

Der Wankelmotor

(am Beispiel von Mazda)

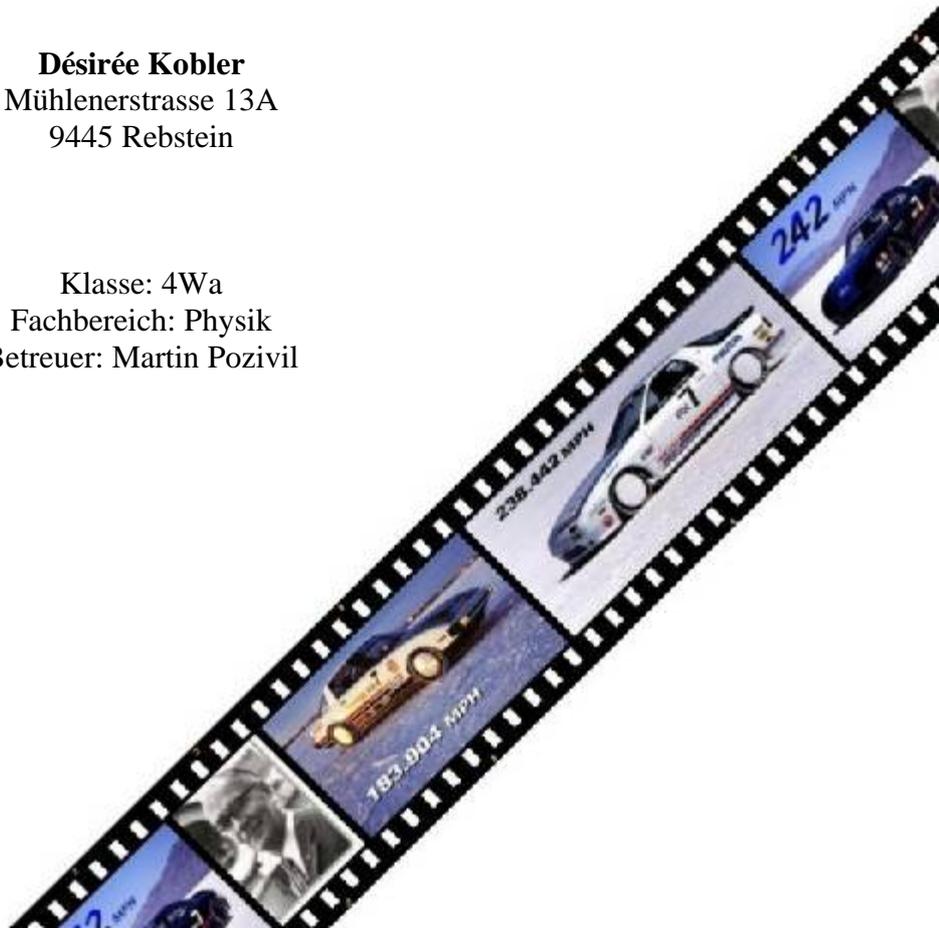


Im Vergleich mit dem Hubkolbenmotor

Maturaarbeit
November 2004

Désirée Kobler
Mühlenerstrasse 13A
9445 Rebstein

Klasse: 4Wa
Fachbereich: Physik
Betreuer: Martin Pozivil



<u>Inhaltsverzeichnis</u>	<u>Seite</u>
0. Abstract	2
1. Einleitung	3
2. Biographie des Erfinders- Felix Wankel	5
3. Theorie	
3.1. Der Wankelmotor	7
3.2. Der Hubkolbenmotor	9
4. Praktischer Teil	
4.1. Vergleich Daten VW Polo G40/ Mazda RX-7 Turbo	11
4.1.1. Generelle Funktionsweise eines Turboladers	11
4.1.2. Kurze technische Beschreibung des G-Laders	12
4.2. Vergleich Daten Ford Probe/ Mazda RX-8	15
4.2.1. Herstellerdaten	15
4.2.2. Materialvergleich	16
4.2.3. Abgaswerte	18
4.2.3.1. Lambdawert und Lambdasonde	19
4.2.4. DB- Vergleich	20
4.2.5. Beschleunigung	21
4.2.6. Benzinverbrauch	22
4.2.7. Ölverbrauch	23
4.2.8. Wartungskosten	23
5. Spitzenklasse: Der Mazda RX-7 FD	24
6. Zusammenfassung	25
7. Quellenverzeichnis	26
8. Schlusswort	27
8.1. Dank	27
9. Anhang	28

0. Abstract

In meiner Maturaarbeit werde ich Daten von Fahrzeugen mit Wankelmotoren mit denen von Fahrzeugen mit Hubkolbenmotoren vergleichen.

Einmal wird das ein Mazda RX-7 FC in Gegenüberstellung mit einem VW Polo G40 sein. Der Hauptvergleich findet aber zwischen einem Mazda RX-8 und einem Ford Probe statt. Im Mazda RX-8 steckt ein moderner Wankelmotor. Der Ford Probe hingegen wird mit einem 6-Zylinder Hubkolbenmotor angetrieben, der aber ursprünglich auch von Mazda konstruiert und gebaut wurde.

Ich werde zwei verschiedene Vergleiche machen, weil ich herausfinden möchte, ob man das Kammervolumen eines Wankelmotors mit dem Hubraum eines Zylindermotors gleichsetzen kann, oder ob die Unterschiede zwischen den Motoren zu gross sind.

Für den Vergleich benutze ich Herstellerdaten, messe den Benzinverbrauch, die Abgaswerte, den Schalldruck bei verschiedenen Drehzahlen und auf einer abgemessenen Strecke wird gemessen, welches Auto die höhere Geschwindigkeit erreicht. Zudem versuche ich Angaben zum Ölverbrauch und zu den Wartungskosten zu erhalten.

Bei meinen Vergleichen ist es nicht das Ziel Spitzenwerte mittels komplizierter Messverfahren zu erreichen, sondern ich möchte die Fahrzeuge alltäglichen Tests gegenüber stellen.

Am Schluss werde ich noch den Mazda RX-7 FD kurz beschreiben. Denn obwohl der Mazda RX-8 erst seit diesem Jahr auf dem Markt ist, ist es von Mazda nicht das schnellste Wankelauto. Der RX-7 FD war vor rund 10 Jahren das schnellste Serienfahrzeug von Mazda mit Wankelmotor.

1. Einleitung

Der Mensch kann gehen, indem er mit seinen Füßen eine Bewegung ausführt, die hin und her geht. Mit der Erfindung des Rades, war es dem Menschen möglich, sich schneller fortzubewegen, als mit seinen eigenen Füßen. Man erkannte, dass einer hin- und hergehenden Bewegung Grenzen gesetzt sind und interessierte sich von nun an für die Kreisbewegung.

Es lag also nahe sich auch in der Motorentechnik an einem rotierenden System, wie z.B. dem Wasserrad, zu orientieren.

Besonders in den letzten 150 Jahren beschäftigten sich immer wieder Menschen mit dieser Vorstellung, etliche Patente wurden geschrieben, doch trotzdem geriet diese Idee immer wieder fast in Vergessenheit. Der Grund dafür liegt bei den vielen Misserfolgen, die lieber verdrängt, als erwähnt wurden. Dabei wurden schon sehr früh Bemühungen, um ein kreisendes System zur Arbeitserzeugung zu gewinnen, unternommen. Diese Anstrengungen reichen weiter zurück als die um das Hubkolbensystem. Schon 1588 entwarf der Italiener Ramelli ein Rotationssystem.

Trotzdem scheiterten viele geniale Köpfe wie Watt oder Laval an dieser Aufgabe mit dem kreisenden System, es schien unmöglich in dieser riesigen Fülle von Bauformen die richtige zu erkennen. Und dann kam noch ein weiteres, sehr trügerisches Problem dazu, die Abdichtung. Durch rotierende Kolben ergeben sich aus verschiedenen Richtungen aufeinander treffende, mehreckige Dichtgrenzen, die schwerer zu beherrschen sind als die kreisrunden, in einer Ebene verlaufenden Dichtgrenzen eines Hubkolbenmotors.

