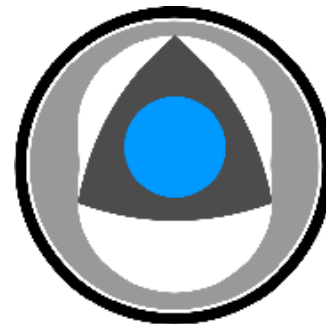


Der Wankelmotor

Mit gerade einmal 25 Jahren schreibt Felix Wankel in sein Tagebuch:
Der große Unterschied zwischen diesen Bestreben (BBC Dampfturbine) und meinem besteht darin, dass ich nicht den Dampf oder Wasserstrahl durch einen Strahl entzündeten Gases ersetzen will, sondern ich möchte denselben Gaskraftvorgang, der sich in der hin- und hergehenden Kolbenzylindermaschine auswirkt, in der Drehung abspielen zu lassen. Ansaugen, Verdichten, Entzünden und Auspuffen



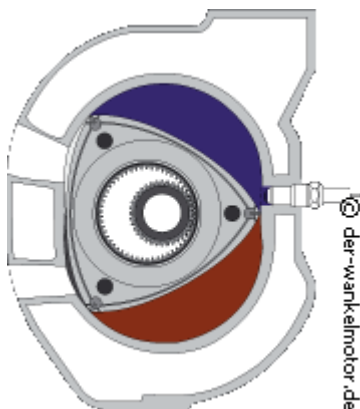
Der Wankelmotor, DKM

© der-wankelmotor.de

soll in der seitherigen Form geschehen, da ich sie für die Entzündungskraft des Benzins usw. am entsprechendsten halte.

Von diesem Tagebucheintrag bis zum DKM 54, dem ersten lauffähigen Wankelmotor, war es noch ein langer und dornenreicher Weg. Zuerst kam der zweite Weltkrieg dazwischen und danach die Kapitulation Deutschlands. Felix Wankel hatte nach dem Zweiten Weltkrieg Forschungsverbot, wie alle deutschen Wissenschaftler, die nicht ins Ausland gingen. Die Franzosen demontierten seine Forschungseinrichtung.

Es ist am 1.2.1957, als der DKM 54 Wankelmotor zum ersten Mal auf dem Prüfstand, hustend und spotzend, zum Leben erwacht. Nachdem man den Zündzeitpunkt und die Gemischzusammensetzung nachreguliert, beginnt er rund zu laufen. Dies im wahrsten Sinn des Wortes, denn der Außenläufer und der Innenläufer führen eine reine Drehbewegung aus. Wobei der Innenläufer nur als Absperarteil agiert und nur den Gaswechsel steuert! Mit diesem Motor wurde die prinzipielle Möglichkeit eines Drehkolbenmotors nachgewiesen. Für den praktischen Einsatz wäre diese Form des Motors untragbar gewesen, z.B. befanden sich die Zündkerzen in den Brennraummulden des Innen-Läufers.

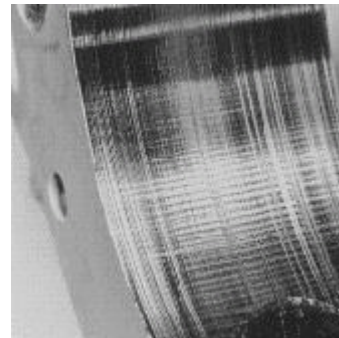


H.D. Paschke von NSU ist es, dem die kinematische Umkehr zum KKM gelingt. Unter absoluter Geheimhaltung machte er sich daran, den Außenläufer stillzusetzen. Nun hat man nicht mehr eine reine Drehbewegung, sondern zwei sich überlagernde Drehbewegungen. An der Einschnürung der Trochoide treten nach innen gerichtete Fliehkräfte auf. Man hat Probleme, das Kühlöl aus dem Kolben zu bekommen, es panscht energievernichtend im Kolben hin und her.

Felix Wankel ist brüskiert. Als er von dem KKM erfährt, ist es schon zu spät, er kann ihn nicht mehr verhindern. Er schmolzt: "Ihr habt aus meinem Rennpferd einen Ackergaul gemacht!"

