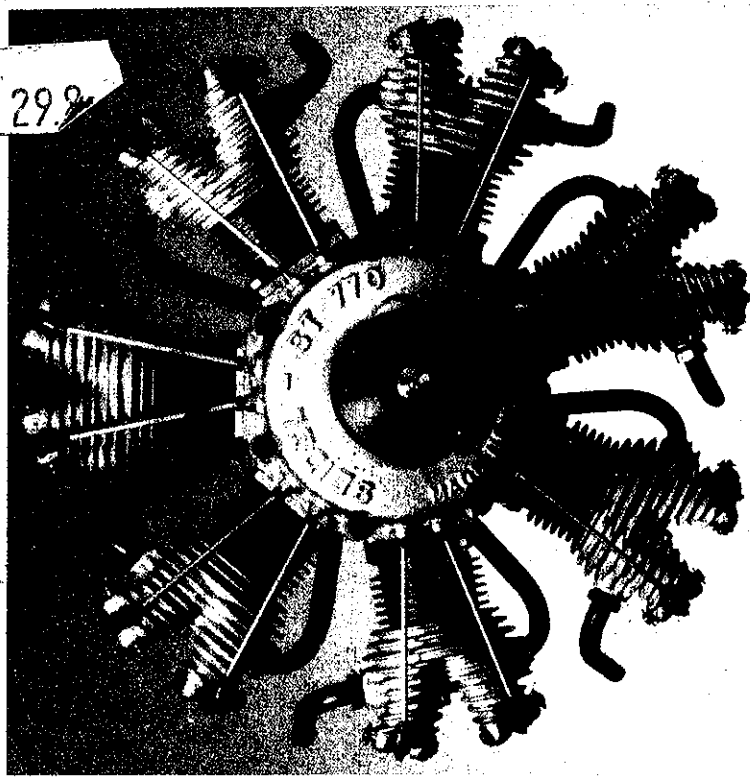
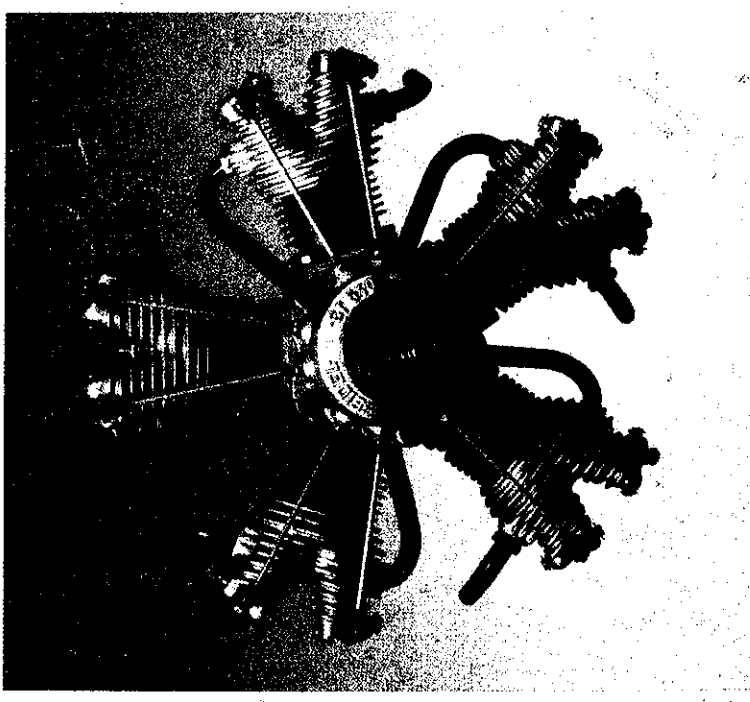


... der ... Seidel ... Sternmotoren ...

ST 540

Seidel-Sternmotoren

ST 540



WOLFGANG SEIDEL

Modellmotoren - Konstruktion + Vertrieb

Trufelsstraße 20 B · D-6729 Hagenbach · Telefon (06729) 21121

Prof. Dr.-Ing. Peter Demuth, Vizeleiter Modell-Motoren

VIERTAKT- MODELL- MOTOREN

Prof. Dr.-Ing. Peter Demuth



Modell-Technikbuch

NV

Aus unserem Angebot für den Modellbauer

MODELL MOTOREN

Prof. Dr.-Ing. Peter Demuth

Prof. Dr.-Ing. Peter Demuth
Modellmotoren
6. überarbeitete Auflage
1989.

Alles über Motoren, Kraft-
stoffe, Propeller und War-
tung.
200 S., 266 Abb.
B.-Nr. 115 DM 29,80

Die **Modell- Fachbuchreihe**

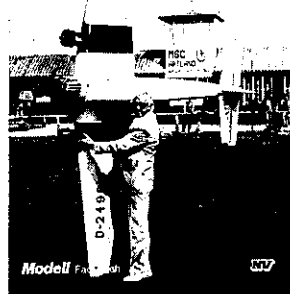
ist die umfangreichste
der deutschsprachi-
gen Fachliteratur auf
dem Gebiet des Flug-
und Schiffsmodell-
baus. Bitte bestellen
Sie unseren vier-
farbigen kostenlosen
Buchprospekt.

Ulrich Braune
**Mein Sport:
Modellfliegen**

Ein Buch für die Jugend.
Der Einstieg in den Flug-
modellbau: Vom Wurfgleiter
bis zum ferngesteuerten
Modell.

64 S., 68 Abb. und ein Bau-
plan 1:1
B.-Nr. 611 DM 19,80

MANFRED BOOG SEMI-SCALE FLUGZEUGMODELLE



Manfred Boog
**Semi-Scale
Flugzeugmodelle**

Band 1 – Motorflug.
Informatives über vorbild-
ähnliche Flugzeugmodelle.

192 S., 163 Abb.
B.-Nr. 167 DM 32,50

Helmut Drexler
Der RC-Fahrer

Abhandlung für Neulinge
und Profis.

190 S., 345 Abb.
B.-Nr. 162 DM 29,80

K. L. Busemeyer
**RC-Luftschiffe
und -Ballone**

Alles Wissenswerte über
Bau und Fahrbetrieb

176 S., 221 Abb.
B.-Nr. 165 DM 34,80

Ralph Müller
**RC-
Kunstflugmodelle**

Kunstflugmodelle für Prakti-
ker und Anhänger der Luft-
akrobatik.

96 S., 102 Abb.
B.-Nr. 166 DM 19,80

ERICH DÄUBLER RC- WASSERFLUG



Erich Däubler
RC-Wasserflug

Schwimmer, Flugboote,
Hydro- und Aerodynamik.

128 S., 124 Abb.
B.-Nr. 169 DM 24,80



NECKAR-VERLAG GmbH, 7730 Villingen-Schwenningen
Postfach 1820, Telefon (077 21) 5 10 21

Meksa
26.2.90

PROF. DR.-ING. PETER DEMUTH

Model
Motorlar
Dört Cevimli
TASARIMI

Viertakt- Modell-Motoren

Geschichte
Konstruktion
Betriebspraxis

4 çevimli
Ufak Devitgenler



NECKAR-VERLAG · VILLINGEN-SCHWENNINGEN



PROF. DR.-ING. PETER DEMUTH

studierte Maschinenbau an der Universität Karlsruhe und war tätig als Entwicklungsingenieur bei Weserflugzeugbau, BBC in Baden/Schweiz und bei Daimler-Benz in Untertürkheim in der Entwicklung von Hubschraubern und Dieselmotoren. 1971 promovierte er zum Dr.-Ing. an der Universität Karlsruhe mit einer Arbeit über Schmieröl von Dieselmotoren und ist seit 1975 Professor für Konstruktion und Werkzeugmaschinen an der Fachhochschule in Trier.

Peter Demuth ist Modellbauer seit 1950. Er war mehrfacher Deutscher Meister und Landesmeister für Nurflügelmodelle mit Verbrennungsmotoren, betreibt heute noch Modellbau und Fernsteuerung von Flug- und Schiffsmodellen und ist Fachmitarbeiter der führenden deutschen RC-Zeitschriften MODELL und SchiffsModell.

Der Autor wirkt mit an der Entwicklung von Modellhubschraubern, ist Konstrukteur mehrerer bekannter Modellmotoren und gilt in der internationalen Fachwelt als anerkannter und kritischer Tester von Modell-Verbrennungsmotoren.

ISBN 3-7883-1185-1

2., überarbeitete Auflage 1989

© 1983 by Neckar-Verlag GmbH, Klosterring 1, 7730 Villingen-Schwenningen

Alle Rechte, besonders das Übersetzungsrecht, vorbehalten. Nachdruck oder Vervielfältigung von Text und Bildern, auch auszugsweise, nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Verlages.

Printed in Germany by
Baur-Offset GmbH & Co. KG, Lichtensteinstraße 76, 7730 Villingen-Schwenningen

Inhalt

1. Einführung	6
1.1. „Modellmotor“, was ist das?	6
1.2. Viertaktmotoren vor 1945	6
1.3. Viertaktmotoren nach 1945	9
2. Allgemeines	39
2.1. Arbeitsprinzip	39
2.2. Berechnung der maximalen Leistung	41
3. Aufbau der Verbrennungsmotoren	48
3.1. Hubkolbenmotoren mit Ventilsteuerung	48
3.2. Hubkolbenmotoren mit Schiebersteuerung	51
3.3. Rotationskolbenmotoren	54
4. Motorenteile	56
4.1. Verdichtungsraum	56
4.2. Gaswechselsteuerung	56
4.2.1. Das Ventil	59
4.2.2. Anordnung von Ventilen	65
4.2.3. Ventildfedern	66
4.2.4. Nockenformen	72
4.2.5. Antrieb der Ventile	75
4.2.6. Antrieb der Nockenwelle	77
4.2.7. Schiebersteuerungen	81
4.2.8. Ansaugleitungen und Auspuffrohre	82
4.3. Triebwerke	83
4.3.1. Kolben	83
4.3.2. Pleuel	88
4.3.3. Kurbelschleifen	90
4.3.4. Kurbelwellen	93
4.3.5. Lagerungen	94
4.4. Gehäuse	95
4.4.1. Kurbelgehäuse	95
4.4.2. Zylinderkopf	96
4.5. Massenausgleich	98
5. Betriebseinrichtungen	103
5.1. Abgasanlagen und Schalldämpfer	103
5.2. Vergaser	112
5.3. Zündungen	116
5.3.1. Die Glühkerze	117
5.3.2. Zündkerzen	119
5.3.3. Zündung durch Funken	120
5.3.4. Batteriezündanlagen	123
5.3.5. Magnetzündanlage	125
5.4. Tank	129
5.5. Kraftstoff	131
5.5.1. Grundsubstanzen für Glühzündermotoren	131

5.5.2. Grundsubstanzen für Motoren mit Funkenzündung	133
5.5.3. Mischungs- und Lösungsvermittler	133
5.5.4. Leistungssteigernde Mittel	133
5.5.5. Schmiermittel	135
5.5.6. Kraftstoffmischungen	138
5.5.7. Lagerung von Kraftstoffen	140
5.6. Kühlung der Viertaktmotoren	140
5.7. Propeller	141
6. Die Praxis	151
6.1. Motoreneinkauf	151
6.2. Einlaufen	151
6.3. Motorenwartung	153
6.4. Leistungsmessung	158
6.5. Frisieren	165
7. Leistungsdiagramme und Kurzbeschreibungen	168
ENYA 35-4C	168
SAITO FA-30/40	170
DYLLA-4-Takt	172
OS-Max FS-40	174
KALT FC-1	176
OS-Max FS-60	178
ENYA 60-4C	180
EHMO-13	182
SAITO FA-80 T	184
MAGNUM 91 S	186
KAVAN FK-50 Mark I	188
OS-FS 20	190
ENYA 240-VT	192
ENYA 120 R-4C	194
ENYA 80-4C	196
ENYA 46-4C	198
OS-FT 300	200
OS-Max FT 120 II und FT 160	202
OS-FS 120 Surpass	204
OS-Max-FS 61	206
OS-Max-FS 40 Surpass / OS-Max-FS 48 Surpass	208
SAITO FA 65-II und FA 80-I	210
OPS 20-4 OHC	212
HP 21-VT und HP 25 V	214
HP 49-VT (HP 60 VT)	216
WEBRA-T4	218
WEBRA T4 40, T4 60, T4 80	220

1. Einführung

1.1. „Modellmotor“, was ist das?

Kleinstverbrennungsmotoren zum Antrieb von Modellen werden im Sprachgebrauch als Modellmotoren bezeichnet. Im allgemeinen sind diese Modellmotoren keine genauen Modelle, also Verkleinerungen eines Motors. Wenn ein solcher Motor auch laufen soll, so müssen einige Teile des Triebwerks und auch der Zündung anders gestaltet werden. So kommt es, daß ein Modellmotor nach ganz anderen Gesichtspunkten gebaut wird als größere Fahrzeugmotoren oder Flugmotoren. Es ist interessant, die Entwicklung der Modellmotoren zurückzuverfolgen. Einige an diesem Zweig der Technik besonders interessierte Bastler und Ingenieure wurden zu Sammlern solcher Kleinstverbrennungsmotoren. Es ist sicher eine höchst befriedigende Ingenieurleistung, solche Motoren zu entwerfen, zu bauen und zu verbessern und zu immer höheren Leistungen zu züchten. In den letzten Jahren kamen Viertaktmotoren auch in der Modellmotorengröße auf den Hobbymarkt.

Die Geräuschentwicklung hochtouriger Zweitaktmotoren ist nicht für jeden Mitbürger etwas Angenehmes, so daß vielfach der Betrieb solcher Zweitaktmotoren verboten wurde oder zumindest stark eingeschränkt nur noch möglich ist. Modellmotoren mit Viertaktsteuerung und Kegelventilen geben ein brummendes und in den Ohren angenehmer klingendes Geräusch ab. Diese Motoren dürfen meist auch in unmittelbarer Nähe von Siedlungen betrieben werden. Die Entwicklung der Viertaktmodellmotoren geht rasch zu höheren Leistungen voran. Die Viertaktmodellmotoren sind heute schon eine Alternativlösung des Antriebs von Modellen, wenn Lärm vermieden werden muß. Leider sind die Preise der Viertaktmotoren höher als die der einfacher aufgebauten Zweitaktmotoren.

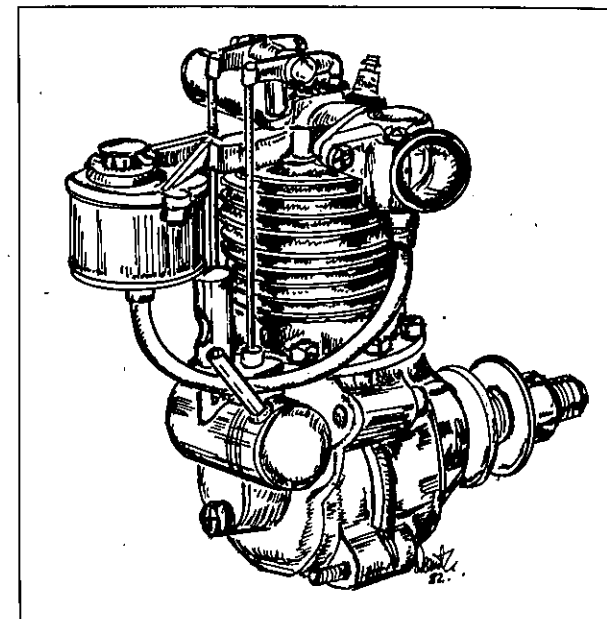
1.2. Die Viertaktmodellmotoren vor 1945

Der Bau von Viertaktmodellmotoren begann im Lande des klassischen Maschinenbaues, in England, schon kurz nach der Jahrhundertwende. Es wird in Zeitschriften berichtet, daß im Jahre 1908 in England ein Flugmodell mit einem Viertaktmotor mit 15 ccm Hubraum angetrieben wurde und geflogen ist. Es wird auch von Motoren berichtet, die Modellschiffe angetrieben haben. Diese Motoren sind alle liebevoll gebaute und ausgetüftelte Einzelstücke geblieben. Sehr aufwendig war an diesen ersten Modellmotoren der Zündmechanismus mit einer Batteriezündanlage. Die große Schwierigkeit bestand in der Herstellung einer geeigneten Zündspule. Dünne lackisolierte Kupferdrähte gab es nicht, und auch die Isolierung der einzelnen Lagen der Zündspulenwicklung gegeneinander gelang nur schwer. Als Batterie wurden häufig Taschenlampelemente mit 4,5 bis 6 Volt Spannung verwendet. Versuche mit Magnetzündanlagen mißlingen, da kleine, starke Permanentmagnete noch nicht entwickelt waren und die Stahldauermagnete zu großen, unbrauchbaren Zündgeräten zwangen. Ein weiterer Grund, warum nur selten Viertaktmotoren als Modellmotoren gebaut wurden, war die Größe der Zündkerze. Es gab noch nicht Zündkerzen mit kleinen Kerzengewindedurchmessern, die neben den Ventilen noch im Zylinderkopf Platz gefunden hätten.

Unzuverlässig war der Lauf der ersten Modellmotoren mit Viertaktsteuerung sicher. Stundenlange Anwerfversuche des Motors, da die Zündanlage nur gelegentlich einen Funken an der Zündkerze produzierte, waren üblich. Die Viertaktmotoren hatten in den ersten Jahren der Entwicklung alle seitlich vom Zylinder stehende Ventile, waren also sogenannte „seitengesteuerte Motoren“. Durch die Anordnung der Ventile neben der Zylinderbohrung ergab sich der Platz für die großen Zündkerzen im

Abb. 1: FEENEY-4CYCLE
(USA 1940)

Modell A:
20 ccm, Hub: 26,9 mm
Bohrung: 30,0 mm Ø
Modell B:
15 ccm, Hub: 26,0 mm
Bohrung: 27,0 mm Ø
Modell C:
10 ccm, Hub: 22,0 mm
Bohrung: 24,0 mm Ø
Drehzahlen 6500 U/min
Batteriezündung
Tauch-Spritzschmierung



Zylinderkopf. Die Leistung eines solchen Motors war recht bescheiden, und oft wird der Motor gerade sich selbst gedreht haben, und keine nennenswerte Nutzleistung gelangte an einen Propeller oder eine Schiffsschraube. Preßluftmotoren und ab 1920 auch Zweitaktmotoren trieben die Modelle an.

Für den Bau von Viertakt-Miniaturmotoren gab es ab 1925 Baupläne und teilweise auch Gußrohnteile für Kurbelgehäuse und Zylinderkopf. In einem Katalog einer englischen Modellbaufirma wurden kurz vor dem 2. Weltkrieg neun Einzylinder-Viertakt-Modellmotoren mit 15 ccm und 10 ccm Hubraum aufgeführt, ferner ein Zweizylinder-Reihenmotor mit automatischer Kupplung und Ölpumpe für eine Ölumlaufschmierung mit 30 ccm Hubraum und einige Vierzylindermotoren als wassergekühlte Reihenmotoren für den Einbau in Modellschiffe.

Die Einzylindermotoren hatten alle offenliegende Ventilantriebe über Stoßstangen und Kipphebel bei hängenden Ventilen im Zylinderkopf und Luftkühlung, die wassergekühlten Bootsmotoren waren seitengesteuert. Eine abenteuerliche Konstruktion war ein 25-ccm-Bootsmotor mit Glührohrzündung, ähnlich dem damals sehr bekannten Mitteldruckmotor in Ackerschleppern der Firma Lanz in Mannheim. Leider sind von diesen Motoren nur noch die Baupläne erhalten und werden in Sammlerkreisen zu horrenden Preisen kopiert und nachgezeichnet. Auf dem Kontinent oder in Amerika wurden keine Viertaktmotoren entwickelt, man baute dort nach den englischen Bauplänen oder verwendete Zweitaktmodellmotoren.

In einer Modellbauzeitschrift aus dem Jahre 1940 wird im Anzeigenteil ein Viertaktmodellmotor angepriesen, der in drei Größen lieferbar war. Die Abb. 1 zeigt den Motor in Ansicht. Die Nockenwelle wurde über ein Schraubenradgetriebe angetrieben und trug an einem Ende den Unterbrecher für die Batteriezündanlage. Der Zündzeitpunkt konnte über einen Hebel am Unterbrechergehäuse verstellt werden. Die Kipphebel und die Stoßstangen lagen offen, die Zündkerze war von Champion, USA, und nach vorne geneigt. Hinten war der Kraftstofftank montiert, als Vergaser

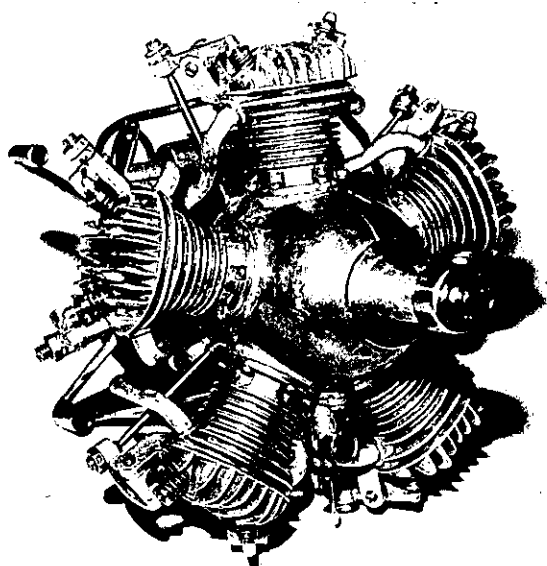


Abb. 2: MORTON M5-Sternmotor. Viertaktmodellmotor aus dem Jahr 1945. Der Motor wurde zunächst als Bauteilsatz geliefert, danach von mehreren Firmen in Kleinserie gebaut und als lauffertiger Motor mit Zündspule und Motorbefestigung angeboten. Der Hub betrug 15,18 mm, Bohrung 18,80 mm Ø, Hubraum 15,48 ccm. Der hier abgebildete Motor wurde von Morton Aircraft Corporation, Omaha 2, Nebraska, USA, um 1946 hergestellt. Motor ist derzeit im Besitz von Dr. Sturm, Herzogenrath. Gewicht des Motors 625 g.

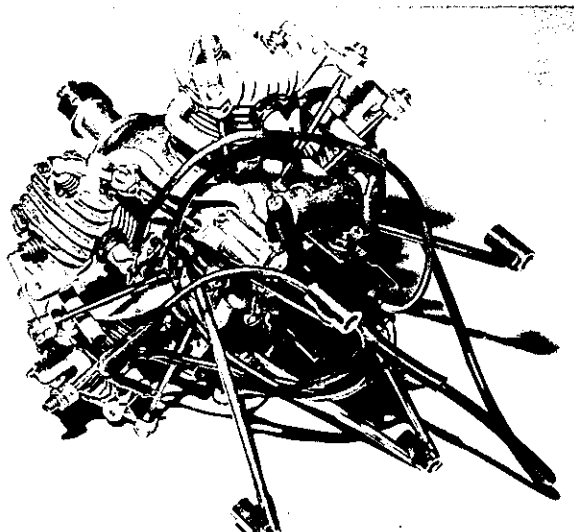


Abb. 3: MORTON M5 von hinten. Blick auf Zündverteiler.

diente ein Klappenvergaser. So wie der Motor aussieht, dürfte er brauchbare Leistungen entwickelt haben. Er konnte sich aber gegen die einfacheren Zweitaktmotoren nicht durchsetzen.

Aus dem Jahr 1945 wird über einen Sternmotor MORTON M5 mit fünf Zylindern berichtet. Der Motor stammte ursprünglich aus England und wurde in den USA zunächst als Bausatz von zwei Firmen angeboten. 1945 brachte eine Firma in den USA den Motor als Fertigmodell heraus. Der Motor ist in Abb. 2 und Abb. 3 dargestellt. Die Stoßstangen zu den Kipphebeln wurden über eine Nockentrommel betä-

tigt. Auf der Rückseite des Motors waren ferner noch der Unterbrecher und der Zündverteiler zu den fünf Zylindern. Als Vergaser diente ein einfacher, nicht drosselbarer Spritzvergaser, die Drehzahl wurde nur durch eine mechanische Zündzeitpunktverstellung etwas geregelt. Der Motor ist sicher ein Schmuckstück in jeder Modellmotorensammlung. Ob mit dem Motor erfolgreich Flugmodelle angetrieben wurden, ist nicht bekannt.

1.3. Die Viertaktmodellmotoren nach 1945

Nach dem Zweiten Weltkrieg wurden von einigen Bastlern nach den alten englischen Bauplänen einige Viertaktmodellmotoren gebaut. Die meisten Motoren sind wohl zum Antrieb von Schiffsmodellen und Automodellen gebaut worden. In Stuttgart wurde von einem Ingenieur der Firma Daimler Benz ein Rennmotor aus den Silberpfeilrennwagen der Vorkriegszeit als funktionsfähiges Modell gebaut. Der Verfasser erinnert sich noch an eine Vorführung des Rennwagenmodells. Der Wagen und der Motor waren im Maßstab 1:5 gebaut, der Motor soll eine Leistung von über 3 PS erreicht haben. Nach langen Versuchen kam der Motor in Gang, und das Modell zog, gefesselt an eine Stahlleine, einige mir ungeheuer schnell erscheinende Runden. Danach fristete das Modell auf dem Wohnzimmerschrank ein Ausstellungsstückdasein.

Im Jahr 1964 wurde dem Verfasser ein von einem Kölner Automobiltechniker selbst entwickelter Viertaktmotor zugeschickt. Die Abb. 4, 5, 6, 7 und 8 zeigen den Motor in Ansichten und im Detail. Der Motor war mit einer elektrischen Leistungsbremse aus einer Autolichtmaschine gekuppelt und als komplette Maschinenanlage auf

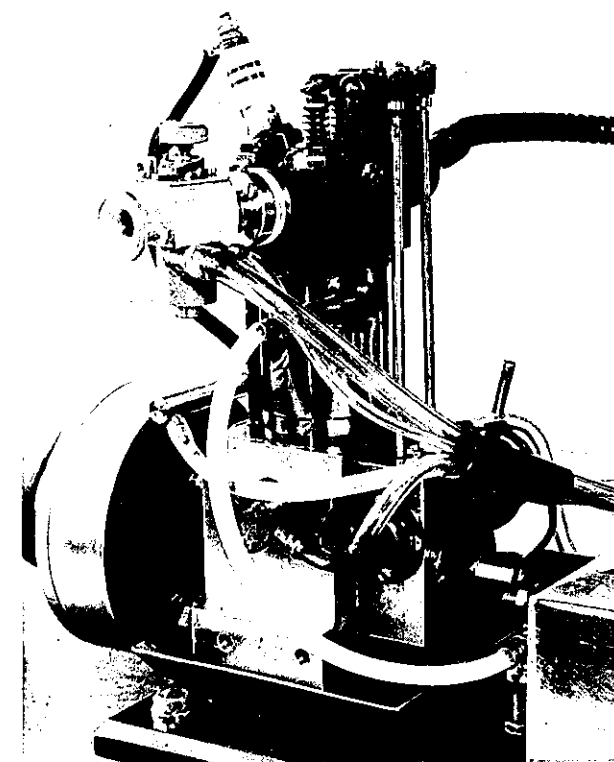


Abb. 4: Beispiel eines Selbstbaumotors von Herrn Joachim Grünow (1964). Hubraum 16 ccm, Bohrung 28 mm Ø, Hub 25,5 mm. Drehzahl 7000 U/min maximal. Batteriezündanlage 6 Volt. Ventiltrieb über Stoßstangen und Kipphebel. Die Nockenwelle wird über ein Schraubenradgetriebe von der Kurbelwelle aus angetrieben. Der Motor erreichte eine Leistung von 200 Watt bei 7000 U/min.

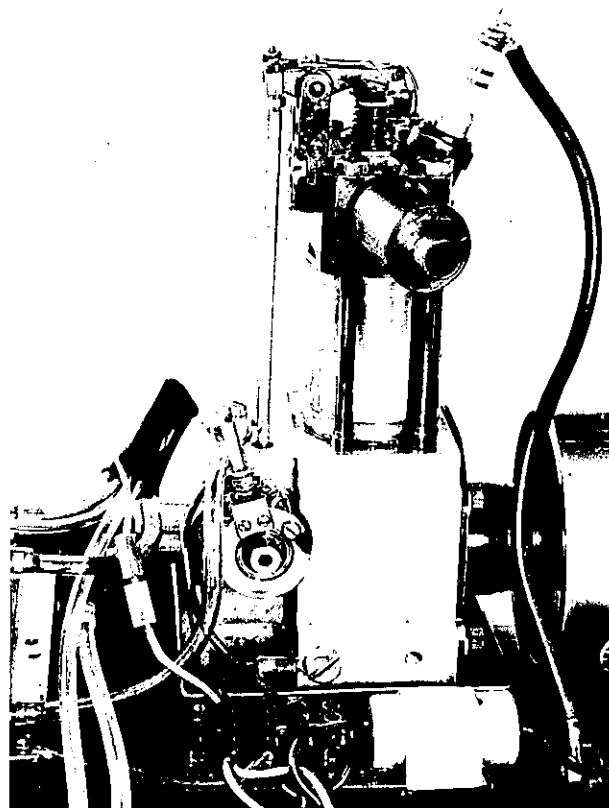


Abb. 5: Der Unterbrecher für die Batteriezündung sitzt auf der Nockenwelle, und es kann mittels des kleinen Hebels der Zündzeitpunkt verstellt werden. Die Kühlung des Motors erfolgte über eine Zahnradpumpe mit Wasser am Zylindermantel. Der Zylinderkopf ist ungekühlt.

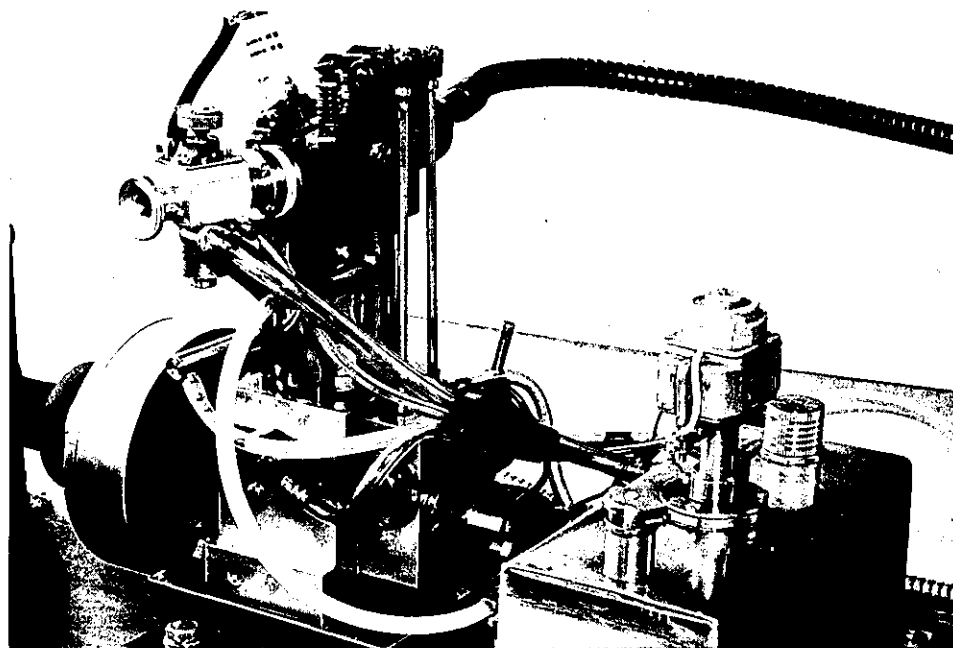
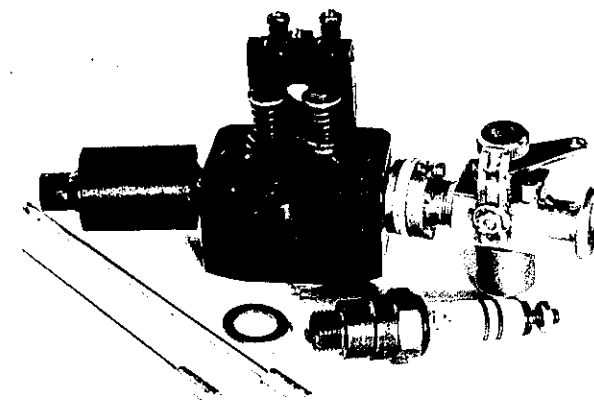


Abb. 6: Gesamtansicht. Von einer elektrischen Kreiselpumpe wird der Kraftstoff aus dem Tank zum Vergaser gefördert. Der Vergaser hat statt eines Schwimmers eine Überlaufbohrung für ein konstantes Niveau des Benzins vor der Düse.

Abb. 7



einem Fundament aufgebaut. Vorgesehen war der Motor als Bootsmotor für ein Schiffsmodell. Der Motor ist ähnlich den englischen Bauplanmotoren aufgebaut. Der Zylinderkopf, aus massivem Grauguß herausgearbeitet, war nicht gekühlt. Der Graugußkopf vereinfachte den Motor wesentlich, da kein Ventilsitzring für die Kegelventile notwendig war. Interessant ist, daß zum Antrieb der Nockenwelle auch hier ein Schraubenradgetriebe angewendet wurde und Rohrstoßstangen mit gehärteten Endstücken. Die Zündung konnte über einen Hebel auf der Nockenwelle verstellt werden. Der Motor lief ausgezeichnet, wozu die zuverlässige Zündanlage aus einem Motorrad beitrug. Der Motor blieb ein Einzelstück, da er wegen seines Gewichtes und der Größe für Flugmodelle ungeeignet war. 1964 gab es schon recht leistungsfähige Zweitaktmotoren mit Glühzündung.

Die Glühkerze wurde von dem Amerikaner Ray Arden 1941 erfunden. Alle bis damals auf dem Markt befindlichen Modellmotoren, ob Zweitakt oder Viertakt, hatten Funkenzündung mit Zündkerze und schwere anfällige Zündanlagen. In der Nachkriegszeit wurde die Zündkerze bei Zweitaktmotoren durch die gleich große Glühkerze ersetzt. Die Motoren sprangen leichter an und gaben mehr Leistung ab. Die Funkenzündung und der Kraftstoff Benzin von der Tankstelle für Automobile galten als überholt und umständlich. Heute besinnt man sich wieder auf Funkenzün-

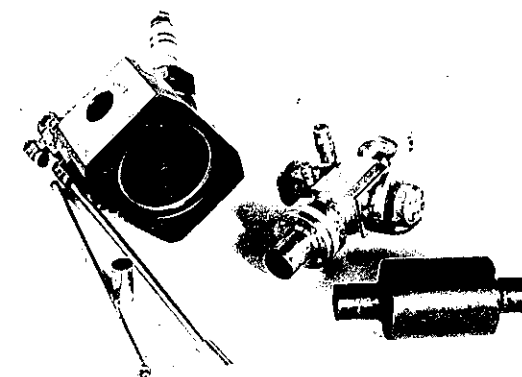


Abb. 8: Zylinderkopf, Vergaser und Auspuff des Selbstbaumotors von Herrn Joachim Grönnow (1964).

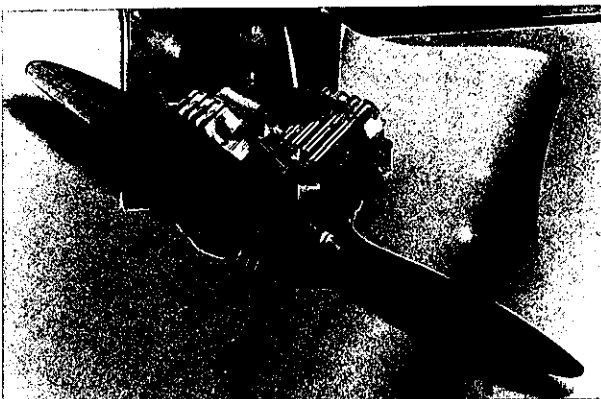
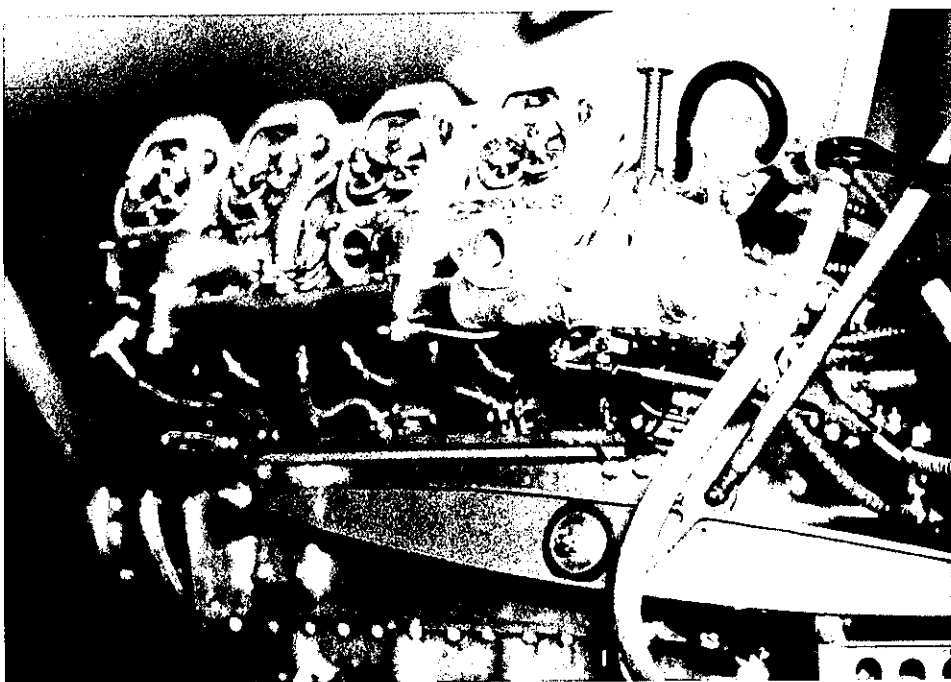


Abb. 9 u. 10: Nachbau des Flugmotors ARGUS AS 10 c. Ein Viertakt-V8-Motor. Der Motor wurde innerhalb 6 Jahren im Maßstab 1:10 gefertigt. Hubraum 27 ccm, Leistung um 3 PS bei 4000 U/min, Propeller 60 cm Ø. Foto: E. Handt.



dung und auf Benzin als Kraftstoff, da damit größere Modellmotoren preiswerter betrieben werden und Automotorenöle zur Schmierung gelangen können.

Bei Flugmodellmotoren setzte sich ein Motortyp mit veränderlichem Verdichtungsraum und Zündung durch die Verdichtungswärme zunächst durch, bis ab 1965 fast nur noch Glühzündermotoren verwendet wurden. Viertaktmodellmotoren mit dieser fälschlich als Dieselizezündung bezeichneten Zündung sind nicht gebaut worden. Es wäre denkbar, durch eine anhebbare Kurbelwelle mittels Exzenter die Verdichtung eines Viertaktmotors so zu steigern, daß die Verdichtungsendtemperatur zur Zündung des Äther-Petroleum-Gemisches ausreicht.

Ein weiteres Beispiel für einen Modellbau eines Motors zeigen die Abb. 9/10. Hier wurde von einem Modellbauer ein Argus AS 10C-Flugmotor als Modell nachgebaut.

Abb. 11: Erster in Kleinserie gebauter 4-Takt-Modellmotor in Deutschland. Hersteller Ing. E. Handt. Der Motor hatte 10 ccm Hubraum und drehte mit einer 380x200-mm-Luftschraube um 8500 U/min (1972). Foto: E. Handt

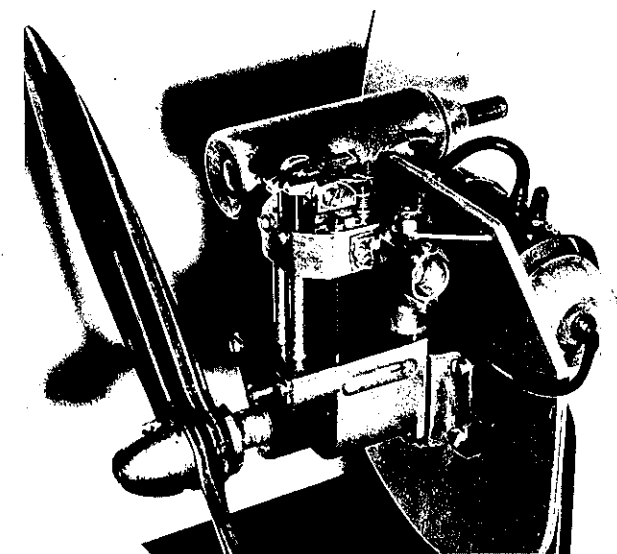
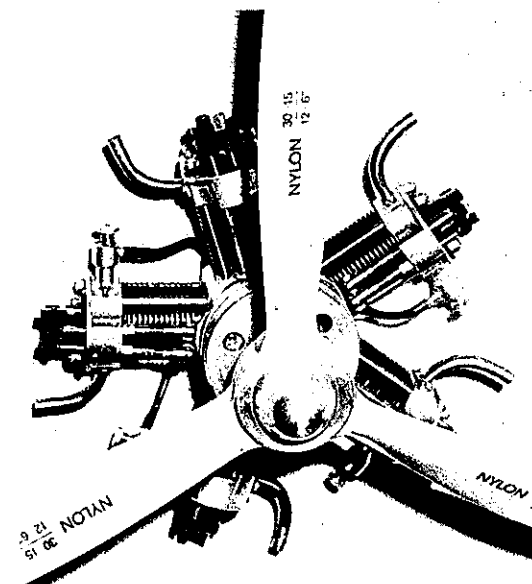


Abb. 12: Ein 5-Zylinder-Sternmotor als 4-Takter mit 5x2 ccm Hubraum. Der Erbauer war Ing. E. Handt im Jahr 1973.



Für diesen Motor in maßstäblicher Nachbildung wie ein Museumsmodell wurde 6 Jahre lang die Freizeit geopfert. Welch ein Anblick, wenn man bei geöffneten Ventildeckeln die Ventile des V8-Motors sich bewegen sieht; was kann es Schöneres geben, wenn nach der langen Bauzeit solch ein Motor endlich läuft? In ein Flugmodell wurde der Motor nicht eingebaut, es wäre auch zu schade, diesen Motor bei einem Absturz zu gefährden.

Den Viertaktmodellmotor mit Glühzündung entdeckte vor 1972 als Flugmodellantrieb Herr Ing. Erich Handt in Uhldingen am Bodensee. Die Abb. 11 zeigt einen Modellmotor mit oben angeordneten, hängenden Ventilen, angetrieben über Stoß-

Abb. 13: Ein V-Motor aus 2x5-
ccm-4-Taktmotoren. V-Winkel
72°. Der Motor wurde von Ing.
E. Handt 1973 gebaut.

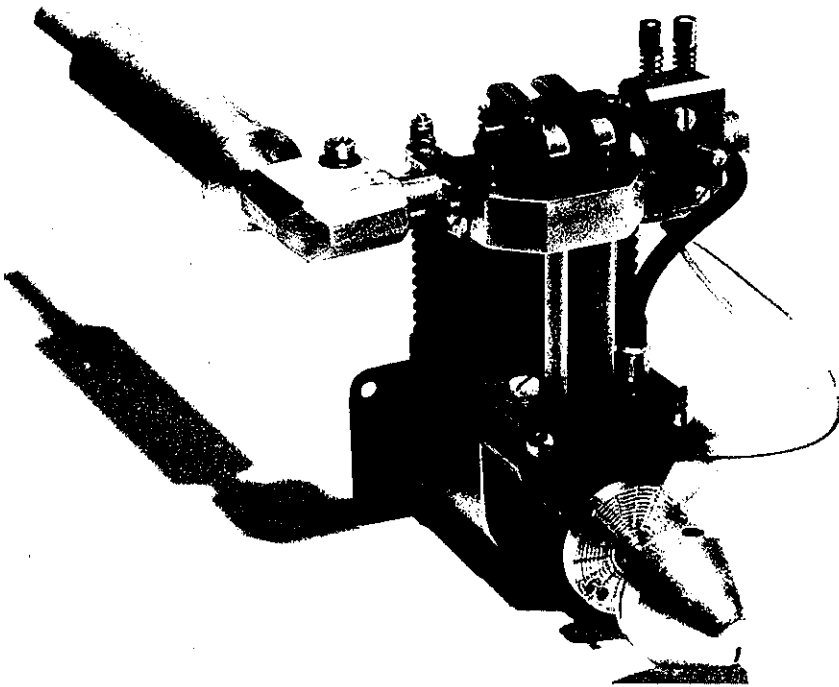
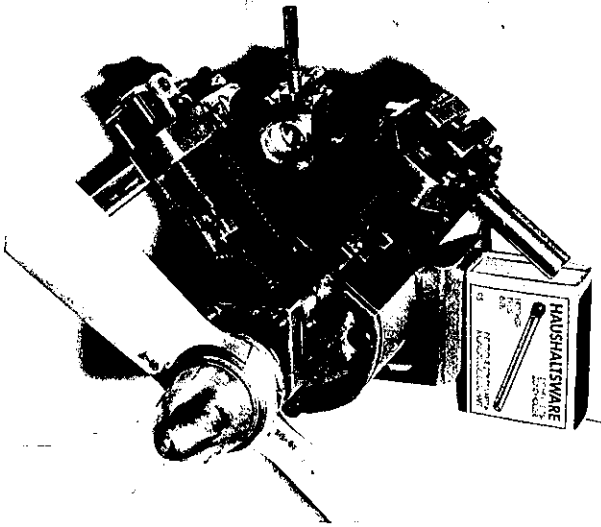


Abb. 14: Ansicht des in Kleinserie gebauten Viertakt-Modellmotors von E. Handt (1974), mit Aus-
puffschalldämpfer und Zweinadel-Schiebervergaser. Der Motor drehte bis 8000 U/min hoch und
erreichte mit 10 ccm Hubraum eine Leistung von 300 Watt.

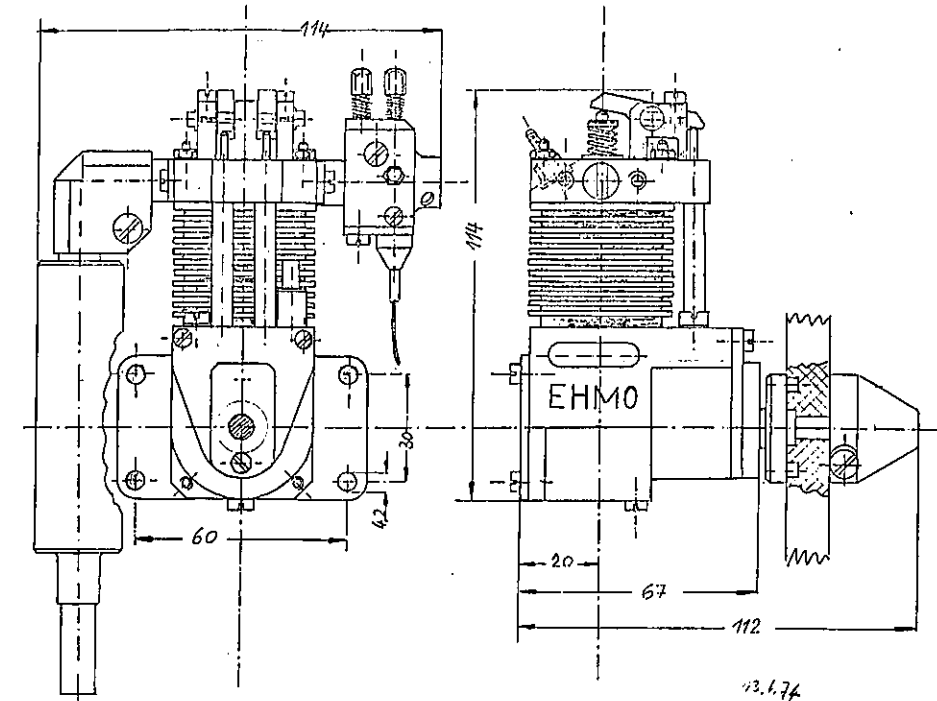


Abb. 15

stangen und Kipphebel. Der Motor entstand nach vielen Versuchen und lief zufriedenstellend nur mit Methanol als Kraftstoff, ohne Rizinusölanteil, so daß der Motor in kleiner Serie zwei Jahre später hergestellt wurde. Die Abbildung 12 zeigt einen Fünfzylinder-Sternmotor mit einer Dreiblattluftschraube. Der Motor lief nicht besonders zufriedenstellend, da die Gemischverteilung auf die einzelnen Zylinder nicht gleichmäßig war. Ebenfalls nicht in Serie ging der in Abbildung 13 gezeigte V-Motor.

Die Abbildungen 14 und 15 zeigen einen der ersten Viertakt-Modellmotoren mit Glühzündung aus der Kleinserie von Ing. Handt. Es wurde damals von vielen Motorenherstellern angezweifelt, daß die Glühzündung auch bei einem ventilsteuerten Kleinmotor funktionsfähig wäre und daß ein solcher Motor sich auch bis auf Leerlauf drosseln lassen würde. Herr Handt verwendete Glühkerzen aus dem Handel, die eigentlich nur für Zweitaktmotoren vorgesehen waren. Wenn die Motoren mechanisch einwandfrei waren, also dichte Ventile und Zylinderkopfdichtungen hatten, so liefen die EHMO-Motoren gleichmäßig und zuverlässig. Die Leistung der Motoren war noch bescheiden, so um 300 Watt brachte ein 10-ccm-Viertakter bei 8000 U/min. Als Kraftstoff wurde nur reines Methanol verwendet. Die Schmierung erfolgte über Spritzöl aus dem Kurbelgehäuse. Das Kurbelgehäuseöl war normales HD-Automotorenöl. Da die Motoren keinen Ölabbstreifring hatten, ergab sich auch ein recht hoher Ölverbrauch. So alle 15 Laufminuten mußte das Öl in dem Kurbelgehäuse ergänzt werden. Diese umständliche Kontrolle des Ölstandes trübte die Freude so mancher Bastler an den EHMO-Motoren.

