

VERFAHREN ZUR AUFNAHME DES INSTATIONÄREN STRÖMUNGSBILDES VON DIESELMOTOR-VORKAMMERN

Von

E. PÁSZTOR und I. KALMÁR

Lehrstuhl für Wärmekraftmaschinen, Technische Universität, Budapest

(Eingegangen am 5. Januar 1963)

Vorgelegt von Prof. Dr. D. BRODSZKY

1. Problemstellung

Zufolge des Druckunterschiedes zwischen Hauptverbrennungsraum und Vorkammer kommt eine zeitlich veränderliche (instationäre) Strömung in der Dieselmotor-Vorkammer zustande. Die ziemlich komplizierten Wärmevergänge und die unregelmäßige Vorkammer machen es praktisch unmöglich, die entstehende räumliche Strömung rechnerisch zu bestimmen.

Die Kenntnis des in der Vorkammer entstehenden Strömungsbildes bietet dem Entwicklungsingenieur einen guten Anhaltspunkt in seinem Bestreben, die Gemischbildung zu verbessern. Für die Güte der Gemischbildung kann es bei einem Vorkammer-Motor als ein gutes annäherndes Kriterium betrachtet werden, daß die Vorkammer mit der schnell bewegten Luft möglichst gleichmäßig ausgefüllt sein muß, und zwar derart, daß in ihr keine toten Zonen verbleiben. Durch eine strömungstechnisch richtige Wahl der Vorkammerform können lokale Überhitzungen vermieden werden, was die Lebensdauer des Motors günstig beeinflusst.

Die funktionellen Kennwerte der Vorkammer, wie Gestalt, Abmessungen, Anordnung usw. entwickelt man, im allgemeinen auf Grund von Versuchen, in denen die Prüfstanddaten verschiedener in die Motoren eingebauter Vorkammern miteinander verglichen werden. Dieses Verfahren ist aber zum einen ziemlich langwierig, zum anderen auch ziemlich kostspielig, weshalb man sich in der Regel auf die Prüfung einer geringeren Zahl von Variationen beschränkt. Es scheint also zweckmäßig, ein Vorkammer-Prüfungsverfahren auszuarbeiten, welches es ermöglicht, die Zahl der zu prüfenden Variationen zu vergrößern und zugleich auch die Dauer und die Kosten der Prüfungen herabzusetzen.

Auf Ersuchen der Waggon- und Maschinenfabrik Wilhelm Pieck, Győr, hat der Lehrstuhl für Wärmekraftmaschinen der Budapester Technischen Universität ein Verfahren ausgearbeitet, das sich zur Untersuchung eines der wesentlichen Faktoren der Gemischbildung, der in der Vorkammer auftretenden Strömung eignet. Diese Untersuchung besteht in der Aufnahme des Bildes der Strömung in einem Vorkammermodell mit durchsichtiger Wand, sie ersetzt also keineswegs die Prüfung der Gemischbildung, sondern ergänzt und

erleichtert diese nur. Die vom Motor unabhängige Strömungsprüfung am Vorkammermodell bietet in erster Linie Möglichkeiten zum *qualitativen Vergleich* der verschiedenen Vorkammerformen.

Die Verhältnisse in der Modell-Vorkammer unterscheiden sich selbstverständlich bis zu einem gewissen Grad von den wirklichen Verhältnissen wie folgt: 1. es erfolgt keine Einspritzung und keine Verbrennung; 2. die absolute Druckhöhe ist wesentlich kleiner; 3. das Grundniveau der Temperatur ist kleiner und nicht veränderlich. Da die Strömung unter der Einwirkung des Druckverhältnisses entsteht, ist die absolute Höhe des Druckes und der Temperatur nur für die Dichte von Bedeutung, es kommt also vor allem auf die Verwirklichung des richtigen Druckverhältnisses an.

2. Wahl des Systems für die Vorkammer-Prüfungsrichtung

2.1. Erwägungen über die Wahl der Vorrichtung

An die Prüfvorrichtung wird vor allen Dingen die Anforderung gestellt, daß das Druckverhältnis in der Vorkammer und im Raum vor der Kammer,

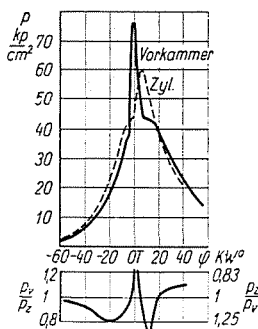


Abb. 2.1

zeitabhängig ausgedrückt, demjenigen des zu untersuchenden Motors gleich sei. Als Beispiel ist der Druck in der Vorkammer und im Hauptverbrennungsraum in Abhängigkeit vom Verdrehungswinkel der Kurbelwelle in Abbildung 2.1 dargestellt. Die Änderung des Druckverhältnisses kann entsprechend der Vorkammer-Bohrung oder der Größe, der Anzahl und der Stelle der Bohrungen auch eine andere sein als die in der Abbildung aufgetragene. Die Vorrichtung soll es also innerhalb gewisser Grenzen ermöglichen im Laufe der Versuche derartige Druckverhältnis-Zeit-Funktionen herzustellen.