Und bekommt als Antwort darauf zu hören: Ich wünschte nur, wir hätten schon den Ackergaul! Nun beginnen sich die Nachteile des KKM ab zu zeichnen. Es treten Rattermarken auf. Manchmal ist es nur ein sogenannter Ratterschatten. Der Chrom der Laufschi­cht platzt ab und die Motoren verenden innerhalb kürzester Zeit. Bei Mazda erkennt man, dass maßgeblich das Gewicht der Dichtleiste hierfür verantwortlich ist. Man durchbohrt im Versuch Gußdichtleisten, der Länge nach und kommt endlich auf große Laufzeiten. In den ersten Serienmotoren verwenden Mazda und NSU Kohledichtleisten. Bei NSU bestehen sie aus Kohle-Antimon, bei Mazda benutzt man Kohle-Aluminium. Mazda vervollkommnet die Technik der Dichtleisten später soweit, dass man zu Gußleisten gegen Chrom zurückkehrt. Man verwendet einen eingelegten Stahlmantel und bringt dort im Maßgalvanisieren Chrom auf! Diese Chromschicht ist so dünn, dass man sie

▸ Die Kratzspuren des Teufels, Rattermarken!



nicht mehr schleifen muss und trotzdem erreicht man ungewöhnlich hohe Laufleistungen. Bei NSU geht man zu Nikasil als Laufschi­cht über. Als Dichtleisten benutzt man zuerst Gußdichtleisten, später Ferotic-Dichtleisten. Im Laufe der Ölkrise springen immer mehr Lizenznehmer ab. Nur als einziger Autohersteller bleibt Mazda dem Wankel­mo­tor treu. Als Audi-NSU den Ro80 1977 einstellt, endet in Deutschland die Serienfertigung des Wankel­mo­tors.

Mit dem Mazda Renesis Wankel­mo­tor, des RX-8, ist aus dem Ackergaul jetzt doch noch ein Rennpferd geworden. In der jetzigen Version bringt der Renesis Wankel­mo­tor 232PS bei 8500 Upm.

Der Renesis Wankel­mo­tor des Mazda RX-8 soll 50% weniger Schmieröl und 40% weniger Treibstoff als sein Vorgänger verbrauchen. Außerdem erfüllt er die Abgasnorm Euro-4. Der Seitenauslaß des Renesis wurde erst durch Keramikportliner möglich, die in den Auslaß eingegossen sind. Die Lauffläche besteht jetzt aus einer Chrom-Molybdän-Legierung. Molybdän ist einer der wenigen Materialien bei denen keine Rattermarken auftreten, außerdem hat es ausgezeichnete Laufeigenschaften.

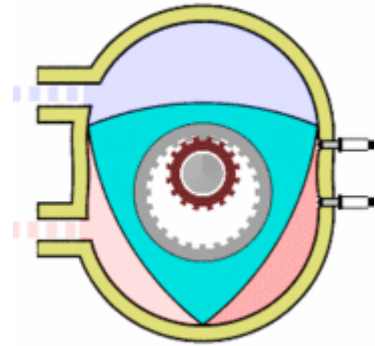


▸ Der Renesis

Wankel­mo­tor

Wankel­mo­tor

Der **Wankel­mo­tor** (auch: Kreiskolben­mo­tor) ist ein **Verbrennungs­mo­tor**, bei dem keine **zylindrischen Kolben** in einem Zylinder in axialer Richtung hin- und herbewegt werden. Stattdessen findet sich die umkehrfreie Bewegung eines so genannten Kreiskolbens, der - auf einer **Exzenter­welle** angeordnet - in einem **Trochoid­ge­häu­se** kreist und gleichzeitig um seine eigene Achse rotiert. Die Kontur des Kreiskolbens besteht aus drei abgeflachten Kreisbögen und sieht aus wie ein "bauchiges" Dreieck (**Reuleaux-Dreieck**). Die Ecken stehen ständig in Kontakt mit dem Trochoid­ge­häu­se und bilden so drei unabhängige Arbeitsräume.