Probleme gab es anfänglich mit den Ventilen. Herr Handt hatte an den Ventilteller den Ventilschaft nur hart angelötet. Diese Lötung widerstand aber den hohen Tem-

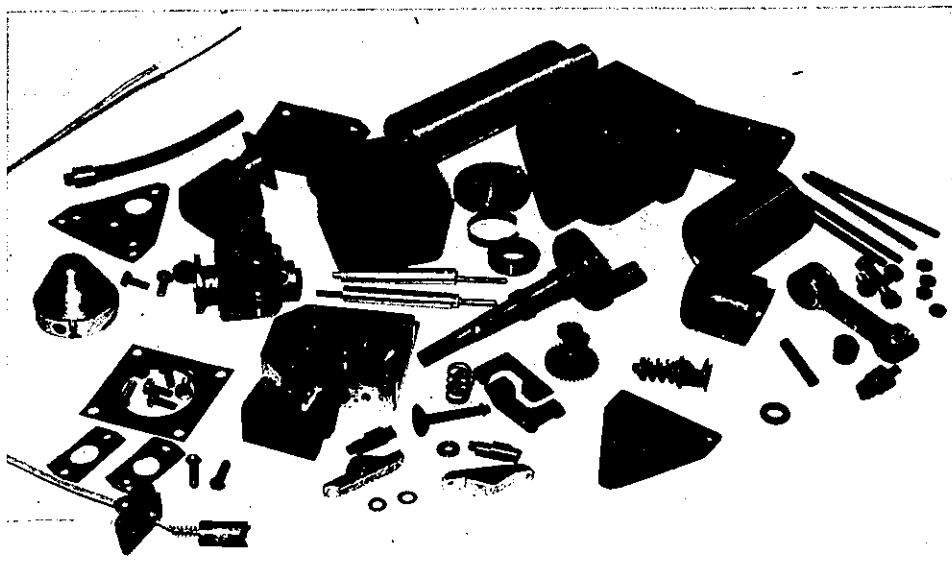


Abb. 16: Einzelteile des Viertaktmotors von Ing. E. Handt (1975). Der Pleuelzapfen war in der Pleuelwange eingesetzt und der Pleuel am unteren Pleuelauge nadelgelagert. Als Zylinder diente ein Innenring eines Nadellagers mit 25 mm $\varnothing$ Bohrung.

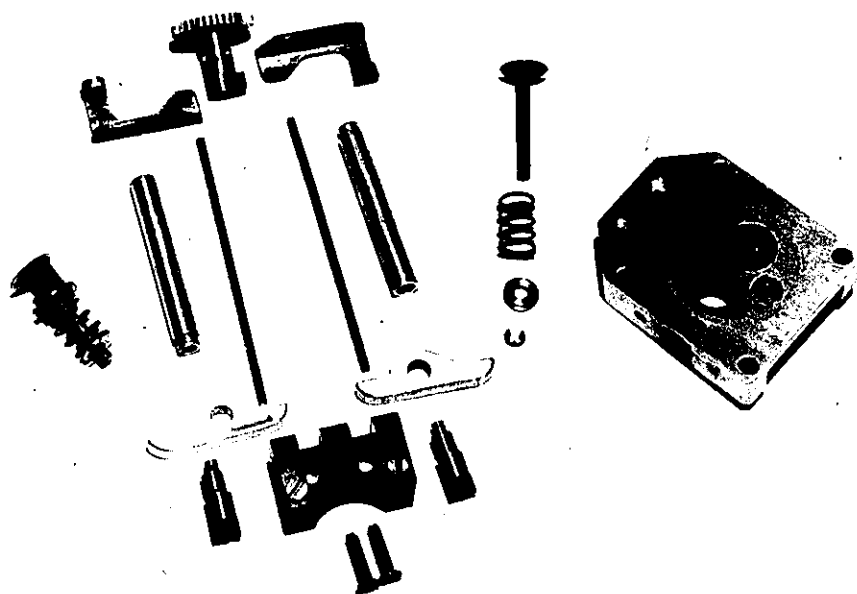


Abb. 17: Steuerungsteile. Die Stößelstangen wurden über Schlepphebel von der montierten Pleuelwange aus angetrieben. Die Kipphebel sind ebenso wie der Pleuelkopf aus Aluminium. Keine Ventilsitzringe. Ventileinstellung über Exzenter an der Kipphebelachse.

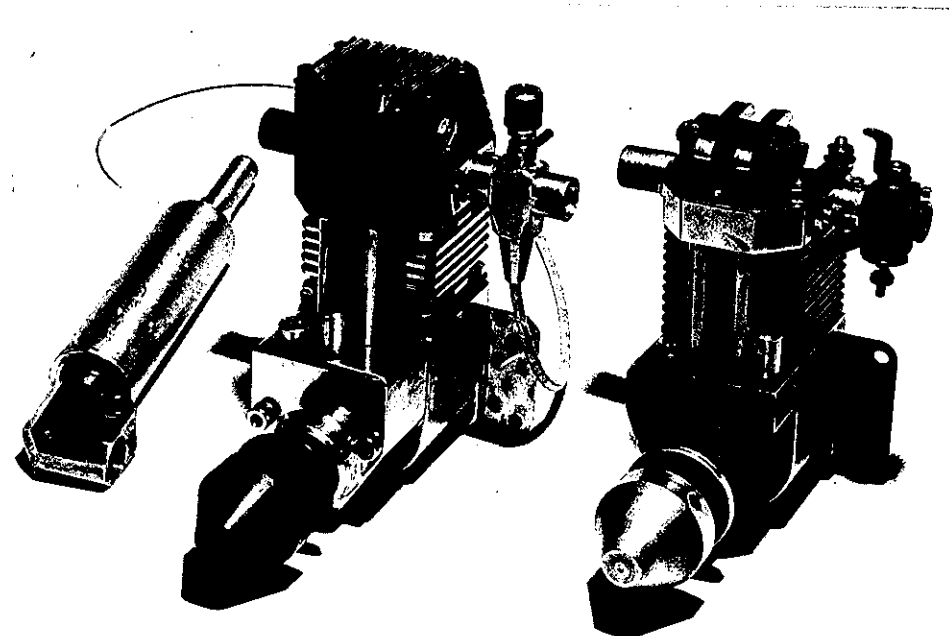


Abb. 18: Modellmotoren mit 10 ccm Hubraum aus der Fertigung von Ing. E. Handt. Der linke Motor mit ganz geschlossenem Pleuelkopf stammt aus einer Serie von 1976. Er erreichte bei einer Drehzahl von 9800 U/min eine Leistung von 380 Watt. Als Vergaser diente ein Schiebervergaser mit Bowdenzugansteuerung.

peraturen nicht, und öfters löste sich der Ventilteller vom Schaft und zerstörte den Motor. Mit Ventilen, ganz zerspanend und aus einem Stück gedreht, gab es dann keine Schäden mehr. Ebenso zeigte der Vergaser keine optimale Gemischaufbereitung. Die Einstellung über zwei sich gegenseitig beeinflussende Nadelventile und die Ansteuerung des Luftschiebers über einen Nylonzug waren zu umständlich und unbrauchbar. In der Folge wurde der Vergaser durch einen Perry-Vergaser von einem 3,2-ccm-Zweitaktmotor ersetzt, doch lockerte sich dieser Vergaser öfters. Der Perry-Vergaser hatte ein Kunststoffgehäuse, und das erweichte durch die Pleuelkopfhitze bei ungünstiger Pleueluftzufuhr.

Einen mechanischen Schwachpunkt stellten die Pleuelwelle und das Pleuellager im unteren Pleuelzapfen dar. Der in die Pleuelwange eingeschraubte und vernietete Zapfen für das Pleuellager lockerte sich, und der Motor würgte die Pleuelstange ab. Auch das Pleuellager machte die der Motordrehzahl überlagerte Schwenkbewegung der Pleuelstange und damit die stark schwankende Drehzahl des Lagers während einer Motorumdrehung nicht mit. Es gab öfters Käfigbruch und Lagerschäden. Wie man sieht, tauchten bei dem Serienmotor in den Händen der Kunden ganz andere Probleme auf, als Herr Handt bei der Konstruktion und Entwicklung des Prototyps befürchtet und ausgemerzt hatte. Von den gebauten Motoren der ersten Kleinserie kamen nur wenige mit den oben angeführten Mängeln zurück. Offensichtlich verwendeten nur wenige Käufer den Motor auch wirklich in Modellen, die meisten Motoren der ersten Serie verschwanden in Modellmotorensammlerkreisen.

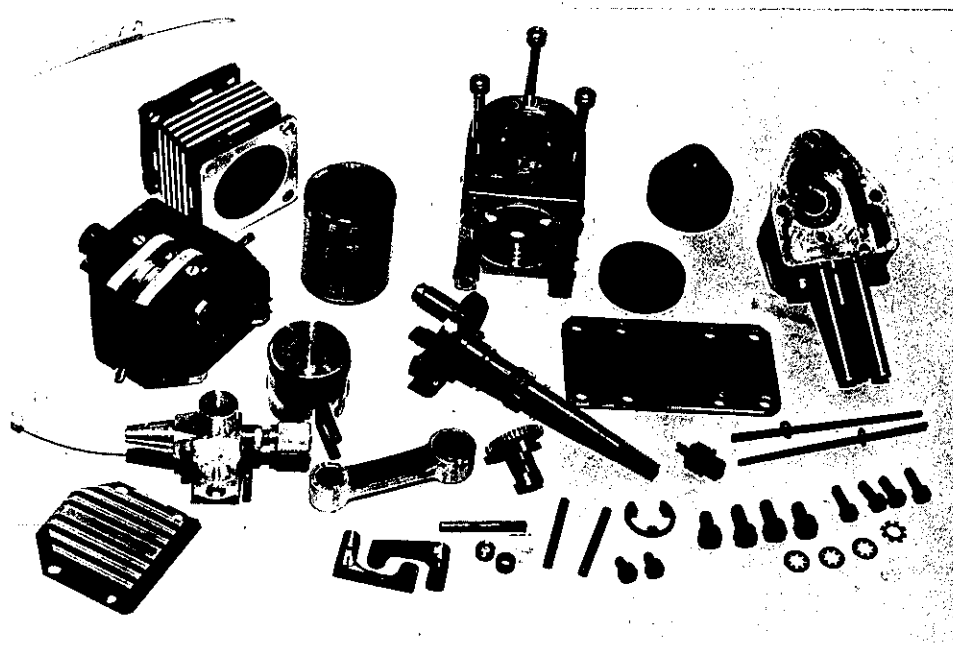
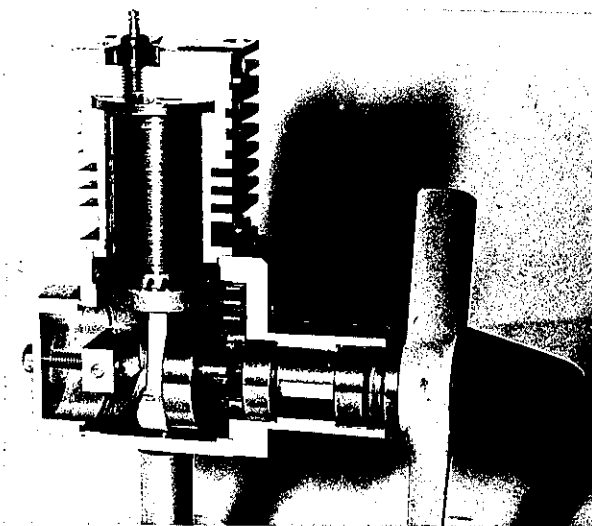


Abb. 19: Einzelteile des Viertaktmodellmotors von Ing. E. Handt aus dem Jahr 1976. Die Nockenwelle wird über ein schmales Zahnrad von der Kurbelwelle aus angetrieben. Der Pleuel ist am Kurbelzapfen nadelgelagert. Die Kurbelwelle ist aus einem Rohling für ein Dieselmotorenventil zer-spanend hergestellt, der harte Kurbelzapfen eingeschrumpft.

Die Weiterentwicklung des EHMO-Viertaktmotors zeigt die Abbildung 18. Neben dem EHMO-Motor mit offenem Kipphebelwerk und Perry-Vergaser am Zylinderkopf, wie er als letzte Serienversion in den Handel kam, ist links ein Motor aus einer kleinen Serie zu sehen mit ganz geschlossenem Zylinderkopf. Dieser Motor wurde nicht mehr mit reinem Methanol betrieben, sondern dem Kraftstoff war, wie bei einem Zweitaktmotor, etwas Schmieröl beigemischt. Dieses zugemischte Öl gelangte am Kolben vorbei ins Kurbelgehäuse und ergänzte so immer den Schmieröl-vorrat im Motor. Wenn als Schmieröl Rizinusöl verwendet wurde, das sich gut mit Methanol mischt, so verharzte der Motor schon nach wenigen Tagen Stillstand. Rizinusöl wurde bei der Verbrennung im Zylinder anoxidiert, chemisch ausgedrückt, oder für den Laien verständlicher, harzig, und dieses stark geschädigte Öl sammelte sich im Kurbelgehäuse der Motoren. Das mußte Probleme geben!

Die Lösung bot sich erst, als synthetische Öle entwickelt waren, die sich noch mit Methanol mischten. Automotorenöle auf Mineralölbasis mischen sich nicht mit Methanol. Die Firma Webra war die erste Firma, die zunächst solche Kraftstoffe, nur für Zweitaktmotoren gemischt, anbot. Die kleine Schar der Viertaktmotorenbesitzer merkte schnell, daß dieser Kraftstoff mit synthetischem Öl einer Konstanzer Spezialfirma für Sonderöle bestens für die Motoren geeignet war. Von der Firma Webra wurde daraufhin noch eine besondere Mischung mit Zündbeschleunigerzusätzen für Viertaktmotoren zusammengebraut und in den Handel gebracht.

Abb. 20: Schnittmodell des drehschiebergesteuerten Viertaktmotors von Herrn Dylla. Bei dem Motor rotiert der ganze Zylinder mit $1/4$ der Kurbelwellendrehzahl um den Kolben. Der Zylinder wird oben durch einen Flachdrehschieber verschlossen, der über eine Öffnung Ansaugöffnung und Auspuff sowie Zündkammer ansteuert. Konstruktion aus dem Jahr 1977.



Ein Münchner Student des Maschinenbaus an der dortigen Hochschule baute einen Viertaktmodellmotor ohne Ventilsteuerung. Sein Motor hatte eine Schiebersteuerung, wobei sich der ganze Zylinder mit einer integrierten Schieberplatte am Zylinderende drehte. Die Abbildung 20 zeigt einen Schnitt durch diesen Motor aus dem Jahre 1977. Über ein Zahnradvorgelege wird über Kegelräder, 1:4 untersetzt, der Zylinder gedreht. Der Kolben mit Kolbenring gleitet dabei in dem sich drehenden Zylinder auf und ab. Gesteuert werden der Gaswechsel und die Zündung durch eine Glühkerze in einer Art Vorkammer, durch Bohrungen im Zylinderkopf und in der Schieberplatte. Der Motor lief erstaunlich gut und sprang auch mit Anwerfen am Propeller von Hand an. Allerdings litt der Motor mechanisch unter der großen Reibung zwischen Zylinderkopf und Schieberplatte bei der Verbrennung und der weichen, weit auskragenden Kurbelwelle zum Pleuelzapfen hin. Mechanisch wäre der Motor sicher in Griff zu bekommen gewesen, es blieb aber ein Problem unüberwindlich: Bei der Verwendung von Kraftstoffen mit Rizinusölanteilen gab es Ölkohle im Zylinder-Brennraumbereich. Synthetische Öle, die rückstandsfrei zerfallen, widerstanden den hohen Temperaturen im Zylinder nicht, es gab hohen Verschleiß am Kolbenring und Zylinder. Die Kühlung war durch den isolierenden Schmierfilm zwischen Zylinder und Kühlrippenteil nicht zu verbessern. So blieb der Dylla-Motor eine interessante Lösung für das Steuerungsproblem an kleinen Viertaktmotoren, das vielleicht einmal später wieder von einem Motorenkonstrukteur aufgegriffen wird und erfolgreich angewendet werden könnte.

Von der Firma OS in Japan kamen 1978 erste Meldungen, daß ein 10-ccm-Modellmotor mit Ventilsteuerung, also ein Viertakter, in der Entwicklung sei. Offensichtlich hatte ein Artikel über die Viertaktmotoren und deren Entwicklung durch Herrn Ing. Handt in einer englischen Modellbauzeitschrift die Japaner angeregt, sich auch mit dieser Motorenbauart zu beschäftigen. Nach der Spielwarenmesse in Nürnberg 1979 kam der OS-FS 60 in den Handel. Der Motor machte äußerlich einen perfekten Eindruck: ein bei den Japanern übliches Druckgußgehäuse und auf dem verrippten Zylinderkopf eine Brücke mit Kipphebeln und Ventildfedertellern. Der Gehäusedeckel hatte einen kleinen zylindrischen Fortsatz, und daheraus wurden die beiden Stoßstangen zu den Kipphebeln über Stößel angetrieben. Aus Gründen des Ein-

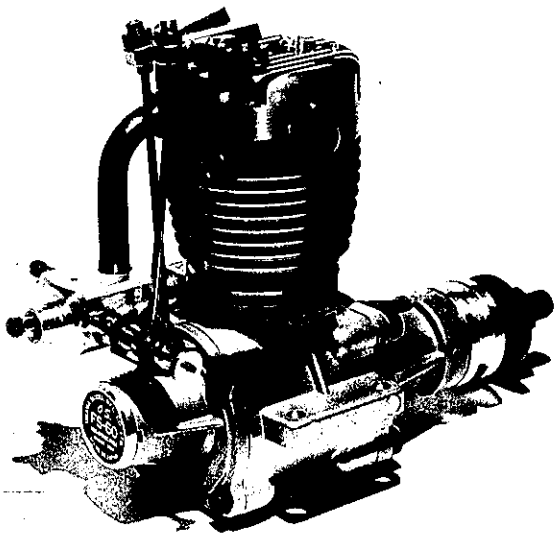


Abb. 21: Ansicht des ersten von OS in Japan in Serie gebauten Viertakt-Modellmotors. Der Motor hatte 10 ccm Hubraum und noch Leichtmetallkipphebel. Der Motor kam 1979 in den Handel und erreichte 430 Watt bei 10 000 U/min.

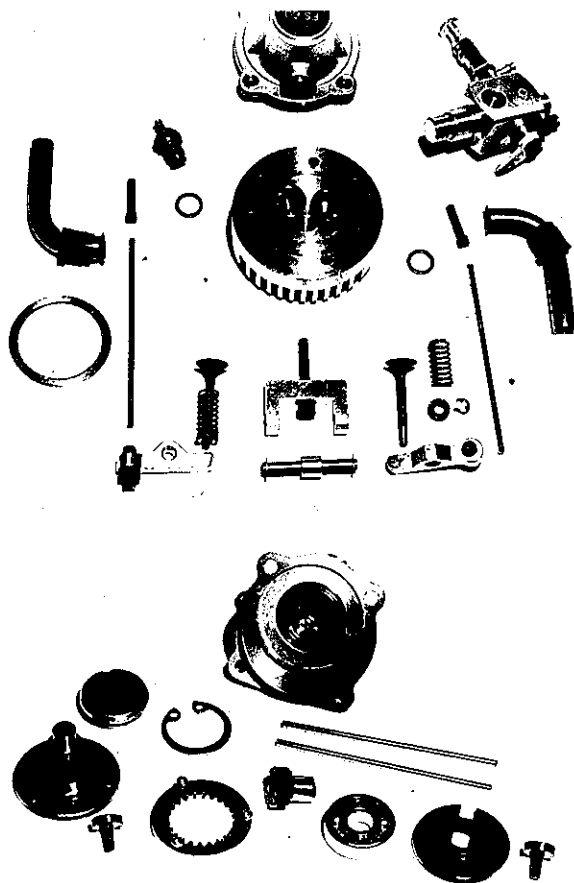


Abb. 22 und Abb. 23: Zylinderkopf und Steuerungseinzelteile des OS-FS-60-Viertaktmodellmotors aus dem Fertigungsjahr 1979. Die Nockenwelle wird über ein innenverzahntes Zahnrad angetrieben. Der Motor hatte kaum Ventilüberschneidung und daher einen exzellenten ruhigen Leerlauf unter 1500 U/min.

baus in bisher von Zweitaktmotoren angetriebene Modelle war der Vergaser kurz über dem Gehäusedeckel angeordnet. Bei den ersten Motoren, die ausgeliefert wurden, waren die Kipphebel aus Leichtmetall geätzt und an den Angriffsstellen zum Ventil mit eingesetzten Stahlpilzen gepanzert. Die Abbildung 21 zeigt den Motor schräg von hinten gesehen.

Der OS-FS 60-Modellmotor hatte einen hohen Kaufpreis, er war wesentlich teurer als ein vergleichbarer Zweitaktmotor. So wurde der Motor nur zögernd vom Modellbaumarkt aufgenommen. Die Leistung mit 430 Watt bei 10000 U/min Höchstdrehzahl war bescheiden, gemessen an der Leistung eines Zweitaktrennmotors gleichen Hubraums. Der OS-Viertakter entsprach in der Leistung einem normalen 5-ccm-Zweitaktmotor. Sehr angenehm war der geringe Auspufflärm, der, obgleich zunächst kein Schalldämpfer für den Motor lieferbar war, leiser und im Ton dumpfer als die heulenden gleichstarken Zweitakter war. So begeisterten sich langsam Modellbauer mit Lärmproblemen und Lärmauflagen auf den Fluggeländen für die neue Modellmotorenbauart.

Probleme hatte der Motor mit dem Vergaser. Die Gemischeinstellung für Leerlauf und Vollgas gelang nicht bei allen Exemplaren. OS spendierte dem Motor in der Folge einen neuen Vergaser und Kipphebel aus geschmiedetem Sinterstahl. Perfekter im Vergaser und schon mit geschmiedeten Kipphebeln aus gehärtetem Stahl war der zweite Modellmotor mit Viertaktsteuerung aus Japan, der KALT-FC 1. Dieser Motor kam 1979 ebenfalls auf den Markt und brachte bei nur 7,5 ccm Hubraum eine Leistung von 440 Watt bei 12 000 U/min Höchstdrehzahl. Der Motor hatte

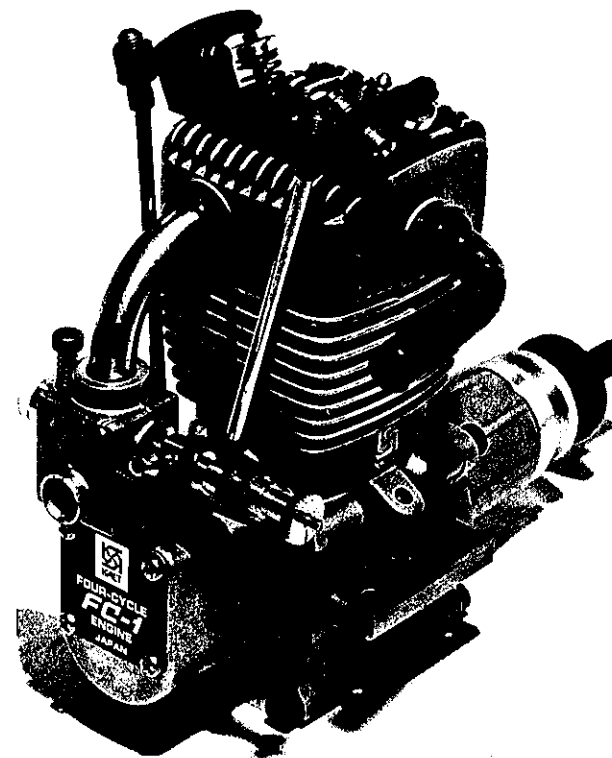


Abb. 24: Viertaktmodellmotor mit schräg hängenden Ventilen der japanischen Modellbaufirma Kalt. Der Motor hatte 7,5 ccm Hubraum und brachte eine Leistung von 440 Watt bei 9000 U/min. Die Höchstdrehzahl lag bei 12 000 U/min. Baujahr des Motors 1979.

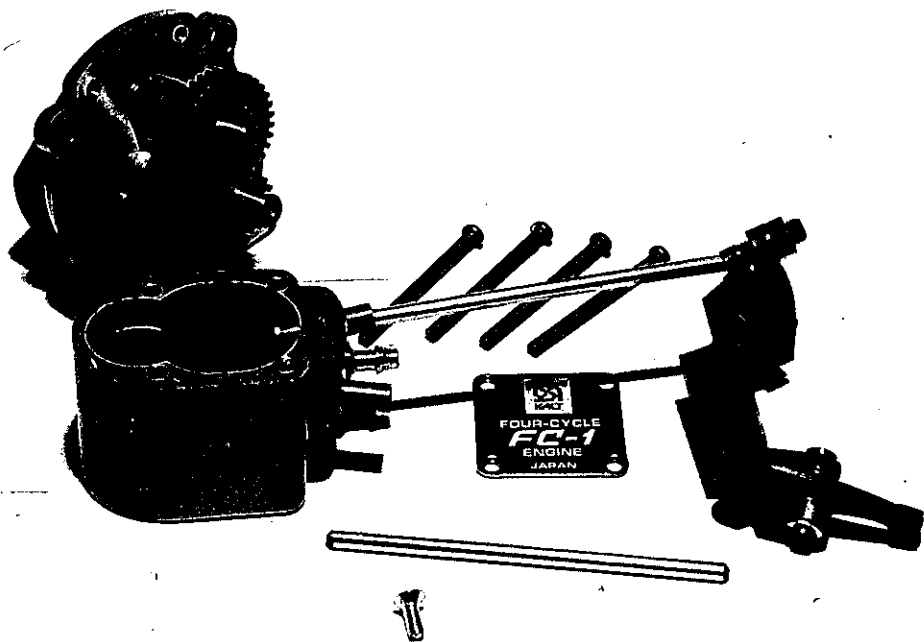


Abb. 25: Steuerungsteile und Nockenwellbetrieb des Modellmotors KALT FC 1. Die Kipphebel waren aus Stahlfeinguß und oberflächengehärtet. Die Nockenwelle war aus einem Stück und die Nockenkontur kopiergefräst und gehärtet. Die Pilzstößel liefen im Steuergehäusemetall.

schräg im Zylinderkopf hängende Ventile mit großem Steuerquerschnitt. Die Steuerzeiten der Ventile entsprachen eher denen, die bei Automotoren üblich sind. Der Kalt-Motor hatte eine größere Ventilüberschneidung und längere Öffnungszeiten der Ventile als der OS-FS 60. Dennoch lief der Motor auch bei Leerlaufdrehzahlen unter 1800 U/min gleichmäßig durch und drehte stotterfrei bis über 14 000 U/min hoch. Leider gab die Firma Kalt bald die Fertigung dieses Motors auf, der Preis des Motors war zu hoch und wurde von OS unterboten. Im Jahre 1982 wurde nochmals von Kalt eine neue Serie dieses Motors aufgelegt, allerdings vorwiegend mit einer elektronischen Funkenzündung ausgestattet.

Neben dem Kalt-Motor wurde noch von einem dritten japanischen Hersteller ein Viertaktmotor entwickelt. Die Firma Saito war bis dahin nur bekannt als Hersteller hochwertiger Dampfmaschinen und Dampfmotoren. Diese Firma wagte sich ebenso wie zuvor die Firma Kalt an die Entwicklung eines Viertaktmotors. Das Ergebnis konnte sich sehen lassen. Es war ein 5-ccm-Modellmotor mit schräghängenden Ventilen und einer Nockenwelle über der Kurbelwelle. Mit 295 Watt bei 12 500 U/min reichte die Leistung des Motors gerade aus, einen Motorsegler anzutreiben. Der Motor konnte als Ersatz für Elektromotorenantrieb in Flugmodellen verwendet werden.

Den SAITO FA-30 gab es nicht nur als Flugmotor, sondern auch mit einem Wasserkühlmantel um den Zylinder als Bootsmotor. Der Motor wurde von den Modellbauern gut aufgenommen, wenn auch viele Benutzer Kummer mit dem Vergaser hatten. Das Leerlaufgemisch war nur sehr schwer einzuregeln, und auch die Ge-

Abb. 26: Der japanische Viertaktmotor der Firma Saito. Der Motor kam zunächst als Flugmotor heraus, wurde aber kurz danach auch als Marinemotor angeboten. Das Foto zeigt den SAITO FA 30 Marine mit Wasserkühlmantel und Schwungscheibe. Der Motor erreicht 295 Watt Leistung bei 12 500 U/min aus einem Hubraum von 5 ccm.

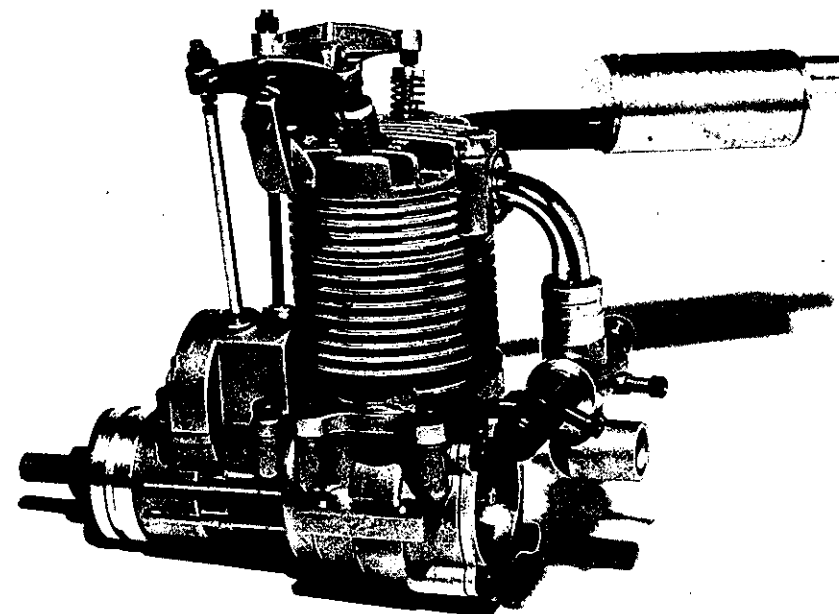
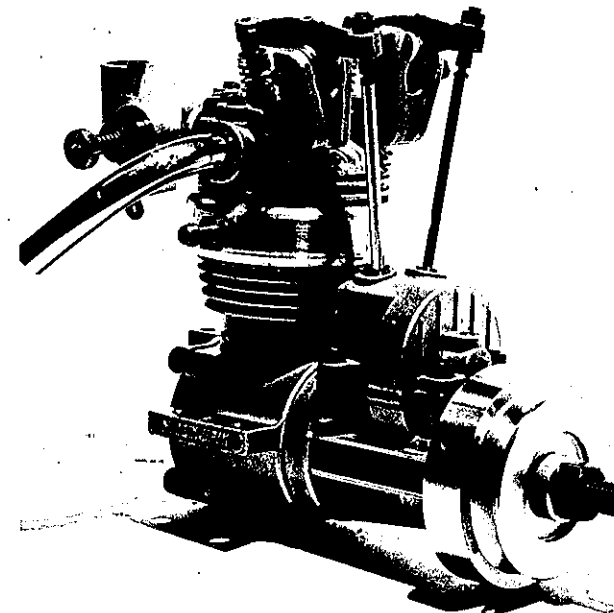


Abb. 27: Die Weiterentwicklung des SAITO FA-30-Motors zu einem Typ mit 6,58 ccm Hubraum. Bei diesem SAITO FA 40 wird der Zylinder mit vier Schrauben auf dem Lagergehäuse gehalten, der Vergaser ist tiefer mit längerem Saugrohr angeordnet. Baujahr 1980.

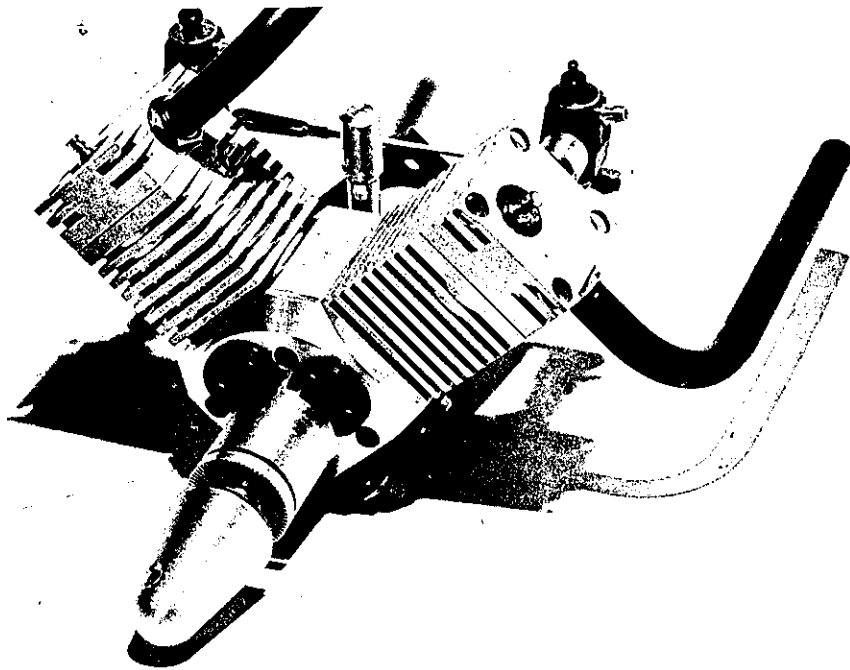


Abb. 28: Ein V-Motor mit 90°-V-Winkel. Der Motor besteht aus zwei Schiebermotoren der Bauart Dylla mit rotierenden Zylindern und Flachdrehschiebern im Zylinderkopf. Der Motor hatte 11,5 ccm Hubraum und eine Leistung von 480 Watt bei 11 000 U/min. Baujahr 1977/78.

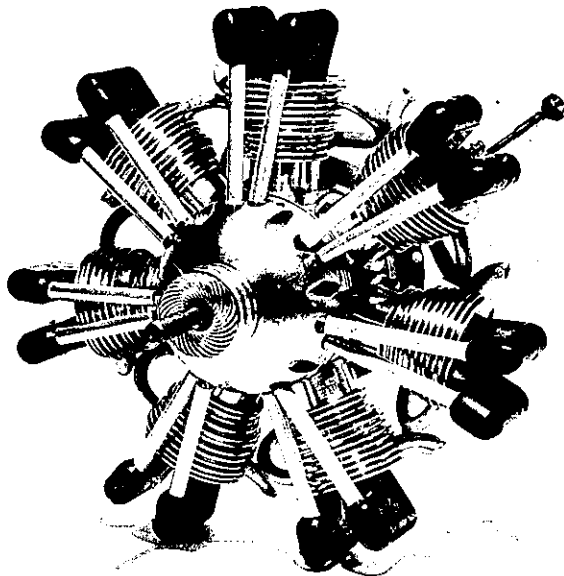


Abb. 29: 7-Zylinder-Sternmotor von der USA-Firma Technopower Inc. in Oakland/III. Der Motor hatte 22,13 ccm Gesamthubraum und brachte eine Leistung von ca. 450 Watt bei 9000 U/min. Gewicht 745 Gramm. Motor wird seit 1979 produziert.

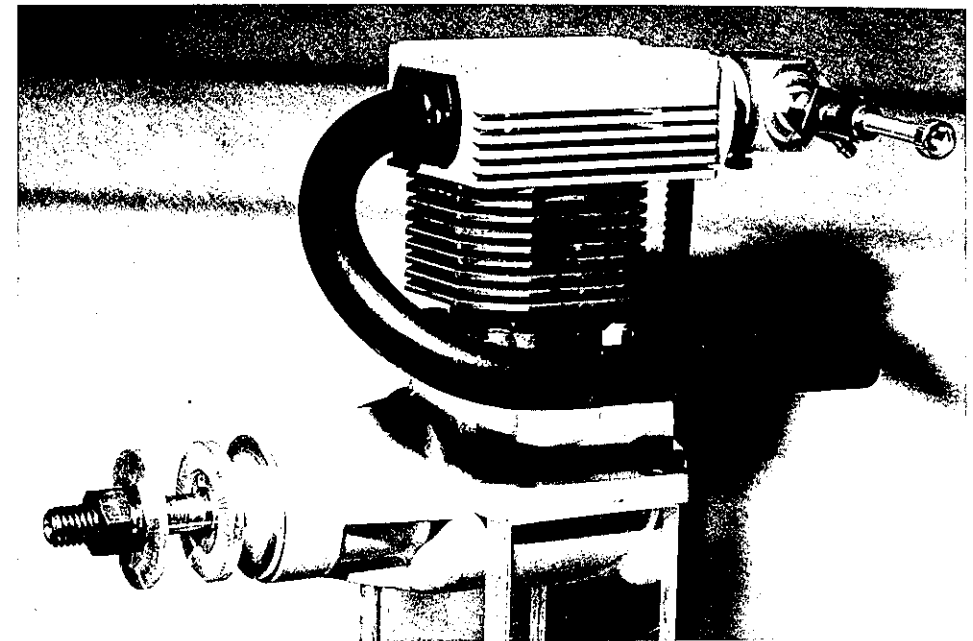


Abb. 30: Auf der Nürnberger Spielwarenmesse 1978 gezeigter Viertaktmodellmotor der Firma Webra – Enzesfeld/Österreich. Der Motor hatte bei 15 ccm Hubraum einen Walzenschieber im Zylinderkopf ähnlich der Bauart CROSS. Es konnte aber das Kühl- und Abdichtproblem des Walzenschiebers nicht zufriedenstellend gelöst werden, der Motor blieb ein Musterstück und wurde durch einen Motor mit Kegelschieber abgelöst.

mischeinstellung für Vollgas war sehr kritisch. Ein weiter entwickelter Motor kam von Saito 1980 auf den Markt, der SAITO FA-40 und kurz danach der SAITO FA-45. Bei diesen Motoren lag der Vergaser kurz über dem Gehäusedeckel und unterschied sich auch wesentlich im Aufbau von dem Vergaser des SAITO FA-30. Für diese Motoren gab es auch Nachschalldämpfer mit Druckabnahme für einen Drucktank und damit für gleichmäßigeren Kraftstoffzufluß zum Vergaser. Das ungeschützt über dem Zylinderkopf liegende Kipphebelwerk der Saito-Motoren wurde bei Abstürzen oder Landungen mit nach unten hängendem Zylinderkopf öfters beschädigt. Dennoch hatte der Motor viele Freunde und Käufer gefunden.

Ab 1979 entstanden viele Viertaktmodellmotoren. Als Beispiel möge der Dylla-V-90°-Motor in der Abbildung 28 oder der in der Abbildung 29 gezeigte 7-Zylinder-Sternmotor dienen. Dieser Sternmotor hatte noch einen kleineren Bruder mit 5 Zylindern. Die Leistung dieser Motoren war bescheiden, der 7-Zylinder brachte es gerade auf 450 Watt aus insgesamt 22,13 ccm Hubraum. Der Vorteil des Motors lag mehr in der Laufruhe, da sich die oszillierenden Massen eines Sternmotors mit einem einzigen Gegengewicht an der zentralen Kurbelwelle vollständig ausgleichen lassen. Mit der bescheidenen Leistung kann nur ein leichtes Flugmodell angetrieben werden, das nur erfahrene Modellbauer zusammenleimen können. Auch schreckte der hohe, mehrere tausend Mark betragende Preis ab.

Die Firma Webra begann schon 1977 mit der Entwicklung eines Viertaktmodellmotors. Diese Firma spezialisierte sich auf Motoren mit Schiebersteuerung. Auf der Nürnberger Spielwarenmesse 1978 zeigte Webra einen Viertaktmotor mit Walzen-

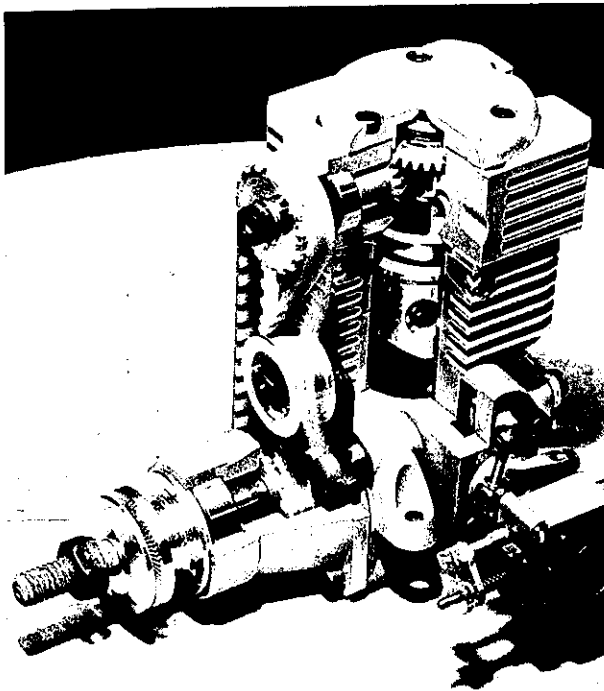


Abb. 31: Der ab 1979 von der Firma Webra – Berlin ausgelieferte Viertaktmodellmotor WEBRA 4T mit 15 ccm Hubraum und Kegeldrehschiebersteuerung im Zylinderkopf. Der Motor saugte bei den ersten Motoren dieser Serie über ein Flatterventil durch das Kurbelgehäuse an. Motoren ab 1981 hatten den Vergaser am Zylinderkopf. Schnittmodell der Nullserienmotoren.

schieber der Bauart Cross im Zylinderkopf. Der Schieber wurde von einem Zahnriemen angetrieben. Am Messestand wurde aber von Webra betont, daß der Motor zwar sehr leistungsfähig sei und keinem Zweitaktmotor in der Leistung nachstehe, daß aber thermische Probleme und Abdichtschwierigkeiten bestünden. Leider zeigte sich, daß diese Probleme in der Größe eines Modellmotors nicht zu beseitigen sind, so entwickelte Webra diesen 15-ccm-Viertaktmotor mit einem Kegelschieber der Bauart Aspin neu.

Die Abbildung 31 zeigt ein Schnittmodell des dann 1979 auf der Messe gezeigten Webra-4T-Motors. Über Zahnriemen und Kegelräder wurde der Kegelschieber im Zylinderkopf angetrieben. Die Gaskräfte aus dem Verbrennungsdruck wurden bei dem Motor am Kegelschieber über ein Axialkugellager abgestützt. Interessant war, daß er, seitlich über ein Flatterventil gesteuert, ein Methanol-Ölgemisch ansaugte und dann dieses Gemisch über eine außen am Motor verlaufende Rohrleitung in den Brennraum saugte. Es ergab sich zwar keine Aufladung des Motors durch den Kurbelgehäusedruck bei der Abwärtsbewegung des Kolbens, doch wurde so das angesammelte Altöl im Kurbelgehäuse immer abgesaugt und durch Frischöl aus dem Kraftstoff ergänzt. Die Leistung war wesentlich höher als die des bis dahin größten Serienmotors mit 10 ccm Hubraum. Optisch wirkte der Webramotor plump und eckig, auch war sein Laufverhalten rau und wenig zuverlässig. Der Aspin-Kegelschieber erwies sich als sehr empfindlich auf Schmutz und Ablagerungen auf der Brennraumseite. Der Motor wurde mehrmals geändert, der Vergaser wurde an den Zylinderkopf verlegt, doch alle Maßnahmen brachten dem Motor keinen dem Konstrukteur zu gönnenden Erfolg. Der Grund lag hauptsächlich im hohen Lärmpegel mit unangenehm hohen Tönen, die auch mit Schalldämpfern nicht zufriedenstellend gemindert werden konnten.

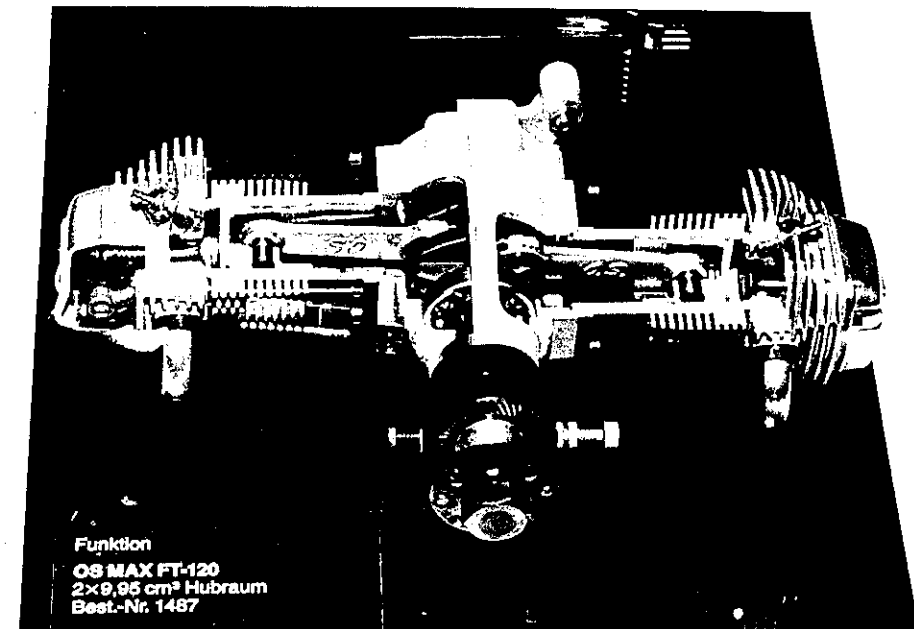


Abb. 32: Schnittmodell des 1979 auf der Nürnberger Spielwarenmesse gezeigten OS-Viertakt-Modellmotors mit zwei Zylindern in Boxeranordnung. Die Pleuel sind am unteren Lager geteilt und über zwei Schrauben zusammengefügt. Der Motor ist in Anlehnung an einen Continental-Flugmotor gestaltet. Hubraum 2x10 ccm. Leistung 880 Watt maximal bei 12 000 U/min.

Mit dem aus zwei OS-FS-60 heraus entwickelten Zweizylinder-Boxermotor OS-Max-FT-120 mit einem Zylinderkopf im verkleinerten Maßstab eines Continental-Flugmotors standen ab 1979 dem Modellbauer und Liebhaber vorbildgetreuer Flugmodelle ein ausreichend starker und dazu hervorragend aussehender Motor zur Verfügung. Der Preis war angemessen für diese feinmechanische Meisterleistung der japanischen Firma. Aufwendige Druckgußteile und ganz geschlossene Ventilräume zeichneten den Motor aus. Graupner, der deutsche Importeur dieses Motors, brachte gleichzeitig ein vorbildgetreues Modell speziell für diesen Motor heraus. Auf den nun für Flugmodelle mit Viertaktmotoren abgehaltenen Wettbewerben wurde die Mehrzahl der Flugmodelle mit diesem Boxermotor angetrieben.

Auch dieser Motor hatte noch bei den ersten ausgelieferten Serienmotoren Schwachstellen. Vor allem klappte die Gemischverteilung auf die beiden Zylinder von dem zentralen Vergaser nicht in allen Drehzahlbereichen. Meist setzte einer der Zylinder im Leerlauf aus, so daß der Motor nur mit halber Leistung auf einem Zylinder weiterlief. Von OS wurden verschiedene Änderungen am Vergaser und Gemischverteiler vorgenommen. Danach liefen einige Motoren wirklich zufriedenstellend, andere Motoren wurden von den Besitzern auf eine Zweivergaseranlage umgebaut, die dann jeden Zylinder exakter mit korrektem Gemisch versorgte.

Die Leistung des OS-Boxermotors reichte knapp aus für so manches etwas zu schwer geratene Flugmodell. Es wurde versucht, die Leistung des OS-Motors zu übertreffen. Dazu wurde von der Firma Schillings ein V-Motor mit je zwei obenliegenden Nockenwellen auf jedem Zylinder angepriesen. Der Hersteller hoffte auf

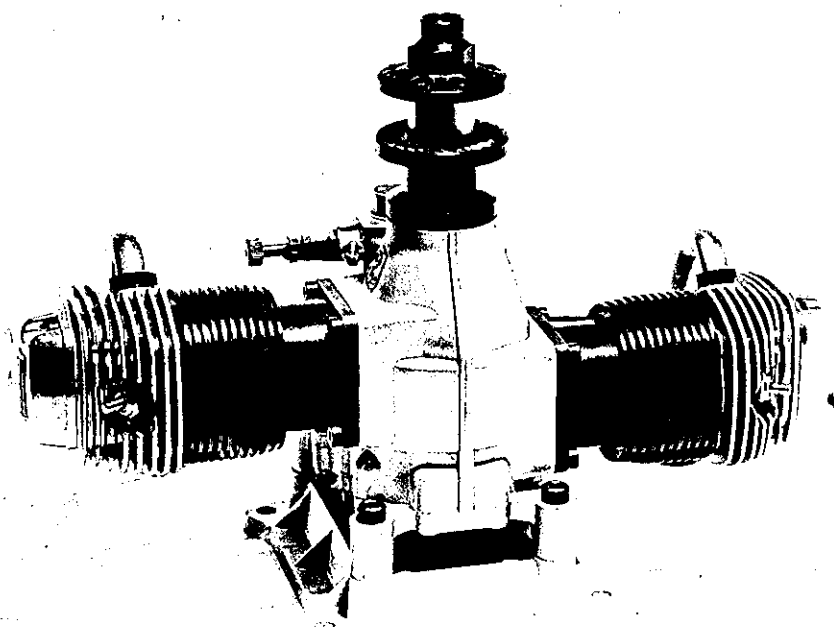


Abb. 33: Aufsicht des OS-Max-FT-120-Gemini-Modellmotors.