Es ist nur zu menschlich, dass man den einfacheren Weg wählte und auf das Hubkolbenmotorprinzip vertraute, war es doch mit der Zeit auch schon weit entwickelt.

Später nahm die Abneigung gegenüber Ideen mit kreisenden Kolben zu. Die Idee galt als verrückt. Doch ein Mann stellte sich das Lebensziel diese Aufgabe zu meistern, was ihm schlussendlich auch gelang. So entstand der Wankelmotor, benannt nach seinem Erfinder Felix Wankel. (Quelle: „Protokoll einer Erfindung– Der Wankelmotor“)

Und obwohl dies schon 50 Jahre her ist, wissen immer noch viele Leute nicht, was ein Wankelmotor eigentlich ist.

Ich interessiere mich schon seit einigen Jahren für Autos und lese entsprechende Zeitschriften und Bücher, die mit dem Thema zu tun haben.

Und auch ich wusste lange Zeit nicht einmal, dass es so etwas wie einen Wankelmotor überhaupt gibt, bis mir mein Vater bei einer Diskussion über Autos davon erzählte, mir aber leider auch nicht viel darüber mitteilen konnte. Ich versuchte dann in einem Buch etwas darüber zu finden und fand eine kleine Textstelle in der ganz kurz das wesentliche Prinzip eines Kreiskolbenmotors erklärt wurde. Damit gab ich mich dann auch vorläufig schon zufrieden, bis ich vor die Aufgabe gestellt wurde, eine Maturaarbeit zu schreiben. Die Themenwahl war dann entsprechend einfach, sofort stand für mich fest, dass ich über den Wankelmotor schreiben werde.

Gerade jetzt, da Mazda den RX-8 auf den Markt gebracht hat, finde ich es wichtig, auch zu wissen, was da unter der Motorhaube für ein Motor arbeitet.

Die folgende Arbeit soll aufzeigen, worin die wesentlichen Unterschiede zwischen dem Wankelmotor und dem Hubkolbenmotor bestehen. Ich werde beschreiben, wie die beiden Motoren arbeiten, wo die Vorteile liegen, was sie unterscheidet etc.

Zudem will ich der Sache auf den Grund gehen, ob die Gerüchte, die man rund um den Wankelmotor hört, wie z.B. sehr hoher Öl- und Benzinverbrauch, Kurzlebigkeit, usw. wirklich zutreffen, oder ob das vergleichbar mit einem Hubkolbenmotor ist.

2. Biographie des Erfinders- Felix Wankel



Abb. 1: **Felix Wankel**

Quelle: http://www.whs-online.de/berichte/Referat/Felix_Wankel/felix_wankel.html

Am 13. August 1902 wurde in Lahr, Deutschland, ein Mann geboren, dessen Leben von Kreisen bestimmt werden sollte- Felix Wankel.

1921 verlässt er die ungeliebte Schule, Mathematik war nicht seine Stärke. Er interessiert sich für Physik, sein Anliegen sind aber nicht die Formeln, sondern das Lernen mit seinen eigenen Augen. Physik besteht für ihn nicht aus Berechnungen, sondern aus einem Erlebnis.

Er beginnt, auf Anraten seiner verwitweten Mutter eine Lehre als Verlagskaufmann. Doch die meiste Zeit verkriecht er sich in das Buchlager und studiert Bücher über grosse Technik- und Wissenschaftspioniere, oder skizziert Maschinen und Geräte, die er dann zu Hause baut. Seine Erfahrungen und Gedanken dazu notiert er in ein Tagebuch.

1924 kann er eine Versuchswerkstatt einrichten, wo er zusammen mit Freunden ein stromlinienförmiges Fahrzeug baut. Erstmals macht er sich auch Gedanken über einen Motor, mit drehendem Kolben.

1926 lernt er den arbeitslosen Ingenieur Ernst Wolf kennen, der ihm beibringt seine Ideen in technische Zeichnungen umzusetzen und ihm bei der Anfertigung von Maschinenteilen hilft. 1928 unternimmt Wankel systematische Abdichtungsversuche und kann so nachweisen, dass zu einer wirksamen Abdichtung der Gasdruck beiträgt. Dies trägt später dazu bei, bessere Kolbenringe zu entwickeln.

1934 unterschreibt er, nachdem er kurz zuvor von Daimler Benz eine Absage erhalten hatte, einen Vertrag mit BMW für die Entwicklung von Drehschiebersteuerungen.

1936 bringt er einen Fünfzylinder Sternmotor der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt zum laufen. Wankel wird nun finanziell unterstützt und kann so seine eigene Versuchswerkstatt eröffnen, die Wankel- Versuchs- Werkstatt (WWV) in Lindau.

In den folgenden 15 Jahren arbeitet er an verschiedenen Projekten, seine Versuchswerkstatt vergrössert sich ständig. Durch den Krieg ergeben sich aber schwierige Zeiten, die Franzosen demontierten die Versuchswerkstätten.

Der Wankelmotor – Im Vergleich mit dem Hubkolbenmotor

Schliesslich kann er 1949 sein Haus in Lindau mit einer kleinen Versuchswerkstatt beziehen. 1951 kommt mit NSU ein Vertrag für die Entwicklung von Drehschiebermotoren zustande. In der darauf folgenden Zeit kann sich Wankel seinen Studien widmen.

Die Untersuchungen verschiedener innenachsiger Rotationskolbenmotoren führen ihn schliesslich wieder zum Zollerkompressor, dem Vorbild für seine Rotationskolbenidee, den er zunächst als KKM 17 (=Kreiskolbenmaschine) vereinfachte. In der Weihnachtszeit gelingt ihm die kinematische Umkehrung zur DKM 53 (=Drehkolbenmaschine), ein wichtiger Schritt für die Erreichung seines Zieles, eine hochdrehende, turbinenartige Drehkolbenmaschine. Zudem kann er wieder seinen alten Chefkonstrukteur Ernst Höppner als Mitarbeiter gewinnen.

Wankel spielt nun mit den verschiedensten Formen und Übersetzungsverhältnissen, bis er am 13.04.1954 die endgültige Lösung findet. Man sucht zwar noch nach weiteren, vielleicht besseren Formen, muss aber einsehen, dass nur zwei, allenfalls drei ein Viertaktverfahren zulassen.

NSU erweiterte inzwischen den Vertrag auf den Bau von Drehkolbenmaschinen.

Man beginnt nun mit dem Bau eines Versuchsmotors, der DKM 54. Ende 1957 beträgt die Leistung des 125ccm Motors 29 PS bei 17'000U/min, kurzzeitig registriert man sogar 22'000U/min.

NSUs Zweiradgeschäft geht rapide zurück, etliche Mitarbeiter erhalten die Kündigung und man muss nun aus dem Wankelmotor einen Nutzen ziehen. Man widmet sich nun dem einfacher zu bauenden Kreiskolbenmotor, was Wankel sehr verstimmt. „Ihr habt aus meinem Rennpferd einen Ackergaul gemacht“, wird Wankel später zitiert.

Am 19.1.1960 wird der neue Motor der Öffentlichkeit vorgestellt. Ein NSU Prinz wird mit dem KKM 57 ausgerüstet.

Nahezu alle namhaften Automobilhersteller schlossen nun Lizenzverträge mit NSU ab, so auch Toyo Kogyo (heute Mazda) in Japan.

In den darauf folgenden Jahren wird NSU in die Knie gezwungen, der mässige Erfolg, geschürt durch die Ölkrise, und die hohen Entwicklungskosten der beiden Wankelautos bringt NSU zu einer Fusion mit der VW-Tochter Audi.