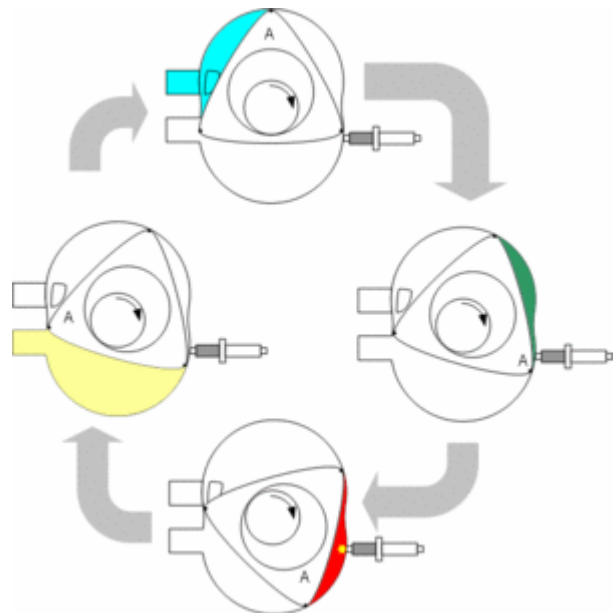


Benannt ist der Wankel­mo­tor nach seinem Erfinder **Felix Wankel**, der ihn ab **1954** entwickelt hat. Zuerst als Drehkolben­mo­tor (DKM54) ausgeführt. Später setzte der NSU-Ingenieur **Hanns Dieter Paschke** den Außenläufer still, so entstand der KKM57P.

Beschreibung des Arbeitsablaufes für einen Arbeitsraum

Der Wankel­zyklus: Einlass (blau),
Kompression (grün), Zündung (rot),
Auslass (gelb)

Ein Arbeitsraum läuft am Einlass­schlitz vorbei, wobei ein **Kraftstoff-Luft Gemisch** angesaugt wird. Durch den bei der Drehung des Kreiskolbens immer kleiner werdenden Arbeitsraum wird das Kraftstoff-Luft Gemisch in diesem Arbeitsraum verdichtet. Nach dem **Gasgesetz** erwärmt es sich durch die Verdichtung. Schließlich erreicht es den Ort der **Zündkerze**. Jetzt hat das Kraftstoff-Luft Gemisch seine höchste **Dichte** und wird gezündet. Durch die Verbrennung wird der Kreiskolben beschleunigt. Man spricht vom Arbeitstakt. Im Gegensatz zu einem Otto- oder Dieselmotor geht die bei der Verbrennung frei werdende Energie direkt in eine Drehbewegung der Kurbelwelle über.



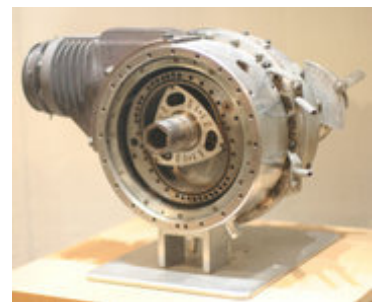
Mit weiterer Drehung des Arbeitsraumes vergrößert sich das **Brennraumvolumen** wieder. Der Auslassschlitz wird erreicht, das Abgas wird durch diesen ausgestoßen.

Dieser Zyklus wird von jedem der drei Arbeitsräume durchlaufen, was bedeutet, dass bei einer Kolbenumdrehung drei Zündungen stattfinden.

Anmerkung: Der Kreiskolbenmotor arbeitet nach dem **Viertaktprinzip**. Die Takt­dauer beträgt beim Wankel­mo­tor 270° und ist somit 50% länger als beim 4T-HKM (4Takt-Hubkolbenmotor). Ein kompletter Viertaktdurchgang dauert 1080° gegenüber 720° beim 4T-HKM.

Vor- und Nachteile (gegenüber dem Hubkolbenmotor)

Ein Vorteil des Wankelmotors ist sein relativ einfacher Aufbau. Er hat nur wenige bewegliche Teile (je nach Bauart unterschiedlich viele, meist zwei Kreiskolben und die Exzenterwelle. Dadurch, dass sich alle Teile nur um ihren Schwerpunkt drehen, kann man einen Wankel­mo­tor vollkommen auswuchten. Der Wankel­mo­tor hat, wegen einer um 50% längeren Takt­dauer eine größere Gleichförmigkeit im Motorenlauf, als ein Hubkolbenmotor. Die Kraftübertragung geschieht direkt auf die Exzenterwelle und benötigt keinen



▸ Felix Wankels Drehkolbenmotor DKM 54

Umweg über die beim Hubkolbenmotor vorhandenen Pleuel. Auch benötigt ein Wankel­mo­tor keinerlei Ventile wie ein Viertakt-Hubkolbenmotor. Des Weiteren hat er einen niederen **Oktanzahlbedarf** und eine höhere Ausfallsicherheit.