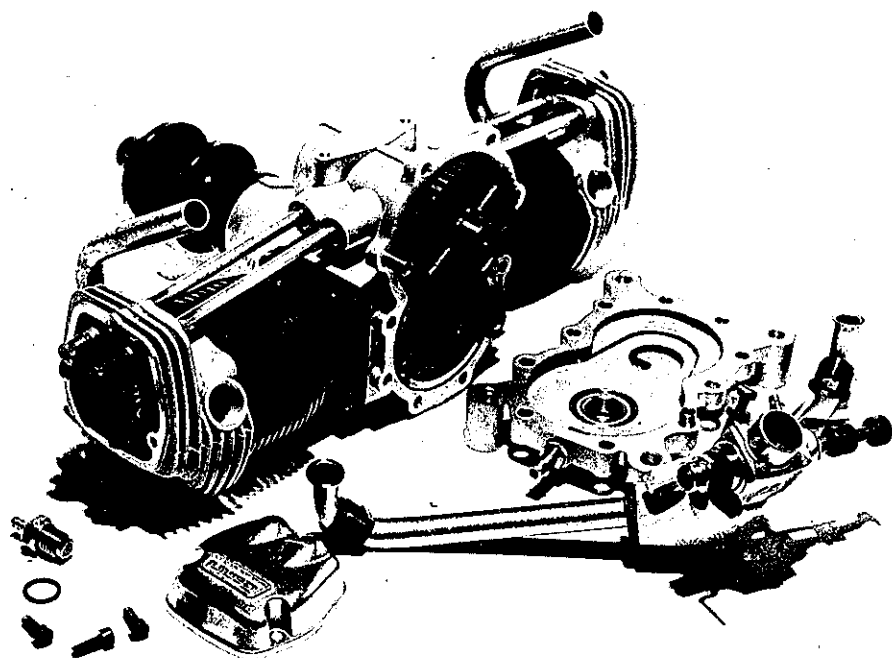


Abb. 34: Der OS-Max-FT-120-Gemini-Modellmotor mit geöffnetem Antrieb der unten liegenden zentralen Nockenwelle. Ventildeckel abgenommen, ebenso das Saugrohr mit Vergaser.

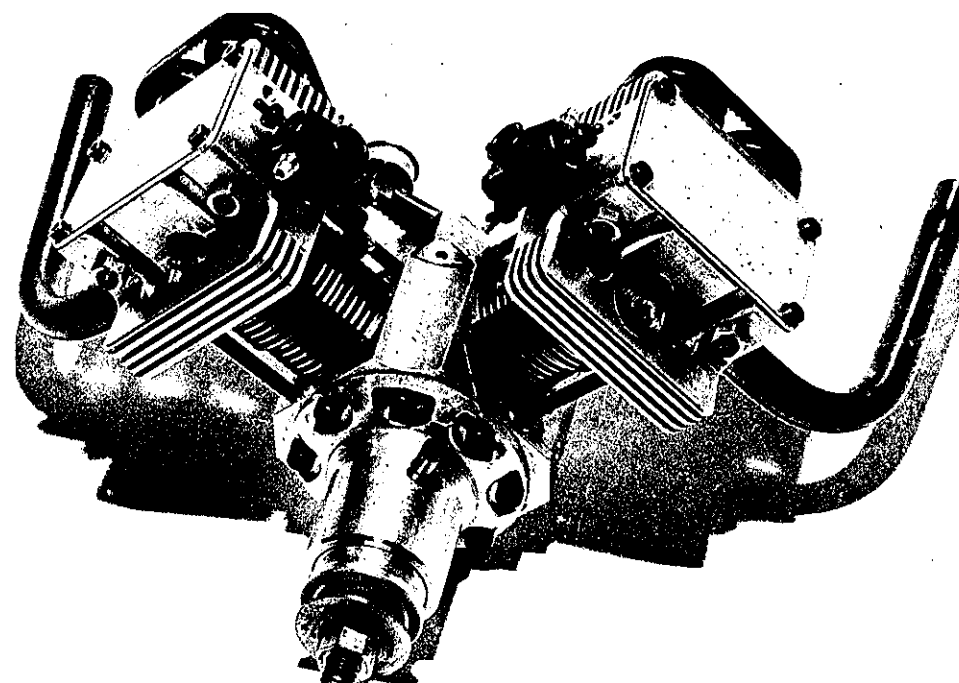


Abb. 35: Ein 1978 vorgestellter Modellmotor mit 2x10 ccm Hubraum und V-90°-Zylinderanordnung der Firma Schillings, Aalen. Der Motor hatte vier oben liegende Nockenwellen, die über einen Zahnriemen angetrieben wurden. Für den Motor wurde eine Leistung von 800 Watt bei 10 000 U/min vom Hersteller genannt.

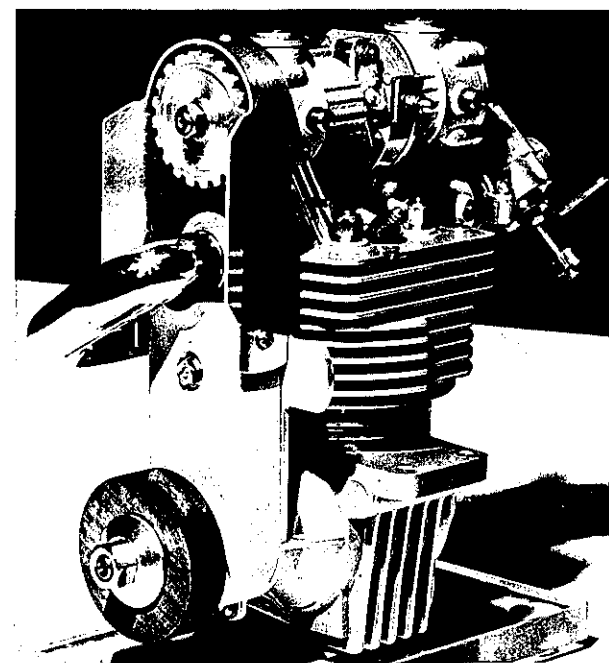


Abb. 36: Ein 1980 auf der Spielwarenmesse in Nürnberg von der Firma Gabor, Bologna, gezeigter Modellmotor mit oben liegender Nockenwelle, schräg hängenden Ventilen und Ventilzangssteuerung sowie Doppelzündung – Auspuffseite.

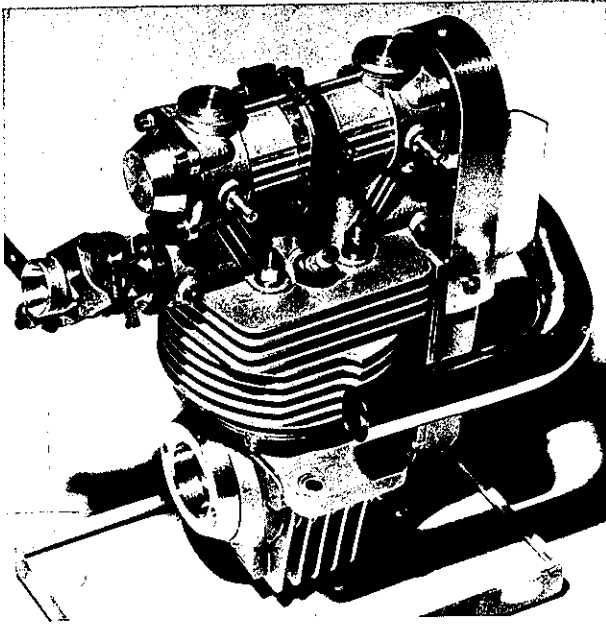


Abb. 37: Vergaserseite des in Bild 36 gezeigten Motors.

eine höhere Drehzahl bei diesem Ventilantrieb und damit auf eine höhere Leistung. Leider erwies sich das als ein Trugschluß. Der Schillings-Motor hatte, wie der OS, 2×10 ccm Hubraum und brachte bei guten Exemplaren nur 800 Watt Maximalleistung bei 10 000 U/min; über dieser Drehzahl brach die Leistung rapide zusammen.

Ein auf der Spielwarenmesse von einer italienischen Firma gezeigter Modellmotor mit 10 ccm Hubraum hatte zwei schräghängende Ventile im Zylinderkopf und eine Zwangssteuerung der Ventile, ähnlich der Bauart bei Motoguzzi-Motorradmotoren. Die Abbildungen 36 und 37 zeigen den Motor in Ansicht. Der Motor soll nach Angaben des Herstellers und Konstrukteurs bis über 15 000 U/min gedreht und dabei eine Leistung von 1,0 kW erreicht haben. Interessant war die Zündung mit einseitiger Glühzündung und auf der anderen Seite Funkenzündung. Leider kam für diesen Motor keine Serienherstellung zusammen. Es wurden nur 10 Motoren in Handserie gefertigt, die heute sicher ein Schmuckstück in so mancher Modellmotorensammlung sind.

Lange wurde von dem japanischen Modellmotorenhersteller Enya kein Viertaktmotor entwickelt. Überraschend kam 1980 der ENYA 35-4C heraus. Dieser Motor wirkte gedrungen, hatte zwei hintenliegende Nockenwellen und überraschte durch eine unglaublich hohe Hubraumleistung und hohe Drehzahlen. Die Firma Enya hatte mit diesem Motor bewiesen, daß bei 12 000 U/min Motordrehzahl 70 Watt/ccm Hubraum zu erzielen sind. Dieser Wert liegt nur 10 Watt unter dem theoretisch zu erzielenden Maximalwert.

Auch englische Hersteller von Modellmotoren griffen die Herstellung von Viertaktmotoren auf. Hier entstand dann, entsprechend der englischen Flugmotorenbauart von Bristol, ein schiebergesteuerter Modellmotor mit 10 ccm Hubraum. Der Flachschieber nach der deutschen Bauart DVL wurde von einer Königswelle, 1:4 unteretzt, angetrieben. Der als Muster 1981 gezeigte Motor war erst 1982 in einzelnen Exemplaren lieferbar. Diese Exemplare verschwanden alle in Sammlerkreisen.

Abb. 38: Viertaktmodellmotor der Firma Enya aus Japan. Der Motor hatte 5,7 ccm Hubraum und erreichte eine Leistung von 400 Watt bei 12 400 U/min. Die Ventile wurden von zwei einzelnen Nockenwellen aus über Stoßstangen und Kipphebel angetrieben. Baujahr 1980.

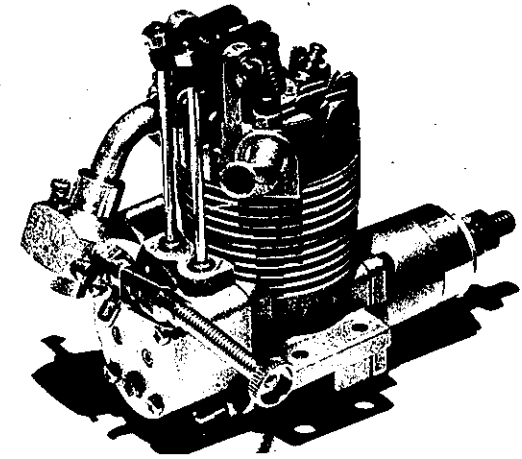


Abb. 39: Handmuster des in England produzierten Viertaktmodellmotors R.V.E mit 10 ccm Hubraum. Über eine Königswelle wird ein Flachschieber im Zylinderkopf des Motors unteretzt angetrieben. Der Motor soll bis 12 000 U/min hochdrehen und eine Leistung um 500 Watt abgeben. Das Muster des Motors wurde 1981 erstmals gezeigt, lieferbar ist der Motor ab 1982.

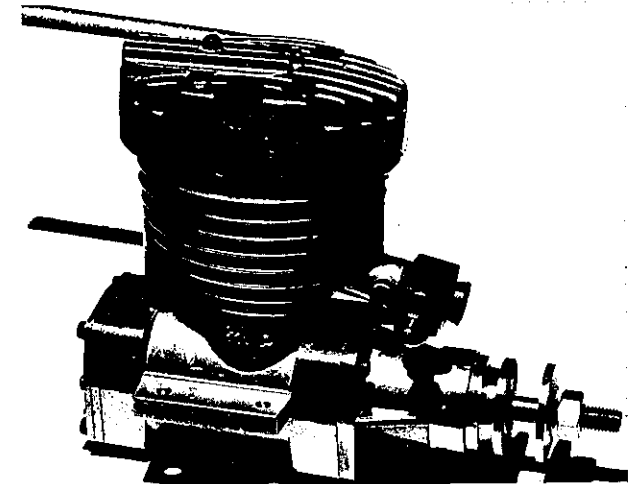
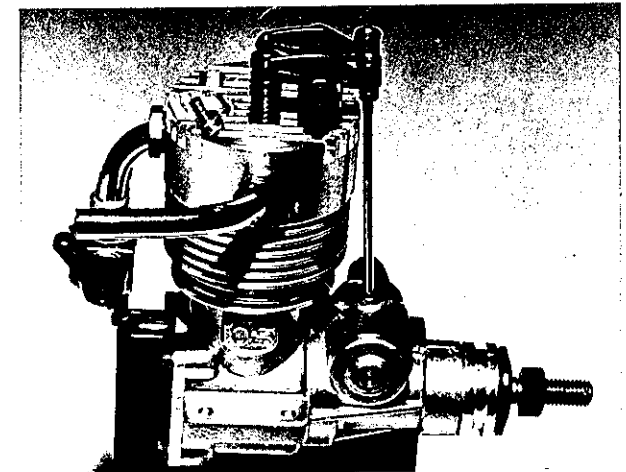


Abb. 40: Handmuster des Modellmotors OS 40 FS, wie es auf der Nürnberger Spielwarenmesse 1981 gezeigt wurde. Die Nockenwelle wird über ein Schraubenradgetriebe über der Kurbelwelle angetrieben. Die Kipphebel liegen noch offen über dem ganz zerspannt hergestellten Zylinderkopf.



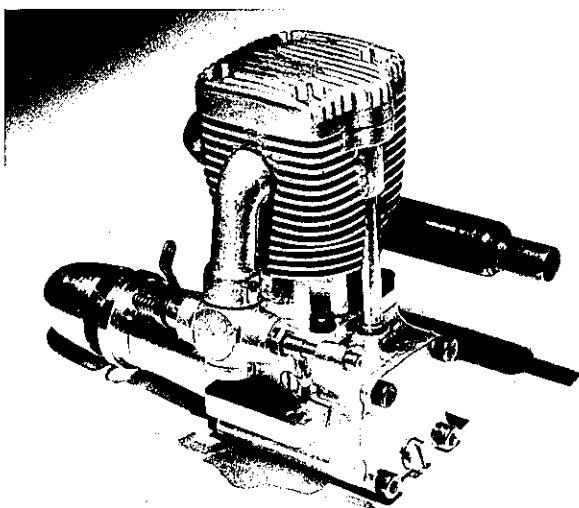


Abb. 41: Schiebergesteuerter Viertaktmotor, gebaut und konstruiert für Hirtenberger/Österreich von Prinz Leopold von Habsburg-Lothringen. Der Motor hat 10 ccm Hubraum und einen über eine Königs-welle angetriebenen Flach-drehschieber im Zylinderkopf. Der Motor dreht bis 16 000 U/min und erreicht eine Lei-stung von 750 Watt bei 14 000 U/min. Er soll ab 1982 von Hirtenberger bis zur Serienreife weiterentwickelt werden.

Die japanische Firma OS erweiterte ihr Viertaktmotorenprogramm nach kleineren Hubräumen hin. 1981 wurde ein 6,5-ccm-Motor mit quer über der Kurbelwelle liegender Nockenwelle bemustert. Die Abbildung 40 zeigt dieses Muster. Der Serienmotor hatte dann einen geschlossenen Ventiltrieb über Kipphebel, und die Nockenwelle wurde über ein Schraubenradgetriebe angetrieben. Der Motor ist ähnlich lei-

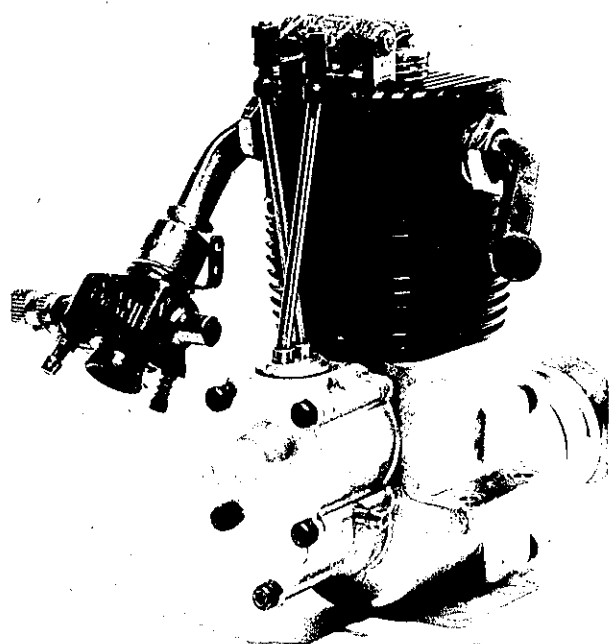
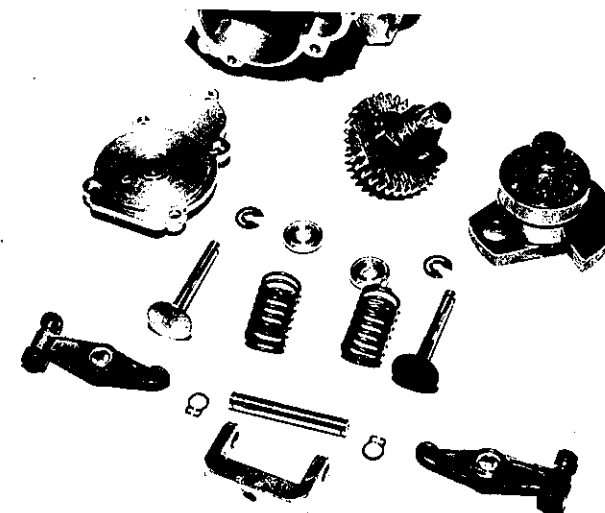


Abb. 42: Ansicht des britischen Modellmotors MAGNUM .91 S mit einem Hubraum von knapp 15 ccm. Der Motor erreicht eine Leistung von 760 Watt bei 9500 U/min. Baujahr 1982.

Abb. 43: Ventiltriebteile des Modellmotors MAGNUM .91 S. Die Nockenwelle ist gehärtet und geschliffen und wird über Zahnräder angetrie-ben.



stungsfähig wie der kleine Enya-Motor, aber wesentlich einfacher und robuster im Aufbau und auch weniger teuer.

Den Gedanken der Flachschiebersteuerung verfolgte einige Jahre der Prinz Leopold von Habsburg-Lothringen. Er baute Muster mit Schiebern, die um den oberen Teil des Zylinders umliefen, was sich aber wegen Ölkohleablagerungen nicht bewährte. Der schiebergesteuerte Motor mit Flachschieber nach Bauart DVL der Abb. 41 entstand 1980. Auf dem Prüfstand drehte der Motor bis auf 16 000 U/min mit guter Leistung hoch. Die Serienherstellung ist bei der Firma Hirtenberger in Österreich geplant. Ob der Motor mit 15 ccm Hubraum oder nur mit 10 ccm herauskommt, ist noch ungewiß. Leider ist der Motorlärm dieses Schiebermotors genau so unangenehm wie der eines Zweitakters.

Nach traditioneller Motorbaukunst englischer Motorradmotoren ist der 1981 entwickelte Einzylinder Magnum .91-S mit 15 ccm aufgebaut. Der Motor wird ab 1982 in kleiner Serie auf der britischen Insel gebaut, robust und mit Liebe zum Detail. Die Leistung ist vergleichbar mit der des Webra-4T-Schiebermotors, allerdings mit dem angenehmen, dumpfen Auspuffton schwerer Norton-Motorräder.

Den Traummotor für Modellbauer stellt der KAVAN FK-50-Mark I-Boxermotor dar, wie er ab 1982 von Kavan ausgeliefert wurde. Der Motor wurde schon 1980 als 2 x 15-ccm-Boxer von Herrn Leopold Köppel in Hallein gebaut. Herr Köppel beschäftigte sich schon 1977 mit dem Bau von Viertaktmotoren in Modellgröße. In seiner Werkstatt entstanden Einzylindermotoren mit obenliegender Nockenwelle, Schiebersteuerung oder schräghängenden Ventilen sowie Motoren mit stehenden Ventilen und sogenannter Seitensteuerung. Der 1980 entstandene Boxermotor gefiel dem Modellbauartikelhersteller Kavan so gut, daß er einen Motor dieser Bauart, aber mit 50 ccm Gesamthubraum, bei Köppel entwickeln ließ. Im Januar 1981 lief der Mustermotor mit 2 x 25 ccm Hubraum. Guten Kunden und Freunden zeigte Kavan auf der Nürnberger Spielwarenmesse diesen Motor, und ermutigt durch die begeisterten Ausrufe der Fachleute, wurde ein Serienbau des Motors begonnen. Mitte des Jahres 1982 wurden die ersten Boxermotoren dann von Kavan ausgeliefert.

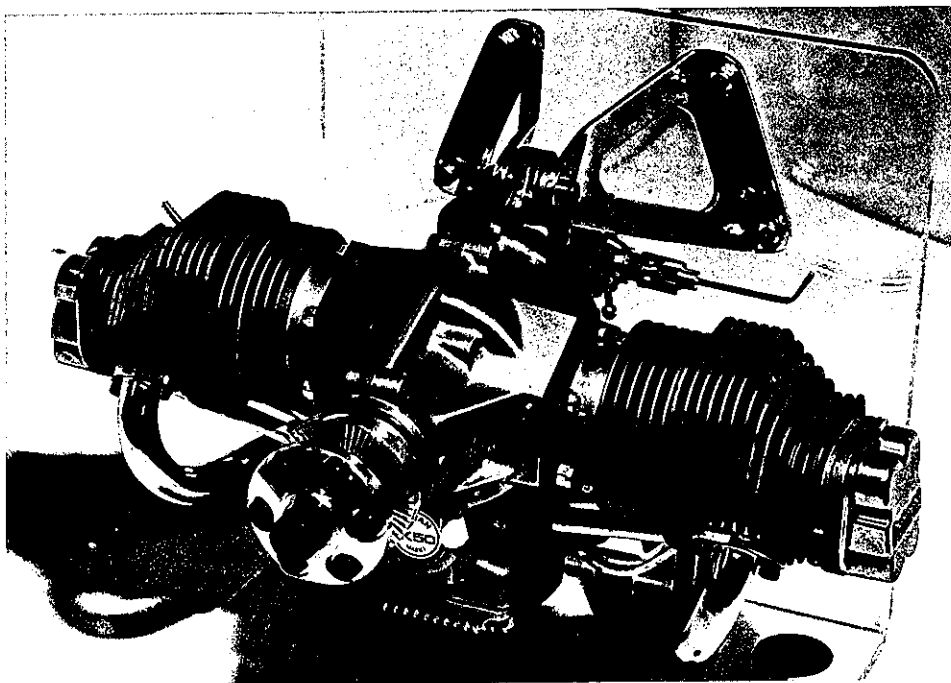


Abb. 44: Der Traummotor eines Modellpiloten: KAVAN FK 50 Mark I. Ein Modellmotor mit 2x25 ccm Hubraum und einem Continental-Flugmotor nachgebildeten Zylinderköpfen und Kurbelgehäuse. Der Motor kann eine Leistung bis zu 2,75 kW (3,7 PS) bei 8500 U/min erreichen und auch größere Flugmodelle antreiben. Vorbildähnlich und schwingungsdämpfend ist die Motoraufhängung an drei Punkten über Gummielemente. Mustermotor mit 2x15 ccm aus dem Jahr 1980 und Serienmotoren mit 2x50 ccm 1982.

Der Serienmotor brachte um 2,75 kW Leistung bei 8500 U/min. Diese Leistung reicht aus, um auch große Modelle mit über 7 kg Flugmasse sicher durch ein Kunstflugprogramm zu ziehen. Fertigungsprobleme und einige Montagefehler und Herstellertoleranzen schmäleren bei den ersten Motoren der Serie die Anfangsfreude,

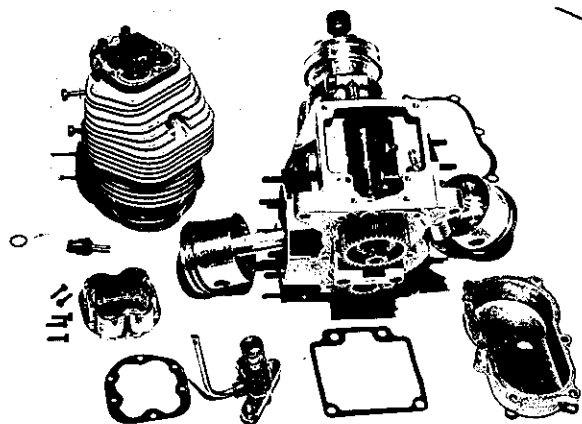


Abb. 45: Der KAVAN FK 50 Mark I, teilweise zerlegt. Die unten liegende Nockenwelle wird über ein Nylonzwischenrad angetrieben. Die Pleuel haben einen Kompressionsring und einen Ölabbstreifring. Unten in der Mitte ist die Ölpumpe zu erkennen, über die die Pleuel mit Öl angespritzt wird.

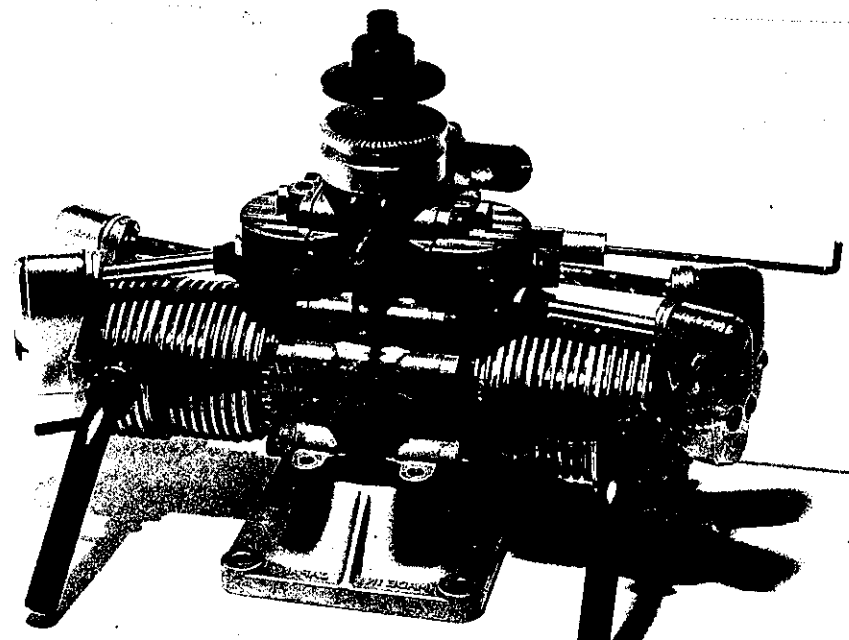


Abb. 46: Ein anderer Boxermotor von der japanischen Firma Salto. Der Motor hat nur eine Pleuelkröpfung und daher nur 180° Zündabstand, läuft also quasi im 3/4-Takt. Baujahr des Motors 1981/82. Hubraum 13,025 ccm.

aber nach einer Nachbesserung beim Hersteller liefen die FK-50 dann begeisternd gut. Dieser Motor wird neue Maßstäbe an Laufkultur, Motoraufhängung und Kraftstoff setzen. Der Motor braucht nur einen Ölanteil von ca. 2 % im Methanol. Als Schmieröl kann Automotorenöl ins Pleuelgehäuse gefüllt werden, das durch das

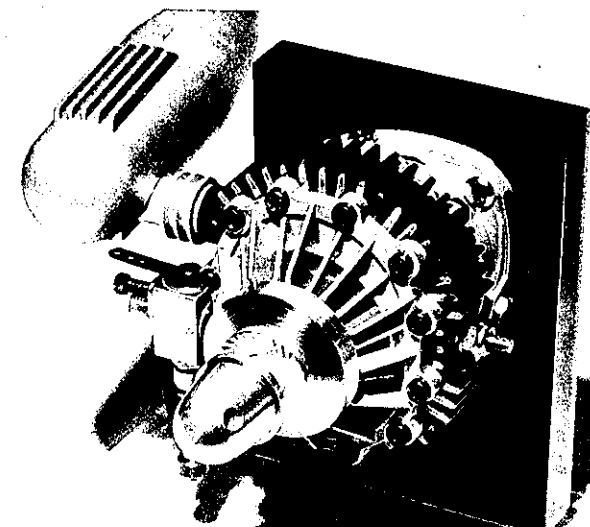


Abb. 47: Der Wankelmotor ist im Arbeitsprinzip ein Viertaktmotor. Die Abbildung zeigt den OS-Wankelmotor mit 5,0 ccm Kammervolumen, wie er ab 1982 von der Firma Graupner in Kirchheim vertrieben wird. Dieser Modell-Wankelmotor zeichnet sich durch unglaubliche Drehzahlen bis 30 000 U/min an der Pleuelwelle aus. Die Leistung bewegt sich dabei um 600 Watt.

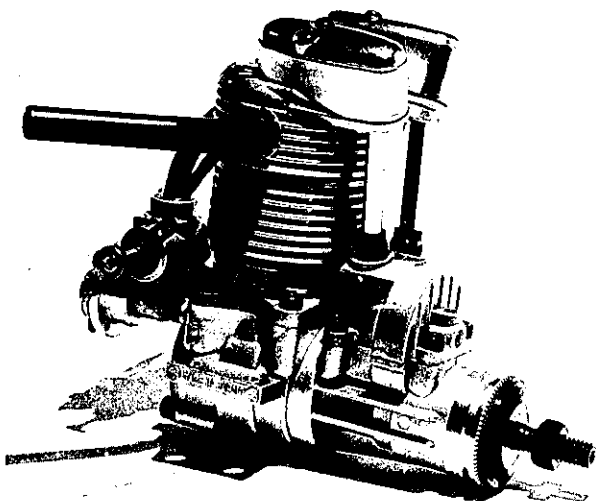


Abb. 48: Der SAITO FA 45 mit gekapselten Kipphebeln, wie er 1982 auf den Markt kam. Der Motor ist aufwendig gebaut und erreicht bei 11 800 U/min eine Leistung von 340 Watt aus 7,5 ccm Hubraum.

Oberöl im Kraftstoff stets auf gleichem Niveau gehalten wird. Eine Ölpumpe spritzt in allen Motorlagen Öl auf die Gleitlager der Pleuelstangen.

Einen originellen, äußerlich einem Boxermotor ähnlichen Viertaktmotor baut seit 1981/82 die Firma Saito in Japan. Die Abbildung 46 zeigt diesen Motor. Die Kurbelwelle hat nur einen Kurbelzapfen, so daß der Motor eine ungleiche Zündfolge hat. Der Motor ist ein Doppelmotor mit nur einer Kurbelwelle und einem Kurbelzapfen. Diese Bauweise ist einfacher als die Boxerbauart mit einer um 180° Kurbelversatz geschmiedeten Kurbelwelle.

Auch der Wankelmotor ist in seinem Arbeitsprinzip ein Viertaktmotor. Die Abbildung 47 zeigt den Motor in der Serienausführung von 1982. Diese technisch weiter verbesserte Motorversion kann bis 30 000 U/min hochdrehen und bringt aus 5 ccm Hubkammervolumen um 600 Watt Leistung. In der Abbildung 49 und 50 werden Motoren eines schwäbischen Herstellers gezeigt, die sich noch in der Entwicklung befinden. Diese Motoren sind ohne Gußteile aufgebaut und haben direkt von den im Zylinderkopf liegenden Nockenwellen angetriebene Ventile. Der Boxermotor der Abbildung 50 könnte einmal ein Konkurrenzmodell zu dem Kavan FK-50 werden. Mit einem Gesamthubraum von 37 ccm sind die derzeit aus diesem Motor gebremsten 1,8 kW noch zu wenig, aber mit neuen Nockenwellen und anderen Kolben und Kolbenringbestückungen wird der Motor noch an Leistung zulegen können. Derzeit ist der Motor noch ein Sammelobjekt.

Den modernsten Viertaktmotor zeigen die Abbildungen 51 bis 52. Es ist ein 10-ccm-Viertaktmodellmotor der Firma Enya aus Japan. Mitten im Jahr 1982 wurde der Motor auf den Markt gebracht. Die spezifische Hubraumleistung des Motors beträgt 62 kW/Liter Hubraum. Diese Leistung ist für viele Modelle ausreichend, wobei der robuste Aufbau und der ganz gekapselte Ventiltrieb vorteilhaft sind. Auch dieser Enya-Motor hat zwei einzelne hintenliegende Nockenwellen und Stoßstangenantriebe der Ventile. Leider braucht der Motor noch einen hohen Schmierölanteil im Kraftstoff, um die Schmierung der Pleuellager im Kurbelgehäuse zu ermöglichen. Gespannt darf man auf die weiteren Motorentypen der Firma Enya sein.

Abb. 49: Jupiter-110-Modellmotor mit oben liegender Nockenwelle. Der Motor hat 18,5 ccm Hubraum und soll eine Leistung von 850 Watt bei 9000 U/min erreichen. Motorserie 1982.

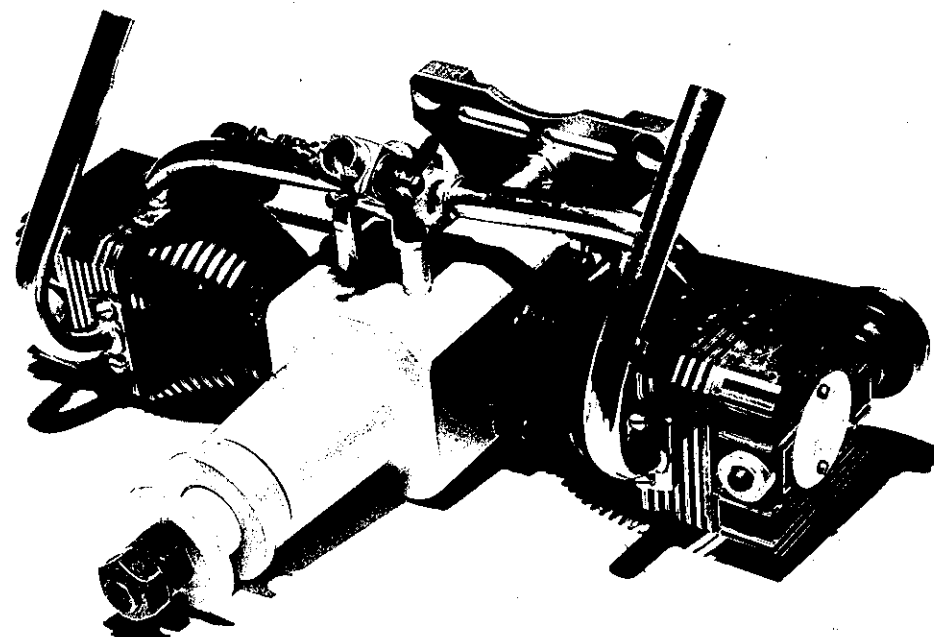
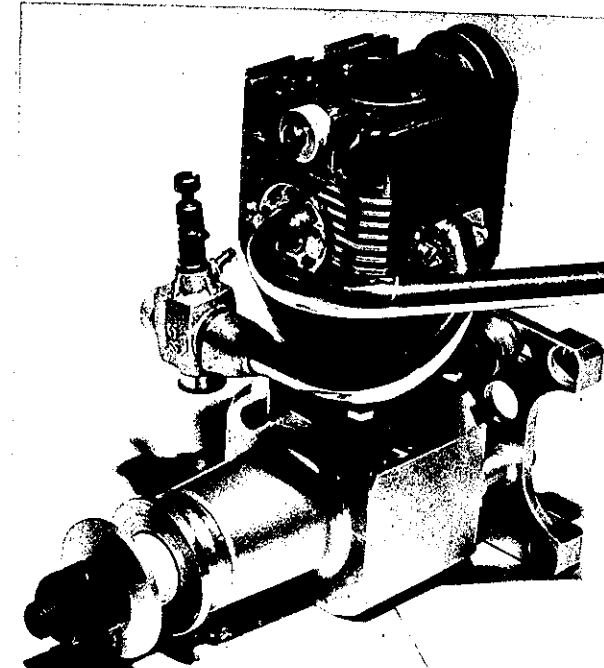
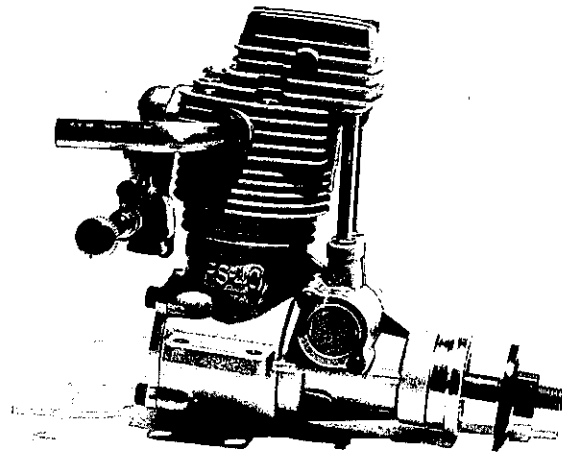


Abb. 50: Jupiter 220, ein Boxermotor mit zwei oben liegenden Nockenwellen. Die Nockenwellen werden über Zahnriemen angetrieben, wobei der Motor eine Leistung von 1800 Watt bei 6500 U/min abgeben soll. Baujahr 1982.

Abb. 51: Ein Modellmotor moderner Konzeption mit geschlossenem Ventiltrieb: FS 40 von OS aus Japan. Der Motor erreicht 326 Watt bei 12 200 U/min aus einem Hubraum von 6,5 ccm. Die spezifische Hubraumleistung von 50 kW pro Liter Hubraum kann sich sehen lassen.



Dies ist die Geschichte der Entwicklung der Viertaktmodellmotoren bis zum Jahr 1982. Die Entwicklung ist in den Jahren davor stürmisch verlaufen. Es ist interessant nicht nur für Modellbauer, sondern auch für Motoreningenieure, wie und welche Motorenbauarten verwirklicht wurden. Wenn man noch mehr über diese Motoren wissen möchte, so geben die folgenden Kapitel Auskunft.

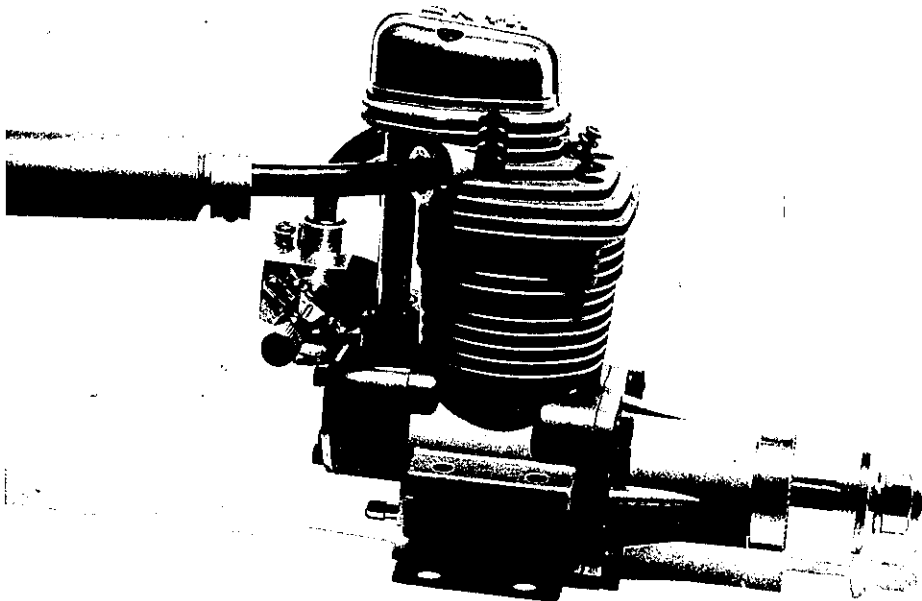


Abb. 52: Der ENYA 60-4c ist der modernste Modellmotor mit einer hohen Leistung. Die spezifische Hubraumleistung des Motors beträgt 62 kW/Liter Hubraum, damit ist der ENYA 60-4c der leistungsfähigste Viertaktmotor mit 10 ccm Hubraum. Der Motor wurde Mitte 1982 auf den Markt gebracht.

2. Allgemeines

2.1. Arbeitsprinzip

Bei den Viertaktmotoren wird ein Arbeitszyklus in vier einzelne Abschnitte, Takte genannt, eingeteilt. Diese vier Abschnitte sind: 1. Ansaugen, 2. Verdichten, 3. Arbeiten, 4. Ausschieben. Jeder Abschnitt benötigt bei Hubkolbenmotoren ungefähr einen ganzen Hub des Kolbens. Der Kolben bewegt sich während des Hubes von einer Endlage zur anderen. Bildlich dargestellt, sieht das bei einem Hubkolbenmotor so aus:

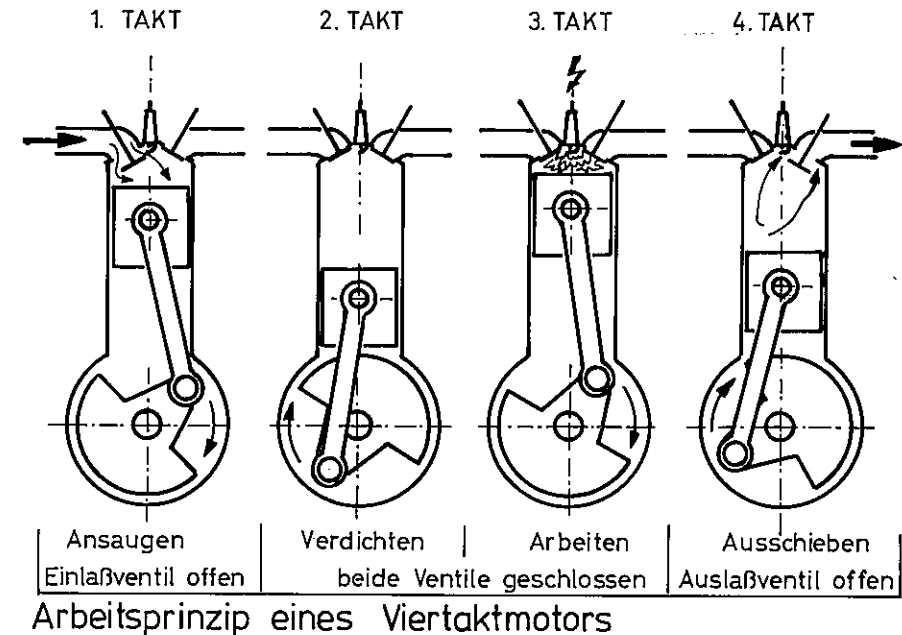


Abb. 53

Im ersten Takt bewegt sich der Kolben von seiner oberen Endlage, man nennt diese den oberen Totpunkt der Kolbenbewegung, abgekürzt OT, abwärts und saugt über den Vergaser, die Ansaugleitung und das Einlaßventil ein Kraftstoff-Luft-Gemisch an. Im günstigsten Fall füllt sich der ganze Raum über dem Kolben während der Kolbenbewegung vom oberen Totpunkt zum unteren Totpunkt, das ist der Hubraum, mit diesem Gasgemisch aus Kraftstoff und Luft.

Im zweiten Takt bewegt sich der Kolben wieder von UT nach OT. Die Ventile sind geschlossen, und so wirkt der Motor als Kompressor, das Kraftstoff-Luft-Gemisch wird zusammengepreßt oder verdichtet. Wie hoch der Enddruck des Gasgemisches im OT des Kolbens beim Verdichtungstakt wird, hängt vom Volumen über dem Kolben, dem Brennraum und dem Hubraum ab. Bei der Gasverdichtung steigt nicht nur der Druck im Brennraum an, sondern auch die Gastemperatur. Bei höherem Druck kann die Gastemperatur die Zündtemperatur des Kraftstoff-Luft-Gemisches erreichen, es würde eine meist unerwünschte Verpuffung oder Explosion im Brennraum stattfinden.

Im dritten Takt wird das verdichtete Kraftstoff-Luft-Gemisch über eine Zündeinrichtung gezündet. Der Kolben geht von OT nach UT. Durch die Verbrennung des Gasgemisches steigt die Temperatur an, der Druck des Gases wird höher, und der Kolben wird mit großer Kraft nach unten geschoben. Nur in diesem Arbeitstakt wird Drehenergie an die Kurbelwelle abgegeben.

Es bleibt noch der vierte Takt, in dem der Kolben sich vom unteren Totpunkt nach oben bewegt. Das Auslaßventil ist dabei geöffnet, und das verbrannte, heiße Abgas wird ausgeschoben. Die Ingenieure interessieren nun, wie der Druck und die Temperatur sich im Motor ändern. Aus diesem Grund hat man mit Meßinstrumenten den Druckverlauf im Zylinder aufgezeichnet. Ein solches Diagramm sieht z.B. so aus:

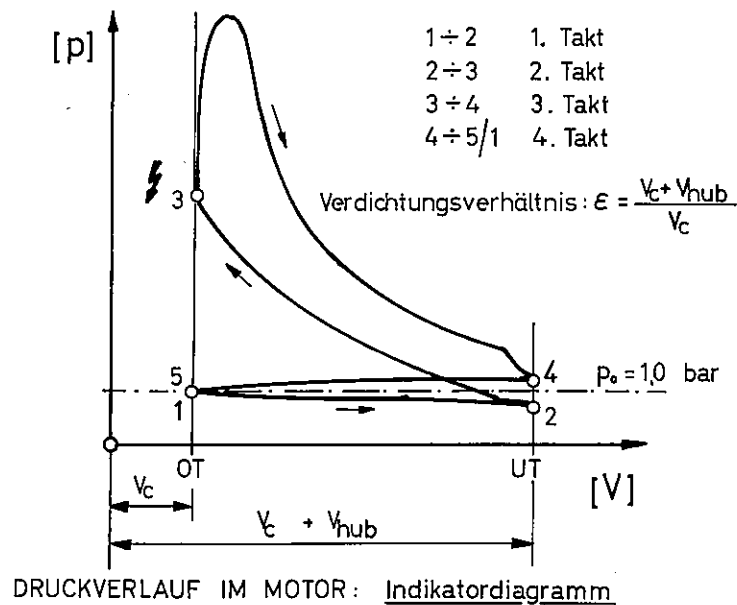


Abb. 54: Aufgetragen ist der Druck p über dem Hub des Kolbens oder dem Hubvolumen v .

Das ist ein idealisiertes Druckdiagramm. In Wirklichkeit brauchen die Ventile Zeit zum Öffnen. Die Abdichtung des Kolbens im Zylinder ist nicht absolut dicht, Wärme wird an den Kolben, den Zylinder und den Zylinderkopf abgegeben, ferner erfolgt die Verbrennung des Gasgemisches nicht so, wie angenommen. Die schraffierte Fläche innerhalb des im Uhrzeigersinn umlaufenden Diagramms stellt die Nutzarbeit des Motors dar (Abb.55).

Die Berechnung dieses Diagramms ist möglich. Durch Beziehungen aus der Wärmelehre lassen sich der Enddruck und die Endtemperatur des Verdichtungsaktes berechnen. Schwieriger wird es im Arbeitstakt, da die Wärmerfreisetzung aus der Verbrennung nicht schlagartig erfolgt, sondern eigenen Gesetzen folgt, die nicht einfach berechenbar sind. Hier müssen Annahmen gemacht werden, die bei großen Motoren durch Messungen begründet sind.

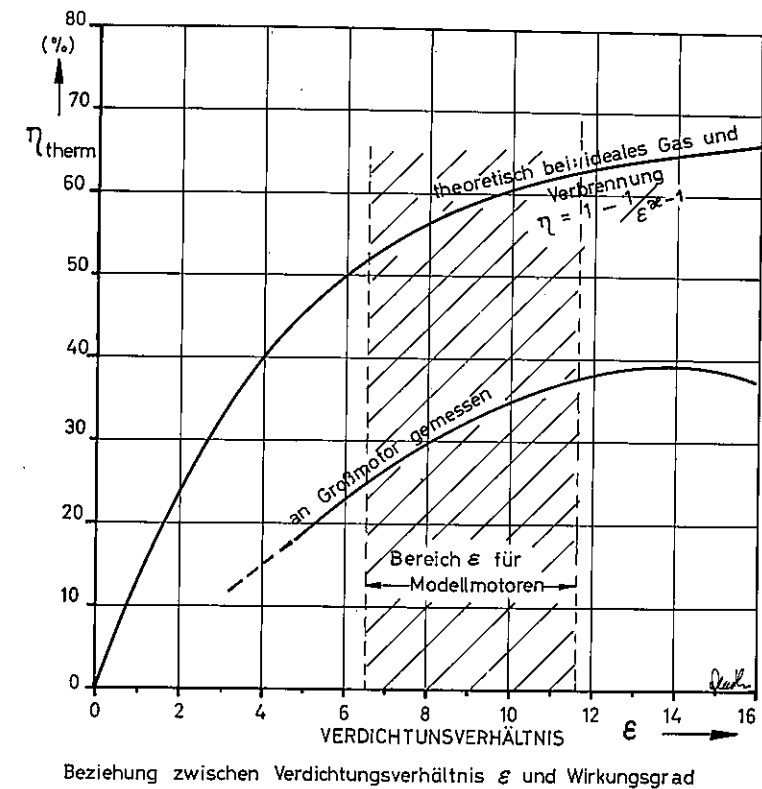


Abb. 55: Bei einem Verdichtungsverhältnis zwischen 12 und 14 ergibt sich ein Wert von 37 %.

