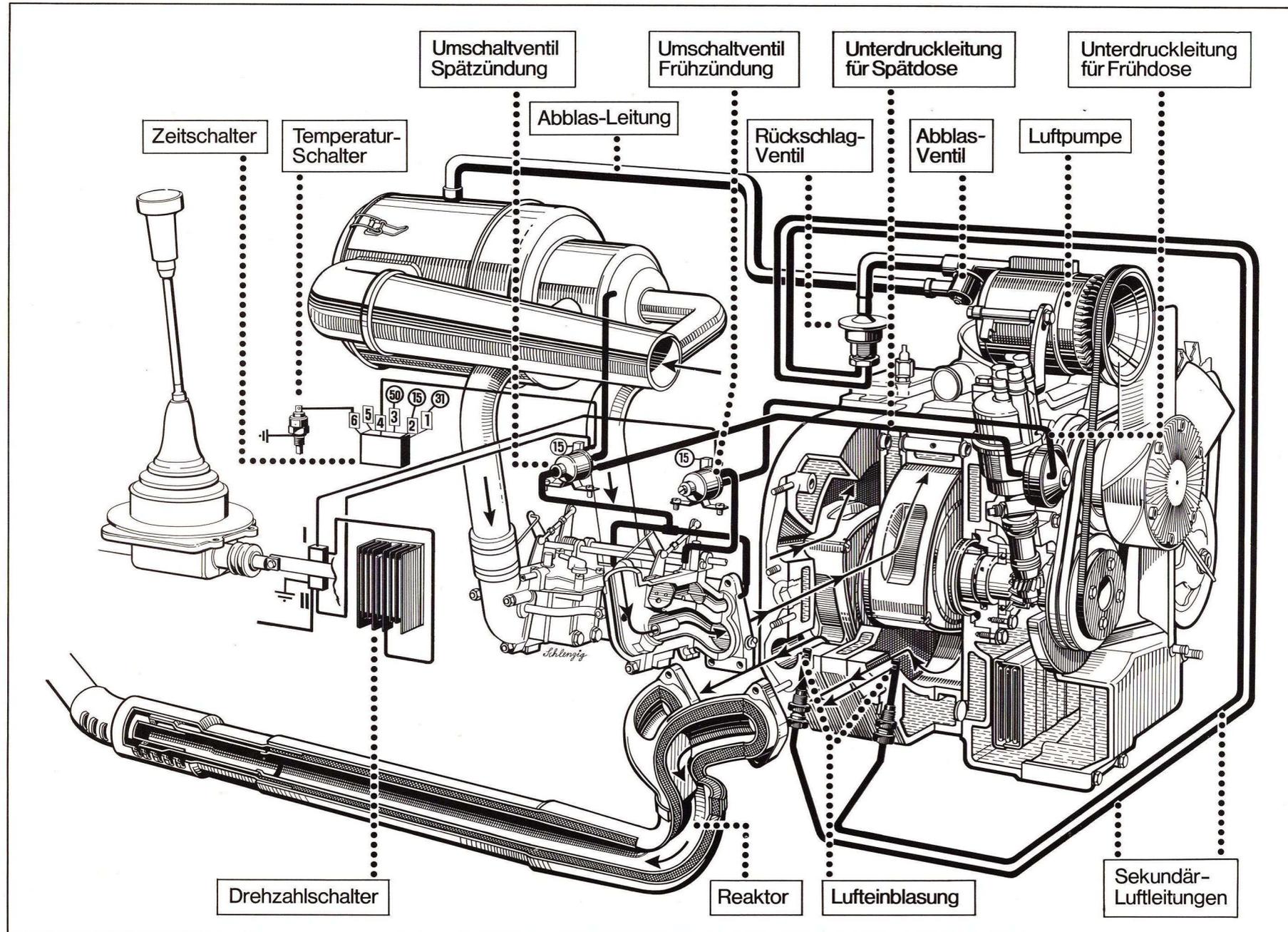




AUDI NSU

Abgasreinigung beim NSU-Ro 80-Motor





Ingolstadt, Februar 1972

Dipl.-Ing. Peter von Manteuffel
Forschungsabteilung

Der Weg des Wankelmotors
von der Vorstellung des
NSU Ro 80, 1967, bis heute

Die bisherige Entwicklungsgeschichte des Ro 80-KKM war alles andere als langweilig. Wer das Glück hatte, dabei zu sein, der erlebte tiefste Tiefen und höchste Höhen.

Sie sind heute hierhergekommen, um mit uns die Tiefpunkte und Höhepunkte der letzten vier Jahre zu erleben. Es würde uns freuen, wenn Sie gleichzeitig mit dem Blick hinter unsere Kulissen Antworten auf einige Fragen erhielten, wie z.B. "Was war denn nun mit dem Motor wirklich los" oder "Warum hat nicht von Anfang an alles wie am Schnürchen geklappt."

Wir berichten Ihnen anhand der wichtigsten Schäden aus unserer methodischen Versuchsarbeit. Dabei werden wir versuchen, auch schwierigere technische Sachverhalte in einfachen Worten darzustellen.

1. Entwicklungskonzept

Lassen Sie mich bitte zur Einleitung noch einmal kurz das Entwicklungskonzept des Ro 80 erläutern.

Die damalige NSU MOTORENWERKE AG produzierten Pkw's bis 1,2 Ltr. Hubraum mit bis zu 70 PS Motorleistung. Das Konzept zur Entwicklung des Ro 80 aus dem Jahre 1965 lautete im einzelnen:

- Für den Kreiskolbenmotor sollte um den Motor herum eine komfortable Reiselimousine geplant werden, die die besonderen Merkmale dieses Motors optimal zur Geltung bringen würde. (Kennwort: "Ermüdungsfreies Reisen").

- Um die relativ kleinen Stückzahlen sicher absetzen zu können, sollte das Fahrzeug in Form und technischen Merkmalen grundverschieden von Konkurrenzprodukten gestaltet werden und eine echte Kaufalternative bieten.
- Bei kleinen Stückzahlen führen Varianten in Sonderwünschen (sog. "Extras") zu einer kostspieligen Typenvielfalt. So entstand die Verkaufsidee: "Auto komplett" also inkl. Lenkhilfe, inkl. Bremshilfe, inkl. Selektivautomatik, inkl. Nebelscheinwerfern, inkl. erste echte Zweikreisbremsanlage, inkl. elektrische Heckscheibenenteisung etc., etc. Der so konzipierte Einheitstyp konnte nicht mehr billig wie ein "Nacktautomobil" werden.
- Es sollte ein Maximum von aktiven und passiven Sicherheitsmerkmalen geboten werden.

Die Entwicklung vollzog sich in verhältnismässig kurzer Zeit hinter den üblichen verschlossenen Türen mit an sich unüblichen, wohldosierten Indiskretionen, denn es wurde ja kein schon bestehender Markt gefährdet. Unsere Konkurrenz war skeptisch und doch argwöhnisch.

2. Umfang der Entwicklungsaufgabe

Aus dem Konzept folgte der aussergewöhnliche Umfang der Entwicklungsaufgaben. Neu waren:

- Motor
- Automatik
- Getriebe
- ferner Karosserie, Lenkung, Bremsen, Aufhängung, Zusatzaggregate wie Lenkhilfe etc., ferner
- Materialien
- Fertigungsverfahren und Fertigungseinrichtungen.

Nicht nur die Entwicklung, sondern auch Fertigungsplanung, Fertigung, Qualitätskontrolle, Verfahrenstechnik, Vertrieb und Kundendienst, ja sogar die Zubehörindustrie wurden mit neuartigen Problemen konfrontiert. Auch die Kunden mußten später die Handhabung des Motors, der so mühelos, aber auch so unmerklich hochdreht, erst lernen. Der aussergewöhnliche Umfang des Projektes Ro 80 führte auch zu aussergewöhnlich zahlreichen Beanstandungen. Relativ gesehen lagen die Reklamationen zur Karosserie auf normalem Mass, praktisch keine Beanstandungen kamen in den Bereichen Lenkung, Bremsen und Aufhängung. Kummer machte der Motor.

3. Schadensstatistik, Garantie, Kulanz

Die normalen deutschen und europäischen Garantiefrieten wurden als Starthilfe verdreifacht. Darüberhinaus wurde grundsätzlich mit der allergrössten Kulanz verfahren.

Seit Erscheinen des Ro 80 führen wir eine exakte Schadensstatistik; eine Selbstverständlichkeit. Aber: eine sachgemäße Beurteilung der Motorschäden konnte nur im Werk erfolgen. Zwar hatten wir unsere wichtigen Händler lange im Werk geschult, aber die Schulung erfolgte an neuen Motoren. Wankel-spezifische Schäden waren ihnen und uns noch nicht geläufig. Daher wurden bei allen Reklamationen zum Motor, die der Händler nicht von außen beheben zu können glaubte, die Motoren ausgebaut und ins Werk gesandt; wir betonen "glaubte", denn es zeigte sich rasch, daß Unsicherheit und eine gewisse Nervosität der Händler auch in harmlosen Fällen zum unnötigen Motoraustausch führte. Erschreckend hoch war dann auch die Kategorie "Motor ohne Beanstandung". Sie erreichte zuweilen über 35 % der reklamierten Motoren! Hierfür waren verantwortlich:

- trotz ausführlicher Schulung der Händler Unsicherheit, Nervosität und übergroße Vorsicht,
- leichtfertige Handhabung durch den Händler, unterstützt durch bedingungslose Kulanz im Werk. Kein Bannstrahl traf den Händler bei Motoraustausch ohne Beanstandung,
- unmoralisches Verhalten der Kundschaft, die die lange Garantie ausnutzte und der die Kulanz offenbar nicht bekannt war. So kamen unverhältnismässig viele Reklamationen kurz vor Kilometerstand 30 000 - dem Ablauf der regulären Garantie - .

Motoren mit Reklamationen "nicht genügend Leistung" oder "Ölverbrauch zu hoch" wurden grundsätzlich auf dem Prüfstand untersucht, wenn nicht schon einfache Tests die Richtigkeit der Reklamationen bestätigten. So lernten wir, sorgfältig zwischen Reklamationen des Kunden und tatsächlichen Beanstandungen zu trennen. Die Begutachtung von geöffneten Reklamationsmotoren erfolgte in der Motoren-Reparatur stets in Gegenwart von Spezialisten der Entwicklung. Es wurde möglich, Schäden rasch und genau zu beobachten und den Erfolg von Verbesserungen zu verfolgen.

Besonders wichtig war für uns die Ursachenforschung. Leider mußten wir feststellen, daß von den zu Recht reklamierten Motoren ein ungewöhnlich hoher Anteil zu Lasten der Kundschaft ging. König Kunde bescherte uns vor allem:

- Überdrehzahlschäden, da eine Drehzahlbegrenzung aus Sicherheitsgründen von uns abgelehnt wurde,
- Ölmangelschäden, da einfach nicht rechtzeitig genug Öl nachgefüllt wurde,
- Überhitzungsschäden, da unsachgemäß Zusatzscheinwerfer vor dem Kühler angeordnet wurden, die den Kühlluftstrom über das zulässige Mass hinaus beeinträchtigten.

Im folgenden wollen wir aber uns den Schadensursachen zuwenden, die nicht im Kunden und nicht im Kundendienst begründet liegen.

4. Ursachen und Behebung der Hauptschäden

Unsere hauptsächlichsten Schwierigkeiten hatten wir in den Bereichen:

- Dichtleistenverschleiß
- Zündung
- Kühlung
- Ölkreislauf

Über diese Gebiete soll ausführlich berichtet werden.

4.1 Die Dichtleiste

Das Problem der Rattermarken, jenes riffelförmigen Verschleißbildes in der Laufbahn, konnte im Motor des NSU Spider (50 PS) durch eine Dichtleiste aus Hartpreßkohle, die gegen eine hartverchromte Laufbahn lief, beherrscht werden. Diese Materialpaarung war 1962 in Deutschland entdeckt worden. Bei klopfender Verbrennung neigt eine Kohledichtung jedoch zum Bruch. Während die Kohledichtleiste von Toyo Kogyo in Japan übernommen und konsequent weiterentwickelt wurde, stellten wir uns für den Ro 80 die Entwicklungsaufgabe: "Entwicklung einer metallischen Dichtleiste", genauer "Entwicklung einer geeigneten Laufsicht, die die Verwendung einer metallischen Dichtleiste ohne Rattermarkenbildung gestattet".

Ein bislang nur labormäßig praktiziertes galvanisches Verfahren wurde in entscheidenden Parametern verändert und serienfähig gemacht. Ergebnis der rd. zweijährigen Arbeit war die sog. Elnisil-Laufsicht, Bild 1.

Der Grundwerkstoff Aluminium des Mantels wird zunächst chemisch aufgeraut und anschließend mit einer dünnen Schicht aus Nickel mit bestimmten Zusätzen versehen. Darauf wird eine Nickelschicht aufgetragen, in die winzige Siliziumkarbidpartikel gleichmäßig und dicht eingelagert werden. Siliziumkarbid ist ein Hartstoff (Keramik) und wird sonst in groben Körnern in Schleifscheiben angewendet. Die Oberfläche wird geschliffen. Diese erste serienmäßig angewendete galvanische Verbundschicht der Welt ist extrem verschleißfest und ermöglicht den Einsatz von vielen metallischen Stoffen als Dichtleiste. Das Problem bestand nun darin, einen Dichtleistenwerkstoff zu finden, der genügend abriebfest war.

Bei Produktionsbeginn hatten wir mit einem Kolbenringwerkstoff, genannt IKA, recht gute Ergebnisse erzielt. Bild 2 zeigt den Aufbau der alten Kohledichtleiste und den der sog. Gliederdichtleiste aus IKA. In unseren Versuchen war die metallische Gliederdichtleiste der Kohledichtleiste in folgenden Punkten überlegen:

- Selbst dauernder Betrieb mit klopfender Verbrennung (niederoktaniges Benzin ROZ 79 = Normalkraftstoff Türkei) machte der Dichtleiste nichts aus.
- Der Höhenverschleiß ließ für einen sportlichen Motor normale Laufzeiten erwarten.
- Im Betrieb war eine bessere Anpassungsfähigkeit an die Laufbahn gegeben, wenn diese sich durch thermische Verzüge leicht wölbt.

- Stirnseitig kam es auch nach längeren Laufzeiten nicht zu Undichtigkeiten, weil die Eckteile der Leiste sich nachstellten; so blieb das Motordrehmoment praktisch auf dem Ausgangsniveau.

Einen Punkt hatten wir allerdings übersehen:

Der Markt bescherte uns in kurzer Zeit ein Phänomen, das wir aus der Entwicklung nicht kannten. Die Kunden reklamierten Stehenbleiben des Motors im Leerlauf bei Einlegen des Fahrbereiches und Radeinschlag im Stand. Ein Höherstellen des Leerlaufes brachte nur kurzfristig Besserung. Im fortgeschrittenen Stadium ließ die Fahrzeugbeschleunigung nach. Alle Anzeichen deuteten auf Gasundichtheit, die sich bei niedrigen Drehzahlen, infolge der längeren für Leckage zur Verfügung stehenden Zeit, zuerst bemerkbar macht. Wir waren verblüfft, daß uns diese Erscheinung nicht während der üblichen, gewissenhaften Erprobung aufgefallen war.

Die demontierten Motoren zeigten, daß die Dichtleisten in ihrer Gesamtlänge abgenommen hatten. Dies kam eindeutig dadurch zustande, daß das Mittelstück schneller als die Eckteile an Höhe verloren hatte. Auch fanden wir unerwartet hohe Verschleißwerte. Was war die Ursache?

Sorgfältige Analysen der Kundengewohnheiten (Ölsorte, Fahrweise, Anteil Stadtverkehr etc.) weckten den Verdacht, daß häufiger Kurzstreckenbetrieb für den unerwarteten Dichtleistenverschleiß verantwortlich sein könnte. Langstrecken-Kunden und Dauertests waren nämlich ohne Beanstandung. Wir führten also reine Stadtversuche durch und kamen zu ähnlichen Resultaten. Offenbar passierte etwas bei niedrigen Motortemperaturen.

Mit einer raffinierten Meßvorrichtung kamen wir zu dem Ergebnis in Bild 3. Eine IKA-Dichtleiste wurde an ihrer Kuppe mit dem Radioisotop Kobalt 56 bestrahlt und in einen Motor eingesetzt. Die Abnahme der Intensität der radioaktiven Strahlung wurde außen am Motor mit einem sog. Scintilloskop gemessen und diente als Maßstab für den Verschleiß der Dichtleiste. Man erkennt sehr deutlich, daß die Verschleißwerte der IKA-Dichtleiste bei 50° C Kühlwasseraustrittstemperatur ein Mehrfaches vom Verschleiß bei warmem Motor betragen.

Als nächstes schafften wir einen einfachen Aufbau, der eine rasche Untersuchungsmöglichkeit des Phänomens gestattete. Die bei 2000 U/min und halber Last vom Motor erzeugte Leistung wurde vom serienmäßigen Strömungswandler aufgenommen. Dies wurde einfach durch Blockieren des Differentialflansches bei eingelegtem Gang erreicht. Auf diesem sogenannten Kurzstreckensimulator stellte sich der in Bild 4 dargestellte Einfluß der Motortemperatur auf den Höhenverschleiß der IKA-Dichtleiste heraus. Von Hubkolbenmotoren kennt man im Prinzip das gleiche. Neu war hier das ungewohnte Ausmaß.

In der Erprobung vor Serienbeginn waren wir Tag und Nacht gefahren, die Motoren waren eben nie kalt geworden. Unser Fehler bestand darin, daß wir bezüglich des Kaltverschleißes gleiche Verhältnisse wie beim Hubkolbenmotor voraussetzten.

Im Januar 1969 installierten wir vier solcher Kurzstreckensimulatoren, die im wesentlichen im Kühlwassertemperaturbereich zwischen 30 und 50° C betrieben wurden. Nach Erwärmung des Kühlwassers auf 50° C wurde über einen Temperaturschalter abgestellt, mit einem Wärmetauscher auf

30° C zurückgekühlt und der Motor wieder angelassen. Das Phänomen erklärte sich im wesentlichen als chemischer Vorgang, die sog. Kaltkorrosion, die über Sonderöle oder Sonderkraftstoffe zu beseitigen ist. Da aber ein modernes Kraftfahrzeug in jedem Falle mit handelsüblichen Mineralölen betrieben werden können muß, galt es, einen unempfindlichen neuen Dichtleistenwerkstoff zu finden. Wir erprobten weit über 100 Werkstoffe und fanden einige, die wesentlich besser waren. Laufschicht, Ölqualität und Ölmenge wurden sorgfältig konstant gehalten. Übrigens läßt sich durch erhöhte Ölmenge das Problem nicht lösen. Schließlich wählten wir Ferrotic als neuen Serienwerkstoff. Ferrotic ist ein sog. Cermet (Verbindung von Keramik mit Metall), besteht vor allem aus Eisen und Titankarbid und kann auf eine Rockwellhärte von über 65 HRc gebracht werden. Es wird durch Sinterung hergestellt. Ferrotic war um mehr als den Faktor 15 im Kaltverschleiß und etwa um den Faktor 3 im Warmverschleiß besser.

Der besondere Trick lag jetzt in der Anwendung von Ferrotic als Gliederdichtleiste. Mit einem Mittelstück aus Ferrotic und Ecken aus dem weicheren Werkstoff IKA war bei allen Betriebsarten Gewähr gegeben, daß das Mittelstück nicht schneller als die Ecken verschleißt. Alle unsere Versuche bei Teillast, Vollast, bei kaltem und warmen Motor zeigten, daß die Gesamtlänge der Dichtleiste mit einer kleinen Schwankung vorn nur ca. 0,04 mm konstant bleibt. Außerdem wird der Höhenverschleiß der Eckstücke durch das harte Mittelstück gebremst und definiert.

Seit Einführung dieser Dichtleiste in die Serie Anfang 1970 hat es keinen einzigen Fall von Leistungs- oder Drehmomentverlust durch Dichtleistenverschleiß mehr gegeben. Unsere Fahrversuche über 100 000 km haben gezeigt, daß die Gesamtlänge der Dichtleiste erhalten bleibt und daß der Höhenverschleiß, s. Bild 5, nur 15 % des zulässigen Wertes erreicht, so daß sogar eine Wiederverwendung von gelaufenen Dichtleisten in neuen Motoren möglich erscheint. Die Bauart "Gliederleiste mit hartem Mittelstück" hat sich damit als selbstnachstellendes Element allen anderen Dichtleistentypen auf dem Markt als überlegen erwiesen.

4.2 Schwierigkeiten mit der Zündung

Bei Einführung des Ro 80-Motors wurde dieser mit einer doppelten Spulenzündung versehen. Ein besonderer Zweikreisverteiler verteilte die in zwei parallelen Zündkreise gleichzeitig erfolgte Zündung auf die vordere und hintere Einheit (Scheibe). Als Nachteil im Markt zeigten sich:

- hoher Unterbrecherkontaktverschleiß durch hohe Zündfolge. Dadurch ergab sich wieder ein Verschieben des Zündzeitpunktes mit zunehmendem Abbrand der Kontakte,
- schlechte Einstellbarkeit der beiden Zündzeitpunkte und daher in der Praxis häufige Fehleinstellungen,
- Anfälligkeit für Zündaussetzer durch Nebenschluß infolge Kerzenverschmutzung im Teillastgebiet.

Späte Zündung bewirkte aber Leistungsverlust und Kraftstoffmehrverbrauch, zu frühe Zündung führt zu Leistungsverlust, Klopfen und Überhitzung des Motors. Der hohe Kontaktabbbrand wurde durch Vergrößerung der Löschkondensatoren bereits im Frühjahr 1968 gemildert.

Um den Schwierigkeiten zu begegnen, wurde ab IAA 1969 eine Thyristor-gesteuerte Zündanlage mit Einzelzündung verwendet. Über die Unterbrecherkontakte fließt nur noch der Steuerstrom für den Thyristor (0,6 Ampère statt vorher ca. 5 Ampère). Der steilere Spannungsanstieg sekundärseitig führt zu einer kleinen Empfindlichkeit gegenüber Nebenschluß durch Kerzenverschmutzung. Die Einstellung des Zündzeitpunktes war nur mehr an einem Unterbrecherkontakt durchzuführen und als besonders vorteilhaft für die Lebensdauer des Mantels erwies sich der Fortfall der unteren Zündkerze, die im heißesten Bereich des Mantels angeordnet war. Die Mehrkosten für die Thyristor-Hochleistungszündanlage wurden im übrigen z.T. durch Fortfall aller Doppelkomponenten für den zweiten Zündkreis kompensiert.

Ein besonderes Kapital war die Frage der Glühzündungen. Glühzündungen sind Frühzündungen vor dem eigentlichen Zündzeitpunkt, die durch glühende Ablagerungen im Brennraum hervorgerufen werden. In Bild 6 ist der Druckverlauf bei normaler Verbrennung und bei Glühzündung gegenübergestellt.

Im ersten Serienjahr sind viele Motoren durch Glühzündungen ausgefallen. Wer die technische Literatur der jüngsten Zeit verfolgt hat, weiß, daß das Problem Glühzündungen auch beim Hubkolbenmotor akut war. Als Ursache hierfür konnte ermittelt werden, daß die Mineralöle des Jahres 1968 einen z.T. stark erhöhten Aschegehalt aufwiesen. Während sich im Hubkolbenmotor die Asche am Auslaßventil ablagert und die Glühzündung also durch glühende Ascheteilchen am Auslaßventil ausgelöst wird, fanden sich die Ablagerungen im KKM im Kerzenbereich. Die Auswirkungen von Glühzündungen im KKM waren:

- Ansteigen der Kühlwassertemperatur
- Leistungsverlust
- stark erhöhte Bauteiltemperaturen
- stark erhöhter Dichtleistenverschleiß
- ausgeschlagene Kolbennuten
- ausgeglühte Dichtleistenfedern
- ausgeschlagene Dichtbolzenbohrungen
- Risse an der heißesten Stelle des Mantels

Glühzündungen traten insbesondere dann auf, wenn der Motor längere Zeit im Stadtbetrieb gefahren war und Ablagerungen an der Kerze aufbauen konnte. Bei anschließendem Volllastbetrieb auf der Autobahn kamen die Ablagerungen zum Glühen. Da die Bauteiltemperaturen z.T. um 60° C über das Normale steigen, führt dies leicht zum plastischen Nachgeben des Aluminiummantels. Bei Motoren mit Schäden durch Glühzündungen mußten daher Mantel und Kolben ausgetauscht werden. Abhilfe wurde geschaffen im Januar 1969 durch folgende Maßnahmen:

- neue Zündkerze für die obere Position
- leichte Zurücknahme des Zündzeitpunktes bei Voll-
last und hohen Drehzahlen zur Absenkung der Zünd-
kerzentemperatur
- Kühlungsverbesserungen.

Die neue Zündkerze hat den Hauptanteil an den Verbesserungen, s. Bild 7, Sie weist zwischen Kerzeninnenkörper und Gehäuse einen extrem schmalen Spalt auf, so daß keine Flamme aus dem Kerzeninnenraum herausbrennen kann. Der Kundendienst wurde ferner angewiesen, alle 10 000 km den Vorraum vor den Zündkerzen von Asche zu säubern.

4.3 Kühlung

Die eben erwähnte Kühlungsverbesserung bestand in einer Vergrößerung des Querschnittes im Kurzschlußkreislauf, der bei geschlossenem Thermostat durchströmt wird. Durch sorgfältige Messungen konnte ferner nachgewiesen werden, daß bei entsprechenden Schwankungen der Wassertemperatur beim Öffnen des Thermostates auch Schwankungen der Wandtemperatur im Brennraum auftraten.

Ein Blick auf die möglichen Wasserkreisläufe in Verbrennungsmotoren erläutert die Zusammenhänge, s. Bild 8. Während Drosselthermostaten in Motoren höherer spezifischer Leistung heute unüblich sind, ist der Kurzschlußthermostat am Austritt des Motors weitverbreitet. Auch der KKM des Ro 80 hatte anfänglich diese Schaltung.

Ihr Nachteil besteht darin, daß beim erstmaligen Öffnen des Thermostaten noch ein Einschwingvorgang der Wassertemperatur zu beobachten ist. Dem Entspricht interessanterweise ein Einschwingvorgang der Manteltemperaturen an den heißen Stellen, bei dem uns natürlich die Spitzen stören. Die Schwankungen betragen z.B. bei einer Wandtemperatur von $190^{\circ}\text{C} \pm 6^{\circ}\text{C}$. Schädlich ist bei dieser Schaltung, daß das etwas zu heiße Wasser bereits durch den Motor durch ist, ehe der Thermostat reagieren kann.

Dieser Nachteil wird durch die modernste und heute auch bei anderen Firmen übliche Anordnung des Thermostaten vor der Pumpe am Motoreintritt völlig vermieden. Der Thermostat mischt heißes Kühlmittel aus dem Motoraustritt mit kühlerem aus dem Kühler ohne Überschwingsvorgänge. Seine Schalttemperatur muß allerdings um die Temperaturdifferenz des Motors niedriger gelegt werden.

Gleichzeitig mit der Einführung der neuen Thermostatlage im September 1969 wurde der Wärmetauscher für die Innenraumheizung parallel zum Motor geschaltet, um die Druckdifferenz zu erhöhen und die Wagenheizung zu verbessern. Ergänzt wurde dies durch ein neues leichtgängiges Heizungsregelventil mit verbesserter Regelcharakteristik.

4.4 Ölkreislauf

Nach all diesen Verbesserungsmaßnahmen war ein einfaches Bauelement - das Kolbenlager - der Punkt mit der höchsten Reklamation.

Unsere Versuche ergaben, daß es bei Betrieb mit normalen Drehzahlen sogar bis zu 8000 U/min kerngesund war. Ausfallursachen konnten demnach nur sein:

- Betrieb mit Drehzahl grösser als 8000 U/min
- Ölmangel durch zu niedrigen Ölstand in Sumpf.

