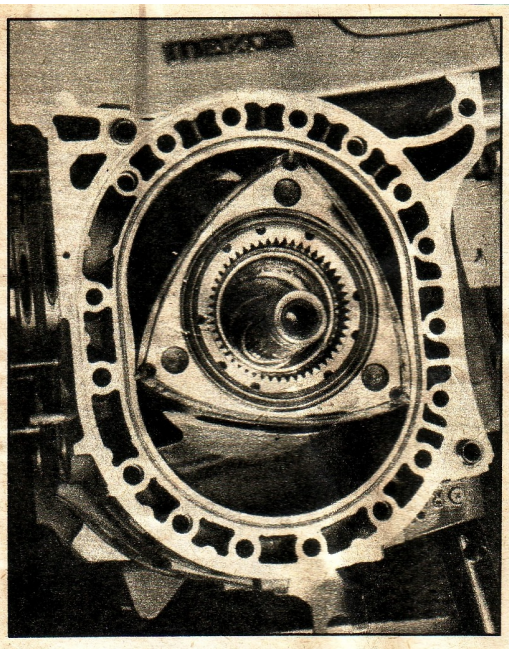


Der Wankelmotor

Zwischen Euphorie und Ernüchterung

Im Oktober 1988 ist Felix Wankel, der Erfinder des nach ihm benannten Motors, im Alter von 86 Jahren gestorben. Lange Zeit, bevor dieser Rotationskolbenmotor mit seinem Namen verknüpft wurde, war Wankel den Fachleuten schon als Spezialist für Dichtungsprobleme bekannt. Ein herausragendes Ergebnis seiner Arbeiten auf diesem Gebiet war der zur Betriebsreife gebrachte Flachdrehschieber für Kolben-Flugmotoren.

Daneben befaßte sich Wankel seit geraumer Zeit mit Rotationskolbenmaschinen. Ein erster Prototyp so eines Motors wurde gegen Ende des zweiten Weltkrieges fertig, kam jedoch nicht mehr zur Erprobung. Auch in den folgenden Jahren war an den Bau des Motors vorerst nicht zu denken. Wankel beschäftigte sich deshalb zunächst mit Rotationskolbenmaschinen theoretisch weiter. Im Ergebnis dieser Arbeiten entstand eine beachtenswerte Systematik der Rotationskolbenmaschinen.

Nach und nach reiften Bedingungen heran, die den Bau eines Prototyps erneut ermöglichten. 1954 war es soweit, daß das erste Muster eines Drehkolbenmotors in Betrieb genommen werden konnte (Abb. 1). Das Ereignis liegt also nun schon 35 Jahre zurück und löste Phasen der Euphorie, aber auch der Ernüchterung in Sachen Rotationskolbenmotor aus, obgleich sich die weitere Entwicklung zunächst noch eine ganze Weile unter Ausschluß der Öffentlichkeit vollzog.

Das Prinzip einer Drehkolbenmaschine war schon um 1901 in Patenten beschrieben worden, jedoch war an eine praktische Verwirklichung damals nicht zu denken gewesen, da die technologischen Voraussetzungen dazu nicht bestanden.

Das wesentliche äußere Merkmal des Wankelschen Motors waren ein trochoidenförmiges Gehäuse und ein Läufer (Kolben), der die Form einer inneren Hüllkurve oder Trochoide hat. Diese Formen lassen sich zwar mathematisch einfach beschreiben (es sind Rollkurven), sind aber mit der erforderlichen Genauigkeit schwierig herzustellen. Daß sich Wankel mit diesen Maschinen so intensiv beschäftigte, ist wahrscheinlich auf seine Arbeiten zu Dichtungsproblemen zurückzuführen, die er später durchaus erfolgreich löste.

Der prinzipielle Aufbau und die auftretenden Probleme am Prototyp sollen, soweit es aus Abb. 1 nicht erkennbar ist, in Erinnerung gebracht werden. Das trochoidenförmige Gehäuse und der Läufer drehen sich um durch ihre Schwerpunkte gehende, aber parallel versetzte Achsen. Daraus ergeben sich Vorteile, aber auch Nachteile.