Der Wankel­mo­tor besitzt eine relativ geringe Baugröße. Das heißt, er ermöglicht eine hohe **Leistungsdichte** bei geringem Gewicht. Das kommt durch die gegenüber dem Hubkolbenmotor kompakteren Anordnung von Exzenterwelle und Läufer, gegenüber Kolben, Pleuel und Kurbelwelle, des Hubkolbenmotors. Auch benötigt man nur die Hälfte an Kammervolumen gegenüber dem Hubraum des Viertakt-Hubkolbenmotors, weil bei jeder Exzenterwellenumdrehung ein Arbeitstakt pro Kammer stattfindet. Durch die räumliche Trennung von Ansaug- und Verbrennungsraum ist er besonders geeignet für den Wasserstoffbetrieb. Durch die Abwesenheit von heißen Auslassventilen ist die **Klopf­festigkeit** gegenüber Viertakt­hub­kolben­mo­tor gesteigert. Bei Viertakt­hub­kolben­mo­to­ren kann sich das Gemisch frühzeitig an den heißen Auslassventilen oder der Kerze entzünden.

Der Wankel­mo­tor eignet sich be­son­ders für den **Schicht­la­de­be­trieb**, weil zum Einspritzen mehr Zeit zur Ver­fü­gung steht und die Ladungsschichtung sich ohne Hilfs­mit­tel ein­stellt.

Der Haupt­nach­teil ist sein sehr flach-lang­ge­streck­ter Ver­bren­nungs­raum, der im Ver­gleich mit dem Hub­kol­ben­mo­tor ein un­gün­stiges Ver­hält­nis zwischen Bren­nungs­raum­vo­lu­men und -ober­fläche hat und des­halb relativ viel En­ergie als Ver­lust­wär­me ab­führt. Bei alten Wankel­mo­to­ren mit Um­fangs­aus­lass wird relativ viel Ge­misch unver­brannt zum Aus­lass­schlitz aus­ge­schoben. Dies führt zu hohen HC-Werten im Abgas. Gleich­zeit­ig hat man eine uner­wünscht hohe Abgas­rück­füh­rungs­rate, was zu Zün­daus­set­zern im Leer­lauf und im Teillast­be­trieb föh­ren kann. Dies kann man mit einem Sei­ten­aus­lass ver­mei­den, wie er bei Mazda Re­ne­sis in der Serie ein­ge­setzt wird. Dort wird kein unver­branntes Ge­misch durch den Aus­lass aus­ge­stoßen.

Das Aus­chie­ben von unver­branntem Ge­misch re­du­ziert man durch die Ver­wen­dung einer Dop­pel­zün­dung und/oder auch mit einer ein­zi­gen Kerze in der Late Trailing Position (Late Trailing = die nach­ei­len­de Kerze ist weit ober­halb der Ein­sch­nürung ange­ord­net), der Ver­brauch wird ge­gen­über den frü­hen Aus­füh­rungen so um etwa 30% ge­senkt. Die zweite Kerze ist ohnehin bei Flug­zeug­mo­to­ren, wegen der hö­he­ren Aus­falls­si­cher­heit, Pflicht. In dem Mazda 26B (LeMans 24h 1991) wurden sogar eine Dreifach-Zün­dung ein­ge­setzt, womit ein spe­zi­fi­scher Ver­brauch von 210g/Psh bei 6000Upm er­reicht wurde.

Mazda hat die Äqui­dis­tante (Ab­stand zwischen rech­nerischen Trochoide zu der tat­sächlichen Lauf­bahn) beim Re­ne­sis (RX-8) ge­gen­über den bi­she­ri­gen Mazda 13B ver­kleinert, hier­durch das Vo­lu­men der Zwickel ver­kleinert und im Ge­gen­zug den Ver­bren­nungs­raum mehr in die Bren­nungs­raum­mulde des Läu­fers ver­la­gert. Man hat somit die Bren­nungs­raum­ober­fläche und das Vo­lu­men der Zwickel ver­ringert. Beim Wärme­über­gang kann man nicht ein­deutig nur die Bren­nungs­raum­ober­fläche be­trach­ten, weil auch Bren­nungs­raum­drücke beim Wärme­ver­lust und die herrschenden Bren­nungs­raum­tem­pe­ra­turen be­rück­sich­tigt werden müssen. Auch sieht man heute eine dreh­zahl- und tem­pe­ra­tur­ab­hän­gige Küh­lung des Läu­fers vor. Bei ak­tu­ellen Mazda-Modellen werden bis 60°C Öltemperatur die Läu­fer über­haupt nicht gekühlt, darüber erst ab einer Mo­to­r­dreh­zahl von 3000 U/min. So er­reicht man eine last­kon­forme Küh­lung des Läu­fers, was den Wirkungs­grad des Mo­to­rs ver­bessert. In­ge­sam­te ver­ringert man den Wärme­ver­lust all­ge­mein durch heute deutlich hö­here Be­trieb­tem­pe­ra­turen. Das Wärme­ma­na­ge­ment eines modernen Viertakt­hub­kol­ben­mo­to­r ist ähnlich kompliziert.