1977 verschwindet mit dem Ro80 der letzte Wankelmotor aus der deutschen Automobilszene. In den 80-er Jahren erkrankt Felix Wankel an Prostatakrebs, doch unermüdlich arbeitete er an seinem Lebenswerk. Am 9.10.1988 stirbt Wankel.

(Quelle: „Protokoll einer Erfindung- Der Wankelmotor“)

Der Wankelmotor – Im Vergleich mit dem Hubkolbenmotor

4.1. Mazda RX-7 und VW Polo G40 im Vergleich

Nachfolgend möchte ich die Herstellerdaten des Mazda RX-7 Turbo mit denen des VW Polo G40 vergleichen. Ich habe diese beiden Autos ausgewählt, weil beide einen Lader besitzen, und beide ihre Kraft aus knapp 1.3 Litern schöpfen. (Für den Wankelmotor beziehe ich mich für diesen Vergleich auf das Kammervolumen und nicht auf das äquivalente Volumen).

Der Mazda RX-7 Turbo

Der Zweiseiben- Kreiskolbenmotor des RX-7 wurde mit einem Abgasturbolader und einem Ladeluftkühler ausgerüstet.

4.1.1. Generelle Funktionsweise eines Turboladers:

Die Abgase des Motors treiben die beiden Turbinenräder des Turbos an, die in zwei getrennten Gehäusen auf einer Welle sitzen. Diese Laderwelle erreicht so Geschwindigkeiten von bis zu 120'000 U/ min und sogar mehr. Und da sich der Frischluftrotor auch auf dieser Welle befindet, wird mit der gleichen Drehzahl die Frischluft in die Zylinder gedrängt. Weil beim Verdichten die Luft ziemlich warm wird, benutzt man einen Ladeluftkühler, um die Temperatur auf ein brauchbares Mass hinunterzusetzen, denn kühlere Luft hat einen grösseren Gasdurchsatz als warme. Ein Turbolader erzeugt so mehr Leistung und Drehmoment.

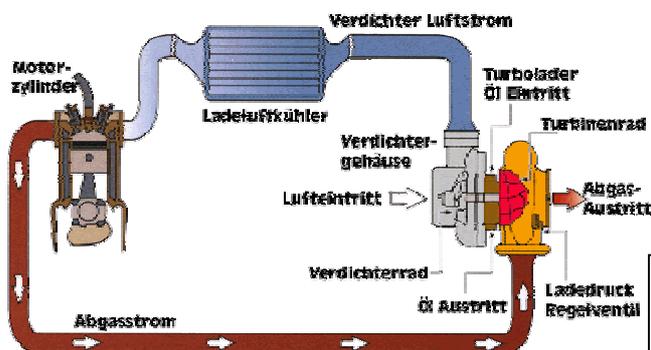


Abb. 10 : Funktionsweise des Turboladers

Quelle: <http://www.turbolader.de/fkttbl.html>

Herstellerdaten <u>Mazda RX-7 Turbo:</u>			
Leergewicht			1260kg
Zuladung			490kg
Motorleistung			133kW/ 180PS bei 8500 U/min
Max. Drehmoment			247Nm bei 3500 U/min
Kammervolumen			2 x 654 cm³
Reifengrösse			205/55 VR 16
Beschleunigung (0-100 km/h)			7.2 Sek.
Höchstgeschwindigkeit			230 km/h
Verbrauch	Stadtzyklus		16.7 l
	Bei 90 km/h		8.4 l
	Bei 120 km/h		11.0 l

Abb. 11:
Daten Mazda RX-7,
 Quelle: Mazda News
 31/87

Aus einem Kammervolumen von nur 1308 cm³ wird mit Hilfe eines Turboladers eine erstaunliche Leistung von 180 PS erreicht.

Aus diesen Daten kann ich nun das Leistungsgewicht berechnen.

Leistungsgewicht= Leergewicht (kg) : Motorleistung (kW)

Leistungsgewicht Mazda RX-7 Turbo = 1260kg : 133 kW = 9.474 kg pro kW

Der VW Polo G40

Der Hubkolbenmotor dieses Autos ist mit einem mechanisch angetriebenen Lader (G-Lader) ausgerüstet. Dadurch soll bei niedrigen Drehzahlen das Drehmoment deutlich angehoben werden, und die Leistung wird um ca. 50 % gesteigert.

4.1.2. Kurze technische Beschreibung des G-Laders:

Kammergehäuse und Verdränger, der durch eine Nebenwelle geführt wird und sich auf der Exzenterwelle bewegt, sind die Hauptteile eines G-Laders.

Der Name „G- Lader“ leitet sich von der Form des Verdrängers ab, die Zahl „40“ steht für das Höhenmass des Verdrängerkanals.

Der Wankelmotor – Im Vergleich mit dem Hubkolbenmotor

Der Verdränger befördert durch seine kreisförmige Bewegung die Luft gleichmässig zur Gehäusemitte. Sie tritt axial aus den Öffnungen rund um die Exzenterwellenlagerung aus, wird dann von einem Ladeluftkühler gekühlt und den Zylindern zugeführt. Es tritt nie eine plötzliche Unterbrechung des Luftstroms auf.



A- Kammergehäuse
B- Nebenwelle
C- Verdränger
D- Exzenterwelle

Abb. 12 : **Der G- Lader**

Quelle:

<http://www.desertstorm.at/technik/lexikon/glader.htm>

Herstellerdaten **VW Polo G40** :

Leergewicht:	830kg
Zuladung:	420kg
Motorleistung:	83kW/ 113PS bei 6000 U/min
Max. Drehmoment:	150 Nm bei 3500- 4400 U/min
Hubraum:	1272 cm³
Reifengrösse:	175/60 R13
Beschleunigung (0- 100 km/h):	8.6 Sek.
Höchstgeschwindigkeit:	196 km/h
Verbrauch Stadtzyklus:	8.9 l
Bei 90 km/h	5.6 l
Bei 120 km/h	7.5 l

Abb. 13: **Daten VW Polo**
Quelle:
Betriebshandbuch
VW Polo

Der VW Polo erreicht mit seinen 1272 cm³ und dem G-Lader eine deutlich geringere Leistung, als der Mazda, nämlich 113 PS.

Ich kann nun auch hier das Leistungsgewicht berechnen.

Leistungsgewicht VW Polo G40 = 830 kg: 83 kW = 10 kg pro kW

Der Mazda erreicht ein kleineres Leistungsgewicht als der VW, d.h. das Verhältnis von Gewicht und Motorleistung ist also besser.

Der Wankelmotor – Im Vergleich mit dem Hubkolbenmotor

Der Wankelmotor erreicht bei fast identischem Volumen von knapp 1.3 Litern 67 PS mehr, als der VW. Die beiden Autos sind zwar nicht mit der gleichen Ladertechnik ausgerüstet, trotzdem wurden beide fast in denselben Jahren produziert.

Anhand der Herstellerangaben kann auch ein durchschnittlicher Benzinverbrauch berechnet werden.

Durchschnittlicher Benzinverbrauch beim VW Polo G40

$$= (8.9l + 5.6l + 7.5l):3 = \underline{7.333 \text{ Liter}}$$

Durchschnittlicher Benzinverbrauch beim Mazda RX-7 Turbo

$$= (16.7l + 8.4l + 11.0 l):3 = \underline{12.033 \text{ Liter}}$$

Auf den ersten Blick ist erkennbar, dass der Mazda RX-7 mit dem Wankelmotor mehr Benzin verbraucht, als der VW Polo mit dem Hubkolbenmotor. Das liegt aber nicht nur am unterschiedlichen Motorprinzip sondern auch daran, dass der Mazda rund 430 kg schwerer ist und 67 PS mehr Leistung hat, was mehr Kraftstoff fordert.

