Auslaßschlitze, die bis zur inneren Kolbentotpunktlage reichen, aufgetragen. Bei einer Auslaßschlitzhöhe von 38 % erreicht der Ladungsdruck im Zeitpunkt der Einlaßeröffnung, d. i. bei 20 v.H., etwa die Größe des Spülluftdruckes.

Mit kleiner werdender Auslaßschlitzhöhe wird der nutzbare Zeitquerschnitt der Einlaßsteuerung und damit auch der Luftaufwand bei gleichbleibendem Spülluftdruck verkleinert. Die Abnahme des Spülwirkungsgrades mit kleiner werdender Auslaßschlitzhöhe ist einerseits auf die Verkleinerung des Luftaufwandes, andererseits auf die Abnahme der Restgastemperatur infolge der Verringerung der Motorleistung zurückzuführen.

Die verhältnismäßig geringen Veränderungen des Liefergrades sind dadurch bedingt, daß der Einfluß des mit kleiner werdender Auslaßschlitzhöhe abnehmenden Spülwirkungsgrades durch den des Ladungsdruckes zum Teil ausgeglichen wird. Bei einer Verkleinerung der Auslaßschlitzhöhe wird bei symmetrischen Steuerdiagramm auch der nach Einlaßabschluß noch vorhandene Auslaßzeitquerschnitt verkleinert und dadurch der Ladungsdruck zu Beginn der Verdichtung erhöht.

Im folgenden wird nun die Frage behandelt, ob der für einen bestimmten Ladungszustand bei Ausläßeröffnung ermittelte Liefergrad auch im nächstfolgenden Arbeitsspiel vorhanden ist.

Bei gleichbleibendem Verbrennungsluftüberschuß ist jedem Liefergrad ein bestimmter Ladungsdruck nach beendetem Verdichtungs- und Ausdehnungsvorgang zugeordnet. Der Zusammenhang des Liefergrades mit dem Ladungsdruck im Zeitpunkt der Ausläßeröffnung ist durch die Linie a in Abb. 9 dargestellt. Dabei ist angenommen, daß der Liefergrad der Leistung des Motors und diese wiederum dem Ladungsdruck bei Ausläßeröffnung verhältig sei.

Ist der Auspuffvorgang bei Öffnen des Einlaßsteuerquerschnittes noch nicht beendet, so wird der nach beendetem Ladungswechsel sich einstellende Liefergrad durch den Ladungsdruck bei Ausläßeröffnung beeinflusst. Es ist demnach einem bestimmten Ladungsdruck bei Ausläßeröffnung ein bestimmter Liefergrad zugeordnet. Der Zusammenhang dieser beiden Größen ist in Abb. 9 für zwei verschiedene Fälle durch die Linien b I und b II dargestellt.

In dem einen Fall ist, ausgehend vom Liefergrad $\lambda_{1 I}$, der Ladungsdruck bei Ausläßeröffnung nach dem ersten Arbeitsspiel durch den Schnittpunkt mit der Linie a (Punkt 1) gegeben. Dieser Ladungsdruck bedingt im folgenden Ladungswechselvorgang einen kleineren Liefergrad, dessen Größe durch den Schnittpunkt 2 mit der Linie b I gegeben ist. Der im darauffolgenden Arbeitsspiel sich einstellende Ladungsdruck ist wieder durch den Schnittpunkt mit der Linie a (Punkt 3) gegeben. Der darauffolgende Ladungswechselvorgang wird wegen des kleinen Ladungsdruckes bei Ausläßeröffnung von diesem nur wenig beeinflusst, sodaß die Größe des Liefergrades nicht vom Ladungsdruck, sondern z. B. vom verfügbaren Spülluftdruck begrenzt wird, wie dies durch den Schnittpunkt 4 mit der als Belastungsgrenze angegebenen Linie dargestellt ist. Die Größe von Liefergrad und Ladungsdruck in den folgenden Arbeitsspielen ist durch die Punkte 5, 6, 7, 8 gekennzeichnet. Es folgt demnach auf ein Arbeitsspiel mit großer, ein solches mit kleiner Leistung. Die Leistungsunterschiede werden nach je zwei aufeinanderfolgenden Arbeitsspielen größer. Um diese Leistungsschwankung zu verhindern, kann die Luftüberschußzahl der Verbrennung durch Verkleinerung der Kraftstoffzufuhr vergrößert werden. Im Schaubild ist dann die Linie a durch eine solche mit geringerer Neigung darzustellen. Diese ist strichliert eingezeichnet. Der Schnittpunkt mit der Linie b I stellt dann einen Beharrungszustand der Motorleistung dar. Durch die notwendige Verkleinerung der Kraftstoffzufuhr wird nur ein Teil der Frischluft voll ausgenützt. Dieser Frischluftmenge entspricht der in Abb. 8 eingezeichnete ausnutzbare Liefergrad.