Folgende Maßnahmen wurden ergriffen und führten zu den angegebenen Verbesserungen:

- die Ölreserve, Differenz zwischen Minimal- und Maximalmarke am Peilstab, wurde nennenswert vergrößert, dadurch zeitlich grössere Sicherheit,
- Durch Verlegung der Ölzuführungsbohrungen im Exzenter, als Ergebnis eines umfangreichen Computerprogramms und Fortfall einer Lagertasche im Kolbenlager, wurde der Öldurchsatz durch das Kolbenlager bei hohen Drehzahlen versechsfacht. Dadurch konnte das Kolbenlager bis 9500 U/min Volllast und Teillast absolut betriebsfest gemacht werden. Außerdem wurde die Exzentertemperatur dadurch um ca. 30° C abgesenkt,
- durch Verringerung der Querschnitte in einem Seitenstrom zur Schmierung im Aggregatedeckel konnte der Öldruck am Lager- eintritt beträchtlich angehoben werden, z.B. im Leerlauf von 0,8 auf 2,0 kp/cm²,
- außerdem wurde ein raffinierte Warneinrichtung für Ölmangel geschaffen:

Der Saugkorb der Ölpumpe für den Wandler wurde etwas höher gelegt als der Saugkorb für die Motorölpumpe. Der Öldruckschalter wurde in die Druckleitung zum Wandler verlegt. Kurzes Aufleuchten der Öldruckwarnlampe, z.B. in engen Kurven, in denen das Öl im Sumpf nach außen schwappt, signalisiert jetzt ein Absinken des Ölstandes, gemessen in der ungefährlichen Druckleitung zum Wandler, ohne daß die Lager auch nur kurzfristig gefährdet werden.

Damit kommen wir zum Schluß der Darstellungen der wichtigsten Reklamationen, der Ursachen und der getroffenen Abhilfemaßnahmen.

5. Ausblick

Die heutige Schadenstatistik unseres Wankelmotors ist, durch die eben geschilderten Maßnahmen und manche Kleinarbeit, der eines Hubkolbenmotors sehr ähnlich. Sie enthält jetzt noch die Sammelposition "Diverses" für z.B. Fertigungsfehler, Montagefehler, poröse Bauteile etc., deren Umfang durch konsequente Arbeit der betroffenen Abteilungen stark reduziert wurde.

Zyklische Dauerläufe auf dem Prüfstand (sog. Düsseldorf-Programm) und viele Fahrversuche über 100 000 km haben statistische Ergebnisse geliefert, wie wir sie auch von auf dem Markt bewährten Hubkolben her kennen.

Andererseits haben wir erkennen müssen, daß die Entwicklung eines Kreiskolbenmotors mit 15 % mehr Mitteldruck als bei unserem Lizenznehmer Toyo Kogyo in Japan unverhältnismässig mehr Aufwand bedeutet. Zudem sind europäische Autobahnfahrverhältnisse schwieriger zu beherrschen als japanische oder nordamerikanische.

Sie haben jetzt anhand der wichtigsten Beispiele gesehen, in welche "Löcher" wir gefallen sind, welche Ursachen vorlagen und welche Abhilfemaßnahmen ergriffen wurden. Das war unsere Aktion "Sorgenkind". Wir haben es gehegt und gepflegt - und wir denken, es verdient jetzt einen "Platz an der Sonne".

Wie geht es weiter?

Zunächst einmal werden die Produktionszahlen des Ro 80 erhöht. Große Stückzahlen können aber nur in einer niedrigeren Preisklasse abgesetzt werden. Für die Zusammenarbeit mit Citroen (Comobil) liegen die Termine fest. Auch über andere Projekte sind wir uns klar. Im Lichte der gewonnenen Erkenntnisse untersuchen wir fertigungsgerechtere Lösungen, wollen dabei noch kleiner, noch leichter, noch besser werden. Immer noch ist der Neuzugang an Ideen größer als unsere Kapazität. So werden wohl noch einige Jahre vergehen, bis man auf Lösungssuche sozusagen "ins Regal greifen" kann.

Welche ininteressanten Perspektiven sich auf der Abgasseite ergeben, wird Ihnen heute nachmittag mein Kollege Herr van Basshuysen erläutern.

Vielleicht darf ich Ihnen noch in Erinnerung rufen, daß noch 1955 Herr Prof. Nordhoff jedem Kunden bei Nachweis von 100 000 Kilometern eine goldene Uhr überreichte. Damals war der luftgekühlte Drosselmotor schon 20 Jahre alt. Beim heutigen Stand der Technik des Wankelmotors würden wir eine solche Handhabung mit Rücksicht auf unser Portemonnaie nicht wagen.

Ich danke Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit!



Ingolstadt, Februar 1972

Ing. Richard van Basshuysen
Entwicklungsabteilung

Die Abgasreinigung beim
Wankelmotor
Situation und Ausblick

Die Abgasreinigung beim Wankelmotor Situation und Ausblick

1. Einleitung

Bei der Beurteilung von Verbrennungsmotoren kann heute nicht mehr allein davon ausgegangen werden, wie hoch ihre spezifische Leistung ist und wie wirtschaftlich sie sind, sondern es ist wesentlich, ob die Abgaszusammensetzung umweltfreundlich beeinflusst werden kann. Es sind vor allem fünf Kriterien, die die Abgasqualität beeinflussen: Kohlenwasserstoffe CH, Kohlenmonoxid CO, Stickoxide NO_x, Bleibedarf im Kraftstoff und Motorgröße, die den freibleibenden Bauraum für die Entgiftungsanlage bestimmt (s. Bild 1).

2. Abgaskriterien

2.1 Kohlenwasserstoffe

Die Kohlenwasserstoff-Konzentration ist bei unentgifteten Kreiskolbenmotoren etwa doppelt so hoch wie beim unentgifteten Hubkolbenmotor. Das war der Grund, weshalb es lange Zeit hieß, der Kreiskolbenmotor sei schwer entgiftbar. Dabei wurde übersehen, daß seine Abgastemperaturen bis zu 1500 C über denen von Hubkolbenmotoren liegen, wodurch sich der Kreiskolbenmotor für die Nachverbrennung anbietet, die hohe Temperaturen erforderlich macht (s. Bild 2).

2.2 Kohlenmonoxid

Die Kohlenmonoxid-Konzentration entspricht annähernd der von Hubkolbenmotoren.

2.3 Stickoxide

Besonders günstige Voraussetzungen bietet der Kreiskolbenmotor in bezug auf die Stickoxidemission. Die Konzentration erreicht nur ca. $\frac{1}{3}$ der Werte von Hubkolbenmotoren. Stickoxide werden zwar in Europa noch nicht limitiert, sind aber besonders giftig und sollten daher nur in sehr geringen Konzentrationen auftreten.

2.4 Bleibedarf im Kraftstoff

Der Ro 80-Motor hat einen relativ niedrigen Oktanzahlbedarf. Trotz der hohen Verdichtung von 9:1 ist er mit Normalbenzin zufrieden, d.h., er ist leichter mit bleiarmer Kraftstoffen zufriedenzustellen als vergleichbare Hubkolbenmotoren. Aus diesem Grund bestehen weniger Schwierigkeiten, die in Deutschland ab 1972 und in den USA bereits jetzt bestehenden Gesetze zur Verminderung des Bleigehalts im Kraftstoff zu erfüllen. Ab 1.1.1972 darf der Bleigehalt im Kraftstoff nur noch 0,40 g/Ltr. und ab 1.1.1976 nur noch 0,15 g/Ltr. betragen.

2.5 Bauraum für Entgiftungsanlagen

Der Bauraum für Entgiftungsanlagen gewinnt immer mehr an Bedeutung. Eine wichtige Automobilfirma in den USA spricht bereits von einer völlig neuen Philosophie bei der Projektierung zukünftiger Fahrzeuge. Entgiftungssysteme haben einen größeren Platzbedarf. Aus dieser Sicht gesehen ist der Kreiskolbenmotor ebenfalls im Vorteil, da er deutlich kleiner baut. Der kleinere Motor kommt außerdem der Fahrzeugsicherheit zugute, da die Knautschzone sinnvoll gestaltet werden kann.

3. Schadstoffreduzierung

Man unterscheidet zwischen Maßnahmen am Motor und Maßnahmen am Auspuffsystem, d.h., am Abgas. Maßnahmen am Motor betreffen die Zündung, Gemischaufbereitung und den Brennraum. Sie sind in der Wirkung nicht so weitgehend wie Maßnahmen am Abgas. Unter Maßnahmen am Abgas versteht man - sieht man von den Stickoxiden ab - die Nachverbrennung der Restgasmenge in thermischen Reaktoren oder katalytischen Konvertern, wobei Luftzugabe über eine vom Motor angetriebene Luftpumpe erforderlich ist, um den Sauerstoff der Luft bereitzustellen. Thermische Reaktoren sind Auspufftöpfen ähnlich, jedoch wärmeisoliert und mit Flammenhaltern versehen. Außerdem werden sie direkt am Auslaß des Motors angebracht. In ihnen läuft die Nachverbrennung durch hohe Temperaturen ab. In katalytischen Konvertern hingegen ist die chemische Umwandlung auch bei niedrigeren Temperaturen möglich. Katalysatoren geben aber noch Haltbarkeitsprobleme auf. Abrieb durch Fahrzeugschüttelungen und durch den pulsierenden Abgasstrom führt zu Leistungsverlusten wegen unzulässigem Anstieg des Abgasgedrucks. Außerdem sind Katalysatoren bleiempfindlich, d.h., ihre Wirkung läßt bei Verwendung von verbleiten Kraftstoffen frühzeitig nach.

Aus den genannten Gründen wandte sich AUDI NSU der thermischen Nachverbrennung zu, unter Verwendung eines thermischen Reaktors (Bild 3). Eine Luftpumpe bläst Luftsauerstoff in die Auslaßkanäle der Trochoiden, wodurch die Oxidation der Restkohlenwasserstoffe und des Rests an CO weitgehend erfolgt.

Da die Verbrennung um so vollständiger verläuft, je höher die Temperaturen der Abgase sind, wird die Zündung im unteren Teillastbereich während der Anwärmphase um 18° Kurbelwinkel nach 'Spät' verstellt, was eine Temperaturerhöhung von ca. 100° C ergibt (Bild 4). Die Überprüfung wurde im Europa-zyklus vorgenommen. Er ist in bezug auf den Ro 80 im Vergleich zum amerikanischen CVS-Fahrzyklus schwerer zu erfüllen. Mit dieser Zündverstellung erhält man einen Temperaturverlauf im Reaktor im Europazyklus wie in Bild 5 dargestellt. Im unteren Teil des Bildes sind die 4 Zyklen des Europa-Tests aufgezeichnet. Die Temperaturkurven überschneiden sich nach kurzer Zeit, d.h., die zunächst kältere Meßstelle 2 wird durch Nachverbrennung wärmer als Meßstelle 1. Das schnelle Anspringen - rascher Temperaturanstieg - des Reaktors ist wie Bild 5 zeigt, sichergestellt. Im Europazyklus führen die besprochen Maßnahmen zu einer wesentlichen Reduktion der Schadstoffe. Bild 6 zeigt die Verminderung von HC im 1. und 4. Zyklus des Europa-Tests. Die oberste Kurve zeigt die Emission des unentgifteten Motors. Bild 7 zeigt den Abbau von CO im 1. und 4. Zyklus. Die Schadstoffverminderung beider Komponenten ist beträchtlich.

Der Gesamttest im Europazyklus bringt das Resultat nach Abbildung 8. Bei Ausgangswerten von 23 g CH/Test und 250 g CO/Test werden die vorgeschriebenen Grenzwerte durch Entgiftung deutlich unterschritten. Der Grenzwert für CH ist 13,1 g/Test und für CO 182 g/Test. Die ausgestoßene CH-Menge beträgt nur 6,5 g/Test und die ausgestoßene CO-Menge 90 g/Test.

4. Zusammenfassung

Es wurde gezeigt, daß der Kreiskolbenmotor günstige Voraussetzungen zur Abgasentgiftung mitbringt. Die Nachverbrennung von Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffen erfolgt im vorliegenden Fall in einem thermischen Reaktor.

Darüber hinaus ist die Emission der sehr giftigen Stickoxide besonders niedrig. Diese Tatsache ist sehr wichtig, da die Beseitigung der Stickoxide, die nicht durch Oxidation, sondern durch Reduktion erfolgt, ungleich schwieriger ist, als der Abbau von Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffen.

Das zunehmende Interesse am Kreiskolbenmotor - dokumentiert durch die neuesten Lizenzabschlüsse in Japan und mit dem größten Automobil-Produzenten General Motors - hat seine Ursache nicht zuletzt in dieser Situation.

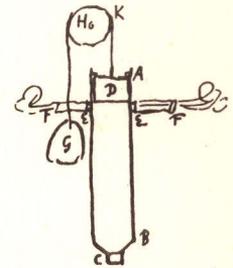
Die Entwicklung: Ursprung des NSU/Wankel-Motors

Der Vorläufer: Das Rad

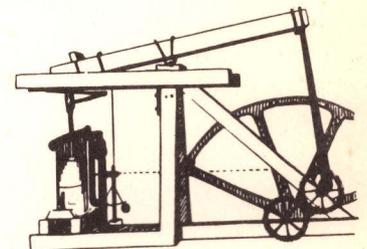
Von der bedeutsamsten Erfindung in der Menschheitsgeschichte wissen wir nicht, wann und wo sie entstanden ist. Sie ist älter als alle Überlieferungen und ihre geniale Idee mag vor Jahrtausenden aus dem Baumstamm, der als Rolle diente, erwachsen sein. - Es ist das Rad, das uns die logischste aller Bewegungen, nämlich die drehende Bewegung, vermittelt. Das Rad läßt jeden Punkt seines Umfangs in kontinuierlicher Bewegung ablaufen und es trägt auf diese Weise seine eigene Straße von unendlicher Länge mit.

Technik auf Umwegen

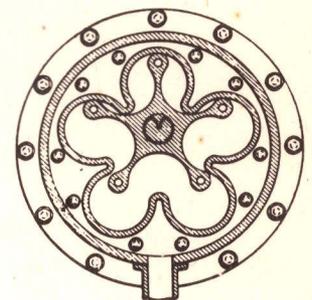
Dann wurden die treibenden Kräfte des Schießpulvers und des Dampfes entdeckt. Christian Huygens erfand 1673 als erste Hubkolbenmaschine den Pulvermotor. Ein Konflikt zwischen zwei großen Erfindungen tat sich auf: Der Drehbewegung des Rades standen die linear wirkenden Kräfte des Wasserdampfes und der verbrennenden Gase gegenüber. Beides miteinander direkt zu koppeln überstieg die schöpferischen Kräfte der Forscher und Erfinder jener Jahrhunderte, aber James Watt verhalf 1786 der Hubkolbenmaschine über



Pulvermotor von
Christian Huygens
1673



Dampfmaschine mit
Kurbeltrieb. James Watt
1786



Erste innenachsige
Kreiskolbenmaschine mit
Kreiseingriff von Galloway
1846

Kurbel und Pleuel zu ihrem Rad. Der Mangel des nun eingeschlagenen technischen Umwegs, dem über nahezu zwei Jahrhunderte keine brauchbare einfachere Lösung gegenüberstand, war James Watt durchaus bewußt. Er entwarf Pläne für Rotationskolbenmaschinen, die aber letztlich an Dichtproblemen scheitern mußten.

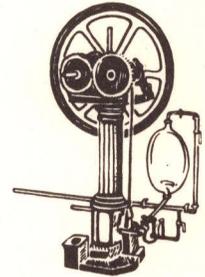
Alles in Grenzen

Die Hubkolbenmaschine, in ihrer Entwicklung in den letzten fünfzig Jahren mit dem Automobil und dem Flugzeug stürmisch vorangetrieben und durch die Kleinarbeit unzähliger Ingenieurteams in den Motorenfabriken der ganzen Welt zur Perfektion gebracht, steht heute an ihren mechanischen Grenzen. Die Leistungssteigerung durch höhere Drehzahlen scheitert an den hin und her gehenden Massen, den Kolben, Kolbenringen, Kolbenbolzen und Pleueln, und dem Weg über höhere Verdichtung stellen sich physikalische Eigenschaften der Kraftstoffe entgegen. - Wenn die technische Entwicklung auf umständliche Wege gerät, so bleiben weitere umständliche Nebenentwicklungen nicht aus. Um die Hubkolbenmaschine lebensfähig zu machen, bedarf es eines überaus komplizierten Gas-Steuerungs-Apparates mit ebenfalls oszillierenden Bauteilen. Gerade diese Teile aber sind es, die bei hohen Drehzahlen ihre Arbeit einstellen. Und schließlich sprechen auch die Fertigungskosten ein unüberhörbares Wort gegen komplizierte Mechanismen.

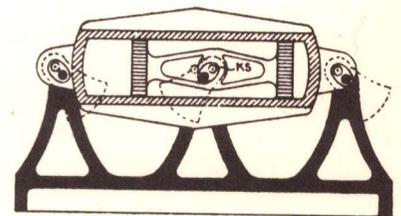
Darum dreht es sich

Die ersten Konsequenzen zog die Schifffahrt, die mit der Dampfturbine dieses Problem überwand. Dann folgte die Luftfahrt, mit deren ungestüme Entwicklung zu immer höheren Geschwindigkeiten der Kolbenmotor nicht Schritt zu halten vermochte. Die Verbrennungsturbine, die ebenso wie die Dampfturbine nur mit rotierenden arbeitsleistenden Teilen ausgestattet ist, trat ihren Triumphzug an. Für kleine und mittlere Leistungen, bei welchen die Turbine unwirtschaftlich und mit schlechter Teillastregulierung arbeitet, blieben jedoch praktische Anwendungsgebiete verschlossen.

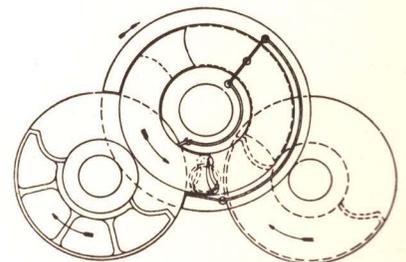
Zwar fehlte es - parallel zur Entwicklung der Hubkolbenmaschine - nicht an Vorschlägen, einen irgendwie geformten Kolben während einer drehenden oder kreisenden Bewegung Arbeit aufnehmen und abgeben zu lassen, aber auch die besten Geister scheiterten bisher daran, mit der verwickelten Geometrie eines solchen Systems fertig zu werden. Wer es zu einer patentfähigen Idee brachte, der mußte die Waffen vor einem anderen Problem strecken: dem der gleitenden Abdichtung eines oder mehrerer ineinandergreifender Drehkörper gegenüber den Grenzen des sie umhüllenden Raums. Bei den meisten Vorschlägen rotierte dieser Mantel ebenfalls und er war alles andere als ein einfacher zylindrischer Körper.



Gasmotor mit Viertaktverfahren
Nikolaus August Otto 1876



Außenachsige Kreiskolbenmaschine
mit Hubeingriff von Wankel
1929



Außenachsige Drehkolben-
Brennkraftmaschine
mit Kämmeingriff
von BMW / Wankel
1934

Der richtige Dreh

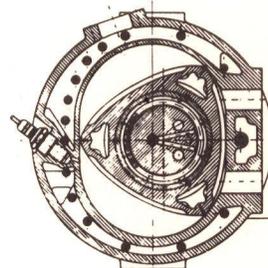
Im Jahre 1951 kreuzten sich die Wege zweier Technikergruppen. Es waren die NSU-Forschungsabteilung unter der Leitung von Dr. Ing. Walter Froede und die Technische Entwicklungsstelle Lindau (TES Lindau) unter Felix Wankel, die sich zunächst zur Lösung anderer Aufgaben zusammenfanden.

Das Jahr 1954 brachte den entscheidenden Fortschritt. Wankel erkannte, daß in der Überlagerung von zwei Drehbewegungen, die als geometrische Figur eine geschlossene Radkurve - eine Trochoide - entstehen lassen, eine Maschine mit einem um sich selbst drehenden Mantel als Arena-Hohlform und einem in seinem Inneren sich drehenden Dreieckskörper enthalten ist. Er fand, daß - bei richtiger Anordnung von Dichtelementen - in dieser Maschine drei Kammern entstehen, die im Bewegungsablauf ihr Volumen wechselnd vergrößern und wieder verringern. - Und die bestechendste Feststellung: Diese viertaktende Maschine wird ähnlich einem Zweitaktmotor, ohne komplizierte Ventilmechanismen über Steueröffnungen zu betreiben sein. Die bahnbrechende Idee war geboren. - Ihr gingen lange Jahre der Vorarbeit mit Untersuchungen an Dichtsystemen und die systematische Durchforschung einer erstaunlichen Fülle von Prinzipentwürfen für Rotationskolbenmaschinen voraus.

Forschung und Praxis

War der Entwurf aber auch in der Praxis lebensfähig? Noch lag er auf der Ebene des Zeichenpapiers. In den folgenden Jahren wurden die technischen Voraussetzungen für den Bau dieses Motors geschaffen. Professor Baier von der Technischen Hochschule Stuttgart definierte die arenaförmige Kurvenform des den Kolben umhüllenden, ebenfalls rotierenden Gehäuses mathematisch als "zweibogige Epitrochoide" und lieferte die Unterlagen für den Bau einer Sonder-Schleifmaschine. Weitere Werkzeugmaschinen mußten für die Herstellung des Innenläufers und der Dichtteile entwickelt werden. Die Richtigkeit des eingeschlagenen Weges wurde - als technische Zwischenstation - an Hand von Modellen und ausgeführten Drehkolben-Pumpen und -Kompressoren bestätigt.

Übrigens war es ein nach diesem System arbeitendes Ladegebläse, das für jenen 50 ccm-NSU-Zweitakter im Baumm'schen Liegestuhl verwendet wurde, mit dem 1956 die Rekordfahrten auf dem Bonneville Salt Flat in den USA durchgeführt wurden. Der gute Wirkungsgrad dieses Drehkolbenverdichters verhalf diesem Motor zu einer Literleistung von 260 PS. Das war ein vielversprechender Anfangserfolg.



NSU/Wankel-Kreis-
kolbenmotor 1958



Vorgeschichte

- 1588 Ramelli Erste geschichtlich bestätigte Rotationskolbenmaschine als Wasserpumpe.
- 1629 Branca Aeolus-Ball bläst gegen Schaufelrad.
- 1636 Pappenheim Erfindet und baut die Zahnradpumpe mit außenverzahnten Zahnrädern.
- 1650 Guericke Erfindet und baut die Vakuumluftpumpe.
- 1663 Newton Versucht einen Dampfdruckstoßwagen.
- 1673 Huygens Erfindet und baut den atmosphärischen Pulvermotor.
- 1681 Papin Erfindet die atmosphärische Dampfmaschine.
- 1711 Newcomen Die von ihm erfundene erste atmosphärische Dampfmaschine mit Schwingbalken (Balancier) läuft.
- 1768 Watt Die erste einfachwirkende Kondensations-Dampfmaschine läuft.
- 1772 Watt Konstruiert zwischen 1772 und 1782 Dampfmaschine mit umlaufenden Kolben.
- 1791 Barber Patent für eine Verbrennungsturbine mit Brenngasstrahl gegen Schaufelrad.
- 1794 Street Patent für Kolbengasmotor mit Flammzündung für Teeröl und Terpentin.
- 1799 Murdock Verwendet die Pappenheim-Zahnradpumpe als Drehkolbenmotor mit 0,5 PS Leistung.
- 1833 Ericson Konstruiert einen unmittelbar und doppelt wirkenden Gasmotor, zum erstenmal mit Wassermantel.
- 1846 Galloway Erfindet und baut eine Kreiskolben-Dampfmaschine mit Kreiseingriff (1:1).
- 1860 Lenoir Baut betriebsfähige verdichtungslose Gasmotoren.
- 1860 Oldham/
Franchot Erfinden (bauen?) innenachsige, 1:12 übersetzte Kreiskolbenverdichter mit äußerer Epitrochoide.
- 1867 Behrens Erfindet und baut langkolbige Drehkolben-Dampfmaschinen.
- 1875 Brotherhood/
Hardingham Erfinden Dreizylinder-Hubkolben-Sternmaschinen für Dampf und Preßluft.
- 1876 Otto Der von ihm erfundene Viertaktgasmotor mit Verdichtung läuft.
- 1882 Parsons Entwirft und baut Kreiskolben-Dampfmaschinen zweiter Ordnung.

- | | | |
|------|-------------------|--|
| 1884 | Parsons | Erfindet und baut die erste mehrstufige 4 Kw-Dampfturbine. |
| 1889 | Laval | Erfindet und baut eine Dampfturbine mit Laval-Düse und einer Drehzahl von 30 000 U/min. |
| 1890 | Junkers | Baut mit Oechelhäuser Gegenkolbenmotoren. |
| 1895 | Diesel | Der erste Motor nach dem Diesel-Arbeitsverfahren läuft. |
| 1900 | Ljungström | Entwirft und baut Dampfmaschinen mit umlaufenden Kolben von 2 bis 16 PS. |
| 1900 | Cooley | Erfindet und baut innenachsige Drehkolben-Dampfmaschinen mit innerer Epitrochoide. |
| 1907 | Lake | Patent für ein reines Staustrahl-Triebwerk. |
| 1908 | Holzwarth | Seine stationäre Verbrennungsturbine läuft. |
| 1913 | Lorin | Richtige Theorie des Staustrahl-Triebwerks. |
| 1935 | Campini | Erster Flug seines Luftstrahl-Triebwerkes mit Propeller, Kolbenmotor und Brenner innerhalb einer großen Düse. |
| 1935 | Wankel | Entwicklung eines lauffähigen Rotationskolbenmotors in Zusammenarbeit mit BMW. |
| 1938 | Sensaud de Lavaud | Patent für einen innenachsigen, 6:5 übersetzten Drehkolbenmotor mit äußerer Hypotrochoide und Viertaktverfahren. |
| 1939 | Ohain | Mit seiner Verbrennungsturbine fliegt die Heinkel He 178. |
| 1943 | Maillard | Patent für innenachsige, 2:3, 3:4 usw. übersetzte Dreh- oder Kreiskolbenmaschinen mit innerer Hypotrochoide. |
| 1949 | Leduc | Das von ihm konstruierte Staustrahl-Triebwerk treibt Flugzeuge. |

Geschichte

1951

Erste Kontakte zwischen der Technischen Entwicklungs-Stelle Lindau und der NSU-Forschungsabteilung. NSU interessiert sich für Arten der Abdichtung, die Felix Wankel im Lauf der Jahre für Drehschiebermotoren entwickelt hatte. Wankels Erfindung auch Räume abzudichten, die von der Kreisform abweichen, bildet eine entscheidende Voraussetzung zur Entwicklung von Rotationskolbenmaschinen.

- Anfang 1954 Felix Wankel erkennt, daß sich in einer zweibogigen Epitrochoide (Oval mit eingezogenen Breitseiten) in der ein dreieckiger Läufer rotiert, ein exakter Viertaktprozeß durchführen läßt.
- April 1954 Diese Idee führt zum Entwurf eines im Viertakt arbeitenden Drehkolbenmotors, bei dem das Gehäuse und der dreieckige Drehkolben um eigene Achsen rotieren.
- 1956 Ein kleiner Kompressor, nach dem Prinzip dieses Drehkolbenmotors gebaut, bringt in den USA den "Baumm'schen Liegestuhl" mit seinem 50 ccm-Mopedmotor auf 196 km/h.
1. Februar 1957 Auf einem Prüfstand in der NSU-Forschungsabteilung wird der erste Drehkolbenmotor angeworfen.
- 1957 Nach dem Prinzip des Drehkolbenmotors wird durch kinematische Umkehrung der Kreiskolbenmotor entwickelt: Das Gehäuse steht. Beide Drehbewegungen werden durch die Exzenterwelle (Kurbelwelle im konventionellen Hubkolbenmotor) vereint.
- Anfang 1958 Der erste Kreiskolbenmotor wird bei NSU auf den Prüfstand genommen.
- Oktober 1958 Die amerikanische Flugmotorenfabrik Curtiss-Wright beteiligt sich durch einen Lizenzvertrag an der Entwicklung von Kreiskolbenmotoren System NSU/Wankel.
- November 1959 Die Öffentlichkeit wird über den neuen Motor informiert.
- September 1963 Der NSU Spider, das erste Auto der Welt mit Kreiskolbenmotor, wird auf der Internationalen Automobil-Ausstellung in Frankfurt vorgestellt.
- September 1964 Der NSU Spider geht bei den NSU Motorenwerken in Neckarsulm in Serienproduktion.
- September 1965 NSU zeigt auf der Internationalen Automobil-Ausstellung in Frankfurt einen Doppel-Kreiskolbenmotor mit 2x500 ccm-Kammergröße. Er leistet ca. 110 PS.
Ein Modell des Ro 80 in natürlicher Größe wird im Windkanal des Forschungsinstituts für Kraftfahrwesen an der TH in Stuttgart auf seine aerodynamischen Eigenschaften geprüft.
- Mai 1966 Der Doppel-Kreiskolbenmotor wird erstmals eingebaut in einen Geländewagen. - bei Versuchsfahrten der Presse vorgestellt.

