

Problemdiskussion:

Kreiskolben- und Hubkolbenmotor

Die Arbeit von Dr.-Ing. H. Dietrich „Vergleich des Kreiskolbenmotors System NSU-Wankel mit dem Hubkolbenmotor“ in der KFT 12/70 hat die verschiedensten Diskussionen ausgelöst. Neben der Erörterung der Ergebnisse gab es sowohl kategorische Ablehnung der Schlußfolgerungen als auch vollinhaltliche Zustimmung. Selbst unsere kurze Notiz über die seinerzeitige Dissertation in der KFT 9/70 fand ihr Echo, und es wurden z. B. westdeutsche Pressestimmen laut, die sich den geäußerten Vorbehalten anschlossen [1].

Durch das Abkommen des General-Motor-Konzerns mit den Wankelmotor-Lizenzgebern [2] kam das Antriebssystem mit den kreisenden Kolben wieder stärker ins Gespräch. Ungewiß ist noch immer, ob Citroën den neuen Mittelklassetyp GS wie geplant wahlweise auch mit Wankelmotor anbieten wird, nachdem der nur in 500 Exemplaren gebaute Prototyp M 35 mit einem Einscheibenmotor dieser Bauart ausgerüstet war, oder ob man beim Boxermotor herkömmlicher Konzeption bleiben wird.

Bei Daimler-Benz hat der Wankelmotor auch keine weitere Verbreitung gefunden. Das neue Coupé Mercedes 350 SL ist mit einem V8-Viertaktmotor, also einem Vertreter der modernen

Hubkolbenkategorie, und nicht wie verschiedentlich erwartet, mit einem Wankel-Triebwerk ausgerüstet. Die Weiterentwicklung des Versuchs- und Demonstrations-Boliden C 111 brachte zwar den Einbau eines Vierscheiben- statt des bisherigen Dreisheibenmotors, aber noch keine Produktionsabsichten des Stuttgarter Werkes zum Ausdruck.

Besondere Anstrengungen auf diesem Gebiet unternehmen die japanischen Kraftfahrzeugtechniker. Dort beteiligen sich nicht nur drei Automobilwerke an der Wankel-Lizenz-Produktion, sondern auch ein Motorradhersteller (Suzuki [2]). Noch überwiegen allerdings auch hier die Hubkolbenmotoren. Die 50 000 bis 60 000 KKM, die bei Toyo Kogyo jährlich produziert werden sollen, sind ausschließlich für Sonderfahrzeuge mit Exklusivcharakter bestimmt, bei denen die Wirtschaftlichkeit dem sog. Repräsentationswert nachgeordnet ist.

Wenn wir hier nun eine kritische Lesermeinung zu den Veröffentlichungen in der KFT und eine Stellungnahme von Dr.-Ing. H. Dietrich publizieren, dann mit der Absicht, neuere Gedanken und Erkenntnisse zum Meinungsstreit um dieses Thema beizusteuern. Die Redaktion

Dipl.-Ing. D. Kümpel, Karl-Marx-Stadt, schrieb uns:

Als schwerwiegender Nachteil des Beitrages in der KFT 12/70 erscheint, daß viele vergleichenden Betrachtungen und Untersuchungen zwischen Kreis- und Hubkolbenmotor bei einer definierten Vergleichsdrehzahl durchgeführt wurden. Das ist für den unmittelbaren Vergleich zunächst richtig, schließt aber Vergleiche beider Motorengattungen in ihrem jeweils günstigsten Arbeitsbereich aus, falls dieser nicht bei der angenommenen Vergleichsdrehzahl liegt. Dabei besteht die Gefahr, daß für den jeweiligen HKM die günstigsten Kennwerte, die bei bestimmten Drehzahlen erzielt werden, zum Vergleich herangezogen werden und der KKM in die „Zwangsjacke“ der dementsprechenden Vergleichsdrehzahlen gezwängt wird. (Falls nach diesem Schema die Gasturbine untersucht würde, könnte es passieren, daß diese sich überhaupt nicht dreht.) Aussagen oder Hinweise auf Untersuchungen über praktisch erreichbare Grenzdrehzahlen von KKM und die dabei nutzbaren Drehmoment-Drehzahl-Bänder sowie die anderen zum Vergleich herangezogenen Kennwerte fehlen in der Veröffentlichung. In diesem Zusammenhang