Schon anhand der Herstellerdaten kann man sehen, dass ein Hubkolbenmotor mit 1.3 Litern Hubraum nicht in der gleichen Liga spielt, wie ein Wankelmotor mit 1.3 Litern Kammervolumen.

Darum werde ich mich beim zweiten Vergleich auf das äquivalente Kammervolumen beziehen.

3.1. Der Wankelmotor

Der Wankelmotor ist ein Viertakt-Verbrennungsmotor. Benannt ist er nach seinem Erfinder, Felix Wankel.

In einem Wankelmotor dreht sich ein Kolben, der so genannte Rotor oder Läufer in einem in der Mitte leicht eingeschnürtem Gehäuse, dem Trochoidengehäuse. Der Kreiskolben ist dreieckig und kreist mit dem rotierenden Exzenter der Exzenterwelle.



Abb. 2: Läufer im Trochoidengehäuse

Quelle:

<http://www.dataphone.se/~berglund/wankel>

Durch die Zahnradsteuerung, bestehend aus Hohlrund und Ritzel, dreht er sich um sich selbst.

Die Ecken der nach aussen leicht gewölbten Kolben stehen ständig in Kontakt mit dem Trochoidengehäuse und bilden so drei unabhängige Arbeitsräume.

Bei einer Kolbenumdrehung finden drei Zündungen statt. Pro Exzenterwellenumdrehung erfolgen vier Takte, der Grund dafür liegt darin, dass der Läufer nur mit 1/3 der Drehzahl der Exzenterwelle dreht. So gibt der Wankelmotor auch bei jeder Exzenterwellenumdrehung Kraft ab. Zum Vergleich, ein Viertakt- Hubkolbenmotor benötigt zwei Kurbelwellenumdrehungen für die vier Takte.

Legende:

- Z-Zündkerze
- A-Kammer A
- B-Kammer B
- C-Kammer C
- I-Innenverzahnung des Kolbens
- R-feststehendes Ritzel
- L-Laufläche des Exzenters
- E-Exzentermittelpunkt

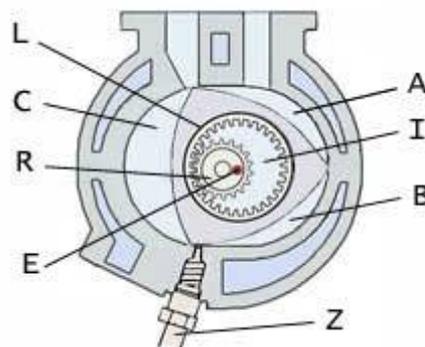


Abb. 3: Einzelne Teile des Motors

Quelle:

http://www.jhk1.de/motor/wankel_e.htm

Der Wankelmotor birgt noch mehr Vorteile. Er benötigt keine Ein- und Auslassventile und so fallen auch sämtliche dazugehörige Teile, wie die Nockenwelle weg. Der Motor besteht aus viel weniger Teilen als ein Hubkolbenmotor und ist somit kompakter und leichter.

Mit einem Grundmotor kann man sowohl einen Benzin, wie auch einen Dieselmotor bauen.

Der Wankelmotor – Im Vergleich mit dem Hubkolbenmotor

Man unterscheidet zwischen dem Drehkolbenmotor (DKM) und dem Kreiskolbenmotor (KKM). Ein Drehkolbenmotor hat mehrere Drehkörper, sie rotieren um ihren Mittelpunkt, vergleichbar mit einem Rad. Die Drehteile werden in sich ausgewuchtet. Sehr hohe Drehzahlen sind möglich.

Durch kinematische Umkehrung erhält man aus einem Drehkolbenmotor einen Kreiskolbenmotor. Dabei wird der Aussenläufer stillgesetzt. Um die erforderlichen Räume für ein Viertaktverfahren zu erhalten, muss nun der Mittelpunkt des Innenläufers kreisen, die Drehachse muss durch einen Exzenter geführt werden. So hohe Drehzahlen wie bei dem DKM werden nicht erreicht.

Hier kann man das Arbeitsschema eines Wankelmotors sehen:

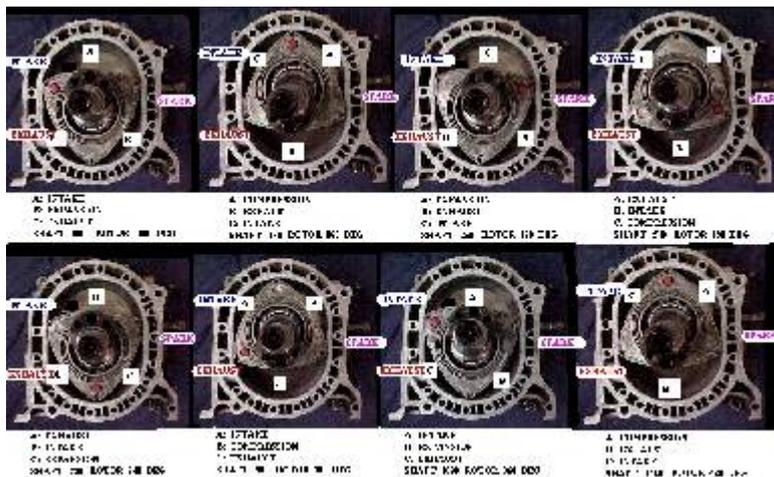


Abb. 4: Arbeitsschema eines Wankelmotors

Quelle: <http://www.rotaryeng.net/>

3.2. Der Hubkolbenmotor (4-Taktprinzip)

Der Hubkolbenmotor ist ein Verbrennungsmotor, der nach dem Prinzip arbeitet, dass er durch seinen im Zylinder hin- und hergehenden Kolben die Volumenänderung des Gases zu Stande bringt.

Der 1876 von Nicolaus August Otto zur Serienreife entwickelte Motor, arbeitete nach dem Viertaktprinzip und ist der Vorgänger der heute üblichen Viertakt-Otto-Motoren.

In einem Arbeitsspiel werden die vier Takte (Ansaugen, Verdichten, Arbeiten und Ausstossen) ausgeführt. Wobei nur einer dieser Takte, der Arbeitstakt für Antriebskraft sorgt. Die Auf- und Abbewegung des Kolbens wird durch die Pleuelwelle in eine Drehbewegung umgewandelt. Über den Pleuel wird Arbeit abgegeben.

Für ein regelmässigeres und laufruhigeres Ergebnis verwendet man mehrere Zylinder, die gegeneinander versetzt arbeiten.

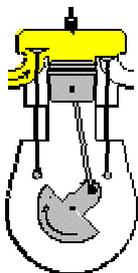


Abb. 5: **Die 4 Takte im Überblick**

Quelle: <http://www.milkmoon.de>

Nun möchte ich etwas genauer auf die einzelnen Takte eingehen.

1. Takt: Der Ansaugtakt



Das Benzin-Luft Gemisch des Vergasers wird infolge eines Unterdrucks durch das offene Einlassventil angesaugt.

Der Kolben bewegt sich nach unten, also in Richtung der Pleuelwelle.

Das Auslassventil ist dabei geschlossen.

Abb. 6: **1.Takt eines Hubkolbenmotors**, Quelle:

<http://www.bsnu.nu.by.schule.de/rsv/itbu/ph-01.htm>

Der Wankelmotor – Im Vergleich mit dem Hubkolbenmotor

4.2. Vergleich Mazda RX-8 und Ford Probe

Die beiden Autos unterscheiden sich grundsätzlich in ihren Motoren. Im Mazda RX-8 befindet sich ein Kreiskolbenmotor mit 2 Rotoren. Im Ford Probe ist ein V6 24V Motor eingebaut, also ein 6 Zylinder- Hubkolbenmotor. Dieser Motor wurde ebenfalls von Mazda gebaut, denn der Ford Probe „basiert“ auf dem Mazda MX-6.

