Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 90 (1972)
Heft: 15

Artikel: Der Gaswechsel beim Zweitakt-Benzinmotor hoher Leistung
Autor: Renfer, H. / Affolter, W.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-85174

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

5.3 Wirkungsgradvergleich

An einem Warmwasser-Heizkessel Ygnis Rayol R 1000 N der Firma Ygnis Kessel AG, Luzern, von 1000 Mcal/h Leistung wurde die Wirkungsgrade bestimmt. Als Brenner diente bei einer ersten Messung ein Cuénod-Zweistufenbrenner Typ PCS, bei einer zweiten Messung der Typ PCE 175. Zur Verfeuerung kam Mittelheizöl mit einer Viskosität bei 50 °C von etwa 5 °E, und zwar das eine Mal ohne, das andere Mal mit Wasseremulsion. Der Durchsatz betrug bei allen Messungen etwa 111 kg/h. Die Wirkungsgrade wurden sowohl durch direkte Messung der Heizleistung und des Brennstoffverbrauchs als auch durch Messung der Wärmeverluste bestimmt. Tabelle 4 enthält die Ergebnisse. Der Wärmebedarf für das Aufheizen des Brennstoffgemisches und für die Verdampfung des Wassers wird durch eine bessere Wärmeausstrahlung der Flamme ausgeglichen, so dass der Wirkungsgrad, wie ersichtlich, keine nennenswerte Veränderung erfährt.

Wesentlich ist jedoch die Tatsache, dass der Kessel dank geringerem Russgehalt der Rauchgase viel weniger schnell verschmutzt und infolgedessen die Wärmeübertragung im Verlauf längerer Zeitabschnitte weniger stark beeinträchtigt wird. Dieser Vorteil kommt in Bild 6 zum Ausdruck, das den Verlauf des Kesselwirkungsgrades während längerer Betriebszeiten bei Verwendung von gewöhnlichem und von emulgiertem Brennstoff zeigt. Hinzu kommen Ersparnisse infolge wesentlich geringerer Reinigungsarbeiten und Betriebsunterbrüchen.

Adresse des Verfassers: *A. Meissner,* dipl. Ing. ETHZ, Leiter des thermischen Laboratoriums der Ateliers des Charmilles S. A., Werke Châtelaine, 13, ch. de Maisonneuve, 1211 Châtelaine-Genève.

Der Gaswechsel beim Zweitakt-Benzinmotor hoher Leistung

DK 621.434.13:621.43.019.2

Von **H. Renfer,** dipl. Ing. ETHZ, und **W. Affolter,** dipl. Ing. ETHZ

Den Entwicklungstendenzen folgend, muss auch der Konstrukteur mehr und mehr leichte und kompakte Motoren hoher Leistung entwerfen, ohne jedoch deren Betriebssicherheit zu beeinträchtigen. Seine Anstrengungen richten sich vorwiegend auf die Verbesserung des Wirkungsgrades und der spezifischen Leistung. Eine höhere Leistung ergibt sich bei gegebenem Zylinderinhalt vor allem durch eine bessere Spülung. Die Beherrschung des Gaswechsels ist daher von grosser Bedeutung.

1. Bemerkungen zum Gaswechsel

Bedeutend verwickelter als beim Viertaktmotor ist der Ladungswechsel beim Zweitakter. Die aufeinander abzustimmenden Grössen (Abmessungen der Steuerschlitze, Geometrie der Überströmkanäle, Zustand der Ladung vor dem Einströmen in den Zylinder, Ansaug- und Auspuffsystem usw.) sind hier wesentlich vielfältiger. Eine optimale Abstimmung der Zweitaktmaschine ist daher im allgemeinen auch schwieriger zu erreichen. Im Vordergrund stehen naturgemäss die Forderungen nach hoher Leistung und niedrigem Verbrauch über den gesamten Drehzahlbereich; sie stehen in direktem Zusammenhang mit der Güte des Ladungswechsels. Eine günstige Spülung zeichnet sich durch einen hohen Reinheitsgrad bei geringem Luftaufwand sowie kleiner Gaswechselarbeit aus, wobei das Frischladungs-Rauchgasgemisch im Zylinder am Ende der Spülung möglichst homogen und seine Masse möglichst gross sein soll.

Es sei darauf hingewiesen, dass aus Leistung und Verbrauch allein nicht auf die Güte des Ladungswechsels geschlossen werden darf. Unbefriedigende Betriebsergebnisse können auch die Folge mangelhafter Gemischbildung, ungünstiger Verbrennung und anderer Vorgänge sein.