Die Fixierung des Strömungsbildes kann im günstigsten Fall mit einer Zeitlupe erfolgen, doch ist eine solche kostspielig, steht auch nicht zu jeder Zeit zur Verfügung, und überdies ist die Entwicklung des Filmes und die Anfertigung der Positive etwas umständlich. Für die Praxis reichen Aufnahmen mit kleinerer Zeitzerlegung aus, die man mit einfacheren Mitteln gewinnen kann,

wenn man Aufnahmen von mehreren Einströmungsprozessen in zeitlich verschobenen Momenten macht. Als Vorbedingung zu einer Prüfung dieser Art müssen die Prozesse einander gleich sein und überdies müssen die Zeitmomente des Photographierens in bezug auf den Druckprozeß (auf die Strömung) gut eingestellt und gesteuert werden können.

2.2. Prüfung der verschiedenen Möglichkeiten

Für die Prüfung scheinen Vorrichtungen geeignet zu sein, die die Einströmung in die Vorkammer mit Hilfe einer in einem Luftbehälter gespeicherten Energie erzeugen. Bei solchen Vorrichtungen benötigt man einen Hilfsraum zwischen dem Vorkammermodell und dem Luftbehälter. Wird nämlich der Luftbehälter, in dem die benötigte, auf höheren Druck komprimierte Luft

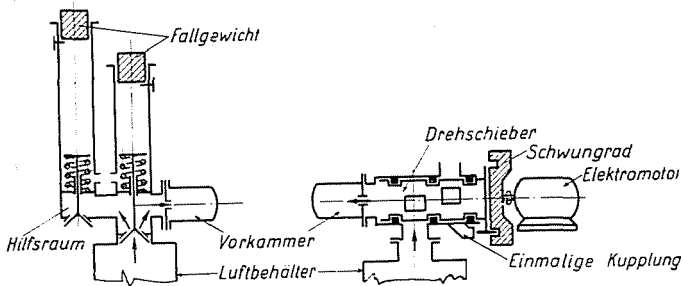


Abb. 2.2, 2.3

gespeichert ist, für je einen Augenblick mit dem Hilfsraum verbinden, läßt sich bei geeigneter Bemessung der erforderliche zeitliche Verlauf des Druckverhältnisses im Vorkammer-Hilfsraum einstellen.

Als Beispiel ist in Abb. 2.2 eine Vorrichtung dargestellt, die von einem solchen Luftbehälter aus betätigt wird. Die momentane Öffnung des Luftbehälters wird durch ein mit Fallgewicht betätigtes Ventil bewirkt, das auf diese Weise den Einströmungsvorgang steuert. Die Ausströmung aus der Kammer wird durch ein anderes, ähnlich arbeitendes Ventil gesteuert. Eine solche Vorrichtung hat den Nachteil, daß sowohl ihre Konstruktion als auch ihre Bedienung schwerfällig ist und daß man den erwünschten kleinen Hilfsraum konstruktiv nicht leicht herstellen kann. Die Vorrichtung hat aber den praktischen Vorteil, daß der Luftbehälter nicht bei jeder Benützung entleert wird, so daß er nur einer Nachfüllung bedarf. Dies aber wird die Prüfungen beschleunigen.

Eine andere beispielemäßige Vorrichtung, die gleichfalls von einem Überdruck-Luftbehälter aus betätigt wird, zeigt Abbildung 2.3. Die Verbindung des Luftbehälters mit dem Vorkammermodell wird durch einen Drehschieber mit Hilfe von Einströmungs- und Auspuffschlitzen gesteuert.

Die Nachteile einer solchen Vorrichtung liegen vor allem in der komplizierten Konstruktion sowie in den Dichtungsschwierigkeiten.

Bei der aus Abbildung 2.4 ersichtlichen Vorrichtung erfolgt die die kurzzeitige Öffnung des Behälters durch das Aufreißen einer Membrane. Eine derartige *Vorrichtung mit Abreißmembrane* besitzt außer ihrer Einfachheit noch den Vorzug, nach der effektiven kurzzeitigen Öffnung keinen besonderen Mechanismus zu benötigen, der den Einströmungsquerschnitt geöffnet hält.

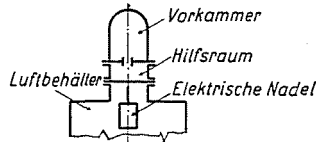


Abb. 2.4

Dagegen kostet es wegen der notwendigen Reparaturarbeit einen gewissen Zeitaufwand, um die aufgerissene Membrane durch eine neue zu ersetzen.