Von Vorteil ist, daß das umlaufende Gehäuse und der Läufer keine exzentrischen Massen besitzen, also in sich ausgeglichen sind. Sie versprechen damit nicht nur Laufruhe, sondern weisen auch geringe Lagerbelastungen auf. Auf Ausgleichsmassen kann verzichtet werden, das verspricht Masseeinsparung. Die Lager werden nur durch Gaskräfte, nicht aber durch Massenkräfte beansprucht. Auf die Dichtleisten an den Ecken des Läufers wirken während eines Umlaufes immer konstante, nur drehzahlabhängige Fliehkräfte. Für die Dichtleisten sind also keine besonderen Andruckfedern erforderlich.

Nicht übersehen werden können jedoch die Nachteile dieser Anordnung. Das umlaufende trochoidenförmige Gehäuse muß sehr steif gefertigt werden, damit sich die Trochoide unter dem Einfluß von Fliehkräften nicht verformt. Dadurch erhält das umlaufende Gehäuse ein beachtliches Massenträgheitsmoment, das die Maschine nicht besonders beschleunigungsfreundlich werden läßt.

Einlaß und Auslaß müssen in die Maschine zentrisch eingeführt werden. Auf der Abbildung ist links der Ansaugstutzen erkennbar. Diese rotierenden Zu- beziehungsweise Abführungen müssen zuverlässig abgedichtet werden, was vor allem auspuffseitig durch die hohen Temperaturen nicht problemlos zu verwirklichen ist. Auch die Zündkerze muß in einem umlaufenden Teil untergebracht werden, was zwangsläufig eine schlechte Zugänglichkeit zu diesem doch wartungsbedürftigen Teil mit sich bringt.

Diese erste Drehkolbenmaschine erwies sich als ein wertvolles Forschungsobjekt, das viele Erkenntnisse und Erfahrungen vermittelte, wenngleich sie für den Einsatz bei einem zukünftigen Kunden nicht brauchbar war.

Der entscheidende Schritt

Durch kinematische Umkehrung entstand schließlich aus der Drehkolbenmaschine die Kreiskolbenmaschine. Bei ihr stand das trochoidenförmige Gehäuse fest, und der Läufer bewegte sich auf einer exzentrischen Abtriebswelle. Damit hatte der Rotationskolbenmotor ein Entwicklungsstadium erreicht, in dem er an die Öffentlichkeit treten konnte. Das geschah 1960 in einer spektakulären Sondertagung des VDI in München.

Dort wurde der aus der Zusammenarbeit mit NSU hervorgegangene Rotationskolbenmotor in Theorie und Praxis öffentlich vorgestellt. Der schon bald als Wankelmotor bezeichnete Rotationskolbenmotor beschäftigte daraufhin die Gemüter der an Verbrennungsmotoren Interessierten heftig. Unzählige Pappmodelle wurden gebaut, um die komplizierten Bewegungsverhältnisse anschaulich zu machen. Mehr oder weniger erfolgreich wurde auch der Nachbau versucht. Der Wankelmotor war mit einem Schlag populär.

Ursache für das große Interesse an dieser Neuheit dürfte in erster Linie der einfache Aufbau, also die wenigen bewegten Teile, gewesen sein. Der alte Werbeslogan für die ehemalige Einführung der kleinen Zweitaktmotoren: Nur zwei bewegte Teile! kam wieder in Erinnerung. Und tatsächlich wirkte der in Abb. 2 vorgestellte Motor im Verhältnis zum Vergaser winzig. In der Folgezeit beschäftigten sich viele Motorenhersteller auf der Grundlage von Optionen und Lizenzen mit der Entwicklung solcher Motoren.

Der größte Vorteil des Kreiskolbenmotors gegenüber dem Drehkolbenmotor war sein einfacherer Aufbau. Er war klein, benötigte relativ wenige Teile. Die durch den nunmehr exzentrisch umlaufenden Läufer auftretenden Massenkräfte konnten durch Gegengewichte einfach ausgeglichen werden. Somit waren auch an der Laufruhe keine Abstriche zu machen.

Das Teil mit der höchsten Drehzahl ist die Exzenterwelle. Da ihre Massen auf kleinem Abstand um die Drehachse angeordnet sind, ergeben sie ein nur kleines Massenträgheitsmoment, so daß auch eine gute Beschleunigungsfähigkeit entsteht.

Durch das feststehende Gehäuse wurden Kühlungsprobleme einfacher lösbar. Die Schlitze zur Steuerung des Ladungswechsels, also Einlaß und Auslaß, konnten im ruhenden Teil untergebracht werden, in dem auch die Zündkerze ihren Platz fand. Diese Bauart bietet, im Gegensatz zum Drehkolbenmotor, auch die Möglichkeit, mehrere Läufer (Kolben) hintereinander auf einer durchgehenden Exzenterwelle unterzubringen.

