

# Gedanken zur Vereinheitlichung der Brennraumform in Dieselmotoren der Landwirtschaft

Von Dipl.-Ing. W. BOHRISCH

DK 621.436:631.37

## 1. Allgemeines

Durch die fortschreitende Mechanisierung der Landwirtschaft gewinnen Dieselmotoren kleiner und mittlerer Leistungen immer mehr an Bedeutung. Diese Motoren sollen den Belangen der Landwirtschaft entsprechend vielseitig verwendbar und für die verschiedensten Einsätze geeignet sein. Benötigt werden also robust gebaute und einfach und zuverlässig arbeitende Motoren.

Wie u. a. auch die diesjährige Leipziger Frühjahrsmesse zeigte, ist die Industrie diesem Wunsche weitgehend nachgekommen und bietet eine ganze Reihe durchaus brauchbarer Motoren an. Auffallend ist an diesen Maschinen, daß sie verschiedene Brennräume aufweisen und demzufolge auch verschiedene Arbeitsverfahren zur Grundlage haben. Im Sinne einer Vereinheitlichung der Bedienung und vor allem auch der Ersatzteilbeschaffung erscheint es zweckmäßig, sich nur auf ein einziges Arbeitsverfahren zu beschränken, insbesondere weil die bestehenden Unterschiede der einzelnen Verfahren nicht von so grundlegender Bedeutung sind.

Im folgenden soll auf die durch die Brennraumform bedingten Unterschiede näher eingegangen werden.

Bei der Anwendung des Dieselprinzips stehen grundsätzlich zwei Arbeitsverfahren mit ihren jeweiligen Abarten zur Verfügung:

- a) Direkte Einspritzung in den Brennraum und
- b) Einspritzung in einen Teilbrennraum, wie Wirbel- oder Vorkammer.

Die mit diesen beiden Arten verbundenen Vor- und Nachteile lassen sich am besten gegenüberstellen, wenn die durch die Brennraumgestaltung verursachten Verluste betrachtet werden.

## 2. Wärmeverluste

Ein merklicher Unterschied zwischen beiden Arbeitsverfahren besteht in der Höhe der Wärmeverluste, die in dem verschiedenen spezifischen Brennstoffverbrauch sichtbar in Erscheinung treten. Die Wärmeverluste selbst sind eine Funktion einer ganzen Reihe von Faktoren, von denen die Wärmeübergangsflächen, die Wärmeübergangszahlen und die Gastemperaturen wohl die wichtigsten sind.

Hinsichtlich der für die Wärmeabfuhr zur Verfügung stehenden Flächen ist die idealste Brennraumform die Halbkugel, bei der die Oberfläche ein Minimum aufweist. Da diese Gestaltung meist aber nur in Ausnahmefällen realisierbar ist, kommt bei direkter Einspritzung häufig ein Brennraum in Form eines

Zylinders oder eines Kegels zur Anwendung. Auch diese Art ist in bezug auf die Oberfläche dem Wirbel- bzw. Vorkammerverfahren mit ihren zerklüfteten Brennräumen und dadurch erheblichen Flächen klar überlegen.

Eine ähnliche Überlegenheit ergibt sich beim Vergleichen der Wärmeübergangszahlen, die in der Hauptsache von der Gasgeschwindigkeit, dem Gasdruck und der Kolbengeschwindigkeit abhängig sind. Motoren mit unterteiltem Brennraum weisen gerade in der Nähe des oberen Totpunktes, beim Überströmen der Gase vom Teil- in den Hauptbrennraum, beträchtliche Gasgeschwindigkeiten auf, die nicht zuletzt Ursache der unerwünschten Wärmeabfuhr sind. Bei direkter Einspritzung in den Hauptbrennraum entfallen diese hohen Gasgeschwindigkeiten. Die Wärmeübergangszahlen und damit auch die Wärmeverluste sind kleiner.

Einwandfreie Ergebnisse über den Einfluß des Gasdruckes, der aber von geringerer Bedeutung ist als die Gasgeschwindigkeit, sowie der Kolbengeschwindigkeit auf den Wärmeübergang in Verbrennungsmotoren liegen nicht vor. Auch die von *Nusselt* aufgestellte Wärmeübergangsformel ist nur innerhalb bestimmter Grenzen anwendbar. Deshalb soll auf diesen Einfluß nicht näher eingegangen werden. Die Kolbengeschwindigkeit kann überhaupt unberücksichtigt bleiben, da die Vergleiche auf der Grundlage gleicher Kolbengeschwindigkeit vorgenommen werden.