Die kurzzeitige Öffnung sowie die Notwendigkeit der Hilfskammer geht deutlich aus Abbildung 2.5 hervor, die zeitabhängig den Druckverlauf darstellt,

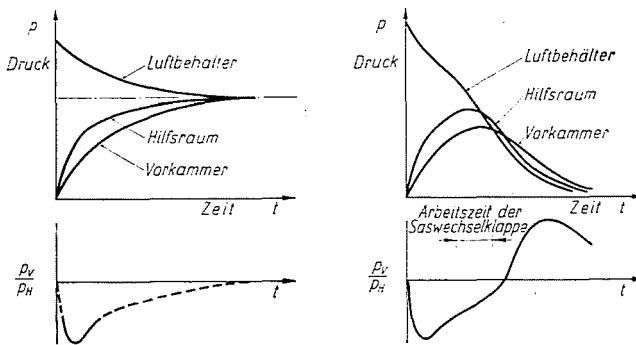


Abb. 2.5, 2.6

der sich in den drei Räumen der einfachen Vorrichtung mit Abreißmembrane laut Abbildung 2.4 abspielt. Im unteren Teil der Abbildung ist das Druckverhältnis von Hilfsraum und Vorkammerraum aufgetragen, dessen zeitlicher Verlauf die wirklichen Druckverhältnisse, die aus Abbildung 2.1 ersichtlich sind, gut annähert. Durch richtige Wahl des Hilfsraumes der Vorrichtung mit Abreißmembrane und der Durchströmungsquerschnitte läßt sich erreichen, daß die Einströmungsverhältnisse des Vorkammermodells — abgesehen von den eingangs erwähnten Annäherungen — gut mit der Wirklichkeit übereinstimmen.

Die Annäherung an die tatsächlichen Verhältnisse kann weiter verbessert werden, wenn man im Versuchsapparat auch den Ausströmungsprozeß aus der Vorkammer nachahmt. Dies läßt sich z. B. mit einem Klappenventil erzielen,

das die Hilfskammer in einem bestimmten Moment mit der Umgebung verbindet. Dabei kommt ein Druckverlauf laut Abbildung 2.6 zustande, der schon eine von der Vorkammer nach außen gerichtete Strömung entstehen läßt.

2.3. Die Versuchsvorrichtung mit Abreißmembrane

Nach Abwägung der Vor- und Nachteile, die die verschiedenen Versuchsmöglichkeiten (Punkt 2.2) bieten können, fiel die Entscheidung zu Gunsten einer Version der Versuchsvorrichtung mit Abreißmembrane. Die Arbeitsweise der Vorrichtung (Abb. 2.7) ist folgende:

Nachdem der elektrische Stechkopf die Abreißmembrane durchstoßen hat, strömt die im Behälter komprimierte Luft, die, dem nachgebildeten Pro-

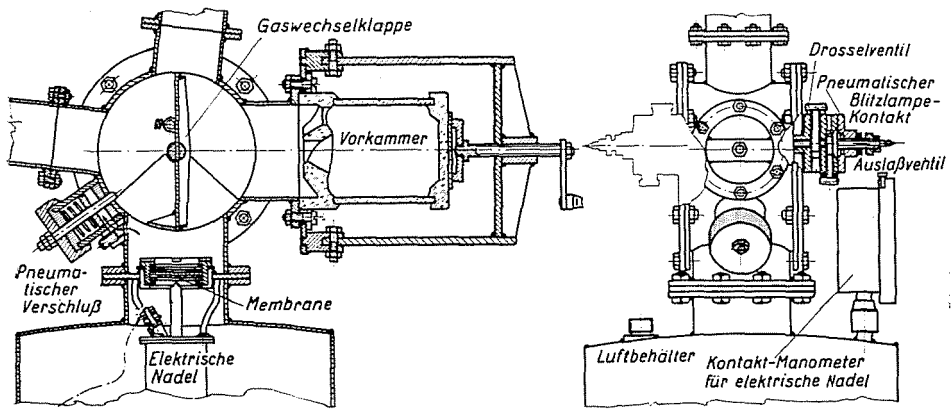


Abb. 2.7

zeß entsprechend, einen Druck von 2 bis 4 atü hat, unter Steuerung durch das Gaswechselventil zunächst in die Vorkammer und sodann ins Freie, wobei die zu prüfenden Strömungsverhältnisse entstehen.

Um die strenge Gleichheit der einander folgenden Prozesse zu sichern, gestattet es der den Stechkopf steuernde Automat die Membrane bei einem im voraus einstellbaren Behälterdruck zu durchstechen.

Das von der Strömung mitgeführte Induktionspulver (Leitpulver) wurde durch die in gegebenen Zeitpunkten ausgelösten Blitzlichtaufnahmen photographiert. Dieses Verfahren der Einzelaufnahmen hat mehrere Vorteile (maximale Negativgröße, Normal-Photoapparat), um aber das Blitzlicht zu einem gegebenen Zeitpunkt in den Strömungsvorgang einblincken lassen zu können, benötigt man eine besondere Apparatur. Der pneumatische Schalter der Blitzlichtlampe ist im wesentlichen ein Momentschalter mit Membrane, der auf den Druck in der Hilfskammer hinter der Abreißmembrane arbeitet, wobei nach dem Aufladen des Raumes vor der Membrane mit Druckluft bzw. nach dem

Einsetzen des Strömungsvorganges das Schließen des Stromkreises der Blitzlichtlampe mit Hilfe von Drossel- und Auslaßventil geregelt werden kann.