2.2. Berechnung der maximalen Leistung

Soll ein Motor entworfen werden, so stehen für seine Berechnung folgende Gleichungen zur Verfügung:

$$P_e = p_e \cdot V_H \cdot \frac{n}{1224} \text{ [kW]}$$

In dieser Gleichung bedeuten die Buchstaben:

P_e = die abgegebene, effektive Leistung des Motors in KW

p_e = der effektive Mitteldruck des Motors in bar

V_H = das Hubvolumen des Motors in Liter

n = die Drehzahl in U/min.

Der mittlere effektive Kolbendruck p_e kann aus thermodynamischen Gleichungen errechnet werden. Für Modellmotoren ergibt sich bei der Verwendung von Methanol als Kraftstoff ein mittleres p_e je nach Auslegung der Steuerung und des Motors zwischen 7 und 12 bar. Dieser mittlere effektive Druck enthält bereits den mechanischen Wirkungsgrad, der bei den einzelnen Modellmotoren auch in der Größenordnung zwischen 0,6 und 0,88 liegt. Beeinflusst wird ferner der mittlere effektive Druck von der Güte der Ausspülung des Zylinders von Altgas durch Frischgas, was wiederum ein Problem für die Steuerung des Motors, Ventilquerschnitte und Ansauglei-

tungslänge darstellt. Durch ein frühzeitiges Öffnen des Auslaßventils vor dem unteren Totpunkt im Arbeitstakt wird bewirkt, daß im Ausschlebetakt des Motors genügend Ventilquerschnitt zur Verfügung steht, um das Abgas in die Auspuffleitung zu schieben. Ebenso ist es erforderlich, daß schon vor Erreichung des oberen Totpunktes des Kolbens das Einlaßventil bereits öffnet, wobei der Gasdruck des Abgases niedrig sein sollte. So wird bewirkt, daß im Ansaugtakt der volle Ansaugquerschnitt im Ventilsitz zur Verfügung steht. Von Einfluß auf die Ladungsmenge, d.h. die Menge des Frischgases, das in den Zylinder kommt, ist neben dem äußeren Luftdruck vor dem Vergaser auch die Temperatur des Frischgases. Es ist für den Ingenieur, der einen Modellmotor entwirft, eine schwierige Aufgabe, die Kühlung des Motors so zu steuern, daß das Gasgemisch, das in den Zylinder tritt, möglichst kühl bleibt, aber auch nicht kondensiert. Für die Güte der Verbrennung und des thermischen Wirkungsgrades ist entscheidend, wie hoch der Motor verdichtet. Der thermische Wirkungsgrad gibt an, wie viel von der Verbrennungswärme des Kraftstoffs im Motor in Arbeit umgesetzt werden kann.

Bei Modellmotoren mit Methanol als Kraftstoff sind Verdichtungsverhältnisse zwischen 7 und 11 üblich. Damit ergeben sich thermische Wirkungsgrade an ausgeführten Motoren von 20 % bis maximal 37 %.

Das Verdichtungsverhältnis bedeutet das Verhältnis des Raumes über dem Kolben bei geschlossenen Ventilen und Stellung des Kolbens im oberen Totpunkt zum Gesamthubvolumen des Motors. Das Verdichtungsverhältnis ist nicht identisch mit dem Enddruck des verdichteten Gases nach dem Verdichtungstakt, d.h. wenn der Kolben im oberen Totpunkt steht. Thermodynamische Berechnungen ergeben für einen Anfangsdruck von 1 bar und ein Verdichtungsverhältnis von 10 z.B. einen Verdichtungsenddruck von 26 bar. Ebenso ergibt sich bei einem Verdichtungsver-

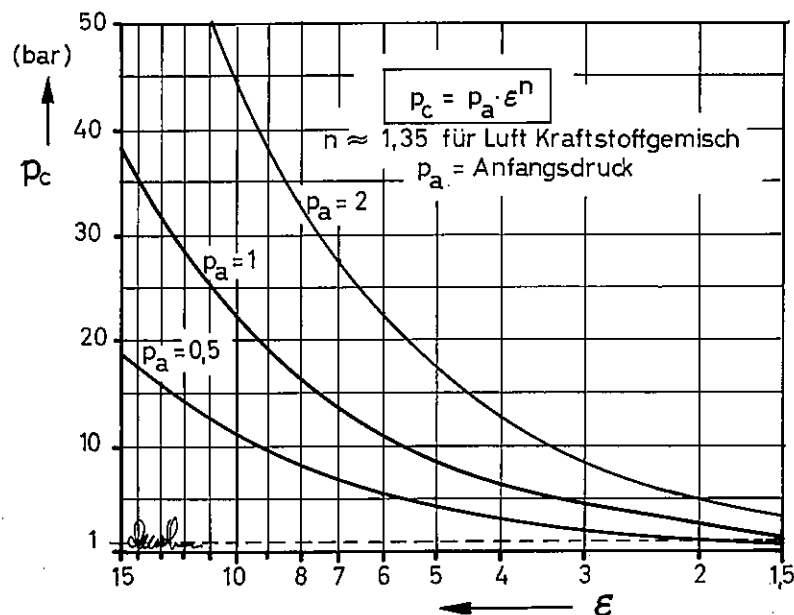


Abb. 56 Berechneter Verdichtungsenddruck p_c über ϵ .

hältnis von 8 ein Verdichtungsenddruck von 18 bar, bei einem Verdichtungsverhältnis von 5 ergibt sich nur ein Verdichtungsenddruck von 9,5 bar.

Die Temperaturen des so verdichteten Frischgases liegen bei einem Verdichtungsverhältnis von 10 und einer Eintrittstemperatur des Gases von 50°C bei ca. 530°C, bei einem Verdichtungsverhältnis von 5 wird nur eine Temperatur von 325°C erreicht.

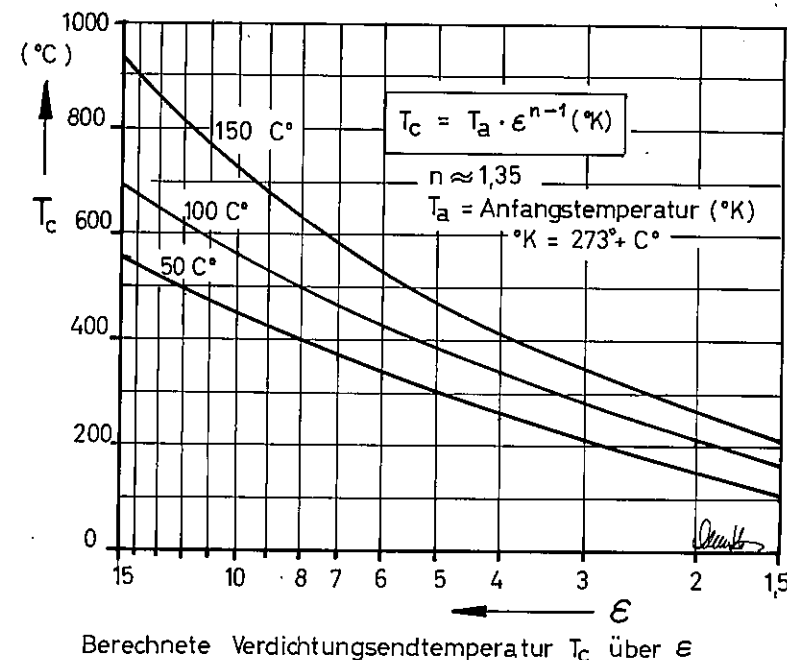


Abb. 57

Die Zündung des Kraftstoffluftgemisches erfolgt bei den Modellmotoren zum Beispiel an einer heißen Glühkerze. In der Nähe dieser heißen Zündquelle wird das Gemisch noch weiter erwärmt, etwa um 100°C über der Selbstzündtemperatur des Gemisches, so daß hier Temperaturen von ca. 500–600°C entstehen. Bei dieser Temperatur beginnt das Gemisch spontan zu verbrennen, und die Flamme breitet sich im gesamten Brennraum des Motors aus, das Gemisch verbrennt also vollständig.

Wie gesagt, wird ein Modellmotor um so besser in seiner Leistungsausbeute, je höher das Verdichtungsverhältnis gewählt ist. In der Praxis ist es aber nicht möglich, das Verdichtungsverhältnis über 12 oder 13 zu steigern, da hierbei bereits so hohe Endtemperaturen im Verdichtungstakt erzielt werden, daß die Zündung ungewollt erfolgt und der Motor eine unkontrollierte, ungesteuerte, klopfende Verbrennung mit hohen Verlusten bekommt. Berechnet man den thermischen Wirkungsgrad, also den Wirkungsgrad der Wärmeumsetzung, die von dem Kraftstoff in den Motor eingebracht wurde, in mechanische Arbeit, wobei der mechanische Wirkungsgrad unberücksichtigt bleibt, so ergibt sich, daß bei einem Verdichtungsverhältnis von 5 nur etwa 20 % der Wärmeenergie des Kraftstoffs in mechanische Energie umgewandelt werden können (siehe Abb. 55).

Das Verdichtungsverhältnis kann auch aus mechanischen Gründen nicht beliebig hoch gemacht werden, da, wie wir vorhin gesehen haben, die Ventile im oberen Totpunkt des Kolbens, d.h. am Ende des Ausschietaktes und zu Beginn des Ansaugtaktes, beide, das Einlaß- und das Auslaßventil, schon leicht geöffnet sind. Die Ventile brauchen also etwas Platz gegenüber dem Kolben. Es wäre nun sehr aufwendig und sehr teuer, in den Kolben einen kleinen Hohlraum einzufräsen, in den die Ventile bei dieser Öffnungsphase eintauchen könnten. Auch würde durch diese sogenannten Ventiltaschen im Kolben ein sehr zerklüfteter Brennraum entstehen, der mit großer Oberfläche einen schlechten Wärmeübergang am Kolben bewirken würde und damit den thermischen Wirkungsgrad des Motors verschlechtert. Wie Messungen an Modellmotoren ergeben haben, wird nach der Zündung in der Vollgasstellung des Vergasers ein Zünddruck erreicht, der in der Größenordnung zwischen 40 und 60 bar liegt.

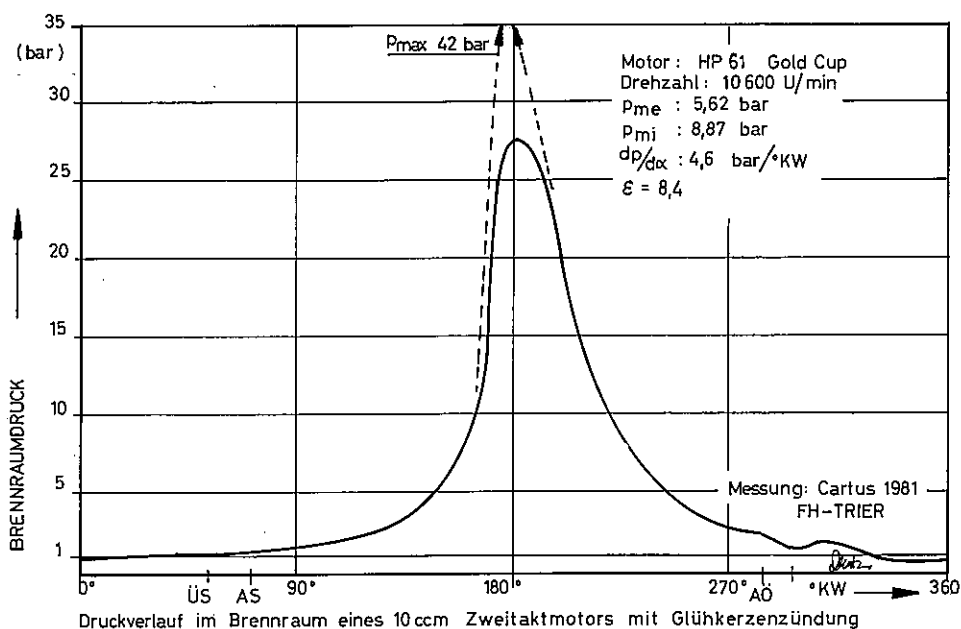


Abb. 58

Das nächste Mittel, aus einem gegebenen Hubraum große Leistung zu erzielen, ist, eine hohe Drehzahl anzustreben. Die Kolbengeschwindigkeit des Motors wird dabei unter Umständen sehr hoch. Als Maß nimmt man die sogenannte mittlere Kolbengeschwindigkeit:

$$C_m = \frac{s \cdot n}{30} \text{ [m/sec]}$$

In dieser Formel bedeutet C_m = die mittlere Kolbengeschwindigkeit in m/sec, s = Kolbenhub in Metern, n = die Drehzahl in U/min.

Dieser Wert für die mittlere Kolbengeschwindigkeit kann aus mechanischen Gründen nicht mehr als 24 m/sec betragen. Überschreitet man die Kolbengeschwindigkeit

von 24 m/sec, so werden erfahrungsgemäß die Massenkräfte des Triebwerks, also der hin- und hergehenden Teile, wie Kolben, Pleuel, die im Quadrat mit der Drehzahl ansteigen, zu groß. Sie können von den Pleuelstangen und den Lagern nicht mehr aufgenommen werden. Schäden im Triebwerk sind die Folge. Für einen Motor mit 20 mm Hub ergibt sich die denkbare Höchstdrehzahl von 36000 U/min. Erreicht werden aber derzeit erst 30000 U/min mit Zweitaktmotoren.

Allerdings steigt die Leistung des Motors nicht linear mit der minütlichen Drehzahl an. Der Grund liegt darin, daß der Gaswechsel mit Kürzung der Steuerzeiten bei höheren Drehzahlen nicht mehr vollständig erfolgen kann. Ferner wachsen die Reibungswiderstände in Motor und Lagern durch das Anwachsen der Massenkräfte erheblich an, so daß der Motor insgesamt eine schlechtere Leistung abgibt, als man theoretisch aus der Gleichung errechnen würde. An Viertakt-Modellmotoren wurden Leistungen gemessen, die zwischen 30 und 70 kW pro Liter Hubraum liegen, bei Drehzahlen zwischen 6000 und 12000 U/min. Es ist nun möglich, den mittleren Kolbendruck p_e auch aus thermodynamischen- und Verbrennungsgrößen zu berechnen. Es ergibt sich dann die Formel für die Motorleistung:

$$P_e = \left(\frac{427 \cdot \lambda_L \cdot \eta_i \cdot \eta_m \cdot H_u}{\lambda \cdot V_{\text{stoch}}} \right) V_H \cdot \frac{n}{12240} \text{ [kW]}$$

Der Klammerausdruck stellt den mittleren Kolbendruck p_e dar, jedoch in der Maßeinheit kp/m^2 . Ebenso ist in dieser Formel V_H in m^3 einzusetzen.

Der Faktor H_u ist der untere Heizwert des verwendeten Kraftstoffs in kcal/kg. Diese Werte findet man noch häufig in Tabellenwerken. Z.B. ist der untere Heizwert für Methanol 4 650 kcal/kg bei einer Dichte des Methanols von 0,8 kg/l.

	Dichte	Heizwert H_u		
	kg/l	kcal/kg	kcal/l	ml/1000 kcal
Benzin	0,730	10 400	7 600	132
Benzol	0,875	9 600	8 400	119
Äthanol	0,790	6 400	5 050	196
Methanol	0,800	4 650	3 700	270

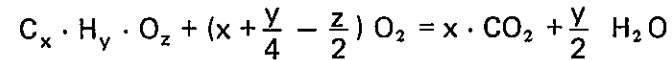
Umrechnung: 1 kcal = 4187 [Joule] = 4187 Nm = 4187 Ws

λ_1 ist der Liefergrad, also die Menge des angesaugten Frischgases zur Menge des Hubvolumens bei gleichem Druck und bei gleicher Temperatur. Der Liefergrad λ_1 liegt zwischen 0,9 und 0,65 in Vollgasstellung des Vergasers bei Modellmotoren, kleinerer Wert bei höheren Drehzahlen.

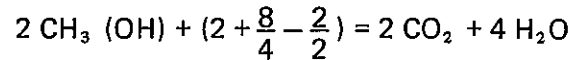
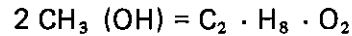
Zur vollständigen Verbrennung von 1 kg flüssigen Kraftstoffes ist stöchiometrisch die Luftmenge V_{stoch} in m^3/kg nötig. Praktisch braucht man $\lambda \cdot V_{\text{stoch}}$, wobei das Luftverhältnis λ für Modellmotoren je nach Vergasereinstellung und Drehzahl bei Höchstleistung $\lambda = 0,85 \dots 1,05$ beträgt. Bei Benzin benötigt man zur vollständigen Verbrennung von 1 kg Kraftstoff rund 11 m^3 Luft. Mit einem Heizwert des Benzins von 10000 kcal/kg ergibt sich bei $\lambda = 1,0$ ein Gemischheizwert von:

$$\text{Gemischheizwert}_{\text{Benzin}} = \frac{10\,000}{11} = 900 \text{ kcal/m}^3 \text{ Luft/Benzingemisch}$$

Bei Methanol oder bei ähnlichen Kohlen-Wasserstoffen, von denen die chemische Formel bekannt ist, läßt sich der Gemischheizwert wie folgt berechnen. Allgemein gilt die chemische Verbrennungsgleichung:



Für Methanol ergibt sich dann:



Mit den Atomgewichten 12 für C und 1 für H und 16 für O folgt:

$$2(12 + 3 + 16 + 1) + 3(2 \cdot 16) = 2(12 + 2 \cdot 16) + 4(2 + 16)$$

$$64 \text{ g Methanol} + 96 \text{ g O} = 88 \text{ g CO}_2 + 112 \text{ g H}_2\text{O}$$

Da 23 Gewichtsteile O₂ in 100 Gewichtsteilen Luft enthalten sind, verbrennt

$$1 \text{ kg Methanol mit } 1,5 \cdot \frac{100}{23} = 6,52 \text{ kg Luft}$$

Bei einem unteren Heizwert $H_u = 4650 \text{ kcal/kg}$ bei Methanol ergibt sich ein

$$\text{Methanol-Gemischheizwert} = \frac{4650}{6,52} = 713 \text{ kcal/kg}$$

Da ein Normkubikmeter Luft 1,293 kg wiegt, ergibt sich ein

$$\text{Methanol-Gemischheizwert} = 713 \cdot 1,293 = 922,15 \text{ kcal/m}^3 \text{ Luft-Methanol-Gemisch.}$$

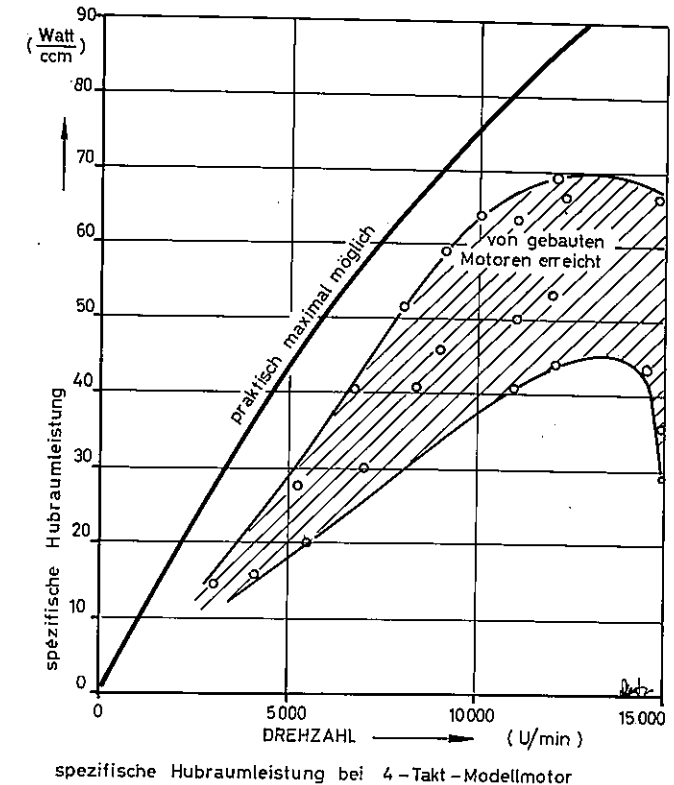
Das Methanol braucht also weniger Luft zur Verbrennung als Benzin. Ein Motor, der mit Methanol statt mit dem Kohlenwasserstoffgemisch Benzin betrieben wird, hat daher für gleiche Ansaugluftmenge eine um $922,15/900 = 1,0246$ oder 2,46 % höhere Leistung.

In der Praxis des Motorbetriebs stellt man aber bei Methanol als Kraftstoff eine noch höhere Leistung fest. Das Methanol hat eine höhere Verdunstungswärme, kühlt daher das angesaugte Gemisch stark ab, so daß mehr Gemischmenge in den Zylinder gelangt. Meist kann man noch eine höhere Verdichtung wählen, da Methanol sehr klopfest ist und da die Verdichtung des Gemisches bei niedriger Temperatur beginnt. Es wäre nun möglich, nach der Gleichung:

$$P_e = \left(\frac{427 \cdot \lambda_L \cdot \eta_i \cdot \eta_m \cdot H_u}{\lambda \cdot V_{\text{stoch}}} \right) V_H \cdot \frac{n}{12240} \text{ [kW]}$$

die Leistung eines Modellmotors zu berechnen. Als Beispiel möge die Leistungsbeziehung eines Motors dienen, von dem folgende Werte bekannt sind, oder optimal angenommen werden.

Abb. 59



Beispiel: Von einem Motor sind folgende Daten bekannt:

Einzyylinder; 4-Takt.

$$V_H = 10 \text{ ml} = 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$n = 12000 \text{ U/min}$$

Kraftstoff: Methanol mit $H_u = 4650 \text{ kcal/kg}$

$$V_{\text{stoch}} = 6,52 \text{ kg Luft} / 1,293 \text{ kg/m}^3 = 5,0425 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$\lambda_L = 0,8; \eta_i = 0,38 \text{ bei Verdichtung } \epsilon = 12$$

$$\eta_m = 0,75; \lambda = 1,0$$

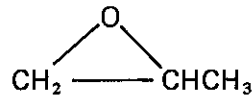
$$P_e = \left(\frac{427 \cdot 0,8 \cdot 0,38 \cdot 0,75 \cdot 4650}{1,0 \cdot 5,0425} \right) \cdot 10^{-5} \cdot \frac{12000}{12240} =$$

$$P_e = 89777,96 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{12000}{12240} = 0,880 \text{ kW}$$

$$P_e = 880 \text{ Watt.}$$

Der Motor hätte also bei 10 ccm Hubraum und 12000 U/min eine Leistung von 880 Watt. Diese Leistung haben derzeit die Viertaktmotoren in Modellmotorengröße noch nicht.

Man kann die Leistung des Motors über den Kraftstoff steigern. Dies wird bei Modellmotoren häufig angewendet, indem man reaktiven Sauerstoff enthaltende Komponenten dem Kraftstoff Methanol zumischt. Diese Sauerstoffträger sind z.B. Nitromethan $\text{CH}_3(\text{NO}_2)$ oder Propylenoxid.



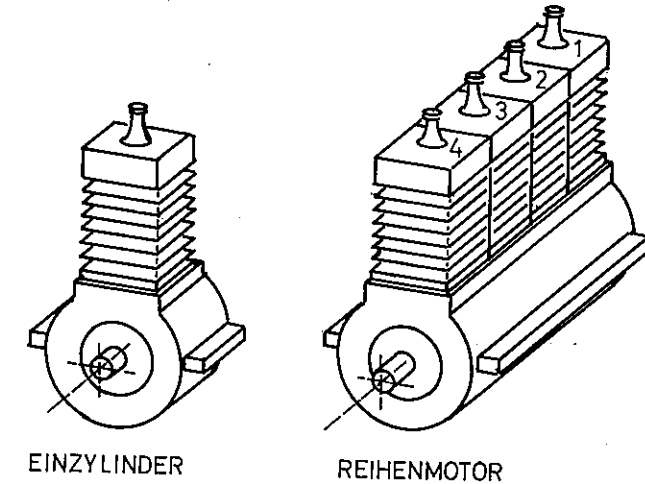
Für Rennzwecke wurde Nitromethan bis zu 70 % Volumen beigemischt. Dabei ergibt sich eine Leistungsanhebung bis zu 80 %. Der beste Sauerstoffträger ist Tetra-Nitromethan $\text{C}(\text{NO}_2)_4$, das, auf das Volumen bezogen, mehr reaktiven Sauerstoff enthält als flüssiger Sauerstoff! Mit Toluol gemischt, ergibt sich ein Sprengöl, das energiereicher ist als TNT-Sprengstoff oder Dynamit! Diese höchst gefährliche Mischung wurde in USA schon an Dragstermotoren zur Leistungssteigerung angewendet, wobei aus einem Motor Liter-Leistungen bis 260 KW/Liter (354 PS/Liter) erzielt wurden.

3. Aufbau der Verbrennungsmotoren

3.1. Hubkolbenmotoren mit Ventilsteuerung

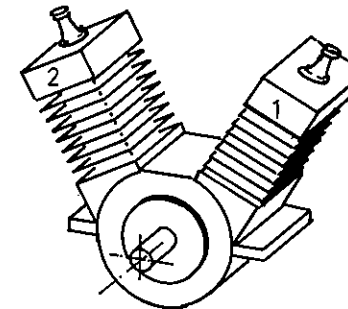
Außerordentlich vielfältig sind die Ausführungsarten von Verbrennungsmotoren. Nicht nur äußerlich in der Anordnung und Lage der Zylinder oder in dem angewendeten Steuerungsprinzip des Gaswechsels, dem benützten Kraftstoff oder der Kühlung. Es gibt auch einige Motoren, die in ihrer Bauart von dem üblichen Hubkolbenmotor abweichen und z.B. einen sogenannten Drehkolben verwenden, man denke hier an den Wankelmotor. Die Modellmotoren können zunächst einmal eingeteilt werden in Hubkolbenmotoren und Drehkolbenmotoren. Die Hubkolbenmotoren werden eingeteilt in Einzylinder- und Mehrzylindermotoren. Bei den Mehrzylindermotoren können die Zylinder entweder in Reihe angeordnet sein, man spricht dann von einem Reihenmotor, oder die Zylinder können einen Winkel zueinander bilden, man spricht dann von einem sogenannten V-Motor. Wird dieser Winkel der Zylinderachsen zueinander bis auf 180° vergrößert, so liegen die Zylinder in einer Ebene einander gegenüber, man spricht dann von einem Boxermotor. Werden mehrere Zylinder eines Motors in einer Ebene angeordnet und ergibt sich von Zylinder zu Zylinder immer der gleich Winkel, so hat man einen Sternmotor vor sich. Diese Sternmotoren haben, sofern sie im 4-Taktverfahren arbeiten, immer eine ungerade Anzahl von Zylindern. Diese Motoren sind bei Modellmotoren mit 5, 7 und 9 Zylindern bereits serienmäßig ausgeführt worden. Denkbar wären noch bei Modellmotoren sogenannte Gegenkolbenmotoren mit gegenläufig sich bewegenden Kolben in einem Zylinder und einer oder zwei Kurbelwellen. Doppeltwirkende Motoren werden für Modellmotoren nicht ausgeführt. Doppeltwirkende Motoren wären Motoren, bei denen der Kolben abwechselnd von beiden Seiten mit Verbrennungsgasen beaufschlagt wird. Diese Motoren sind eigentlich nur größeren Schiffsverbrennungsmotoren für ozeangehende Schiffe vorbehalten und arbeiten häufig als Zweitakter.

Abb. 60

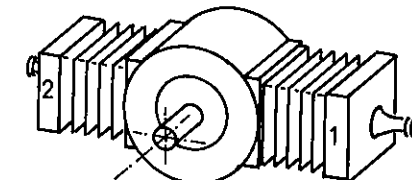


EINZYLINDER

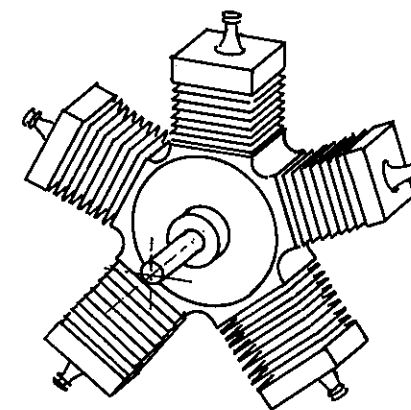
REIHENMOTOR



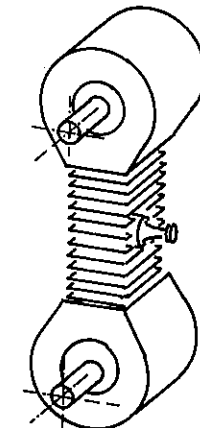
V - MOTOR



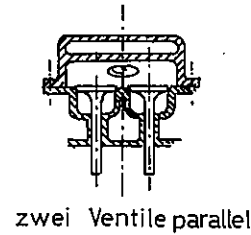
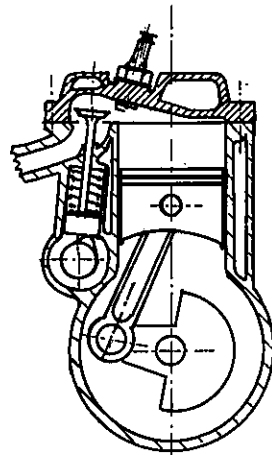
BOXERMOTOR



STERNMOTOR
ein Kurbelzapfen, Hauptpleul mit
Nebenpleul, Zylinderzahl: 3, 5, 7, 9,



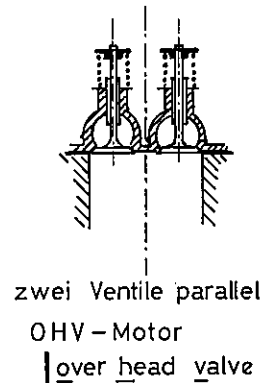
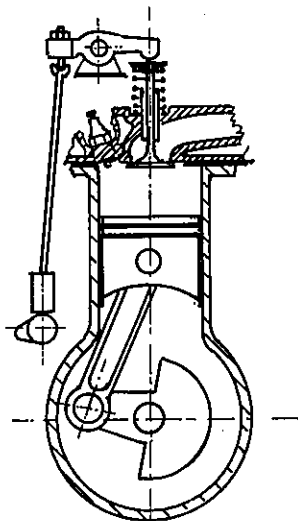
GEGENKOLBENMOTOR
zwei Kurbelwellen
ein Zylinder



zwei Ventile parallel

Abb. 61 Seitengesteuerter Motor

Innerhalb dieser Bauarten von Verbrennungsmotoren kann man weiter unterteilen, je nach Steuerungsanordnung. Es gibt Ventilmotoren. Bei diesen können die Ventile oben im Zylinderkopf angeordnet sein, man spricht dann von einem obengesteuerten Motor (Abb. 62). Die Ventile können auch seitlich parallel zum Zylinder stehen, man spricht dann von einem seitengesteuerten Motor (Abb. 61).



zwei Ventile parallel
OHV-Motor
| over head valve

Abb. 62 obengesteuerter Motor

3.2. Hubkolbenmotoren mit Schiebersteuerung

Neben den Ventilmotoren gibt es noch Schiebermotoren, wobei zu unterscheiden ist zwischen Motoren, bei denen der Schieber ungleichförmig bewegt wird, also ähnlich einem Kolben oszillierende Bewegungen ausführt. Diese Motoren sind unter dem Namen Knight-Motoren bekannt und sind in den 30er Jahren häufig für Kraftfahrzeugantriebe verwendet worden. Bei den Motoren mit der sogenannten Knight-Steuerung bewegen sich zwei dünnwandige Zylinder auf und ab, wobei Schlitze im oberen Totpunkt des Kolbens entsprechend geöffnet und geschlossen werden und so der Gaswechsel vorgenommen wird.

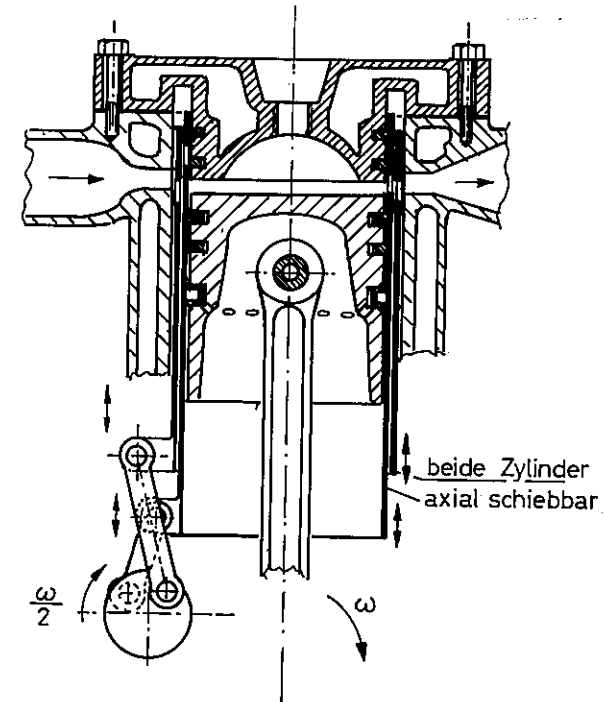
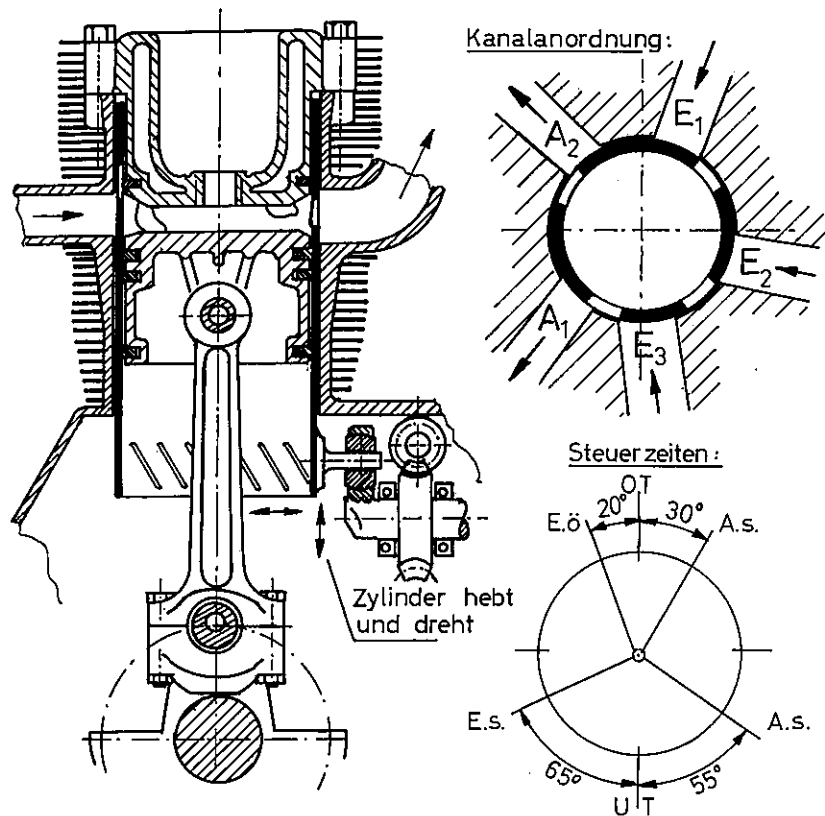


Abb. 63 KNIGHT - Schiebersteuerung

Neben diesen Schiebermotoren mit ungleichförmig bewegten Schiebern gibt es noch Motoren mit gleichförmig bewegten Schiebern, sogenannten Drehschiebern. Diese Drehschieber haben bei den Großmotoren keinen großen Erfolg ergeben, da die Abdichtungsprobleme sehr, sehr groß sind und die Zuverlässigkeit dieser Schieber gering ist. Bei den großen Motoren, wie sie in Kraftfahrzeugen verwendet werden, bilden sich an diesen Schiebern Ablagerungen aus Ölrückständen, die die Abdichtungselemente zum Versagen bringen. Bei den Modellmotoren ist die Abdichtung mit einem großen Anteil von Schmierstoff im Kraftstoffgemisch etwas einfacher zu bewerkstelligen, und es scheint, daß eine Schiebersteuerung mit rotierenden oder sich gleichförmig drehenden Schiebern erfolversprechend ist, und zumindest bei Modellmotoren als einer Ventilsteuerung gleichwertig angesehen werden kann.



BURT-McCOLLUM - Schiebersteuerung
Bristol - und Napier-Flugmotoren

Abb. 64

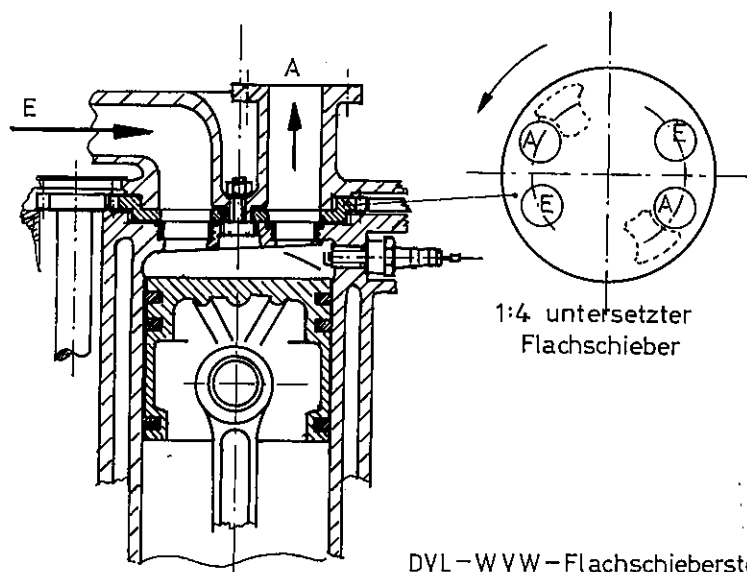


Abb. 65

DVL-WVW - Flachschiebersteuerung

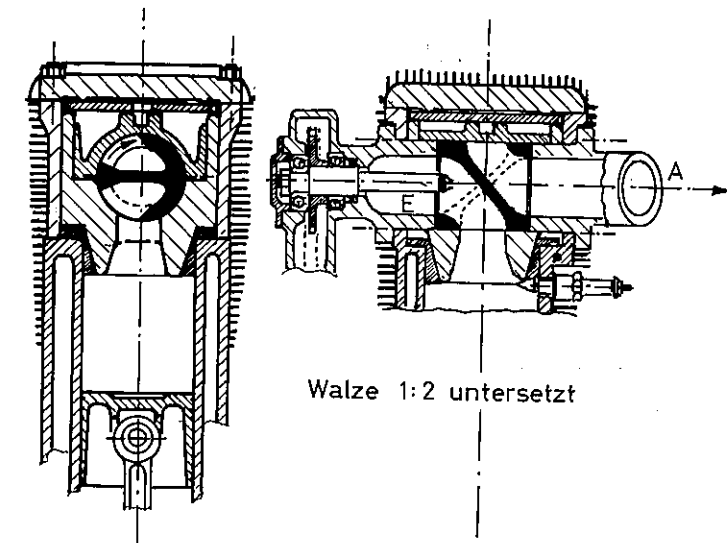


Abb. 66

CROSS Walzenschiebersteuerung

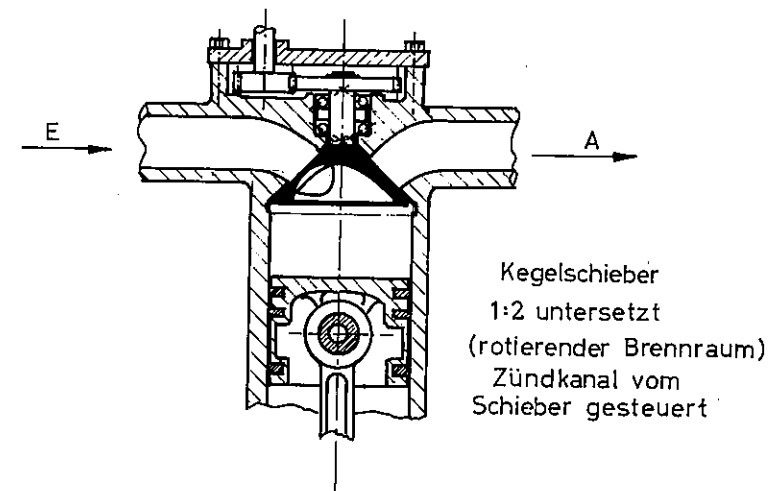


Abb. 67

ASPIN - Kegelschiebersteuerung

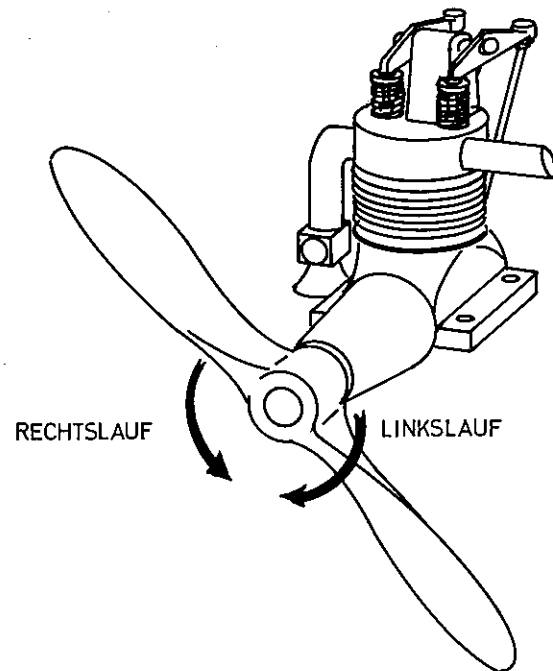


Abb. 68

Definition der Drehrichtung eines Motors

3.3. Rotationskolbenmotoren

Rotationskolbenmotoren sind kinematisch anders als Hubkolbenmaschinen aufgebaut. Durch Überlagerung von 2 Drehbewegungen um parallele Achsen, aber mit unterschiedlichen Winkelgeschwindigkeiten, werden periodisch veränderliche

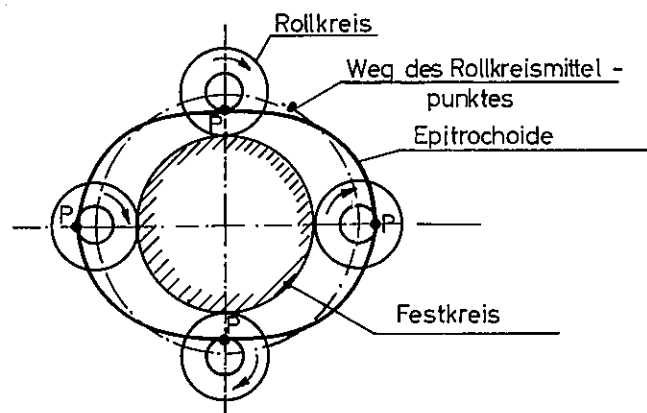


Abb. 69

Entstehung der Epitrochoide beim Wankelmotor

Räume nach dem 4-Takt-Verfahren gebildet. Dabei steuert der Kreiskolben ohne besondere Organe selbst den Gaswechsel. Ein Vertreter dieser Rotationskolbenmotoren ist der Wankelmotor, wie er in Japan im Auftrag und unter Lizenznahme der Firma Graupner gebaut wird.

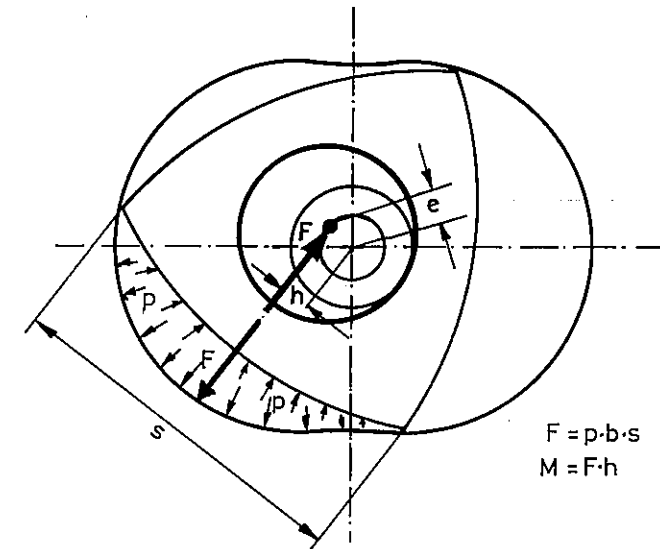


Abb. 70

Kraftverhältnis am Wankelrotor

Die Drehrichtung des Motors ist nach DIN 73021 wie folgt definiert: Wenn auf den hauptkraftabgebenden Flansch des Motors gesehen wird und der Motor sich entgegen dem Uhrzeigersinn dreht, so spricht man von einem Rechtslaufmotor. Blickt man auf den Motor und er dreht sich im Uhrzeigersinn, so spricht man von einem Linkslaufmotor. Diese Regelung rührt daher, daß früher jeder Automobilmotor mit einer Andrehkurbel, die in der Regel auf der gegenüberliegenden Seite der Kraftabgabe angeordnet war, angeworfen wurde. Diese Andrehkurbel wurde meist im Uhrzeigersinn, also rechts herum gedreht, daher werden solche Motoren als Rechtslaufmotoren bezeichnet. Bei Modellmotoren wird fast ausschließlich Rechtslauf angewendet. Die Motoren drehen also, wenn auf den Abtriebsflansch gesehen wird, im Gegenuhrzeigersinn.

4. Motorenteile

4.1. Verdichtungsraum

Der Inhalt des Verdichtungsraumes V_c ergibt sich aus Hubraum V_h und dem Verdichtungsverhältnis ϵ (griechischer Buchstabe: Epsilon)

$$V_c = \frac{V_h}{\epsilon - 1}$$

Bei 4-Takt-Ottomotoren soll der Verdichtungsraum möglichst eine kleine Oberfläche im Verhältnis zum Rauminhalt haben und durch seine Form günstige Strömungsbedingungen für das durch das Ventil eintretende Gas bieten. Die Raumgestaltung von V_c läßt sich beim Entwurf ermitteln, indem man die Hohlraumform mit knetbarer Masse oder Gips herstellt und die Wasserverdrängung in mm^3 mißt. Beim ausgeführten Motor kann man bei Kolbenstellung im oberen Totpunkt den Raum mit einer abgemessenen Ölmenge oder Kraftstoffmenge auslitern. Der Verdichtungsraum kann konstruktiv, wie gesagt, nicht beliebig klein gemacht werden, da für die Ventile im oberen Totpunkt etwas Platz bleiben muß. Wie im folgenden Kapitel noch dargelegt wird, öffnen die Ventile meist schon etwas, bevor der Kolben im OT steht, und bleiben auch bei Kolben-OT noch offen. Sie schließen erst, nachdem der Kolben wieder nach unten geht. Der Brennraum eines ventilgesteuerten Motors wird einmal durch die Ventile zerklüftet. Wenn auf dem Kolbenboden Freiräume für die im OT leicht offenen Ventile ausgefräst werden, sogenannte Ventiltaschen, wird der Brennraum noch mehr unterteilt und größer in der wärmeaufnehmenden Oberfläche. Schwierig ist die Unterbringung der Zündkerze oder Glühkerze bei Modellmotoren, da der Gewindedurchmesser im Verhältnis zur Zylinderbohrung groß ist. Meist wird eine Lage seitlich zwischen den Ventilen gewählt.

4.2. Gaswechselsteuerung

Der Gasfluß des ein- und ausströmenden Gases bei einem Motor ist ein Strömungsvorgang, der kurzzeitig durch das Schließen von Ein- und Auslaßorganen eine periodische Unterbrechung erfährt. Öffnet das Einlaßventil, so muß zuerst eine Gassäule vor dem Ventil zu strömen beginnen. Das braucht eine gewisse Zeit, bis die träge Gasmasse sich in Bewegung setzt. Ebenso versucht das Gas weiter zu strömen, wenn sich auch schon das Ventil geschlossen hat. Es entsteht dann vor dem Ventil ein Staudruck. Im Ansaugkanal eines Viertaktmotors spielen sich gasdynamische Vorgänge ab, die theoretisch nur unvollkommen zu berechnen sind. Selbst bei Automobilmotoren wird das Saugrohr und der Ansaugkanal im Zylinderkopf mehr durch Versuche festgelegt und optimiert als theoretisch berechnet.