- Juli 1966 Prototypen des großen NSU/Wankel-Wagens sammeln als Erlkönige Landstraßenerfahrung. Trotz Tarnung durch abenteuerliche Aufbauten werden sie unter der internen Werksbezeichnung "TYP 80" bekannt.
- Oktober 1966 Karl-Heinz Panowitz und Rainer Strunz gewinnen auf einem NSU Spider mit Wankelmotor die Deutsche GT-Rallye-Meisterschaft gegen die Konkurrenz mit Hubkolbenmotoren aller Klassen.
- Juni 1967 Der "TYP 80" erhält seinen offiziellen Namen: Ro 80
Die Buchstabengruppe Ro weist dabei auf den Rotationskolbenmotor hin, während die Zahl 80 als eingebürgertes Sprachgut aus der Erlkönigzeit erhalten bleibt.
14. September 1967 Anlässlich der Internationalen Automobilausstellung in Frankfurt wird der Ro 80 der Öffentlichkeit vorgestellt.
1. Oktober 1967 Mit dem letzten Bergrennen der Saison am 1.10.1967 gewinnt Siegfried Spiess auf einem NSU Spider die Deutsche Bergmeisterschaft gegen die Konkurrenz der Kategorien Tourenwagen und GT-Fahrzeuge aller Hubraumklassen.
- Mitte Oktober 1967 Der Ro 80 geht in Serie.
- Februar 1968 Der NSU/Wankel-Kreiskolbenmotor im Ro 80 war nicht zuletzt ausschlaggebend für die Wahl des Wagens zum "Auto des Jahres 1967" durch eine internationale Jury in Amsterdam.
- März 1968 Ein Gremium von Fachleuten der englischen Zeitschrift CAR Magazine wählt den Ro 80 zum "Car of the Year". Diese Auszeichnung wird alljährlich für die Kühnheit des technischen Fortschritts verliehen.
- Januar 1969 Die Eigenschaften des Wankelmotors, sein vibrationsarmer Lauf, sein geringes Eigengewicht und die knappen Abmessungen erschließen ihm eine weitere Einsatzmöglichkeit: als Bootsmotor.
Anlässlich der Internationalen Bootsausstellung in Hamburg wird der NSU-Marine-Wankelmotor Ro 135 gezeigt.

Mai 1969

Der NSU/Wankel-Bootsmotor besteht seine Bewährungsprobe: Die 24-Stunden von Rouen. Das Motorbootrennen, ähnlich dem 24-Stunden-Automobilrennen von Le Mans, beendet er mit souveränem Rundlauf und hat somit wesentlichen Anteil am Sieg des Schweden Zetterström.

August 1969

Auf dem Weg zum wartungsfreien Automobil setzt der NSU/Wankel-Motor des Ro 80 eine neue Marke. Ölwechsel entfällt. Die Voraussetzung hierfür war ihm bereits in die Wiege gelegt: Es sind die voneinander unabhängigen, getrennten Dichtsysteme für Öl und Gas im Kreiskolbenmotor.

Januar 1970

Der NSU Ro 80 erfüllt, bereits im ersten Anlauf, die USA-Abgasvorschriften, den sogenannten California-Test: Seine Zukunft als "sauberer Motor" sichern ihm zwei weitere wichtige Eigenschaften:

1. Die Abgase enthalten nur 1/4 bis 1/3 der Anteile an Stickoxyden gegenüber vergleichbaren Hubkolbenmotoren.
2. Der Ro 80 wird mit niederoktanigem und deshalb bleiarmen Benzin gefahren.

August 1971

September 1971

25 000 NSU Ro 80 wurden bis heute gebaut. Ein in Details verfeinerter Ro 80-Motor geht in Serie. Die Ölführung für Lager-schmierung und Kolbenkühlung wurde auf Grund von Computerberechnungen und neuen Versuchsergebnissen abgeändert.

	Lizenznehmer	Baubereiche
21.10.1958	Curtiss-Wright Corp. USA	NSU/Wankel-Motoren in allen technischen Bereichen und für alle Verwendungszwecke
29.12.1960	Fichtel & Sachs AG Bundesrepublik Deutschland	Herstellung von Otto-Industrie- sowie Bootsmotoren mit 0,5-30 PS
25. 2.1961	Yanmar Diesel Co. Ltd. Japan	Otto-Motoren von 1-100 PS und Diesel-Motoren von 1-300 PS für alle Anwendungsgebiete außer Zweirädern, Personenkraftwagen und Luftfahrzeugen
27. 2.1961	Toyo Kogyo, Co. Ltd. Japan	Otto-Motoren von 1-200 PS für alle Landfahrzeuge
4.10.1961	Klößner-Humboldt-Deutz AG Bundesrepublik Deutschland	Diesel-Motoren für alle Anwendungszwecke ohne Einschränkung
26.10.1961	Daimler-Benz AG Bundesrepublik Deutschland	Otto-Motoren von 50 PS aufwärts
30.10.1961	MAN Maschinenfabrik Augsburg Nürnberg AG Bundesrepublik Deutschland	Diesel-Motoren für alle Anwendungsgebiete ohne Einschränkung
2.11.1961	Fried. Krupp Bundesrepublik Deutschland	Diesel-Motoren für alle Anwendungsgebiete ohne Einschränkung
12. 3.1964	Daimler-Benz AG Bundesrepublik Deutschland	Diesel-Motoren für alle Anwendungsgebiete ohne Einschränkung
15. 4.1964	S.p.A. Alfa Romeo Italien	Otto-Motoren von 50-300 PS für Personenkraftwagen
17. 2.1965	Rolls-Royce Motors Ltd. Großbritannien	Diesel- und Hybridmotoren von 100-850 PS
2. 3.1965	Dr. Ing. h.c. F. Porsche KG Bundesrepublik Deutschland	Otto-Motoren von 50-1000 PS für Personenkraftwagen (Renn- und Rallyezwecke)

	Lizenznehmer	Baubereiche
1. 3.1966	Outboard Marine Corp. USA	Otto-Motoren von 50-400 PS als Bootsmotoren
11. 5.1967	Comotor S.A. Luxemburg (gemeinsame Tochtergesell- schaft von AUDI NSU und Citroen)	Otto- und Hybridmotoren 40-200 PS für Landfahr- zeuge
12. 9.1967	Johannes Graupner Bundesrepublik Deutschland	Otto-Motoren von 0,1-3 PS als Modellmotoren
28. 8.1969	Savkel Ltd. Israel	Otto-Motoren von 0,5-30 PS als Industriemotoren
1.10.1970	NISSAN Motor Company Ltd. Yokohama, Japan	Otto-Motoren von 80-120 PS für Personenkraftwagen
10.11.1970	GENERAL MOTORS Corporation USA	alle Anwendungszwecke mit Ausnahme von Flug- motoren.
24.11.1970	SUZUKI Motor Company Ltd. Hamamatsu, Japan	Otto-Motoren von 20-60 PS für Motorräder
25. 5.1971	TOYOTA Motor Company Ltd. Toyota-City, Japan	Otto-Motoren von 75-150 PS für Personenkraftwagen
29.11.1971	Ford-Werke AG Bundesrepublik Deutschland	Otto-Motoren von 80-200 PS für Personenwagen ein- schließlich Combi- und Stationswagen

Das Prinzip

Die vier Arbeitstakte im NSU/Wankel-Kreiskolbenmotor

- 1 Nachdem über der Kolbenflanke A (Kammer A) der letzte Rest verbrannter Gase ausgescho-
ben ist, beginnt der Ansaugtakt. Kammer B
ist mit Frischgas gefüllt und komprimiert.
In C dehnen sich die verbrennenden Gase ar-
beitsleistend aus.
- 2 Kammer A saugt weiter an. Kammer B verdich-
tet. In Kammer C haben die verbrannten Ga-
se ihre volle Wirkung getan. Die Dichtleiste
hat die Auslaßsteueröffnung freigegeben und
die verbrannten Gase strömen aus.
- 3 Kammer A saugt noch immer Kraftstoff/Luft-
Gemisch an. B hat voll verdichtet. Ein
Zündfunke entzündet das komprimierte Kraftstoff/
Luft-Gemisch. Kammer C schiebt die ver-
brannten Gase weiter aus.
- 4 Kammer A ist mit Frischgas angefüllt. Der
Kompressionstakt setzt ein, sobald die
Dichtleiste die Einlaßöffnung geschlossen
hat. In Kammer B expandieren die verbren-
nenden Gase und treiben über den Kolben
die Exzenterwelle an. Kammer C schiebt
die verbrannten Gase weiter aus.

Das nächste Bild entspräche wieder Figur 1. Lediglich der Kolben hat mit $1/3$ Drehung (120°) in der Trochoiden-Laufbahn die Flanken zum neuerlichen Ablauf eines Viertaktprozesses gewechselt. Die Exzenterwelle (= Kurbelwelle im Hubkolbenmotor) legt bei dem oben geschilderten Arbeitsgang eine volle Umdrehung (360°) zurück. Auf jede Exzenterwellen-Umdrehung kommt also beim NSU/Wankel-Motor ein Arbeitstakt. Nach einer vollen Umdrehung des dreieckigen Kolbens um sich selbst hat der Motor dreimal den kompletten Ablauf des Viertaktprozesses und drei Exzenterwellen-Umdrehungen ausgeführt.



ANSAUGEN



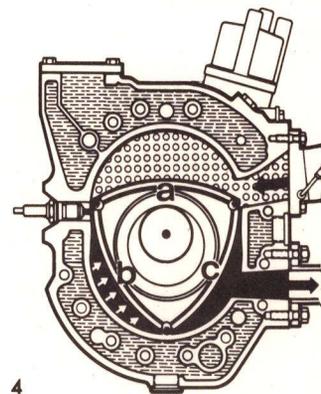
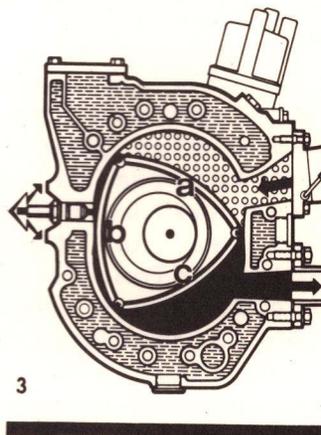
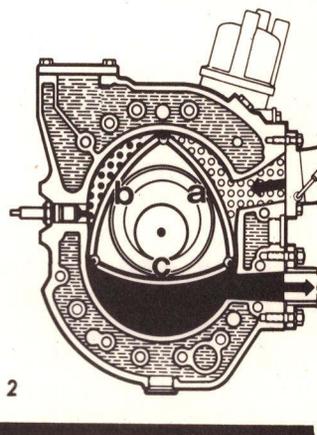
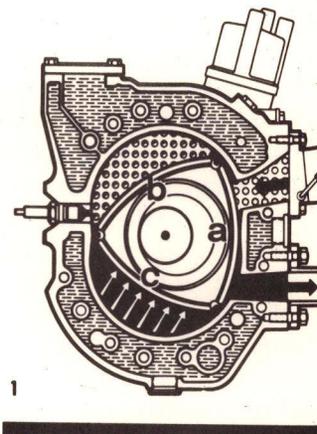
VERDICHTEN



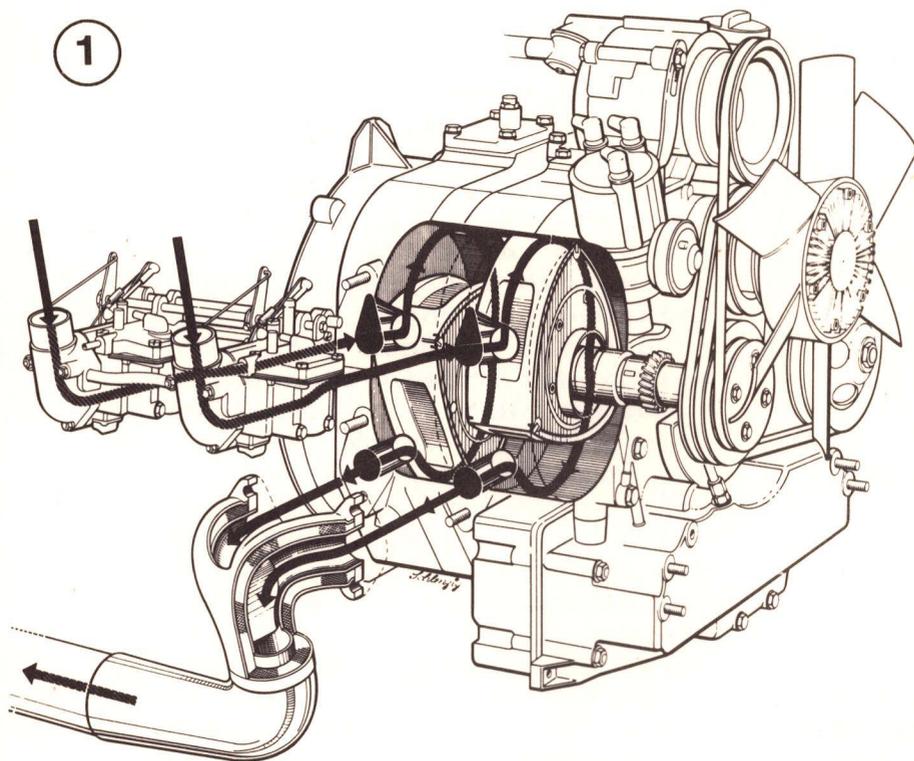
ARBEITSHUB



AUSSCHIEBEN

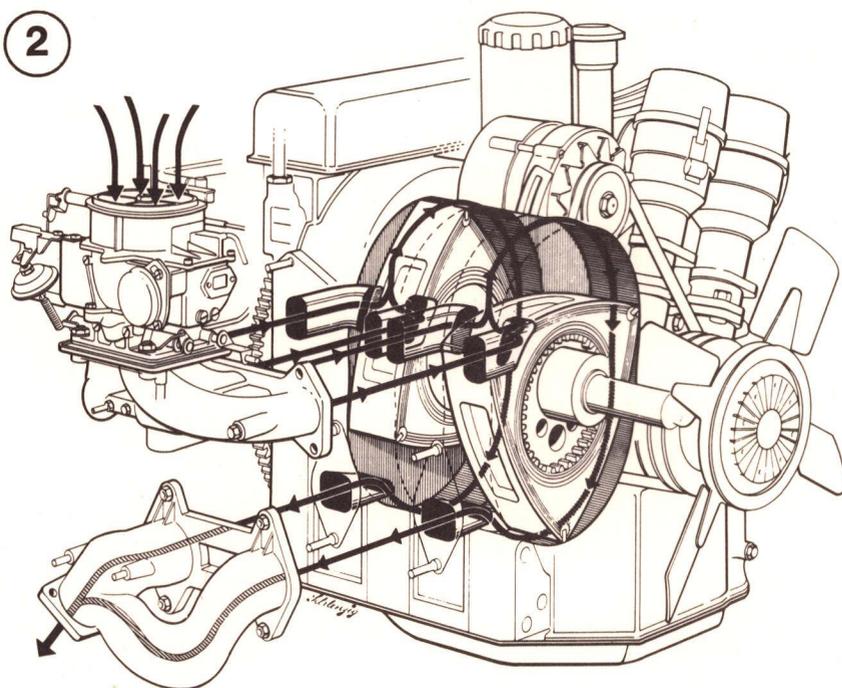


Die Gasführung im NSU/WANKEL-Motor



Der Kreiskolbenmotor nach dem System NSU/Wankel überflügelte in den vergangenen Jahren seiner Entwicklung in mancher Hinsicht den längst zur Perfektion gebrachten herkömmlichen Hubkolbenmotor, weil sein faszinierender Grundgedanke, nämlich Arbeit aus der Drehbewegung direkt zu gewinnen, vernünftig ist. Hinzu kommt die relativ einfache Gassteuerung über Einlaß- und Auslaßöffnungen, die - trotz des sauberen Viertaktprozesses auf seiner kreisenden Bahn - komplizierte Ventilmechanismen erspart. Von Anfang an zeigt es sich dabei, daß es auf der Ansaugseite zwei Augenfällige Möglichkeiten für

die Anordnung der Einlaßöffnungen gibt: Entweder den Einlaß am Umfang der Kolbenlaufbahn (Bild 1) oder den Eintritt des Kraftstoff/Luftgemischs durch Fenster in den Gehäuse-Seitenteilen (Bild 2) Bild 1 stellt das Schema des NSU Ro 80-Motors mit Umfangeinlaß dar. Die Scheibe links im Bild zeigt eine Kolbenstellung, bei der eine Dichtleiste gerade über die Einlaßöffnung streicht. Die obere Kammer wird also im Moment geschlossen und verdichtet anschließend, während in der nachfolgenden Kammer der Ansaugprozeß beginnt und ein Rest verbrannter Gase noch ausgeschoben wird. Diese Überschneidung beim Gaswechsel entspricht der



gleichen Funktion bei herkömmlichen, leistungsstarken Hubkolbenmotoren, bei denen die Schließ- und Öffnungszeiten der Ventile mit Hilfe entsprechender Nockenstellungen auf der Nockenwelle für das Einlaß- und das Auslaßventil geregelt werden. Motoren mit einem solchen Kennbild für den Gaswechsel können mit größerer Verdichtung und höheren Mitteldrücken arbeiten, was höhere Leistungsabgabe aus kleineren Kammervolumina bedeutet (beim Ro 80-Motor: 10,2 kp Mitteldruck, 115 PS DIN aus 2x500 ccm Kammervolumen).

Bild 2 zeigt die Gasführung im Doppel-Kreiskolbenmotor - System NSU/Wankel - des Mazda 130 von der Toyo Kogyo Ltd. in Japan. Die seitliche Anordnung der Einlaßöffnungen bringt zwangsläufig einen flacheren Verlauf des Füllvorgangs mit sich, weil die Einlaßöffnungen (bei diesem System nicht durch die Scheiteldichtleiste, sondern durch die seitlichen Dichtstreifen freigegeben) kontinuierlich öffnen. Ein solcher Motor arbeitet mit geringeren Überschneidungen der Steuerzeiten und mit niedrigeren Mitteldrücken (Mazda 130: Mitteldruck 8 kp). Das brachte den Japanern in der Vergangenheit weniger Probleme, wofür sie sich allerdings mit geringerer Leistungsausbeute (Mazda 130: 126 PS SAE aus 2x650 ccm Kammervolumen) begnügen mußten. AUDI NSU wählte den beschwerlichen Weg der Weiterentwicklung des Dichtsystems und fand die technologische Voraussetzung für den leistungsstarken Wankelmotor mit Stehvermögen: Die Materialpaarung Ferro Tic (ein Sintermetall der Deutschen Edelstahlwerke) für die Dichtleisten und Elnisil (eine Spezial-Nickelschicht mit eingelagertem Silizium-Karbid) für die Laufbahn ist die Lösung.

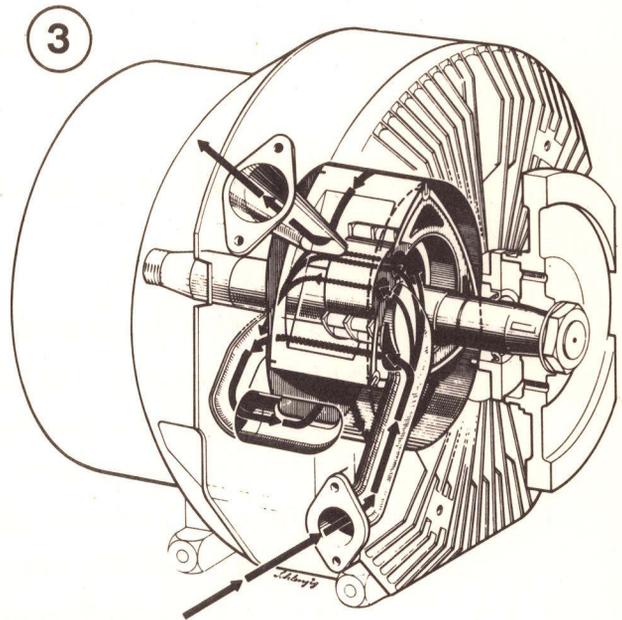


Bild 3 stellt schließlich eine interessante Variante der Motorengruppe mit Umfangeinlaß dar: Der luftgekühlte Sachs-Motor nach dem Prinzip NSU/Wankel benutzt das Frischgas zur Luftkühlung der Exzenterwelle und des Kolbens. Vom Vergaser kommend, wird das Kraftstoff/Luftgemisch zunächst über ein Gehäuse-Seitenteil durch Kühlöffnungen im Exzenter und in den Kolbenecken zur anderen Gehäuseseite geleitet, um erst von dort in den Umfangeinlaß zu gelangen. - Die Pfeile im Bild demonstrieren anschaulich diesen Weg.

Abgasreinigung

Aktion "Saubere Luft" in den kommenden Jahren

Entgegen einigen früheren Auffassungen hat sich gezeigt, daß der NSU/Wankel-Motor außerordentlich günstige, in verschiedenen Punkten sogar bessere Voraussetzungen für die Erfüllung künftiger Abgasgesetze bietet als der Hubkolbenmotor. Wie hoch man sie bewertet, dürfte auch der Einstieg von General Motors, der Welt größtem Industrieunternehmen, in den Kreis der NSU/Wankel-Lizenznehmer zeigen. Denn in den USA stehen dem Verbrennungsmotor besonders schwere Zeiten bevor.

Zwei Eigenschaften sind es vor allem, die den Kreis-
kolbenmotor so interessant machen im Hinblick auf die Abgasreinigung:

Seine Abgase enthalten weniger Stickoxyd als der Hubkolbenmotor.

Er ist mit einem niedrigoktanigen, also bleiärmeren Benzin zufrieden. So braucht der NSU Ro 80 beispielsweise nur an der Normalbenzinsäule vorzufahren.

Daß der NSU/Wankel-Motor weniger Stickoxyd produziert, hat seine Ursache in dem langgestreckten, sichelförmigen Brennraum mit seinen relativ großen, kühlenden Wandflächen und den langen Flammenwegen. Das läßt niedrigere Verbrennungsendtemperaturen und damit weniger Stickoxyd entstehen. Zur Erfüllung künftiger NO-Reglementierung wird man in den USA bei den Hubkolbenmotoren vermutlich bald zur "Abgasrückführung" greifen müssen, wobei ein Teil des

nische Motoren schon in den nächsten Jahren in ihre Ausrüstung aufnehmen müssen.

Wegen ihrer kühleren Abgase und wegen des erhöhten Anfalls von NO wird man in den USA in absehbarer Zeit aber auch zur katalytischen Nachverbrennung greifen müssen. Man rechnet sogar damit, daß zum schnelleren Anspringen der Nachverbrennung in den Reaktoren zusätzlich Benzin eingespritzt werden muß - eine spürbare Komplizierung der Anlage.

Im Vergleich mit der erwähnten thermischen Nachverbrennung ist die katalytische - auf chemischer Basis erfolgend - problematischer. Die chemische Reaktionsschicht nutzt sich ab (durch Blei, durch den pulsierenden Abgasstrom und durch mechanische Vibrationen), weswegen hier zusätzlicher Wartungsaufwand erforderlich wird. Schon jetzt läßt sich erkennen, daß unter verschärften Abgasbestimmungen der Nachverbrennungsaufwand beim Kreiskolbenmotor insgesamt kleiner bleiben kann als beim Hubkolbenmotor.

Zwei weitere Punkte verdienen in diesem Zusammenhang Erwähnung. Der Motor mit den kreisenden Kolben braucht im Vergleich zum Hubkolbenmotor weniger Auslässe für das Abgas. So hat der NSU Ro 80-Doppel-Kreiskolbenmotor nur deren zwei, während ein vergleichbarer konventioneller Vierzylinder- oder Sechszylindermotor vier bzw. sechs aufweist. Das Auspuffgas kommt also beim Kreiskolbenmotor nicht nur heißer, sondern auch dichter in die Nachverbrennung, ganz abgesehen vom geringeren Aufwand insgesamt. Angesichts dieser Nachverbrennung muß der Hubkolbenmotor auch auf die günstigste

Führung der Abgase entsprechend der Zündfolge verzichten, wie sie z.B. durch das "Hosen-" bzw. "Zwillingsrohr" beim Vierzylinder zur Leistungssteigerung verwirklicht wird.

Da der Kreiskolbenmotor seine Leistung aus kleinerem umbauten Raum herausholt, bleibt unter der Motorhaube mehr Platz für die in den USA zum Teil jetzt schon und in Europa künftig sicher auch erforderlichen Zusatzgeräte für die Abgasreinigung. Natürlich spielt auch die Kostenfrage ihre gewichtige Rolle. Wird der Kreiskolbenmotor in größeren Stückzahlen produziert, kann dies billiger geschehen als beim Hubkolbenmotor, womit die erhöhten Kosten für die Entgiftung ausgeglichen werden könnten. Immerhin erspart sich der ventillose Kreiskolbenmotor den Aufwand für die immer komplizierter werdende Ventilsteuern einschließlic der Nockenwelle. Auch fallen andere Teile weg, wie zum Beispiel die Pleuel.

In der Motorenentwicklung der Automobilhersteller in aller Welt muß sich ein immer höherer Anteil des qualifizierten technischen Stabes dem Problem der Abgasentgiftung widmen - Gesundheit und Umweltschutz verlangen es völlig zu Recht. Der Wankelmotor kann hier der nahen und weiteren Zukunft gelassen entgegensehen, eine Erkenntnis übrigens, zu der japanische Auto- und Motorradfabriken schon relativ früh kamen, was zweifellos zu dem lebhaften Kreiskolben-Interesse der Japaner (inzwischen fünf bedeutende Lizenznehmer) angesichts ihres dichtbevölkerten Landes beitrug. Auch bei General

Motors, wie gesagt, blieben diese Zusammenhänge nicht unbeachtet. Es ist erfreulich, daß mit dem Kreiskolbenmotor auch ein wichtiger Beitrag zur Sauberhaltung der Atemluft geliefert werden kann.

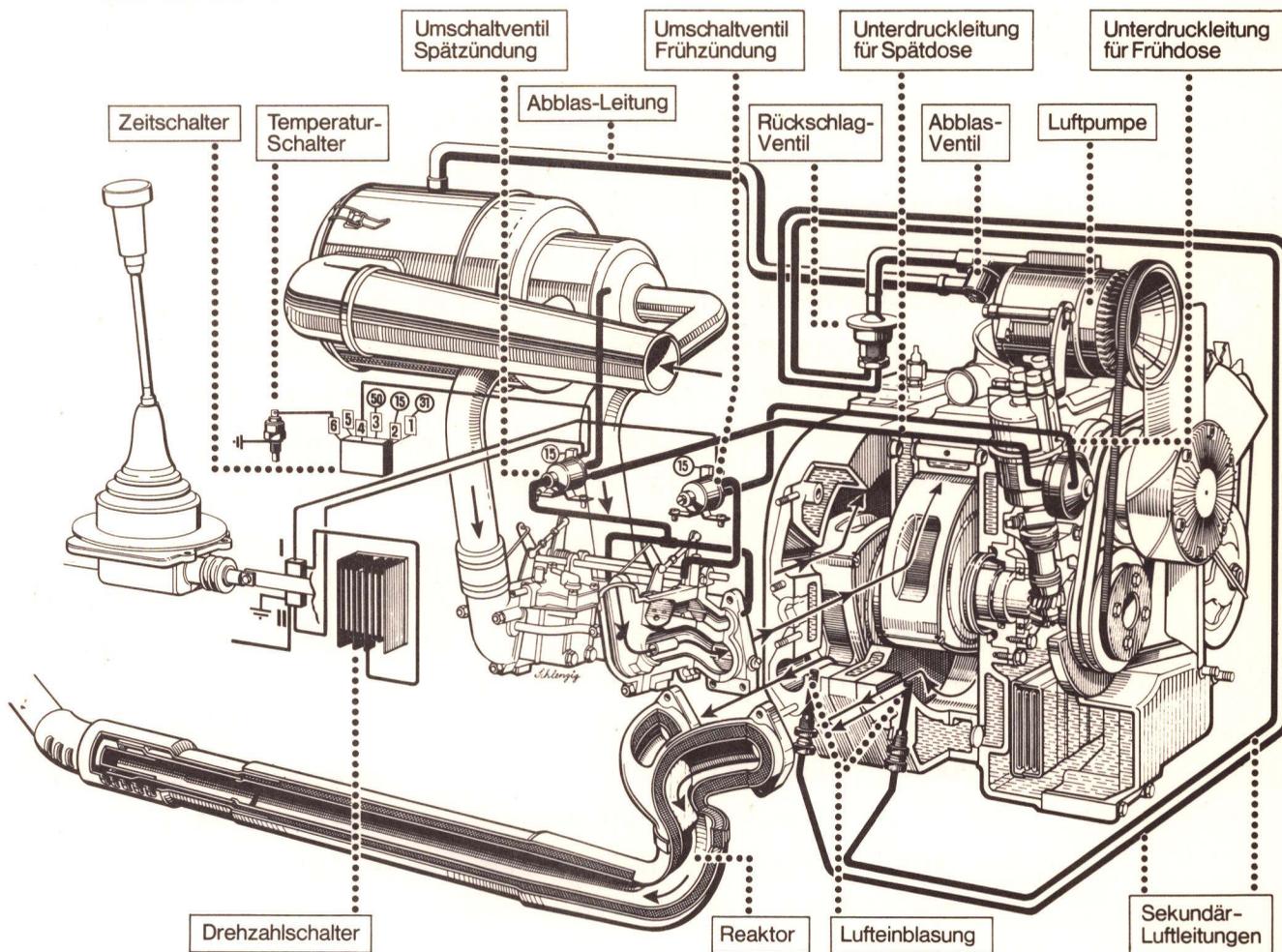
NSU Ro 80-Triebwerk

Abgasprobleme für die Zukunft gelöst

Wenn heute von sauberer Luft und von der Abgasreinigung bei Automobilen die Rede ist, dann kommt die Nachverbrennung der Auspuffgase mit Hilfe eines Reaktors ins Gespräch. - Was ist das und was geschieht in einem solchen Gerät? - Sauerstoff, der Odem für jede Form der Verbrennung, wird den Auspuffgasen hinzugefügt, um Kraftstoff-Restbestände endgültig in Flammen aufgehen zu lassen.