Die Synchronisierung des Einsetzens der Strömung in der Vorkammeröffnung sowie des Aufblitzens der Blitzlichtlampe erfolgte nach der in Abbildung 2.8 dargestellten Methode. Durch entsprechende Einstellung des Drosselventils des pneumatischen Schalters der Blitzlichtlampe läßt sich erreichen, daß das Aufblitzen bzw. das Photographieren in dem Moment erfolgt, da sich die vor der Vorkammeröffnung eingefügte dünne Papiermembran in Bewegung setzt. In diesem Moment beginnt die Strömung. Verkleinert man die Drosselventilöffnung des pneumatischen Schalters, tritt eine Verlangsamung im Aufladen des Raumes vor der Schaltermembrane mit Druckluft auf, so daß der pneumatische Schalter den Kontakt mit der Blitzlichtlampe in immer späteren Zeitmomenten herstellt. Durch das zeitlich verschobene Photographieren der

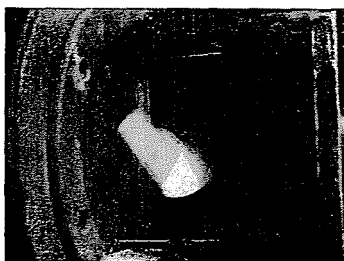


Abb. 2.8

instationären Einströmung in die Vorkammer lassen sich statistisch auswertbare Stromlinien gewinnen, bzw. anhand der bekannten Zeitabstände die Strömungsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von Raum und Zeit bestimmen.

Der Versuchsapparat war mit zwei pneumatischen Schaltern versehen, die unabhängig voneinander arbeiteten. Mit dem einen dieser Schalter läßt sich der Beginn der Strömung festlegen, während mit dem anderen die Lage der Strömungsfront beliebig eingestellt werden kann. Auf Grund der Zeitdifferenz zwischen den einzelnen Betätigungen der beiden Schalter kann man die Zeit zwischen zwei beliebigen Lagen der instationären Strömungsfront bzw. die durchschnittliche oder augenblickliche Strömungsgeschwindigkeit bestimmen.

3. Wahl der Indikatorenmethode, Photographieren

3.1. Licht reflektierende Indikatoren und deren Photographieren

Eine der Voraussetzungen für das unmittelbare Photographieren des instationären Strömungsbildes in der Vorkammer bildet die Sichtbarmachung der Strömungslinien. Wird dem strömenden Mittel ein feinkörniger, Licht reflektierender Stoff beigemischt, so lassen sich die Stromlinien statistisch

sichtbar machen. Eine Voraussetzung für die Anwendung der Methode besteht darin, daß der reflektierende Stoff so feinkörnig sein muß, daß er der Strömung praktisch folgen kann, ohne zurückzubleiben. Mit wachsender Kornfeinheit des reflektierenden Spuranzeigers nehmen auch die Schwierigkeiten des Photographierens zu, es muß also ein Indikator gewählt werden, der noch photographierbar ist und auch der Strömung entsprechend folgen kann. Nach langwierigen Versuchen, Untersuchungen und gründlichen Erwägungen wurden die Versuche schließlich mit *Lycopodium* (Bärlapp) als Indikator angesellt.

Langwierige Versuche mit nicht reflektierenden sondern Licht absorbierenden Stoffen blieben erfolglos. Zunächst wurden feine, matte Pulverfarben sowie sehr fein gemahltes Holzkohlenpulver erprobt, doch gaben diese in die Strömung eingebrachten absorbierenden Stoffe keine so große Deckung, daß man mit ihrer Hilfe die Strömung hätte photographieren können.

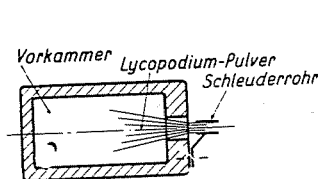


Abb. 3.1

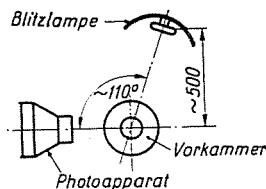


Abb. 3.2

Für die Einbringung von reflektierenden Stoffen in die Strömung ergaben sich zwei Möglichkeiten:

a) das *Lycopodium*-Pulver, das in eine vor der Vorkammeröffnung angebrachte Düse gefüllt wird (Abb. 3.1), mischt sich wirksam in die Strömung, sobald diese einsetzt;

b) das *Lycopodium*-Pulver wird auf die Abreißmembran aufgebracht und beim Aufreißen der Membran durch die aus dem Behälter strömende Druckluft mitgerissen, so daß in die Vorkammer schon die mit *Lycopodium*-Pulver gleichmäßig gemischte Druckluft einströmt.

Die tatsächlichen Messungen erfolgten unter Nachahmung der tatsächlichen Verhältnisse an einer Vorkammer mit Kreisquerschnitt. Die Fabrikationstechnologie für die druckfesten Plexi-Vorkammer wurde von Forscher József NAGY, vom Lehrstuhl für Organisch-Chemische Technologie an der Technischen Universität Budapest ausgearbeitet. Die Versuchseinrichtung ist in Abbildung 3.2 dargestellt. Die optische Achse des Photoapparats und der Blitzlichtlampe (der Blitzlichtlampen) verlief senkrecht auf die Achse der mit zwei Bohrungen versehenen Vorkammer Typ Ganz-Jendrassik.