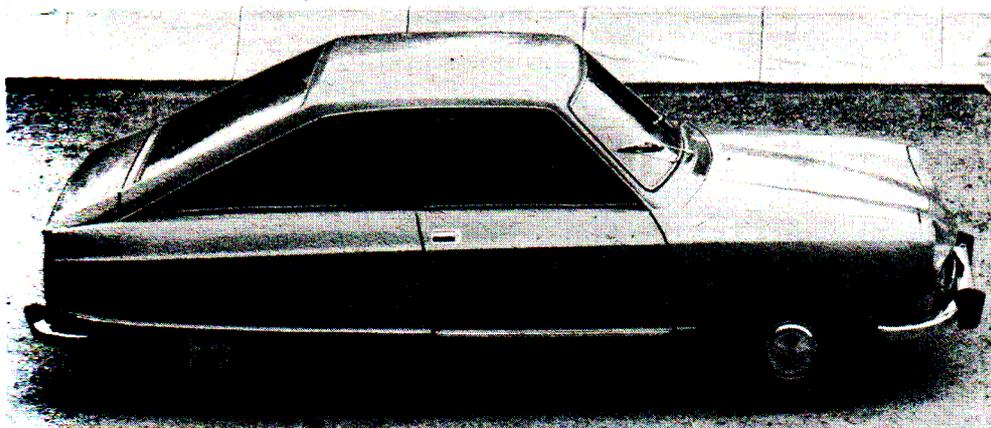
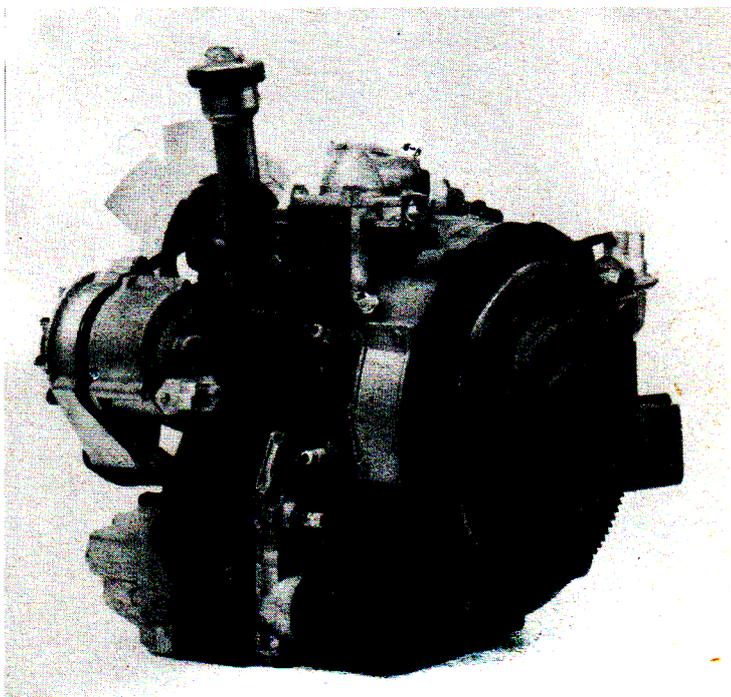
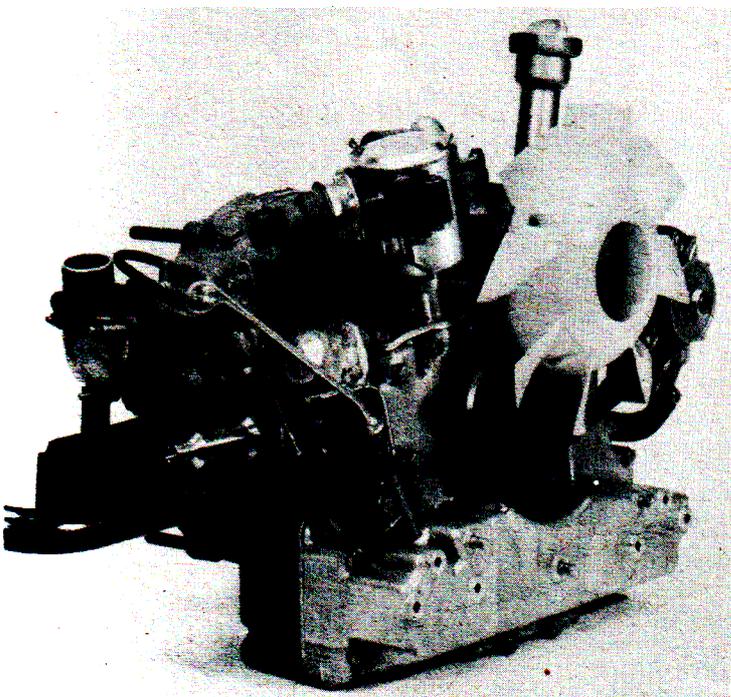