Mit diesen Vorteilen wurden aber auch Nachteile erkauft. Die exzentrische Masse des Läufers kann nicht in gleicher Ebene durch Gegengewichte ausgeglichen werden, wodurch zusätzliche Lagerbelastungen durch die Massenkräfte von Läufer und Gegengewichten entstehen. Die Zündkerze muß in einem Bereich untergebracht werden, der von Dichtelementen überstrichen wird.

Die größten Schwierigkeiten bereiteten aber die Dichtleisten, an denen sich ständig ändernde Massenkräfte angreifen. Der besonders kritische Bereich ist die Umgebung der Einsattelung der Trochoide. Dort kehrt sich auch die Richtung der Massenkräfte an den Dichtleisten für kurze Zeit um, ist also nach innen gerichtet.

Streit um des Kaisers Bart

Ist dieser Wankelmotor ein Zweitakter oder ein Viertakter? Um das zu klären, wird am besten das Arbeitsspiel in einer Kammer verfolgt. Durch den Ansaugschlitz, Phase 1 in Abb. 3, beginnt der Ansaugvorgang mit einer relativ großen Überschneidung. Während des Ansaugvorgangs besteht jedoch kurz danach keine Verbindung zum Auslaßschlitz, Phase 2 in Abb. 4. Bis zum Erreichen des größten Kammervolumens ist der Ansaugschlitz geöffnet, Phase 3 in Abb. 5. Dann schließt der Ansaugschlitz, Phase 4 in Abb. 6, und die Verdichtung wird eingeleitet, Phase 5 in Abb. 3.

Im weiteren Verlauf der Verdichtung wird der Kanal zur Zündkerze freigegeben, Phase 6 in Abb. 4, und bei etwa der größten Verdichtung wird wie üblich durch die Zündkerze gezündet, Phase 7 in Abb. 5. Nun beginnt die Entspannung der Verbrennungsgase und damit die Arbeitsabgabe an den Läufer, Phase 8 in Abb. 6 und Phase 9 in Abb. 3.

Schließlich gibt bei etwa erreichten größtem Kammervolumen die Dichtleiste den Auslaßschlitz frei, Phase 10 in Abb. 4. Durch den in der Kammer herrschenden Überdruck und die Verdrängerwirkung des Läufers verlassen die Verbrennungsgase die Kammer, Phase 11 in Abb. 5. Schon gegen Ende des Ausschiebens beginnt der Einlaßschlitz zu öffnen, und es ergibt sich eine relativ große Überschneidung, Phase 12 in Abb. 6. In dieser Zeit hat sich die Exzenterwelle dreimal gedreht.

Da in den anderen beiden Kammern analoge Abläufe auftreten, leistet bei jeder Umdrehung eine Kammer Arbeit. Diese Tatsache und die Schlitzsteuerung weisen auf Merkmale des Zweitakters hin. Weil der Wankelmotor aber durch die Verdrängerwirkung des Läufers ansaugt und ausschiebt, sind ihm auch Merkmale des Viertakters nicht abzusprechen. So ist die Frage, ob Zweitakter oder Viertakter an sich ein Streit um des Kaisers Bart, da beide Arbeitsweisen anklingen.

Auch andere Fragen haben die Gemüter erhitzt. In vielen Ländern wird die Kraftfahrzeugsteuer nach

Dipl.-Ing. Eberhard Klimmer

dem Hubraum erhoben, der für Kolbenmaschinen definiert ist. Nun mußte also der Wankelmotor entsprechend eingeordnet werden. Sollte der maximale Inhalt einer Kammer oder der aller drei Kammern herangezogen werden? Bei der Berechnung nur einer Kammer kommt der Wankelmotor recht gut weg, werden alle drei genommen, ist er dagegen schlecht bedient. So mußten ganz einfach Festlegungen formaler Art getroffen werden.

Selbstverständlich waren in der Entwicklung die technischen Probleme nicht klein. Die anfänglichen Schwierigkeiten mit den Dichtleisten konnten schließlich überwunden werden. Durch die ungünstige flache Brennraumform und die große Überschneidung von Einlaß und Auslaß aber wurde der Wankelmotor bisher noch kein verbrauchsarmer Motor. Auch die unverbrannten Anteile von Kohlenwasserstoffen in den Abgasen liegen relativ hoch. Trotz intensiver Forschung trennten sich deshalb führende Kraftfahrzeughersteller vom Wankelmotor.

