

4. Mazda auf dem Genfer Automobilsalon - Geschichte des Kreiskolbenmotors

DIE FASZINATION DER ROTATION

- **Warum Mazda dem Kreiskolbenmotor die Treue hält**
- **Ein Antriebskonzept, so ungewöhnlich wie die Marke selbst**
- **Erfolge im Motorsport und Technologieträger für alternative Antriebe**

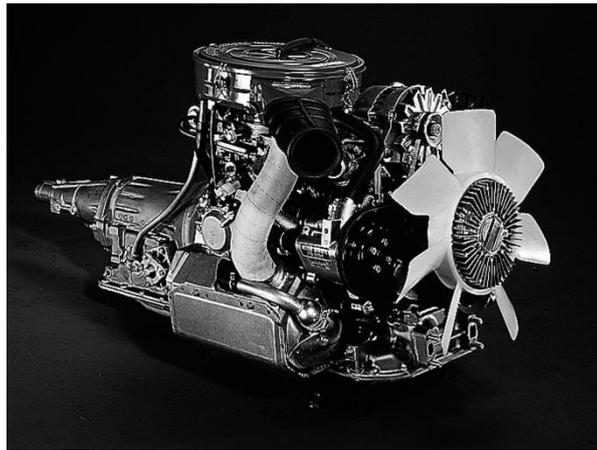
In der Geschichte von Mazda als Automobilhersteller ging und geht es bis heute immer wieder darum, sich Herausforderungen zu stellen, Konventionen zu hinterfragen und das Unmögliche möglich zu machen. Selbst von großen Schwierigkeiten und hohen Hürden ließ Mazda sich nie aufhalten. Das wohl perfekte Symbol für diesen Geist des „Never Stop Challenging“ ist die Einführung von Kreiskolbenmotoren in Mazda Serienfahrzeugen. Eine kaum für möglich gehaltene Meisterleistung, die der Standhaftigkeit und Entschlossenheit der Mazda Ingenieure zu verdanken war. Und an der Entwicklung der aktuellen SKYACTIV Technologien zeigt sich, wie gewissenhaft dieser Mazda Geist innerhalb des Unternehmens weitergegeben wird.

Das Unmögliche möglich machen: Die Entwicklung des Kreiskolbenmotors

Im 20. Jahrhundert zog die Idee eines Kreiskolben-Verbrennungsmotors Ingenieure und Erfinder gleichermaßen in ihren Bann. Einer von ihnen war der Deutsche Felix Wankel, der als Begründer des modernen Kreiskolbenmotors gilt. Seine ersten Modelle einer Viertakt-Version fertigte er 1924 an, in den 1930er Jahren erhielt er erste Patente für Rotationskolbenmotoren. Vor und während des Zweiten Weltkrieges entwickelte Wankel Dichtungen und Drehventile für die deutsche Luftwaffe, nach Kriegsende nahm er seine Arbeit an den Kreiskolbenmotoren wieder auf und tat sich in den frühen 50er Jahren mit dem deutschen Auto- und Motorradhersteller NSU zusammen.

1957 hatte Wankel seinen ersten Prototyp fertiggestellt, den Drehkolbenmotor (DKM). Er lief außergewöhnlich geschmeidig und erreichte bis zu 20.000/min, aber er war auch sehr kompliziert, denn sowohl der Drehkolben als auch das Gehäuse drehten sich um eine feste zentrale Welle. Das bedeutete: Zum Austausch der Zündkerzen musste der ganze Motor auseinandergebaut werden. Kurz danach stellte NSU den deutlich einfacher aufgebauten Kreiskolbenmotor (KKM) vor, bei dem der Drehkolben die Ausgangswelle in einem statischen Gehäuse drehte und die Zündkerzen von außen zugänglich waren. Als er von dem KKM erfuhr, der ohne sein

Wissen entwickelt worden war, klagte Wankel: „Sie haben aus meinem Rennpferd einen Ackergaul gemacht!“ Dennoch fand der Motor schließlich seinen Weg in das erste Serienauto der Welt mit Kreiskolbenmotor, den NSU Spider, der 1963 auf der Internationalen Automobil-Ausstellung in Frankfurt präsentiert wurde.



Schon 1961 hatte Mazda als erster Autohersteller mit NSU eine Lizenzvereinbarung über Kreiskolbenmotoren geschlossen, was später zahlreiche andere Hersteller wie Alfa Romeo, American Motors, Ford, General Motors, Mercedes-Benz, Nissan, Porsche, Suzuki und Toyota tun sollten. Noch im gleichen Jahr stellte Mazda seinen ersten Motoren-Prototyp fertig; 1964 enthüllte Mazda auf der Tokyo Motor Show einen Sportwagen-Prototyp mit Kreiskolbenmotor.