Bild 1 Citroën M 35, ein Prototyp mit Einscheiben-Kreiskolbenmotor System NSU-Wankel. Nur 500 Exemplare wurden gebaut und laufen als „Großversuch in Kundenhand“. Gegenüber dem Ami 8 (Zweizylinder-Boxer) stieg die Masse um 90 kg auf 815 kg. Die Höchstgeschwindigkeit wird mit 144 km/h angegeben

Bilder 2 und 3 Motor des Citroën M 35. Man erkennt die Einscheiben-Baueinheit, für die 49 PS bei 5 500 U/min sowie 7 kpm bei 2 745 U/min angegeben werden (332 cm³ Kammer-volumen). Citroën benötigte hierfür einen größeren Einbau-raum als für den Zweizylinder-Viertakt-Boxermotor, der sonst an dieser Stelle in Ami 8 sitzt. Das Ersatzrad mußte deshalb aus dem Motorraum herausgenommen werden. Allerdings ist die Wankelmotoren-Leistung wesentlich höher



... bemerkt, daß Diagramme (MFD) vermaßt wurden.

Der Autor vertritt die Ansicht, daß ... keine grundlegenden Unterschiede bei der Gemischbildung und Füllung des Arbeitsraumes... beider Motorenarten bestehen. Da die Gemischaufbereitung bei Eintritt der Frischgase in den Brennraum durchaus noch nicht abgeschlossen ist, wird die Gasbewegung im Brennraum von wenn auch vermutlich nur geringem Einfluß auf dieselbe sein. Bezüglich der Füllung sind beim KKM andere Verhältnisse zu erwarten als beim HKM, insbesondere hinsichtlich Füllungsgrad und Spülverlusten. Diese Meinung ist damit zu begründen, daß der sog. „schädliche Raum“ bei beiden Motorenarten nach Form und Größe unterschiedlich sein dürfte.

Zum Vergleich der mittleren Kolbengeschwindigkeiten beider Motorenarten erhebt sich die Frage, ob ein derartig durchgeführter Vergleich nur nach dem Betrag der Geschwindigkeiten, ohne Beachtung der Richtung derselben, aussagekräftig ist. Wenn der Autor zu dem Ergebnis kommt, daß die mittleren Kolbengeschwindigkeiten des KKM durchschnittlich doppelt so groß sind wie die des HKM, wäre dem unbedingt hinzuzufügen, daß die Änderung der Kolbengeschwindigkeit je Arbeitsspiel (Bild 12 KFT 12/70, S. 361) beim HKM etwa doppelt so groß ist wie beim KKM, wobei sich beim HKM noch je Arbeitsspiel die Richtung ändert. (Bekanntlich ist das einer der Gründe für die begrenzte Lebensdauer von Kolbenringen.)...

... Allerdings bedarf die in ihrer nicht nur zeitlichen Uneingeschränktheit doch wohl als kühn zu bezeichnende Schlußfolgerung des Autors, der KKM System NSU-Wankel sei als Kraftfahrzeugantrieb nicht geeignet, noch einer kritischen Betrachtung. Die Eignung des KKM als Kraftfahrzeugantrieb lehnt der Autor wegen thermodynamischer Nachteile ab, die zu einem höheren spezifischen Kraftstoffverbrauch führen. Konstruktive und technologische Gesichtspunkte sowie Fragen der Masse und des Raumbedarfs von Antrieben scheinen dabei keine Rolle zu spielen. Dabei dürften gerade solche Gesichtspunkte ausschlaggebend gewesen sein für die Wahl von Otto-HKM als PKW-Antrieb bzw. von Zweizylinder-Zweitakt-Motoren als Kleinwagenantrieb.

Der Meinung des Autors, geringer Raumbedarf und geringe Masse des Antriebes seien u. a. bei Motorbooten von überragender Bedeutung, bei Kraftfahrzeugen hingegen nicht, ist heftig zu widersprechen. Bei der Fahrt von Motorbooten spielen Wechsel der Fahrgeschwindigkeiten eine relativ geringe Rolle. Dagegen besteht der moderne Stadtverkehr mit Kraftfahrzeugen überwiegend aus Beschleunigen und Bremsen, wie jedes Fahrtenschreiberdiagramm zeigt; und Beschleunigungskräfte sind Massenkräfte! Im außerstädtischen Verkehr sind häufig Steigungen mit möglichst unverminderten Geschwindigkeiten zu befahren. Dabei ist die Fahrzeugmasse entgegen der Erdanziehung vertikal zu beschleunigen; damit treten wieder Massenkräfte auf. Die Fahrzeugmasse hat keinen Einfluß auf den spezifischen Kraftstoffverbrauch des Fahrzeugs im Fahrbetrieb.