1967 brachte NSU einen Wagen der gehobenen Mittelklasse, den Ro 80, heraus, der von einem Zweischeiben-Wankelmotor mit einem Kammervolumen von 500 cm³ angetrieben wurde. Dieser Motor hatte etwa 84,6 kW (115 PS) als Höchstleistung, aber auch einen Kraftstoffverbrauch, der immer an der oberen Grenze des Verbrauchs vergleichbarer Kolbenmaschinen lag. Nach anfänglich mangelnder Zuverlässigkeit der Motoren wurden nach und nach aufgetretenen Probleme gelöst, und der Ro 80 galt als ein sehr laufruhiges und auch verläßliches Fahrzeug.

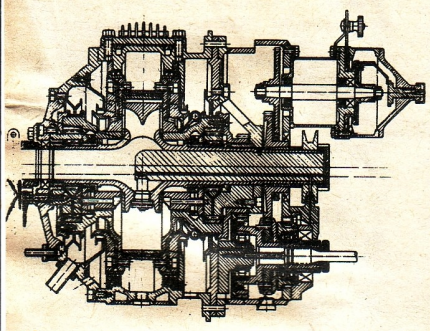
Der Motor (Abb. 7) verbesserte sein Verhalten im praktischen Fahrbetrieb durch einen Strömungswandler, der freilich auch zum hohen Verbrauch mit beigetragen haben dürfte. Dennoch gehörte der Ro 80 zu den ersten serienmäßigen frontangetriebenen Fahrzeugen mit höherer Motorleistung. 1977 wurde seine Produktion eingestellt.

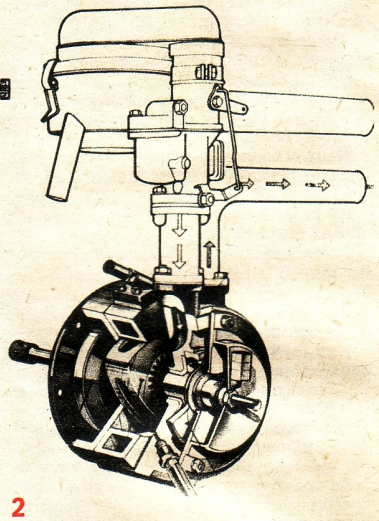
Noch kein Durchbruch

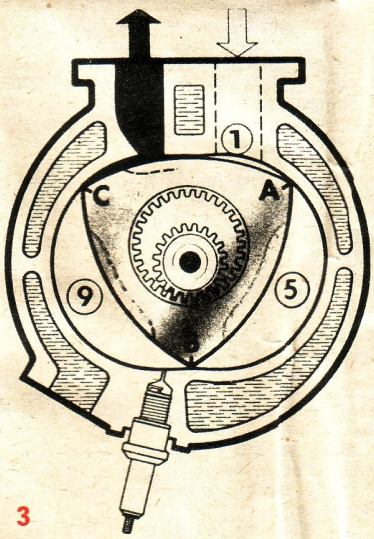
In serienmäßigen Personenwagen hat sich der Wankelmotor bis jetzt nur bei Mazda gehalten. Als Basis diente ebenfalls ein Zweischeibenmotor mit rund 570 cm³ Kammervolumen, der ständig weiterentwickelt wurde. Obwohl sich Zuverlässigkeit und Kraftstoffverbrauch deutlich verbesserten, wird der Motor in nur relativ wenige Fahrzeuge eingebaut. Gegenwärtig wird er sogar mit Abgas-Turboaufladung angeboten und bringt so im Typ RX 7 als Zweischeibenmotor rund 136 kW (185 PS). Mazda hat auch einen Prototyp, den MX-03, mit einem Dreischeibenmotor von 650 cm³ Kammervolumen auf den Rädern, der mit Abgas-Turboaufladung 235,5 kW (320 PS) leistet. Aber die Mazda mit Wankelmotor bleiben Exklusivfahrzeuge, die nicht nur in ihren Eigenschaften über den anderen angebotenen Typen, sondern auch mit Abstand an der Spitze der Preisliste stehen.

Der ersten Euphorie über den Wankelmotor folgte die Ernüchterung. Mit dem Wankelmotor wurde als Ergebnis der intensiven Entwicklungsarbeit der Beweis erbracht, daß Rotationskolbenmotoren zuverlässig und leistungsfähig sein können. Jedoch ist es diesem Konzept bisher nicht gelungen, dem konventionellen Kolbenmotor den Platz streitig zu machen.