Bleiben schließlich noch die Gastemperaturen zu betrachten, da die Wärmeabfuhr nicht nur eine Funktion der Oberfläche und der Wärmeübergangszahlen ist, sondern auch in hohem Maße vom Temperaturgefälle abhängt, das maßgeblich von der Höhe der Gastemperaturen bestimmt wird. Die direkte Einspritzung zeigt sich auch in dieser Hinsicht überlegen. Bei der Anwendung dieses Verfahrens ist man gezwungen, mit größerem Luftüberschuß zu arbeiten als bei Motoren mit unterteiltem Brennraum. Durch die hohen Luftverhältniszahlen werden dem Prozeß größere Mengen Stickstoff zugeführt, der zwar an der Verbrennung selbst keinen Anteil hat, aber durch seine Anwesenheit hohe Temperaturen verhindert. Das die Wärmeabfuhr mit bestimmende Temperaturgefälle wird dadurch klein gehalten.

Zusammenfassend kann zum Wärmeverlust gesagt werden: Jeder Wärmeentzug vom arbeitenden Gas, besonders in der Nähe des oberen Totpunktes, bedeutet einen Verlust an effektiver Arbeit. Die direkte Einspritzung zeigt sich auf Grund obiger Ausführungen gegenüber den anderen Verfahren eindeutig überlegen. Zum Ausdruck kommt diese Tatsache im niedrigen spezifischen Kraftstoffverbrauch  $b_e$ , der in der Größenordnung von 155 bis 180 [g/PS<sub>h</sub>] liegt. Bei Motoren

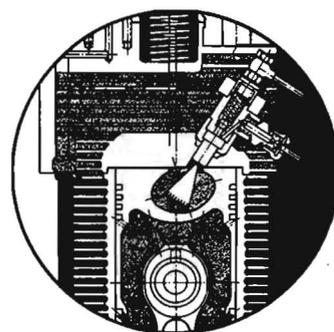
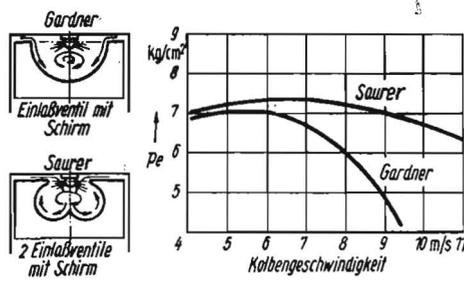
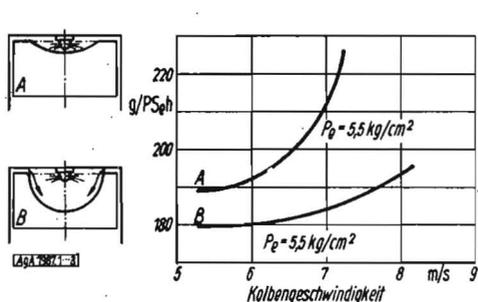


Bild 1. Spezifischer Kraftstoffverbrauch für zwei in ihren Verbrennungsräumen verschiedene Hochleistungsmotoren über der mittleren Drehzahl (Kolbengeschwindigkeit)

Bild 2. Mittlerer effektiver Nutzdruk des Gardner- und Saurermotors in Abhängigkeit von der mittleren Kolbengeschwindigkeit

Bild 3. Brennraum des luftgekühlten Dieselmotors von Fendt, Marktoberrdorf

mit unterteiltem Brennraum dagegen werden Werte von 170 [g/PS<sub>h</sub>] nicht unterschritten. Vom Standpunkt des sparsamsten Betriebes aus betrachtet, ist demzufolge einem Motor mit direkter Einspritzung der Vorzug zu geben.

### 3. Verluste durch die Gemischbildung

Die Güte der Gemischbildung findet ihren sichtbaren Ausdruck in der Höhe des mittleren effektiven Nutzdruckes  $p_e$  [kg/cm<sup>2</sup>]. Bei direkter Einspritzung werden Werte bis zu 7,0 [kg/cm<sup>2</sup>] erreicht, während bei Maschinen mit unterteiltem Brennraum solche um 8,0 [kg/cm<sup>2</sup>] gebräuchlich sind und in Sonderfällen sogar bis 9,0 ansteigen können. Die Gemischbildung ist also bei den letzteren die bessere. In diesem Falle findet eine gute Verwirbelung der Luft durch die Vor- bzw. Wirbelkammer statt und der Kraftstoff findet überall im Brennraum die zu seiner restlosen Verbrennung notwendigen Sauerstoffmengen vor. Bei dieser Makro-Gemischbildung ist die Einspritzdüse nur von sekundärer Bedeutung, denn der Sauerstofftransport an den Brennstoff wird von der Turbulenz der Luft übernommen. Man kommt deshalb in vielen Fällen mit Luftverhältniszahlen von  $\lambda = 1,2$  aus. Ein hoher mittlerer Nutzdruck  $p_e$  [kg/cm<sup>2</sup>] ist die Folge.