Mit dieser Nachverbrennung findet ein chemischer Prozeß seinen Fortgang, bei dem zuvor entstandene giftige Verbindungen mit dem Sauerstoff (O) reagieren. So verwandelt sich das gefährliche Kohlenmonoxyd (CO) durch Anlagerung eines Sauerstoff-Atoms in das harmlose Kohlendioxyd (CO₂) und beim Kohlenwasserstoff (HC) verbinden sich zwei Atome H (Wasserstoff) mit einem Atom O (Sauerstoff) zu H₂O, dem Wasser, während C (Kohlenstoff) wiederum zu CO₂ (dem Kohlendioxyd) oxydiert. Man muß dazu noch wissen, daß sich die Schadstoffe im Motor besonders bei ungünstigen Fahrsituationen, also im zähflüssigen Großstadtverkehr, im Leerlauf bei Stops vor Ampeln, im Schleichbetrieb beim Kolonnenfahren und

Bild Nr. PR 31/71



bei kaltem Motor in der Warmlaufperiode bilden.
- Womit die Komplikationen bei der Nachverbrennung beginnen, denn der Reaktor soll möglichst schnell aufgeheizt und damit funktionsfähig sein, auch wenn die Verkehrslage eine zügige Autofahrt nicht erlaubt. Man macht das durch Verlegung des Zündzeitpunkts in bestimmten Fahrsituationen auf 'spät', weil dann heißere Auspuffgase den Motor verlassen.

Wie man mit diesem Umstand fertig wird, zeigen wir hier an einem modernen Motor-Aggregat. Der dargestellte Ro 80-Kreiskolbenmotor genießt dabei den guten Ruf gegenüber anderen Systemen bezüglich "sauberer Luft" um Längen voraus zu sein: Eine weitere Gruppe schädigender Gase, die Stickoxyde, sind bei ihm so weit reduziert, daß die gestrengen California-Bestimmungen, die für 1975 geplant sind, schon jetzt erfüllbar werden. Hauptteil der Abgasanlage ist der Reaktor, der möglichst schnell "anspringen" und gleichmäßige Betriebstemperatur zur Nachverbrennung halten soll. Er ist deshalb, wie eine Thermosflasche, wärmeisoliert. Zusatzgerät Nummer 1 ist die Luftpumpe, die den Sauerstoff für die Nachverbrennung als Bestandteil der atmosphärischen Luft zu den Auspuffkanälen des Motorgehäuses dosiert vor den Reaktor bläst (starke Linien). Ein Ventil verschließt die Luftleitung gegen rückschlagende Gase und ein Abblasventil läßt Luftüberschuß von der Pumpe in den Luftfilter ab.

Ein kleines Aufgebot von Schaltern, Umschaltern und Unterdruckgeräten, die ihre Fühler an der Öltemperatur, an der Drehzahl und am Getriebe haben, oder die mit Hilfe der Elektronik zur Warmlaufzeit und in allen Bereichen vom Leerlauf bis zur Vollast den Zündzeitpunkt regulieren, sorgt für optimale Betriebsbedingungen zum Wohle der Großstadtluft: Ein zweites Luftleitungsnetz (gleichfalls starke Linien) verbindet die Vergaser auf der einen Seite über zwischengesetzte Umschaltventile für Spät- und Frühzündung mit

der entsprechenden Reguliereinrichtung am Zündverteiler auf der anderen Seite. Diese sogenannte Früh- und Spät-dose verstellt den Zündzeitpunkt durch Unterdruck auf früh oder spät, je nachdem, ob der von den Vergasern abgenommene Sog zur einen oder anderen Seite des Gerätes geleitet wird. - Die Apparatur könnte selbstverständlich nicht präzise funktionieren, wären an den Umschaltventilen, die elektrisch betätigt werden, nicht entsprechende Kommandostellen angeschlossen (dünne Linien). Beim Kaltstart ist zunächst der Zeitschalter an der Reihe, der zum Zwecke der schnellen Aufheizung des Reaktors mit den Auspuffgasen 13 Minuten lang die Zündeneinstellung elektronisch auf spät hält. Ein Fühler im umlaufenden Öl mißt dabei den Temperaturanstieg und schaltet die 13 Minuten-Periode frühzeitiger ab, wenn Betriebswärme erreicht ist.

Die Zündeneinstellung soll auch im Stadtverkehr von der Drehzahl abhängig sein und bis in mittlere Drehzahlbereiche auf spät regulieren, damit der Reaktor genügend Wärmenachschub vom Auspuffgas erhält. Deshalb ist in die Thyristorzündanlage ein elektronischer Drehzahl-schalter eingebaut, der erst bei rund 2900 U/min, also bei annähernd 55 km/h, in der 2. Fahrstufe die Zündung über die Unterdruckanlage auf früh verstellt. Die 2. Fahrstufe ist im allgemeinen die Fahrstufe für den Stadtverkehr. Um das Schaltsystem darauf abzustimmen, ist zusätzlich zum elektronischen Drehzahl-schalter ein weiterer Kontakt angebracht,

der diesen Stromkreis mit Einlegen der 2. Fahrstufe schließt.

Für normale Funktion der Unterdruck-Zündverstellung, wie sie auch sonst bei Automobilmotoren üblich ist, sorgt ein zweiter Kontakt am Getriebe. Er schaltet auf Spät-dose im Leerlauf, während sonst im Fahrbetrieb mit der 1. und der 3. Fahrstufe, die Unterdruckanlage zur Präzisierung der Zündverstellung des mechanischen Fliehkraftreglers dient.

REDE - Pressekonferenz in Kopenhagen am 22. 2. 1972

Ich begrüße Sie im Namen des Vorstandes unseres Hauses zu dieser skandinavischen Pressekonferenz herzlich.

Es ist unsere Absicht, Ihnen und damit der Öffentlichkeit unseren Standpunkt zum Wankelmotor näher zu bringen und auf die bedeutenden Fortschritte der letzten Jahre in der Entwicklung des Wankelmotors, besonders im Hinblick auf die Lebensdauer hinzuweisen. Dazu wird es notwendig sein, Ihnen einigen technischen Stoff zu präsentieren.

Wir wissen, dass gerade Sie und das skandinavische automobilinteressierte Publikum die eingehende technische Information sehr schätzen und deshalb haben wir heute 2 Herren aus unserem Wankel-Forschungs- und Entwicklungszentrum dabei. Herr Dipl.-Ing. von Manteuffel wird über das Thema "Der Wankelmotor im RO 80 von der Vorstellung 1967 bis heute" referieren, während Herr Ing. van Basshuysen das Thema "Die Abgasreinigung beim Wankelmotor" behandeln wird.

Wir freuen uns, dass so viele Herren der skandinavischen Presse die Zeit gefunden haben, unserer Einladung zu folgen.

Damit habe ich einen Begriff in den Raum gestellt, der heutzutage nur allzusehr mit Füßen getreten wird. Dieser Begriff heisst "Zeit" und ich darf an dieser Stelle vielleicht noch einmal daran erinnern, dass

NSU und seit 2 Jahren AUDI NSU eine Pioniertat vollbracht haben, für die in der heutigen hektischen Welt nicht mehr das rechte Verständnis vorhanden ist. Mit diesem Zeitbegriff also haben die Ingenieure des Hauses NSU und später AUDI NSU sich auseinanderzusetzen gehabt. Menschliche Leistungen mussten immer wieder gegen den Zeitfaktor gesetzt werden und wurden auch manches mal von der Zeit besiegt. Nur ganz hartnäckiges Dranbleiben konnte daher zum endgültigen Durchbruch von heute führen. Wir haben die Schwierigkeiten der letzten Jahre überwunden, d. h. unsere Versuchsergebnisse lassen die Annahme zu, dass der RO 80 Motor und damit der Wankelmotor heute - im Hinblick auf die Standfestigkeit - einen Entwicklungsstand erreicht hat, der eine mit dem Hubkolbenmotor vergleichbare Lebensdauer erwarten lässt. Immer mehr Wagen überschreiten inzwischen ohne Störungen die 100.000 km-Grenze.

Diese grundlegenden Verbesserungen wurden nur möglich durch eine erhebliche Intensivierung unserer Arbeit am Kreiskolbenmotor.

Während bei Wirksamwerden der Fusion zwischen den beiden Firmen AUTO UNION und NSU nur 170 Personen an der Weiterentwicklung des Wankelmotors arbeiteten, ist diese Zahl inzwischen auf 468 angewachsen. Um Ihnen einen Vergleich zu geben: In unserer gesamten Ingolstädter PKW- und Hubkolbenmotoren-Entwicklung sind ca. 1.200 Personen beschäftigt.

Weil dazu parallel mit einem Aufwand von ca. 8 Mio DM neue Entwicklungs- und Forschungsanlagen beschafft bzw. errichtet wurden und

ausserdem zusätzliche Anlagen und Prüfstände kurzfristig freigestellt werden konnten, da ein Teil der Fahrzeugentwicklung nach Ingolstadt verlegt wurde, stehen der Wankelentwicklung mehr Prüfstände zur Verfügung als unserer gut ausgestatteten Hubkolben-Entwicklung.

Es kann heute gesagt werden, dass die Entwicklungskapazität in jeder Hinsicht die 3-fache gegenüber dem Zeitpunkt vor der Fusion ist. Der Aufwand für die Wankelentwicklung beträgt heute ein Mehrfaches von dem, was uns an Lizenzeinnahmen nach Abzug der Anteile für Lizenzpartner und Genuss-Scheininhaber verbleibt.

Zudem wurde eine erhebliche Straffung des Entwicklungsprogramms durchgeführt, um eine Zersplitterung unserer Kräfte zu vermeiden. Wir konzentrierten uns nach der Fusion hauptsächlich auf PKW-Motoren, da wir unsere Aufgabe auf diesem Gebiet sehen und glauben, dass beim PKW-Motor grössere Stückzahlen zu erwarten sind.

Um Sie von unseren Fortschritten zu überzeugen, möchten wir Ihnen die Ergebnisse unserer Prüfstands- und Fahrversuche mitteilen:

Wir haben 14 RO 80 Motoren neuester Bauart auf unseren Prüfständen dem Düsseldorfer-Test unterzogen. Bei diesem Test wird der Motor entsprechend einem Lastkollektiv geprüft, das einer Langstreckenfahrt zwischen Düsseldorf und Stuttgart entspricht, und zwar über eine Zeitdauer von 800 Betriebsstunden. Diese Prüfung entspricht einer Fahrstrecke von ungefähr

115.000 km. 13 unserer Motoren haben diesen Test anstandslos überstanden, einer fiel nach ca. 700 Stunden - also auch bei einer bereits relativ hohen Lebensdauer - wegen eines gebrochenen Nohlrades aus. Eine Verbesserung des Nohlrades wurde sofort eingeleitet.

Im Strassenversuch wurden 9 RO 80 Motoren neuesten Serienstandes erprobt. Davon haben sechs 100.000 km fehlerlos erreicht, einer fiel bei 83.000 km wegen Nohlradbruch aus und zwei zeigten bei 70 bzw. 78.000 km Einlaufspuren am Zwischenteil. Auch hier sind Verbesserungen in die Serie eingelaufen.

Diese Werte können wir mit Ergebnissen von Hubkolbenmotoren, die unter den selben Bedingungen getestet wurden, vergleichen. Dabei können wir feststellen, dass beispielsweise der bewährte AUDI 100 Motor ähnliche und bereits vergleichbare Testresultate bringt.

Mehrere Prüfstandsversuche mit japanischen Kreiskolbenmotoren haben gezeigt, dass die Japaner bei der Weiterentwicklung der ursprünglichen NSU-Spider-Lösung mit Kohledichtleisten erhebliche Fortschritte erzielt haben. Die Tests zeigten jedoch, dass unsere Dichtungspaarung von Ferroitic-Dichtleisten und Elnisil-Schicht im Trochoidengehäuse der Kohledichtung überlegen ist. Sie werden verstehen, dass wir aus Fairness gegen unsere Lizenznehmer die Einzelergebnisse nicht bekanntgeben möchten, aber immerhin feststellen können, dass der RO 80 Motor dem japanischen deutlich überlegen ist.

Der japanische Wankelmotor ist nicht schlecht, aber unsere heutigen Motoren sind trotz höherer, spezifischer Leistung unter europäischen Verkehrsbedingungen besser. Die japanischen Verkehrsbedingungen unterscheiden sich allerdings völlig von unseren. Bei 60 km/h Höchstgeschwindigkeit auf den Landstrassen und 100 km/h auf einem kurzen Autobahnstück zwischen Tokio und Osaka wird von den Motoren keine Höchstbeanspruchung gefordert.

Lassen Sie mich noch einige Worte zu wesentlichen Vor- bzw. Nachteilen des Wankelmotors verlieren.

Dieser Motor ist extrem lafruhig. Je schneller man fährt, desto weniger hört man von ihm. Zur Verdeutlichung der Geräuscharmut kann ich Ihnen mitteilen, dass wir einen exakten Vergleich zwischen Hub- und Kreiskolbenmotor an ein und demselben Wagen durchgeführt haben. Wir benutzen hierzu den AUDI 100. Dabei ergab sich für den Kreiskolbenmotor ein niedriges Geräuschniveau über den gesamten Drehzahlbereich. Das Geräuschniveau lag günstiger als das eines prominenten 6-Zylinder-Fahrzeuges, das bewusst auf Geräuschkultur gezüchtet ist.

Dieser Motor ist extrem platzsparend. Das ermöglicht die Verwirklichung einer strömungsoptimalen Formgebung. Ausserdem macht die kompakte Bauweise diesen Motor besonders geeignet für die Blockbauweise und damit für den Frontantrieb. Erwähnenswert bleibt, dass ein derartiges Triebwerk einen etwas niedrigeren Schwerpunkt ermöglicht.

Dieser Motor ist weitestgehend vibrationsfrei durch seinen Aufbau aus nur rotierenden Teilen. Der Motor ist wartungsarm und unkompliziert konstruiert.

Nachteilig ist heute noch beim Wankelmotor der höhere Herstellpreis. Beim Herstellpreis ist zu berücksichtigen, dass ein 2-Scheiben-Kreis-kolbenmotor mit einem 6-Zylinder-Hubkolbenmotor verglichen werden muss, und dass zur Erfüllung der europäischen Abgasbestimmungen der Kreis-kolbenmotor bereits heute mit einem Reaktor zur Beseitigung der CO- und CH-Anteile ausgestattet werden muss. Lassen Sie mich an dieser Stelle eine Anmerkung zu dem Thema Sicherheits- und Abgasgesetzgebung machen:

Nur Vorschriften, bei denen der Aufwand in einem vernünftigen Verhältnis zu den gewünschten Verbesserungen steht, sind volkswirtschaftlich vertretbar.

Übereilte und unsachgemässe Vorschriften, die sich häufig ändern und in fast jedem Land anders sind, können dazu führen, dass das Automobil wieder zum Luxusartikel einer kleinen privilegierten Schicht wird. Anders ausgedrückt: Man nimmt dem "kleinen Mann" das Auto weg. Hierdurch müsste zwangsläufig die Produktion zurückgehen, wobei Arbeitsplätze frei würden.

An dieser Stelle möchte ich gerade Sie, die Presse, bitten, darauf hinzuwirken, dass die Regierungen unbedingt in Kontakt zur Industrie vernünftige Gesetze erlassen.

Unter Berücksichtigung der Vor- und Nachteile lässt sich heute sagen, dass der Kreiskolbenmotor eine kultivierte Alternative zum 6-Zylinder-Hubkolbenmotor darstellt und sich besonders für Komfortfahrzeuge eignet.

Bei Gross-Serienfahrzeugen der unteren Preisklasse - Wagen also, bei denen Wirtschaftlichkeit im Vordergrund steht - wird der Hubkolbenmotor seine dominierende Stellung **v o r e r s t** behaupten können.

Um auch in dieser Klasse Erfolge erzielen zu können, müssen die Herstellkosten gesenkt werden. Damit dieses Ziel erreicht werden kann, haben wir unsere konstruktiven Bemühungen um die Weiterentwicklung des Kreiskolbenmotors verstärkt. Insbesondere müssten von der Produktion neue Fertigungsverfahren und -anlagen geschaffen werden. Denn hier in den besseren und billigeren Fertigungsverfahren liegt der Schlüssel zur Senkung der Herstellungskosten und somit zum Erfolg des Wankelmotors in Gross-Serien-Fahrzeugen.

Auf diesem Gebiet sind uns die Japaner - und das geben wir unumwunden zu - mit einer Produktion von über 10.000 Motoren pro Monat einen Schritt voraus, aber auch nur einen Schritt. Denn schon in absehbarer

Zeit werden auch wir Wankelmotoren in grösserer Stückzahl produzieren und auf dem Markt als Alternative zum Hubkolbenmotor anbieten. In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, dass wir unser gemeinsames Projekt mit Citroen in der "Comobil S/A" zielstrebig verfolgen und schon bald sichtbare Ergebnisse vorlegen werden.

Auch von anderer Seite sind in absehbarer Zeit Neuigkeiten auf diesem Gebiete zu erwarten. Denn fast alle (wenn ich fast sage, brauche ich fast nicht mehr fast zu sagen) namhaften Automobilproduzenten der Welt haben inzwischen eine Wankellizenz für Automobilmotoren erworben.

Für den Erfolg unserer Wankel-Entwicklungen spricht, dass der grösste Automobilproduzent der Welt nicht nur schlechthin eine Wankellizenz erworben hat, sondern sich dem Konstruktionsprinzip des Hauses AUDI NSU angeschlossen hat. Diese Tatsache spricht für sich selbst. Wenn wir Sie heute also hierher gebeten haben und wenn wir es wagen, Sie zu strapazieren, so hat uns der Erfolg und der nunmehr endgültige Durchbruch der Idee und des Pioniertums - so glauben und hoffen wir - das Recht gegeben.

Zum Schluss möchte ich noch zu den Presseberichten der letzten Zeit, wie sie auch in der skandinavischen Presse erschienen, Stellung nehmen. Diese Berichte behandelten u. a. das Thema der Selbständigkeit von AUDI NSU.

Ich kann Ihnen, meine Damen und Herren, hier an dieser Stelle verbindlich erklären, dass die ALDI NSU Auto Union AG ein selbständiges Unternehmen ist und bleibt mit einem eigenen, differenzierten Modellprogramm und einer eigenen, unabhängigen Vertriebsorganisation.

Unser vollständiges Modellprogramm ist Ihnen sicherlich allen ein Begriff vom NSU RO 80, dem ALDI 100 nebst Coupé, ALDI 60 bis zum NSU Prinz 4. Wir würden uns freuen, wenn Sie aus Anlass der kommenden Automobilausstellung unseren Stand besuchen. Wir werden Sie dort gerne umfassend informieren.

Wir freuen uns, meine Damen und Herren, dass Sie nunmehr die Öffentlichkeit von unseren Erfolgen unterrichten werden - wir sind natürlich auch gespannt darauf, wie Sie unsere Ausführungen beurteilen und wie wir dabei abschneiden.

Februar 1972

Ingeniør R. van Basshuysen: Rensning af udblæsningen fra
Wankel-motorer.
Den nuværende situation og fremtiden.

1. Indledning

Når man beskæftiger sig med forbrændingsmotorer, kan man i dag ikke blot gå ud fra værdier som litereffekt og økonomi, man må også vurdere, om udblæsningsgassens sammensætning er miljøvenlig. Der er hovedsagelig fem kriterier, der har indflydelse på kvaliteten af udblæsningsgassen: Kulhydrater CH, kulilte CO, kvælstofilte NO_x , kravet til blyforbindelser i benzinen og motorens størrelse, der igen er bestemmende for den tiloversblivende plads til rensningsanlægget (se billede 1).

2. Rensningskriterier

2.1 Kulhydrater (uforbrændt benzin)

Koncentrationen af kulhydrater er i den urensede udblæsningsgas fra drejestempelmotorer cirka dobbelt så stor som for konventionelle stempelmotorer uden rensning. Det var derfor, man i lang tid talte om, at drejestempelmotoren var vanskelig at gøre giftfri. I den forbindelse overså man blot, at drejestempelmotorens udblæsningsgas havde en temperatur, der lå indtil 150°C højere end udblæsningsgassen fra den konventionelle motor, af hvilken grund drejestempelmotoren var velegnet for rensning ved hjælp af efterbrænding, der kræver høje temperaturer (se billede 2).

2.2. Kulilte CO

Kulilteindholdet svarer nogenlunde til de normer, der kendes fra almindelige stempelmotorer.

2.3. Kvælstofilte NO_x

Med hensyn til kvælstofilte er drejestempelmotoren særlig gunstigt stillet. Koncentrationen andrager kun ca. $1/3$ af værdien fra konventionelle stempelmotorer. Kvælstofilte er ganske vist ikke medtaget i den europæiske lovgivning om forurening, men da kvælstofilte er særdeles giftige, bør de kun optræde i ringe mængde.

2.4. Blyindhold i benzinen (oktantalsbehov)

Ro 80 motoren har et forholdsvis lavt oktantalsskrav. Trods et kompressionsforhold på ikke mindre en 9:1, er den tilfreds med

standardbenzin, og det vil sige, at den er lettere at tilpasse blyfattig benzin end den almindelige stempelmotor. Af denne grund er der færre vanskeligheder med at opfylde de bestemmelser om formindskning af blyindholdet i benzinen, som allerede har eksisteret i nogen tid i USA, og som trådte i kraft i Vesttyskland ved indgangen til 1972. Fra 1. januar 1972 må blyindholdet i benzinen (i Tyskland) kun andrage 0,40 g pr. liter, og fra 1. januar 1976 kun 0,15 g pr. liter.

2.5. Plads til rensningsanlæg

Plads til et rensningsanlæg i vognen får stadig større betydning. Et betydende automobilfirma i USA taler allerede om en ny filosofi ved planlægningen af fremtidens bilkonstruktioner. Rensningsanlæg har et stort pladsbehov. Også set fra denne synsvinkel byder drejestempelmotoren på en stor fordel, da den i forhold til den udviklede effekt er betydelig mindre end en konventionel motor. Den mindre motor kommer også sikkerheden til gode, idet det stødabsorberende parti kan udformes på en mere hensigtsmæssig måde.

3. Reduktion af de skadelige stoffer

Man skelner mellem forholdsregler i forbindelse med motoren og forholdsregler i forbindelse med udblæsningssystemet, hvilket vil sige udblæsningsgassen. Forholdsregler ved motoren drejer sig om tændingen, mere ensartet gasblanding og forbrændingskammerets udformning. Virkningen af de ændringer, man foretager på motoren, er dog ikke så mærkbare som de forholdsregler, man kan tage med hensyn til udblæsningsgassen. Ser man bort fra kvælstofiltene vil det sige, at udblæsningsgassen renses i en termisk reaktor eller i en katalysator, hvilket kræver et tilskud af luft fra en af motoren drevet luftpumpe, der på den måde skaffer den fornødne mængde ilt fra luften. Den termiske reaktor minder om et udblæsningsrør, men reaktoren er varmeisoleret og forsynet med flammefangere. Desuden bliver reaktoren indskudt direkte i udblæsningssystemet, og her foregår efterforbrændingen ved høj temperatur. I katalysatoren derimod er den kemiske ændring også mulig ved lave temperaturer. Katalysatoren byder endnu på problemer med hensyn til holdbarheden, og desuden undgår man ikke et effekttab på grund af stigende modtryk i udblæsningssystemet. Tillige er katalysatoren følsom overfor bly, og det vil sige, at virkningen er forholdsvis kortvarig, når der benyttes blyholdig benzin.

Af de nævnte grunde valgte AUDI NSU en termisk efterbrænder i form af en termisk reaktor (billede 3). En luftpumpe blæser iltholdig luft ind i motorblokkens udblæsningskanaler, hvorved der i udpræget grad sker en iltning af kulhydrater og kulilte i udblæsningsgassen. Da forbrændingen forløber mere fuldstændigt ved højere temperaturer på udblæsningsgassen, bliver tændingstidspunktet målt på hovedakslen ved delbelastning under opvarmningsperioden sat 10° tilbage (lavere tænding), hvilket

giver en temperaturstigning på ca. 100°C på udblæsningsgassen (billede 4). Afprøvningen blev foretaget ifølge det europæiske prøveprogram, der for Ro 80 er vanskeligere at opfylde end det amerikanske CVS-program. Med den nævnte tændingsregulering opnår man et temperaturforløb i reaktoren under det europæiske prøveprogram som vist på billede 5. I den underste del af billedet er de fire prøver i europaprogrammet indtegnet. Efter kort tids forløb krydser kurverne hinanden, hvilket vil sige, at det koldere målepunkt 2 ved efterforbrændingen bliver varmere end målepunkt 1. Den omgående funktion - hurtig temperaturstigning - i reaktoren er sikret, som det fremgår af billede 5. I det europæiske prøveprogram fører de forannævnte forholdsregler til en betydelig reduktion af udblæsningens giftstoffer. Billede 6 viser formindskelsen af HC (kulhydrater) i 1. og 4. prøve. Den øverste kurve viser forureningen fra den urensede udblæsningsgas. Billede 7 viser nedbrydningen af CO i første og fjerde prøve, og i begge tilfælde er der tale om en betragtelig reduktion af de skadelige stoffer. Resultaterne for den fuldstændige europaprøve fremgår af illustration 8. Medens den urensede udblæsningsgas med et indhold af 23 g CH pr. prøve og 250 g CO pr. prøve overskrider de fastsatte normer på henholdsvis 13,1 g CH og 182 g CO pr. prøve, ligger den rensede udblæsningsgas så rigeligt indenfor maksimalværdierne, idet den rensede udblæsning indeholder 6,5 g CH og 90 g CO pr. prøve.

4. Sammenfattende

Vi har vist Dem, hvordan drejestempelmotoren i tilgift til sine andre gode egenskaber giver gode muligheder for at rense udblæsningsgassen. Efterforbrændingen af kulilte og kulhydrater sker i det foreliggende tilfælde i en termisk reaktor.

Desuden er forureningen med de meget giftige kvælstofilte bemærkelsesværdig lav. Denne kendsgerning er af stor betydning, da fjernelsen af kvælstofilte, som må ske ved reduktion og ikke ved iltning, er meget vanskeligere end nedbrydningen af kulilte og kulhydrater.

Den stigende interesse for Wankel-motorer, der er dokumenteret gennem licensaftaler med de store japanske fabriker, Ford og General Motors skyldes ikke mindst forureningsproblemerne.

Hr. redaktør Tage Schmidt
Bakkedraget 74
3480 Fredensborg

Deres ref.:

Vor ref.: **OR/IA**

Lokal nr.:

Dato: **2. februar 1972**

Pressemøde i forbindelse med udstillingen i Bella Centret.

I samarbejde med hr. Schimpke, leder af presseafdelingen på motorfabriken i Ingolstadt, har vi fornøjelsen at indbyde Dem til pressemøde i København

tirsdag den 22. februar 1972

Mødet afholdes kl. 10 på Langeliniepavillonen, og De møder tre herrer fra AUDI NSU AUTO UNION AG:

Salgsdirektør H.-E. Schönbeck, der taler om wankel-motorens stilling på markedet.

Civilingeniør Peter Manteufel
forskningsafdelingen:

Wankelmotorens vej fra præsentationen af NSU Ro 80 i 1967 til i dag, og

Civilingeniør Richard van
Basshuysen, udviklingsafdelingen, der fortæller om

rensning af wankelmotorens udstødsgas.

De tre herrers indlæg, der ledsages af film og lysbilleder, foregår på tysk, og ved mødets afslutning uddeles et dansk resumé.