Der dreidimensionale Verlauf der Strömung, der in der Vorkammer entstehende Strömungsvorgang läßt sich durch zweimaliges Photographieren aus aufeinander senkrechten Richtungen verfolgen; ebenso kann auf dieser Grundlage die räumliche Anordnung der Strömung rekonstruiert werden.

Eine störende Eigenschaft der runden Vorkammer ist die Reflexion, die die Auswertung der Versuche praktisch unmöglich macht. Es ist möglich, die Reflexion zu verhindern bzw. zumindest zu reduzieren dadurch, daß man vor das Objektiv des Photoapparates ein Polarisationsfilter zwischenschaltet. Abbildung 3.3 zeigt Aufnahmen ohne bzw. mit Polarisationsfilter. Obgleich

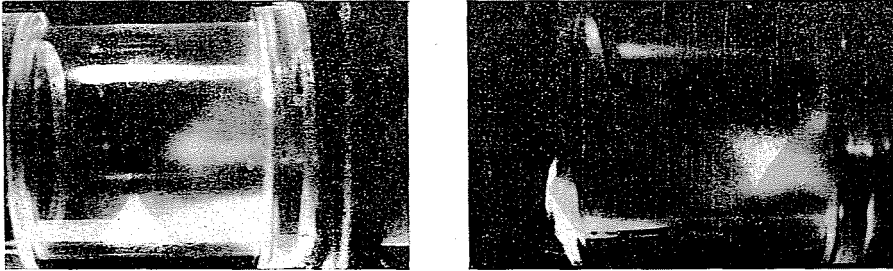


Abb. 3.3

das Polarisationsfilter die Intensität des reflektierten polarisierten Lichtes wirksam reduziert, ist es doch unmöglich, das reflektierte Licht vollständig auszuschalten. Eine Voraussetzung für die wirksame Arbeit des Polarisationsfilters besteht darin, daß der Winkel zwischen dem einfallenden und dem in das Objektiv des Photoapparates gelangenden Lichtstrahl ungefähr 110° beträgt. Die das reflektierte Licht filtrierende Wirkung des Polarisationsfilters war nach unseren Versuchen optimal, wenn die Lampe ungefähr 500 mm von der Vorkammerachse entfernt war. Wurde dieser Abstand überschritten, so stand die minimale Verbesserung der filtrierenden Wirkung in keinem Verhältnis zu der erheblichen Abnahme der in die Vorkammer einfallenden Lichtmenge.

Auch Vorkammern mit paralleler Wandung wurden einer Prüfung unterzogen, wobei die Spiegelung durch entsprechende Verstellung ohne Polarisationsobjektiv eliminiert wurde.

3.2. Schlierenoptische Beobachtung

Bei gasdynamischen Untersuchungen bedient man sich der Schlierenoptik sehr verbreitet, um die Änderung der Dichte strömender Gase zu ermitteln. Die Methode ermöglicht es, die Bewegung der Dichte- bzw. der Druckwellen sichtbar zu machen. Die einfache Schlierenmethode ist somit für Aufnahmen von Strömungsbildern für die Indikation ungeeignet, da die Bewegung der Teilchen von jener der Druckwelle abweicht. Gelingt es aber, als Indikator einen Stoff in den Meßraum einzubringen, der mit dem strömenden Medium mitströmt und dessen Dichte von der des strömenden Mittels wesentlich abweicht, so wird das Strömungsbild mit Hilfe der Schlierenoptik sichtbar. Hierzu eignet sich ein in die Strömung eingelegter und elektrisch erhitzter

dünnere Draht, von dem sich eine »Wärmespur« ablöst, die die Strömungsrichtung anzeigt. Eine solche Indikation ist dazu auch prinzipiell trägheitslos, der das strömende Medium zugleich auch den Indikator bildet.

Für die schlierenoptische Indikation muß das Vorkammermodell der Versuchseinrichtung eine Spezialausführung erhalten. Aus bekannten Gründen muß nämlich der Meßraum bei der Schlierenmethode Wände besitzen, die senkrecht auf die Strahlungsrichtung verlaufen, also z. einander parallel liegen. Eine weitere wesentliche Forderung besteht darin, daß die Dichte der Wandung konstant, ihre Fläche hingegen rißfrei sei. Ein zylindrisches Modell kann mithin nicht untersucht werden, und statt Plexiglas sind Glasplatten zu verwenden, die so einzuspannen sind, daß sie dem inneren Überdruck mit Sicherheit standhalten.

Bei unseren Versuchen spannten wir in das Vorkammermodell zwei Glühfäden aus Kanthal-Draht von 0,8 mm Durchmesser ein. Der eine von ihnen wurde unmittelbar an der Eintrittsöffnung, der andere dagegen 43 mm weiter in der Mittellinie der Vorkammer angeordnet. Das Vorkammermodell mit gläserner Seitenwand und Glühfäden ist in Abbildung 3.4 dargestellt.