Vergleicht man in Tafel 1 des Beitrages in der KFT 12/70, S. 362, die Trockenmasse (mit Füllmengen könnte das Verhältnis wegen des geringeren Volumens des KKM sich zu dessen Gunsten weiter verschieben) des KKM 550 UE mit der des Audi M 118 (vom MAN-FM fehlen entsprechende Angaben), so weist der KKM eine um 62 kg geringere Masse auf. Bei einem modernen Fahrzeug dieser Leistungsklasse könnten das nahezu 10% der Gesamtmasse sein. Bei entsprechend raumsparender Gestaltung des Motorraumes eines KKM-getriebenen Fahrzeuges könnte die Fahrzeugmasse weiter gesenkt werden, so daß hierdurch der Nachteil des höheren spezifischen Kraftstoffverbrauches im Fahrbetrieb weitgehend wettgemacht sein dürfte, das Fahr-

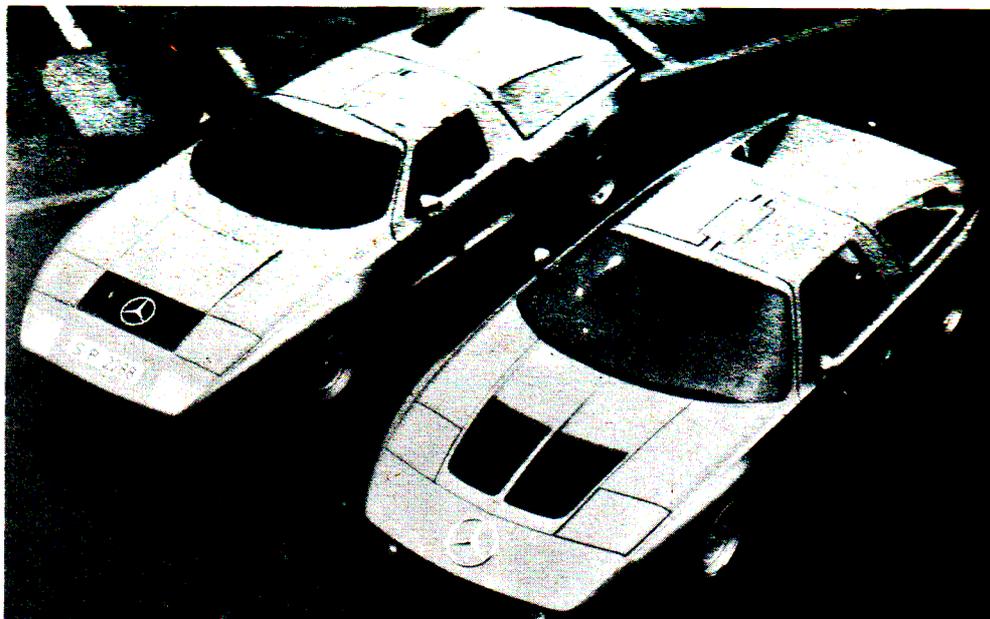


Bild 4 Der überarbeitete Mercedes-Benz C 111 (rechts) hat jetzt einen Vierscheiben-Wankelmotor. Höchstgeschwindigkeit des Versuchs- und Demonstrationsobjekts (1 240 kg) 300 km/h

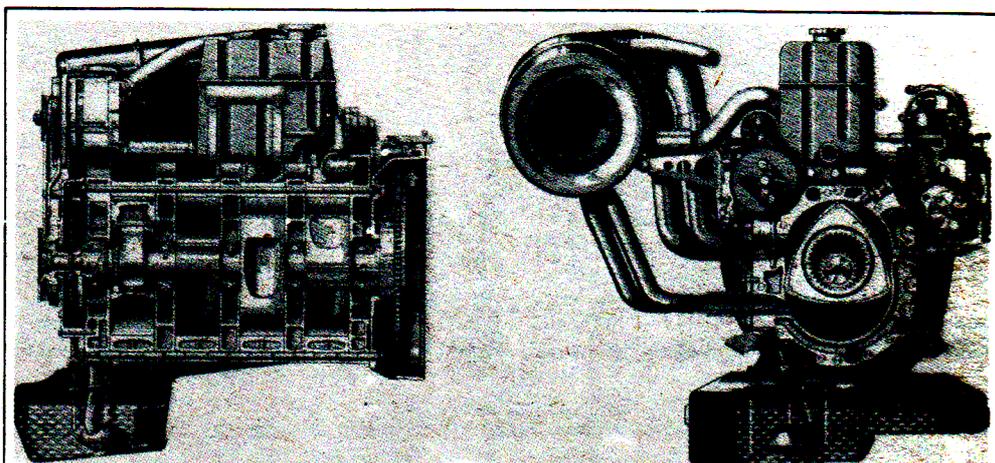


Bild 5 Schnittdarstellungen des Vierscheiben-MB-Wankelmotors (4 x 600 cm³ Kammervolumen). 350 PS bei 7 000 U/min und 40 kpm bei 4 000 bis 5 500 U/min werden werksseitig angegeben

zeug aber verkehrsraumsparender aufgebaut sein könnte.