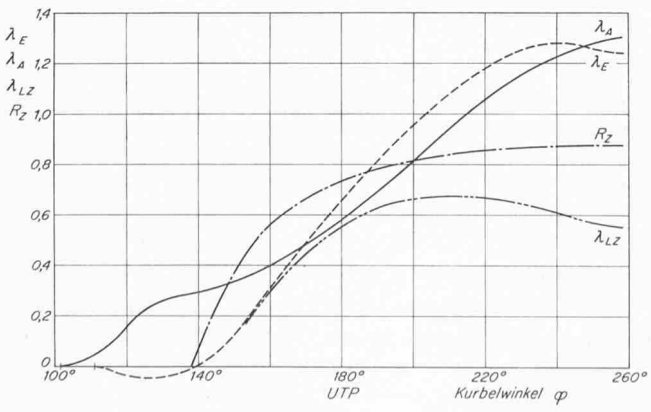

Bild 1. Verlauf der Grössen λ_E (Luftaufwand), λ_A (austretende Gasmasse), λ_{LZ} (Liefergrad) und R_Z (Reinheitsgrad) in Abhängigkeit vom Kurbelwinkel φ

Die Gliederung des Gaswechsels wird üblicherweise wie folgt vorgenommen:

Vorauslass: Ausströmen der heissen Rauchgase aus dem Zylinder bei Freigabe der Auspuffschlitze durch den Kolben bis zum Beginn des Einströmens der Frischladung in den Zylinder.

Spülung: Dauer des Einströmens der Frischladung bei gleichzeitig anhaltendem Ausströmen der Rauchgase. Diese Phase kann weiter unterteilt werden in eine Verdrängungsspülung und in eine Mischspülung.

Nachausströmen: Ausströmen der frischen Ladung mit restlichem Rauchgas vermischt durch die Auspuffschlitze nach Abschluss der Spülschlitze.

Ähnliche Phasen können bei den Vorgängen im Kurbelkasten unterschieden werden.

2. Dimensionslose Kennzahlen

Wie bereits angedeutet, sind die während des Ladungswechsels ein- und ausströmenden Gasmassen wie auch die im Zylinder verbleibende Frischlademasse charakteristisch für die Güte der Spülung. Man bezieht diese Massen zweckmässig auf eine Bezugsmasse m_0 und erhält so die folgenden dimensionslosen Kennzahlen:

Bezugsmasse m_0: Beim unaufgeladenen Motor und auch beim Zweitakter mit Kurbelkastenspülung ist m_0 durch den Umgebungszustand p_u, T_u und das Hubvolumen V_H definiert entsprechend der Gasgleichung:

$$m_0 = \frac{p_u V_H}{R T_u}$$

Luftaufwand:

$$\lambda_E = \frac{\int dm_E}{m_0},$$

wobei der Zähler die in den Zylinder einströmende Frischluftmasse bedeutet.

Liefergrad:

$$\lambda_{LZ} = \frac{\int dm_{LZ}}{m_0},$$

wobei der Zähler die im Zylinder verbleibende Frischluftmasse bezeichnet.

Spülwirkungsgrad:

$$\eta_{sp} = \frac{\lambda_{LZ}}{\lambda_E}$$

Reinheitsgrad:

$$R_Z = \frac{\int dm_{LZ}}{m_Z},$$

wobei der Zähler den Frischluftanteil im Zylinder und m_Z die momentane Gasmasse im Zylinder bezeichnen.

Weitere Kenngrössen sind selbstverständlich möglich; so wird etwa mit der momentanen Zusammensetzung R_{ZA} des Rauchgas-Frischladungsgemisches (unmittelbar nach dem Auslassorgan) sowie mit der austretenden Gasmasse λ_A gerechnet. Bild 1 zeigt als Beispiel den ungefähren Verlauf der genannten Kenngrössen für einen aufgeladenen Zweitaktdieselmotor. Die Spülung wird dann günstig, wenn bei Abschluss des Ladungswechsels R_Z gegen den Wert 1 geht und λ_{LZ} sich möglichst λ_E annähert.

3. Mögliche Methoden zum Studium des Gaswechsels

3.1 Mathematische Behandlung

Es ist durchaus möglich, die einzelnen Phasen des Gaswechsels mathematisch zu beschreiben; jedoch müssen dazu die wirklichen Vorgänge immer in bestimmter Weise vereinfacht werden. Demzufolge können solche Rechenmethoden nur dann zu sinnvollen Resultaten führen, wenn die Vereinfachungen aufgrund von Versuchsergebnissen getroffen werden. Mathematisch stellt sich die Aufgabe, eine Differentialgleichung zu integrieren, was meist schrittweise auf rechnerisch-grafischem Wege oder mit dem Computer bewältigt wird.