Verwickelt sind auch die Verhältnisse im Zylinder. Das Einlaßventil sitzt außer der Mitte im Zylinderkopf. Im Ventilspace kann die Ansaugluft im Bereich der nahen Zylinderwand nicht frei durchströmen, die Zylinderwand deckt einen Teil des Ventilspace ab. Der Strömungsraum im Zylinder ändert dauernd durch die Kolbenbewegung seine Gestalt und Abmessung. Dies bewirkt eine meist ungünstige Beeinflussung der Sog- und Druckwellen in der Gassäule des Ansaugkanals. Günstig hat sich erwiesen, wenn die Lage des Ventils und der Gaskanal vor dem Ventil so gestaltet und angeordnet werden, daß das einströmende Gas möglichst an der Zylinderwand entlang strömt. Die Zylinderwand dient hierbei als Stütze für die Strömung. Die Strömung des Frischgases im Zylinder soll möglichst mit einem leichten Drall erfolgen. Zu viel Drall bewirkt, daß in der Zylindermitte eine Abgassäule zurückbleibt und nur ein Bruchteil des Zylinders sich mit Frischgas füllt.

STEUERDIAGRAMM EINER VENTILSTEUERUNG

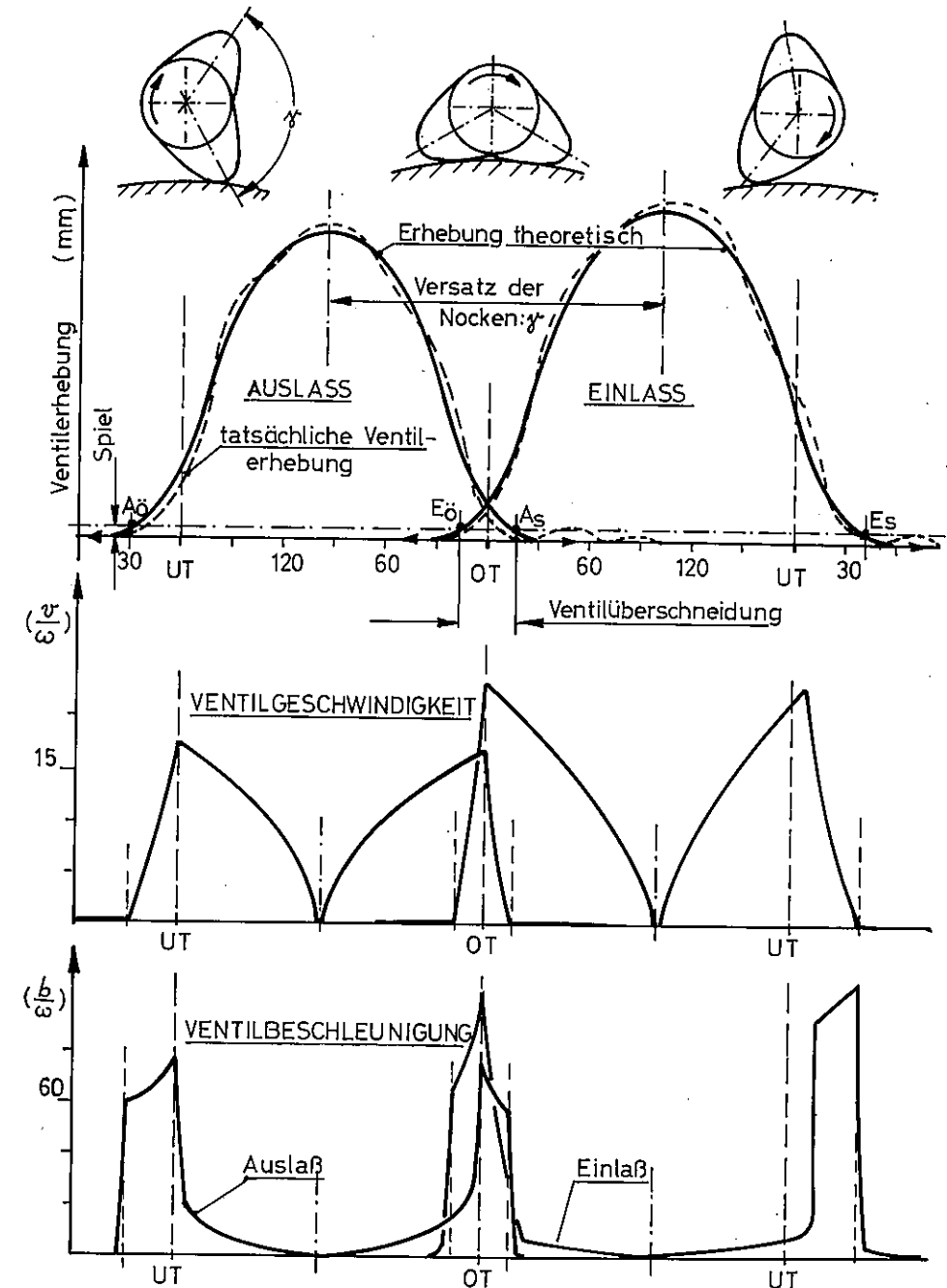


Abb. 71

Die dynamische Energie des Gases in der Ansaugleitung nutzt man aus, indem man das Einlaßventil noch bis zu 60° Kurbelwinkel nach dem unteren Umkehrpunkt des Kolbens offen läßt. Obwohl der Kolben schon im Verdichtungstakt ist, kann so immer noch Frischgas einströmen. Das ist einer der Gründe, weshalb das Einlaßventil länger geöffnet bleibt als der Ansaugtakt des Kolbens dauert. Der andere Grund ist, daß man zu Beginn und am Ende des Ansaugtaktes nicht schlagartig das Ventil öffnen kann und es auch nicht schlagartig geschlossen werden kann. Es sollte bei Beginn des Saughubes schon ein genügend großer Spalt am Ventil vorhanden sein, damit der Kolben bei seiner Abwärtsbewegung sofort Frischgas ansaugen kann. Aber wie gesagt, allzuviel kann man das Ventil im OT des Kolbens nicht öffnen, sonst schlägt das Ventil auf dem Kolbenboden auf und wird krumm.

Die Strömungsgeschwindigkeit im Ansaugkanal eines Motors kann bis zu 60 m/s an Geschwindigkeit erreichen. Wenn man sich dann noch vorstellt, daß bei einem Motor, der mit 12 000 U/min dreht oder mit 200 U/s für die Ansaugzeit gerade 1/400 Sekunde Zeit bleibt, so sieht man schnell ein, daß sich hier wohl schwierig zu berechnende instationäre Strömungsvorgänge abspielen.

Beim Auslaßventil wählt man ähnlich wie beim Einlaßventil eine Öffnungszeit, die schon bis zu 40° vor UT des Kolbens beginnt und bis zu 20° nach OT dauern kann. Es gibt also eine Zeit in der Nähe des Kolben-OT-Punktes, in der beide Ventile offen sind. Es kann damit Frischgas direkt zum Auspuff hinausströmen. Im Ventilschlitz des Auslaßventils erreicht die Strömung meist Schallgeschwindigkeit, im Auspuffkanal sind Strömungsgeschwindigkeiten bis zu 120 m/s möglich.

Die Verhältnisse werden in einem sogenannten Steuerdiagramm bildlich dargestellt. In der Abb. 71 ist das Steuerdiagramm eines Viertaktmotors aufgezeichnet. Der Auspuff öffnet ca. 40° vor UT und schließt 20° nach OT. Das Einlaßventil öffnet 20° vor OT und schließt 60° nach UT. Bei dem Steuerdiagramm ist eine Ventilüberschneidung, also die Zeit, in der beide Ventile offen sind, von 40° Kurbelwinkel vorhanden. Wie aus dem Diagramm ferner hervorgeht, ist der Hub und damit der Einlaßspalt beim Einlaßventil größer als beim Auslaßventil. Da das Auslaßventil im Motorbetrieb sehr heiß wird, kann man es nicht so stark beschleunigen wie das kältere Einlaßventil; auch ist es leichter möglich, Gas mit Überdruck von 3–10 bar durch einen Ventilschlitz zu drücken, als wenn man Frischgas mit möglichst wenig Ansaugunterdruck durch den Ventilschlitz fördern muß. Man sieht ferner, daß es bei einem schnelllaufenden Motor mechanisch nicht möglich ist, auch nur eine kurze Zeit das Ventil ganz offen zu lassen. An das Öffnen des Ventils schließt sich sofort der Schließvorgang an. Die Ventile sind nur in Ruhe, wenn sie auf ihren Ventilsitzen im Arbeitstakt und beim Verdichtungstakt auftreten. In dieser Zeit des Stillstandes können die Ventile die Wärme von den heißen Verbrennungsgasen an den gekühlten Ventilsitz im Zylinderkopf abgeben. Ungünstig ist es auch, wenn besonders beim Auslaßventil eine schleichende Öffnungsbewegung erfolgt. Das heiße Verbrennungsgas würde bei einer schleichenden Öffnungsbewegung durch den schmalen Ventilschlitz ausströmen, wobei das Ventil durch die hohe Strömungsgeschwindigkeit stark erwärmt und am Ventilsitz ausgewaschen wird. Der Ventilsitz verzundert dabei und verschleißt damit schnell. Es ist also schlecht, zu früh und ganz allmählich das Auslaßventil zu öffnen, besser erst dann, wenn das Gas sich durch Expandieren abgekühlt hat und wenn der Druck damit auch weitgehend auf Werte um 3 bar gesunken ist.

Wird die Ventilüberschneidung sehr klein gemacht, so bekommt man einen Motor mit einem zuverlässigen und regelmäßigen Leerlauf und einem hohen Drehmoment bei niedrigen Drehzahlen. Bei einer Ventilüberschneidung von nur 12° Kurbelwinkel sinkt bei einem Modellmotor schon bei 9000 U/min die Leistung deutlich ab. Ein spä-

tes Schließen des Einlaßventils bringt eine hohe Leistung dank der guten Füllung des Zylinders mit Frischgasen bei höheren Drehzahlen.

Für Modellmotoren mit Ventilsteuerung sind folgende Steuerzeiten üblich:

Einlaß öffnet	20–25° vor OT
Einlaß schließt	30–60° nach UT
Auslaß öffnet	30–50° vor UT
Auslaß schließt	5–30° nach OT.

Für Modellmotoren ist es nicht möglich, auf Grund einer Ventilerhebungskurve oder eines Steuerdiagramms die Frischgasmenge, die der Motor effektiv ansaugt, zu berechnen oder etwas damit über die Leistung eines Motors auszusagen. Man muß hier sich auf Erfahrungswerte verlassen und experimentell die günstigsten Steuerzeiten und Ventilerhebungskurven ermitteln. Der Hersteller eines Viertakt-Modellmotors hat sicher einige Nockenwellen mit unterschiedlichen Steuerzeiten erprobt, bis ein zufriedenstellender Leerlauf, optimale Leistung bei der gewünschten Maximaldrehzahl und ein hohes Drehmoment erzielt wurden.

4.2.1. Das Ventil

Die Ventile, insbesondere das Auslaßventil, sind mechanisch und thermisch hoch belastete Bauteile eines Modellmotors. Es ist verwunderlich, daß solch ein Bauteil überhaupt funktioniert. Das Einlaßventil erreicht Temperaturen von 300 bis 500 °C. Bei diesen Temperaturen zeigen die Stähle schon deutlich Anlauffarben, werden also oxidiert und chemisch angegriffen. Das Auslaßventil wird noch wärmer und kann bis 800 °C erreichen. Die Abb. 72 zeigt ein Auslaßventil eines Automotors, an dem die Temperaturen mit erheblichem Meßaufwand gemessen wurden. Man stelle sich vor, daß solch ein Auslaßventil im rot glühenden Zustand seinen Dienst tun muß. Es ist klar, daß hier Materialien verwendet werden müssen, die einmal zunderbeständig sind und zum anderen auch eine hohe Warmfestigkeit haben.

TEMPERATURVERTEILUNG AM AUSLAßVENTIL EINES Automotors (DB:M108)

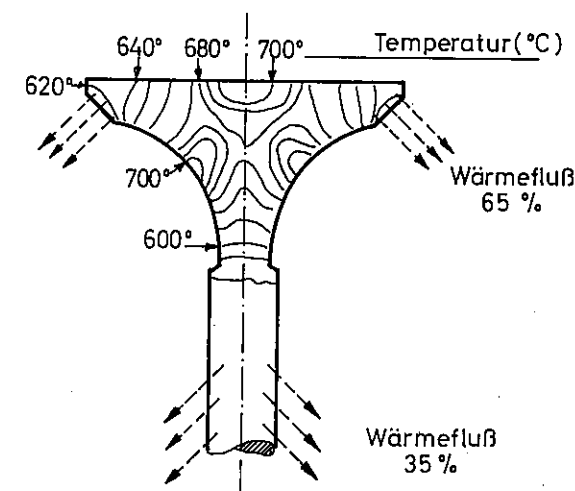


Abb. 72

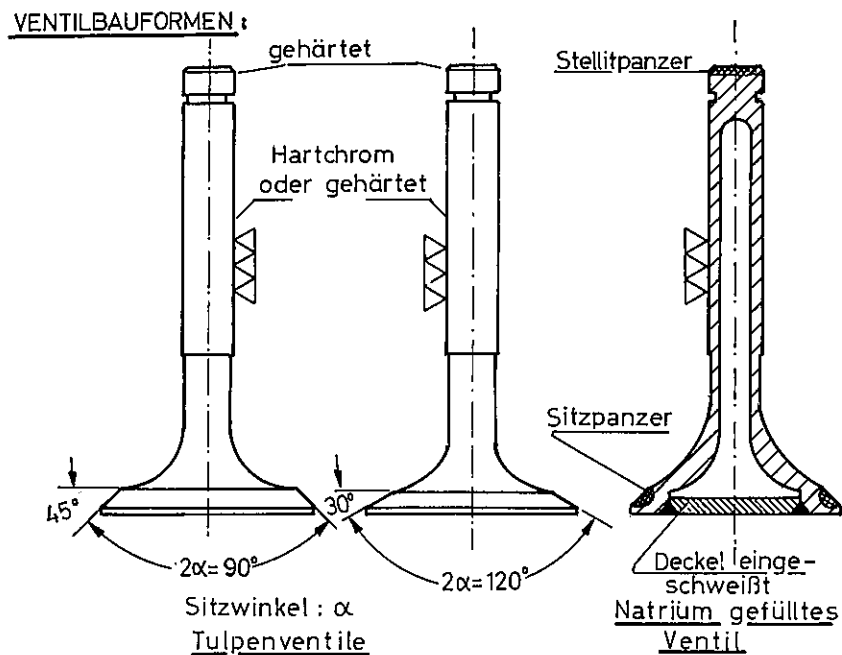


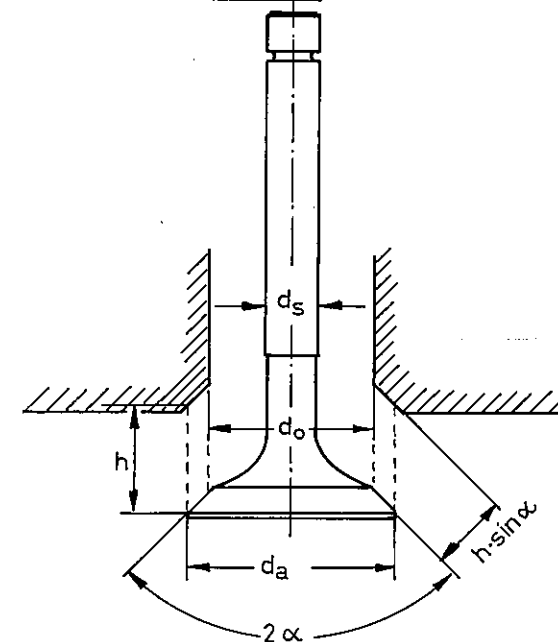
Abb. 73

Von der Stahlindustrie wurden für Ventile spezielle Stähle entwickelt. Für Einlaßventile genügt ein Werkstoff, der etwa ein Prozent Chrom enthält. Diese Materialien sind unter der Bezeichnung 41Cr4 oder 42CrMo4 im Werkzeugmaschinenbau als Vergütungsstähle bekannt. Für das thermisch höher beanspruchte Auslaßventil sind Stähle mit höherem Chrom- und Nickelgehalt sowie Molybdän und Wolframanteile üblich. Hier wären die Werkstoffe X 45CrNiW 189 und X 50CrMnNi 229 zu nennen. Diese Werkstoffe sind bis 650 °C zunderbeständig und temperaturfest. Die Bearbeitung dieser Werkstoffe ist schwierig, und es können nur kleine Späne auf Automaten abgedreht werden. Daher sind diese Ventile recht teure Bauteile.

Im Automobilbau werden die Ventile an den Sitzen und am Ventilschaftende gepanzert. Am Ventilsitz wird ein besonders hochhitzebeständiger Stellite aufgeschweißt und am Schaftende meist ein Hartmetall. Der Ventilschaft wird hartverchromt, um einen geringen Verschleiß in der meist schlecht geschmierten Ventileführung zu bekommen. Bei besonders thermisch hoch beanspruchten Ventilen sind der Ventilteller und der Schaft hohl. In diesen Hohlraum wird Natrium gefüllt und der Hohlraum mit einer Platte zugeschweißt. Das Natrium schmilzt bei 97 °C, und so kann über das im hohlen Ventil hin- und herschwabende flüssige Natrium die Wärme aus dem Ventilteller in den Ventilschaft zur Ventileführung transportiert werden. Abb. 73.

Bei Modellmotoren ist solch ein aufwendiges Ventil nicht so notwendig und auch nicht herstellbar. Wichtig bei den Ventilen für Modellmotoren ist, daß eine möglichst glatte, mit Diamanten hochglanzgedrehte Oberfläche zwischen Ventilteller und Schaft vorhanden ist. Auf dieser glatten Oberfläche setzt sich viel weniger Ölkohle aus dem Schmiermittel an. Ölkohle am Übergang des Ventiltellers zum Schaft führt zum Klemmen des Ventils in der Ventileführung. Das Ventil setzt sich nicht mehr richtig auf seinen Sitz, es bleibt immer etwas geöffnet und undicht. Dadurch überhitzt

ENTWURFSDATEN : VENTIL



Durchlaßquerschnitt :

$$A_{\text{Ventil}} = \pi \cdot d_o \cdot h \cdot \sin \alpha$$

$$\alpha = 45^\circ : \sin \alpha = 0,707$$

$$\alpha = 60^\circ : \sin \alpha = 0,866$$

erforderlicher Ventilhub : h_{erf.}

$$h_{\text{erf.}} \approx \frac{s \cdot n_{\text{max}} \cdot A_K}{3600000 \cdot d_o \cdot \sin \alpha}$$

- s = Kolbenhub (mm)
- n_{max} = maximale Motordrehzahl (U/min)
- A_K = Kolbenfläche (mm²)
- d_o = Ventilsitz Innen Ø (mm)

Abb. 74

der Werkstoff, und das Ventil kann verbrennen oder abbrechen, was zu einem Motorschaden führt.

Der Ventilsitz bei den Tellerventilen hat üblicherweise einen Sitzwinkel von 45°. Bei diesem Winkel ergeben sich gute Dichtheit und geringe Öffnungskräfte. Bei einem Sitzwinkel von 60° ergeben sich größere Öffnungsquerschnitte bei gleichem Hub als bei 45°-Ventilsitzen. Allerdings sind diese Ventile schlechter dichtzubekommen und verschleifen schneller auf dem Ventilsitz. Abb. 74.

VENTILEINBAU BEI MODELLMOTOREN

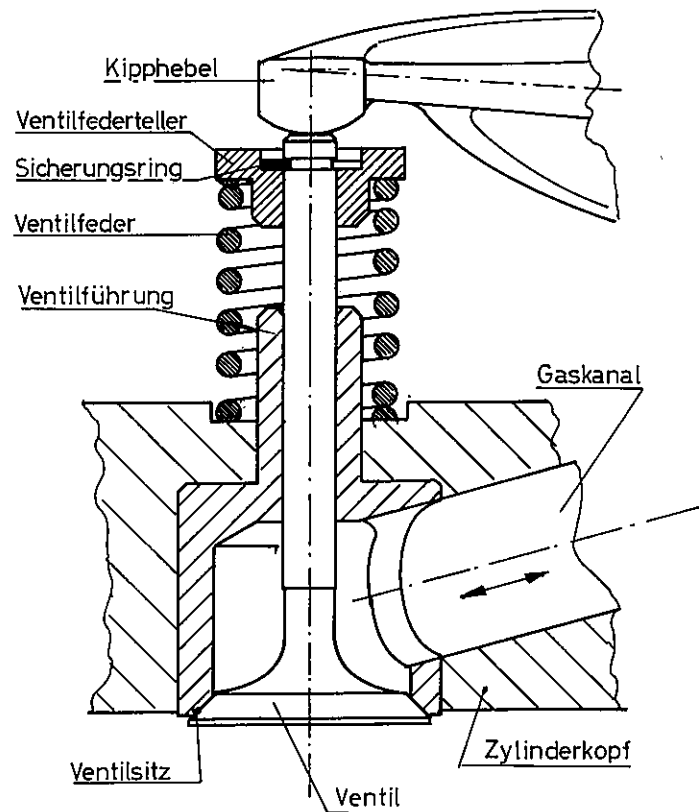


Abb. 75

Die Ventilführung und der Ventilsitz sind bei Modellmotoren aus einem Stück gefertigt. Diese sogenannte Ventiltasse wird aus Bronze hergestellt und in den Zylinderkopf eingepreßt. Abb. 75. Nach dem Einpressen der Ventiltassen kann erst die Ventilbohrung maßhaltig gebohrt werden, und auch der Ventilsitz nebst Kanalöffnung ist erst dann fertig bearbeitbar. Es gibt auch Modellmotoren, bei denen die Ventile direkt im Silizium-Aluminium-Material des Zylinderkopfes laufen. Hier ist aber der Ventilsitz im Kopf nicht lange den Beanspruchungen gewachsen, und die Ventile müssen öfters auf die Sitze neu eingeschliffen werden.

Die Rückstellung der Ventile erfolgt meist über Ventildfedern in der Form von zylindrischen Schraubenfedern. Diese Federn liegen an einem Ventilfederteller an, der über einen Sicherungsring mit dem Ventilschaft axial verbunden ist. In der Abb. 77 sind die drei üblichen Sicherungsringe dargestellt. Wichtig ist, daß der Ventilfederteller formschlüssig den Sicherungsring umschließt, so daß dieser nicht aufspringen kann. Der sogenannte Bensing-Sicherungsring ist zwar leicht zu montieren, aber auch nicht hoch axial belastbar. Ganz umschließende Ringe, wie Drahtringe oder Seegerringe, sind günstiger. Selten wird bei Modellmotoren der im Automotorenbau übliche längs geteilte Kegelkeil verwendet. Die Herstellung dieser Kegelkeile ist aufwendig, allerdings ist dies die am höchsten belastbare Verbindung.

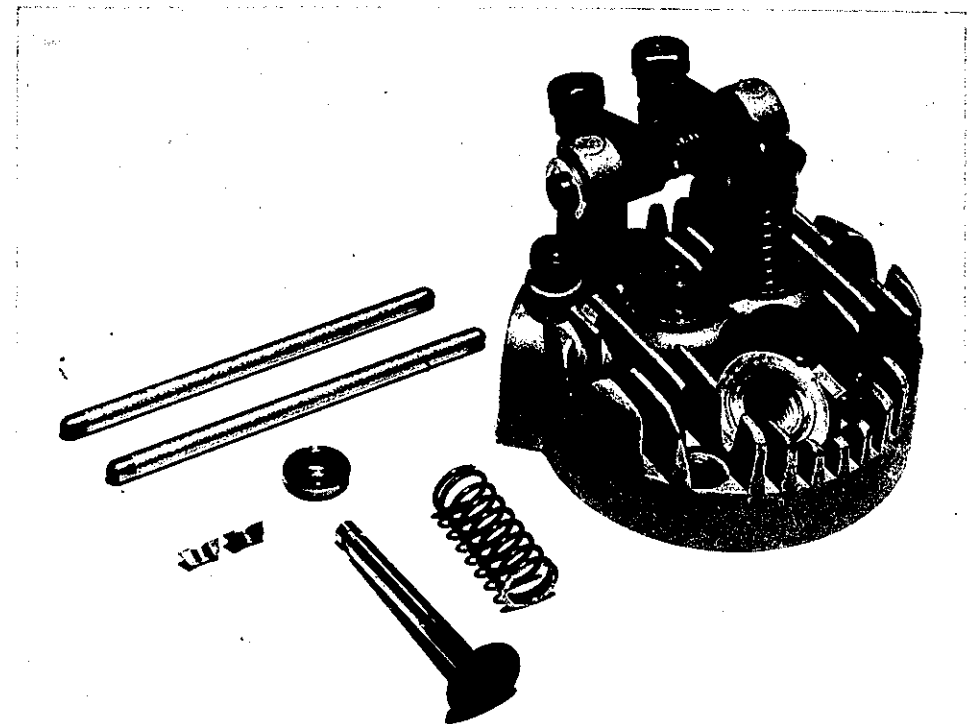


Abb. 76: Zylinderkopf und Ventil des Modellmotors ENYA 35-4C. Das Ventil wird über Kegelhälfte mit dem Ventilteller verbunden.

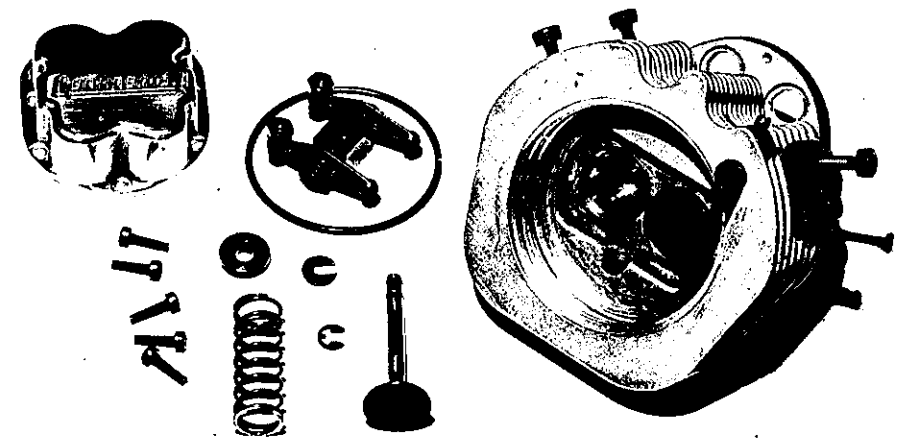


Abb. 78: Anordnung der beiden parallel stehenden Ventile im Zylinderkopf des FK-50-Boxermotors. Der Zylinderkopf ist auf den Zylinder mit Gewinde aufgeschraubt. Ein temperaturfester Gummiring dichtet den Zylinderkopf gegen die Zylinderbüchse ab. Deutlich ist der Wannenbrennraum um die Ventile zu erkennen.

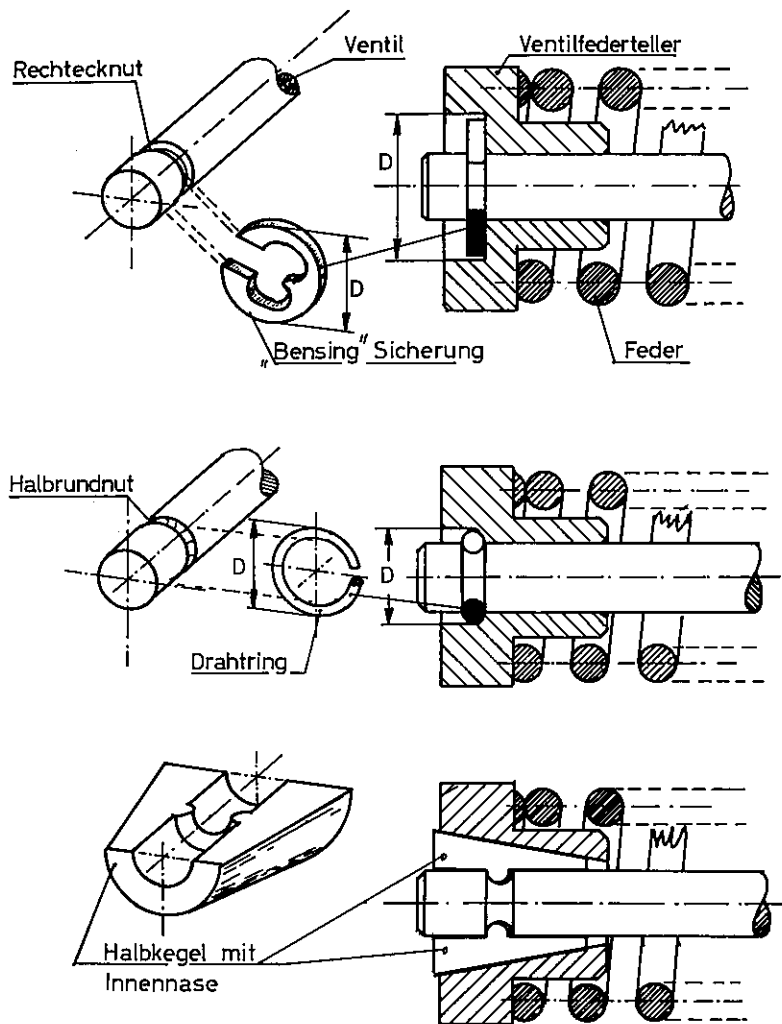


Abb. 77

Die Beschleunigung an den Ventilen bei Modellmotoren erreicht Werte von 1000 g (g ist die Erdbeschleunigung $9,81 \text{ m/s}^2$). Das bedeutet, daß ein Ventil bis zum 1000fachen seines Gewichtes als Antriebskraft oder Rückstellkraft benötigt. Die Kräfte sind also nicht klein, wenn man schwere Ventile verwendet. Die Ventile bei Modellmotoren wiegen zwischen 0,7 Gramm und 3 Gramm, für hochtourige Motoren ist hier mit jedem Bruchteil eines Gramms zu geizen, um noch eine brauchbare Rückstellfeder zu bekommen und den Nockentrieb nicht zu überlasten. Zum Gewicht des Ventils zählt auch der Sicherungsring und der Ventilfederteller. Daher wird der Ventilfederteller meist aus Leichtmetall hergestellt.

In den Abb. 73 und Abb. 74 sind ausgeführte Ventilformen aufgezeichnet und die Formel für die Durchlaßquerschnitte angegeben. Ebenso ist eine Formel für den notwendigen Ventilhub vermerkt.

4.2.2. Anordnung von Ventilen

Für hochtourige Modellmotoren werden die Ventile im Kopf hängend angeordnet. Der Durchmesser des Ventiltellers wird meist so gewählt, daß Einlaß- und Auslaßventile gleich großen Durchmesser haben. Günstig für eine hohe Leistung bei höheren Drehzahlen wäre, das Einlaßventil geringfügig größer zu machen als das Auslaßventil. Die folgende Abbildung zeigt die mögliche Anordnung der Ventile.

VENTILANORDNUNG IM BRENNRAUM

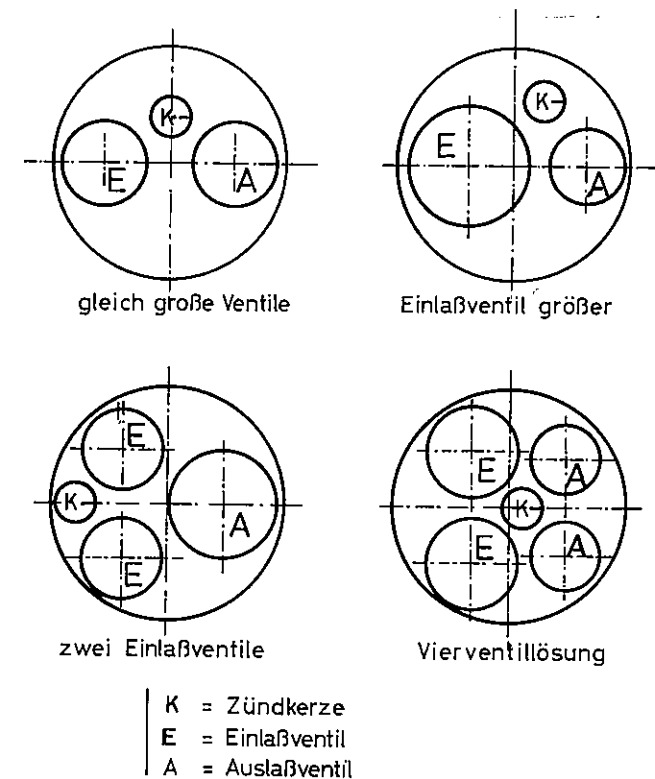


Abb. 79

Es können einmal die Ventile geneigt werden oder parallel zueinander stehen. In diesem Fall können nur relativ kleine Ventile verwendet werden. Ein- und Auslaßventil sollen einen ausreichenden Abstand, meist in der Größenordnung zwischen ein bis zwei mm von der Zylinderwand haben, sonst wird durch die Zylinderwand ein Großteil des Einlaßventilquerschnitts abgeschirmt und abgedeckt. Günstiger bezüglich der Ventilgröße sind schräghängende Ventile. In dieser Anordnung lassen sich größere Ventilquerschnitte unterbringen, da hierbei das Einlaß- und Auslaßventil in seinem Durchmesser bis an die Zylinderwand heranreichen kann. Bei der Ventilanordnung und der Wahl der Größe des Ventils ist auch darauf zu achten, daß zwischen den Ventilen noch ein genügend großer Steg im Zylinderkopf zur Aufnahme der Zündeinrichtung übrig bleibt. Dieser Steg zwischen den Ventilen ist ther-

misch sehr hoch belastet und muß aus diesem Grund durch Kühlrippen sehr gut gekühlt werden. Er darf in der Regel nicht kleiner als 1,5 mm gewählt werden. Eine Lösung mit mehreren Ventilen für Einlaß und Auslaß hat sich bei Modellmotoren noch nicht durchgesetzt. Denkbar wäre eine Anordnung mit einem Auslaßventil und zwei Einlaßventilen oder zwei Einlaßventilen und zwei Auslaßventilen. Hierbei ergeben sich etwas größere Ventilöffnungsquerschnitte, und es kann eine etwas höhere Leistungsausbeute bei höheren Drehzahlen erwartet werden. Allerdings ist der Aufwand für den Antrieb dieser Ventile sehr hoch.

Die Anordnung der Ventile beeinflusst auch die Gestalt des Brennraums. Einen günstigen Brennraum ergibt eine Halbkugel, wobei am höchsten Punkt der Kugel die Zündeinrichtung angeordnet sein sollte. Ein topfförmiger Brennraum, wie er sich bei parallelen Ventilen meist nur gestalten läßt, ergibt eine große Oberfläche und „tote Ecken“, in denen das Brennstoff-Luftgemisch nicht zündet. Bei zueinander geneigten Ventilen ergibt sich ein der Form der Halbkugel am nächsten kommender Brennraum. Aus diesem Grunde schon und nicht nur, weil damit größere Ventilquerschnitte möglich sind mit größeren Strömungsquerschnitten ohne Wandabschirmung, wie bei parallelstehenden Ventilen, sollten bei Hochleistungsmotoren die Ventile zueinander geneigt angeordnet sein. Die Neigung der Ventilachsen zueinander kann bis 90° betragen; ein günstigerer Kompromiß bezüglich Brennraum und Kolbengestaltung ergibt sich bei etwa 60° Neigung der Ventilachsen zueinander.

4.2.3. Ventildedern

Bei Viertaktmotoren mit Tellerventilen werden diese Ventile heute nur noch zwangsgesteuert. Über einen Nocken werden die Ventile geöffnet, und mit einer Feder werden die Ventile wieder geschlossen. Die Ventildeder muß dabei nicht nur das Ventil gegen Überdruck im Abgasrohr oder Unterdruck im Zylinder geschlossen halten, die Feder muß auch so viel Federkraft haben, daß das Ventil zu jeder Zeit genau der Nockenerhebung folgt und nicht zeitweise vom Nocken abhebt und einen „Freiflug“ vollführt. Hier spielen Massenkkräfte im Ventiltrieb eine Rolle und welche Beschleunigungen durch den Nocken dem Ventil erteilt werden.

Bekanntlich ist Kraft gleich Masse mal Beschleunigung. Die Kraft ist daher um so kleiner, je kleiner die Masse ist, die beschleunigt werden muß. Das Ventil ist daher so leicht wie möglich auszuführen, aber auch alle bewegten Teile zwischen Ventil und Nocken sind so leicht wie möglich zu machen. Alle bewegten Massen im Nockenbetrieb sind auf die Ventilmitte zu beziehen. Ein Beispiel ist die auf die Ventilmitte bezogene Masse für einen Stoßstangenantrieb mit Kipphebel (siehe Abb. 80).

Die Federkraft sollte größer als die Massenkraft sein. Zweckmäßigerweise wird die Federkraft

$$F_{\max} = 1,5 \cdot m \cdot b$$

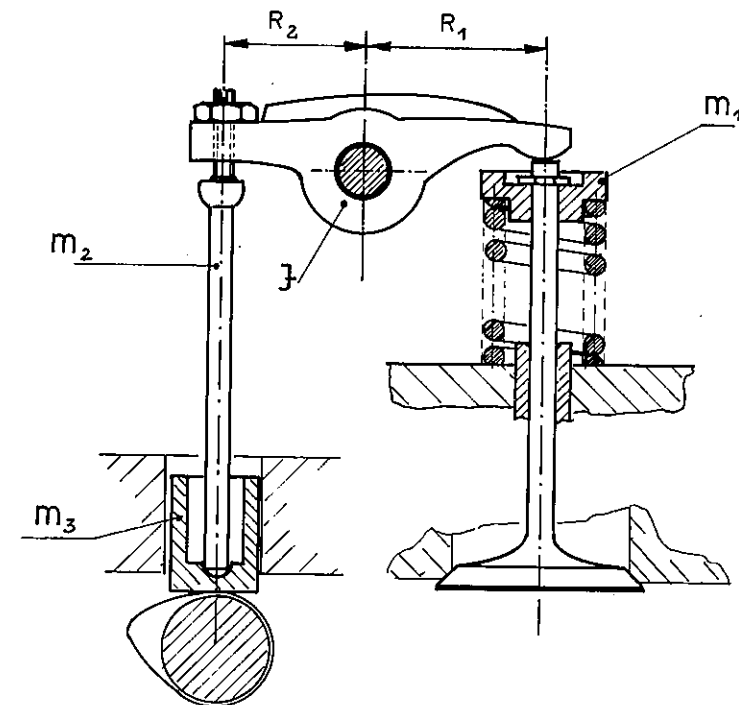
gewählt.

m = Masse des Ventiltriebes, bezogen auf Ventilmitte

b = Ventilbeschleunigung bzw. Verzögerung (aus Nockenform abzuleiten)

Eine zu große Ventildederkraft verursacht unnötige Reibungsverluste im Ventiltrieb und würde zu Schäden am Nocken und am Nockentrieb führen.

Abb. 80



$$m_{\text{red}} = m_1 + \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2 \cdot (m_2 + m_3) + \frac{J}{R_1^2}$$

m_1 = Masse Ventilderteller (g)

m_2 = Masse Stoßstange (g)

m_3 = Masse Stößel (g)

J = Massenträgheitsmoment des Kipphebels
 $\approx mr^2$ der Massen am Hebelende

Die Federberechnung erfolgt nach den Regeln des Maschinenbaus. Bei zylindrischen Schraubenfedern ergibt sich die maximale Federkraft zu:

$$F_{\max} = \frac{h \cdot G \cdot d^4}{8 \cdot i \cdot D_m^3} \text{ [N]}$$

Drahtbeanspruchung: τ

$$\tau = \frac{8}{\pi} \cdot \frac{F \cdot D_m}{d^3} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

h = Ventilhub (mm)

d = Federdraht ϕ (mm)

G = Schubmodul $\approx 83\,000 \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)$

i = Anzahl Federwindungen

D_m = mittlerer Windungsdurchmesser [mm].

Als Ventildraderdraht werden Federstähle verwendet, die speziell gehärtet und vergütet werden. Der häufig verwendete Federdraht 50 Cr V4, ölschlußvergütet nach DIN 17 223, Bl. 2, erreicht Dauerfestigkeitswerte für Torsionsspannungen von $\tau_D \approx 800 \text{ N/mm}^2$.

Die Beanspruchung der Ventildrader ist aber nicht allein durch das Einfedern beim Ventilhub gegeben. Leider neigen die zylindrischen Schraubenfedern noch zu Eigenschwingungen. Dabei schwingen die einzelnen Windungen der Feder wie eine Ziehharmonika gegeneinander. Diese Eigenschwingung der zylindrischen Schraubenfeder nennt man „Schwirren“. Dabei geht die Rückstellkraft der Feder meist verloren, und das Ventil verliert den innigen Kontakt zum Nocken. Die Federbeanspruchung nimmt hohe, unzulässige Werte an.

Dieses Federschwirren kann berechnet werden. Die Eigenschwingzahl einer zylindrischen Schraubenfeder beträgt

$$n_e = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{d}{i \cdot D_m^2} \cdot \sqrt{\frac{G}{2\rho}} \quad \left[\frac{1}{\text{min}} \right]$$

für Federstahldraht:

$$n_e = 2,17 \cdot \frac{d}{i \cdot D_m^2} \cdot 10^7 \quad \left[\frac{1}{\text{min}} \right]$$

d = Drahtdurchmesser [mm]

D_m = mittlerer Windungsdurchmesser [mm]

$G \approx 83\,000 \text{ N/mm}^2$ (Gleitmodul)

ρ = Dichte = γ/g

i = federnde Windungen.

Diese Eigenfrequenz sollte nicht mit der Betätigungsfrequenz des Ventils angeregt werden, auch sollte sich in der Nockenerhebung kein harmonisches Vielfaches dieser Frequenz finden lassen. Als Rezept gegen das Federschwirren empfiehlt sich ein progressiver Wickelsinn der Feder. Dabei nimmt der Abstand zwischen den einzelnen Windungen der Feder im entspannten Zustand progressiv zu. Dies bewirkt, daß zunächst einige Windungen bei geschlossenem Ventil aneinanderliegen; wie man sagt: „Block“ sind. Beim Öffnen des Ventils legen sich noch mehr Federwindungen aneinander, so daß die Eigenfrequenz der Feder bei geöffnetem Ventil höher wird. Die Resonanz der Federschwingung, die Schwirrschwingung der Feder, kann sich durch das stetige Ändern der Eigenfrequenz nicht so deutlich ausbilden. Die genaue Berechnung solcher Federn erfordert eine Datenverarbeitungsanlage und ist aufwendig. Bei Modellmotoren ist die Eigenfrequenz der zylindrischen Schraubenfedern für die Ventiltrückstellung meist recht hoch und wird durch die Nockensteuerung kaum angeregt. Würde allerdings eine Ventildrader zum Schwirren angeregt, so verliert sie die Rückstellwirkung auf das Ventil. Die Ventilbewegung wird unkontrolliert, das Ventil macht einen „Freiflug“ und kann mit dem Kolben kollidieren.

Die Beispielrechnung einer Ventildrader sei hier angeführt. Bekannt seien die auf die Ventilmittel bezogene Masse der Steuerungsteile mit $m = 2,5$ Gramm, die maximale Beschleunigung vom Nocken her mit $b = 4000 \text{ m/s}^2$, der Ventilhub von $2,5 \text{ mm}$, und der konstruktiv gewählte mittlere Federdurchmesser von $6,3 \text{ mm } \varnothing$.

Danach ergibt sich eine notwendige maximale Federkraft von:

$$F_{\text{max}} = 1,5 \cdot 2,5 \cdot 4000 = 15,0 \text{ [Newton]}$$

$$\frac{1 \text{ kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} = 1 \text{ N}$$

Aus der folgenden Tabelle über handelsübliche Ventildrader wird eine Feder mit $D_m = 6,3 \text{ mm } \varnothing$ und $0,8 \text{ mm}$ Federdrahtstärke mit einer Federkraft bei Block der Federwindungen von $24,03 \text{ N}$ ausgewählt.

Länge Feder entspannt: $15,5 \text{ mm}$; Blocklänge: $7,7 \text{ mm}$

Federsteifigkeit: $c = 3,03 \text{ N/mm}$; $F_{\text{Block}} = 24,03 \text{ N}$.

Diese Feder muß bei geschlossenem Ventil ca. 5 mm vorgespannt werden. Es bleiben also bis zum Block der Feder noch $2,8 \text{ mm}$ übrig, was für einen $2,5\text{-mm}$ -Ventilhub gerade noch ausreicht.

Die maximale Federbeanspruchung bei maximalem Ventilhub errechnet sich zu:

$$\tau_{\text{max}} = \frac{8}{\pi} \cdot \frac{F \cdot D_m}{d^3} = \frac{8}{\pi} \cdot \frac{24,03 \cdot 6,3}{0,8^3} = 608 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$\tau_{\text{max zulässig}} \approx 800 \text{ [N/mm}^2\text{]} \rightarrow \text{Feder dauerhaft.}$$

Die Schwirreigenfrequenz der Feder errechnet sich für nicht aneinander liegende Windungen der Feder bei 8 federnden Windungen:

$$n_e = 2,17 \cdot \frac{d}{i \cdot D_m^2} \cdot 10^7 = 2,17 \cdot \frac{0,8}{8 \cdot 6,3^2} \cdot 10^7 = 54\,673 \left[\frac{1}{\text{min}} \right].$$

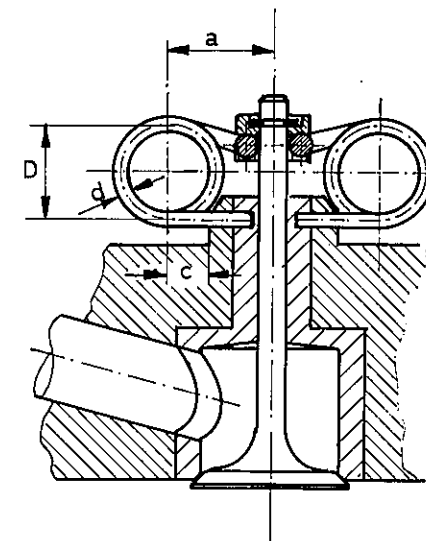
Falls der Motor mit $12\,000 \text{ U/min}$ laufen sollte, wäre dies die 4,5fache Eigenfrequenz, die bei Modellmotoren kaum noch angeregt wird. Die aus der Tabelle ausgewählte Feder ist also für den Motor geeignet.

Eine weitere Möglichkeit der Ventiltrückstellung mit Federn bieten sogenannte Haarnadelfedern oder auch Drehstabfedern. Bei den Haarnadelfedern wird der Federwerkstoff hauptsächlich nur auf Biegung beansprucht, bei Drehstabfedern nur auf Torsion. Die Abb. 81 zeigt die mögliche Ausführung einer Haarnadelfeder.

Sie haben zwar Vorteile bezüglich des Schwirrens der Ventildrader, bauen aber größer und werden daher bei Modellmotoren nur selten angewendet werden.

Tabelle über handelsübliche Ventilfeeder
(Firma Stump & Schüle, 7444 Beuren, Postfach 40)

Draht ϕ d (mm)	Mittlerer Feder ϕ D _m (mm)	Länge der entspannt (mm)	Feder Block (mm)	Steife c (N / mm)	F _{max} (Block) (N)
0,63	5,0	12,5	5,2	2,35	15,49
		18,5	8,2	1,55	
	6,3	11,5	4,6	1,83	12,45
		17,0	6,2	1,17	
	25,5	8,9	0,76		
0,8	5,0	16,0	5,1	0,89	10,0
		24,5	7,1	0,57	
		37,0	10,2	0,37	
	6,3	12,0	7,7	6,07	25,99
		17,5	10,9	3,92	
	10,5	5,6	4,77		
1,0	6,3	15,5	7,7	3,03	24,03
		23,0	10,9	1,96	
	8,0	14,5	6,1	2,32	19,52
		21,5	8,4	1,48	
	32,0	12,0	0,96		
1,25	5,0	8,5	6,6	23,24	43,74
		12,0	9,0	14,81	
	6,3	14,5	10,1	7,39	34,13
		21,5	14,3	4,79	
	30,5	19,9	3,26		
1,0	8,0	13,0	7,3	5,68	33,15
		19,0	10,1	3,61	
		28,5	14,3	2,33	
	10,0	17,5	8,0	2,90	27,36
		26,0	11,2	1,85	
	39,0	16,0	1,20		
1,25	8,0	15,0	7,4	14,32	104,93
		22,0	10,5	8,92	
		33,0	14,9	5,83	



Haarnadelfeder

für $D/d = 5$ gilt:

$$F = \frac{\pi \cdot d^3}{9,6(a+r)} \cdot \sigma_b$$

$$\sigma_b = \frac{9,6 \cdot F \cdot (a+r)}{\pi \cdot d^3}$$

$$f = \frac{F}{2EI} \cdot \left[r \cdot \pi \cdot i \cdot a^2 + \frac{a^3}{3} - \frac{1}{6}(a-c)^3 \right]$$

E = E-Modul
(Stahl: 210 000 N/mm²)

I = Flächenträgheitsmoment
($I_{\bullet} = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$)

i = Windungszahl einer
Federhälfte

e und c ist möglichst
klein zu machen

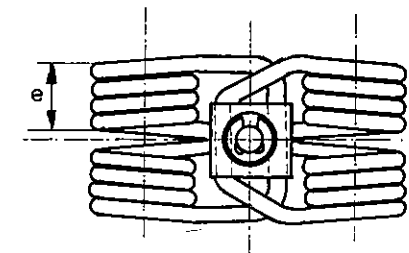
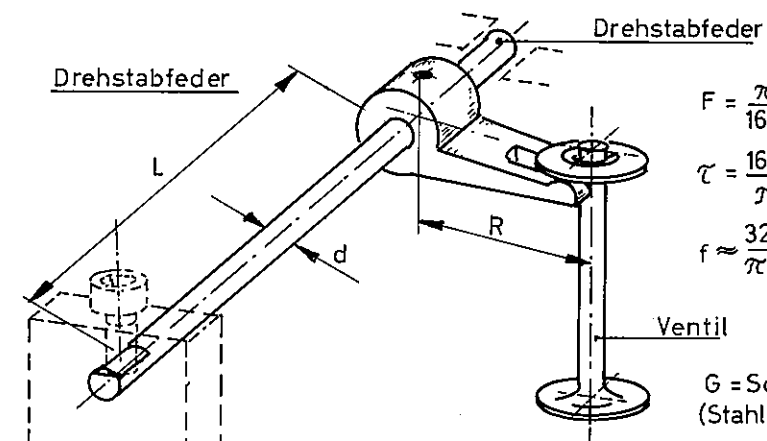


Abb. 81



$$F = \frac{\pi \cdot d^3}{16R} \cdot \tau$$

$$\tau = \frac{16 \cdot R \cdot F}{\pi \cdot d^3}$$

$$f \approx \frac{32 \cdot L \cdot R^2 \cdot F}{\pi \cdot G \cdot d^4}$$

G = Schubmodul
(Stahl: 78 000 N/mm²)

Abb. 82

4.2.4. Nockenformen

Bei den Nocken, den Betätigungselementen für Ventilsteuerungen, unterscheidet man Kreisbogennocken, also Nocken mit einer Flankenform, die sich aus Kreisbogenabschnitten zusammensetzt, und Nocken mit kontinuierlicher Änderung der Krümmungsradien. Der Nocken kann nun noch als Nocken mit gewölbter Flanke oder Nocken mit hohler Flanke ausgeführt werden. Abb. 83.