4.2.1. Herstellerdaten

	Ford Probe	Mazda RX-8
<i>Motor</i>	V6 Hubkolbenmotor	Kreiskolbenmotor mit 2 Rotoren
<i>Hubraum [cm³]</i> <i>äquivalent</i>	2497	1308 (Kammervolumen) 2616
<i>Max. Leistung</i> <i>[kW/ PS]</i>	120/ 163	141/ 192
<i>Max. Drehmoment</i> <i>[Nm]</i>	216	220
<i>Antrieb</i>	Vorderradantrieb	Hinterradantrieb
<i>Leergewicht [kg]</i>	1280	1330
<i>Beschleunigung 0- 100 km/h [s]</i>	8.5	7.8
<i>Höchst- geschwindigkeit</i> <i>[km/h]</i>	220	230

Abb. 14 : **Tabelle der Herstellerdaten**
Quelle:
Betriebshandbuch
Mazda und Ford

Anhand der Herstellerangaben lässt sich das Leistungsgewicht der beiden Autos berechnen.

Leistungsgewicht = Leergewicht (kg) : Motorleistung (kW)

Ford Probe: Leistungsgewicht = 1280kg : 120 = 10.666 kg pro KW

Mazda RX-8: Leistungsgewicht = 1330 : 141 = 9.433 kg pro KW

Hier zeigt sich der Vorteil des Mazdas durch sein verhältnismässig geringes Gewicht zu der Motorleistung. Das Leistungsgewicht fällt wesentlich besser aus.

Der Wankelmotor – Im Vergleich mit dem Hubkolbenmotor

In Sachen Drehmoment und Höchstgeschwindigkeit liegen der Ford Probe und der Mazda RX-8 aber wieder in einem ähnlichen Rahmen. Auch beim Vergleich der „Höchst Drehzahlen“ fällt der wankelmotorbetriebene Mazda nicht sonderlich auf.

Der Motor des Mazda RX-8s lässt sich bis 7500 U/min hochdrehen, dann erklingt ein Piepston.

Die elektrisch abgeriegelte Drehzahl des Ford Probes liegt bei 7200 U/min.

4.2.2. Materialvergleich

Die Materialien eines Wankelmotors und die üblichen Materialien eines Hubkolbenmotors werden beschrieben.

Wankelmotor RENESIS:

Laufschicht: Chrom- Molybdän

Chrom ist ein gut dehnbares Schwermetall, das an der Luft äusserst beständig ist, da es von einer dünnen Oxidschicht überzogen wird. Chrom wird vor allem als Legierungsmaterial benutzt. Der Schmelzpunkt liegt bei 1907 °C, der Siedepunkt bei 2671 °C.

Molybdän ist ein sprödes, zähes und relativ hartes Schwermetall. Es ist ebenfalls, wegen einer dünnen Oxidschicht, an der Luft beständig. Molybdän wird zur Härtung von Stahl benutzt, so wird die Festigkeit, sowie die Korrosions- und Hitzebeständigkeit verbessert.

Molybdän schmilzt bei 2623 °C und siedet bei 4639 °C.

Bei früheren Wankelmotoren bestand die Laufschicht nur aus Chrom. Mazda benutzt die Chrom- Molybdänlegierung zur Verminderung der unliebsamen Rattermarken (= Kratzspuren in der Laufschicht).

Dichtleistenmaterial: Kolbenringmaterial

Kolbenringe werden aus Sondergusseisen hergestellt. (Siehe weiter unten unter „Kolbenringe“ beim Hubkolbenmotor)

Kammern: Aluminium

Aluminium ist ein weiches Leichtmetall, das sehr gut dehnbar und verformbar ist. Innerhalb weniger Sekunden bildet sich bei Aluminium eine dünne Oxidschicht, die es vor weiterer Korrosion schützt. Der Schmelzpunkt liegt bei 660.37 °C der Siedepunkt befindet sich bei 2519 °C.

Der Wankelmotor – Im Vergleich mit dem Hubkolbenmotor

Seitenteile und Läufer: Grauguss

Grauguss besteht aus Gusseisen, das mit Lamellengraphit versetzt wurde (GJS). Der Name Grauguss geht darauf zurück, dass es durch den Graphit grau erscheint.

Die Grundzusammensetzung besteht aus Kohlenstoff, Silicium und Mangan. Es ist also ein Eisen- Kohlenstoff- Gusswerkstoff.

Es hat hervorragende giesstechnische Eigenschaften und ist äusserst robust. Es besitzt ebenfalls eine geringe Kerbempfindlichkeit. Langzeitiger Einsatz von GJS bei Temperaturen von 350- 450 °C, wenn es nicht legiert, oder nur wenig legiert wurde, ist nur eingeschränkt möglich. Es wandelt sich bei Temperaturen von über 400 °C zu Ferrit um, verliert an Festigkeit und Härte und das Volumen nimmt zu.

Die Festigkeit wird von der Menge Graphit bestimmt, die zugegeben wird. Je höher der Kohlenstoffgehalt ist, desto niedriger ist die Festigkeit.

Die Druckfestigkeit des Gusseisens mit Lamellengraphit beträgt ein Mehrfaches der Zugfestigkeit, denn Graphit kann keine Zugkräfte übertragen, dafür aber Druckkräfte.

Materialbeispiele für einen HUBKOLBENMOTOR:

Motorblock: Gusseisen, Alulegierung

Zylinderkopf: Gusseisen, Alulegierung

Nockenwelle: Schalenhartguss oder geschmiedeter Stahl

Stahl ist eine Eisen-Kohlenstoff-Legierung mit weniger als 2.06 % Kohlenstoffanteil. Ist der Anteil höher, so spricht man von Gusseisen.

Stahl korrodiert, bei der Reaktion von Eisen und Luft entsteht Eisenoxid (Rost).

Kolben: Aluminium mit Silicium- Legierung

Silicium hat einen Schmelzpunkt von 1414°C und einen Siedepunkt von 3265°C. Es ist relativ hart und hat eine hohe thermische Leitfähigkeit. Es wird als Legierung für Aluminium, Eisen oder Kupfer gebraucht.

Kolbenringe: Gusseisen oder hochlegierter Stahl, Schutzschichten aus Ferroxid oder Phosphat (Verbesserung der Gleiteigenschaften), teilweise auch Molybdän. Ausnahme: Oberster Verdichtungsring, ist wegen der hohen Beanspruchung meist noch hartverchromt.

Der Wankelmotor – Im Vergleich mit dem Hubkolbenmotor

Das bedeutet, dass dickere Chromschichten ohne Zwischenschichten direkt abgeschieden wurden. Somit wird die Härte erhöht und das Korrosionsverhalten verbessert.

Bei beiden Motoren wird oft Gusseisen verwendet. Sehr wichtig ist beim Wankelmotor das Molybdän, da ohne das die Laufsichten schneller angegriffen wären. Aber auch beim Hubkolbenmotor sind die Legierungen wichtig. Die Teile eines Verbrennungsmotors werden ja sehr hohen Belastungen ausgesetzt.

4.2.3. Abgaswerte

In der Schweiz bestehen gesetzliche Vorschriften in welchen Zeitintervallen eine Abgasuntersuchung durchzuführen ist:

„1) Die in der Schweiz zugelassenen leichten Motorenwagen mit Fremdzündungsmotor und einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h und mehr müssen im Hinblick auf ihre Abgasemissionen, die in der Schweiz zugelassenen Motorwagen mit Selbstzündungsmotor im Hinblick auf ihre Abgas- und Rauchemissionen, gewartet werden. Ausgenommen sind Motorwagen, die vor dem 1. Januar 1976 erstmals immatrikuliert wurden, sowie landwirtschaftliche Arbeitskarren.