Wettrennen zur Marktreife

NSU war fest entschlossen, als erster Autohersteller ein Fahrzeug mit Kreiskolbenmotor auf den Markt zu bringen: 1964 begannen Produktion und Verkauf des Spider, eines zweisitzigen Cabrios mit 498-ccm-Einscheiben-Triebwerk im Heck. Viel zu früh, sagten viele: „Denn der Wankelmotor war noch längst nicht ausgereift. Mazda machte es mit seinem Cosmo Sport bedeutend besser, und deshalb geriet NSU in Zugzwang. Auch der sehr fortschrittliche NSU Ro80 wurde 1967 überhastet auf den Markt gebracht, ohne ausführliche Erprobung.“

(<http://ps.welt.de/2014/07/19/die-aussenseiter-5-citroen-m35>) Wegen der Motorenentwicklung und der Garantiekosten litt NSU bald unter wachsenden Geldnöten.

Mazda setzte im Gegenzug die Entwicklung seiner Zweischeiben-Version fort, testete 60 Prototypen des Cosmo 110S auf Hunderttausenden Kilometern, ehe die Serienversion im Mai 1967 auf den Markt kam. Das Sportcoupé mit zwei Sitzen verfügte über den weltweit ersten Zweischeiben-Serienmotor, ein 982 ccm großes Aggregat mit 81 kW/110 PS Leistung.



Der Motor verfügte über spezielle Pyrographit-Dichtleisten, um das größte Problem des Kreiskolbenmotors zu lösen: die Rattermarken auf den Innenwänden des Rotorgehäuses, hervorgerufen von den Drehbewegungen des Kolbens bei hoher Geschwindigkeit. Diese verursachten Leckagen zwischen den Brennkammern und führten zunächst zu Druck- und Leistungsverlusten, später dann zum kompletten Motorversagen. Die neuen Dichtungen hatten sich in 1.000 Teststunden bewährt und zeigten auch nach 100.000 Kilometern nur geringen Verschleiß: Von Rattermarken keine Spur.

NSU sah sich ähnlichen und weiteren Herausforderungen ausgesetzt. Die Limousine Ro80, das zweite Wankelmotor-Modell, das 1967 mit einem Zweischeiben-Motor auf den Markt kam, erwarb sich schon früh den zweifelhaften Ruf, unzuverlässig zu sein. Die technischen Probleme bekam NSU schließlich in den Griff, doch die Entwicklung des Kreiskolbenmotors fand trotzdem ein Ende, als Volkswagen die finanziell angeschlagene Firma übernahm und in der Marke Audi aufgehen ließ.

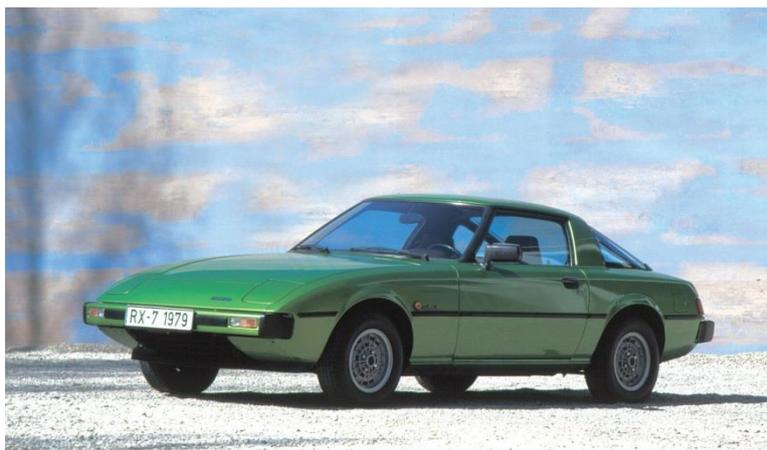
Unterdessen baute Mazda Ende der 1960er Jahre sein Angebot an Modellen mit Kreiskolbenmotor weiter aus; 1970 kamen der R100 und der RX-2 nach Europa, ein Jahr später folgte der RX-3. Der RX-4 kam 1973 auf den europäischen Markt. Er wurde von dem größeren 13B Motor angetrieben, einer 1,3-Liter-Zweischeiben-Einheit mit 100 kW/135 PS. Um die strengeren Um-

weltrichtlinien in den USA zu erfüllen, entwickelte Mazda außerdem ein spezielles Abgassystem zum Verbrennen überschüssiger Kohlenwasserstoffe.

Der Weg zu höherer Effizienz

Im Zuge der Ölkrise 1973 schossen die Benzinpreise in die Höhe; innerhalb von sechs Monaten stieg der Preis für ein Barrel Öl auf das Vierfache. Die Themen Umweltverträglichkeit und Kraftstoffverbrauch rückten in den Brennpunkt, und obwohl Kreiskolbenmotoren klein, leicht und kultiviert waren, zählten geringer Verbrauch und große Reichweite nicht gerade zu ihren Kerneigenschaften. Mazda erkannte die Brisanz der Thematik und setzte sich zum Ziel, die Kraftstoffeffizienz um 40 Prozent zu verbessern.