Während beim Hubkolbenmotor der Brennraum im Ansaugtakt durch das Frischgas gekühlt wird, bildet sich beim Wankel­mo­tor eine heiße Zone (warmer Bogen) aus, die gekühlt werden muss. Den Wärme­ver­zug kann man beim Wankel­mo­tor durch entsprechende **Kühlwasserführung** und/oder Stahleinlagen (zum Beispiel SIP-Verfahren bei Mazda) in tolerierbaren Bereichen halten.

Der scheinbare Nachteil der räumlichen Trennung von Verbrennungs- und Verdichtungsraum macht den Wankel­mo­tor im Besonderen geeignet zur Verbrennung von **Wasserstoff** und ähnlichen Brennstoffen mit geringer **Oktan­zahl**, da sich das Gasgemisch nicht vorzeitig an heißen Bauteilen (wie etwa den Auslassventilen und der Brennraumoberfläche) entzünden kann.

Fahrzeuge mit Wankel­mo­tor

Automobile

- Mazda RX-8 (seit 2003)
- Mazda RX-7 (1978 - 2002)
- Mazda RX-5 (1975 - 1981)
- Mazda RX-3 (1972 - 1977)
- Mazda RX-2 (1971 - 1974)
- Mazda 110 S Cosmo Sport (1967 - 1972) 1. Serienwankel mit Zweis­cheiben­mo­tor
- Mazda 787B (1991 LeMans 24h Gewinner)
- NSU Ro80 (1967 - 1977)
- NSU Wankel Spider (1964 - 1967)
- Audi 100 C2 (1976 - 1977) ca. 25 Prototypen in der Erprobung
- Citroën GS Birotor (19?? - 19??)
- Citroën M35 (19?? - 19??)
- Datsun ?? (19?? - 19??)
- Mercedes-Benz C111 (Prototyp 1969 - 197?)
- IFA (MZ, Trabant, Wartburg), einzelne Prototypen von 1961 bis Ende der 1960er Jahre
- Lada (1970er - 1990er Jahre)
- Die Flugautos M200 und M400 der Firma Moller

Motorräder

▸ Hercules W 2000

- Hercules W 2000 "Staubsauger" Hercules Wankel
- Suzuki RE 5
- Van Veen OCR 1000
- Norton P41 "Interpol II"
- Norton P43 "Classic"
- Norton P52 "Commander Police"
- Norton P53 "Commander Civilian"
- Norton P55 "F1"
- Norton P55B "F1 Sports"



Weitere Anwendungen

Anwendung findet der Wankelmotor auch als **Flugzeugantrieb**. Auch als Antrieb für Gurtstraffer kommen kleine Wankelmotoren zum Einsatz.

Eine Variante ist der "Wankel-Fremdzündungsdiesel", ein **Vielstoffmotor**, der mit Fremdzündung für den Antrieb von sogenannten **Drohnen** arbeitet. Zwar wird hier Diesel als Kraftstoff mit eingespritzt, jedoch kommt die dieseltypische Selbstzündung nicht zum Einsatz. Die **1998** begonnene Entwicklung ist bis zum heutigen Tage (2004) nicht zu einem Abschluss gekommen. Die englische Firma UAV ist zur Zeit der Weltmarktführer bei Drohnen-Wankelmotoren. Die Wankel Supertec hat einen Fremdzündungsdiesel-Wankelmotor entwickelt, der im Verbrauch an hochoptimierte HKM TDIs heranreicht.

Seit neuerem werden auch **Karts** von Wankelmotoren angetrieben. Die Vorteile liegen im geringen Gewicht, den wenigen bewegten Teilen im Vergleich zum **Viertaktmotor** und der gleichmäßigen, turbinenartigen Leistungsentfaltung. Die Leistung beträgt über 30 kW bei einem Hubraum von weniger als 300 cm³ und einem Gewicht von 17 Kilo. Der Achsantrieb erfolgt über eine **Fliehkraftkupplung** ohne Getriebe, was einen gleichmäßigen Drehmomentverlauf erfordert.