Trotz dieser guten Gemischbildung erreicht der Gütegrad des Brenngesetzes nicht die Höhe wie bei der direkten Strahleinspritzung. Die Ursache ist, besonders bei hohen Kolbengeschwindigkeiten, in der zu langen Durchbrennzeit zu suchen, die sich bis weit nach dem oberen Totpunkt erstreckt und dadurch zusätzliche Wärmeverluste hervorruft.

Anders liegen die Verhältnisse bei der direkten Strahleinspritzung. Hier ist die gesamte Gemischbildungsarbeit aus dem Brennraum herausgenommen und in die Düse verlegt worden. An diese werden also in bezug auf eine feine, nebelartige Zerstäubung des Brennstoffs besondere Anforderungen gestellt. Trotz Spezialdüsen ergibt sich immer noch eine ungünstigere Gemischbildung, die den Betrieb mit größerem Luftüberschuß nötig macht. Ein etwas niedrigerer mittlerer effektiver Nutzdruck ist die Folge.

Dieses Verfahren ergibt durch die kürzere Durchbrennzeit einen etwas günstigeren Gütegrad des Brenngesetzes. Nachteilig wirkt sich hier allerdings die sehr rasche Energieumsetzung gleich zu Beginn der Verbrennung aus, gekennzeichnet durch die hohen Gasspitzen drücke mit ihren ungünstigen Folgen, nach außen hörbar durch den harten Gang der Maschine.

### 4. Strömungstechnische Überschiebverluste, Triebwerkreibung

Die erste Art von Verlusten tritt lediglich bei Motoren mit zerklüftetem Brennraum auf. Sowohl während der Verdichtung als auch während der Expansion muß die Luft bzw. das Gas von einem Brennraum in den anderen überschoben werden. Dazu ist eine ganz bestimmte Arbeit notwendig, die bei ungünstiger konstruktiver Ausbildung (großer Teilbrennraum oder enger Verbindungskanal) und bei hohen mittleren Kolbengeschwindigkeiten ganz erhebliche Werte annehmen kann, Werte, die oftmals den Hauptteil aller Verluste ausmachen. Das Fehlen dieser Verluste bei direkter Einspritzung ist ein nicht unerheblicher Vorteil dieses Verfahrens.

Hinsichtlich der Triebwerkreibung, verursacht durch die Brennraumform, können beide Verfahren als annähernd gleichwertig angesehen werden. Der etwas erhöhten Triebwerkreibung durch hohe Gasspitzen drücke bei der direkten Einspritzung steht eine etwa gleiche Erhöhung durch hohe mittlere Nutzdrücke bei indirekter Einspritzung entgegen, so daß ein nennenswerter Unterschied zwischen beiden Verfahren nicht besteht.

### 5. Schlußbetrachtung

Jedes der beiden betrachteten Arbeitsverfahren hat seine Vor- und Nachteile und seine ihm eigenen Verluste. Es hat sich als unmöglich erwiesen, alle Verluste gleichzeitig auf ein Minimum zu reduzieren. Deshalb stellen die heute bekannten Motoren Kompromißlösungen dar, die den einen oder anderen Verlust bewußt in Kauf nehmen, um entweder einen hohen effektiven

Nutzdruck (Wirbel- bzw. Vorkammer) oder aber einen niedrigen spezifischen Brennstoffverbrauch (direkte Einspritzung) zu erreichen.

Die aus den beiden Grundverfahren entwickelten Abarten versuchen, beide Grenzfälle (niedriger Verbrauch, hoher mittlerer Nutzdruck) möglichst in einem einzigen Motor zu vereinigen. Dem Verfahren der direkten Einspritzung kommt in diesem Zusammenhange eine immer größer werdende Bedeutung zu. Aussichtsreiche Wege, vor allem von MAN und von Saurer aufgezeigt, werden schon heute von einer ganzen Reihe von Herstellern beschritten. Die Gemischbildungsarbeit wird nicht mehr allein der Einspritzdüse übertragen, sondern sie wird zum Teil in den Kolbenboden verlegt. Dieser besitzt Ausfräsungen in geeigneter Form, die bei der Kolbenbewegung eine Zirkulation der Luft hervorrufen (Bild 1 bis 3). Während der Düse in diesem Falle nur die Strahlaufbereitung zufällt, übernimmt die Luftbewegung den Sauerstofftransport an den Kraftstoffstrahl. Zusätzlich kann der Luft durch an Einlaßventilen angebrachte Richtschirme von vornherein eine bestimmte Strömungsrichtung vorgeschrieben werden, die die Gemischbildungsarbeit noch vergrößert. Durch alle diese Maßnahmen wird zwar die Luftverhältniszahl und damit auch der mittlere Nutzdruck von Maschinen mit unterteiltem Brennraum nicht ganz erreicht, zumindest kommt man ihm aber recht nahe. Bestehen bleibt der vor allem für die landwirtschaftlichen Betriebe ausschlaggebende günstige Brennstoffverbrauch, der von keinem anderen Motor erreicht wird.