2) An Fahrzeugen, die der Abgaswartung unterstehen, muss der Halter diejenigen Teile, die auf die Abgasemissionen einen Einfluss ausüben (Art. 35 VTS), innerhalb der nachfolgenden Fristen warten lassen“:

(Quelle: VRV Art. 59a PFLICHTEN DES HALTERS)

Benzinmotoren ohne Katalysator	alle 12 Monate
Benzinmotoren mit Katalysator (ohne OBD)	alle 24 Monate
Dieselmotoren (ohne OBD)	alle 24 Monate
Benzin- und Dieselmotoren mit OBD	alle 24 Monate

Prüfablauf bei Benzinmotoren:

Zuerst erfolgt eine Sichtprüfung der Abgasanlage, dabei wird kontrolliert, ob die Anlage Beschädigungen hat und ob sie dicht ist.

Dann werden Drehzahl und Motortemperatur überprüft.

Mit einem Messgerät werden der CO- und der Lambdawert in einem definierten Drehzahlfenster überprüft.

Der Wankelmotor – Im Vergleich mit dem Hubkolbenmotor

Die Messgeräte arbeiten hauptsächlich nach dem NDIR- Verfahren (Nicht dispersives Infrarotverfahren). Dabei wird das Infrarotlicht von bestimmten Abgasteilen bei einer charakteristischen Wellenlänge stark absorbiert.

Abgaswerte der Vergleichsfahrzeuge(im Leerlauf):

Ford Probe

<u>Sollwerte</u>		<u>Messwerte</u>
0.5 Vol %	CO Vol. %	0.03 Vol %
kleiner als 100 ppm	HC	62 ppm
grösser als 12 Vol %	CO₂	15.23 Vol %

Mazda RX-8

<u>Sollwerte</u>		<u>Messwerte</u>
Bis 3.0 Vol %	CO Vol. %	0.008 Vol %
kleiner als 100 ppm	HC	1 ppm
grösser als 12 Vol %	CO₂	15.2 Vol %

Der CO₂ Gehalt im Abgas ist beim RX-8 gleich wie beim Ford Probe. Der Gehalt an CO (= Kohlenmonoxid, wirkt als Atemgift) ist beim RX-8 kleiner und auch die HC- Werte zeigen einen deutlichen Unterschied zu Gunsten des Wankelmotors.

Der RX-8 ist in mit einem On Board Diagnose System (OBD) ausgerüstet. Damit entfällt bei diesem Auto die Messung der Abgase, aber nicht die Abgaswartung.

Das On Board Diagnose System überwacht bei Fahrzeugbetrieb ständig die abgasrelevanten Komponenten und Systeme. Bei der Abgaswartung wird geprüft, ob das OBD- System richtig arbeitet und die gestellten Anforderungen erfüllt sind.

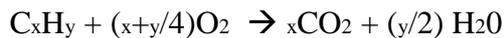
Das geschieht durch die Auslesung des Fehlerspeichers, ein eingetragener Fehler bedeutet, dass der Abgastest nicht bestanden ist.

4.2.3.1. Lambdawert und Lambdasonde

Bei einem Benzinmotor wird Benzin mit Sauerstoff verbrannt. Benzin besteht aus einer Mischung von verschiedenen Kohlenwasserstoffen C_xH_y, wobei sich sie längsten Ketten im Bereich von C₈H₁₈ befinden. Bei einer optimalen Verbrennung oxidieren die Kohlenwasserstoffe zu Wasser (H₂O) und Kohlendioxid (CO₂).

Der Wankelmotor – Im Vergleich mit dem Hubkolbenmotor

Die Reaktion sieht dann so aus:



Das stöchiometrische Verhältnis von Benzin und Luft liegt bei 14,7 : 1, das bedeutet, dass auf 14.7 kg Luft 1 kg Benzin kommt.

Der Lambdawert ergibt sich dann so:

$$\text{Lambda} = (M_{\text{Luft}} / M_{\text{Kraftstoff}})_{\text{aktuell}} : (M_{\text{Luft}} / M_{\text{Kraftstoff}})_{\text{stöchiometrisch}} \quad (M \text{ steht für Masse})$$

Der Lambdawert für eine optimale Verbrennung liegt also gerade bei 1.

Ein mageres Gemisch liegt bei einem Lambdawert >1 vor, das bedeutet, dass für die Verbrennung zu viel Luft enthalten ist. Ein fettes Gemisch besteht bei einem Lambdawert <1, hier steht zu viel Kraftstoff zur Verfügung.

Eine Lambdasonde misst nun ständig wie hoch der Sauerstoffanteil im Abgas ist.

Die Lambdawerte werden an die elektronische Motorsteuerung weitergegeben.

Ein Katalysator erreicht die beste Reduzierung der Schadstoffe indem sich der Lambdawert zwischen 0.98- 1.01 bewegt.

4.2.4. DB- Vergleich

Mit Hilfe eines dB- Messgerätes, dem Sound Level Master, konnten die Werte der Schallintensität gemessen werden. Beide Autos wurden mit Betriebstemperatur, gemessen.

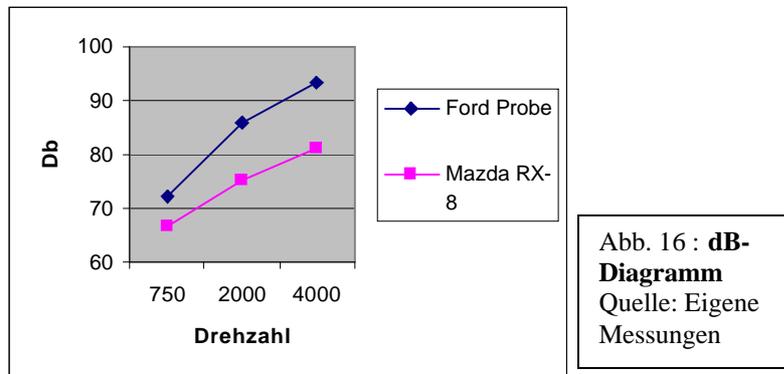
Die hier aufgeführten Werte sind Durchschnittswerte mehrerer Messungen.

	Ford Probe	Mazda RX-8
Standgas 750-800 U/min	47.5	43.5
Stehend ~2000 U/min	54.2	49.2
Stehend ~4000 U/ min	61.5	54.8
Fahrend ~2000 U/min	64.5	60.4
Fahrend ~4000U/ min	66.9	61.0
Fahrend ~6000 U/min	70.7	64.7
Aussenwerte an Motor, Standgas 800-750 U /min	72.3	66.8
Aussenwerte an Motor, stehend ~2000 U /min	85.9	75.3
Aussenwerte an Motor, stehend ~4000 U /min	93.4	81.1

Abb. 15: **Tabelle Schallintensität** Quelle: Eigene Messungen

Der Wankelmotor – Im Vergleich mit dem Hubkolbenmotor

Da man bei den Aussenwerten eine schöne Entwicklung mit Erhöhung der Drehzahl feststellen kann und diese nicht durch andere Faktoren, wie das Abrollgeräusch der Reifen beeinflusst werden, habe ich diese Werte graphisch in einem Diagramm dargestellt.



Wie man auch in der Tabelle sehen kann, erreicht der RX-8 die tieferen Werte. Daraus lässt sich schliessen, dass ein Wankelmotor den geringeren Schalldruck als ein V6 Hubkolbenmotor hat, was dann auch als ruhiger empfunden wird. Der Wankelmotor entwickelt bei höherer Drehzahl ein helles, turbinenartiges Geräusch, der Hubkolbenmotor hat einen wesentlich tieferen, dumpferen Klang.

4.2.5. Beschleunigung

Eine richtige Beschleunigungsmessung konnte nicht durchgeführt werden.