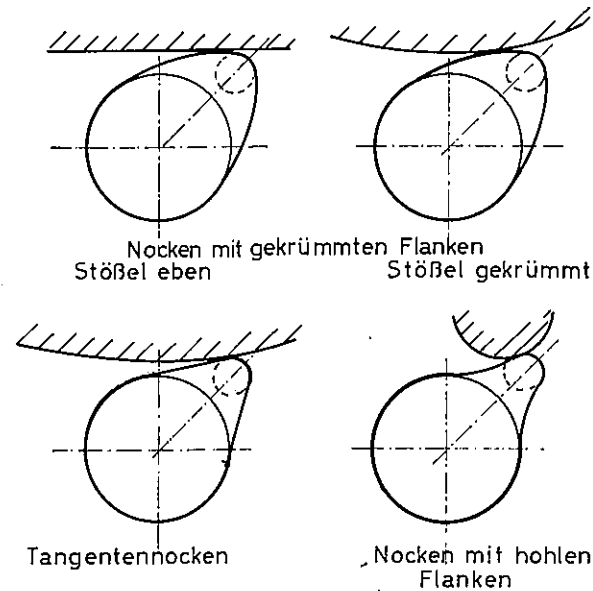


Abb. 83

Bei Modellmotoren sind nur Tangentennocken und Nocken mit gekrümmter Flanke üblich. Die gezeichneten Nocken ergeben alle die praktisch gleichen Erhebungsdiagramme, auch das Geschwindigkeitsbild unterscheidet sich kaum, erst im Beschleunigungsbild ergeben sich deutliche Unterschiede. Abb. 84.

Ein symmetrisches Erhebungsdiagramm erhält man nur bei symmetrischem Nocken und einer ebenen Stößelfläche, dagegen ist bei der Verwendung eines Schwinghebels nur dann ein symmetrisches Ventilerhebungsdiagramm gewährleistet, wenn der Radiusstrahl des Berührungspunktes am Schwinghebelballen durch den Nockenmittelpunkt geht. Abb. 85.

Berechnung der Nocken:

Bei Modellmotoren wird häufig ein Kreisbogennocken mit gerade geführtem Stößel verwendet. Diese Nocken nennt man auch harmonische Nocken. Abb. 86.

Die Berechnung eines solchen Nockens erfolgt zweckmäßigerweise so, daß man sich die größte Beschleunigung vorgibt und daraus die Radien der Nockenflanke ermittelt. Die Bogenstücke müssen so zusammengesetzt werden, daß sich am Ende eines Bogens und am Anfang des nächsten Bogens die gleiche Erhebung ergibt. Die berechneten Werte s und v sowie b werden zweckmäßig in einem Diagramm über den Nockendrehwinkel aufgezeichnet. Derjenige Nocken ist am idealsten, der die geringsten Beschleunigungsspitzen aufweist. Trägt man die Geschwindigkeit als v/ω auf und die Beschleunigung als b/ω^2 , wobei $\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$ die Drehfrequenz der Nockenwelle ist, so ist das Diagramm unabhängig von der Nockendrehzahl.

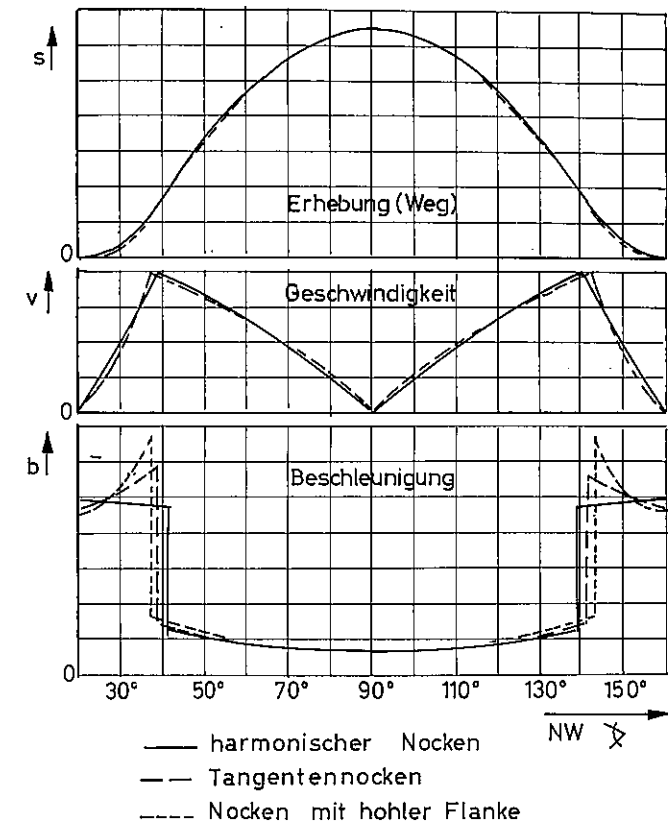


Abb. 84

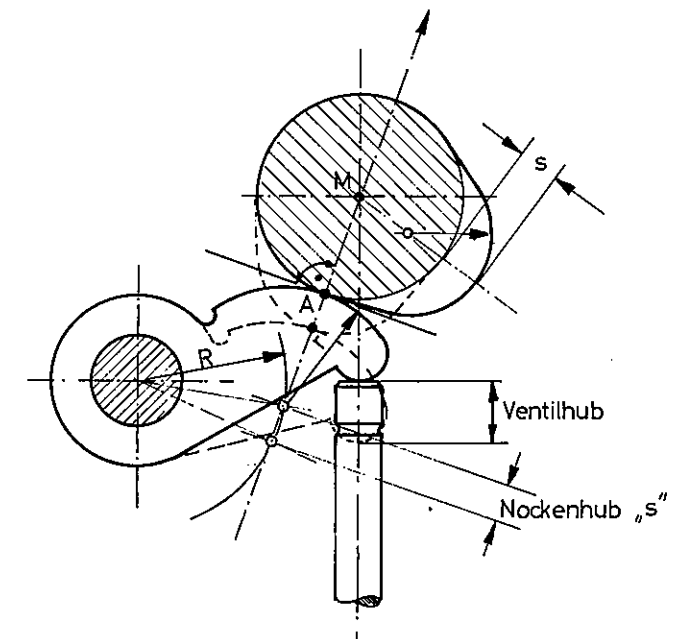
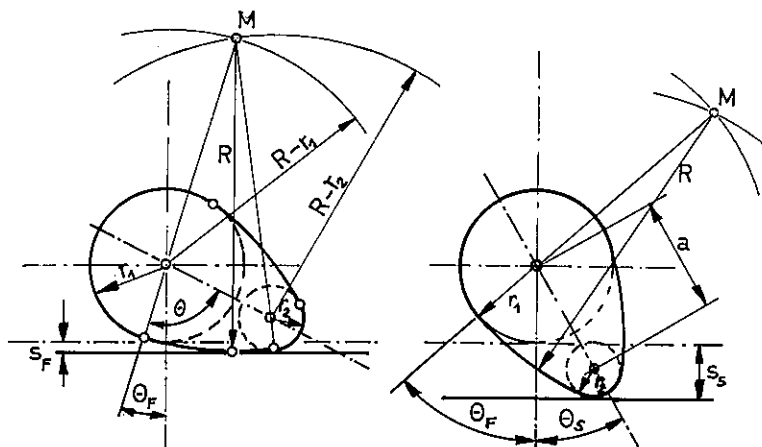


Abb. 85: Symmetrisches Steuerdiagramm bei Schleppebel und Tangentennocken



an Flanke:

$$\text{Stößelerhebung: } s_F = (R - r_1)(1 - \cos \theta_F)$$

$$\text{Geschwindigkeit: } v_F = \omega(R - r_1) \sin \theta_F$$

$$\text{Beschleunigung: } b_F = \omega^2(R - r_1) \cos \theta_F$$

an Spitze:

$$\text{Stößelerhebung: } s_S = a \cdot \cos \theta_S + r_2 - r_1$$

$$\text{Geschwindigkeit: } v_S = \omega \cdot a \cdot \sin \theta_S$$

$$\text{Beschleunigung: } b_S = -\omega^2 a \cdot \cos \theta_S$$

Abb. 86

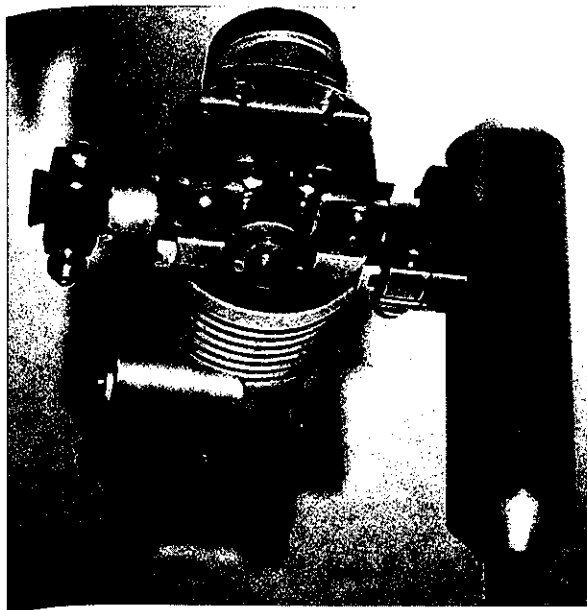


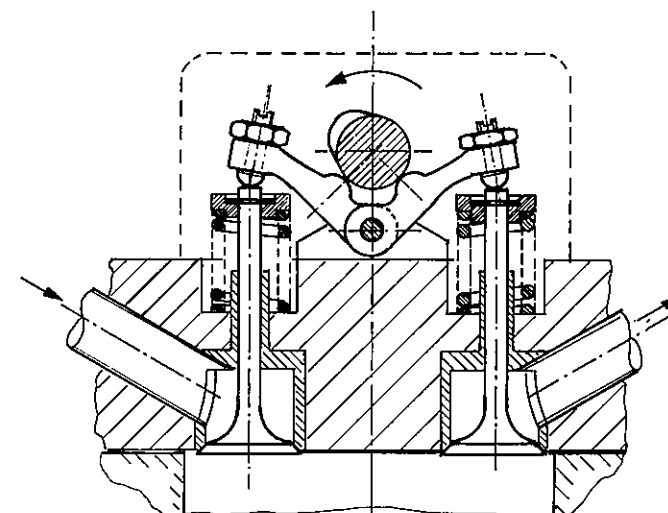
Abb. 87: Umbau eines VECO-61-Zweitaktmotors zu einem Viertaktmotor mit Einnockensteuerung. Der Motor brachte auf Anhieb eine Leistung von 400 Watt bei 10 000 U/min, obwohl der Nockenablauf asymmetrisch ist. Konstrukteur des Motors ist Ing. E. Handt, 1981. Über Schwinghebel werden die Ventile betätigt. Antrieb der oben liegenden Nockenwelle über Zahnriemen.

Bei großen Viertaktmotoren werden neben dem seltenen Kreisbogennocken häufiger „ruckfreie Nocken“ verwendet. Bei diesen Nocken werden die Sprünge im Kurvenverlauf für die Ventilbeschleunigung vermieden. Es ergibt sich eine drehzahlfestere Ventilsteuerung mit geringen Beanspruchungen der bewegten Teile, geringerem Verschleiß und Geräusch. Die Berechnung ist aber recht aufwendig, und falls man diesen Aufwand bei Modellmotoren mit modernen Rechen- und Datenverarbeitungsanlagen treiben würde, so ist immer noch sehr fraglich, ob dieser Nocken auch herstellbar ist. Solch genau arbeitende Maschinen gibt es für Modellmotoren nicht, und auch die genaue Einhaltung des Ventilspiels bei kaltem und warmem Motor erscheint fraglich.

4.2.5. Antrieb der Ventile

Die Ventile können bei Modellmotoren direkt vom Nocken der Nockenwelle angetrieben werden, oder der Ventilantrieb erfolgt indirekt unter Zwischenschaltung eines Kipphebels und einer Stoßstange.

Die geringste bewegte Masse an der Ventilsteuerung hat ein Motor mit einer oben liegenden Nockenwelle und einem Ventilantrieb über einen Pilzstößel oder eine Ventilzangssteuerung. Eine Ventilsteuerung mit Schwinghebel ergibt nur geringe Vorteile bezüglich der bewegten Masse gegenüber der bautechnisch vorteilhaften Bauweise mit Stoßstange und Kipphebel und unten liegender Nockenwelle.



Einnockensteuerung mit obenliegender Nockenwelle (DB 603 Flugmotor)

Abb. 88

Interessant ist eine Ventilsteuerung mit nur einem Nocken, der das Einlaß- und das Auslaßventil gemeinsam betätigt. Diese Bauweise kann einmal mit Rollen als Stößeln oder als abgesetzte Schlepphebel ausgebildet sein. Bei einer solchen Ventilsteuerung ergeben sich unsymmetrische Ventilerhebungskurven, auch ist man im Steuerdiagramm nicht frei in der Wahl der Steuerzeiten. Die geringste Unsymmetrie der Ventilerhebungskurve ergibt sich bei kleinem Rollendurchmesser, ein abgesetzter Schlepphebel ist ungünstiger. Abb. 88/89. Diese Einnockensteuerung ist

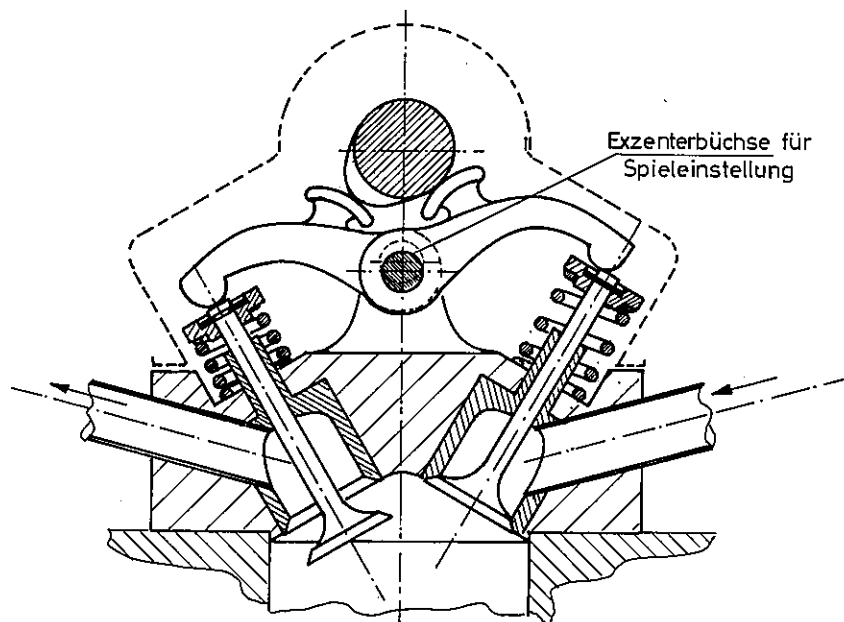


Abb. 89 Einnockensteuerung Modellmotor 10 ccm (Ing. Handt)

Entlastung der Ventildfeder durch 2. Feder

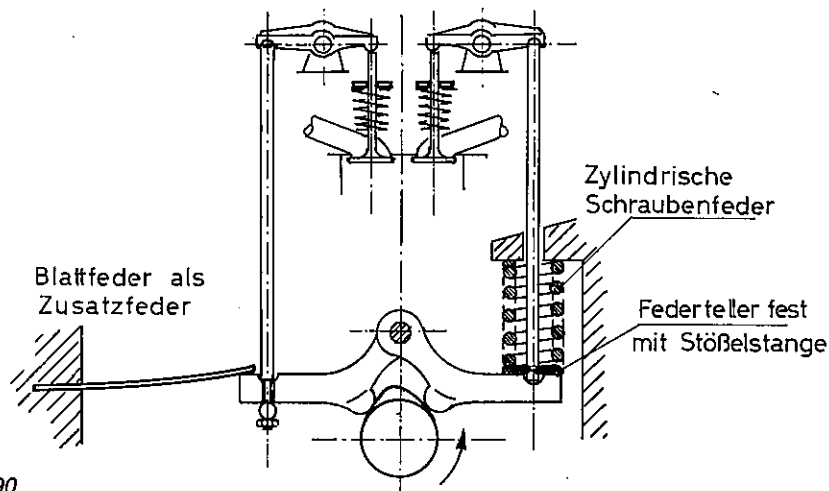
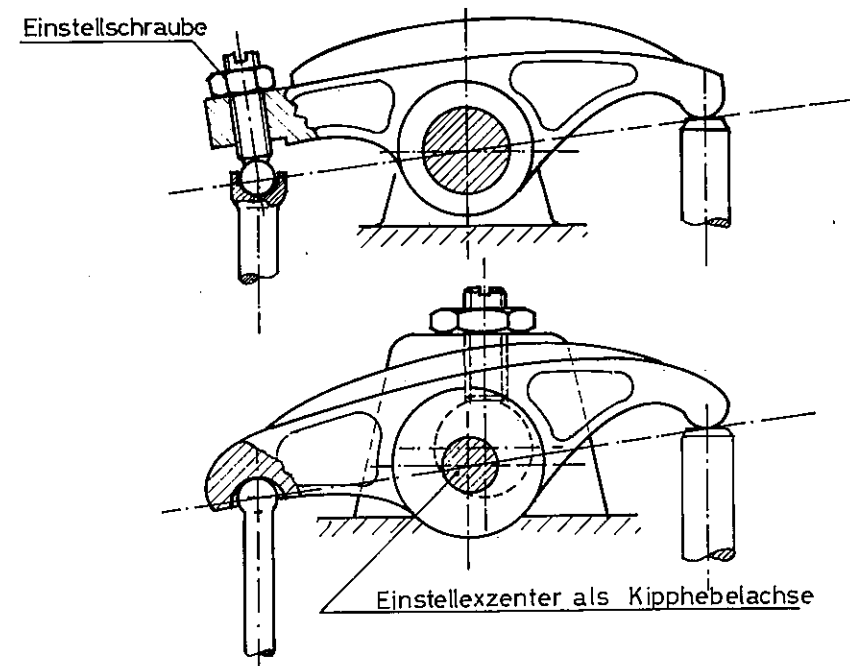


Abb. 90

auch bei untenliegender Nockenwelle mit Stoßstangen und Kipphebeln möglich. Hierbei können zur Entlastung der Ventildfedern die auf dem Nocken laufenden Schlepphebel über Biegefedern an den Nocken angepreßt werden oder über eine zweite zylindrische Schraubenfeder an der Stoßstange.



Ventilspieleinstellmöglichkeiten

Abb. 91

Zwischen dem Ventil und den Antriebselementen muß ein Spiel vorhanden sein. Es muß bei allen Betriebszuständen des Motors gewährleistet werden, daß das Ventil auf dem Ventilsitz aufliegt. Dieses Spiel kann entweder am Kipphebel über eine Stellschraube mit Kontermutter als Drehsicherung eingestellt werden, oder es wird die Kipphebelachse als Exzenter ausgebildet. Bei der Ventilzangssteuerung muß das Spiel über zwei ineinandergeschobene Exzenterbüchsen eingestellt werden.

4.2.6. Antrieb der Nockenwelle

Bei untenliegender Nockenwelle wird meist ein Antrieb der Nockenwelle durch Stirnräder gewählt. Die Übersetzung zwischen Kurbelwelle und Nockenwelle beträgt 1 : 2. Das Ritzel sitzt dabei auf der Kurbelwelle oder wird von der Kurbelwelle angetrieben.

Da die Zahnräder bei einem Modul mit 0,3–0,7 mm in Modellmotoren recht groß bauen und da beim Ritzel eine Zähnezahzahl von 14 Zähnen nicht unterschritten werden kann, ohne Profilverschiebung, so werden auch die Zahnräder auf der Nockenwelle recht voluminös. Ein Hersteller von Modellmotoren hat daher ein Ritzel mit extrem kleiner Zähnezahzahl mit einem innenverzahnten Nockenwellenrad kombiniert. Es ergibt sich so eine recht kompakte Baueinheit, allerdings mit großem Nockendurchmesser und hohen Gleitgeschwindigkeiten.

Die Verwendung von schrägverzahnten Zahnrädern ist bei Modellmotoren noch nicht üblich. Diese Zahnräder laufen geräuscharmer und können höher belastet werden, allerdings ergibt sich dabei auch eine axiale Kraftkomponente, die in geeigneten Lagern abgestützt werden muß.

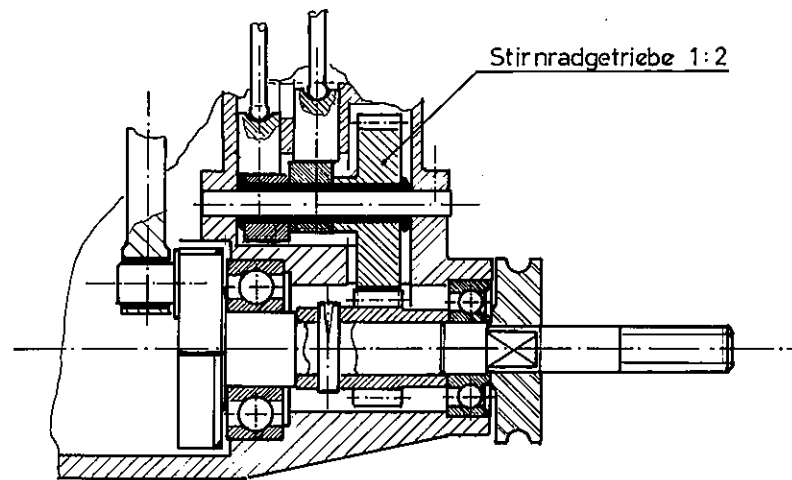


Abb. 92

Nockenwelle über der Kurbelwelle
Bauart: SAITO

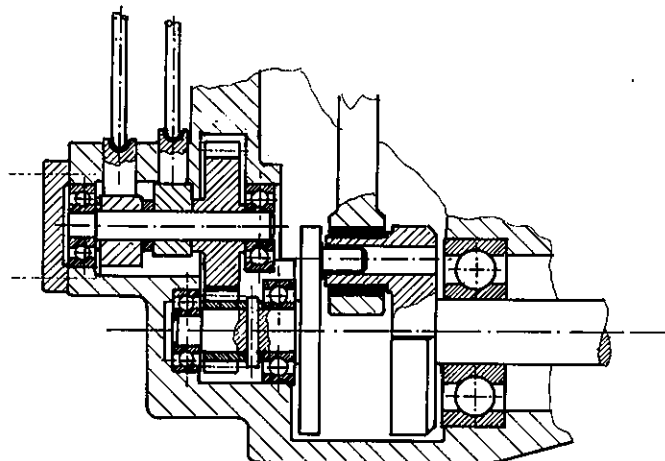


Abb. 93

Nockenwelle hinter dem Kurbelgehäuse
Bauart: KALT und ENYA

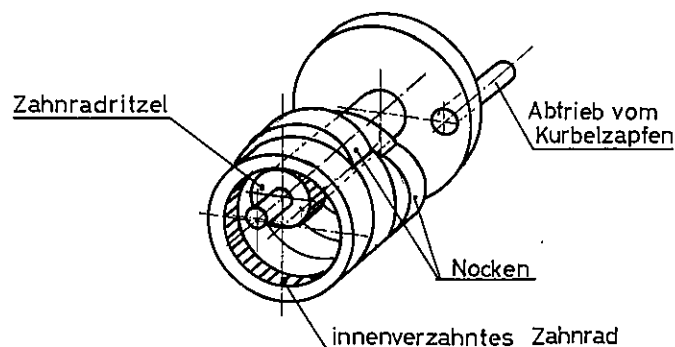


Abb. 94

Antrieb der Nockentrommel durch Innenverzahnung

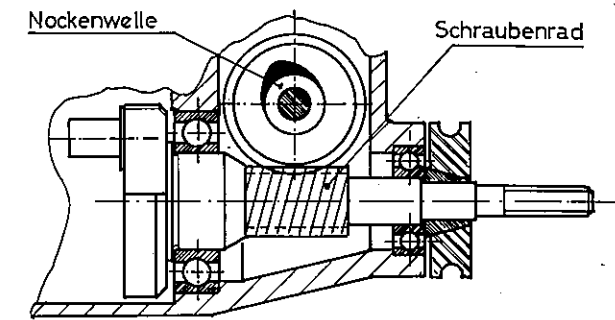


Abb. 95

Antrieb der Nockenwelle über Schraubenräder $i = 1:2$
(Bauart: OS)

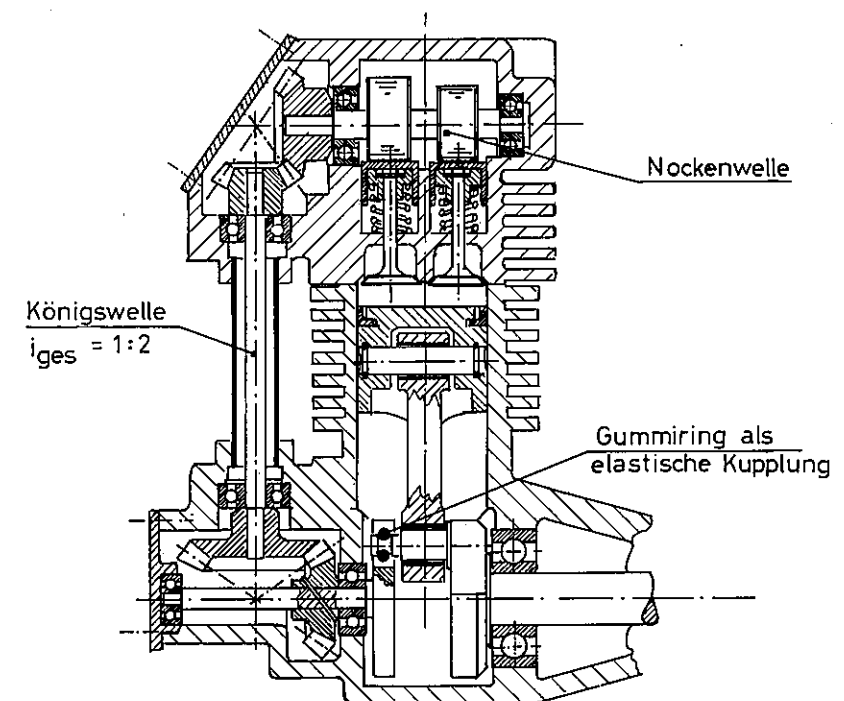


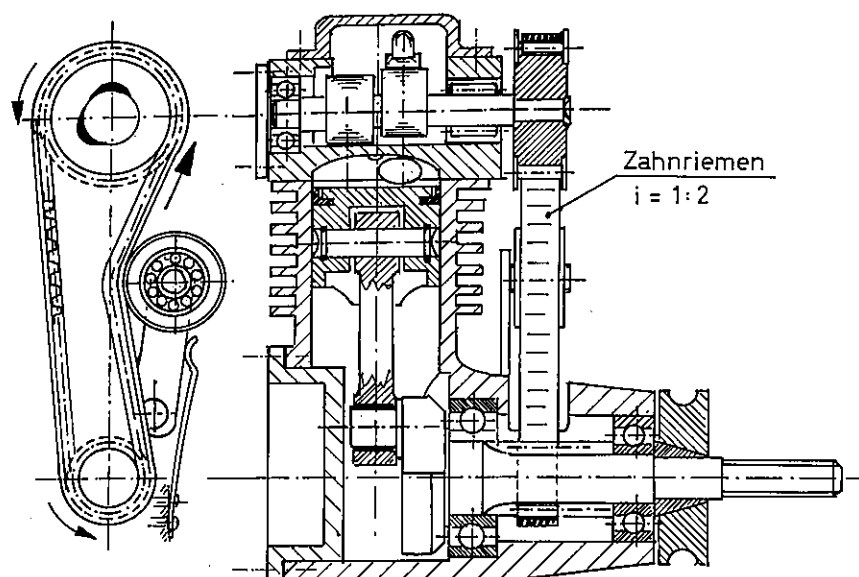
Abb. 96

Antrieb der Nockenwelle über Kegelräder (Königswelle)

Eine weitere Möglichkeit sind mehrgängige Schnecken und Schneckenräder, oder auch Schraubenräder.

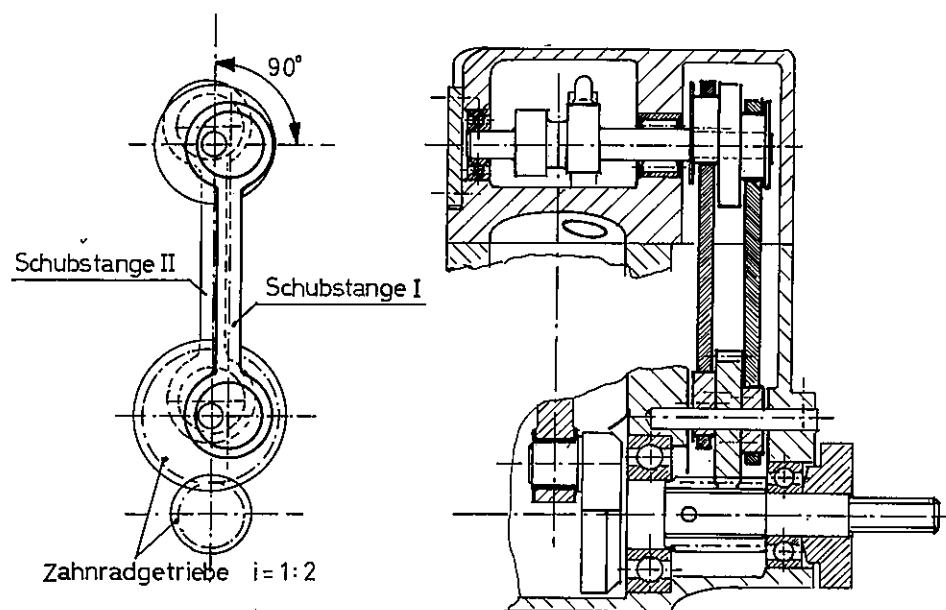
Diese Antriebe laufen zwar geräuscharm, haben aber einen schlechten Wirkungsgrad. Der Verschleiß an solchen Rädern ist kaum zu beherrschen, dazu kommen hohe axiale Kraftkomponenten, die nur in teuren Wälzlager abgestützt werden können.

Bei oberliegenden Nockenwellen könnte auch ein Kegelradantrieb zu einer Vertikalwelle und von dort mit einem zweiten Kegelradantrieb zur Nockenwelle der Antrieb gestaltet werden. Die Kegelräder müssen aber sorgfältig im Zahnspiel



Antrieb der Nockenwelle über Zahnriemen mit Spannrolle

Abb. 97



Antrieb der Nockenwelle durch zwei Schubstangen

Abb. 98

justiert werden, was eine teure Fertigung und hohe Montagekosten verursacht. Dieser Antrieb dürfte nur bei Rennmotoren höchster Drehzahl lohnen.

Eine andere Möglichkeit wäre, eine oberliegende Nockenwelle durch einen Hülltrieb anzutreiben. In Automobilmotoren sind hierfür teilweise Ketten üblich. Solche Kettenantriebe sind aber in den Kleinstabmessungen für Modellmotoren nicht herstellbar. Teilweise wird daher ein Zahnriemen aus Kunststoff-Zugmittelverbund verwendet. Diese Zahnriemen werden in den kleinen Abmessungen für die Feinwerktechnik und Meßinstrumente hergestellt. Bei einem sorgfältig justierten Spannrad und bei nicht zu stark schwankendem Antriebsmoment an der Nockenwelle laufen diese Zahnriemen ohne großen Verschleiß und sehr geräuscharm. Allerdings kann dennoch ein solcher Zahnriemen eine Teilung überspringen, was dann zu einem Aufschlagen der Ventile auf dem Kolben führt.

Eine andere Antriebsart ist mit Schubstangen möglich. Hier wird über zwei Schubstangen, ähnlich wie bei den Dampflokomotiven, und zwei um 90° versetzte Kurbeln bzw. Exzenter von der untenliegenden Zahnraduntersetzung die Nockenwelle angetrieben.

Diese Lösung wurde bei einem NSU-Motorrad zum Antrieb der Nockenwelle angewendet. Die unterschiedlichen Längendehnungen zwischen dem Zylinder und den Schubstangen könnten durch eine dritte, nur den Abstand bestimmende Schubstange und ein auf einer Schwinge gelagertes Zahnrad kinematisch einwandfrei aufgenommen werden. Der Schubstangenantrieb hat den Vorteil, sehr steif zu sein und unempfindlicher als Kegelradantriebe über eine Königswelle, vor allem läuft er geräuschos. Allerdings ist der Zahnriemenantrieb noch billiger und einfacher.

4.2.7. Schiebersteuerungen

Die Schiebersteuerung hat gegenüber der Ventilsteuerung einige Vorteile. Es ist daher nicht verwunderlich, wenn einige Modellmotoren mit Schiebern als Steuerelement gebaut werden. Die Probleme bei der Schiebersteuerung ergeben sich in der Abdichtung der Schieber Elemente zueinander und in der Anfälligkeit gegen Ölkohleablagerungen. Einige Schiebersteuerungen eignen sich nur schlecht für Motoren mit Zündung durch eine Glühkerze, da dabei die Glühkerze nur ganz kurze Zeit mit

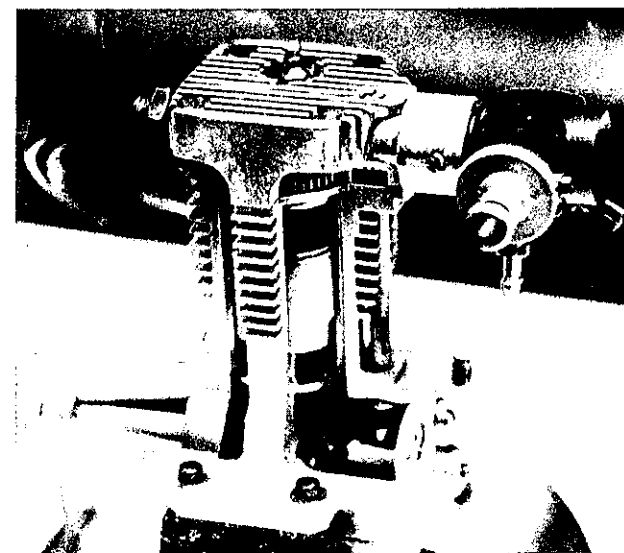


Abb. 99: Beispiel einer Flachschiebersteuerung am HP-Schiebermotor. Der Schieber wird über eine Königswelle hinten im Motor mit 1/4 der Kurbelwellendrehzahl angetrieben. Der Motor ist sehr drehfreudig und leistungsfähig, aber auch laut und unangenehm im Lärm.

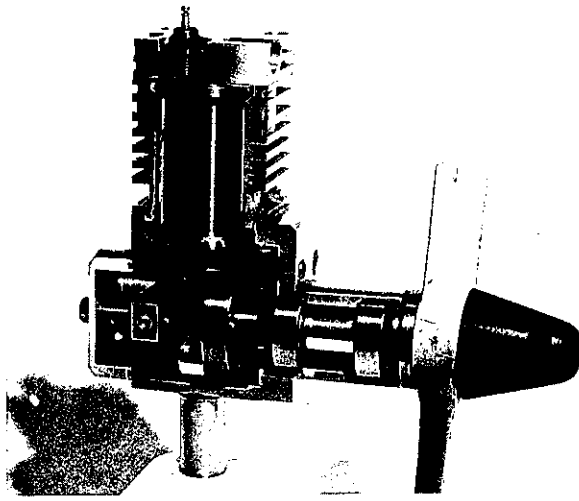


Abb. 100: Ein Schiebermotor, bei dem der gesamte Zylinder rotiert und oben im Zylinderkopf abwechselnd die Ansaugöffnung, der Auspuff und die Zündkammer geöffnet wird. Nachteilig ist die weit auskragende Kurbelwange an der Kurbelwelle.

dem zu zündenden Gemisch zusammenkommt. Zwei Lösungen scheinen sich bei Modellmotoren durchzusetzen: der Wankelmotor und der Aspin-Kegelschieber. Die Burt-McCollum-Steuerung mit sich hebender und drehender Zylinderbüchse, die bei Flugmotoren sich bestens bewährt hat, wurde bisher noch nicht bei Modellmotoren versucht.

Wie vergleichende Messungen des Geräuschpegels an ventilgesteuerten und schiebergesteuerten Modellmotoren ergaben, erzeugen schiebergesteuerte Modellmotoren einen unangenehmeren Auspuff- und Ansaugeräuschpegel mit ausgeprägten Tönen über 1000 Hz. Dies scheint mit dem raschen Öffnen der Steuerquerschnitte zusammenzuhängen. Bei Modellmotoren mit Ventilen erfolgt die Öffnung der Steuerquerschnitte mehr schleichend, was offensichtlich zu einem angenehmeren Betriebsgeräusch führt ohne ausgeprägte Töne über 1000 Hz. Vielleicht ist es möglich, durch eine geänderte Geometrie der Steuerschlitze auch Schiebermotoren zu genauso angenehmem Betriebsgeräusch zu verhelfen.

Aufwendig ist meist der Antrieb der Schieber über Kegelräder oder Zahnräder. Einen einfachen Antrieb hat der DVL-Drehschieber und der L.-von-Habsburg-Drehschieber mit einem Stirnzahnrad von einer Königswelle aus. Der Aspin-Kegelschieber verursacht axiale Lagerkräfte, die durch Lager im heißen Zylinderkopf aufgenommen werden müssen. Problematisch ist auch hier eine dauerhafte Abdichtung des rotierenden Kegels zum Zylinderkopf, die nur durch einen dünnen, empfindlichen Kegelmantel kurzzeitig erreicht werden kann. Zur Vermeidung von Ablagerungen im rotierenden Kegel muß ein spezielles Kraftstoff-Ölgemisch verwendet werden, bei dem der Ölanteil rückstandsfrei verbrennt.

4.2.8. Ansaugleitungen und Auspuffrohre

Die Ansaugleitungen an Modellmotoren könnte man den besten Vergaser nennen. Auf der Innenwand der Ansaugleitungen schlägt sich der Kraftstoff nieder, der tropfenförmig vom Vergaser kommt. Der Kraftstoff dampft von der Ansaugrohrwand ab, und die Mischung mit der vorbeiströmenden Luft ergibt erst das zündfähige Kraftstoff-Luft-Gemisch. Die Saugrohre sind daher nicht zu kurz auszuführen, oder der Vergaser darf nicht zu nahe am Einlaßventil angeordnet werden. Das Einlaß-

ventil mit der hohen Strömungsgeschwindigkeit im Ventilsplatt bewirkt den Rest der Gemischauflbereitung. Da aber ein Verdunsten von Kraftstoff Wärme benötigt, müssen die Saugrohre leicht beheizt werden, sonst kann sich in den Saugrohren aus der Luftfeuchtigkeit heraus Eis bilden.

Bewährt hat sich daher die Anordnung des Saugrohres hinter den Kühlrippen des Motors im Bereich der angewärmten Kühlluft. Ein metallischer Kontakt zum Zylinder ist zur Wärmeüberleitung eventuell vorteilhaft.

Das Kurbelgehäuse wurde auch schon als Saugrohrersatz verwendet. Der Motor saugte dabei über das Kurbelgehäuse an. Ein Flatterventil nach dem Vergaser verhindert eine Strömungsumkehrung im Vergaser beim Abwärtsgehen des Kolbens. Ein Ladeeffekt wird dabei übrigens nicht erreicht. Der Vorteil dieser Ansaugleitungsführung ist, daß bei Verwendung von Öl-Kraftstoff-Gemischen das Kurbelgehäuse immer mit Frischöl versorgt wird und Abgase längs eventuell undichter Kolben mit harzartigen Ölrückständen abgesaugt werden.

Einen Ladeeffekt bekommt man durch die Abstimmung der Rohrlänge auf die Ansaugfrequenz des Motors. Es ergeben sich Rohrlängen, für 12 000 U/min Motordrehzahl, von ca. 50–90 mm zwischen Vergaser und Einlaßventil. Die genaue Rohrlänge für eine dynamische Aufladung ist bei gegebener Ventilüberschneidung durch Versuche schneller ermittelt als durch Rechnung. Für Versuche eignen sich hier posaunenartig zusammenschiebbare Ansaugrohre oder Schläuche.

Das Auspuffrohr hat ebenfalls einen nicht zu unterschätzenden dynamischen Absaugeffekt. Auch hier ergeben sich, bedingt durch die höheren Abgastemperaturen und da man eine Unterdruckwelle bei Auslaßbeginn hinter dem Ventil anstrebt, Rohrlängen von 100–180 mm bei 12 000 U/min Motordrehzahl. Es sei hier schon betont, daß ein Motor ganz ohne Abgasrohr meist eine schlechtere Leistung abgibt, als mit diesem kurzen Auspuffrohr.

Der Querschnitt der Ansaugrohre sollte ca. doppelt so groß sein wie der Steuerquerschnitt am Ventil und die Fläche des Ventilsplattes bei ganz geöffnetem Einlaßventil. Das Abgasrohr kann nach der gleichen Regel bestimmt werden, doch erwiesen sich Abgasrohre mit 2,5–3-fachem Steuerquerschnitt des Auslaßventils als Strömungsquerschnitt günstiger bezüglich der Leistungsanhebung. Zu beachten ist bei den Abgasleitungen, daß die Abgastemperatur über 800°C liegt und die Leitungen daher gut gekühlt werden müssen oder aus hitzebeständigem Stahl zu fertigen sind (z.B. nicht rostender Chrom-Nickel-Stahl).

Ein Schalldämpfer sollte erst am Ende dieses Auslaßrohres angeordnet werden. So behindert ein Schalldämpfer nicht den Gaswechsel unzulässig stark und kann optimal für Geräuschkämpfung ausgelegt werden.

4.3. Triebwerke

4.3.1. Kolben

Der Kolben eines Viertaktmotors sollte aus einer Leichtmetall-Legierung hergestellt werden. Grauguß oder Stahl werden als Kolbenwerkstoff nicht verwendet, obwohl dies möglich wäre. Unter den Leichtmetallen ist vor allem eine Legierung aus Aluminium und Silizium mit geringen Anteilen an Nickel und Kupfer üblich.

Wenn der Kolben Kolbenringe zur Abdichtung tragen soll, genügt eine eutektische Aluminium-Silizium-Legierung, wie sie von der bekannten Kolbenfirma „Mahle“ unter der Bezeichnung „Mahle 124“ in Stangenform vertrieben wird. Diese Legie-

rung hat einen geringen Ausdehnungsbeiwert, und Kolben daraus können daher mit einem kleinem Spiel in Stahlzylindern eingepaßt werden. Üblich sind $2/100$ mm Spiel je 10 mm Kolbendurchmesser bei Stahlzylindern.

Wird eine übereutektische Legierung mit höherem Siliziumanteil als Kolbenwerkstoff verwendet, wie „Mahle 138“ oder „Mahle 244“, so steigen einmal die Probleme beim Zerspanen dieser harten und spröden Legierungen, es könnten dafür aber auch kleinere Kolbenspiele angewendet werden. Der Werkstoff „Mahle 244“ hat einen Ausdehnungskoeffizient fast wie Stahl. Allerdings ist dieser Werkstoff nur für gegossene Kolbenrohlinge verwendbar. Meist wird für einen innen hartverchromten Zylinder aus Bronze oder Messing als Kolbenwerkstoff „Mahle 138“ gewählt. Das Spiel des Kolbens kann dann bis auf „Null“ reduziert werden, allerdings nur für die Kolbenstellung im oberen Totpunkt. Der Zylinder muß dann leicht konisch gefertigt werden.

Die Skizze zeigt den Querschnitt eines Kolbens mit einem Kolbenring, wie er bei Viertaktmotoren mit Ölzusatz zum Kraftstoff verwendet wird.

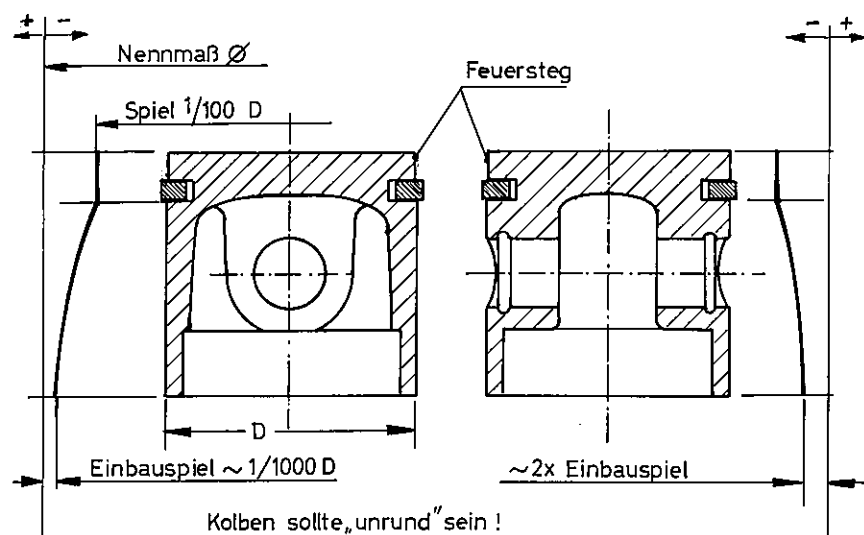


Abb. 101

Die Kolben sollten sowohl unrund-oval sein, als auch mehr Spiel haben am Feuersteg und unterhalb des Ringes. Solch einen definiert unrunden und balligen Kolben zu drehen erfordert eine Sondermaschine und viel Versuchsarbeit.

Daher fertigen die meisten Modellmotorenhersteller nur leicht konische Kolben mit genauem Kreisquerschnitt. Beim Einlaufen des Motors reiben sich diese Kolben am Kolbenboizenauge und am Kolbenhemd etwas ab, und es ergibt sich ebenfalls eine optimale Kolbenform.

Als Kolbenringe werden häufig sogenannte Rechteckringe verwendet. Die Kolbenringe werden aus speziellem Graugußmaterial gedreht, mit perlitischem-sorbitischem Gefüge und einem sogenannten Phosphitnetz im Zwischengefüge. Bewährt hat sich auch Sphäroguß der Güte GGG 50 oder ferritischer 13%iger Chromstahl der Werkstoffnummer 1 : 4112 (7 Cr 13).