Der effektive Wirkungsgrad eines Motors als Kriterium für seine Eignung als Kraftfahrzeugantrieb scheint vom Autor falsch bewertet zu sein. Antriebe für Kraftfahrzeuge geringer Leistung (Mopeds, Motorräder u. ä.) werden im allgemeinen nach Masse und Raumbedarf ausgelegt (z. B. Einzylinder-Zweitaktmotor), der Wirkungsgrad spielt eine weniger betonte Rolle. Antriebe für Fahrzeuge großer Leistung (Nutzfahrzeuge, aber auch Schiffs- und Lokomotivantriebe) wählt man nach dem Wirkungsgrad. Fragen der Masse und des Raumbedarfs werden erst in zweiter Linie gesehen. Im PKW europäischen Zuschnitts hat sich trotz eindeutiger Vorteile im spezifischen Kraftstoffverbrauch der Dieselmotor nur für bestimmte, beschränkte Einsatzzwecke gegenüber dem Ottomotor durchgesetzt, weil seine Vorteile nur unter bestimmten Bedingungen, die im allgemeinen beim Normalbenutzer nicht gegeben sind, zur Wirkung kommen, wohingegen der Mehraufwand an Masse als ausschlaggebender Nachteil angesehen wird.

Angesichts bestimmter, sich abzeichnender Bau-tendenzen im PKW-Bau, nämlich der Mittelmotorbauart, ist es denkbar, daß eine Wirkungsgradverschlechterung des Mittelmotors gegenüber dem jetzigen Otto-HKM in Kauf genommen wird, um einen kleinbauenden Motor als Mittelmotor anordnen zu können und damit entscheidende fahrdynamische Vorteile zu erzielen. Gerade bei Fahrzeugen mit Mittelmotorantrieb ist derzeit das Problem der Unterbringung des Motors nicht befriedigend gelöst. Andererseits ist aber auch nicht zu erwarten, daß die Serienreife von Brenn-

stoffzelle und supraleitendem E-Motor abgewartet wird.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die Zukunft des KKM als Kraftfahrzeugantrieb in großem Maße weniger von seinem Wirkungsgrad abhängt als davon, wie die derzeitigen Probleme der Lebensdauer, Zuverlässigkeit bzw. Reparaturanfälligkeit, Fertigungs-, Werkstoff- sowie Abgasprobleme u. a. m. gelöst werden können.

Wir bitten den Autor des Beitrages in der KFT 12/70, Dr.-Ing. H. Dietrich (KDT), Wissenschaftlicher Assistent im Bereich Verbrennungsmotoren und Kraftfahrzeuge an der TU Dresden um eine Stellungnahme zu den aufgeworfenen Fragen.

Die Wahl der Viertaktvergleichsdrehzahl n_V wird oft als Nachteil empfunden. Im Beitrag in der KFT 12/70 wurde ausgeführt, daß bei gleicher Vergleichsdrehzahl die Anzahl der Arbeitsspiele je Arbeitsraum und Zeiteinheit bei beiden Motorarten gleich ist. Anders gesagt: die Zeit für ein Arbeitsspiel und auch für jeden einzelnen Arbeitstakt ist gleich. Bei gleichem Hubvolumen ist der geometrische Volumendurchsatz durch einen Arbeitsraum auch nur bei gleicher Vergleichsdrehzahl gleich. Nur die Vergleichsdrehzahl ist eine sinnvolle Vergleichsbasis, wenn Teile des Arbeitsprozesses (z. B. Heizverlauf, Bild 6 in KFT 12/70) oder drehzahlabhängige Kenngrößen (Bilder 7, 10, 11 in KFT 12/70) verglichen werden. Es ist bekannt, daß bei einem Verbrennungsmotor sowohl Grenzdrehzahlen, nutzbarer Drehzahlbereich und auch die Drehzahlen, bei denen die günstigsten Kennwerte erzielt werden, durch konstruktive Maßnahmen in gewissen Grenzen beeinflusst werden können. Das beachtend, wurde in oben-

genanntem Artikel z. B. bei dem Vergleich des spezifischen Kraftstoffverbrauchs von HKM und KKM in Abhängigkeit von der Belastung (Bild 2 in KFT 12/70) für jeden Motor die Drehzahl gewählt, bei der der Bestverbrauch erreicht wird, und auch sonst wurden für jeden Motor die günstigsten Bedingungen (Zündzeitpunkt, Luftverhältnis) eingehalten. Bei keinem Vergleich beider Motorarten miteinander wurde der HKM bevorzugt und der KKM in eine „Zwangsjacke“ gepreßt. Ein Vergleich von Motoren miteinander wird besser auf der Grundlage des Motorkennfeldes als auf der Grundlage des Normalfahrzustands-