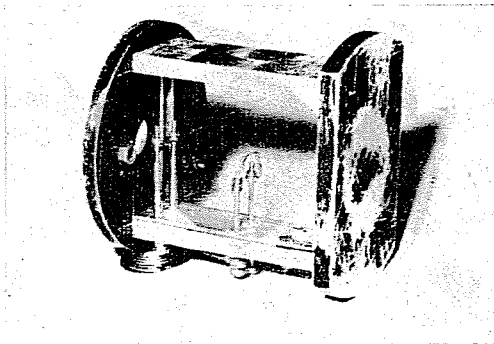


Abb. 3.4

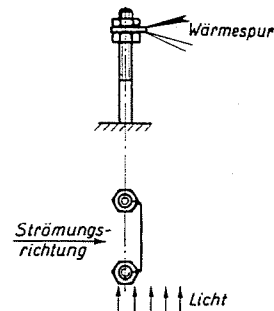


Abb. 3.5

Zweckentsprechend befestigt man den Glühfaden derart auf der Fadenhaltekonsole, daß er in Seitenansicht von der Konsole nicht verdeckt wird (Abb. 3.5). Um die Strömung eingehender untersuchen zu können, kann man im Vorkammermodell auf einmal auch mehrere Glühfäden anordnen. Ihre Zahl wird dadurch beschränkt, daß die Aufhängung die Strömung bis zu einem gewissen Grad stört.

Die Versuche wurden mit dem Schlierengerät des Lehrstuhls für Strömungslehre an der Technischen Universität Budapest durchgeführt. Das Schema und das Bild dieses Gerätes zeigen die Abbildungen 3.6a und 3.6b. Die Lichtquelle des Gerätes mußte jedoch durch eine Speziallichtquelle ersetzt

werden, da für die schlierenoptischen Lichtbildaufnahmen ebenso eine Blitzlichtquelle erforderlich ist wie bei anderen Beobachtungsmethoden.

Zur Einstellung des optischen Systems, die eine hohe Präzision erfordert, genügt die Blitzlichtlampe nicht, weshalb eine Lichtquelle mit ständigem Licht benötigt wird, wofür ein Diabildwerfer ohne Bildwerferlinse benützt wurde. Damit konnte erreicht werden, daß etwa 60 bis 70⁰/₁₀, der aus dem Diabildwerfer austretenden Lichtmenge auf das Leuchtband der Schlierenoptik auffiel. Nach dieser Einstellung des optischen Systems kann man an die Stelle der Bildwerferlampe das Blitzrohr einsetzen, das ansonsten ebenso pneumatisch

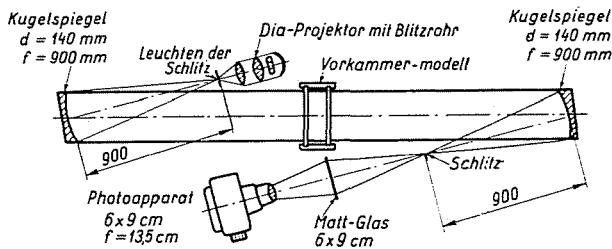


Abb. 3.6a



Abb. 3.6b

gesteuert wird wie im Falle der Beobachtung mit reflektierenden Indikatoren. Beim Auswechseln der Lampe muß man sorgfältig darauf achten, daß sich die Vorrichtung, vor allem aber der Schlitz, nicht verschiebt, da das Bild selbst den Schwingungen des Sockels gegenüber empfindlich ist.

Die Einstellung des Leuchtbandes bzw. des Schlitzes kann als optimal angesehen werden, wenn die Ebene, in der sie liegen, parallel zur Längsachse der Vorkammer verläuft. In diesem Fall müssen natürlich auch die Glühfäden in dieser Ebene bzw. parallel zu ihr gelagert sein.

4. Versuche nach dem ausgearbeiteten Verfahren

4.1. Zeitmessung

Vor allem muß die zeitliche Verschiebung der einzelnen Aufnahmen gegenüber irgendeinem Bezugszeitpunkt bekannt sein. Man eicht deshalb zweckmäßig die Verzögerung des pneumatischen Schalters wie folgt:

Die beiden pneumatischen Schalter der Abreißmembran-Vorrichtung betätigen zwei Blitzlichtlampen, deren Licht auf eine schnell rotierende Scheibe mit einer radial angebrachten weißen Marke gerichtet ist. Die Drehzahl der