Ergebnis dieses „Phoenix-Projekts“ war der Mazda RX-7, ein 1978 eingeführter Sportwagen, von dem bis 2002 mehr als 811.000 Einheiten verkauft wurden und der damit zum erfolgreichsten Modell mit Kreiskolbenmotor aller Zeiten avancierte. Der RX-7 war ein wahrer Pionier: Er brachte zahlreiche Innovationen in die Serie, etwa den ersten Katalysator für Kreiskolbenmotoren, das erste Triebwerk mit Magerbetrieb, später einen Twin-Scroll-Turbolader sowie Bi-Turbo-Aufladung. Gerade Kreiskolbenmotoren eignen sich durch ihre dynamischen Abgasströme ganz besonders für eine Aufladung per Turbo, und Mazda arbeitete kontinuierlich an der Verbesserung dieser Systeme.



Im nächsten Schritt konzentrierten sich die Entwickler auf die Verringerung von Verbrauch und Emissionen. Der Zweiseiben-Renesis-Motor (auch bekannt als 13B-MSP), der 2003 im

neuen RX-8 eingeführt wurde, verfügte über Auslasskanäle an den Seiten des Rotorgehäuses anstelle des bis dahin üblichen sogenannten Umfangsauslasses. Dadurch stiegen die Effektivität der Verdichtung und die Leistungsabgabe. Neu waren auch die Dichtleisten zur Verringerung der Reibung sowie die seitlichen Dichtstreifen. Mit 141 kW/192 PS pro Liter Hubraum (Nordamerika-Version, Gesamtleistung 184 kW/250 PS) verfügte der Renesis-Motor über die höchste spezifische Leistung aller nicht aufgeladenen Serienmotoren und war dabei mit 122 Kilogramm außergewöhnlich leicht. Folgerichtig gewann er 2003 die Auszeichnung „International Engine of the Year“ und schaffte es in den Jahren 2004 und 2005 auf die Liste der „Ward’s 10 Best Engines“.



Parallel zur Markteinführung des RX-8 präsentierte Mazda den Prototyp eines RX-8 mit Wasserstoff- und Benzinantrieb. Kreiskolbenmotoren eignen sich besonders für den Betrieb mit Wasserstoff, da die kühle Ansaugkammer ein homogeneres Kraftstoff-Luft-Gemisch als bei Hubkolbenmotoren ermöglicht und damit Fehlzündungen verhindert. Mit null CO₂-Emissionen und minimalem NO_x-Ausstoß löst Wasserstoff auch die Abgasproblematik des Kreiskolbenmotors. Um den normalen Motor des RX-8 auf Wasserstoffbetrieb auszulegen, waren nur wenige Änderungen notwendig: spezielle Wasserstoff-Injektoren am Rotorgehäuse sowie Injektoren am Ansaugsystem, die eine Mischung aus Saugrohr- und Direkteinspritzung ermöglichen.

Saubere Leistung

Das „Dual Fuel“-System des RX-8 wurde 2005 auch in eine Konzeptversion des Mazda5 eingepflanzt. Im Antriebsstrang des Hydrogen RE Hybrid trieb der Kreiskolbenmotor über einen Generator einen Elektromotor an, der wiederum die Räder des Kompaktvans in Bewegung setzte. Der Wasserstoff-Hybrid konnte zeitweise rein elektrisch fahren, nutzte die Bremsenergie für das Wiederaufladen der Batterie, bot im Wasserstoffmodus 40 Prozent mehr Leistung als im RX-8 und verdoppelte die Reichweite im H₂-Betrieb auf rund 200 Kilometer, ehe der Kreiskolbenmotor auf Benzinbetrieb wechselte. Kommerzielle Leasing-Programme für die Wasserstoff-Versionen des RX-8 und des Mazda5 begannen 2006 bzw. 2009.



2013 legte Mazda eine Plug-in-Hybrid-Version des Mazda5 mit Wasserstoff-Kreiskolbenmotor auf. Dieser Hydrogen RE Range Extender EV verfügte über eine leistungsfähigere Batterie und bot eine auf 150 Kilometer verlängerte Reichweite im nahezu emissionsfreien Betrieb. Und im Jahr darauf ergänzte das Unternehmen die Elektroversion des Mazda2 um einen Kreiskolbenmotor, der als Range Extender fungiert. Der 330 ccm kleine Einscheiben-Motor produziert 19 kW/26 PS, sitzt unter dem Fahrzeugboden und bezieht den Kraftstoff aus einem Neun-Liter-Tank. Wenn die Batterie leer ist, springt er an und treibt den Generator an. Damit verdoppelt sich die Reichweite des normalen Mazda2 EV auf rund 400 Kilometer. Diese Lösung spielt die Stärken des Kreiskolbenprinzips überzeugend aus: Der Motor ist kompakt, leicht und leise und läuft vor allem bei konstanten Umdrehungen von 2.000/min besonders effizient. Kreiskolbenmotoren lassen sich zudem leicht auf unterschiedliche Treibstoffarten

auslegen. Dies bietet zusätzliche Flexibilität bei der Anpassung auf regionale oder zukünftige Kraftstoffpräferenzen.