Diagrammes durchgeführt. Das NFD wird ja auf der Grundlage des Motorkennfeldes entwickelt. Als Ergänzung zum Beitrag in der KFT 12/70 zeigen die hier wiedergegebenen Bilder 6 und 7 Kennfelder des Motors Audi M 118 mit verbesserter Gemischverteilung [5] und des KKM 550 UE bei optimalem Luftverhältnis [4]. Zwischen beiden Motorarten bestehen tatsächlich keine grundlegenden Unterschiede hinsichtlich der Gemischbildung und Füllung. Bei beiden Motorarten entsteht wegen der Aufeinanderfolge der einzelnen Arbeitstakte im Arbeitsraum eine pulsierende Strömung in der Ansauganlage mit periodisch schwankender Strömungsgeschwin-

digkeit und periodisch schwankendem Druck. Der in der Zuschrift erwähnte Unterschied des „schädlichen Raumes“ in der Form (bei gleichem Verdichtungsverhältnis ist die Größe gleich) kann nicht als grundlegender Unterschied angesehen werden. Das gilt auch für evtl. auftretende Unterschiede im Verhältnis der dampfförmigen zur flüssigen Phase des in den Arbeitsraum eintretenden Kraftstoffs.

Im Beitrag in der KFT 12/70 wurde die Gleitgeschwindigkeit der Dichtelemente im Zusammenhang mit den mechanischen Verlusten angeführt. Für die Höhe der Reibleistung bei einem Bewegungsvorgang mit veränderlicher Geschwindigkeit ist die mittlere Geschwindigkeit eine maßgebende Größe und auch aussagekräftig, wobei hier die Richtung der Geschwindigkeit keine Bedeutung hat.

Im Beitrag in der KFT 12/70, Seite 381, wurde zusammenfassend ausgesagt, daß der KKM den HKM nicht als Antriebsquelle für das Kraftfahrzeug verdrängen kann. Zwar wurden dabei fertigungstechnische Gesichtspunkte nicht mit herangezogen; es muß aber beachtet werden, daß allein die Kraftstoffkosten für einen Motor mit normaler Lebensdauer bis zu 10mal höher liegen als die Fertigungskosten. Der Wirtschaftlichkeit beim Betreiben des Motors kommt also im volkswirtschaftlichen Sinne eine große Bedeutung zu. Diese Bedeutung wird noch dadurch erhöht, daß ein geringer spezifischer Kraftstoffverbrauch auch zu geringer Konzentration von Schadstoffen im Abgas führt. In der KFT 12/70, S. 360, Bild 7, wird für den KKM ein etwa doppelt so großer Gehalt an unverbrannten Bestandteilen (im wesentlichen Kohlenwasserstoffe) ausgewiesen als für den HKM.

Zwar gibt es Stimmen, die die heißeren Abgase des KKM und den höheren Gehalt an Kohlenwasserstoffen als Vorteil gegenüber dem HKM hinstellen, da unter diesen Bedingungen die Nachverbrennungsanlagen zur Beseitigung der Schadstoffe besser arbeiten würden. Man setzt aber dabei voraus, daß die Abgasbestimmungen der Zukunft so hart sein werden, daß sie der HKM auch nicht mehr erfüllen könne. Durch Gemischanreicherung und Verzögerung der Verbrennung lassen sich beim HKM ohne Schwierigkeiten heiße Abgase mit hohem Gehalt an Kohlenwasserstoffen erreichen. Die Entwicklung der letzten Jahre zeigt jedoch, daß es beim HKM möglich ist, die Verbrennung so zu steuern, daß die Schadstoffkonzentrationen im Abgas gegenüber dem heutigen Stand noch wesentlich abgesenkt werden kann. In diesem Zusammenhang sei auf den Beitrag von Prof. Jante im Heft 1 der KFT verwiesen [3], wo auf die Vorteile der Verbrennung im Drall eingegangen wird. Versuche im Bereich Verbrennungsmotoren und Kraftfahrzeuge, TU Dresden, zeigten, daß beim KKM eine Verbrennung im Drall mit ihren Vorteilen nicht möglich ist [4].