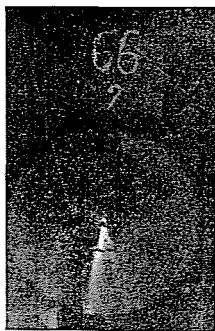


Abb. 4.1

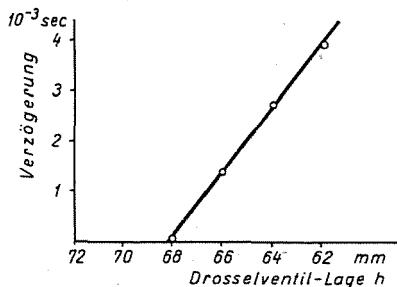


Abb. 4.2

Scheibe läßt sich genau messen. Zum Eichen dient eine Lichtbildreihe, bei deren Aufnahme die Drosselschraube des einen pneumatischen Schalters (in einem Abstand von 72 mm von der Bezugsfläche bis zur letzten Aufnahme der Serie) geöffnet bleibt, während die Drosselschraube des anderen Schalters stufenweise eingestellt wird. Auf den Aufnahmen der rotierenden Scheibe sind zwei Bilder der weißen Marke zu sehen (Abb. 4.1), entsprechend dem zweimaligen Aufblitzen. Aus der bekannten Drehzahl (n) und dem Winkel φ , der vom Lichtbild abgelesen werden kann, kann die zwischen dem Grundsignal und dem veränderlichen Signal vergangene Zeit anhand der Beziehung

$$t = \frac{\varphi}{6n} \text{ [sec]}$$

errechnet werden.

Die Eichdaten des pneumatischen Schalters, die auf diese Weise ermittelt wurden, sind dem Diagramm der Abbildung 4.2 zu entnehmen.

4.2. Versuche mit reflektierenden Indikatoren

Die Lichtbildaufnahmen der Strömung in einer runden Vorkammer bei Verwendung von Lycopodium-Pulver als Indikator sind in Abbildung 4.3 dargestellt. Die Photos sind in der Reihenfolge des Fortschreitens der Strömung angeordnet. Die einzelnen Phasen des Einströmungsvorganges wurden mit

dem Drosselventil des pneumatischen Schalters eingestellt. Wie man sieht, läßt sich durch die Einstellung des Drosselventils jede beliebige Phase der Vorkammeraufladung gut sichtbar machen.

Aus den Abbildungen können folgende Gesetzmäßigkeiten des Einströmungsvorganges festgehalten werden:

1. Durch Photographieren aus zwei aufeinander senkrechten Richtungen läßt sich die räumliche Richtung der durch die Öffnung (Öffnungen) der Vorkammer einströmenden Luft bestimmen. Die Mittellinien der Luftstrahlen, die durch die beiden Vorkammeröffnungen einströmen, schließen miteinander einen Winkel ein, was in der Vorkammer einen unbedeutenden Drehimpuls

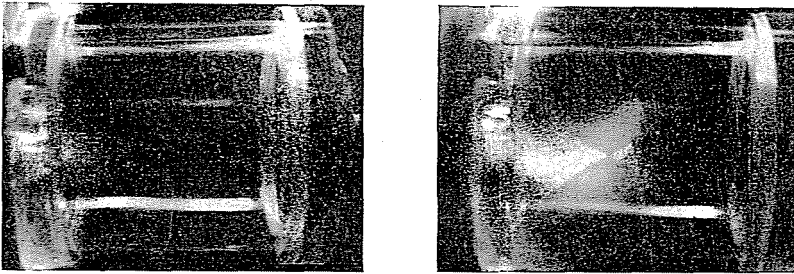


Abb. 4.3

hervorrufen. Die untersuchte Vorkammer hatte also in geringem Umfang auch den Charakter einer Wirbelkammer.

2. Aus den Aufnahmen läßt sich feststellen, daß die Aufladung der Vorkammer zunächst an den den Vorkammeröffnungen gegenüberliegenden Wänden beginnt, worauf infolge der zunehmenden Divergenz der reflektierten Druckwellen und Strahlen auch der restliche Vorkammerraum aufgeladen wird.

3. Die Aufnahmen gestatten es, nicht nur die Richtung, sondern auch die Geschwindigkeit der einströmenden Luft zu bestimmen. Durch gleichzeitige Betätigung der in Abbildung 2.3 dargestellten zwei pneumatischen Schalter sowie anhand der Zeitbestimmungsmethode mit Drehscheibe, wie sie unter Punkt 4.1 beschrieben wurde, kann man die Durchschnittsgeschwindigkeit der Strömung zwischen zwei Zeitpunkten und durch Verkürzung des Zeitintervalls auch den approximativen Momentanwert der Strömungsgeschwindigkeit ermitteln. Ohne Anspruch auf besondere Genauigkeit kann die Durchschnittsgeschwindigkeit des Mediums vom Einsetzen der Einströmung bis zum Beginn der Reflexion in der Vorkammer zu 35 bis 40 m/sec angesetzt werden. Diese verhältnismäßige niedrige Durchschnittsgeschwindigkeit weist darauf hin, daß der annähernd mit Schallgeschwindigkeit einströmende freie Strahl beim Auftreffen auf die ruhende Luft in der Vorkammer seine Geschwindigkeit infolge von Stoß, Wirbel und Reibung rasch verliert, so daß in der Vorkammer selbst nur noch mäßige Strömungsgeschwindigkeiten zustande kommen.