Aber auf dem Fahrsicherheitsgelände des ÖATMC in Röthis durfte ich unter Aufsicht eines Leiters Messungen zur Geschwindigkeit ausführen.

Auf einer geraden Strecke von 70m wurde aus dem Stand heraus beschleunigt und am Ende dieser Strecke wurde die gefahrene Geschwindigkeit mit einem Sensor im Boden gemessen und bei einer Messstation angezeigt. Beide Motoren wurden bis zum Beginn des roten Bereichs der Drehzahlanzeige gefahren, bis der nächste Gang eingelegt wurde. (Nicht bis zu der elektronisch abgeriegelten Höchstdrehzahl).

Das bedeutet beim Wankelmotor ca. 7500 U /min und beim Hubkolbenmotor ca. 6500 U/min. Hier zeigt sich schon ein Vorteil des RX-8s, er erreicht höhere Drehzahlen.

Folgende Geschwindigkeiten wurden am Ende der 70 m erreicht:

	1. Messung	2. Messung	3. Messung	Durchschnitt
Mazda RX-8	74.3 km/h	65.6 km/h	74.3 km/h	71.4 km/h
Ford Probe	69.7 km/h	69.7 km/h	69.7 km/h	69.7 km/h

Abb.17: Tabelle Endgeschwindigkeiten der Beschleunigungsmessung Quelle: Eigene Messungen

Der Wankelmotor – Im Vergleich mit dem Hubkolbenmotor

Mit dem Ergebnis, dass der RX-8 die höhere Endgeschwindigkeit erreicht hat, bestätigt sich, was schon bei den Herstellerangaben gelesen werden konnte: Der Mazda RX-8 hat beim Beschleunigen die Nase vorn.

Der Grund für den tiefen Wert in der 2. Messung des RX-8s liegt allerdings darin, dass zu früh hochgeschaltet wurde.

4.2.6. Benzinverbrauch

Während rund 10'000km wurde beim Mazda RX-8 der Benzinverbrauch gemessen.

Fahrzeug 1		Mazda RX-8		
Datum	km- Stand	gefahrte km	Liter	durchschnittlicher Verbrauch (pro 100km)
08.04.2004	1000	265	30.6	11.547
11.04.2004	1140	460	51	11.087
18.04.2004	2602	410	45.4	11.073
21.04.2004	2983	381	42.6	11.181
25.04.2004	3419	436	47.2	10.826
28.04.2004	3798	379	40.9	10.792
30.04.2004	4195	397	42.3	10.655
05.05.2004	4456	261	29.13	11.161
09.05.2004	4926	470	52.5	11.170
12.05.2004	5322	396	43	10.859
16.05.2004	5815	493	50.96	10.337
23.05.2004	6293	478	49.97	10.454
26.05.2004	6654	361	37.4	10.360
06.06.2004	7106	452	47.61	10.533
07.06.2004	7432	325	34.14	10.505
10.06.2004	7787	355	35.9	10.113
13.06.2004	8193	406	39.98	9.847
17.06.2004	8647	454	46.29	10.196
20.06.2004	9062	415	39.81	9.593
24.06.2004	9465	403	41.63	10.330
29.06.2004	9839	374	38.5	10.294
03.07.2004	10288	448.6	45.75	10.198
07.07.2004	10696	408	41.29	10.120
11.07.2004	11182	486	47.86	9.848
Durchschnittsverbrauch				10.518

Abb.18: **Tabelle Benzinverbrauch Mazda RX-8**
Quelle: Eigene Messungen

Da die Messungen bei Neuzustand des Autos begonnen haben, kann man sehr schön beobachten, wie der Benzinverbrauch stetig abnimmt. Die Einfahrphase des Motors wird hier deutlich sichtbar.

Fahrzeug 2		Ford Probe		
Datum	km-Stand	gefahrte km	Liter	durchschnittlicher Verbrauch (pro 100km)
12.04.2004	25000	560	50.1	8.946
18.04.2004	26090	384.1	38	9.893
02.05.2004	26469	379	41	10.818
23.05.2004	26888	419	45	10.740
05.06.2004	27338	450	41	9.111
10.06.2004	27831	493	46.2	9.371
Durchschnittsverbrauch				9.731

Abb.19: **Tabelle Benzinverbrauch Ford Probe**
Quelle: Eigene Messungen

Bei diesen Messungen wird eine Differenz im Benzinverbrauch von knapp 0.8 Litern festgestellt. Wenn man aber beachtet, dass der RX-8 rund 30 PS mehr hat, dann liegen die Werte ziemlich im gleichen Rahmen. Man kann hier also sicher nicht davon sprechen, dass der RX-8 viel mehr Benzin verbraucht, als ein gleichwertiges Hubkolbenmotorfahrzeug.

4.2.7. Ölverbrauch

Der Ölverbrauch wurde nach einer bestimmten Fahrleistung registriert.

Nach 20'000 km Fahrt hat der Mazda RX-8 5 Liter Öl verbraucht, das ergibt:

1 Liter Öl pro 4'000 km.

Nach 20'000 km Fahrt mit dem Ford Probe wurden 3.5 Liter Öl verbraucht, das ergibt:

0.7 Liter Öl pro 4'000 km.

Die Differenz im Ölverbrauch ist nicht sehr gross ist. Sie beträgt nach 20'000km 1.5 Liter, die der Wankelmotor mehr verbraucht, was aber auf die Schmierung zurückzuführen ist.

4.2.8. Wartungskosten

Bei den Wartungskosten können keine grossen Differenzen festgestellt werden.

Kleine Unterschiede bestehen in der Anzahl Zündkerzen. Der Ford Probe V6 braucht 6 Zündkerzen, der Mazda RX-8 nur 4. Und beim Wankelmotor fällt natürlich der Wechsel des Zahnriemens weg. Da er auch keine Ventile hat, können auch dort keine Kosten entstehen. Lediglich beim Öl ist der Wankelmotor ein wenig heikler als ein Hubkolbenmotor. Man sollte also auch zwischen den Serviceintervallen immer kontrollieren, ob genügend Öl vorhanden ist.

Der Wankelmotor – Im Vergleich mit dem Hubkolbenmotor

5. Spitzenklasse : Der Mazda RX-7 FD



Abb. 20: **Mazda RX-7 FD**
Quelle: <http://www.rx-7club.ch/>
=> Galerie
=> Herbstausflug (Herbst 04)

Ein selten gesehenes Auto auf Schweizer Strassen:
Der Mazda RX-7 FD. 1992 wurde er in der Schweiz
erstmals präsentiert.

Konzipiert als Sportwagen mit Kreiskolbenmotor
wurde eine optimale Gewichtsverteilung von 50:50
erreicht.

Der Cw-Wert liegt bei rund 0.3. Im Vergleich zum
Vorgängermodell wurde das Gewicht um 50 kg
reduziert, was vor allem auf die Verwendung von
Aluminium zurückzuführen ist. Das Fahrwerk

besteht fast komplett aus Aluminium. Sogar im Innenraum wurden Gewichtsoptimierungen an
den Kunststoffteilen geübt. Heraus kommt ein Leergewicht von 1290 kg.

Angetrieben wird das Auto von einem Zweischeiben Kreiskolbenmotor, der bei 6500 U/min
241 PS und bei 5000 U /min 294 Nm erreicht. Von 0- 100 km/h sprintet der „FD“ in nur 5.3 s.
Möglich ist dies auch durch den neuartigen zweistufigen Abgasturbolader, der kein
„Turboloch“ mehr aufweist. Eine der beiden Turbinen läuft immer mit und ab ca. 4500 U/min
schaltet sich der zweite Lader hinzu. Allein über 200 Unterdruckschläuche werden für dieses
sequentielle Twin-Turbo-System benötigt.

Die Sportlichkeit hatte aber auch seinen Preis, der RX-7 FD kostete ca. 80'000 sFr.