Die Bilder 1 und 2 zeigen Diagramme des spezifischen Verbrauchs und des mittleren Nutzdrucks bereits ausgeführter Motoren. Bild 3 stellt den Schnitt eines nach soeben aufgeführten Gesichtspunkten konstruierten Brennraumes von Fendt dar.

Außer den bisher geschilderten Tatsachen, die den Motor mit direkter Einspritzung in den sich im Kolbenboden befindlichen Brennraum als den für die Zukunft maßgeblichen prädestinieren, ergeben sich noch einige andere nicht zu unterschätzende Vorteile.

Durch die zentrale Lage des Brennraums im Kolben ergeben sich auch bei Kälte gute Starteigenschaften, die sich durch eine Einspritzverstellung noch erhöhen lassen. Durch den Wegfall von Vor- bzw. Wirbelkammern im Zylinderkopf wird dieser in seiner baulichen Gestaltung einfacher und in der Herstellung billiger. Außerdem entfallen thermisch hoch belastete Stellen. Es ergibt sich eine über die gesamte Kühlfläche gleichmäßig verlaufende Temperaturverteilung.

In Anbetracht der mit der direkten Strahleinspritzung bereits erzielten Ergebnisse sollte zumindest für die Dieselmotoren der Landwirtschaft der Entschluß gefaßt werden, in Zukunft nur noch dieses Verfahren anzuwenden. Dieser im Sinne der Vereinheitlichung liegende Schritt würde von vielen Stellen begrüßt werden.

### Literatur

- [1] Dreyhaupt, F.: Vorgänge im Verbrennungsraum beim Lanowa-Dieselmotor. Deutsche Kraftfahrorschung, Zwischenbericht 13.
- [2] Dreyhaupt, F.: Eine neue Theorie der motorischen Zündvorgänge auf Grund besonderer molekularer-physikalischer Betrachtungen. Forsch. Ing.-Wesen Bd. 13, (1940).
- [3] Heldt, P. M.: Schnellaufende Dieselmotoren.
- [4] List, H.: Thermodynamische Untersuchungen an schnellaufenden Dieselmotoren. Deutsche Kraftfahrorschung (1944), H. 79.
- [5] List, H.: Wirkungsgrad und Verbrennungsablauf im Dieselmotor. Deutsche Kraftfahrorschung, Zwischenbericht 91.
- [6] Oehmichen und Bohrisch: Betrachtungen zur Brennraumgestaltung von Dieselmotoren mit kleinem Brennraum. Die Technik 6. Jahrg. (1951), H. 10.
- [7] Pischinger, A.: Gemischbildung und Verbrennung im Dieselmotor.
- [8] Säuberlich, K. F.: Einfluß der Luftbewegung auf die Ausbildung des Kraftstoffstrahls in der Wirbelkammer. Deutsche Kraftfahrorschung (1943), H. 76.
- [9] Seifert, A.: Prüfstandsuntersuchungen an einem wassergekühlten Einzylinder Zweitakt-Dieselmotor. MTZ Jahrg. 11, (1950), Nr. 2.
- [10] Schmidt, E.: Beiträge zur Kenntnis der Vorgänge in der Vorkammer-Dieselmotoren. Dissertation.
- [11] Ullmann, K.: Die Verluste bei der Gemischbildung und Verbrennung im Motor und Betrachtungen über die Schnellaufigkeit der Motoren. Deutsche Kraftfahrorschung, Zwischenbericht 91.
- [12] Ullmann, K.: Einfluß der Luftbewegung und Strahlaufbereitung durch die Düse und Verbrauch eines schnellaufenden Wirbelkammermotors. Deutsche Kraftfahrorschung, Zwischenbericht 111.
- [13] Zimmer, K.: Gemischbildung im Saurer-Dieselmotor. Deutsche Kraftfahrorschung (1939), H. 24.