Die Gaswechselrechnung kann ferner mit den instationären Rohrströmungen der Ein- und Auslasssysteme kombiniert werden, was jedoch mit einem starken Anwachsen des Rechenaufwandes verbunden ist. Einer der Hauptvorteile der Rechnung liegt in der Verringerung der Arbeit auf dem Versuchsfeld. Ferner lassen sich Einzeleinflüsse und Tendenzen recht gut untersuchen, was im Experiment nicht immer gelingt.

3.2 Motorversuche

Motorversuche zum Studium der Spülung sind meist schwierig und nur mit grossem Aufwand durchzuführen. Die hohe Geschwindigkeit der Vorgänge erschwert oder verhindert deren Beobachtung und messtechnische Erfassung. Motorversuche erscheinen hier also nur sinnvoll, wenn aufgrund von Rechnungen und Modelluntersuchungen die Vielzahl der Parameter eingeschränkt wird und dadurch der Versuchsaufwand in vertretbaren Grenzen gehalten werden kann. Zur Überprüfung der Rechnung und auch der Modelluntersuchungen werden jedoch meist Motorversuche vorgenommen.

3.3 Modellversuche

Eine weitere Möglichkeit zur Untersuchung des Ladungswechsels bildet der Modellversuch. Zahlreiche Varianten stehen hier offen. Bei Verwendung von Modellen mit stationärer Strömung können Aussagen gemacht werden über die Güte von Ein- und Auslasskanälen sowie von Schlitzformen. Besonders wertvoll sind jedoch Modelle mit einem nichtstationären, das heisst einem durch Öffnen und Schliessen der Schlitze gesteuerten Spülstrom, wobei das Eindringen eines geschlossenen Strahles in ein ruhendes Medium verfolgt werden kann.

Meist werden als Ersatz für das Spülmedium und das im Zylinder zu Beginn der Spülung vorhandene Rauchgas im Modell Flüssigkeiten verwendet, da mit ihnen das Experimentieren vereinfacht werden kann. Flüssigkeiten lassen sich ausserdem leichter färben, was gute fotografische Aufnahmen ermöglicht. Ein weiterer Vorteil liegt in der Verlangsamung aller ablaufenden Vorgänge; so lässt sich ein Ladungswechsel auf etwa zwei Sekunden ausdehnen, was genügt, um den Vorgang mit einer einfachen Filmkamera registrieren zu können.

Ganz allgemein lohnt sich der Bau eines Spülmodells nur dann, wenn durch leichte Auswechselbarkeit von Einzelteilen wie Zylinderbüchsen mit verschiedenen Schlitzanordnungen, verschieden geformten Zylinderköpfen usw. systematische Reihenuntersuchungen durchgeführt werden können.

4. Modellgesetze

Für den hier zu behandelnden Spülvorgang werden folgende Voraussetzungen getroffen:

- die am Vorgang beteiligten Gase seien inkompressibel
- es erfolgt kein Wärmeaustausch durch Wärmeleitung zwischen Rauchgas und Frischladung
- bei Beginn der Spülung sind die Rauchgase in Ruhe

Bei Modellversuchen sind die geometrische und die mechanische Ähnlichkeit zu beachten. Die thermische Ähnlichkeit fällt wegen der ersten der oben aufgeführten Voraussetzungen ausser Betracht.

4.1 Zur geometrischen Ähnlichkeit

Sie ist dann erfüllt, wenn entsprechende Abmessungen am Modell $_M$ und an der Ausführung $_A$ in einem konstanten Verhältnis zueinander stehen:

$$\frac{x_M}{x_A} = \frac{y_M}{y_A} = \frac{z_M}{z_A}$$

4.2 Zur mechanischen Ähnlichkeit

Hier ist sowohl die kinematische wie auch die dynamische Ähnlichkeit zu untersuchen. In der Folge erweist es sich als vorteilhaft, alle für die Vorgänge wesentlichen Grössen durch Division mit einer charakteristischen Konstanten $_0$ dimensionslos zu machen. Solche Konstanten sind: Für Längen l_0 Hub oder Bohrung, für Zeiten Δt_0 die Dauer einer Motorumdrehung, für Geschwindigkeiten u_0 die mittlere Kolbengeschwindigkeit. Ebenso kann ein beliebiger, aber konstanter Bezugszustand für die Dichte ϱ_0, die Druckdifferenzen Δp_0 und die kinematische Zähigkeit ν_0 gewählt werden.