Efter mødet kl. ca. 12 serveres en let frokost, og der er lejlighed til at stille spørgsmål til gæsterne.

Vi glæder os til at se Dem og beder om Deres tilsagn senest den 17. d.m. på telefon (09) 14 31 31 - fru Inge Andersen.

Med venlig hilsen
- og på gensyn -

AUDI NSU A/S

Februar 1972
H.-E.S/OR/IA

Direktør H.-E. Schönbeck: Wankel-motorens placering på markedet.

På direktionens vegne byder jeg Dem hjerteligt velkommen til denne skandinaviske pressekonference.

Vi vil gerne give Dem og dermed offentligheden et nærmere indblik i vor stillingtagen overfor Wankel-motoren og i de betydelige fremskridt, der er sket med udviklingen af Wankel-motoren i de sidste år, især med hensyn til dens levetid. Til belysning heraf er det nødvendigt at præsentere Dem for en del tekniske detaljer.

Vi ved, at De og det skandinaviske bilinteresserede publikum netop sætter stor pris på præcise tekniske informationer, og derfor har vi medbragt to herrer fra vor Wankel-forsknings- og udviklingscenter. Hr. civilingeniør von Manteuffel vil fortælle om "Wankel-motoren i Ro 80 fra præsentationen i 1967 til i dag", meden hr. ingeniør van Basshuysen vil behandle emnet "udstødningsrensning ved Wankel-motoren".

Det glæder os, at så mange medarbejdere fra den skandinaviske presse har givet sig tid til at efterkomme vor invitation.

Hermed har jeg rørt ved et begreb, som i dag har større betydning end nogensinde. Dette begreb hedder "tid", og jeg må måske på dette sted erindre om, at NSU og i de sidste 2 år AUDI NSU har fuldført en pionergerning, som ikke helt er blevet værdsat af vore dages hektiske verden.

Ingeniørerne hos NSU og senere AUDI NSU har måttet arbejde under et ubønhørligt tidspres. Menneskelige præstationer måtte hele tiden sættes i relation til tidsfaktoren og ofte var det tiden, der løb af med sejren. Kun en ganske hårdnakket udholdenhed førte til det endelige gennembrud i dag. Vi har overvundet vanskelighederne i de sidste år, d.v.s. vore forsøgsresultater giver os tiltro til, at Ro 80-motoren og dermed Wankel-motoren i dag - med hensyn til slidstyrke - har nået en standard, der gør det muligt, at sammenligne dens levetid med en stempelmotors. Flere og flere vogne går nu over 100.000 km uden problemer.

Disse principielle forbedringer var kun mulige, fordi vi intensiverede vort arbejde med Wankel-motoren i betydeligt omfang.

Medens der kun arbejdede 170 personer på videreudviklingen af Wankel-motoren, da fusionen mellem de to firmaer AUTO UNION og NSU skete, er dette tal i mellemtiden vokset til 468. For at belyse dette tal kan oplyses: I vor centrale udviklingsafdeling for personvogne og stempelmotorer i Ingolstadt er der ialt beskæftiget ca. 1.200 personer.

Med en investering på ca. 8 mill DM blev udviklingsarbejdet centraliseret i nye udviklings- og forskningsanlæg i Ingolstadt, og derved kunne der i løbet af kort tid frigøres prøvestande og anlæg i Neckarsulm til Wankel-udvikling.

Man kan i dag sige, at vor udviklingskapacitet på enhver måde er tre gange større, end den var på det tidspunkt, da fusionen skete. Udgifterne til Wankel-udviklingen beløber sig til mere end det, som vore licensindtægter giver, når vor licenspartner og indehavere af de særlige Wankel-aktier har fået deres part.

Desuden blev der gennemført en betydelig stramning af udviklingsprogrammet for at undgå at spille vore kræfter. Vi koncentrerede os efter fusionen hovedsageligt om personvogns-motorer, da vi ser vor opgave på dette område og tror, at der kan forventes større produktionstal på dette felt.

For at overbevise Dem om vore fremskridt, vil vi gerne fortælle Dem om resultaterne fra vore prøvebanke og testvogne.

Vi har underkastet 14 Ro 80-motorer af sidste nye konstruktion Düsseldorf-testen på vore prøvebanke. Ved denne test bliver motoren afprøvet med en samlet belastning, der svarer til en langturskørsel mellem Düsseldorf og Stuttgart i et tidsrum på 800 driftstimer. Denne prøve svarer til en kørselsstrækning på ca. 115.000 km. 13 af vore motorer klarede denne test uden vanskeligheder, en af dem faldt fra efter ca. 700 timer - altså også efter en relativ høj levetid - på grund af en knækket tandkrans på rotoren. En forbedring af tandkransen blev straks foranlediget.

Ved vejforsøg blev 9 Ro 80-motorer af sidste serie afprøvet. Af dem har 6 nået de 100.000 km uden fejl, en faldt fra ved 83.000 km igen på grund af tandkransbrud, og 2 motorer viste ved 70.000 og 78.000 km slidspor på mellemdækslet. Også på dette område er der indført forbedringer i produktionen.

Flere prøvebankforsøg med japanske Wankel-motorer har vist, at japanerne ved videreudviklingen af den oprindelige NSU-Spider-konstruktion med kultætningslister har opnået betydelige resultater. Men forsøgene viser alligevel, at vor tætningskombination med Ferrotic-tætningslister og Elnisil-belægning af motorhuset er kultætningen overlegen. De vil forstå, at vi for at være fair mod vore licenstagere ikke ønsker at bekendtgøre enkeltresultaterne, men alligevel kan vi fastslå, at Ro 80-motoren er den japanske klart overlegen.

Den japanske Wankel-motor er ikke dårlig, men vore nuværende motorer er trods højere ydelser bedre egnede til de europæiske trafikforhold. De japanske trafikforhold adskiller sig nemlig fuldstændig fra vore. En tilladt topfart på kun 60 km på landevej og 100 km på et kort motorvejsstykke mellem Tokio og Osaka kræver ingen særlig ydelser af motorene.

Jeg vil gerne sige et par ord om de væsentlige fordele og ulemper ved wankel-motoren.

Denne motor er uhyre lydsvag. Jo hurtigere man kører, jo mindre hører man til den. Til belysning af lydløsheden kan jeg fortælle Dem, at vi har gennemført en nøjagtig sammenligning i en og samme vogn med en stempelmotor og en Wankel-motor. Vi benyttede en Audi 100 hertil. Det viste sig, at Wankel-motoren i hele omdrejningsområdet havde et lavere støjniveau. Støjniveauet lå også lavere end det gjorde i en eksklusiv 6-cylindret vogn, i hvilken næsten alt er gjort for at holde støjen nede.

Denne motor kræver et minimum af plads, derved muliggøres en optimal strømlinet form. Desuden gør denne motors kompakthed den særdeles velegnet til blokkonstruktion og dermed til forhjulstræk. Det er værd at nævne, at et sådant motoraggregat muliggør et lavtliggende tyngdepunkt.

Denne motor er så godt som vibrationsfri på grund af sin opbygning udelukkende med roterende dele. Motoren er nøjsom med hensyn til service og er i sit princip ganske ukompliceret.

Ulempen ved Wankel-motoren er i dag den højere fremstillingspris. Ved produktionsprisen skal man tage hensyn til, at en 2-kamret Wankel-motor skal kunne sammenlignes med en 6-cylindret stempel-motor, og at Wankel-motoren allerede i dag i flere lande skal forsynes med en reaktor til fjernelse af CO- og CF-delene (kulilte og kulhydrater) i udstødningen, for at opfylde de europæiske bestemmelser om rensning af udstødningsgas. Lad mig her føje en bemærkning til temaet sikkerheds- og udstødningslovgivning:

Kun forskrifter, hvor udgifterne står i et fornuftigt forhold til de ønskede forbedringer, er nationaløkonomisk forsvarlige.

Overilede og uhensigtsmæssige forskrifter, som ofte er forskellige fra land til land, kan føre til, at bilen igen bliver til en luk-susgenstand for en lille privilegeret klasse. Sagt med andre ord: Man tager bilen fra den "lille mand". Hvis det sker, bliver man nødt til at skære produktionen ned, hvilket går ud over beskæftigelsen.

Her vil jeg gerne bede Dem, pressen, om at medvirke til, at regeringerne ubetinget udsteder fornuftige love i samarbejde med industrien.

Under hensyn til fordelene og ulemperne kan man i dag sige, at Wankel-motoren er et kultiveret alternativ til den 6-cylindrede stempelmotor, og at den egner sig særlig godt til komfortable vogne.

Til stor-serievogne i den lavere prisklasse, altså vogne, hvor økonomien står i forgrunden - vil stempelmotoren utvivlsomt endnu nogen tid have den dominerende stilling.

Forudsætningen for også at opnå succes i denne klasse, er at fremstillingsprisen reduceres. For at kunne nå dette mål, har vi forstærket vore konstruktive bestræbelser for videreudvikling af Wankel-motoren. Især må vi skabe nye fremstillingsmetoder og -anlæg for produktionen. For kun i den bedre og billigere produktionsmetode ligger nøglen til sænkning af produktionsomkostningerne og dermed succesen for Wankel-motoren i biler, der fremstilles i virkelig masseproduktion.

På dette område er japanerne - og det indrømmer vi uden forbehold - med en produktion på over 10.000 motorer om måneden et skridt forud, men også kun et skridt. For allerede indenfor overskuelig tid vil vi producere Wankel-motorer i større antal og bruge dem på markedet som alternativ til stempelmotoren. I denne forbindelse kan henvises til, at vi sammen med Citroen energisk arbejder på vort fælles projekt "Comobil S/A" og allerede snart vil kunne fremlægge svnlige resultater.

Også fra anden side kan der i løbet af en overskuelig fremtid ventes nyheder på dette område. For næsten alle (når jeg siger næsten alle, behøver jeg næsten ikke mere sige næsten) kendte bilproducenter i verden har i mellemtiden erhvervet licensrettigheder til Wankel-motoren.

Det taler for succes for vor Wankel-udvikling, at verdens største automobilfabrik ikke blot har købt en Wankel-licens men tillige har besluttet sig for AUDI NSUs konstruktionsprincip. Denne kendsgerning taler for sig selv.

Når vi i dag har tilladt os at invitere Dem her til København og belaste Dem med at skulle høre på os, er det fordi succesen, det endelige gennembrud og pioneråndens sejr efter vor opfattelse berettiger os hertil.

Til slut vil jeg gerne give udtryk for min stilling til nogle af den seneste tids pressekommentarer, der også har været fremme i Skandinavien. Disse artikler har bl.a. beskæftiget sig med AUDI NSUs selvstændighed.

Jeg kan forbindende erklære overfor Dem, min dame og mine herrer, at AUDI NSU AUTO UNION AG er og bliver et selvstændigt foretagende med sit eget, varierede modelprogram og sin egen, uafhængige salgsorganisation.

Vort fuldstændige program står sikkert for Dem som et begreb af NSU Rø 80, Audi 100 og Coupé'en, Audi 60 og videre til NSU Prinz 4L. Det ville glæde os, hvis De besøger vor stand på den kommende automobiludstilling, hvor vi gerne informerer om de enkelte modeller.

Vi glæder os til, min dame og mine herrer at De gør offentligheden bekendt med vore succeser, og vi er naturligvis spændt på, hvorledes De bedømmer os og hvordan vi klarer os i denne bedømmelse.

HISTORIEN BAG NSU WANKEL MOTORENS UDVIKLINGMan var mere end 100 år om at finde på en plejlstang

Som bekendt fortøner hjulets opfinder sig i en meget fjern fortid, og i årtusinder var man tilfreds med kombinationen af vogne med hjul og afrettede trækdyr. Da man blev fortrolig med kraften i både krudt og damp, spekulerede man alvorligt på at anvende sådanne utrættelige drivkræfter i stedet for heste og okser, men det stod hurtigt klart, at skulle disse kræfter udnyttes rigtigt, måtte man have dem under kontrol i en cylinder, hvor kraften kunne påvirke et stempel.

I 1673 opfandt Christian Huygens en krudtmotor, men han kunne ikke finde nogen enkel metode til at overføre stemplets frem- og tilbagegående bevægelse til hjulets roterende bevægelse. I de senere dampdrevne pumper behøvede man ikke en sådan forvandling af bevægelsen, men dampumperne viste, hvilke muligheder, der var i dampkraften.

I 1786 indlagde James Watt sig uvisnelig berømmelse ved at opfinde plejlstangen, der forvandlede dampumpen til en dampmaskine. Han var dog ingenlunde tilfreds med den frem- og tilbagegående bevægelse i sin maskine, og han kom med mange udkast til rotationsstempelmaskiner, som hverken han eller mange andre teknikere efter ham fandt nogen tilfredsstillende løsning på, og det var altid tætningen mellem rotor og stator, konstruktionerne strandede på.

I 1876 opfandt Nikolaus August Otto sin gasmotor, der arbejdede efter fire-takt princippet, og man ser stadig i tyske tekster fire-takt motoren omtalt som en Otto-motor. Denne gasmotor blev da også stamfaderen til benzinmotoren, og enhver ved, at denne motortype er blevet udviklet til et utroligt højt stade hvad præstationer, pålidelighed og holdbarhed angår. Der findes dog næppe nogen motortekniker gennem tiderne, der ikke har været temmelig utilfreds med de frem- og tilbagegående dele, hvilket vil sige stempler, stempelpinde, øverste del af plejlstængerne og ventilmekanismen. Det er da også disse frem- og tilbagegående dele, der sætter grænsen for fire-takt motorens maksimaleffekt, da det bl. a. er begrænset, hvor mange gange en ventil kan nå at åbne og lukke på et sekund. Stødstængernes vægt er sparet med overliggende knastaksel, og i racermotorer deler man ofte ventilernes vægt ved at benytte fire mindre ventiler i stedet for to store, men der er grænser for, hvor dyr en motor man kan tillade sig til en almindelig bil. Der er også grænser for, hvor meget den gammelkendte stempelmotor kan

udvikles, og derfor opgav man den til større fly, hvor gasturbinen eller jet-motoren i dag er enerådende. I store skibe blev man vibrationerne fra store motorer kvit ved at gå over til damp-turbiner, men turbiner er ikke velegnede i små størrelser og slet ikke, når motoreffekten ustandselig skal varieres.

Wankel motoren "det manglende led"

Wankel motoren kommer på den måde til at betegne det manglende led i udviklingen mellem den konventionelle stempelmotor og turbinerne.

Felix Wankel havde på grundlag af moderne teknologi arbejdet med "usædvanlige" motortyper - et af de første projekter stammer fra 1929 - men det afgørende vendepunkt kom i 1951, da NSU-forskningsafdelingen under ledelse af dr. ing. Walter Froede kom i kontakt med TES (Technische Entwicklungsstelle) Lindau under ledelse af Felix Wankel.

NSU var bl. a. på jagt efter en let og kompakt kompressor til verdensrekordmaskinerne, og da Wankel var specialist i kompressorer, kom samarbejdet igang. Wankel tænkte i nye baner, og i 1954 opdagede han, at den dobbeltdrejende bevægelse kunne tegne en lukket geometrisk form - en trochoide - som med et stempel af den rette facon kunne bruges som motorhus eller cylinder, hvad man nu skal kalde det. I de første konstruktioner lod han også motorhuset rotere, men den endelige løsning blev et fast motorhus, i hvilket et næsten trekantet stempel blev placeret. Stemplet drejer rundt om sig selv (den ene drejende bevægelse) monteret på en ekscentrik anbragt på motorens hovedaksel, der også drejer (den anden drejende bevægelse), og det nøje fastlagte forhold mellem de to drejende bevægelser sker ved at gear rotoren eller drejestemplet til et stillestående tandhjul ved hjælp af en indvendig tandkrans i rotoren. Stemplet drejer nu én gang rundt om sig selv for hver tre fulde omdrejninger af akslen, og stemplets hjørner tegner den nævnte geometriske form. Det afgørende er imidlertid, at der mellem rotoren og motorhuset dannes tre kamre, som skifter volumen under stemplets roterende bevægelse.

Kompressoren bliver til motor

Det var nu ikke en motor, Felix Wankel oprindeligt havde i tanker, men en kompressor, og som sådan blev princippet først udnyttet i NSU's verdensrekordmaskiner. På saltsøsetten i Utah kørte NSU med Baumm's "flyvende liggestol" 196 km/t med en 50 ccm motor, der takket være den specielle kompressor havde en litereffekt på 260 hk.

Denne kompressor kunne i det mindste teoretisk uden videre omdannes til en motor, der var så genial, at man næsten ikke turde tro på det. Den ville arbejde efter fire-takt princippet, men stemplet kunne ganske som i en to-takt motor styre indsugning og udblæsning.

For første gang havde man her en stempelmotor uden frem- og tilbagegående dele, og altså en motor der kunne afbalanceres til det fuldkomne, hvad de mekaniske elementer angår.

Det er meget belærende, at selv nutidens bedste teknikere ikke på egen hånd kan løse alle opgaver, og det blev professor Bayer på Stuttgarts Tekniske Højskole, der definerede og beregnede den optimale form på den geometriske figur i motorhuset samt leverede tegningerne til den specielle slibemaskine, der skulle foretage den endelige udformning af motorhusets indre.

Den 1. februar kunne man i NSU's forsøgsafdeling starte den første forsøgsmotor, der efter et par spredte tændinger gik rent "i perioder på flere minutter". Efter forbedringer på kølesystemet og tætningen mellem rotor og motorhus virkede motoren så pålideligt, at man kunne foretage regulære effektmålinger. Disse viste, at motoren med et kammervolumen på 125 ccm udviklede 29 hk ved 17.000 omdr./min ved et effektivt middeltryk på 8,5 kg/cm², og dermed var man allerede på højde med flere almindelige stempelmotorer. I denne motor benyttedes det oprindelige princip med et rent roterende stempel og desuden roterende motorhus - motortypen kaldtes DKM (Drehkolbenmotor).

I 1958 gik man så over til det før omtalte princip med faststående motorhus og drejestemplet anbragt på en ekscentrik på hovedakslen, og denne motortype gik under betegnelsen KKM (Kreiskolbenmotor), idet stemplet under sin rotation samtidig foretager en kredsende bevægelse rundt om hovedakslen. Denne motor var vandkølet, og rotoren desuden oliekølet.

I 1960 kunne man så præsentere en Wankel-motor med 250 ccm kammervolumen med en maksimaleffekt på 30 hk ved 5.000 omdr./min., som på NSU fabriken bestod en 100 timers fuldkraftprøve. Mod forventning kunne denne motor også give et anstændigt drejningsmoment ved de lavere omdrejningstal, og den blev indbygget i en NSU Prinz III, der kom til at fungere som rullende prøvebank.

Græsslåmaskiner med Wankel-motor på NSU fabriken

For 10 år siden - altså i 1962 - var Wankel-motoren udviklet til en pålidelig motor, men den kunne bedst lide at arbejde ved konstante omdrejningstal. Naturligt nok udviklede man så motortyper til formål, der krævede konstante omdrejninger, medens man eksperimenterede videre med bilmotorerne. Der kom pludselig typenumre og KKM 150 overraskede verden og såede vel også lidt skepsis, da den blev indbygget i en "ubemandet" lille motorbåd, der kunne trække en vandskiløber, som holdt fast i et slåmaskinelignende håndtag, med hvilket han også styrede og dirigerede farten. Skeptikere måtte uvilkårligt udbryde: "Nå så det var den slags, den geniale motor kunne bruges til".

Samtidig byggede man hos NSU type KKM 60, der var en lille let luftkølet motor med stemplet kølet af indsuigningsgassen. Forsøgsmotorer blev indbygget i de slåmaskiner, der skulle klippe græsset

ved NSU fabriken, og den blev forløberen for de stationære motorer.

Den første serieproducerede Wankel-bil

NSU præsenterede den første produktionsmodne bil med Wankel-motor på automobiludstillingen i Frankfurt i 1963, og året efter begyndte produktionen af NSU Spider med et kammervolumen på 500 ccm og en maksimaleffekt på 50 hk ved 6.000 omdr./min. For første gang skulle man se, hvordan motoren opførte sig, når den kom i hænderne på et større antal almindelige bilister.

Det skal indrømmes, at der opstod visse vanskeligheder, blandt andet fordi det specielle tændingsanlæg ikke tålte nogen form for skødesløshed, og visse problemer med tætningen eksisterede stadig. Et andet problem var beskatningen, da man i Tyskland har vejskat beregnet af slagvolumen, men hvad skulle man rette sig efter? Myndighederne var ikke tilfredse med kun at beskattede de 500 ccm i kammervolumen, men det ville også være for meget at lægge de tre kamre sammen, og derfor besluttede man sig for en vægtafgift, som f.eks. benyttes i Danmark.

Samarbejde mellem NSU og licensfabrikerne

Allerede på papiret så Wankel-motoren overbevisende rigtig ud, og hvert eneste forsøg har kun bekræftet denne motors store muligheder, men udviklingsarbejdet har været langt og omfattende. NSU stod i længden ikke alene med den opgave på mindre end 20 år at skulle gøre en helt ny motortype lige så driftssikker og slidstærk som den gammelkendte stempelmotor, som man havde beskæftiget sig med i mere end 75 år. Et stort forskningsarbejde skete ikke alene hos NSU, men også hos de mange licensfabriker.

Curtiss-Wright i USA var den første licenstag, og da man gik i gang med eksperimenterne i forbindelse med en lille Wankel-motor udleveret fra NSU, måtte man ret omgående sende et telegram til Tyskland med anmodning om at få reservedele. NSU spurgte i et andet telegram om, hvad der var gået i stykker, og det lakoniske svar lød: "Alt undtagen afbryderkontakten". Få år senere kunne Curtiss-Wright imidlertid vise verdens hidtil største Wankel-motor med et kammervolumen på ikke mindre end 32 liter. Den udviklede 800 hk ved 1525 omdr./min. Samme firma sendte Wankel-motoren i luften, da man til Lockheed Aircraft Corporation leverede en motor på 210 hk (SAE) til et natreknoseringsfly.

Andre fabriker fremstiller bådmotorer og motorer til snescootere, Rolls-Royce beskæftiger sig navnlig med Wankel-motorer efter dieselprincippet, og alle betydende bilfabriker med få undtagelser bygger eller arbejder med Wankel-motorer på licensaftaler.

Den første motorcykel med Wankel-motor blev den tyske Hercules 2000 med en Wankel motor type KM 914 fra Fichtel & Sachs, men da så stor en motorcykelfabrik som Suzuki også har licens, får den sikkert snart følgeskab. Den mindste Wankel-motor bygges af Johannes Graupner, den er på 5 ccm i kammervolumen, og den udvikler 0,65 hk - beregnet for modelfly.

Ro 80 fjernede enhver tvivl

Uanset hvilke nyheder, der fremkom om Wankel-motoren, var der stadig skeptikere, som tvivlede på dens endelige gennembrud. Denne tvivl blev fjernet, da NSU præsenterede sin Ro 80 med to-kamret Wankel-motor.

I modsætning til den tidligere NSU Spider var der ikke her tale om de forhåndenværende søms princip, men om en bil konstrueret på grundlag af Wankel-motoren. Man kan roligt sige, at en Ro 80 ikke er bygget ned til de dimensioner, som Wankel-motoren kunne betinge, og det er da også ganske tydeligt, at NSU én gang for alle ville slå fast, at nu er det alvor. Den mest avancerede automobilteknik blev sammen med den mest avancerede motor indbygget i en prestigepræget bil med fantastisk fine køreegenskaber og et forbilledligt godt bremsesystem.

Selv i denne vogn var der til at begynde med vanskeligheder, der dog hovedsageligt skyldtes bilisternes negligeren af justeringer og andre forskrifter, men med disse erfaringer bag sig, kan NSU i dag give en ganske almindelig fabriksgaranti, og en Ro 80 kører som biler med konventionel stempelmotor sine 120.000 km uden at blive træt.

Erfaringerne fra NSU Ro 80 er nu så gode, at man en dag på fremtidige modeller af Audi vil kunne stille kunderne frit med hensyn til valg af enten konventionel stempelmotor eller Wankel-motor. Der ligger et helt enormt forskningsarbejde bag, men det er i virkeligheden udført på rekordtid. Selvfølgelig skal dette forskningsarbejde betales, men på længere sigt vil Wankel-motoren blive billigere at producere end den almindelige stempelmotor, den vil også med tiden kræve mindre service, og dens beskedne størrelse og vægt vil antagelig bane vejen for helt nye biltyper.

Civilingeniør Peter von Manteufel: Wankel-motorens vej fra præsentationen af NSU Ro 80 i 1967 til i dag.

Wankel-motoren i NSU Ro 80 har haft en udviklingshistorie, der indtil nu har været alt andet end kedelig. Den, der var så heldig at være med, oplevede det dybeste dybe og højeste høje.

De er kommet i dag for at opleve de sidste 4 års modgang og medgang sammen med os. De ville glæde os, hvis De samtidig med et blik bag kulisserne fik svar på nogle spørgsmål, som f.eks. "hvad var der nu virkelig i vejen med den motor", eller "hvorfor gik ikke alt fra begyndelsen som det skulle".

Grundlaget for beretningen er de vigtigste fejl, som vort metodiske forsøgsarbejde afslørede. Vi skal forsøge at fortælle om selv svære tekniske ting i et letforståeligt sprog.

1. Udviklingskonceptet.

Lad mig som indledning kort fortælle om udviklingskonceptet for NSU Ro 80.

Det daværende NSU MOTORENWERKE AG producerede personvogne på indtil 1,2 liter volumen og med en motorydelse på 70 heste. Konceptet til udviklingen af Ro 80 fra 1965 lød i al sin enkelthed således:

Til Wankel-motoren skulle der uden om planlægges en komfortabel rejselimousine, som til mindste detalje skulle understrege denne motors særlige kendetegn. (Motto: "Rejse uden træthed").

For at være sikker på at kunne afsætte det relativt ringe antal, skulle vognen være sådan, at den i form og teknik skulle adskille sig fuldstændig fra konkurrenceprodukter og være et ægte købsalternativ.

Når man arbejder med små produktionstal, betyder variationer for at opfylde særlige ønsker (det såkaldte ekstraudstyr) en kostbar typemangfoldighed. Derfor opstod salgs-ideen: "Komplet bil" altså inklusive servostyring, inklusive servobremser, inklusive selektiv-automatik, inklusive tåge-lygter, inklusive ægte to-kreds bremseanlæg, inklusive opvarmet bagrude etc., etc. Det er klart, at en så veludstyret basismodel ikke kan blive så billig som en skrabet standardmodel.

Den skulle have et maksimum af primær og sekundær sikkerhed.

Udviklingen afsluttedes på forholdsvis kort tid bag de sædvanlige, lukkede døre med den sædvanlige veldoserede indskretion, for man truede jo ikke noget bestående marked. Vore konkurrenter var både skeptiske og mistroiske.

2. Udviklingsopgavens omfang.

For at opfylde disse krav fik udviklingsopgaven et usædvanligt omfang. Det nye, vi skulle lave, bestod af:

Motor

Automatik

Gearkasse

Karrosseri, styretøj, bremses, undervogn og hjulophæng, ekstraaggregater som servostyring etc., endvidere materialer

fremstillingsmetode og produktionsanlæg.

Ikke blot udviklingsafdelingen men også produktionsplanlægningen, selve produktionen, kvalitetskontrol, salg og service, ja selv tilbehørsindustrien blev konfronteret med nye problemer. På et senere tidspunkt måtte også kunderne lære at betjene denne motor, der uden besvær og ganske lydøst går op på høje omdrejningstal. Ro 80 projektets usædvanlige omfang førte også til usædvanlig mange reklamationer. Relativt set lå reklamationerne på karrosseriet på det normale niveau, og der kom praktisk talt ikke reklamationer over styretøj, bremses og undervogn. Men motoren gav vanskeligheder.

Fejlstatistik, garanti og kulance.

Den normale tyske og europæiske garantiperiode blev tredoblet som hjælp i begyndelsen. Desuden erstattede man pr. kulance næsten over alle grænser.

Siden Ro 80 så dagens lys, er der blevet ført en eksakt fejlstatistik: en selvfølgelighed. Men: en saglig vurdering af motorskader kunne kun ske på fabriken. Ganske vist havde vi i lang tid skolet vore vigtigste forhandlere på fabriken, men skolingens skete ved hjælp af nye motorer. Typiske wankelskader havde de og vi endnu ikke oplevet. Derfor blev alle reklamationer på motoren, som forhandleren ikke troede at kunne afhjælpe udefra, videresendt til fabriken sammen med den demonterede motor. Vi betoner "ikke troede at kunne afhjælpe", for det viste sig hurtigt, at usikkerheden og en vis nervøsitet hos forhandlerne også i harmløse tilfælde førte til unødvendige ombytninger af motorer. Kategorien af "motor uden begrundet reklamation" var forfærdende høj. Den nåede undertiden op på over 35% af de reklamerede motorer! Ansvarlig herfor var:

Usikkerhed, nervøsitet og overdreven forsigtighed trods udførlig skoling hos forhandlerne,

uoverlagt behandling gennem forhandleren, understøttet af den betingelsesløse kulance fra fabrikens side. Forhandlerne blev ikke irettesat og hjulpet, når de indsendte motorer til ombytning, selv om motorene var i orden,

umoralsk holdning blandt kunderne, som udnyttede den lange garanti og som åbenbart ikke kendte kulancens omfang. Derfor kom der uforholdsmæssigt mange reklamationer lige før kilometertælleren viste 30.000 - udløbet af den ordinære garantiperiode.