Während sich der 50. Geburtstag des Cosmo 110S im Jahr 2017 nähert, bleibt die Faszination Kreiskolbenmotor ungebrochen. In den Herzen der Mazda Ingenieure hat dieser Motor einen festen Platz - und wird ihn wohl für immer behalten.

Hintergrund-Informationen

Kreiskolbenmotor und Hubkolbenmotor im Vergleich

In einem konventionellen Viertakt-Hubkolbenmotor bewegt sich der Kolben in einer zylindrischen Kammer auf und ab. Die mechanische Kraft, die durch das Verbrennen des Kraftstoff-Luft-Gemisches entsteht, wird über die Pleuelstange an die Kurbelwelle übertragen, die durch ihre Drehbewegung über das Getriebe die Räder antreibt. Alle vier Arbeitstakte - Ansaugen, Verdichten, Zünden und Ausstoßen - erfolgen nacheinander innerhalb eines Zylinders.

Im Unterschied dazu verfügen Kreiskolbenmotoren anstelle der Kolben über dreieckige Rotoren (Kreiskolben) mit konvex gewölbten Seiten. Die Expansionsenergie wirkt auf die Seiten des Kreiskolbens und versetzt ihn innerhalb des Gehäuses in eine Drehbewegung, die die Form einer zweilappigen Epitrochoide hat (ähnlich der Ziffer 8). Die Rotoren werden versetzt auf einer Exzenterwelle geführt, die durch die Rotation der Rotoren in Drehung versetzt wird und gleichzeitig die Abtriebswelle des Motors ist. Jeder der vier Arbeitstakte ereignet sich je Rotor gleichzeitig in einem anderen Teil der Kammer.

Im Unterschied zum Hubkolbenmotor, in dem die Kolben mit jedem Arbeitstakt die Richtung ändern, bewegt sich der Kreiskolben durchgängig in der gleichen Richtung. Dies sorgt für einen deutlich weicheren Motorlauf. Und weil die Kreiskolben die Exzenter- bzw. Ausgangswelle direkt antreiben, sind erheblich weniger bewegliche Teile erforderlich. So kann beispielsweise auf Pleuelstangen und Ventilmechanik samt Riemenantrieb, Nockenwelle, Schleppebel und Ventilen verzichtet werden. Das macht den Kreiskolbenmotor deutlich kleiner und leichter als ein konventionelles Triebwerk mit vergleichbarer Leistung.

Ein weiterer Vorteil des Kreiskolbenprinzips: Pro Arbeitstakt und Rotor dreht sich die Ausgangswelle nur einmal, während sich beim Hubkolbenmotor ein Arbeitstakt auf zwei Kurbelwellenumdrehungen verteilt. Dadurch ergeben sich weniger Drehmomentschwankungen und eine gleichmäßigere Leistungsentfaltung. Außerdem bewegt sich der Kreiskolben selbst bei hohen Drehzahlen der Ausgangswelle langsamer als der Hubkolben. Dies führt letztlich zur einfachen, aber überzeugenden Formel: Mehr Leistung aus weniger Hubraum.

Mazda Kreiskolbenmotor im Motorsport

Gleich von Beginn an stellte der Mazda Kreiskolbenmotor sein Performance-Potenzial auch auf der Rennstrecke eindrucksvoll unter Beweis. Doch das wirklich goldene Zeitalter begann in den 1980er Jahren. Besonders erfolgreich war der RX-7: In den Jahren 1980 bis 1987 gewann er achtmal in Folge die GTU Klasse der IMSA Serie. Bei den 24 Stunden von Daytona siegte er in der GTU Klasse sogar zwölfmal in Folge (1982-1993). Hinzu kamen zwei Titel bei den British Saloon Car Championships (1980 und 1981). Zweifellos den größten Erfolg in der Motorsport-Historie von Mazda errang der mit einem Vierscheiben-Kreiskolbenmotor ausgerüstete 787B beim 24-Stunden-Rennen in Le Mans 1991 - das einzige Auto ohne Hubkolbenmotor und der erste Rennwagen eines japanischen Herstellers, der dieses Rennen gewinnen konnte. Leider traten bereits im Jahr darauf Regeländerungen in Kraft, die Kreiskolbenmotoren aus Le Mans verbannten.