Man kann nun zeigen, dass für die mechanische Ähnlichkeit der beiden Systeme (Modell/Ausführung) folgende Kenngrössen den gleichen Wert haben müssen:

Kinematische Ähnlichkeit

Strouhal-Zahl $\quad Sr = \frac{l_2}{u_2 \Delta t_2} \frac{u_1 \Delta t_1}{l_1}$

Dynamische Ähnlichkeit

Euler-Zahl $\quad Eu = \frac{\Delta p_1}{\varrho_1 u_1^2}$

Froude-Zahl $\quad Fr = \frac{u_2^2}{F_2 l_2} \frac{F_1 l_1}{u_1^2}$

Reynolds-Zahl $\quad Re = \frac{u_1 l_1}{\nu_1}$

Hierin bezeichnen u die Geschwindigkeit, F die Feldkraft pro Masseneinheit und l eine Bezugslänge.

Alle bisherigen Aussagen gelten für das Einstoffsystem. Beim Spülvorgang sind jedoch mindestens zwei Medien beteiligt. Damit Ähnlichkeit besteht, müssen beim Zweistoffsystem ausser den genannten Kenngrössen auch noch das Dichteverhältnis ϱ_2/ϱ_1 und das Verhältnis der kinematischen Zähigkeiten ν_2/ν_1 für Modell und Ausführung gleiche Werte aufweisen.

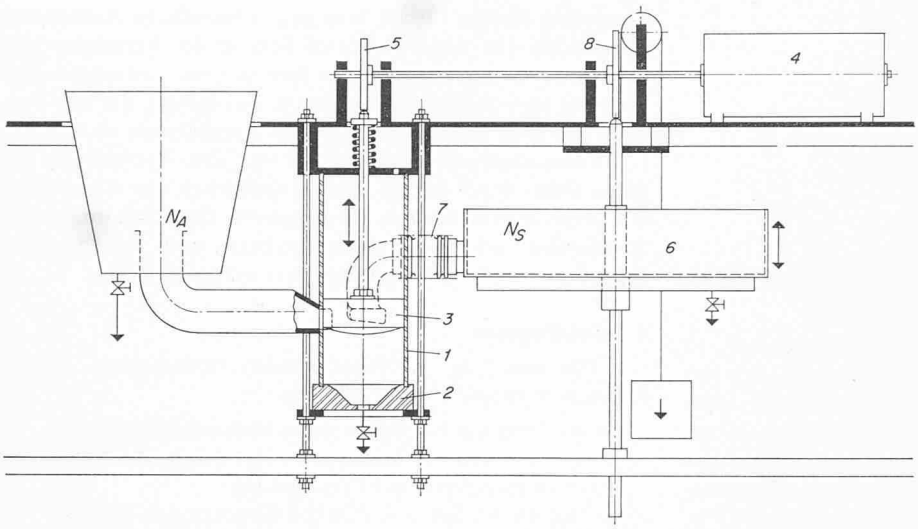

Bild 2. Spülmodell der Firma Motosacoche S. A.
1 Zylinder, 2 Zylinderkopf, 3 Kolben, 4 Elektromotor, 5 Nockenscheibe, 6 Behälter für Spülflüssigkeit, 7 Überströmkanal, 8 Nockenscheibe zum Bewegen von 6, N_s Niveau der Spülflüssigkeit, N_a Niveau der Abgasflüssigkeit

4.3 Angenäherte Ähnlichkeit

Es zeigt sich, dass die Erfüllung aller Modellgesetze beim Bau des Modells auf Schwierigkeiten stösst, vornehmlich bei der Wahl der geeigneten Medien, aber auch bei der Durchführung der Versuche. Man muss sich daher auf jene Gesetze beschränken, welche auf den Vorgang einen merkbaren Einfluss ausüben und ausserdem leicht zu erfüllen sind.

Die Untersuchungen von *N. Dedeoglu*[1]) haben hier wesentlich zur Klärung dieser Frage beigetragen. Diesem Forscher gelang der Nachweis, dass die massgeblichen Kenngrössen für die Einhaltung der Modellgesetze die Strouhal-Zahl und das Dichteverhältnis sind. Die *Re*-Zahl hat praktisch keinen Einfluss, wie durch Versuche mit freien Strahlen bewiesen wurde. Vernachlässigbar ist ausserdem das Verhältnis der kinematischen Zähigkeit sowie der Schwereeinfluss, welcher durch die Froude-Zahl ausgedrückt wird. Mit Hilfe dieser Vereinfachungen ergeben sich zwei Beziehungen, die bei der Bemessung eines Spülmodells massgeblich sind:

$$(1) \qquad \left(\frac{\varrho_{RG}}{\varrho_{Sp}}\right)_M = \left(\frac{\varrho_{RG}}{\varrho_{Sp}}\right)_A$$