In dem anderen Falle (Linie b II) ist der Liefergrad nur in geringem Maße vom Ladungsdruck bei Ausläßeröffnung abhängig. Wie aus der Abb. 9 zu entnehmen ist, wird der Beharrungszustand nach einigen Arbeitsspielen im Schnittpunkt der Linien a und b II erreicht. Eine Erhöhung der Luftüberschußzahl der Verbrennung ist in diesem Falle nicht erforderlich.

Die Lage der Kurve b ist in großem Maße von der Zustandsänderung der Ladung während des Arbeitsspieles abhängig. Diese kann mit hinreichender Genauigkeit, jedoch nur durch Versuch an der Maschine festgelegt werden.

Beschreibung des Versuchsmotors

Ein zu diesem Zweck konstruierter Versuchsmotor ist derzeit in Fertigstellung begriffen. Er ermöglicht, wie Abb. 10 zeigt, sowohl eine Veränderung der Verdichtung als auch der Einlaß- und Auslaßschlitzhöhen während des Betriebes. Durch Heben und Senken der Zylinderbüchse können die Ein- und Auslaßschlitzhöhen, durch Heben und Senken eines die Zylinderbüchse umfassenden, mit Schlitz versehenen Ringes, in dem ein in die Auslaßschlitze passendes Füllstück befestigt ist, kann die wirksame Auslaßschlitzhöhe allein verändert werden. Der bei einer Verkleinerung dieser Schlitzhöhe entstehende Hohlraum oberhalb des Füllstückes von der Breite der Zylinderwandstärke ist wegen seiner geringen Größe ohne wesentlichen Einfluß auf den Auspuffvorgang. Die Verdichtung kann durch Verschiebung eines als Kolben ausgebildeten Zylinderkopfes verändert werden. Im Zylinderkopf ist auch ein Ventil zur Entnahme von Gas-Großproben angebracht.

Die Versuche mit diesem Motor werden derzeit vorbereitet.

Zusammenfassung

Die zur Kennzeichnung des Spülerfolges notwendigen Größen werden definiert, die Gründe für ihre Einführung dargestellt und sowohl ihr gegenseitiger Zusammenhang als auch der mit der Motorleistung angegeben. Ferner werden die Meßverfahren zur Ermittlung von Spülwirkungsgrad und Liefergrad besprochen.

Von den Problemen des Forschungsauftrages wird die Frage der Auslaßschlitzbemessung erörtert und zugehörige Rechnungsergebnisse dargestellt. Eine für diese Untersuchungen konstruierte Versuchsmaschine wird beschrieben.

3) H. List und E. Niedermayer, Versuche an der Zweitakt-dieselmachine. Forsch. Ing.-Wes. Bd. 8 (1937) Nr. 6, S. 265.

Aussprache

Im Anschluß an den Vortrag von Niedermayer, Graz, machte Künzel, Mannheim, längere Ausführungen über Untersuchungen, welche von ihm am Lanz-Glühkopfmotor durchgeführt wurden. Es handelt sich um einen Einzylinder-Zweitaktmotor, dessen Kurbelkammer als Spülpumpe ausgebildet ist. Der Kraftstoff wird bei noch offenen Schlitzen über eine Düse in den Brennraum eingespritzt. Es wurden Untersuchungen mit Umkehrspülung durchgeführt. Bei der Zweikanal-Umkehrspülung wurden verschiedene Einblasewinkel untersucht, welche zwischen 30° und 90° lagen, wobei sich ein Winkel von ca. 45° als günstigster Wert ergab. Bei der Dreikanal-Spülung wurden mit dem gleichen Winkel ungünstigere Höchstleistungen und Verbrauchswerte erreicht. Hierfür betragen die günstigsten Winkel für die beiden seitlichen Kanäle 74° und für den Mittelkanal 40° .

Es wurden sodann weitere Versuche über die zweckmäßige Höhe der Überströmkanäle durchgeführt. Mit zunehmender Kanalhöhe nimmt die Leistung bis zu einem Grenzwert zu, der Verbrauch sinkt entsprechend, bei weiterer Erhöhung der Kanäle findet dann eine Verschlechterung statt. Auch der Einfluß der Höhe des 3. Kanales allein wurde ermittelt, es wurde hierbei bei 35 mm Kanalöffnung die höchste Leistung und der beste Brennstoffverbrauch erreicht.

Die höchste Leistung bei einem Motor mit Nasenkolben betrug 22,5 PS, bei Verwendung der 2-Kanal-Umkehr-Spülung 24,6 PS. Wurde gegenüber dem Auslaß ein 3. Kanal angeordnet, so stieg die Leistung auf ungefähr 30 PS. Die Brennstoffverbrauchswerte lagen bei allen 3 Spülungsarten ungefähr gleich, sie ließen sich im wesentlichen nicht durch die Spülung, sondern nur durch die Gestaltung des Brennraumes beeinflussen.

In einer längeren Debatte zwischen Schnürle, Köln, und Künzel, Mannheim, führte Schnürle u. a. aus, daß er es für zweckmäßig halte, statt der benutzten 3 Kanäle 4 Kanäle anzuwenden, von denen auf jeder Zylinderseite 2 liegen, um möglichst große Spülquerschnitte bei niedrigem Spüldruck zu erzielen.