Nach Deutschland wurden rund 300 Einheiten importiert, in die Schweiz nur einige wenige,
wovon heute noch etwa 29 solcher Fahrzeuge immatrikuliert sind.

(Quelle: Mazda Rotary Club Schweiz)

Der Import wurde 1996 eingestellt, in Japan wurde der RX-7 FD aber weiter verkauft.

Es erschien sogar eine überarbeitete Version mit drei Leistungsstufen: 255, 265 und 280 PS.

Der Wankelmotor – Im Vergleich mit dem Hubkolbenmotor

6. Zusammenfassung

Ich habe zwei Vergleiche zwischen Wankelmotoren und Hubkolbenmotoren durchgeführt, wobei ich beim ersten als Bezugsgrössen ausschliesslich die Herstellerdaten hinzugezogen habe. Ein weiterer wichtiger Unterschied zwischen den beiden Vergleichen besteht im Hubraumunterschied.

Bei der ersten Gegenüberstellung wählte ich zwei Fahrzeuge mit rund 1.3 Liter Hubraum bzw. Kammervolumen und einem Aufladungssystem.

Beim zweiten Vergleich verwendete ich einen 2.5 Liter 6-Zylindermotor und bezog mich beim Wankelmotor auf das äquivalente Kammervolumen von 2.6 Liter.

Es zeigt sich, dass der Wankelmotor, vor allem bei der ersten Gegenüberstellung, deutlich mehr Leistung hat. Dort wird aber auch ein grosser Unterschied im Benzinverbrauch sichtbar. Somit wird erkenntlich, dass ein Wankelmotor trotz des 1.3 Liter Kammervolumens in der Region eines 6-Zylinder-Hubkolbenmotors anzusiedeln ist.

Beim zweiten Vergleich werden auch keine grossen Unterschiede zwischen den beiden Autos verzeichnet. Bezüglich Leistung und Benzinverbrauch bewegen sie sich im selben Rahmen. Auch die Abgaswerte und Wartungskosten sind ähnlich.

Lediglich in Sachen Schalldruck schneidet der Wankelmotor besser ab. Vor allem im höheren Drehzahlbereich erscheint das helle, turbinenartige Geräusch ruhiger als der tiefere Ton des Hubkolbenmotors.

Die einzige kleine „Schwachstelle“ des Wankelmotors liegt im Ölverbrauch. Da das Öl ein sehr wichtiger Bestandteil der Motorschmierung ist, wird auch mehr verbraucht. Das heisst, von Zeit zu Zeit sollte der Ölstand kontrolliert werden.

Mein Fazit: Die ganzen negativen Gerüchte, denen ich in dieser Arbeit nachgegangen bin, wurden in meinen Messungen nicht bestätigt.

Es lässt sich sogar sagen, dass die Technik des neuen RENESIS-Wankelmotors im Mazda RX-8 schon so weit ausgereift ist, dass ein Vergleich mit einem gleichwertigen Hubkolbenmotor nicht gescheut werden muss.

7.Quellenverzeichnis

Bücher und Zeitschriften

„Protokoll einer Erfindung, Der Wankelmotor“	Dieter Korp
„Gusseisen mit Lamellengraphit, Eigenschaften und Anwendungen“	Zentrale für Gussverwendung
„Fahrzeugtechnik, Karosserie- und Fahrzeugbau“	Lausen, Erhardt, Raschke, Winkler
„Mazda News 28/86“	Mazda
„Mazda News 30/86“	Mazda
„Mazda News 31/87“	Mazda
„Mazda News 38/88“	Mazda
„Mazda News 40/89“	Mazda
„Auto Zeitung“	
„Betriebshandbuch Mazda RX-8“	Mazda
„Betriebshandbuch Ford Probe“	Ford
„Betriebshandbuch VW Polo“	Volkswagen
ADAC Deutschland	

Internetseiten

www.seilnacht.com

<http://www.t-online.de/>

<http://www.schwab-kolb.com/>

<http://der-wankelmotor.de/>

<http://www.enjoy.ch/>

<http://www.rx-7-power.de/>

<http://www.tiho-hannover.de/>

www.nsumotor.onlinehome.de

<http://www.net-lexikon.de/>

<http://www.jhk1.de/>

<http://www.rx7-ocke.de/>

8.Schlusswort

Zu Beginn dieser Arbeit hatte ich fast kein Vorwissen über den Wankelmotor, was mich natürlich neugierig machte, mehr zu erfahren.

Ich habe durch diese Arbeit viele neue Menschen kennen gelernt und auch interessante Kontakte geknüpft.

Der Höhepunkt in dieser Zeit war, als ich mich einmal selbst hinter das Steuer eines RX-8s setzen durfte und so nicht nur theoretische Erkenntnisse sammelte, sondern den Wankelmotor auch praktisch erfahren durfte.

Sehr erfreulich waren auch meine Messergebnisse. Ich war von Anfang an skeptisch gegenüber den Vorurteilen, die man zum Thema Wankelmotor hegt. Und nun hat sich bestätigt, dass sich der RX-8 sehr wohl als Alltagsauto eignet, wie z.B. der Ford Probe mit dem 6- Zylindermotor.

8.1. Dank

Ich bedanke mich bei meinem Maturaarbeitsbetreuer **Martin Pozivil**, der mir mit guten Ratschlägen zur Seite stand, sowie dem Assistenten **Josef Blum** für die ausführlichen Erklärungen des Messgeräts.

Vielen Dank auch an den **Mazda Rotary Club** Schweiz, der mich freundlich aufgenommen hat und mir vieles verständlich machte. Besonderen Dank gehen dabei an **Peter Willi**, für die Bereitstellung von Büchern und **Pascal Fässler**, der mir für die Messungen seinen Mazda RX-8 zur Verfügung stellte und dafür sorgte, dass ich selbst Wankel- Erfahrungen sammeln durfte.

Weiter danke ich meiner **Familie**, die mich stets unterstützt hat, vor allem aber meinem Bruder **Emanuel Kobler**, der seinen Ford Probe für die Messungen zur Verfügung stellte.

Ein Dank geht auch an die **Zollgarage Kriessern** für die Abgasmessungen, an den **ÖAMTC**, wo wir die Geschwindigkeitsmessungen durchführen durften, sowie an den **ADAC** und die **Zentrale für Gussverwendung**, die mir Hilfe boten, indem sie mir Auskunft erteilten und Broschüren zuschickten.

Der Wankelmotor – Im Vergleich mit dem Hubkolbenmotor

9. Anhang

Hier möchte ich einige Bilder der Fahrzeuge zeigen, die ich in meiner Maturaarbeit erwähnt habe, damit man sich auch vorstellen kann, was das für Autos sind, die ich beschrieben und miteinander verglichen habe.

Vergleich 1: Mazda RX-7 FC und VW Polo G40 (S.11- 14)



Abb. 21: **Mazda RX-7 FC** Quelle <http://www.rx-7club.ch>



Abb. 22: **VW Polo G40** Quelle:
<http://www.xtreme4u.ch/fotos/index.php?label=vw&cat=70>

Vergleich 2: Mazda RX-8 und Ford Probe (S.15- 23)



Abb. 23: **Ford Probe** Quelle:
<http://www.xtreme4u.ch/fotos/index.php?page=2&label=ford&cat=300>

Der Wankelmotor – Im Vergleich mit dem Hubkolbenmotor



Abb.24: **Mazda RX-8** Quelle: Quelle: <http://www.rx-7club.ch>
<http://www.xtreme4u.ch/fotos/index.php?label=mazda&cat=475>

Spitzenklasse: Der Mazda RX-7 FD (S.23)



Abb.25: **Mazda RX-7 FD** Quelle: <http://www.rx-7club.ch> und
<http://www.xtreme4u.ch/fotos/index.php?page=14&label=mazda&cat=13>