4.3. Versuche mit schlierenoptischer Beobachtung

Bei den Versuchen nach der Schlierenmethode mußten an der Prüfvorrichtung folgende Veränderungen vorgenommen werden: das zylindrische Vorkammermodell wurde gegen ein Modell mit paralleler Wandung ausgetauscht, in dem sich, wie bereits erwähnt, zwei Glühfäden befanden. Selbstverständlich entfiel auch der Pulver-Indikator, während der Photoapparat mit der unter Punkt 3.2 beschriebenen schlierenoptischen Vorrichtung ersetzt wurde.



Abb. 4.4

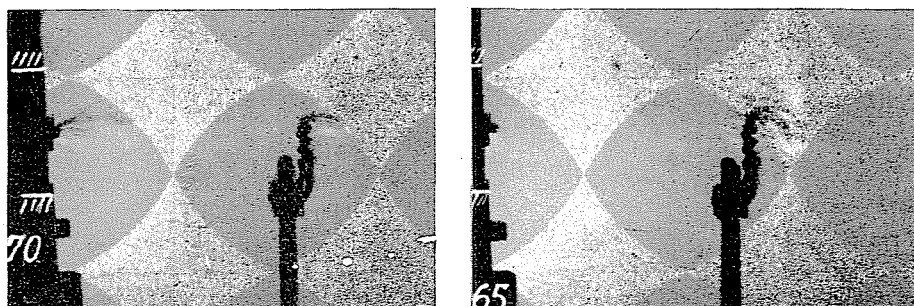


Abb. 4.5

Die Arbeitsweise des schlierenoptischen Systems veranschaulicht Abbildung 4.4, die beim stationären Anblasen der Vorkammer aufgenommen wurde. Auf der Aufnahme läßt sich die Wirkung »der Wärmespur« gut erkennen. Hinter dem Glühfaden (links im Bilde, an der Eintrittsöffnung der Vorkammer sind die Glühfäden mit weißen Punkten gekennzeichnet) bleibt in der Strömungsrichtung ein warmer — also weniger dichter — »Luftkeil« zurück. Die Kante des Keiles stellt der Glühfaden dar, der senkrecht auf die Strömungsrichtung liegt. Die Flächen des »Keiles« trennen in der Kammer die kalten und warmen Lufträume, an diesen Flächen brechen sich also die Lichtstrahlen und erzeugen das schlierenoptische Bild.

Die Abbildung 4.5 zeigt schlierenoptische Photoaufnahmen, die nach dem geschilderten Verfahren in den verschiedenen Einströmungsphasen ange-

fertigt wurden. Auf den Bildern ist maßstabgerecht die Stelle der Vorkammerbohrung ersichtlich, auch können die Zahlen abgelesen werden, die die Stellung der Drosselschraube für die pneumatische Verzögerung anzeigen. Diese Zahlen geben im Sinne des Diagramms in Abb. 4.2 die zeitliche Verschiebung der einzelnen Phasen an.

Bei der Verzögerung von 70 mm hat die Einströmung bereits eingesetzt, wobei die Richtung der Strömung mit der Mittellinie der Kammer übereinstimmt. In der Phase, die dem Wert von 69 mm entspricht, ist die Strömungsrichtung der Richtung der vorerwähnten Phase praktisch gleich. (Hier ist zu bemerken, daß diese Übereinstimmung in erster Linie dem symmetrischen Vorkammermodell mit einer Bohrung zuzuschreiben ist; bei einer Vorkammer mit zwei Bohrungen hätte der Unterschied der Phasen im nicht symmetrischen Fall ein interessanteres Resultat ergeben.)

Bei einer Verzögerung von 65 mm sieht man gut, daß die Einströmung aufgehört hat, in der Kammer beinahe Ruhe eingetreten und nur in der Mitte der Kammer eine schwache, nach unten gerichtete Strömung vorhanden ist.

Die Vergrößerung der im Vorkammermodell angebrachten Glühfäden sowie die Erhöhung der Zahl der Aufnahmen ermöglicht eine detailliertere Aufnahme des Strömungsbildes.

Zusammenfassung

Der Beitrag behandelt die Möglichkeiten der experimentellen Prüfung jener instationären Strömungen, die sich in Dieselmotor-Vorkammern abspielen. Die Verfasser haben für die Untersuchung dieser Probleme eine experimentelle Meßmethode ausgearbeitet, die auf der Indikator- und der Schlierenmethode basiert. Sie beschreiben die Messungen, die sie zwecks Erprobung des Verfahrens mit einer selbstgebauten Vorrichtung vorgenommen haben, um auf deren Grundlage die instationären Strömungsverhältnisse in einer als Beispiel angeführten Vorkammer Typ Ganz-Jendrassik auszuwerten. Anhand der Messungen ziehen sie Schlußfolgerungen auf die Richtung, auf die Durchschnitts- bzw. auf die momentane Geschwindigkeit der in die Kammer einströmenden Druckluft sowie auf den Prozeß der Vorkammeraufladung.

E. PÁSZTOR, }
I. KALMÁR, } Budapest XI., Műegyetem rakpart 3. Ungarn