Frischladung L_z m³ Wasser/Umdr.
 Restgas R_z m³ Wasser/Umdr.
 angesaugte Luft L_{ges} m³ Wasser/Umdr.
 theoret. Luftbedarf L_0 m³ Wasser/kg
 Luftüberschuss λ
 Kraftstoffverbrauch b_e g/PSh

1) Liefergrad $\lambda_L = \frac{L_z}{V_H}$
 2) Spülwirkungsgrad $\lambda_S = \frac{L_z}{L_z + R_z}$
 3) Luftaufwand $\lambda = \frac{L_{ges}}{V_H}$

Ladegrad $\lambda_L = \frac{L_z + R_z}{V_H} = \frac{\lambda_L}{\lambda_S}$
 Luftausnützung $\lambda_g = \frac{L_z}{L_{ges}} = \frac{\lambda_L}{\lambda}$

mittlerer effektiver Druck $P_e = \frac{27}{L_{be}} \cdot \frac{\lambda_L}{1 + (\lambda - 1)\lambda_S}$

Abb. 1. Zweitakt-Wertungsgrößen.

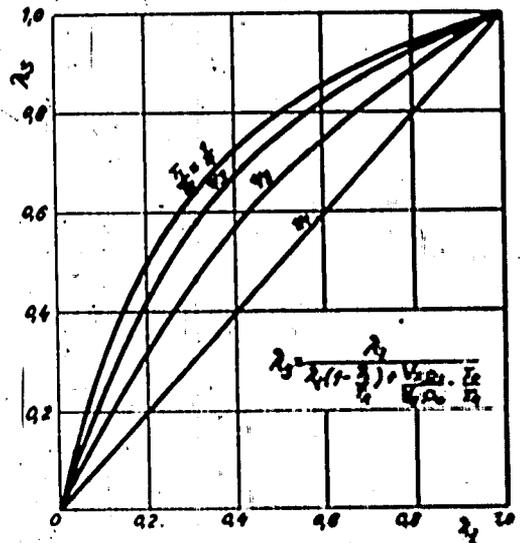


Abb. 2. Spülwirkungsgrad und Liefergrad.

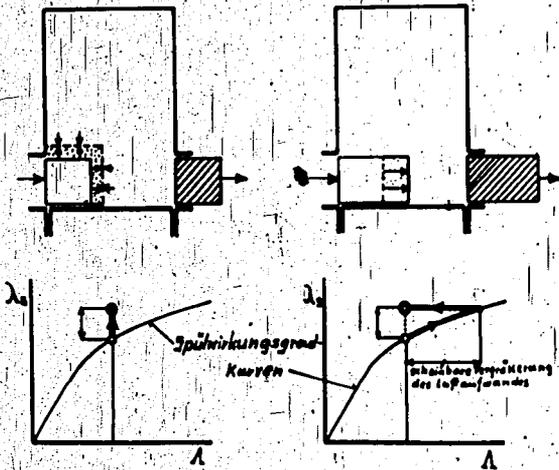


Abb. 3. Einfluß der Ladungstemperatur auf den Spülwirkungsgrad.

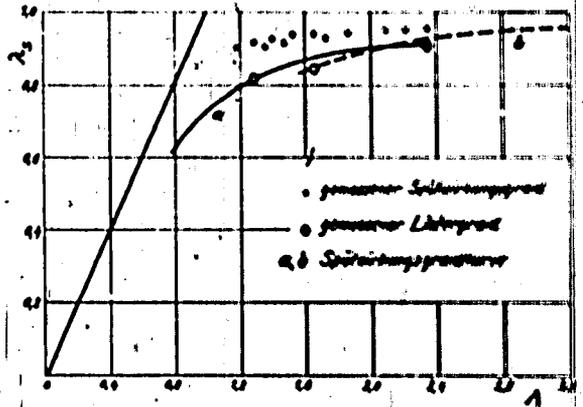


Abb. 4. Spülwirkungsgradkurve und am Motor gemessene Spülwirkungsgrade.

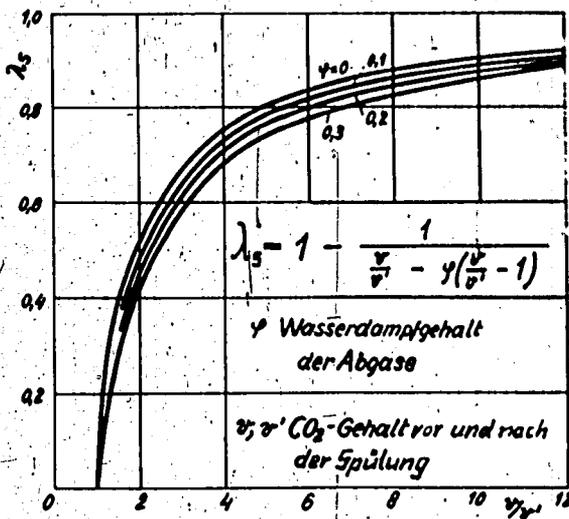


Abb. 5. Spülwirkungsgrad-Bestimmung.