Motorer med reklamationer som "for lav ydelse" eller "for højt olieforbrug" blev principielt undersøgt i prøvebank, hvis ikke enkle tests kunne bekræfte reklamationens rigtighed. På den måde lærte vi at skelne omhyggeligt mellem kundereklamationer og virkelige motorreklamationer. Bedømmelsen af åbnede reklamationer i motorreparationsafdelingen skete altid i overværelse af specialister fra udviklingsafdelingen. Det blev muligt at observere skader hurtigt og nøjagtigt og følge succesen op med hurtige forbedringer.

Forskningen efter årsagen var særdeles vigtig for os. Desværre måtte vi konstatere, at der blandt de motorer, der rettelig blev reklameret over, var en stor del, som kunne lægges kunderne til last. Kong kunde forære os frem for alt:

Skader på grund af for højt omdrejningstal. En omdrejningsbegrænsning blev afvist fra vor side af sikkerhedsmæssige grunde.

Skader på grund af oliemangel, da der ganske enkelt ikke blev fyldt olie på i rette tid.

Varmeskader, da uhensigtsmæssige ekstralygter blev monteret foran kølergitteret, hvorved de reducerede køleluftstrømmens mængde.

Men i det følgende vil vi komme ind på årsager til fejl, som ikke kunne lægges kunde eller service til last.

4. Årsager og overvindelsen af de alvorligste fejl.

De største besværligheder havde vi på følgende områder:

Tætningslisterne kunne ikke holde
Tænding
Køling
Oliekredsløb

Disse områder vil vi nu fortælle udførligt om.

4. 1. Tætningslisterne.

Problemet med slidmærkerne i motorhuset kunne man i NSU Spiders 50 hestes motor beherske ved hjælp af en tætningsliste af hårdtpresset kul, som løb mod motorhusets hårdtforchromede inderside. Denne materialesammensætning blev opdaget i Tyskland i 1962. Ved bankende forbrænding havde kultætningerne imidlertid tendens til brud. Medens kultætningslisterne blev overtaget af Toyo Kogyo i Japan og konsekvent videreudviklet, stillede vi os selv denne udviklingsopgave for NSU Ro 80: "Udvikling af en tætningsliste af metal", nærmere betegnet "Udvikling af en egnet slidbane, som tillod anvendelse af en tætningsliste af metal, så de ujævne slidmærker (Rattermarken) kunne undgås".

En galvanisk fremgangsmåde, der hidtil kun havde været praktiseret i laboratorierne blev ændret og gjort modne til seriefremstilling. Resultatet af ca. 2 års arbejde var den såkaldte elnisilbelægning, fig. 1.

Motorhusets hovedmateriale består af aluminium, som først ad kemisk vej bliver gjort ru og derefter forsynet med et tyndt lag nikkel med bestemte tilsætningsstoffer. Derefter bliver der påført et nikkellag, der indeholder kiselkarbidpartikler, i et regelmæssigt lag. Kiselkarbid er et hårdt stof (keramik) og bliver ellers anvendt grovkornet til slibeskiver. Husets overflade slibes. Det er første gang i verden, at dette galvaniske legeringslag bliver anvendt serie-mæssigt. Det er særdeles slidstærkt og muliggør brugen af mange metalliske stoffer som tætningslister. Så nu var problemet kun at finde et materiale til tætningslisterne, der var tilstrækkeligt slidstærkt.

I starten af produktionen havde vi opnået ganske gode resultater med et stempelringsmateriale kaldt IKA. Fig. 2. viser opbygningen af den gamle kultætningsliste og IKA-listen. Ved vore forsøg var den metalliske IKA-tætningsliste kultætningslisten overlegen på følgende punkter:

Selv vedvarende drift med bankende forbrænding (benzin med lavt oktantal ROZ 79 - standardbenzin i Tyrkiet) ødelagde ikke tætningslisten.

Højdeslitagen gav forventninger om normal holdbarhed for en sportslig motor.

Under drift havde den en bedre tilpasningsevne til motorhuset, hvis dette på grund af termiske påvirkninger hvælver sig lidt.

På siden af rotoren viste der sig selv efter længere driftstid heller ikke utætheder, fordi tætningslistens hjørner kunne justeres. På den måde blev motorens drejningsmoment praktisk taget uændret i forhold til udgangsniveauet.

Men et punkt havde vi imidlertid overset:

I løbet af kort tid optrådte der på markedet et fænomen, som vi ikke havde mødt i udviklingen. Kunderne reklamerede over at motoren gik i stå i tomgang, når man satte vognen i gear og drejede rattet helt over til anslag. En højere indstilling af tomgangen bragte kun en kortfristet forbedring. Når dette fænomen havde varet en tid, gik det ud over accelerationen. Der var alle tegn på gasutæthed, der kun gjorde sig bemærket ved lave omdrejningstal, på grund af den længere tid, der er til rådighed til gasgennemsvivning. Vi var forbløffede over, at vi ikke under de sædvanlige, dybtgående prøver havde stødt på dette fænomen.

De demonterede motorer viste, at tætningslisterne var blevet kortere. Dette skyldtes entydigt, at midterstykkets højde var slidt ned hurtigere end hjørnedelene. Vi fandt også usædvanligt høje slitageverdier. Hvad mon grunden var?

Omhyggelige analyser af kundernes vaner (olietyper, køremåde, bykørsel etc.) gav mistanke om, at hyppige korte ture kunne være skyld i den uventede tætningssslitage. Kunder, der kørte langture og vore langtidstests havde nemlig ikke givet anledning til reklamationer.

Vi gennemførte altså rene byforsøg og kom til lignende resultater. Der skete åbenbart noget ved lave motortemperaturer.

Med et raffineret måleinstrument kom vi til resultatet på fig. 3. En IKA-tætningsliste blev på toppen bestrålet med radioisotop kobalt 56 og sat ind i en motor. Reduktionen i den radioaktive strålingsintensitet blev målt udenfor motoren med et såkaldt scintilloskop, så nu kunne vi måle slidet på tætningslisten. Man erkendte meget tydeligt at slitageverdien på IKA-tætningslisten var flere gange større ved 50° kølevandstemperatur end ved varm motor.

Som næste punkt skabte vi en enkel opbygning, som gav mulighed for en hurtig undersøgelse af fænomenet. Den ydelse, som motoren frembragte ved 2000 omdr./min. og halv belastning, blev optaget af seriemæssig momentomformer. Dette opnåede vi ganske enkelt ved at sætte motoren i gear og blokere differentialet. På denne såkaldte kortturssimulator kunne vi fastslå den på fig. 4 viste sammenhæng mellem motortemperaturen og højdesliddet på IKA-listen. Man kender i princippet det samme fra stempelmotoren. Det nye her var blot det usædvanligt høje slid.

Ved vore prøver fra seriens start havde vi kørt dag og nat, motorene var aldrig blevet kolde. Vores fejl bestod i, at vi med hensyn til koldsliddet forudsatte samme forhold som for stempelmotoren.

I januar 1969 installerede vi 4 såkaldte kortstrækningssimulatore, som hovedsageligt blev betjent i kølevandstemperaturområdet mellem 30 og 50°. Efter opvarmning af kølevandet til 50°C blev motoren standset ved hjælp af en termostat, derefter blev kølevandet afkølet til 30°C i en varmeveksler, og motoren blev atter startet. Fænomenet viste sig hovedsageligt at være af kemisk art, en såkaldt koldkorrosion, som kan overvindes med specialolier eller specialbrændstoffer. Men da moderne biler jo skal kunne køre med almindelige solgte mineralolier, gjaldt det om at finde et nyt tætningslistemateriale, som var modstandsdygtigt. Vi afprøvede langt over 100 materialer og fandt nogle, som var væsentligt bedre. Belægningen i motorhuset, olie kvalitet og oliemængde blev omhyggeligt holdt konstant. I øvrigt erfarede vi, at problemet ikke kunne løses med større oliemængder. Til sidst valgte vi ferrotic som nyt materiale til serieproduktionen. Ferrotic er et såkaldt cermet (keramisk forbindelse med metal), og består frem for alt af jern og titankarbid og kan bringes op på en Rockwell-hårdhed på over 65 HRC. Ferrotic var mere end 15 gange bedre ved koldslitage og mere end 3 gange bedre ved varmeslitage.

Det særlige trick lå nu i anvendelsen af ferrotic som en del af tætningslisten. Med et midterstykke af ferrotic og hjørner af det blødere materiale IKA havde man ved alle driftsformer sikret sig, at midterstykket ikke blev slidt hurtigere end hjørnerne.

Alle vore forsøg ved delbelastning, fuld belastning, ved kold og ved varm motor viste, at tætningslisten samlede længde med en lille afvigelse på kun ca. 0,04 mm forblev konstant. Desuden blev højdeslitagen på hjørnerne bremset og afgrænset på grund af det hårde midterstykke.

Siden indførelsen af denne tætningsliste i serien fra begyndelsen af 1970 har vi ikke haft et eneste tilfælde af tab af ydelse eller omdrejningsmoment. Vore prøvekørsler på over 100.000 km har vist, at hele tætningslistens længde forbliver intakt og at højdeslitagen, se fig. 5, kun når op på 15% af den tilladte værdi, således at man ligefrem har mulighed for at sætte brugte tætningslister i nye motorer. Konstruktionen af den delte tætningsliste med hårdt midterstykke havde dermed som selvjusterende element vist sig at være alle andre markedsførte tætningslistetyper langt overlegne.

Til demonstration heraf har vi skilt en af vore mange 100.000 km-motorer ad, rensset enkeltdelene og nu kan De overbevise Dem om de enkelte deles gode tilstand.

4. 2. Vanskeligheder med tændingen.

Ved indførelsen af Ro 80-motoren blev denne forsynet med en dobbelt spoletænding. En særlig to-kredsfordeler fordelte tændkredsen, der sker i to samtidige parallelle tændinger, på det forreste og bageste rotorhus. I praksis viste der sig følgende ulemper:

Høj slitage på primærstrømsafbryderne (knikserkontakterne) på grund af hurtig tændingsrækkefølge. Derved fremkom der endvidere en forskydning af tændingstidspunktet med tiltagende afbrænding af kontakterne.

Vanskelig indstillingsmulighed af begge tændingstidspunkter og derfor ofte i praksis fejlindstillinger.

Tilbøjelighed til tændingssvigt på grund af kortslutning, fordi tændrørene tilsmudsedes let i delbelastningsområdet.

Sen tænding bevirker reduceret ydelse og stigende forbrug af benzin, for tidlig tænding fører til krafttab, tændingsbanken og overophedning af motoren. Den store afbrænding på knikserkontakterne blev afhjulpet ved at forstærke afbryderkondensatoren allerede i foråret 1968.

For at imødegå vanskelighederne er der siden automobiludstillingen i Frankfurt i 1969 anvendt et thyristor-styret tændingsanlæg med enkelttænding. Gennem knikserkontakterne går nu kun styrestrømmen til thyristorerne (0,6 ampere i stedet for tidligere ca. 5 ampere). Den hurtigere spændingsstigning på sekundærsiden bevirker mindre følsomhed overfor kortslutning som følge af snavsede tændrør. Indstillingen af tændingstidspunktet kunne nu blot foretages på en knikserkontakt, og bortfaldet af det underste tændrør, som var anbragt i motorhusets varmeste område, viste sig at være særdeles fordelagtigt for dets levetid. Meromkostningerne for thyristor-tændingsanlægget blev i øvrigt delvis udlignet, fordi alle dobbeltkomponenter til den anden tændingskreds faldt bort.

Et kapitel for sig var spørgsmålet om glødetænding.

Glødetænding er tidlig tænding, altså før det egentlige tændingstidspunkt, og som kan fremkaldes ved glødende aflejring i forbrændingskamret. På fig. 6 er trykforløbet ved normal forbrænding og ved glødetænding skitseret.

I det første serieår ødelagde glødetænding mange motorer. Den, som har studeret den sidste tids tekniske literatur, ved at problemet glødetænding også har været akut for stempelmotoren. Årsagen hertil blev fastslået at være, at nogle af mineralolierne i 1968 havde et stærkt forøget askeindhold. Medens stempelmotoren aflejrerede asken ved udstødningsventilen, så glødetændingen blev startet af glødende askedele ved udstødningsventilen, skete aflejringen i Wankel-motoren i tændrørsområdet. Virkningerne af glødetænding i Wankel-motoren var:

stigning af kølevandstemperaturen
krafttab
stærkt forhøjet materialetemperatur
stærkt forøget tætningsslitage
holdestifterne til tætningssringene faldt af
tætningsslåsene faldt af
revner i motorhuset på de varmeste steder

Glødetænding optrådte især, hvis motoren i længere tid havde kørt bykørsel, og der var dannet aflejringer på tænderne. Ved derpå følgende fuldbelastning på motorvejene kom aflejringerne til at gløde. Da materialernes temperatur til dels stiger til omkring 60°C over det normale, fører dette let til plastisk deformation i aluminiummaterialet. Ved motorer med glødetændingsskader var man derfor nødt til at skifte hus og rotor. Det blev i 1969 afhjulpet på følgende måde:

De øverste tænder blev fornyet.

Tændingstidspunktet blev stillet lidt tilbage ved fuld belastning og høje omdrejningstal for at sænke tænderstemperaturen.

Forbedringer i kølesystemet.

Det nye tænder er hovedårsagen til forbedringerne, se fig. 7. Spalten mellem den indvendige del af tænderet og kappen er så smal, at en flamme ikke kan stikke ud fra tænderets indre. Serviceafdelingen fik besked på for hver 10.000 km at rense tænder og tænderhul for aske.

4. 3. Køling.

Den lige nævnte køleforandring bestod i en forøgelse af arealet af den del af kredsløbet, som gennemstrømmes ved lukket termostat. Ved omhyggelige målinger kunne man påvise, at der ved udslag i vandtemperaturen ved åbning af termostaten også fandt tilsvarende udslag sted i forbrændingskammerets vægtemperatur.

Et blik på de mulige vandkredsløb i forbrændingsmotoren forklarer sammenhængen, se fig. 8. Medens drosseltermostater i dag er usædvanlige i motorer med høj ydelse, er kortslutningstermostaten ved udgangen af systemet vidt udbredt. Wankel-motoren i Ro 80 havde også denne termostat i begyndelsen.

Ulempen ved den var, at når termostaten åbnedes første gang, kunne man konstatere et udslag i vandtemperaturen. Det var interessant at konstatere, at det svarede til et udslag i kappetemperaturen på de varme steder, og ekstreme stigninger drillede os naturligvis. Udslaget udgør $\pm 6^{\circ}\text{C}$ ved f.eks. en vægtemperatur på 190°C . Det skadelige herved er, at det noget for varme vand allerede har været gennem motoren inden termostaten kan reagere.

Denne ulempe er i dag fuldstændig undgået ved den mest moderne placering af termostaten foran pumpen ved kølevandets indgang til motoren. Denne fremgangsmåde er også gang på gang hos andre firmaer i dag. Termostaten blander varm kølevæske ved motorudgangen med koldere væske fra køleren uden særlige temperaturudsving.

Samtidig med indførelsen af det nye termostatanlæg i september 1969, blev varmeveksleren til kabineopvarmningen forbundet parallelt med motoren for at forhøje trykdifferencen og forbedre opvarmningen af passagerkabinen. Opvarmningen blev samtidig suppleret med en ny letgående varme-reguleringsventil med forbedret reguleringskarakteristik.

Oliekredsløbet.

Efter alle disse forbedringer var der et enkelt konstruktions-element - rotorlejet - som havde de fleste reklamationer.

Vore forsøg viste, at det ved kørsel med normale omdrejningstal endda indtil 8000 omdr./min. var fuldstændig intakt. Årsagerne til at lejerne brændte sammen kunne derefter kun være:

Kørsel med omdrejningstal højere end 8000 omdr./min. eller oliemangel på grund af for lav oliestand i sumpen.

Følgende forholdsregler blev truffet og førte til de nævnte forbedringer:

Oliereserven, forskellen mellem minimal- og maksimalmærket på oliepinden, blev væsentligt forøget, hvorved der skabtes tidsmæssig større sikkerhed.

Ved forlægning af olietilførselsboringen i ekscentriken, som var et resultat af et omfangsrigt computerprogram og bortfald af en lejelomme i rotorlejet, blev olie gennemstrømningen gennem hovedlejet seksdoblet ved høje omdrejningstal. Der ved kunne rotorlejet holde til 9500 omdr./min. ved fuld belastning og til delbelastning. Desuden blev ekscentriktemperaturen ved denne ændring sænket med ca. 30°C.

Ved forringelse af arealet i den sekundære oliestrøm til smøring i aggregatdækslet kunne olietrykket forhøjes betydeligt ved lejeindgangen, f.eks. i tomgang fra 0,8 til 2,0 kp/cm².

Desuden opfandt vi en raffineret advarsel for oliemangel:

Oliepumpens sugekurv til momentomformerer blev lagt noget højere end sugekurven til motoroliepumpen. Olietryksregulatoren blev flyttet til trykledningen til omformerer. Et kort blink i olietrykslampen, f.eks. i skarpe kurver, hvor olien i sumpen løber udad, viser et fald i oliestanden, men måles i den ufarlige trykledning til omformerer, og lejerne udsættes derfor ikke for smøresvigt.

Hermed har jeg berettet om de vigtigste fejl, deres årsager og de trufne forholdsregler til afhjælpning af ulemperne.

5. Fremtiden.

Den nuværende skadesstatistik på vores Wankel-motor ligner meget en stempelmotors på grund af de netop skildrede forbedringer og småændringer. Den indeholder nu samlepositionen "diverse" til f.eks. fabriktionsfejl, montagefejl, porøse dele etc., hvis omfang blev reduceret kraftigt ved konsekvent arbejde i de pågældende afdelinger.

Kontinuerlige langtidstester i prøvebænk (det såkaldte Düsseldorf-program) og mange prøvekørsler på over 100.000 km har leveret statistiske resultater, som er magen til dem, vi kender fra velkendte stempelmotorer, der er på markedet.

På den anden side har vi måttet erkende, at udviklingen af en Wankel-motor med 15% mere mellemtryk end hos vore licens-tagere Toyo Kogyo i Japan betyder uforholdsmæssige større omkostninger. Desuden giver de europæiske motorveje problemer, som er sværere at løse end japanske eller nordamerikanske vejforhold forårsager.

De har nu ved hjælp af de vigtigste eksempler set, hvilke "huller" vi faldt i, hvad der var grunden og hvilke forholdsregler, der blev taget for at forbedre tingenes tilstand. Det var vores aktion "Sorgenkind". (En populær tysk TV-serie til støtte for handicappede børn.) Vi har hæget om og plejet vort problembarn - og vi tror nu at det har fortjent "en plads i solen".

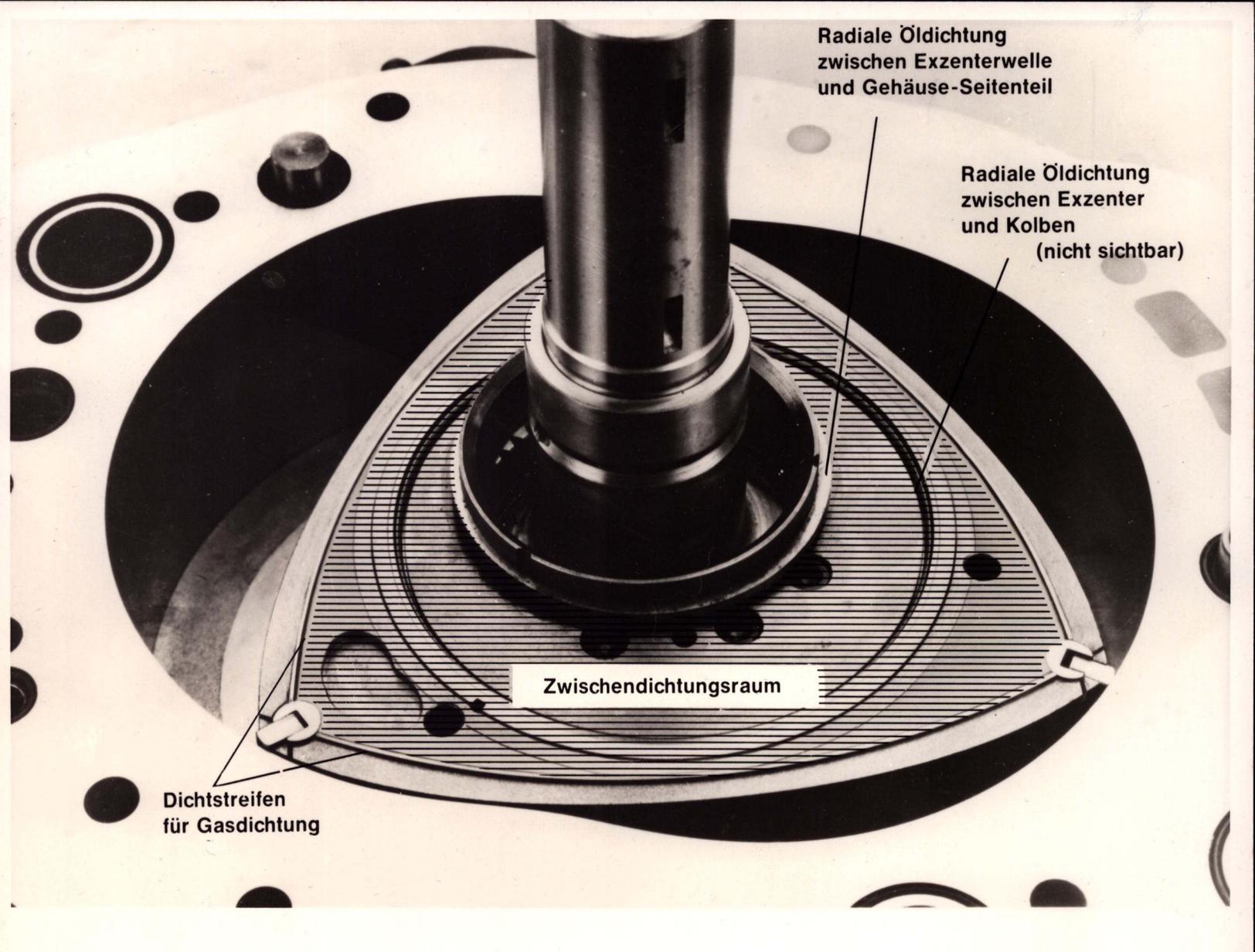
Hvordan går det videre?

Først bliver Ro 80-produktionstallene forhøjet. Virkelig store styktal kan kun afsættes i en lavere prisklasse. Terminerne for samarbejdet med Citroën (Comobil) ligger fast. Vi har også andre projekter klar. I lyset af de indhøstede erfaringer arbejder vi på at finde frem til forbedringer i produktionen, og vil derved lave en endnu mindre, endnu lettere og endnu bedre motor. Nytilgangen af ideer er stadigvæk større end vor kapacitet. Sådan vil det vel gå nogle år endnu, indtil man så at sige kan slå op i en bog og se løsningerne.

Hvilke interessante perspektiver, der viser sig på luftforureningsområdet, vil min kollega hr. van Basshuysen nu forklare Dem.

Måske må jeg til slut erindre Dem om, at professor Nordhoff endnu op til 1955 overrakte enhver kunde, der kunne bevise at have kørt 100.000 kilometer, et guldur. Men allerede dengang var den luftkølede VW-motor 20 år gammel. Med Wankel-motorens nuværende tekniske stand ville vi ikke vove en sådan skik af hensyn til vor pengepung.

Tak for Deres opmærksomhed!



Radiale Öldichtung
zwischen Exzenterwelle
und Gehäuse-Seitenteil

Radiale Öldichtung
zwischen Exzenter
und Kolben
(nicht sichtbar)

Zwischendichtungsraum

Dichtstreifen
für Gasdichtung

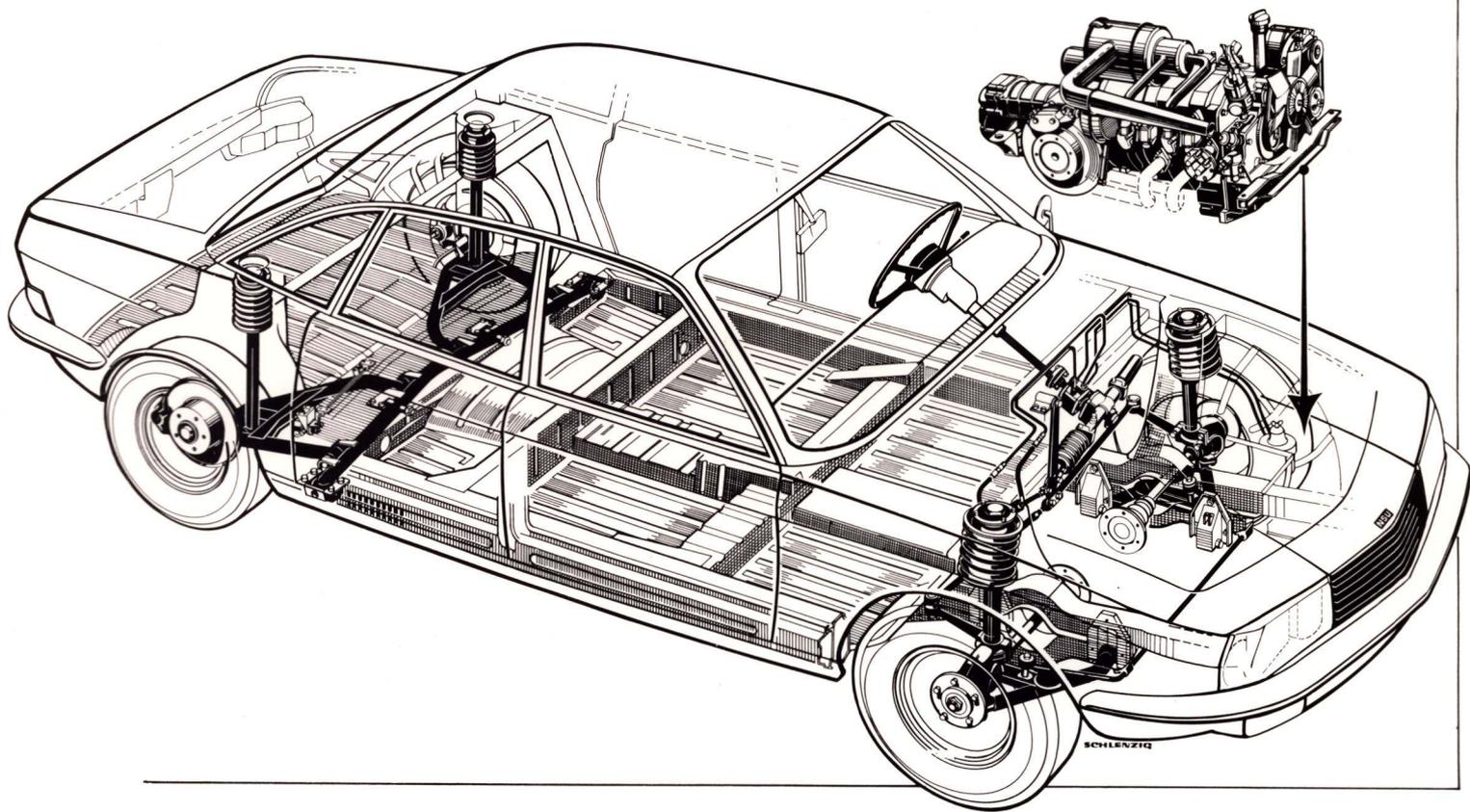
På vej til den servicefri bil.

I automobilfabrikernes stræben efter en servicefri bil har man nået en bemærkelsesværdig succes: På NSU Ro 80 skal der ikke mere skiftes olie.

Den 30. juli 1969 meddelte udviklingsfolkene: "Som følge af den yderst ringe tilsmudsning af olie i KKM 612 (den interne betegnelse for Wankel-motoren i NSU Ro 80) kan det sædvanlige olieskift ved 20.000 km bortfalde."