Grundsätzlich sind geringe Masse und geringer Raumbedarf eines Motors anzustrebende Kenngrößen. Das wird auch als ein Vorteil des KKM gegenüber dem HKM in der KFT 12/70, S. 381 herausgestellt. Wie weit großer Raumbedarf und große Masse den Vorteil eines geringen spezifischen Kraftstoffverbrauchs zunichte machen, hängt weitgehend von den Einsatzbedingungen des Fahrzeugs ab. So weit läßt sich aber die Entwicklungstendenz im Automobilbau abschätzen, daß bei der Auswahl eines PKW-Motors die Forderung nach geringem Raumbedarf und geringer Masse der nach gutem Wirkungsgrad bei weitgehend schadstofffreien Abgasen untergeordnet sein wird. (10 881)

Literatur

- [1] —: Ende des Wunders. mot. Auto-Kritik (1970) Heft 20, S. 1.
- [2] —: Wankel-Mut. Kraftfahrzeugtechnik (1971) Heft 1, S. 2.
- [3] Jante, A.: Über Probleme der Ottomotoren-Entwicklung. KFT (1971) H. 2, S. 43–44.
- [4] Dietrich, H.: Vergleich des Kreiskolbenmotors System NSU-Wankel mit dem Hubkolbenmotor. Dissertation 1970 TU Dresden.
- [5] Borrmeister, J.: Untersuchungen am Audi-Motor M 118.

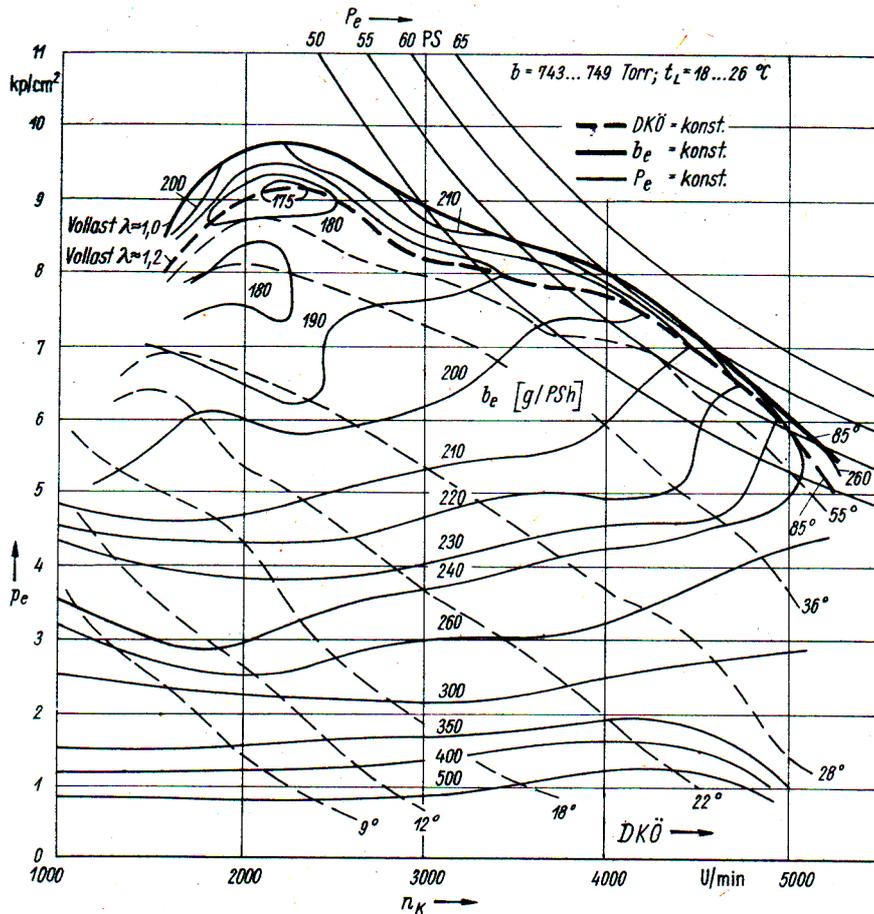


Bild 6 Verbrauchskennfeld des Audi-Motors M 118 mit verbesserter Gemischverteilung. Zündwinkel optimal; Luftverhältnis: Teillast $\lambda = 1,2$, Vollast $\lambda = 1,0$