(RG = Rauchgas, Sp = Spülluft)

$$(2) \qquad \left(\frac{\Delta p_{Sp}\,(\Delta t)^2}{\varrho_{Sp}\,l^2}\right)_M = \left(\frac{\Delta p_{Sp}\,(\Delta t)^2}{\varrho_{Sp}\,l^2}\right)_A$$

(aus den Gleichungen für die *St*-Zahl und die *Eu*-Zahl); Δt = Zeit

Die Wahl der Flüssigkeiten im Modell hat so zu erfolgen, dass (1) erfüllt ist. In (2) kann nun entweder Δp_{Sp} oder Δt_M gewählt werden, falls der Modellmassstab bereits feststeht.

4.4 Spülflüssigkeiten

Ausser dem Dichteverhältnis sollten die Flüssigkeiten noch folgende Bedingungen erfüllen: keine chemische Reaktion, gute Mischbarkeit, keine Korrosionswirkung, nicht giftig. Als günstige Stoffe haben sich zum Beispiel für die Luft Tetrachloraethylen (C_2Cl_4) und für die Rauchgase Cyclohexan $(CH_2)_6$ erwiesen.

Aufgrund der unterschiedlichen Dielektrizitätskonstanten der beiden Flüssigkeiten kann mit Hilfe geeigneter Messungen zum Beispiel deren Zusammensetzung unmittelbar nach den Auspuffschlitzen gemessen werden.

Gewisse Vorversuche lassen sich aber auch mit gefärbtem Wasser vornehmen, wobei man bewusst auf die Einhaltung des Dichteverhältnisses verzichtet. Im Wasser auf der Spülluftseite wird nun eine bestimmte Menge NaCl gelöst, womit aus einer Konzentrationsmessung auf den Reinheitsgrad geschlossen werden kann.

5. Beschreibung eines Modells

Es handelt sich hier um ein Spülmodell für den Zweitakt-Zweizylindermotor der Firma Motosacoche S.A., Genf, mit Kurbelkastenspülung. Die Hauptdaten sind: Hub 60 mm, Bohrung 68 mm, Hubvolumen total 440 cm², Leistung 30 PS. Bild 2 zeigt einen vereinfachten Schnitt durch die Versuchseinrichtung. Der Zylinder 1 mit Zylinderkopf 2 und Kolben 3 ist um 180 Grad gedreht, so dass sich der Kopf unten befindet. Eine vom Elektromotor 4 angetriebene Nockenscheibe 5 bewegt den Kolben, der seinerseits die Auspufföffnung und die Spülschlitze freigibt. Der Behälter 6 enthält die Spülflüssigkeit, welche durch die Überströmkanäle 7 mit dem Zylinder verbunden ist. Eine weitere Nockenscheibe 8 gestattet, das Niveau N_S der Spülflüssigkeit gegenüber jenem des Auspuffs N_A zu bewegen und so einen variablen Spüldruck nachzuahmen.

Zylinder und Zylinderdeckel bestehen aus Plexiglas und erlauben die Beobachtung des Spülvorganges. Auf beiden Seiten des Zylinders sind ausserdem Lampen in Schlitzschächten angeordnet, welche eine Meridianebene des Zylinders ausleuchten. Bei Färbung der Spülflüssigkeit wird damit erreicht, dass trotz des dreidimensionalen Modells eine zweidimensionale Abbildung der Strömung entsteht.

Die Entwicklung eines Spülmodells ist vor allem dann angezeigt, wenn die Herstellungskosten von Prototypen zu hoch werden. Das beschriebene Modell erlaubt zunächst eine vertiefte Untersuchung der «Schnürle»-Umkehrspülung. Ferner erleichtert es den Vergleich zwischen Spülsystemen mit zwei, drei und mehr Überströmkanälen. Schliesslich können die Einflüsse abgeschätzt werden, welche sich aus herstellungstechnischen Forderungen bezüglich der Spülschlitze, der Überströmkanäle und der Form des Zylinderkopfes ergeben.

[1]) *N. Dedeoglu:* Modelluntersuchungen über die Spülung und Gemischbildung in einem Verbrennungsmotor. Diss. ETH, Zürich 1968

Adresse der Verfasser: *Hans Renfer*, dipl. Ing. ETHZ, Forschungsingenieur, und *William Affolter*, dipl. Ing. ETHZ, Versuchsleiter, beide: Motosacoche S. A., 1211 Genf 24.