Hvad stak der bag dette? - Siden prøveførslerne af Ro 80 begyndte (den spøjte allerede i 1965 i stærkt camoufleret stand på vejene) har testkørene tilbagelagt omkring 5 mill. km. Prøvebænkforsøget blev foretaget forud og løb parallelt med prøveførslerne på vejene. Blandt flere andre mål havde man sat sig et bestemt med hensyn til olie, idet Wankel-motoren havde forudsætninger for at kunne gøres servicefri, og disse gjaldt det om at udnytte. Medens de traditionelle smøresteder forlængst er afskaffet på en moderne bil, skal fire-takts stempelmotoren stadigvæk have skiftet olie.

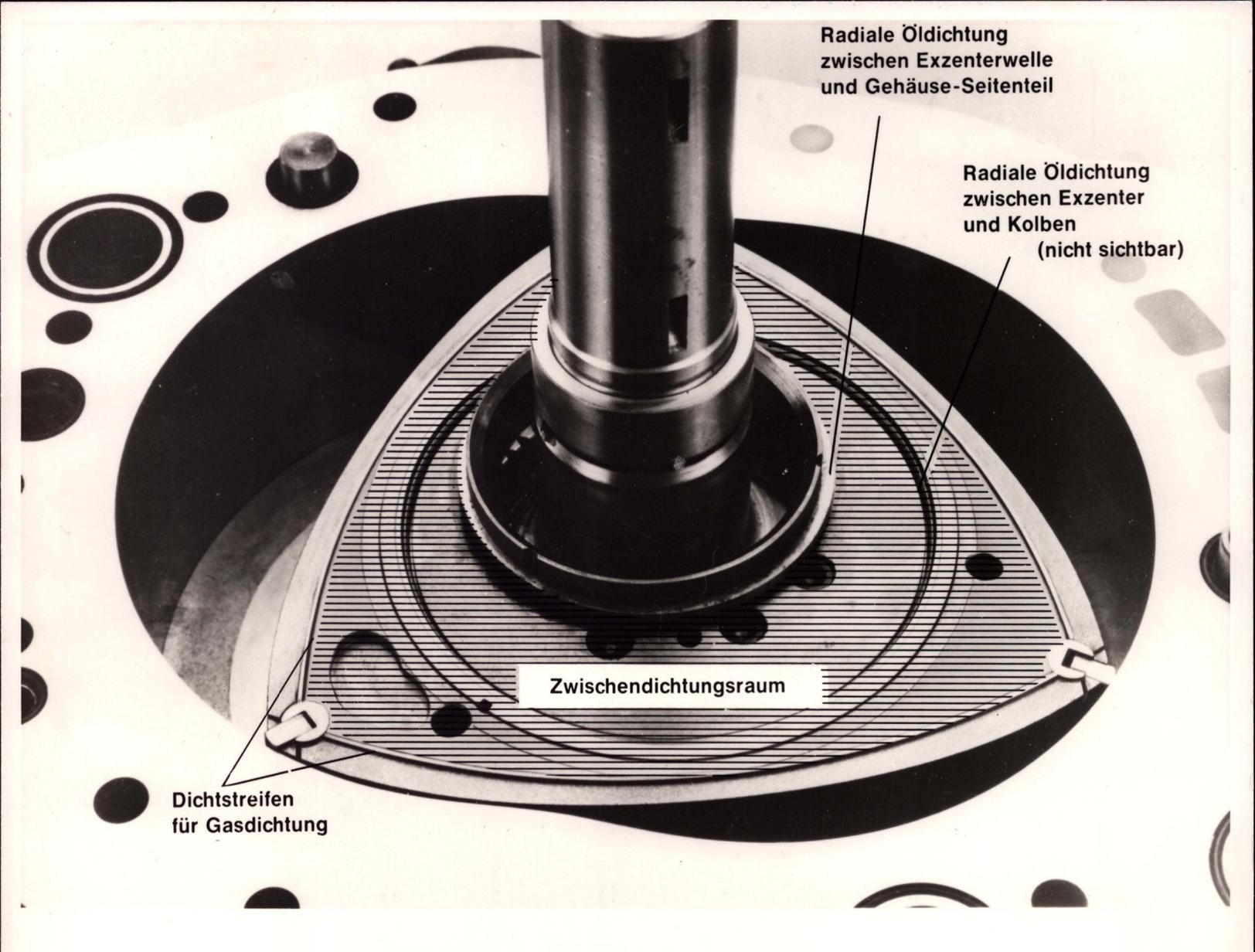
Hvilke krav stiller Wankel-motoren til olieskift? - I modsætning til stempelmotoren, hvor stempelringene i deres funktion som gas-tætninger og olieskraber ligger tæt på hinanden og hjælper stemplerne med at flytte forbrændingsgassen og tilføre cylindervæggen smøremiddel, er tætningssystemet i Wankel-motoren klart adskilt med hensyn til olie og gas. Her dannes der konstruktivt et "mellemtætningsrum", i hvilket der ved hjælp af en udluftningskanal med indskudt kugle-trykventil, kan skabes et let overtryk med de forhåndenværende vakuabonderende forbrændingsgasser. Mellemtætningsrummet forhindrer således forbrændingsgas i at trænge igennem til naboforbrændingen. Som neutral zone hindrer den ligeledes forbindelse mellem gennemblæste, flygtige forbrændingsrester og olie.



AUDI NSU A/S

Februar 1972
OR/IA

NSU/Wankel-motoren, der med sit ringe pladsbehov og lave vægt, giver nye konstruktive muligheder i modsætning til konventionelle stempelmotorer af tilsvarende ydeevne, og den bør i bilen placeres over forakslen. Her ligger den på sin ideelle plads og giver forhjulstrækkets fordele. Sikre køreegenskaber og præcis styring opnås også på grund af den gennemtænkte hjulophængning.



Radiale Öldichtung
zwischen Exzenterwelle
und Gehäuse-Seitenteil

Radiale Öldichtung
zwischen Exzenter
und Kolben
(nicht sichtbar)

Zwischendichtungsraum

Dichtstreifen
für Gasdichtung

Auf dem Weg zum wartungsfreien Automobil

Im Streben der Automobilfabriken nach Wartungsfreiheit wurde ein bemerkenswerter Erfolg errungen: Beim NSU Ro 80 gibt es keinen Ölwechsel mehr.

Am 30. Juli 1969 meldeten die Entwicklungsfachleute: "Als Ergebnis der äußerst geringen Ölverschmutzung im KKM 612 (Internbezeichnung für den Kreiskolbenmotor des Ro 80) können ab sofort die Ölwechselintervalle von 20 000 km entfallen".

Was steckt dahinter? - Seit Beginn der Erprobung des Ro 80 (er geisterte bereits 1965 als Erlkönig über die Straßen) legten NSU-Versuchsfahrer runde 5 Millionen Kilometer zurück. Prüfstandversuche liefen der Straßen-erprobung voraus und parallel. Und man hatte sich dabei unter vielen anderen Aufgaben ein Ziel gesetzt. Der Kreiskolbenmotor bietet für ein wartungsfreies Antriebs-aggregat die Voraussetzungen, die es zu nutzen gilt. Während Schmierstellen am Automobil rundum längst abgeschafft sind, hängt dem Viertakt-Hubkolbenmotor noch immer der Ölwechsel an.

Wie funktioniert das beim Wankelmotor? - Im Gegensatz zum Hubkolbenmotor, bei dem die Kolbenringe in ihrer Funktion als Gasdichtung und Ölabstreifer eng beieinanderliegen und das Auf und Ab der Kolben dem Durchblasen von Verbrennungsgasen an den Zylinderwandungen und ihrer Vernehmung mit dem Schmiermittel Vorschub leistet, sind die Dichtsysteme des Kreiskolbenmotors für Öl und Gas in Funktion und Abstand klar voneinander getrennt. - Hier ergibt sich konstruktiv ein "Zwischendichtungsraum", in dem ein leichter Überdruck (durch vagabundierende Verbrennungsgase) mit Hilfe eines Entlüftungskanals mit vorgeschaltetem Kugel-Druckventil aufgebaut werden kann. Der Zwischendichtungsraum wirkt damit weiterem Durchschlupf von Verbrennungsgasen bremsend entgegen. Als neutrale Zone erschwert er die Verbindung von durchgeblasenen, flüchtigen Verbrennungsrück-

Streifenfeder

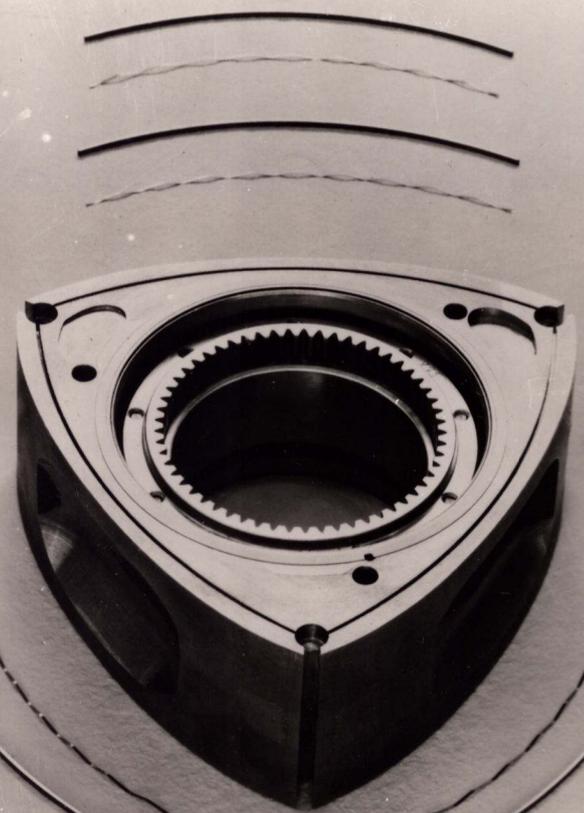
Dichtstreifen

**mehrteilige
Dichtleiste**

Leistenfeder

Bolzenfeder

Dichtbolzen



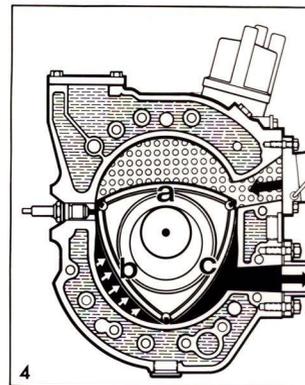
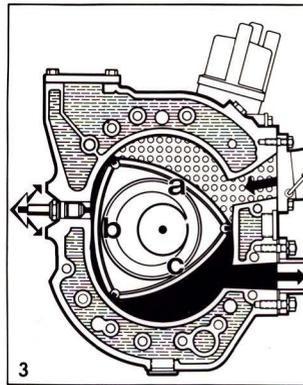
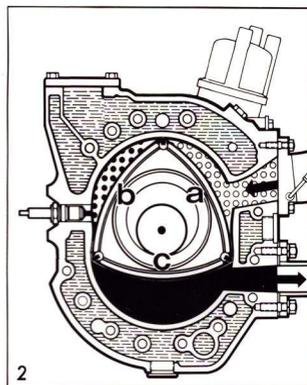
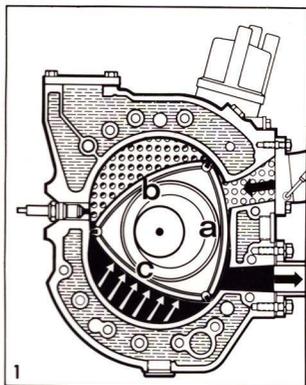
AUDI NSU A/S

Februar 1972
OR/IA

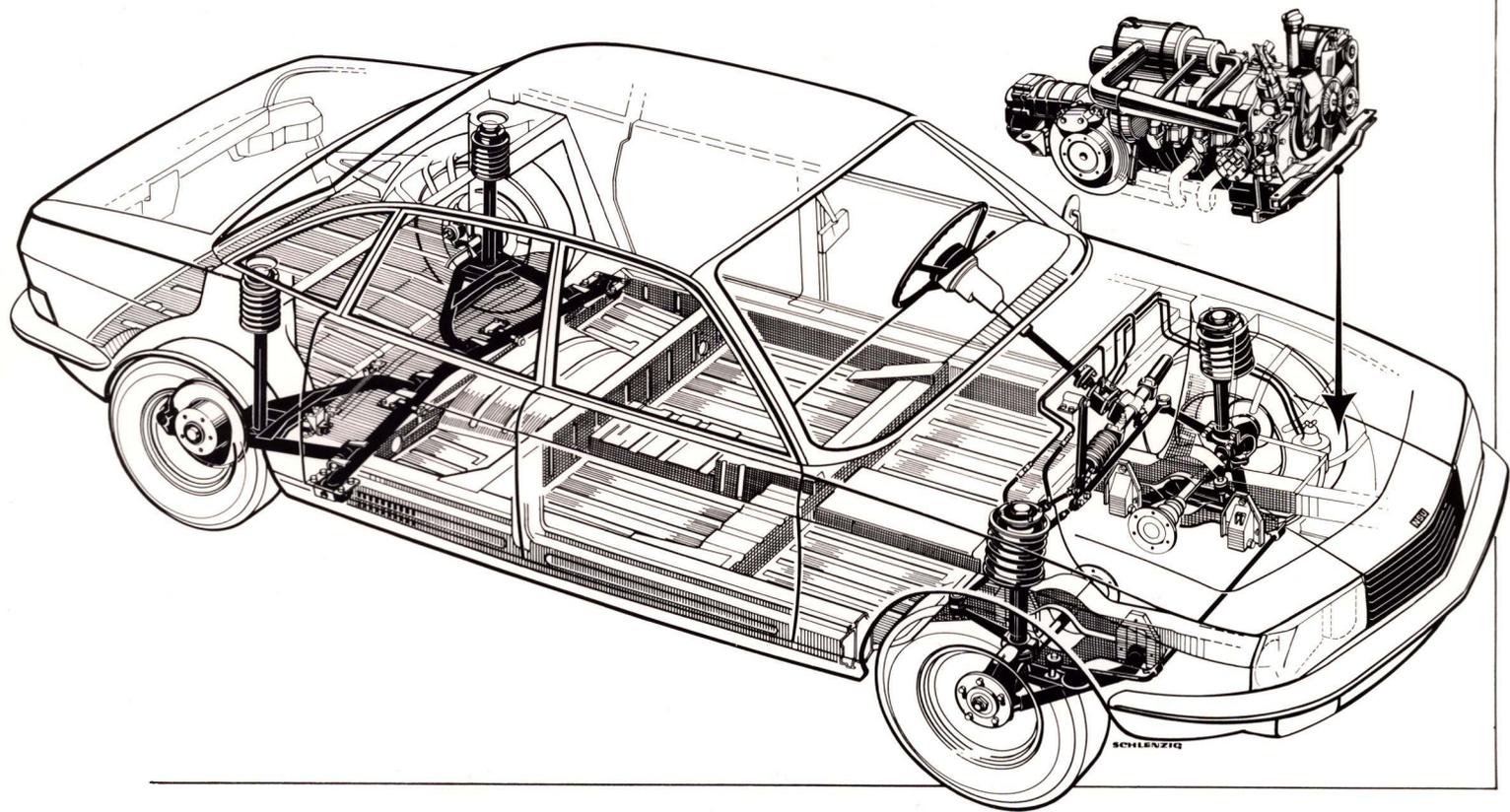
Tætningssystemet.

Alfa og omega i NSU/Wankel-motoren er gastætningen. Princippet blev udtænkt af Felix Wankel og udviklet til serieproduktion hos NSU. Tætningslisterne er i dag ikke så komplicerede, som de var i begyndelsen, og der er takket være nye materialekombinationer opnået en holdbarhed, som mindst er jævnbyrdig med tætningssystemet i stembelmotoren.

Vort billede viser de enkelte elementer i tætningssystemet.



○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	↑ ↑ ↑ ↑	■ ■ ■ ■
ANSAUBEN	VERDICHTEN	ARBEITSHUB	AUSSCHIEBEN

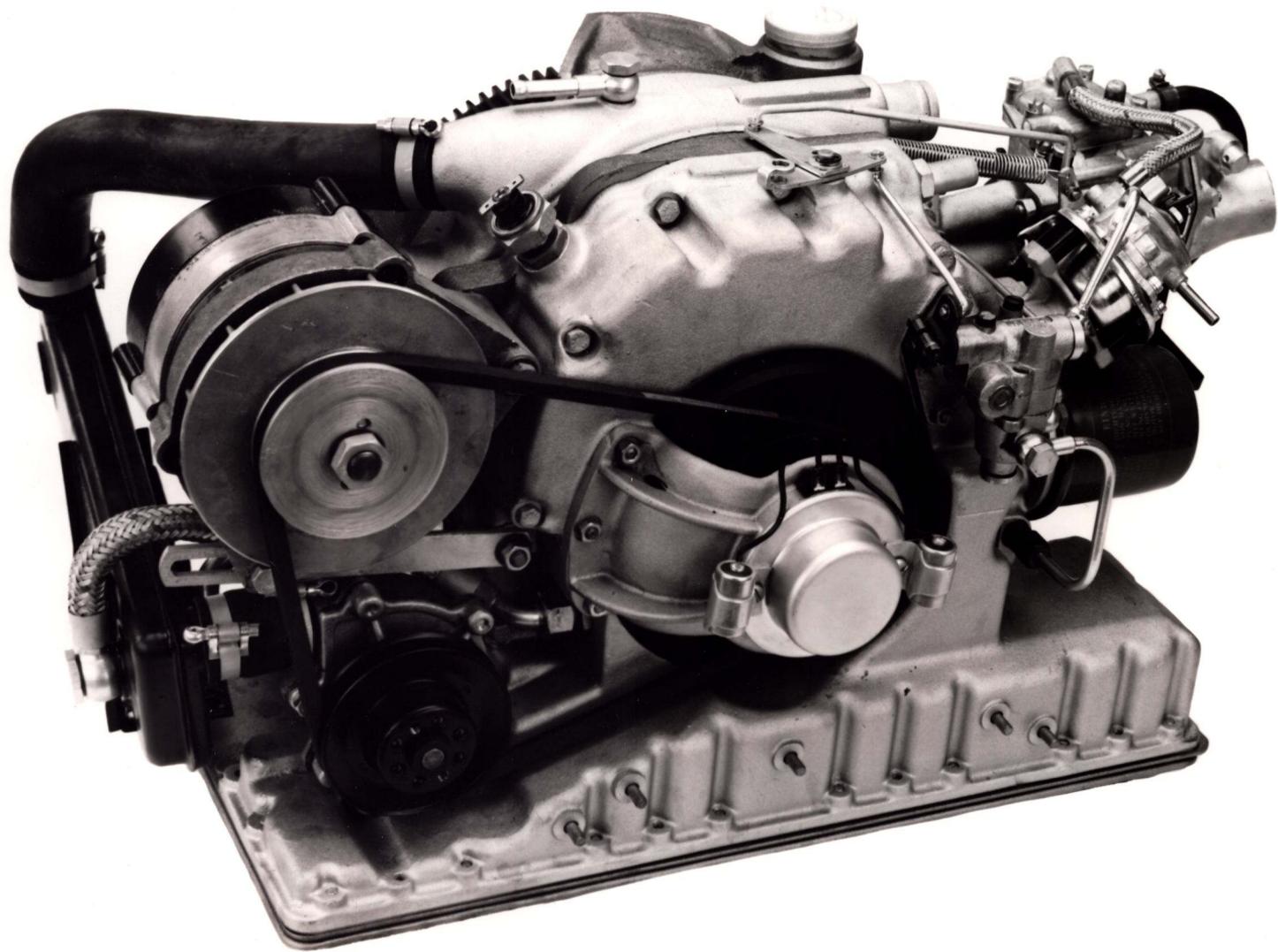


Der NSU/Wankel-Motor mit seinen neuen konstruktiven Möglichkeiten durch Platzersparnis und Leichtgewicht gegenüber Hubkolbenmotoren vergleichbarer Leistung, gehört über die Vorderachse. Hier liegt er als Frontantrieb am idealen Platz. Zielsicheres Fahren und Lenken wird dabei von einer klug durchdachten Einzelradaufhängung, die zur spezifischen Vorderachsgruppe entwickelt wurde, unterstützt.



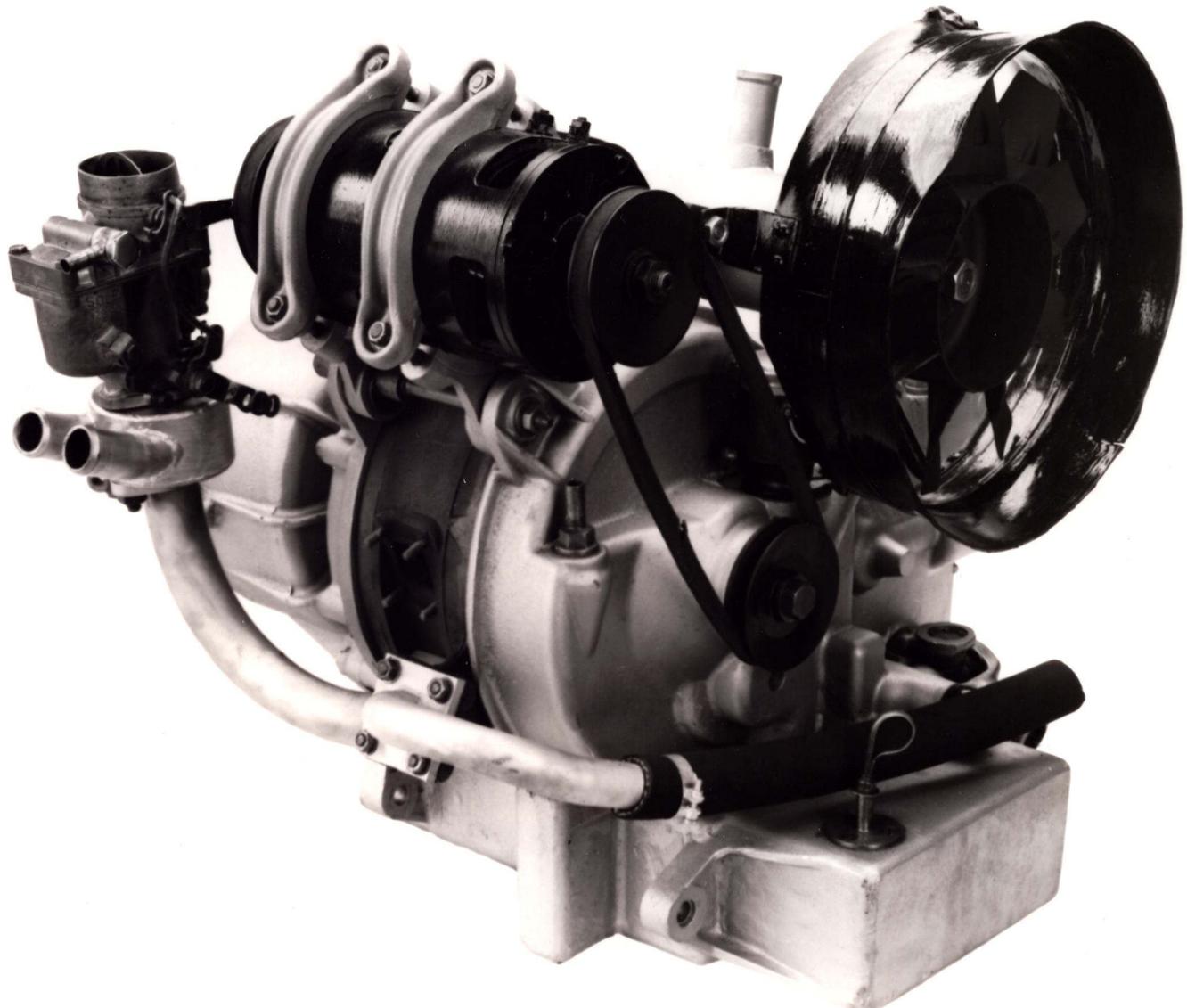
NSU ROBO MARINE 1

Das Abenteuer, mit einem Avenger Boot in die hochgehende Adria zu stechen, wird zum ganz großen sportlichen Erlebnis, wenn gleich zwei Wankel-Motorengänge 270 PS (SAE) auf die Schrauben bringen. Dem Boot sieht man es nicht an, was für ein Kraftpaket als Zwillingspaar im Heck untergebracht ist, denn zusätzlich zur Laufruhe ist den NSU/Wankel-Kreiskolbenmotoren geringes Bauvolumen eigen.



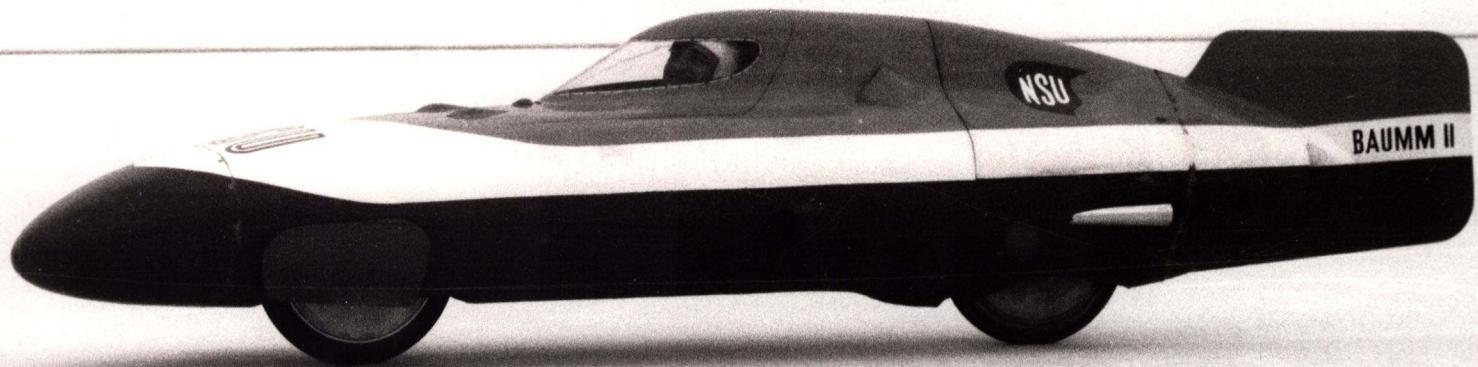
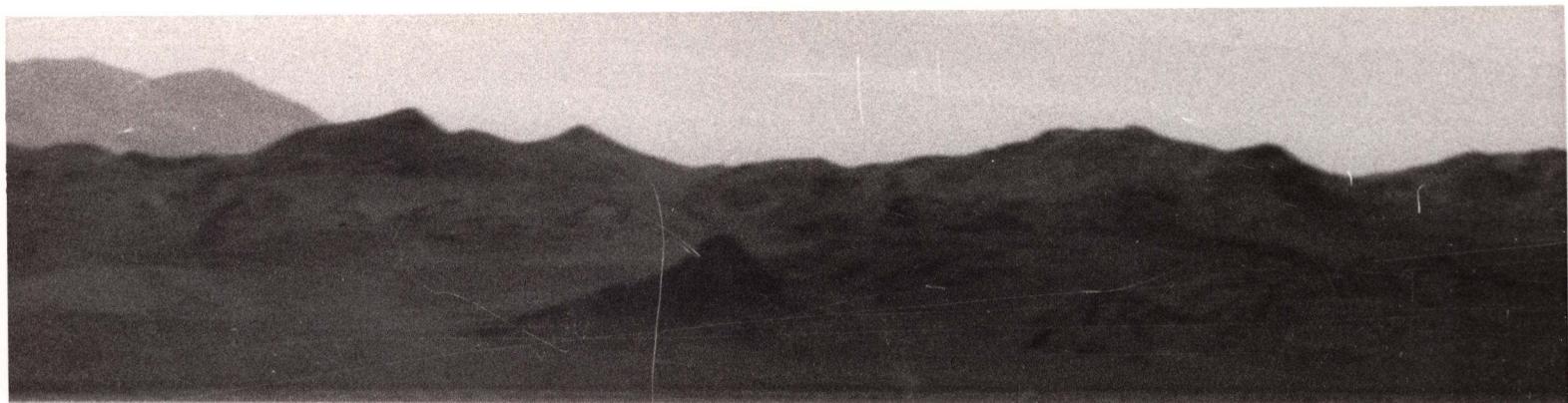
KKM 502 - Der erste Rotationskolbenmotor als Automobilantrieb ist serienreif

Im September 1963 wurde auf der Internationalen Automobil-Ausstellung in Frankfurt/Main das erste Automobil der Welt mit Rotationskolbenmotor der Öffentlichkeit vorgestellt: Der NSU Spider mit Wankelmotor, der bei 500 ccm Kammervolumen und bei einer Nenndrehzahl von 6000 U/min 50 PS leistete. - Die deutschen Steuerbehörden hatten sich nach dem Studium vieler Gutachten entschlossen, bei dem neuen Motorensystem von der Hubraumsteuer abzugehen und bis zur Einführung einer intereuropäischen Steuerformel Automobile mit anderer Antriebsarten als dem herkömmlichen Hubkolbenmotor nach ihrem Gesamtgewicht zu bemessen. Im Herbst 1964 lief die Serienproduktion des Roadsters an.