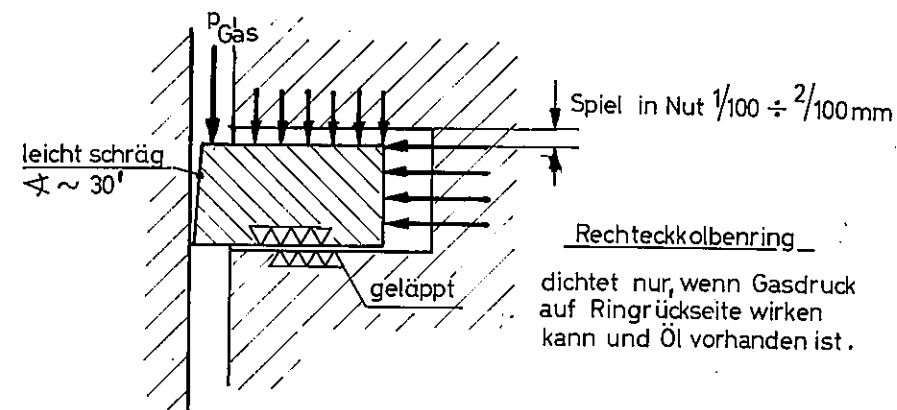


Abb. 102

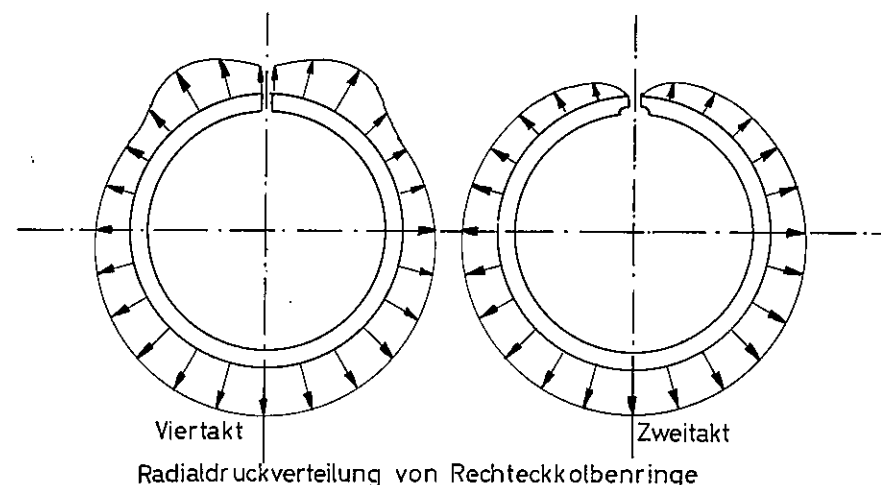


Abb. 103

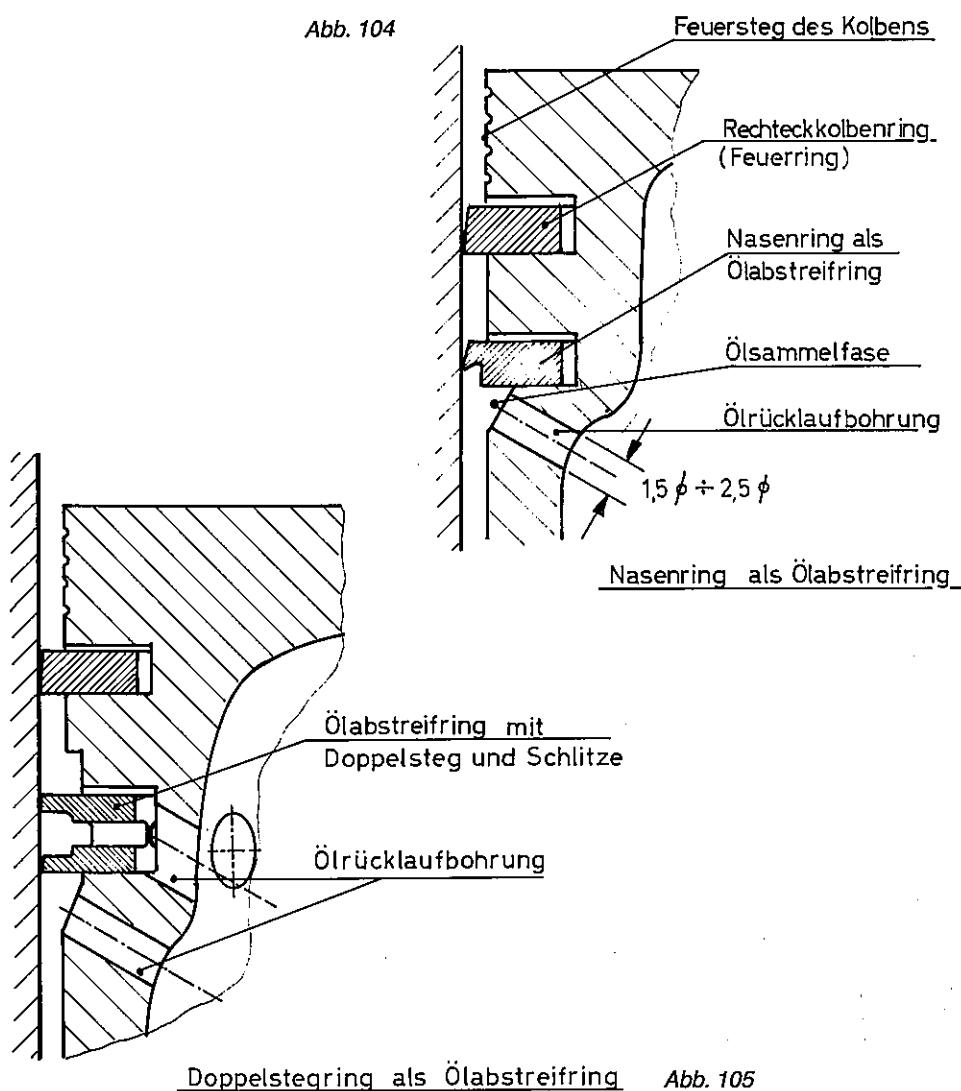
Diese Rechteckkolbenringe sind meist identisch mit denen, die bei Zweitaktmodellmotoren eingebaut werden. Idealer wäre ein Kolbenring, der eine etwas andere radiale Spannungsverteilung hätte.

Bei Zweitaktmotoren sollte der Ring am Ringstoß nur ganz leicht an den Zylinder andrücken, um beim Überlaufen von den Steuerschlitzen nicht in die Öffnungen einzufedern. Bei Viertaktmotoren könnte die radiale Anpreßkraft am Ringstoß größer sein.

Der Kolbenring mit Rechteckquerschnitt kann nur abdichten, wenn der Gasdruck aus dem Brennraum hinter den Kolbenring gelangen kann. Da aber der Kolbenring während des Kolbenhubes nicht immer unten in der Kolbenringnut des Kolbens liegen bleibt, sondern durch Massenkräfte auch mal oben zur Anlage kommt, ergeben sich geringe Undichtheiten. Man spricht von Durchblasgas, das am Kolbenring vorbei, vom Brennraum ins Kurbelgehäuse gelangt. Diese Gasmenge ist möglichst gering zu halten, da sonst rasch Ablagerungen aus verbranntem Schmieröl den Kolbenring festkleben oder das Öl im Kurbelgehäuse durch die Durchblasgase verunreinigt wird und seine Schmierfähigkeit verliert.

Verbessern kann man die Abdichtung des Kolbens mit zwei oder mehreren übereinander liegenden Kolbenringen. Mehr als zwei Kolbenringe sind allerdings bei Modellmotoren unüblich. Damit sich der Kolbenring beim Einlaufen des Motors gut an den Zylinder anpassen kann, wird die Lauffläche des Ringes leicht konisch gemacht. Die Schräge liegt unter 1° . Der Ring wird so eingebaut, daß er unten am Zylinder anliegt. Dadurch wirkt der Kolbenring auch noch als Ölabbstreifer, so daß nicht zu viel Öl am Zylinderteil über den Kolbenringen verbleibt. Bei Modellmotoren, die ein Kraftstoff-Öl-Gemisch ansaugen, ist dieser Effekt nicht unbedingt erforderlich.

Bei Modellmotoren mit einer Ölfüllung im Kurbelgehäuse, die kein Gemisch aus Kraftstoff-Öl ansaugen, muß die Ölabdichtung zum Brennraum hin von speziellen Kolbenringen, sogenannten Ölabbstreifern, vorgenommen werden. Hier könnten „Nasenkolbenringe“ oder Ölabbstreifringe verwendet werden.



Die Herstellung der Ölabbstreifringe mit zwei Abstreifflächen und Schlitz zur Ölrückströmung sind in der Größe der Modellmotoren schwer zu fertigen und wurden bisher nur selten gefertigt. Wichtig ist bei der Anwendung der Ölabbstreifringe die Fase unter dem Ring und die Ölrücklaufbohrung zu dieser Fase. In Versuchen ist die Abmessung der Fase und der Ölrücklaufbohrungen zu ermitteln.

Es ergibt sich so bei Modellmotoren eine Mindestringbestückung des Kolbens bei Gemischschmierung mit einem Kompressionsring, bei Motoren mit Ölfüllung im Kurbelgehäuse sind mindestens ein Kompressionsring und ein Ölabbstreifer notwendig.

Bei sehr hochtourigen Motoren, die bisher bei Modellmotoren noch nicht verwirklicht sind, könnten die Kolbenringe durch Massen- und Gasdruckkräfte in der Kolbenringnut des Kolbens zum Flattern kommen und die Dichtwirkung verlieren. In diesem Falle sollte ein sogenannter L-Ring als oberster Kompressionsring eingebaut werden.

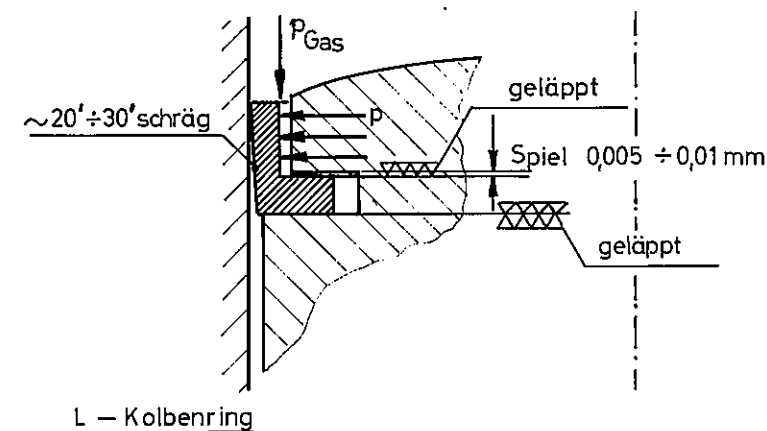
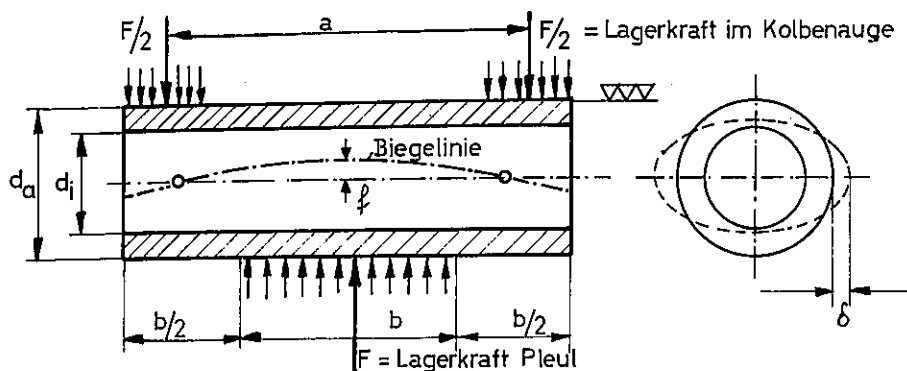


Abb. 106

Bei dem L-Ring ist immer der Gasdruck aus dem Brennraum als Anpreßkraft vorhanden. Diese Ringe neigen nicht zum Ringflattern und können bei Drehzahlen über 20 000 U/min angewendet werden. Allerdings ist die Herstellung schwieriger, vor allem durch das notwendig geringe Spiel in der Kolbennut.

Bei Gemischschmierung ist auch ein Kolben ganz ohne Kolbenring funktionsfähig. Voraussetzung ist hier eine Abstimmung der Kolbenwärmedehnung und der Wärmedehnung des Zylinders. Gebräuchlich ist ein Aluminium-Siliziummaterial, entsprechend Mahle 138 oder 244 für den Kolben und ein Bronzezylinder mit einer Beschichtung der Lauffläche mit speziellem porösem Härtschrom, Nicasil oder Hartnickel. Der Zylinder wird dabei leicht konisch ausgeschliffen, so daß der Kolben im oberen Totpunkt nur $1-5 \mu\text{m}$ Spiel hat. Solche Motoren klemmen am Kolben im kalten Zustand leicht im OT. Problematisch ist die Materialauswahl des Kolbens, die nicht nur die Wärmedehnung der Partner Zylinder/Kolben optimal berücksichtigen sollte, sondern auch den geringen Kolbenverschleiß. Dies kann erreicht werden durch eine spezielle Wärmebehandlung des Kolbenrohrlings und durch eine spezielle Gußform mit gesteuerter Abkühlung des Kolbenrohrlings.

Die Verbindung zwischen Kolben und Pleuel erfolgt durch einen Pleuellbolzen.



Bolzenberechnung:

$$f = \left(1 - \frac{b}{2a}\right) \frac{a^3 \cdot F}{48EI} ; \quad \delta = \frac{F \cdot r_m^3}{12EI}$$

$$\{ I = \frac{1}{64}(d_a^4 - d_i^4) ; \quad \{ r_m = \frac{d_a + d_i}{4}$$

zulässig: $f \leq 0,1\% \cdot D_{\text{Kolben}} ; \quad \delta \leq 1\% \cdot d_a$

Material: Ck 45 oder 50CrMo4 gehärtet und geschliffen

KOLBENBOLZEN

Abb. 107

Der Kolbenbolzen wird in dem Kolbenauge durch Draht-Sprengringe axial gesichert. Ein schwimmender Kolbenbolzen mit Anlaufpilzen am Ende aus Aluminium oder Teflon wird heute selten verwendet, da sich bei diesem schwimmenden Kolbenbolzen Längsriefen im Zylinder beim Anlaufen des Bolzens im Zylinder bilden.

4.3.2. Pleuel

Der Pleuel in Viertaktmotoren überträgt die Gasdruckkraft aus der Verbrennung auf die Kurbelwelle. Die Pleuelstange ist daher einmal auf Ausknicken und zum anderen auf Biegung durch die Massenkräfte beim seitlichen Ausschwenken beansprucht.

Bei der Querschnittswahl braucht nicht auf die Strömungsbedingungen im Pleuelgehäuse geachtet werden, wie bei Zweitaktmotoren. Daher sind die folgenden Querschnitte üblich.

Pleuelquerschnitt

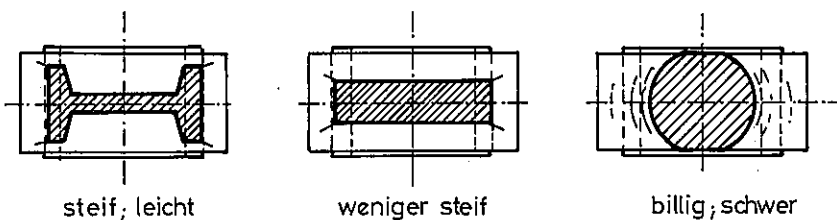
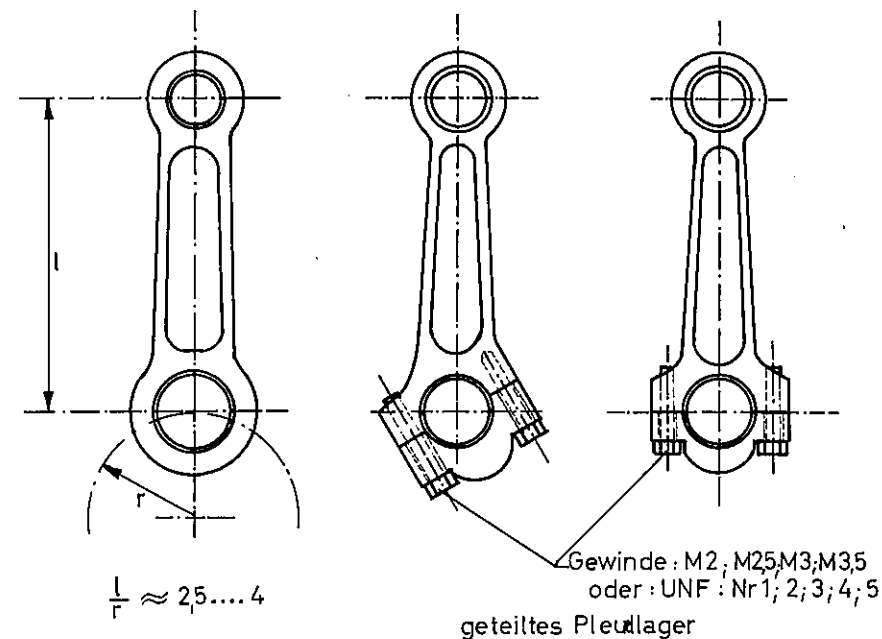


Abb. 108



Pleuelbauart

Abb. 109

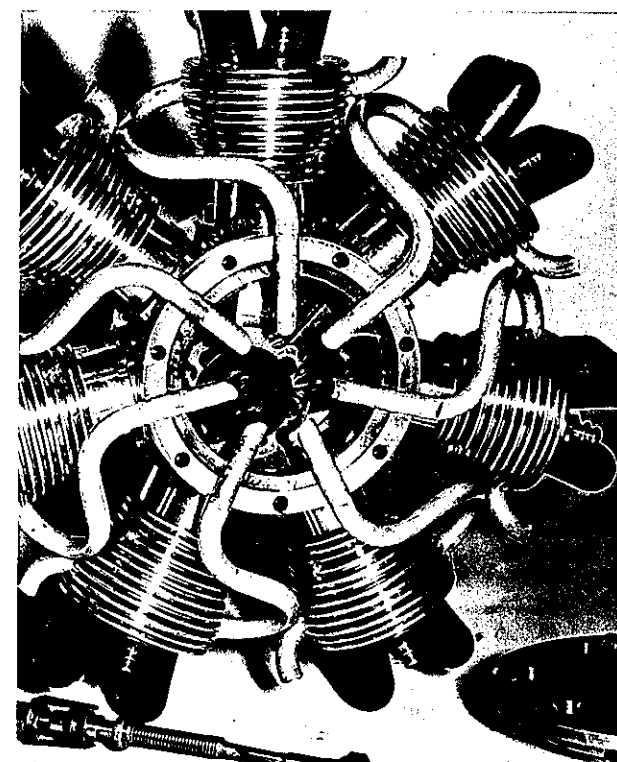


Abb. 110: Blick auf den Pleuel- und Kurbeltrieb eines 7-Zylinder-Sternmotors. Der Motor saugt über die langen Rohre aus dem Pleuelgehäuse an. Deutlich ist der Hauptpleuel am oberen Zylinder und die Anlenkung der Nebenpleuel zu erkennen.

Als Werkstoff kommen hochfeste Duraluminlegierungen in Betracht oder hochfester Stahl. In Sonderfällen sind auch Pleuel aus hochfesten Titanlegierungen denkbar. Bei den meist kaum 15 000 U/min überschreitenden Drehzahlen der 4-Takt-Modellmotoren genügen Duralwerkstoffe, meist gepreßt oder kalt geschmiedet.

Als Lager werden Bronzelagerbuchsen in den Pleuel eingesetzt. Die Bronze muß besonders gute Notlaufeigenschaften haben, um vor allem am Kolbenbolzen nicht zu einem Fresser zu führen. Lagerbelastung nicht über 5 000 U/min. Bei Mehrzylindermotoren, vor allem Boxermotoren, muß das untere Pleuellager geteilt werden.

Die Lagerhälften sind mit hochfesten Stahlschrauben (M 2 bis M 3) zusammengefügt. Meist wird auf Lagerschalen aus Bronze in diesem Fall verzichtet, da die Dreh-sicherung solcher Bronzehalbschalen schwierig zu lösen ist, der Kurbelzapfen läuft direkt auf dem Pleuelmaterial. Meisterwerke der Feinmechanik sind die Pleuelstangen in einem Sternmotor. Hier lenken an einem Hauptpleuel 4 oder 6 Nebenpleuel an.

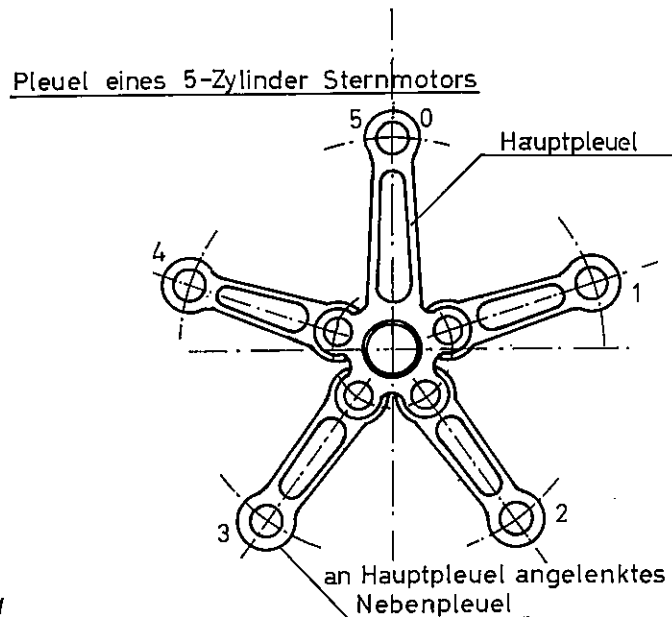


Abb. 111

Eine Lagerung der Pleuel auf Nadellagern wurde schon öfters versucht, allerdings mit wenig Erfolg. Für diesen Anwendungsfall sind spezielle Nadellager erforderlich mit einem auf dem Kolbenbolzen oder Kurbelzapfen geführten Nadelkäfig höchster Festigkeit. Ebenso müssen die Nadeln ballig geschliffen sein, um nicht bei Durchbiegung der Kurbelwelle oder des Kolbenbolzens einseitig zu tragen und zu klemmen. Es wäre sehr wünschenswert, wenn die Wälzlagerhersteller speziell für Modellmotoren solche Lager entwickeln würden, da dadurch doch ein wesentlicher Reibungsverlust im Pleuellager vermindert werden könnte.

4.3.3. Kurbelschleifen

Zur Umwandlung der linearen Kolbenbewegung in eine Drehbewegung eignet sich eine sogenannte Kurbelschleife.

Bei diesen Kurbelschleifentrieben wird der Pleuel nicht seitlich ausgelenkt. In dem Querschlitz gleitet ein Gleitstein hin und her. Der Kurbelzapfen der Kurbelwelle

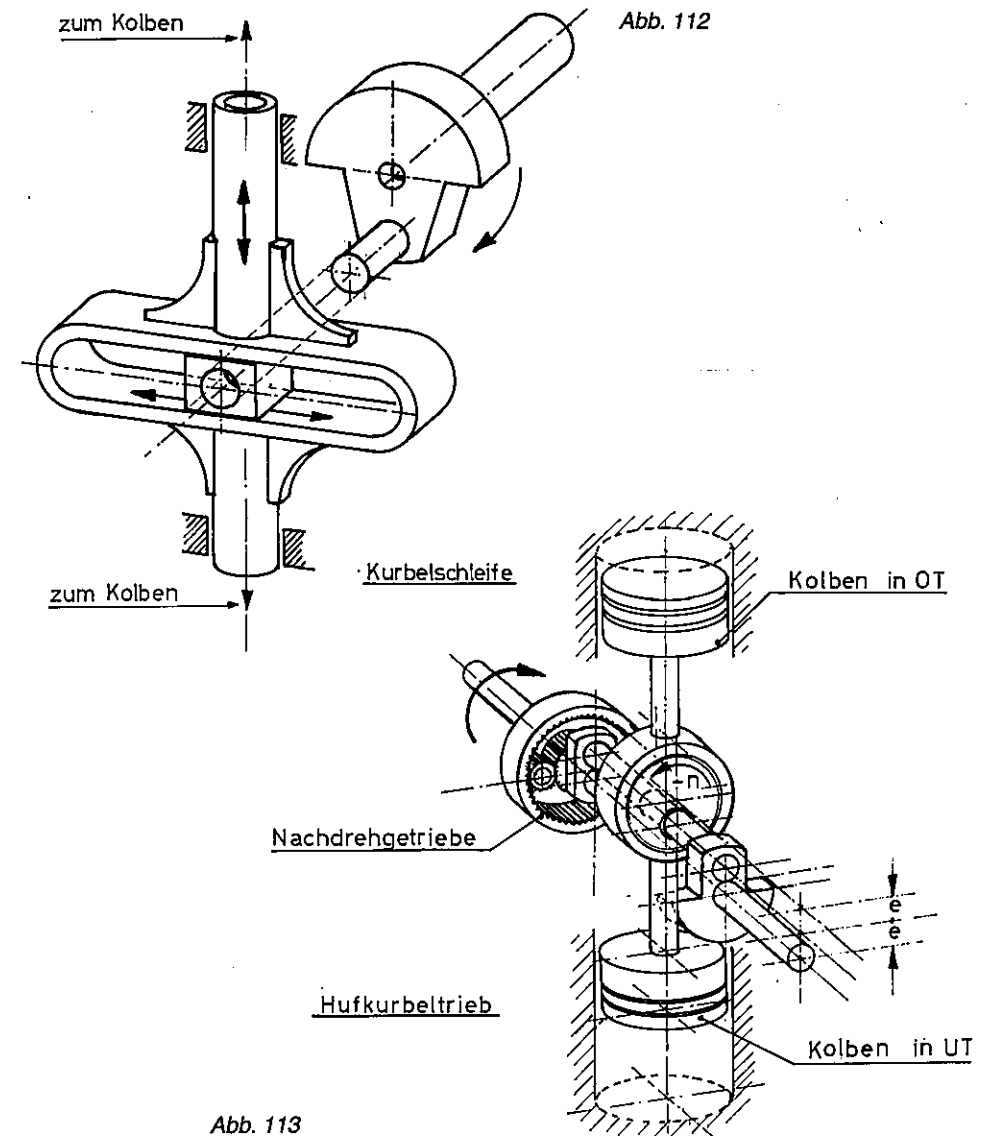


Abb. 113

dreht sich in dem Gleitstein kontinuierlich. Die Kurbelschleife kann durch eine zweite Stange geführt werden, dies bietet sich bei Boxermotoren an.

Der Vorteil dieser Kurbelschleifen ist, daß der Kolben kaum seitliche Bahndrücke bekommt und die Bewegung des Kolbens eine exakte sinusförmige Schwingung darstellt. Diese Sinusschwingung ist leichter durch Gegenmassen auszugleichen. Nachteilig ist die geringe Steifigkeit des Querschlitzteiles der Kurbelschleife.

Konstruktiv wurde die Kurbelschleife bei einem Einzylindermotor dadurch verwirklicht, daß der Kolben gleich die Gleitbahn für den Kurbelzapfenstein bildete. Dieser Motor wurde allerdings nur in wenigen Versuchsmustern gebaut, obgleich die Leistung des Motors vergleichbar zu üblichen Motoren mit Pleuel, Kolbenbolzen und

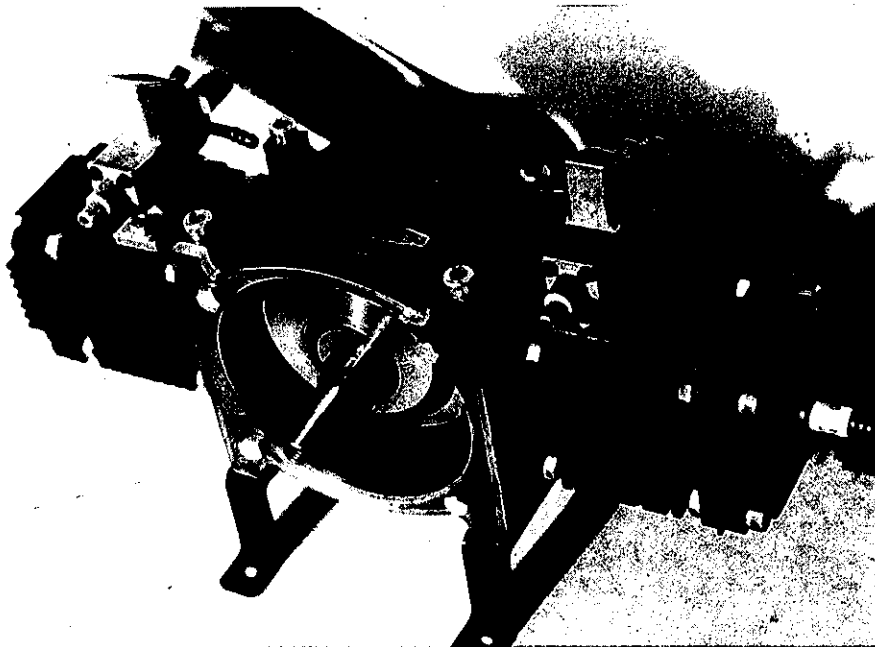


Abb. 114

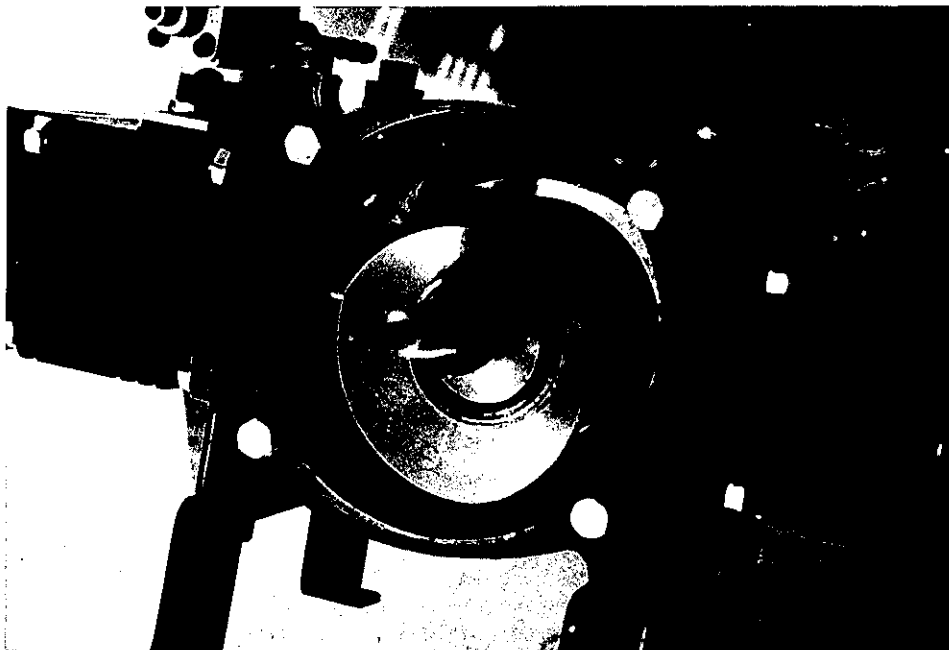


Abb. 115: Ein Modellmotor mit dem Kurbeltrieb nach Prof. Huf. Der Motor kann durch rotierende Gegengewichte vollständig ausgewuchtet werden. Der gezeigte Zweitaktboxermotor wurde von Ing. E. Handt gebaut und läuft so vibrationsarm wie eine Turbine (November 1981). Foto: E. Handt.

Kurbelzapfen war. Günstiger war bei diesem Motor die Geräuschemission, die kaum hohe Frequenzanteile enthielt.

Die Kreuzschleife bietet sich bei Boxermotoren an, allerdings ergibt sich bei Viertaktmotoren dann eine ungleiche Zündfolge. Der Motor zündet rechts, dann links, worauf eine ganze Kurbeldrehung ohne Zündung folgt. Eine praktische Ausführung des Kreuzschleifenkurbeltriebes stellt der Kurbelmechanismus nach Prof. Huf dar.

Hierbei laufen zwei Exzenter E_1 und E_2 so gegensinnig um, daß die Kolben eine reine Sinusschwingung ausführen. Die exakte gegenläufige Drehbewegung der Exzenter gegeneinander bewerkstelligt ein Planetengetriebe auf dem Prinzip des Kardankreispaars. Der Vorteil dieses Kurbelmechanismus ist es, daß mit einfachen rotierenden Massen ein vollständiger Massenausgleich erzielt wird. Ein Motor nach diesem Prinzip läuft ohne die geringsten Vibrationen, wie ein Elektromotor. Allerdings sollte der Motor für gleiche Zündabstände bei 4-Taktsteuerung wenigstens ein 4-Zylinder-Motor sein.

4.3.4. Kurbelwellen

Die einfachste Art, eine hin- und hergehende Kolbenbewegung in eine Drehbewegung umzuwandeln, ist eine Kurbel. Bei Zweitakt-Modellmotoren hat sich eine Kurbel, einseitig nur gelagert, bewährt. Auch bei 4-Takt-Motoren ist diese Bauart üblich, wenn auch einige Motorhersteller die Kurbelwelle zum Nockenwellenantrieb hin verlängern.

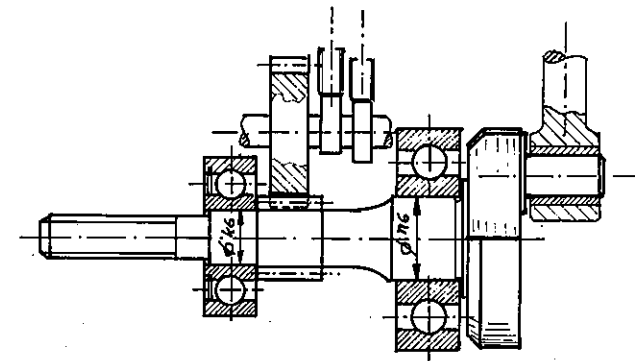


Abb. 116: Kurbelwelle mit integriertem Nockenwellenantrieb

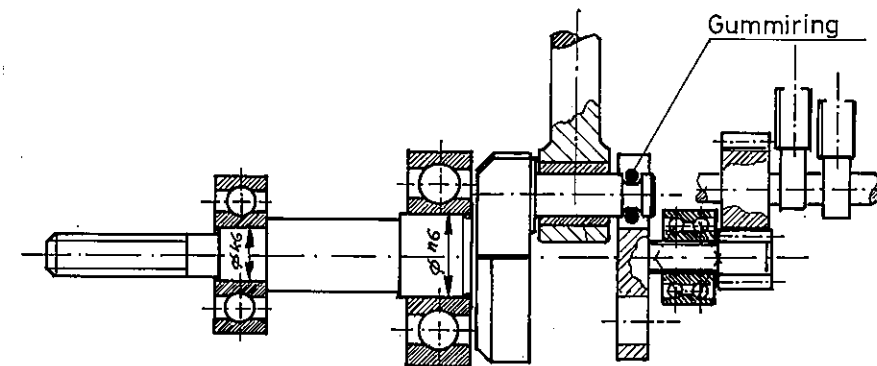


Abb. 117: Kurbelwelle mit angekuppeltem Nockentrieb

Ein Hersteller von Vier-Takt-Motoren in Kleinserien verwendet als Kurbelwellenrohling ein Schmiedestück von einem LKW-Motor-Einlaßventil. Diese Welle ist hoch beanspruchbar, da durch das Vorschmieden die Fasern im Werkstoff dem Kraftfluß optimal angepaßt sind. Leider eignet sich der Werkstoff des verwendeten Einlaßventils schlecht zur Bearbeitung auf Drehautomaten. Diese Kurbelwellen sind sehr teuer in der Fertigung.

Bei Modellmotoren werden für die Kurbelwellenlagerung fast ausschließlich Wälzlager verwendet. Gleitlager werden nur als Pleuellager verwendet. Wälzlager in der Pleuelstange sind schwer zu beherrschen und geben leicht zu Störungen Anlaß.

Die Wälzlager werden im Lagerspiel so abgestimmt, daß im eingebauten Zustand noch ausreichend Spiel zwischen Kugel und Rille bleibt und ein reibungsarmer Lauf möglich wird. Für besonders hochdrehende Lager wird ein Käfig aus Duroplast verwendet, wobei meist Schulterlager solche Käfige haben. Schulterlager sollten leicht



Eine Verwendung von Wälzlager an den Pleuellagerstellen ist nur möglich, wenn speziell entwickelte Nadellager verwendet werden. Da das Pleuel bei der Drehbewegung der Kurbelwelle seitlich ausschwenkt, ist die Lagerdrehzahl instationär und schwankt stark. Es können daher nur Nadellager verwendet werden mit besonderen hochfesten Käfigen aus geschmiedetem Dural. Solche Nadellager sind nur für größere Zapfendurchmesser lieferbar und für Modellmotoren leider noch nicht entwickelt. Die Pleuellager werden meist als Gleitlager ausgeführt, wobei Lagerbuchsen aus spezieller Lagerbronze verwendet werden. Bei Boxermotoren und einteiliger Kurbelwelle werden geteilte Pleuellager notwendig.

Technical drawing showing a shaft-hub assembly. The shaft is on the left, and the hub is on the right. A locking pin (Sicherungsstift) is shown inserted into the hub to secure the assembly. The drawing includes a cross-section of the hub and a side view of the shaft. The locking pin is labeled 'Sicherungsstift der Lagerschalenhälfte'.

Bei Viertaktmotoren ist die Gestaltung des Gehäuses wesentlich einfacher als bei Zweitaktmotoren. Hier müssen ja keine Spülkanäle eingegossen werden. Grundsätzlich wird das Gehäuse aus Leichtmetall gefertigt. Es gibt Motoren, bei denen das Gehäuse ganz zerspanend aus Aluminium hergestellt ist. Häufiger sind gegossene Gehäuse.

95

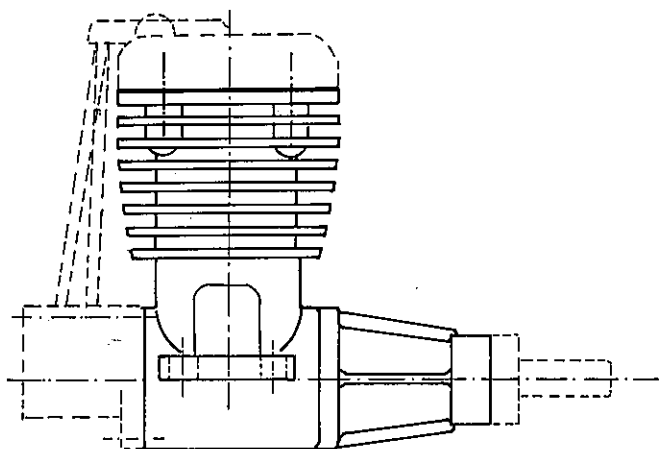


Abb. 120

Kurbelgehäuse einteilig

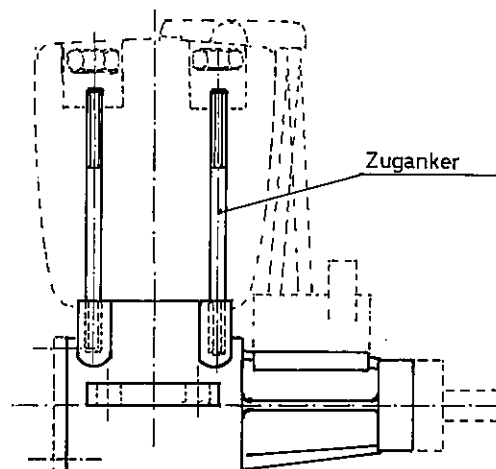


Abb. 121

Kurbelgehäuse mit Zuganker

4.4.2. Zylinderkopf

Das kritischste Bauteil der Viertaktmotoren ist der Zylinderkopf. Der Konstrukteur hat hier das Problem, einmal die Ventile, Zündkerze und Gaskanäle und zum anderen auch noch die Antriebs Elemente für die Ventile und die Halteschraube unterzubringen.

Die Zylinderköpfe werden aus Aluminium gefertigt, meist als Druckgußstück. Die Gaskanäle werden zerspanend aus dem Gußstück herausgearbeitet, wobei der Grundsatz gelten sollte: möglichst kurze Wege für das Gas und keine scharfkantige Umlenkung. Die Ventile werden häufig in Bronzetassen eingebaut. Diese Bronzetassen sind in den Zylinderkopf eingepreßt. Für Motoren mit Benzinbetrieb und Fun-

Abb. 122

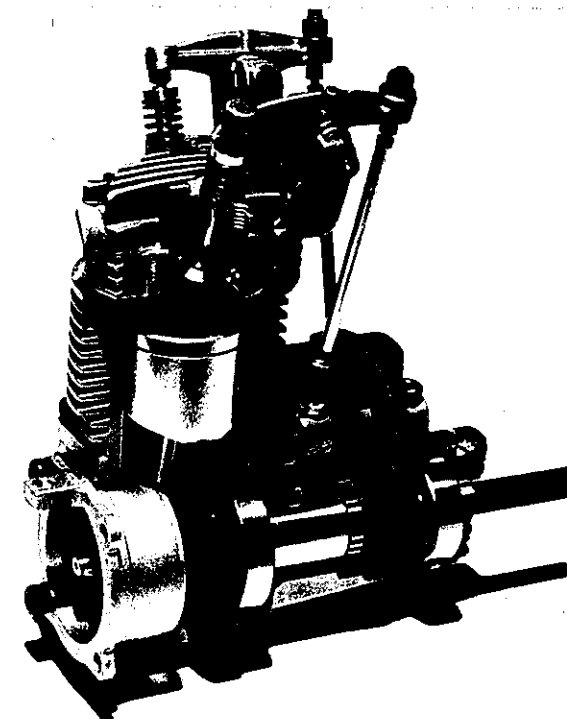
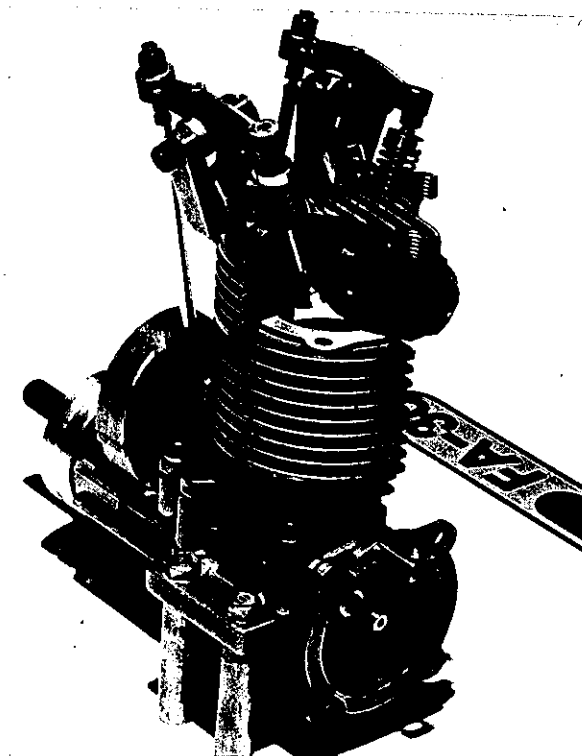


Abb. 123: Geschnittener Zylinderkopf an dem kleinen Viertaktmotor der Firma Saito. Die Gaskanäle sind gebohrt. Die Ventile laufen in eingepreßten Ventiltassen aus Bronze. Der Zylinderkopf sitzt plan auf dem Zylinder auf, als Dichtung wird ein Aluring eingelegt.

kenzündung ist eine hochwertige Bronze dafür notwendig oder sogar ein Sinterstahlbauteil. Wenn der Zylinderkopf zerspanend aus Aluminium gefertigt wurde, kann auch auf Ventiltassen verzichtet werden, die Ventile sitzen direkt dichtend im Leichtmetallzylinderkopf.

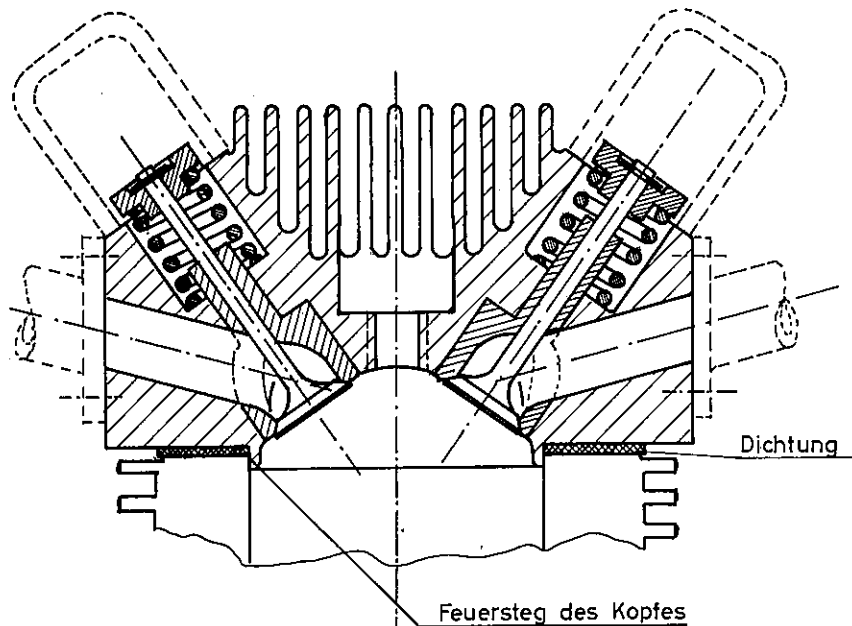


Abb. 124 Zylinderkopf mit schräg hängenden Ventilen

Ein Problem bei Vier-Takt-Motoren ist die Zylinderkopfdichtung. Diese wird thermisch höher beansprucht als bei Zwei-Takt-Motoren und brennt daher häufig durch. Wirksame Maßnahmen gegen durchbrennende Dichtungen sind einmal längere Zylinderkopfschrauben, eventuell mit untergelegten Stahlhülsen, oder ein Feuersteg am Kopf. Der Zylinderkopf ragt mit dem Feuersteg etwas in den Zylinder hinein, und es wird so der direkte Kontakt der Kopfdichtung mit den heißen Brenngasen vermieden. Als Werkstoff für die Kopfdichtung haben sich Asbest-Elastomer-Kombinationen bewährt oder, bei besonders steifem Zylinderkopf, auch Metallringe aus Weichkupfer oder Weichaluminium. Hier ist bei allen Motorenherstellern noch wenig Erfahrung vorhanden, und es wird viel an konstruktiven Änderungen erfordern, bis solch eine Dichtung zufriedenstellend über Jahre den Dienst verrichtet. Daß bei jedem Öffnen des Motors am Kopf eine neue Dichtung montiert werden muß, sei hier noch extra erwähnt. Die gebrauchte, alte Dichtung ist ungleich gepreßt worden und verzogen, sie kann nicht richtig abdichten und bringt unzulässigen Zylinderverzug bei einer Wiederverwendung.

4.5. Massenausgleich

Bei einem Hubkolbenmotor werden durch die hin- und hergehende Masse des Kolbens sogenannte Massenkräfte verursacht. Diese Massenkräfte hängen von der Kolbenbeschleunigung und der Kolbenmasse ab sowie von der Masse und Bewegung der Pleuelstange.

$$a_K = \omega^2 \cdot r \cdot (\cos \alpha \pm \lambda \cos 2\alpha)$$

a_K = Kolbenbeschleunigung in m/s^2

ω = Winkelgeschwindigkeit der Drehbewegung

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$$

α = Kurbelwinkel $0^\circ \div 360^\circ$

λ = Pleuelstangenverhältnis ($\lambda = r/l = \frac{\text{Kurbelradius}}{\text{Pleuellänge}}$),

Von der Masse der Pleuelstange wird 1/3 der Masse der Kolbenmasse zugeschlagen. So ergibt sich als Masse der oszillierenden Triebwerksteile

$$m_s = m_{\text{Kolben}} + m_{\text{Bolzen}} + m_{\text{Ringe}} + \frac{1}{3} m_{\text{Pleuel}}$$

Die Massenkraft ergibt sich damit: $F_{\text{osz}} = m_s \cdot a_K$

Bezieht man die Massenkraft auf die Kolbenfläche A , so ergibt sich ein Massendruck:

$$p = \frac{m_s \cdot a}{A}$$

Den Massendrücken wirken teilweise die Gasdrücke aus der motorischen Verbrennung entgegen, so daß sich etwa folgende resultierende Kolbenkraft ergibt.

Durch diese doch stark schwankende Kolbenkraft wird die Kurbelwelle, abhängig von der Stellung der Kurbel, mehr oder weniger stark gedreht. Die Kurbelwelle dreht daher nicht gleichförmig, sondern wird im Arbeitshub stark beschleunigt und im

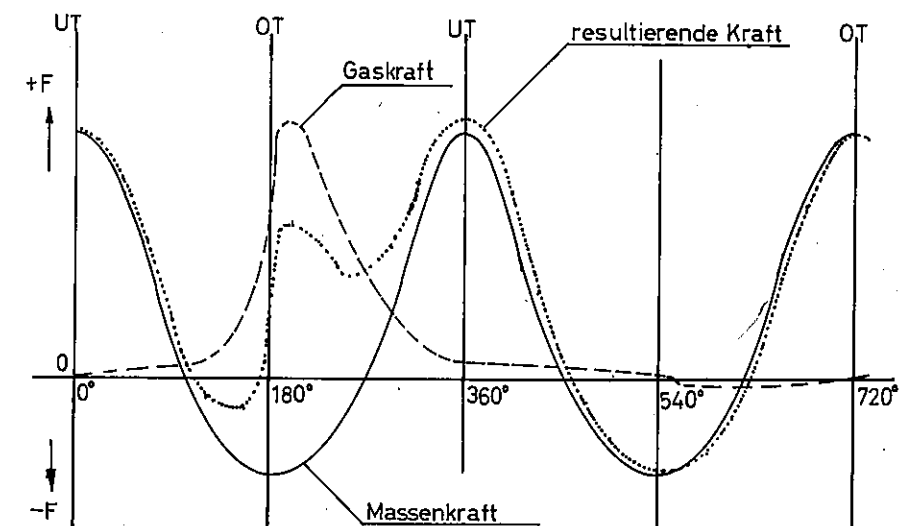


Abb. 125 Zusammengesetzte Kolbenkraft

Kompressionshub stark verzögert. Es kommt zu den Massenkräften aus den oszillierenden Massen noch ein schwankendes Nutzdrehmoment, das in gleicher Größe als Stützmoment an der Motorbefestigung auftritt. Der Motor hat keinen Gleichgang. Ausgleichen kann man die oszillierenden Massen bei einem Ein-Zylinder-Motor nur unvollkommen mit kontrarotierenden Ausgleichsgewichten. Mit einer solchen Ausgleichswelle werden nur Massenkräfte 1. Ordnung gemindert. Die rotierende Masse des Kurbelzapfens und des Pleuels lassen sich 100 %ig durch Gegengewichte ausgleichen.