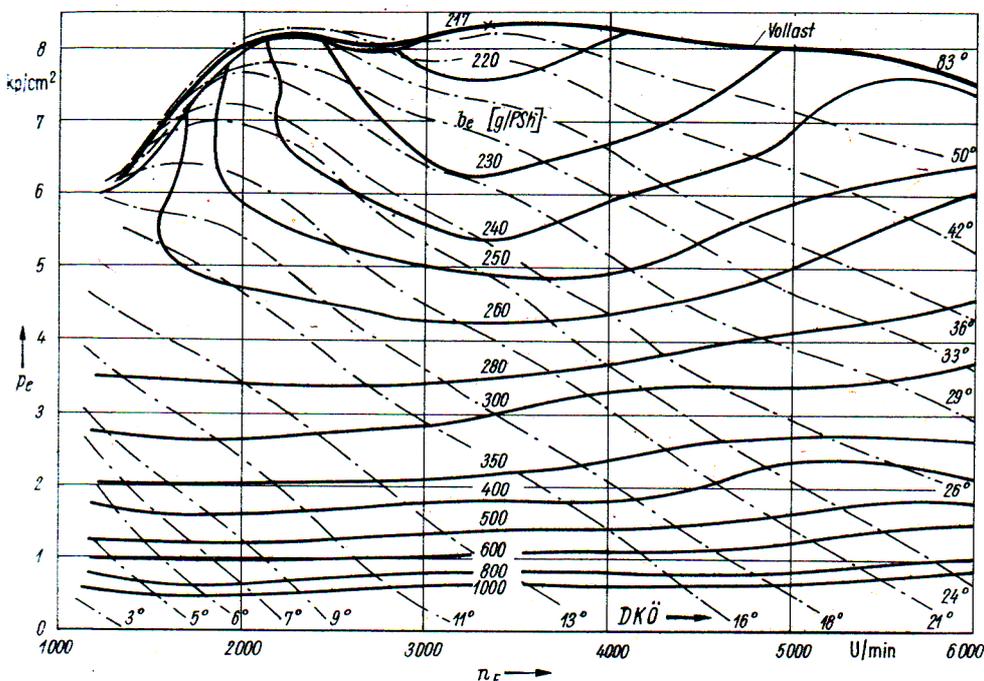


Bild 7 Verbrauchskennfeld KKM 550 UE mit Vergaser F 363-4. Zündwinkel optimal; Luftverhältnis $\lambda = 1,1$ ($n > 2000$ U/min)

Der thermische Wirkungsgrad einer Brennkraftmaschine kann durch ein höheres Temperaturniveau des ablaufenden Kreisprozesses verbessert werden. Dies läßt sich durch ein erhöhtes Verdichtungsverhältnis erreichen, dessen Steigerung aber durch die Klopferscheinungen mit ihren bekannten Folgen begrenzt wird. Hier sind – ausgehend von der Dieselmotorenforschung – durch die Verbrennung im Wirbel neue Wege gewiesen worden. Damit kann die Durchbrennung des Gasgemisches geordnet und auch beschleunigt werden. In der Literatur wird heute der geordnete Luftwirbel im Brennraum nicht nur für eine weiche Dieselverbrennung, sondern auch für eine klopfreie Verbrennung im hochverdichteten Ottomotor als unbedingte Notwendigkeit angesehen [1],[2] und [3].

Bei den bekannten Verfahren zur Wirbelerzeugung im Brennraum wird dem Gasgemisch die Drallbewegung bereits beim Ansaugvorgang aufgezwungen, wozu man sich verschiedener und teilweise in der Patenlliteratur seit längerem bekannter Mittel, wie Ablenkschirme am Einlaßventil oder eines drallförmigen Einlaßkanalendes, bedient.

Im Zweitaktmotor, in dem die Ein- und Auslaßschlitze durch den Arbeitskolben gesteuert werden, sind diese Mittel nicht anwendbar. Hier verbietet das Spülverfahren einen kreisenden Eintritt der Zylinderladung; es fordert dagegen während des Einlaßvorganges bestimmte Richtungen des Frischgasstromes, der für einen guten Spüleffekt möglichst an den Zylinderwänden geführt sein soll. Nachstehend werden deshalb

einige andere Mittel zur Wirbelerzeugung im Brennraum des Zweitaktmotors erörtert und die Versuchsergebnisse besprochen.

(Bei dem vorliegenden Aufsatz handelt es sich um Ergebnisse, die der Autor bei privaten Forschungsarbeiten erzielte. Zweifellos werden sie auf das lebhafteste Interesse unseres Motorenbaus treffen, zumal die letzte Ausführung des hier zugrunde liegenden Zweizylinder-Zweitaktmotors – der Motor aus dem VEB Barkas-Kombinat für den Trabant 601 in seiner jetzigen Ausführung mit 26 PS – bereits recht hohe Ansprüche an Gemischbildung und Spülung erfüllt, was u. a. in seiner geringeren Klingelneigung zum Ausdrück kommt.

Die Red.).