KKM als Prüfstand-Aggregat mit 250 ccm Kammervolumen

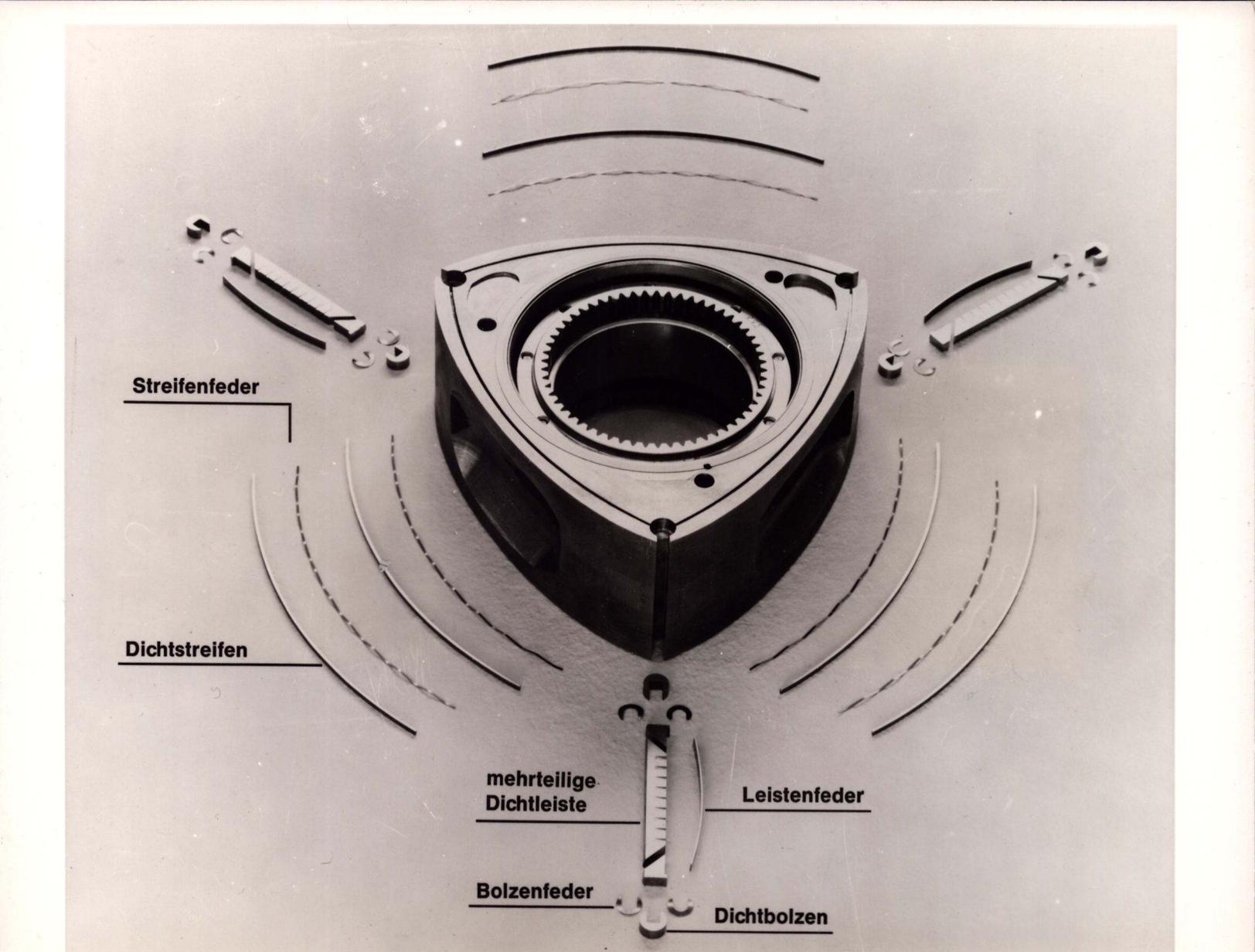
Am 19. Januar 1960 wurden dem Fachauditorium des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) im Deutschen Museum in München die bisherigen Forschungsergebnisse über den NSU/Wankel-Motor dargelegt. Ein Kreiskolbenmotor mit 250 ccm Kammervolumen repräsentierte das neue System bei Probelaufen. Dieser größere Versuchstyp hatte zuvor auf den Prüfständen in Neckarsulm 100-Stunden-Vollastläufe hinter sich gebracht und bei 5000 U/min Dauerleistungen um 30 PS erzielt. - Entgegen allgemeinen Vorstellungen bewies der KKM 250, daß der NSU/Wankelmotor auch in mittleren Drehzahlbereichen funktionsfähig ist. Um die Versuche den Straßenbedingungen anzugleichen, wurden einige Ausführungen des KKM 250 in ein Auto (NSU Prinz III) als "fahrendem Prüfstand" eingebaut. Die Motoren wurden damit den ständig wechselnden Belastungen von Automobilantrieben im Straßenverkehr ausgesetzt.



Kompressor mit 100 ccm Kammervolumen

Als auf dem Salt-Lake bei Bonneville in den USA die NSU-Weltrekordfahrten durchgeführt wurden, verhalf ein nach dem System NSU/Wankel funktionierendes Ladegebläse dem "Baumm'schen Liegestuhl" mit 50 ccm Zweitakt-Motor zu Spitzengeschwindigkeiten über 196 km/h.

Der gute Wirkungsgrad dieses Drehkolbenverdichters brachte bei dem kleinen Motor eine Literleistung von 260 PS zustande. - Damals in Utah machte man nicht viel Aufhebens davon. Der unscheinbare Vorläufer aller NSU/Wankel-Motoren blühte - sorgsam verpackt in der Weltrekordmaschine - ganz im Verborgenen.



Streifenfeder

Dichtstreifen

**mehrteilige
Dichtleiste**

Leistenfeder

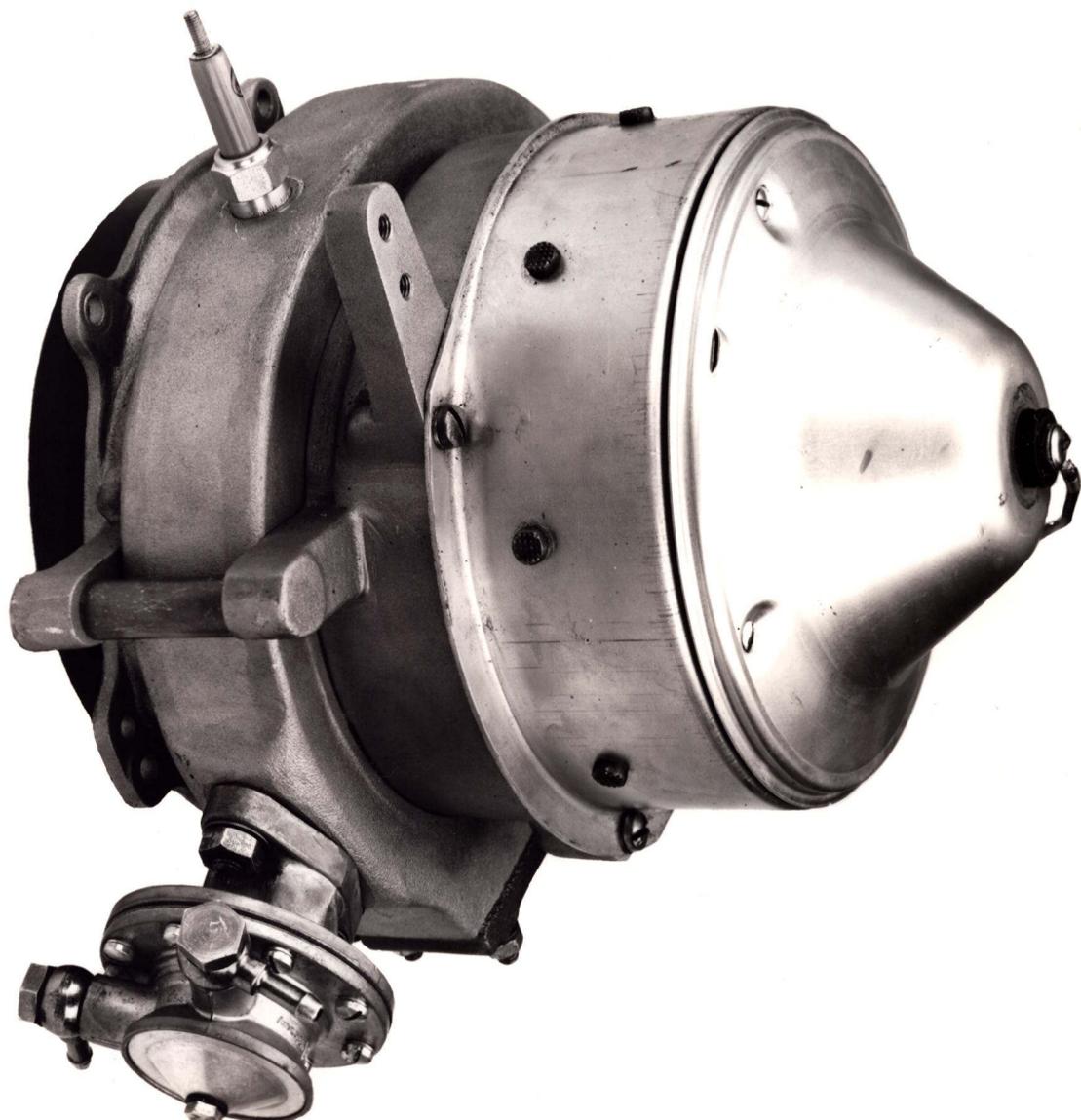
Bolzenfeder

Dichtbolzen

Dichtungssystem

A und O des NSU/Wankelmotors ist die Gasdichtung. Von Felix Wankel im Prinzip durchdacht, wurde sie mit der Entwicklung des NSU/Wankelmotors auf Serienproduktion ausgerichtet. Sie ist heute weniger kompliziert als sie es im Anfang war, und sie ist - dank neuer Materialpaarungen - den Abdichtungssystemen im Hubkolbenmotor zumindest ebenbürtig.

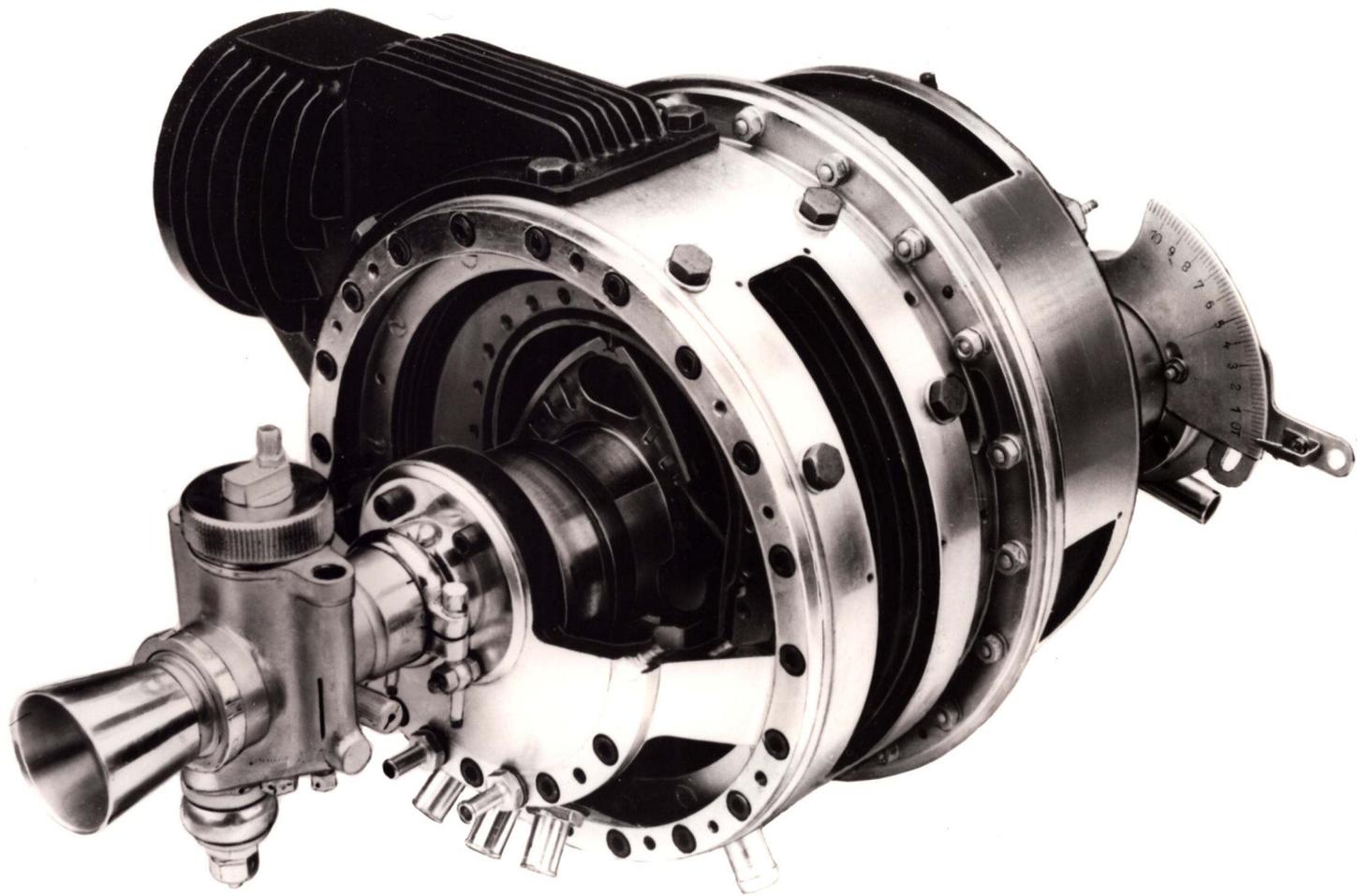
Unser Bild zeigt die einzelnen Elemente des Dichtgitters.



KKM 150 - Erste Serienanwendung als Bootsmotor

Mit dem Antriebsaggregat für ein neuartiges Wasserski-gerät entwickelte NSU einen kleinen Bootsmotor, der aus 150 ccm Kammervolumen bei Drehzahlen bis zu 7000 U/min 18 PS Leistung abgab. - Hinter dem kleinen Boot, das der Wasserskifahrer an einem Zuggestänge mit Handgas betrieb und lenkte, wurden Spitzengeschwindigkeiten bis zu 45 km/h erreicht.

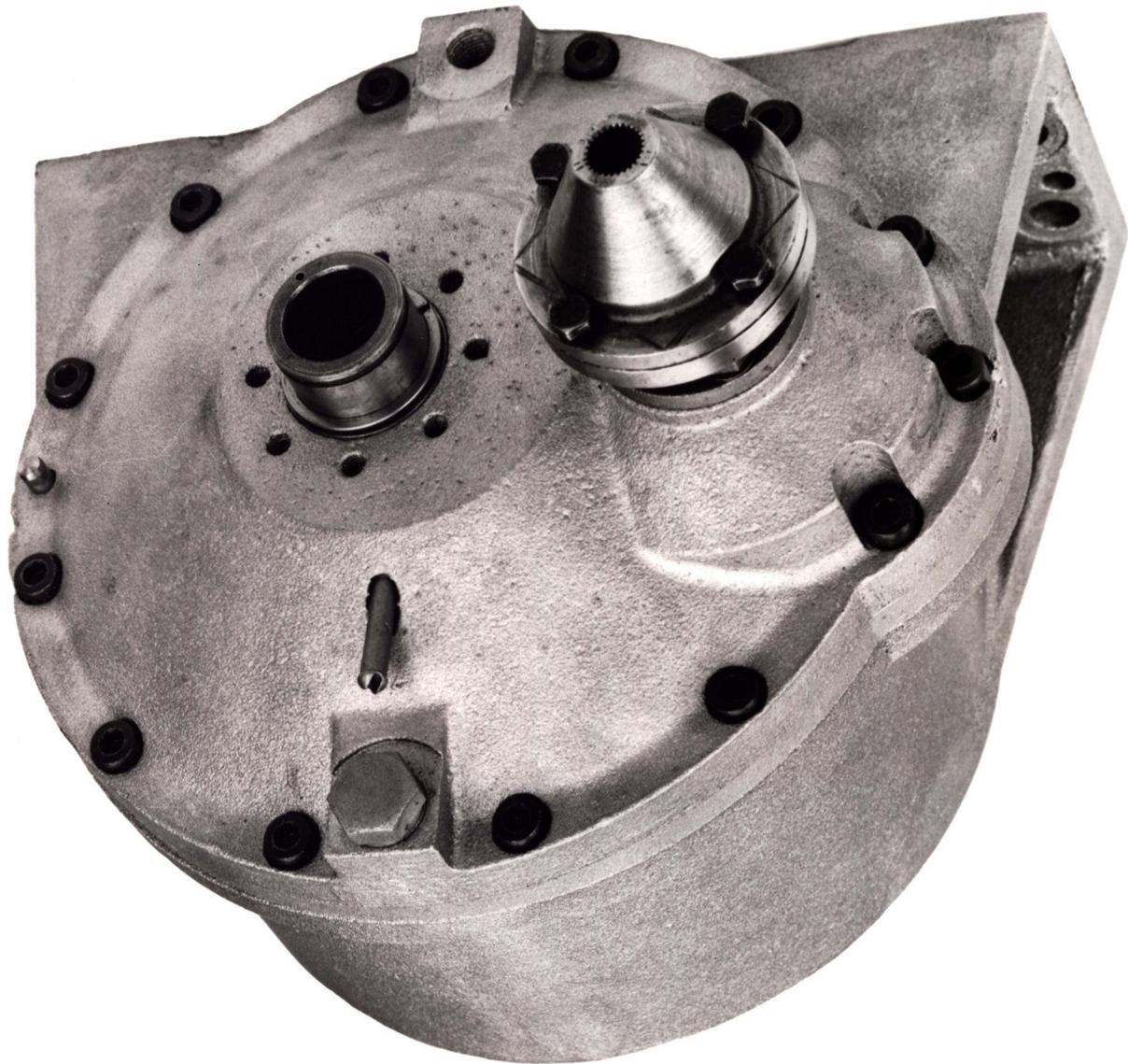
Von dem Aggregat, das den NSU/Wankel-Motor, eine Dynastart-Anlage und den Unterwasserteil mit Winkeltrieb und Propeller umfaßte, wurden 3000 Stück gebaut.



DKM (Drehkolbenmotor) mit 125 ccm Kammervolumen

Am 1. Februar 1957 wurde der erste Drehkolbenmotor auf einem Prüfstand der NSU-Forschungsabteilung in Neckarsulm angeworfen. Schon nach einigen ersten Einzelzündungen folgten minutenlange Zündserien. Meßbare Leistung stellte sich ein. Der erste zukunftssträchtige Drehkolbenmotor in der Geschichte hatte zu arbeiten begonnen!

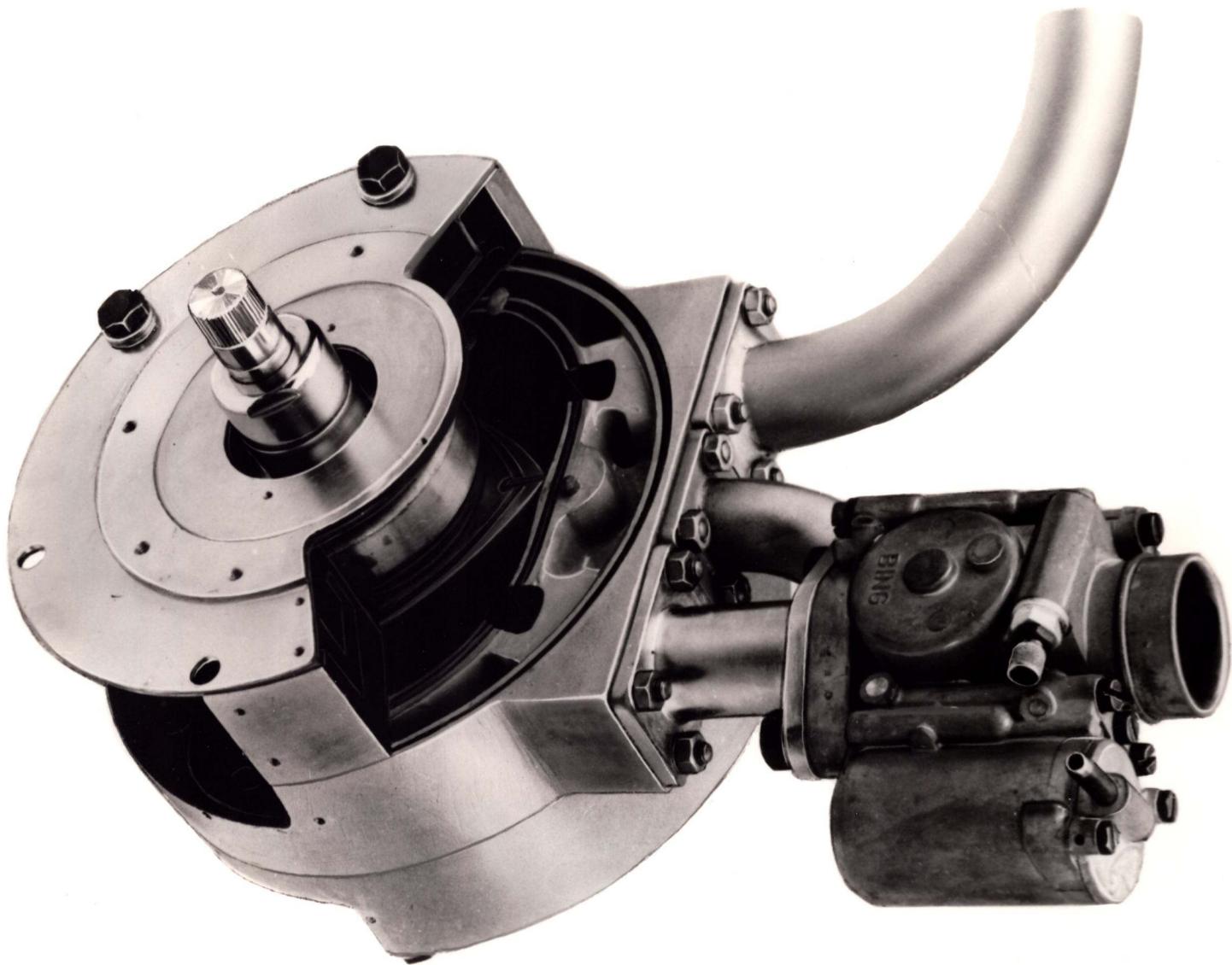
Die Versuchsmotoren gaben nach Verbesserung von Kühlung und Abdichtung, bei einer Kammergröße von 125 ccm als beste Leistung 29 PS bei 17 000 U/min ab. Mit Mitteldrücken bis zu 8,5 kg/cm² kamen diese Versuchsausführungen bereits den Hubkolbenmotoren nahe.



Kompressor mit 100 ccm Kammervolumen

Als auf dem Salt-Lake bei Bonneville in den USA die NSU-Weltrekordfahrten durchgeführt wurden, verhalf ein nach dem System NSU/Wankel funktionierendes Ladegebläse dem "Baumm'schen Liegestuhl" mit 50 ccm Zweitakt-Motor zu Spitzengeschwindigkeiten über 196 km/h.

Der gute Wirkungsgrad dieses Drehkolbenverdichters brachte bei dem kleinen Motor eine Literleistung von 260 PS zustande. - Damals in Utah machte man nicht viel Aufhebens davon. Der unscheinbare Vorläufer aller NSU/Wankel-Motoren blühte - sorgsam verpackt in der Weltrekordmaschine - ganz im Verborgenen.



KKM 60 - Versuchsmotor mit luftgekühltem Kolben und luftgekühltem Gehäuse

Vier Jahre, nachdem die amerikanische Flugmotorenfabrik Curtiss-Wright erster Lizenznehmer für den NSU/Wankel-Motor geworden war, stand die Entwicklung auf breiterer Basis. Weitere Lizenzen konnten vergeben werden, und in Motorenfabriken Europas, Asiens und den USA liefen neue umfangreiche Versuchsserien an. NSU entwickelte in dieser Zeit einen Motor mit 60 ccm Kammervolumen, dessen besondere Eigenheit eine komplette Luftkühlung - luftgekühltes Gehäuse und von Kraftstoff-Luftgemisch durchströmter Kolben - war. Die kleine Maschine sollte Vorläufer für Aggregat-Antriebe sein. - Sie war in Rasenmähern zur Pflege der NSU-Grünanlagen eingebaut, die sich in diesem Jahre zu englischer Lawn-Qualität entwickelten.

BILD 8

Abgas-Emissionswerte im Europatest

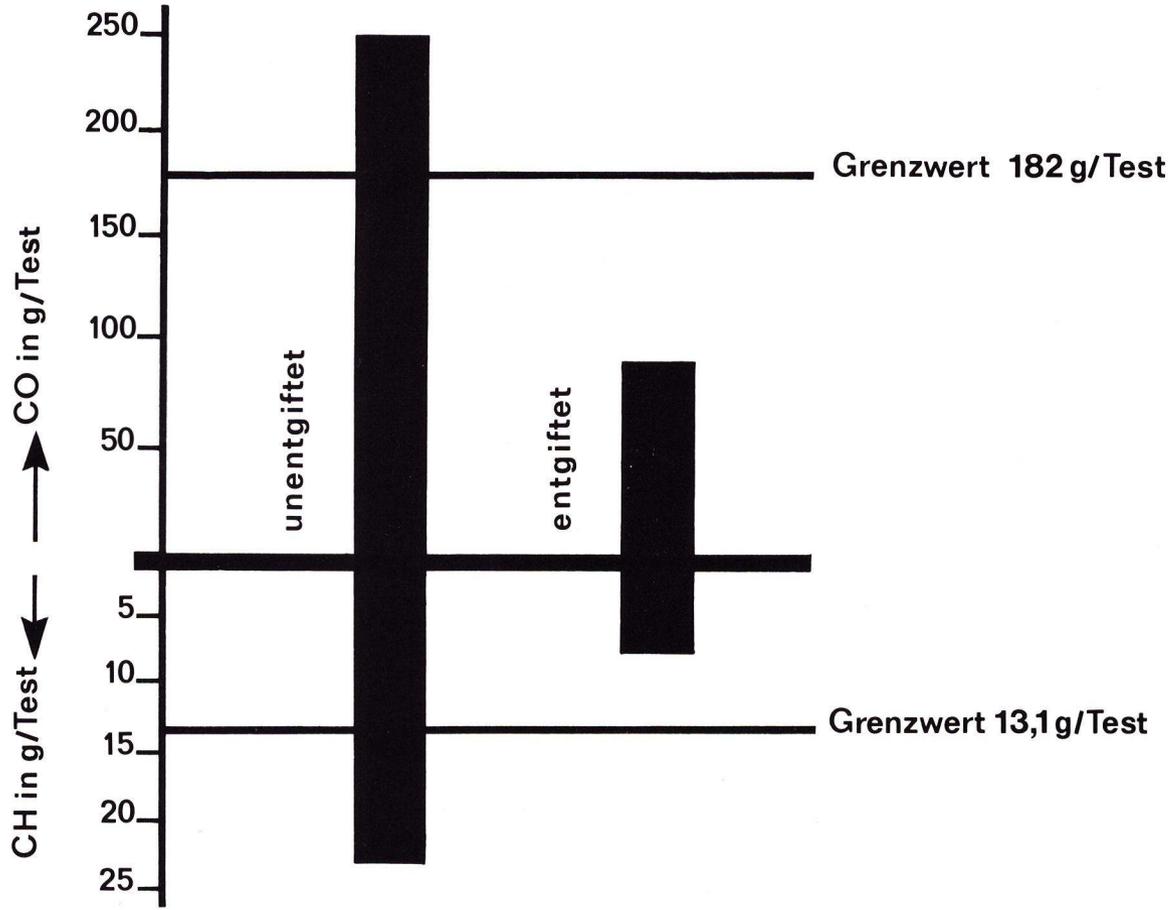
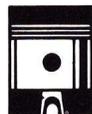


BILD 1



Hubkolbenmotor



Kreiskolbenmotor

Kohlenwasserstoffe CH	+	-
Kohlenmonoxid CO	○	○
Stickoxide NO _x	-	++
Bleiabbau im Kraftstoff	-	+
Bauraum für Entgiftungsanlage	-	+

Kriterien, welche die Abgasqualität beeinflussen