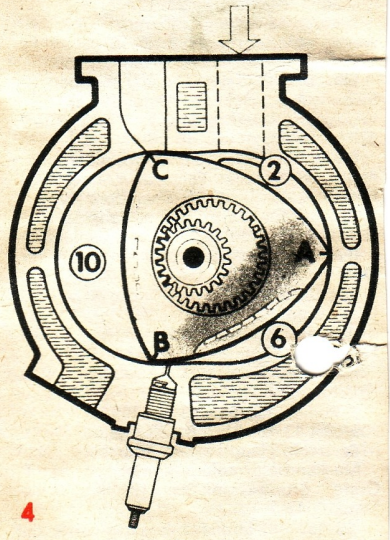
Nach den Anfangserfolgen des Wankelmotors haben sich viele ernstzunehmende Konstrukteure mit anderen Bauarten von Drehkolbenmaschinen versucht. Aber keine konnte auch nur annähernd an die Ergebnisse des Wankelmotors heranreichen. Die Arbeiten am Wankelmotor haben andererseits ohne Zweifel der Weiterentwicklung der konventionellen Kolbenmotoren kräftige Impulse verliehen. Und das Ergebnis dieser Bemühungen zeigt, daß ein riesiger zeitlicher Entwicklungsvorsprung selbst durch ein geniales Konzept nicht so leicht praxiswirksam eingeholt werden kann.


1

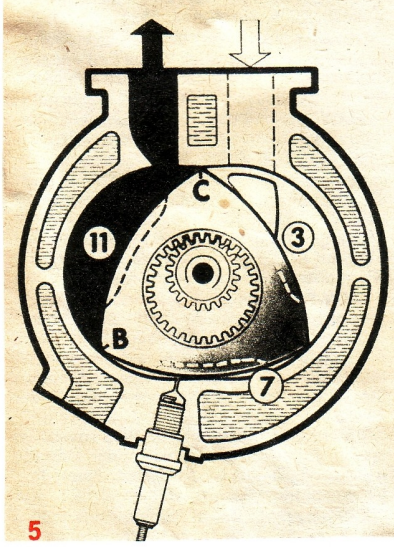

2



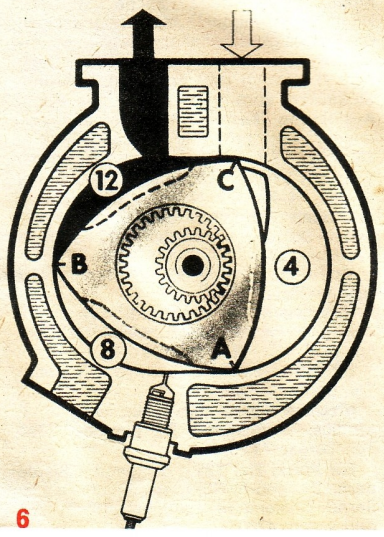
3



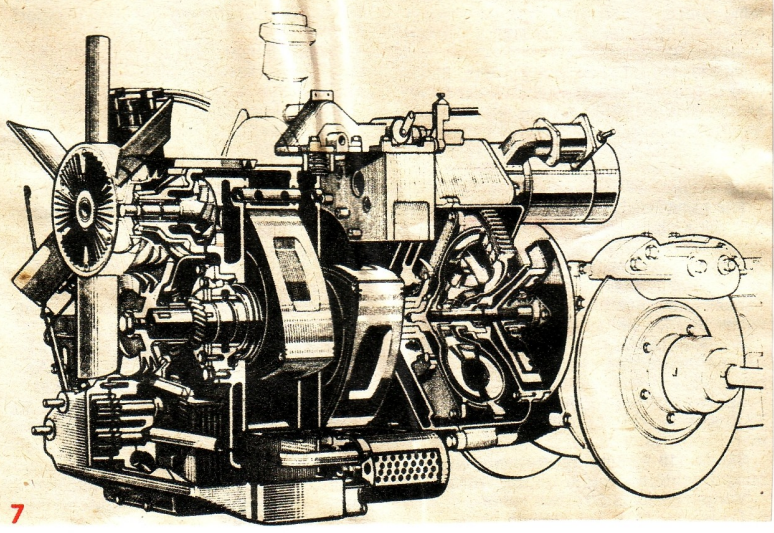
4



5



6


7