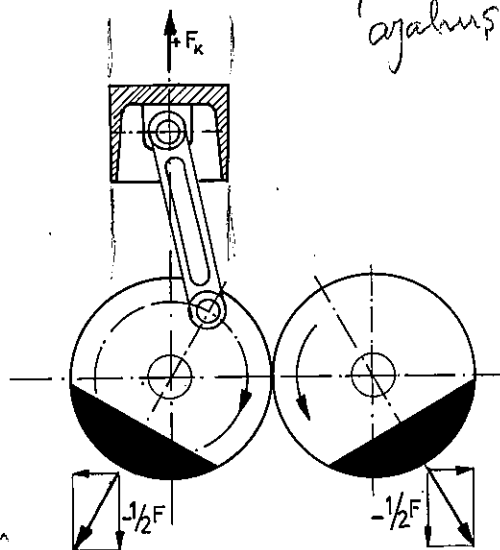


Abb. 126

Als Kompromiß bietet sich an, falls man keine kontrarotierende Ausgleichswelle verwenden möchte, ein Gegengewicht gegenüber dem Kurbelzapfen mit etwa 1/2 der Pleuellager- und Pleuellagerbolzenmasse. So wird für OT und UT die Pleuellagerkraft etwas gemindert, aber für die maximale seitliche Stellung der Pleuellager bei $\alpha = 85^\circ$ eine neue freie Pleuellagerkraft erzeugt.

Den besten Ausgleich der oszillierenden Massen bietet ein mehrzylindriger Motor. Bei einem Zwei-Zylinder-Reihenmotor mit 180° -Kurbelversatz sind die Massenkräfte 1. Ordnung ausgeglichen, aber es entsteht ein freies Nickmoment um die Motorquerachse. Günstiger ist hier ein Boxermotor mit möglichst kleinem Zylinderachsversatz. Eine Anordnung als Zwei-Zylinder-V-Motor mit 90° -V-Winkel und einem gemeinsamen Kurbelzapfen bringt auch teilweise ausgeglichene Massenkräfte.

Bei Vier-Zylinder-Motoren ergibt sich für Modellmotoren als Boxermotor oder Reihenmotor ein hinreichender Massenkräfteausgleich. Bei einem 8-Zylinder-Motor mit 90° V oder einem 6-Zylinder-Reihenmotor sind alle Massenkräfte ausgeglichen.

Nicht ausgleichen läßt sich das stark schwankende Fundamentmoment des Einzylinder-Motors. Mit keinem noch so leichten Propeller ergibt sich eine Verbesserung, schwere Propeller oder Schwungräder verschlechtern nur. Ein Schwungrad dient ja nur als Energiespeicher und glättet nur das Abtriebsmoment. Das Fundamentmoment des Motors bleibt in der alten Höhe erhalten. Ein ausgeglichener Lauf der Modellmotoren ergibt sich nur bei Mehrzylinderanordnungen. Obgleich ein Zweizy-

linder aufwendiger und daher mindestens doppelt so teuer wird wie ein Ein-Zylinder-Motor, sollte ein laufruhiger 4-Takt-Modellmotor mindestens ein Zweizylinder-Motor, möglichst in Boxeranordnung, mit je einer Zündung pro Umdrehung sein. Ein solcher Motor läuft dann so gleichförmig wie ein Einzylinder-Zweitakt-Motor gleicher Leistung und Drehzahl, allerdings bei günstigerem Massenkräfteausgleich. Ein Einzylinder-Motor mit Viertaktsteuerung wird immer mehr schütteln und ungleichförmiger laufen als ein Zweitakt-Motor. Es ist daher sinnvoll, die Motoren elastisch aufzulagern, zum Beispiel auf Gummifederelementen.

optimale Motor-aufhängung in Gummiblöcken

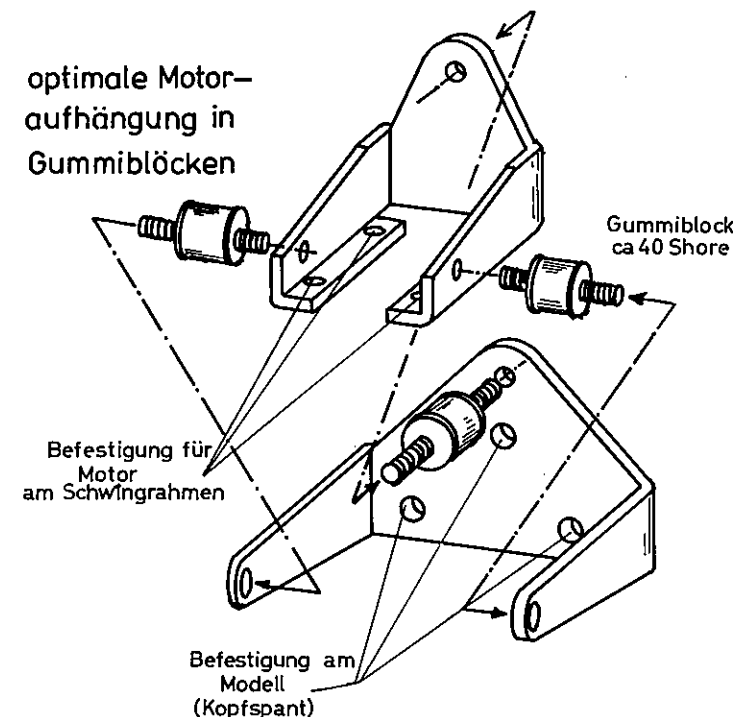


Abb. 127

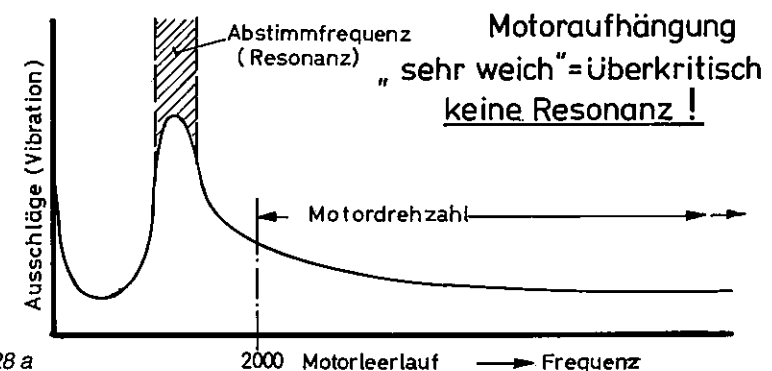


Abb. 128 a

Abb. 128 b

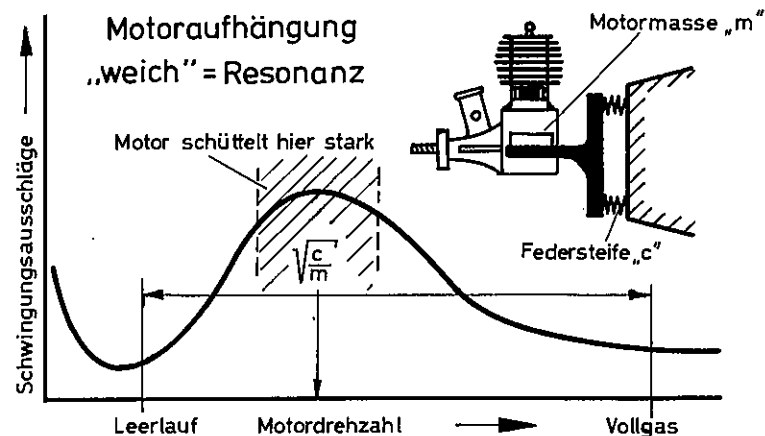


Abb. 128 c

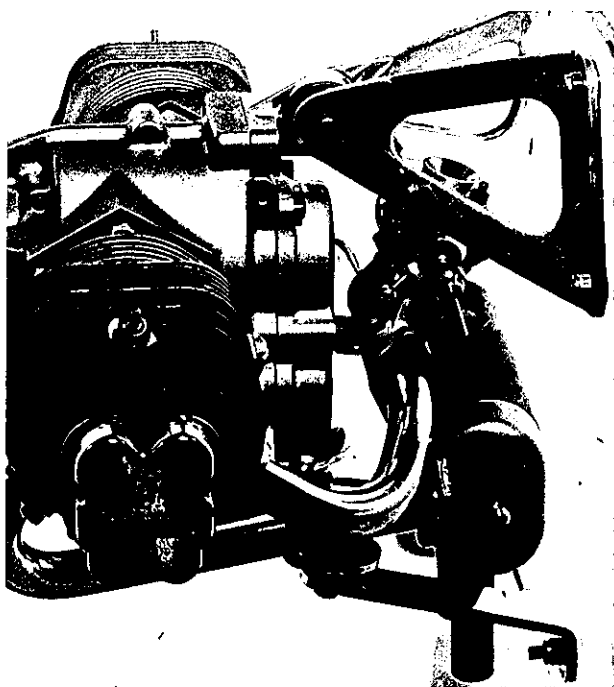
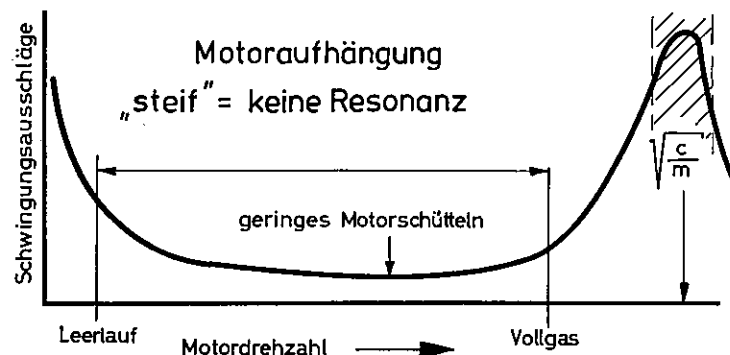


Abb. 129: Vorbildliche Aufhängung eines FK-50-Mark-I-Modellmotors mit 2x25 ccm Hubraum an drei Punkten. Die Motorvibrationen werden über die Gummi-Schwingelemente nicht auf das Modell übertragen. Zwischen der Motoraufhängung finden der Vergaser und der Schalldämpfer Platz.

5. Betriebseinrichtungen

5.1. Abgasanlagen und Schalldämpfer

Untersucht man mit einer sogenannten Terzpegelanalyse den Lärm eines Viertaktmodellmotors, so stellt man keinen extrem hohen Lärmpegel in irgendeiner Terz fest. Die Viertaktmodellmotoren geben ein gleichmäßiges Lärmspektrum ab, sofern sie mit Ventilen gesteuert werden. Viertaktmotoren mit Drehschiebersteuerungen geben in einzelnen Terzen, meist im Bereich über 1000 Hz bis 5000 Hz, deutlich herausragende Drehklänge ab. Gerade Frequenzen über 1000 Hz empfinden wir lästig, da diese hohen Töne im Unterbewußtsein eine Abwehrreaktion auslösen. Es kann angenommen werden, daß durch das schleichende Öffnen der Ventile, gegenüber dem raschen Aufreißen der Steueröffnungen an schiebergesteuerten Motoren, der gleichmäßigere und angenehmere Lärm ohne große Schallpegel bei hohen Frequenzen zustande kommt.

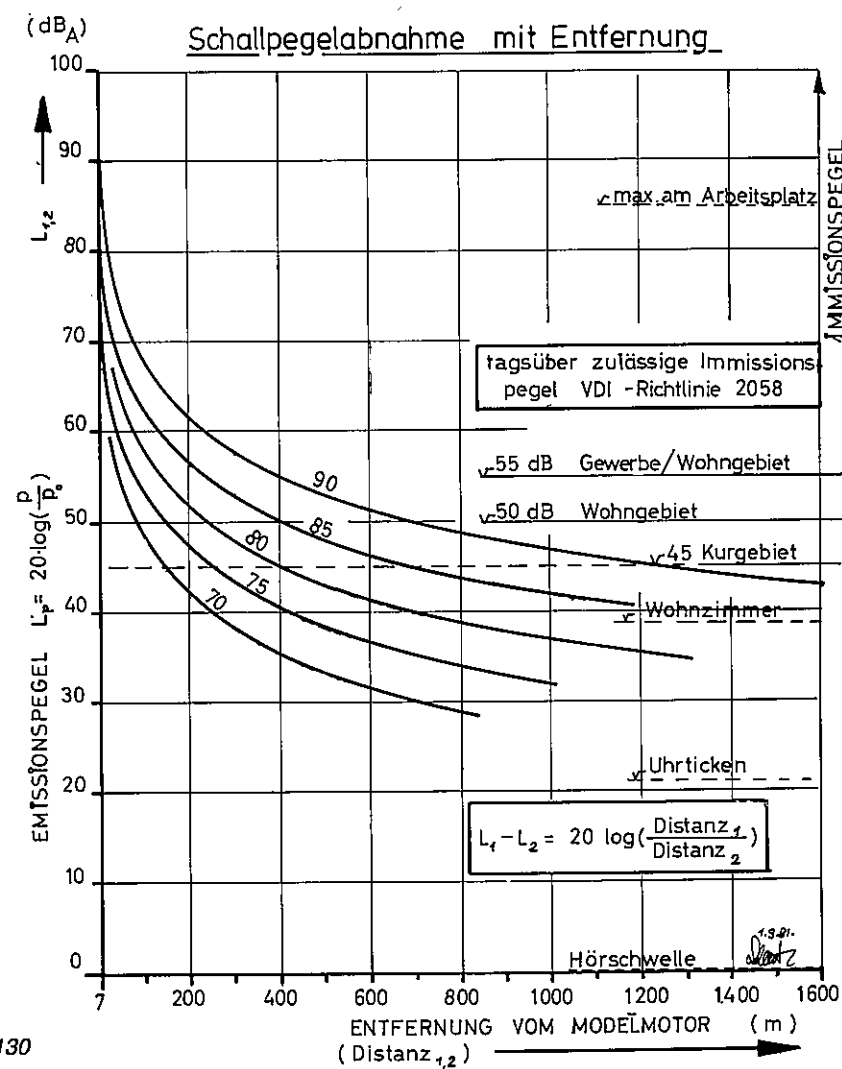


Abb. 130

Betrieibt man einen ventilgesteuerten Viertaktmotor ohne Schalldämpfer, so kann immer noch der immitierte Lärmpegel bei einem Anwohner unzulässig hoch liegen. Der Lärmpegel nimmt mit dem Quadrat der Entfernung ab. Der Lärmpegel sollte in einem Wohngebiet die in der Abb. 130 gezeigten Werte am Tage nicht überschreiten. Im allgemeinen ist ein Modellmotor als Viertakter in einer Entfernung über 1800 m nicht mehr aus dem Rauschen der Umgebung herauszuhören. Ist der Abstand zum Motor kürzer oder weht der Wind auf den Beobachter zu oder hat die Luft eine hohe Luftfeuchtigkeit, so kann der Motorlärm deutlich gehört werden.

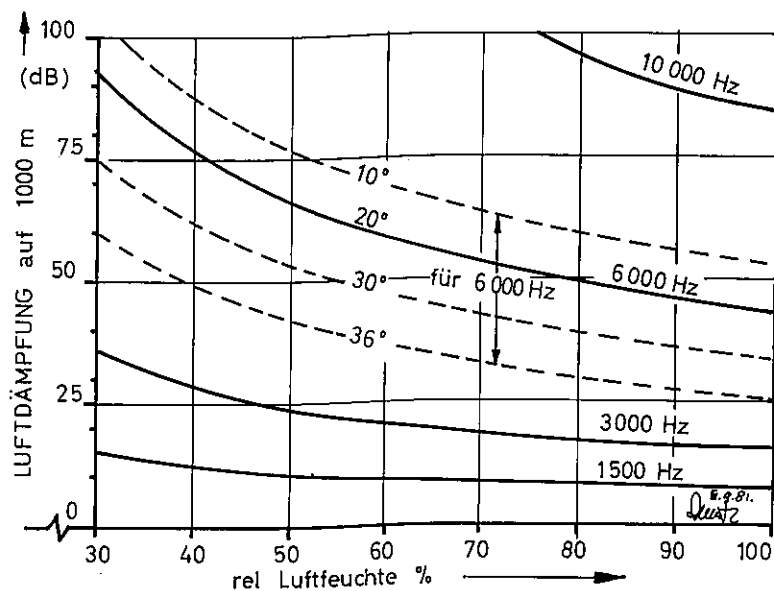


Abb. 131

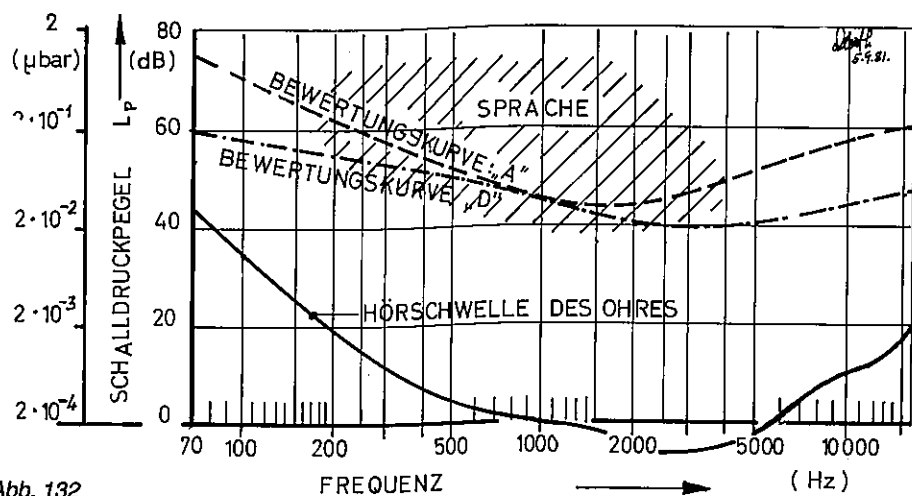


Abb. 132

Motorlärm : Vergleich Zweitakt-Viertakt

MIKROPHONABSTAND: 1 m vor dem Motor

- OS-FS 60 (Viertakter) mit MINIVOX Dämpfer
- HB-40 PDP (Zweitakter) Graupner Resonanzdämpf.

Motordrehzahl: 9 000 U/min

Propeller: ROBBE Dynamic 11"x6"

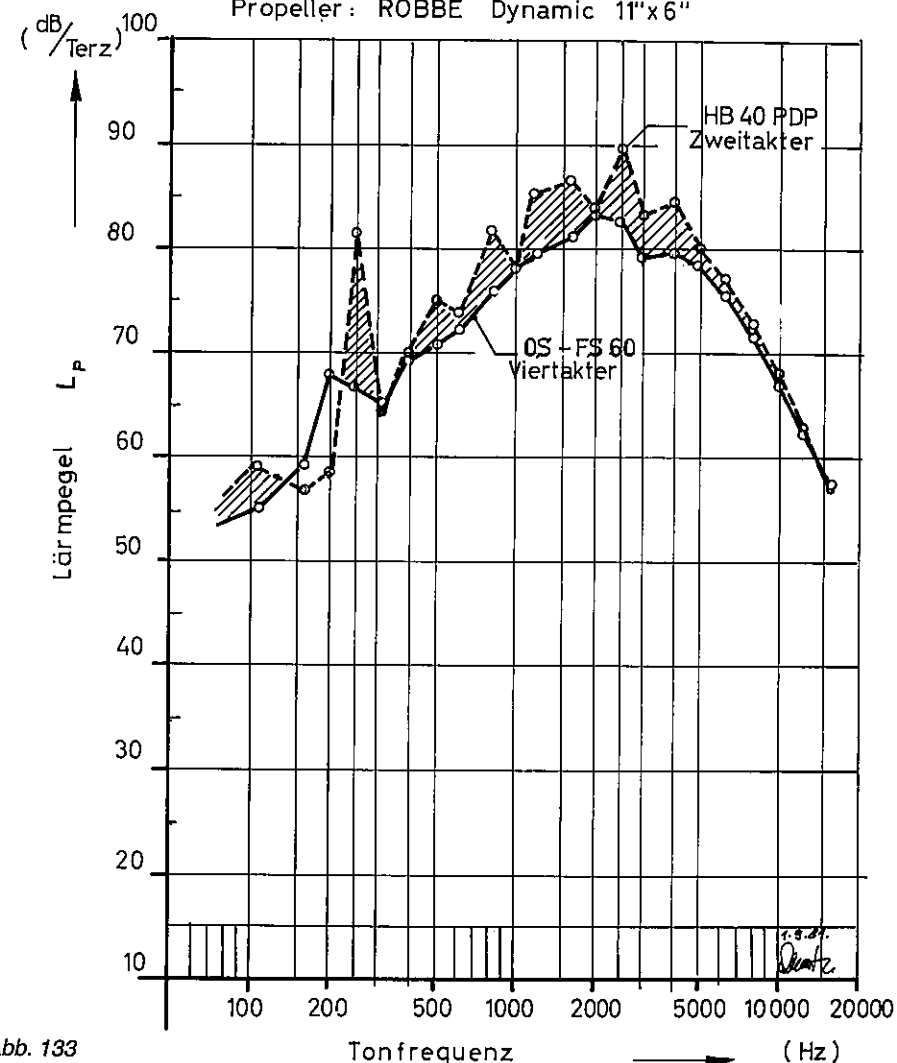


Abb. 133

Die Viertaktmodellmotoren mit Ventilsteuerungen haben keine „Spitzen“, also besonders hohe Pegelwerte bei einzelnen Tönen, wie es die Zweitaktmotoren haben. Das Ohr hört immer die lautesten Einzeltöne aus dem Lärm heraus, und bei den Zweitaktmotoren sind hier besonders unangenehm die hohen Töne zwischen 1000 Hz und 5000 Hz. Der Viertaktmodellmotor macht eher ein „rosa Rauschen“, und dieser Lärm wird subjektiv nicht so störend empfunden.

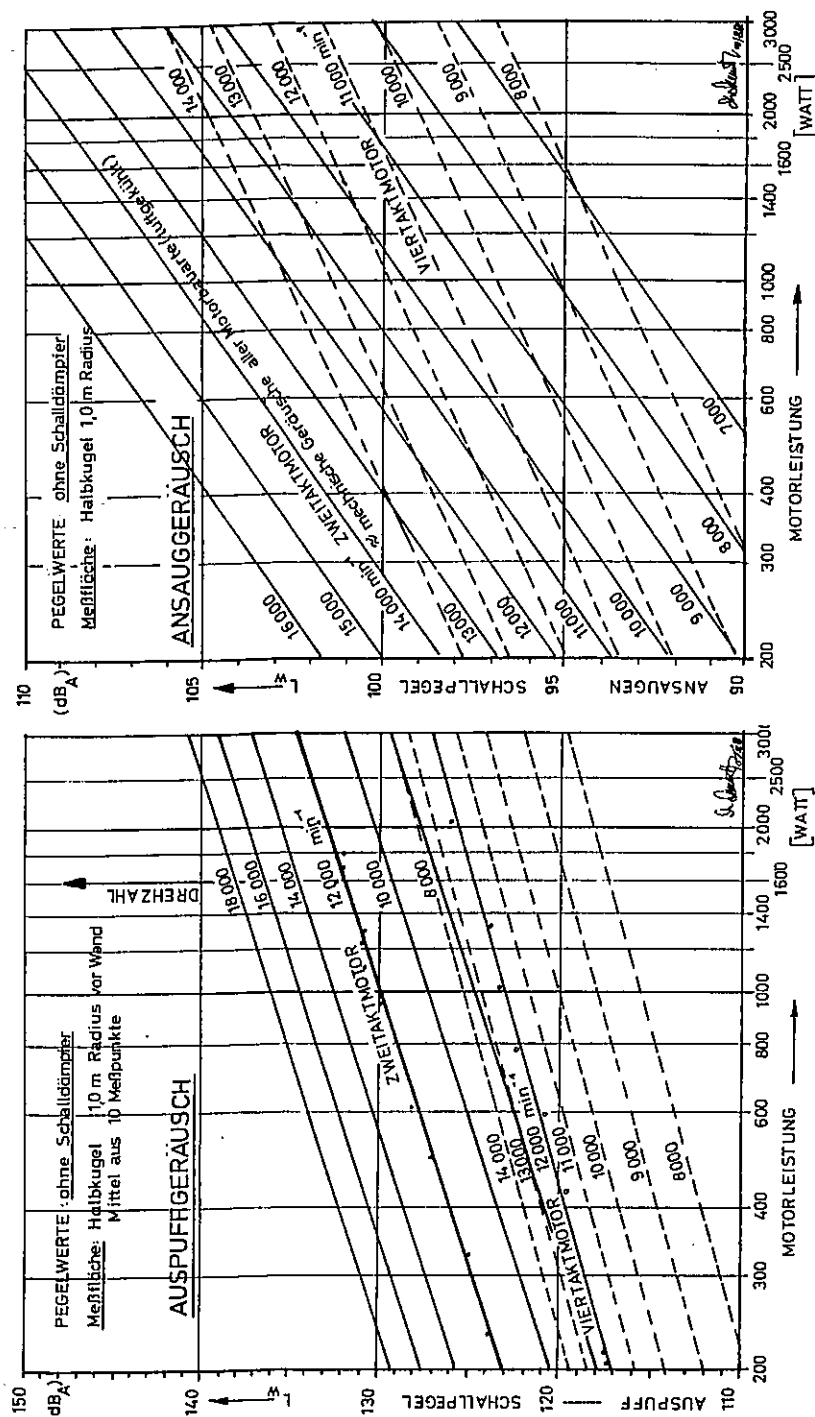


Abb. 134: Schall-Leistungspegel des Auspuffgeräusches und des Ansauggeräusches bei Zweitakt- und Viertaktmodellmotoren.

Schall-Leistung der Modellmotoren in Abhängigkeit der Motorleistung. Die Schall-Leistung ist auf den üblicherweise gemessenen Schalldruck umrechenbar, wenn

man von dem Leistungspegelwert für den Schalldruck in 7 m Abstand zum Motor, wobei das Modell 1 m über einer gemähten Wiese steht, ca. 14,7 dB abzieht. Bei 3 m Abstand wären 8,0 dB abzuziehen.

Die Schall-Leistungspegel von Ansauggeräusch, Auspufflärm und Propellerlärm sollten energetisch addiert werden. Zwei gleichlaute Pegelwerte ergeben zusammengefaßt einen um 3 dB erhöhten Pegelwert. Näherungsweise nehme man den größten Pegelwert und addiere 3 dB, womit man auf den Gesamtpegelwert kommt. Wenn der Pegelwert für den Propellerlärm größer ist als für den Auspufflärm, so hat es keinen Sinn, noch mehr am Schalldämpfer herumzubasteln und dort noch mehr den Lärm zu mindern, das menschliche Ohr hört nur die lauteste Schallquelle, und die ist in diesem Beispielfall der Propeller. Lärminderung an einem Modell mit Verbrennungsmotor erfordert viel physikalischen Sachverstand, ingenieurmäßiges Denken und teure Meßgeräte. Die Abb. 134 und 135 sollen nur Anhaltswerte liefern, wo man den Hebel zur Lärminderung ansetzen sollte.

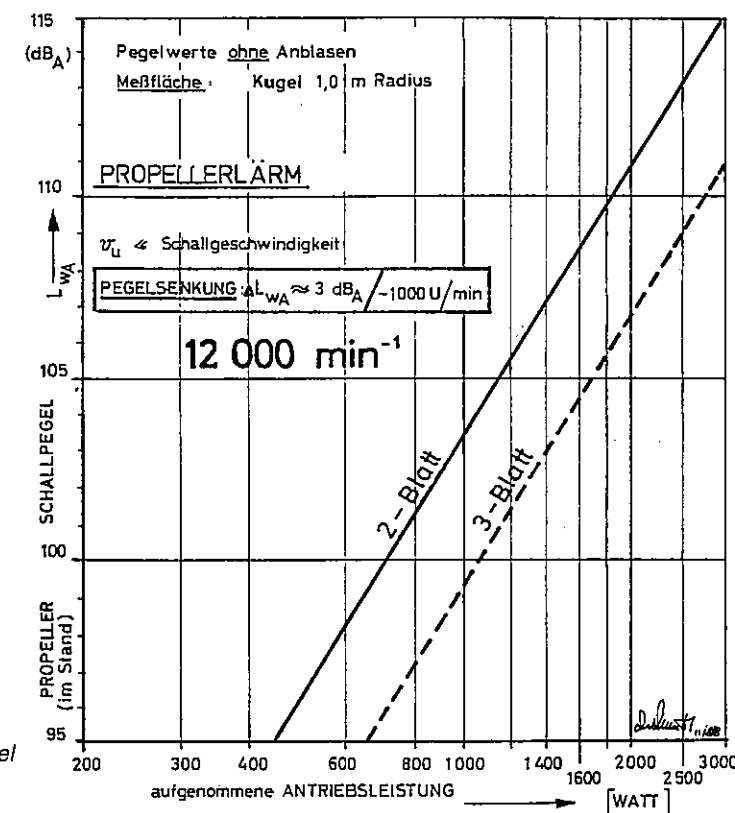


Abb. 135: Propellerlärm als Schall-Leistungspegel über der Antriebsleistung.

Schalldämpfer für Viertaktmodellmotoren dämpfen als Auspuffschalldämpfer zwischen 8 dB bei einer einfachen Expansionskammer direkt am Motor, aber bis zu 25 dB bei Mehrkammerdämpfer-Ausführung in einer Auspuffanlage. Das Ansauggeräusch kann man mit einem Ansaugfilter um ca. 3 dB senken, mit einem speziellen Dämpfer kommt man bis 12 dB Absenkung. Schräg von der Luft angeströmte Propeller sind bis zu 3 dB im Pegelwert lauter, Propeller gleicher Leistung können bis zu 6 dB Pegelwertunterschiede haben.

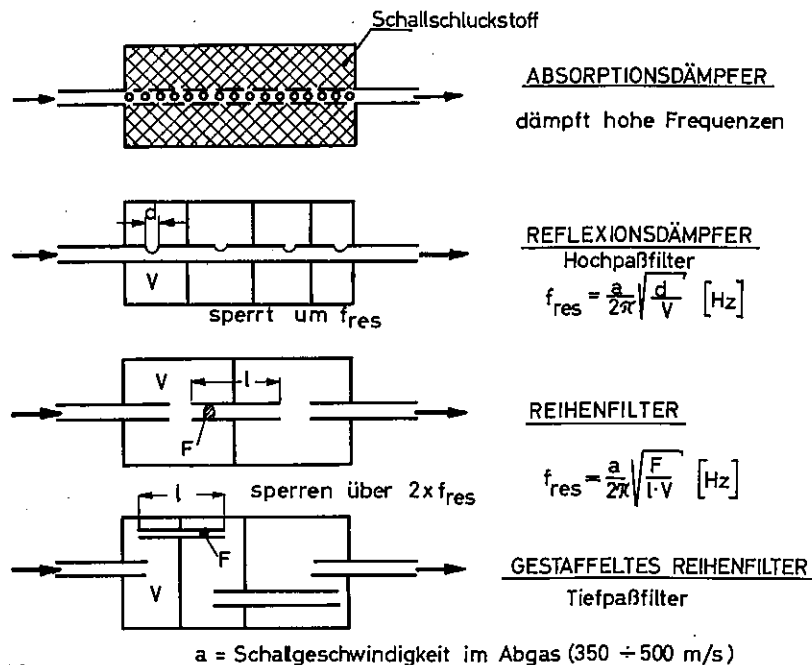


Abb. 136

Sicherheitshalber sollte man einen Viertaktmodellmotor immer mit einem Schalldämpfer betreiben, auch wenn man dann im Drossellauf als steuernder Pilot eines Modellflugzeuges den Motor nicht mehr laufen hört. Bei schiebergesteuerten Motoren ist ein Schalldämpfer zwingend notwendig. Als Schalldämpfer sind die in der Abb. 136 physikalisch möglichen Bauarten anwendbar. Reihenfilter oder gestaffelte Reihenfilter sind meist nicht notwendig. Mit diesen Filtern könnte bei Abstimmung auf bestimmte Frequenzen über 50 Hz ein sonorer Auspuffton herausgefiltert werden. An Motorradmotoren wurden solche gestaffelten Reihenfilter so abgestimmt, daß der verbliebene Auspuffton harmonisch empfunden wurde und ein wesentliches Kaufargument war. Bei der Abstimmung dieser Schalldämpfer wirkten nicht selten Konzertmeister mit absolutem Gehör mit. Ein Reflexionsdämpfer, der ein Hochpaßfilter darstellt, ist bei den relativ hochtourigen Modellmotoren und hohen Frequenzen im Auspufflärm unbrauchbar. Dagegen ist bei Viertaktmotoren ein Absorptionsdämpfer brauchbar, da ja im Abgas der Modellmotoren weniger Ölanteil ist als bei Zweitaktmotoren. Solche Schalldämpfer sind auf dem Modellbaumarkt erhältlich und sollten über einen Silikonschlauch mit dem Abgasrohr am Motor verbunden werden.

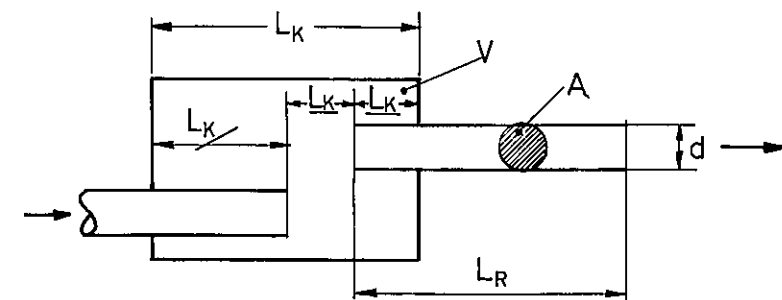
Die Frage ist noch, wie lange die Rohrleitungen zum Schalldämpfer und danach zu wählen sind. Die Leitung vom Motor zum Schalldämpfer ist akustisch als einseitig geschlossene Leitung zu betrachten und besitzt eine Resonanzlänge, die sich aus der Frequenzgleichung

$$f_1 = \frac{c}{4l}; \quad f_2 = \frac{3c}{4l}; \quad f_3 = \frac{5c}{4l}; \quad \dots$$

errechnet. In der Formel ist l die Rohrlänge in Meter und c die Schallgeschwindigkeit im heißen Abgas in Meter pro Sekunde (Mittelwert $\approx 450 \text{ m/s}$). Die Leitung nach dem Schalldämpfer ist als beidseitig offene Leitung anzusehen. Sie hat folgende Resonanzfrequenzen:

$$f_1 = \frac{c}{2l}; \quad f_2 = \frac{2c}{2l}; \quad f_3 = \frac{3c}{2l}; \quad \dots$$

Am zweckmäßigsten stimme man die Rohrlänge vor und hinter dem Schalldämpfer so ab, daß der Motor vor dem Dämpfer eine andere Resonanzfrequenz anregt als nach dem Dämpfer. Auf keinen Fall sollte man auf das Endrohr nach dem Schalldämpfer verzichten, da erst dadurch der Auspufflärm wirksam vermindert wird. Die Rohrleitung vor dem Schalldämpfer sollte möglichst entsprechend den Angaben im Kapitel 4.2.8., $100 \div 180 \text{ mm}$ betragen.



$A = \text{ROHRQUERSCHNITT}; \quad V = \text{KAMMERVOLUMEN}$
 $L = \text{KAMMERLÄNGE}$
 $L_{eff} = L_R + 0,7d$
 $c = \sqrt{\gamma \cdot R \cdot T} \quad (350 - 500 \cdot 10^3 \text{ mm/s})$

$$f_{res} = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{V \cdot L_{eff}}} \text{ [Hz]}$$

Günstigste Auslegung:

$A \sim 1,2 \cdot \text{AUSLASSQUERSCHNITT DES MOTOR}$
 $L_K = L_{eff}$
 $f_{res} < 100 \text{ Hz}$

Abb. 137

REFLEXIONS-DÄMPFER SPERRT TÖNE ÜBER $2 \times f_{res}$

Nachschalldämpfer (Reflexionsdämpfer) für
10 ccm Motoren $f \approx 55 \text{ Hz}$

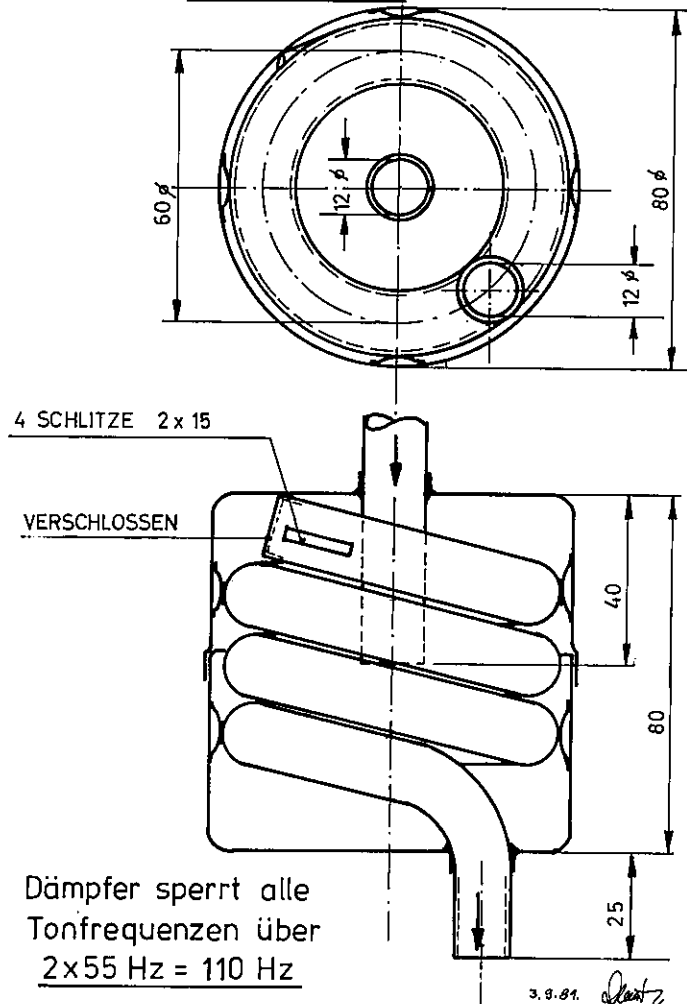


Abb. 138 a

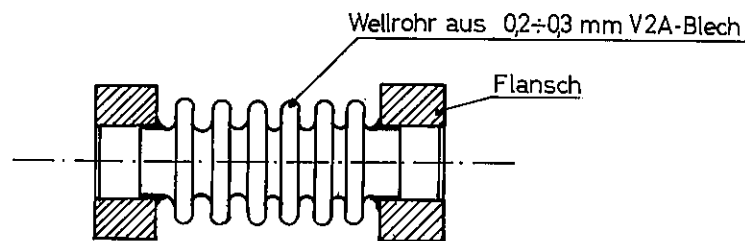


Abb. 139

KOMPENSATOR

Hersteller : Fa. Wizemann, Pforzheim

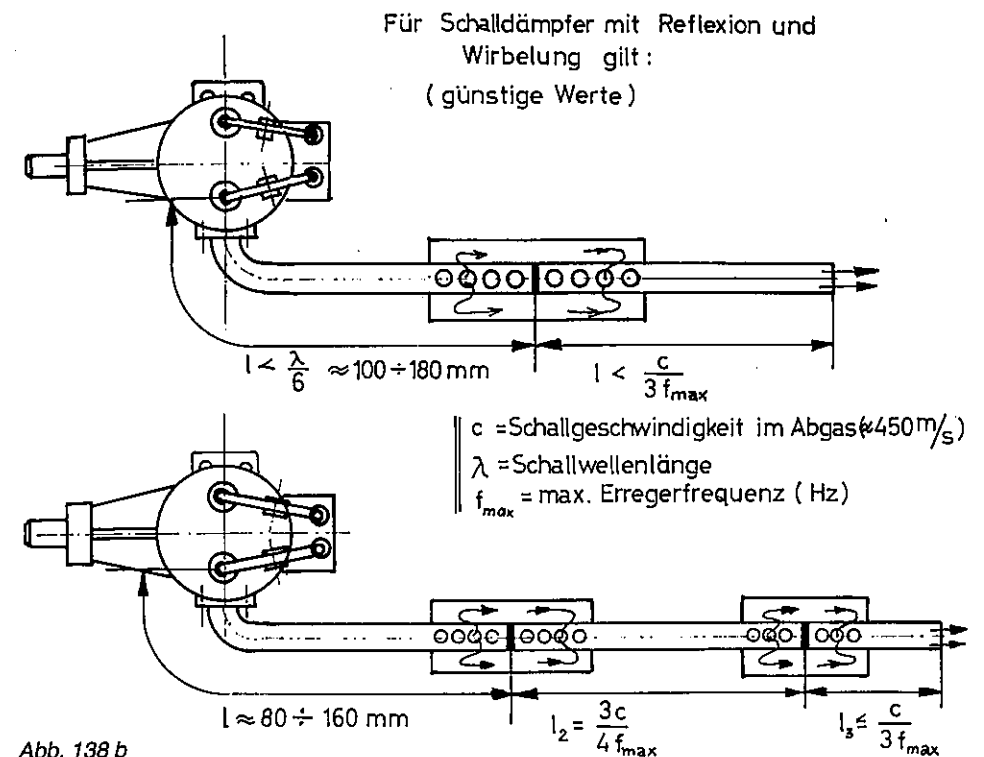


Abb. 138 b

Schallwellenlänge λ bei 12 000 U/min des Motors $\approx 1,125 \text{ m}$

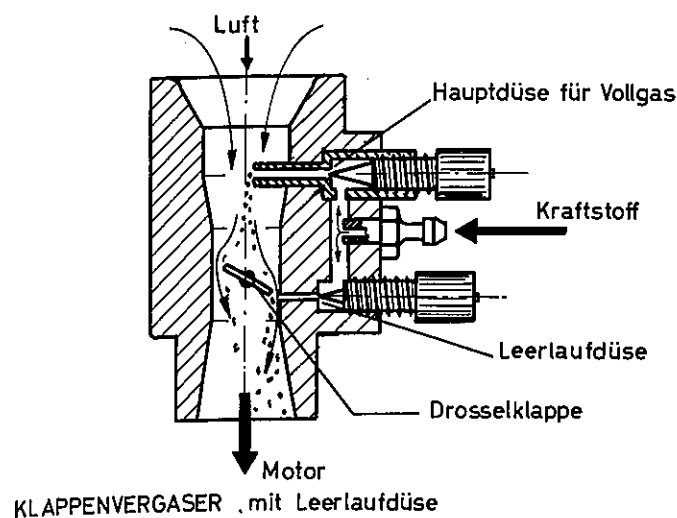
Als Abgasleitung sind Kupfer- oder Messingrohre ungeeignet. Die Abgastemperatur bei Viertaktmotoren liegt so hoch, daß diese Werkstoffe erheblich an Dauerfestigkeit verlieren und brechen. Ebenso ungeeignet sind Alurohre, die abschmelzen können. Geeignet sind nur Stahlrohre, möglichst warmfeste Stähle oder nichtrostende Chrom-Nickel-Stahlrohre. Verbindungen zu Flanschen müssen hartgelötet sein oder geschweißt. Als elastische Verbindung zwischen Abgasrohr und Schalldämpfer kann ein gut gekühlter Silikonschlauch dienen, besser sind Kompensatoren aus Chrom-Nickelstahl (Abb. 139), die von einigen Modellbaufirmen im Programm geführt werden.

An dieser Stelle sei auch angegeben, daß der Auspuff nicht die einzige Lärmquelle am Motor ist. Bei Viertaktmotoren sind die Steuerzahnäder des Nockenwellenantriebs unter Umständen deutlich hörbar, ebenso das Schnattern der Ventile bei ungünstiger Nockenform oder auch das zischende Geräusch des Ansaugvorganges. Gegen laute Zahnäder hilft eine Schrägverzahnung mit größerem Überdeckungsgrad oder ein feinerer Modul der Verzahnung mit einer größeren Zähnezahl am Antriebsritzel. Ein einfaches Reihenfilter vor dem Vergaser beseitigt das Ansaugergeräusch. Falls der Propeller bei höheren Drehzahlen hörbaren Lärm macht, ist eine besondere Blattform des Propellers mit rückwärts gekrümmter Schlagkante oder eine mehrblättrige Luftschaube zu wählen.

5.2. Vergaser

Einem Verbrennungsmotor mit äußerer Gemischaufbereitung, wie es die Modellviertaktmotoren darstellen, sollte für jede Drehzahl und Belastung jeweils Luft und Kraftstoff, in einem optimalen Verhältnis gemischt, zugeführt werden. Wieviel Luft eine bestimmte Menge Kraftstoff zur vollständigen Verbrennung benötigt, wird als stöchiometrisches Mischungsverhältnis bezeichnet. Im Kapitel 2.2., bei der Berechnung der maximalen Leistung ist die Bestimmung der Luftmenge auf Grund der chemischen Formel des Kraftstoffes angegeben. Dieses theoretische Wissen nützt aber bei einem Modellmotor wenig, da einmal der Kraftstoff meist ein Gemisch aus verschiedenen Stoffen ist und zum anderen Wetter, Luftfeuchtigkeit, Temperatur und Luftdruck einen starken Einfluß auf die Leistungsabgabe und Zündung der Glühzünder-Viertakter ausübt. Der Vergaser an Modellmotoren ist daher nichts anderes als eine regelbare Kraftstoffzufuhrvorrichtung. Die eigentliche Gemischaufbereitung zwischen Luft und Kraftstoff erfolgt im Saugrohr und beim Durchströmen des Ventilspaltes. Bei Modellmotoren gilt auch der Spruch aus dem Automotorenbau: Der beste Vergaser ist das Saugrohr und der Ventilspalt.

Prinzipiell wird bei Modellmotoren im Vergaser die Ansaugluftmenge durch eine Drosseleinrichtung geregelt. Über ein Regelventil wird der Ansaugluft Kraftstoff zugemischt. Im einfachsten Fall werden vor einer Drosselklappe aus einer regelbaren Hauptdüse Kraftstofftröpfchen der angesaugten Luft zugemischt. Abb. 140

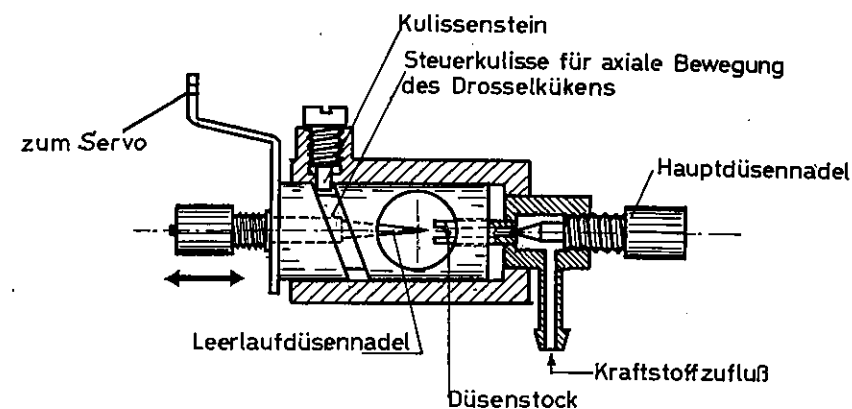


Regelbereich $1:6 \div 1:8$

Abb. 140

Das Leerlaufgemisch wird durch eine regelbare Leerlaufdüse optimiert. Leider ist die aus der Hauptdüse austretende Kraftstoffmenge vom Kraftstoffdruck vor der Düse abhängig. Der Kraftstoffdruck hängt von der Lage des Kraftstoffspiegels im Tank zur Lage der Düse ab. Um diesen Einfluß zu mindern, wird dem Auspuffkanal Druck entnommen und damit der Tank beaufschlagt. Der Tank hat dann natürlich keine Entlüftungsöffnung oder eine offene Fülleitung. Dieses System ist von Zweitaktmodellmotoren bekannt und sollte bei Viertaktmodellmotoren ebenfalls angewendet werden.

WEBRA + HIRTHENBERGER + SUPER TIGER -Vergaser

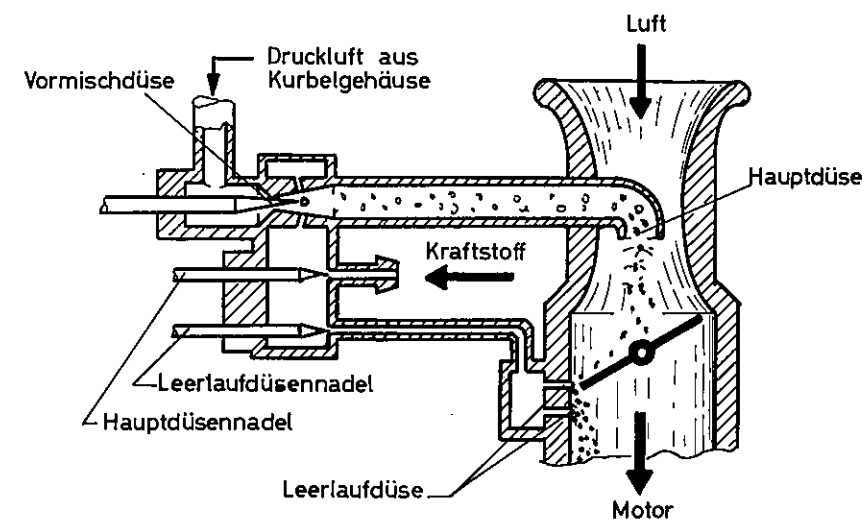


Regelbereich $1:8 \div 1:10$

Abb. 141

Bei Modellviertaktmotoren wird häufig ein Vergaser mit Drehkükens verwendet.

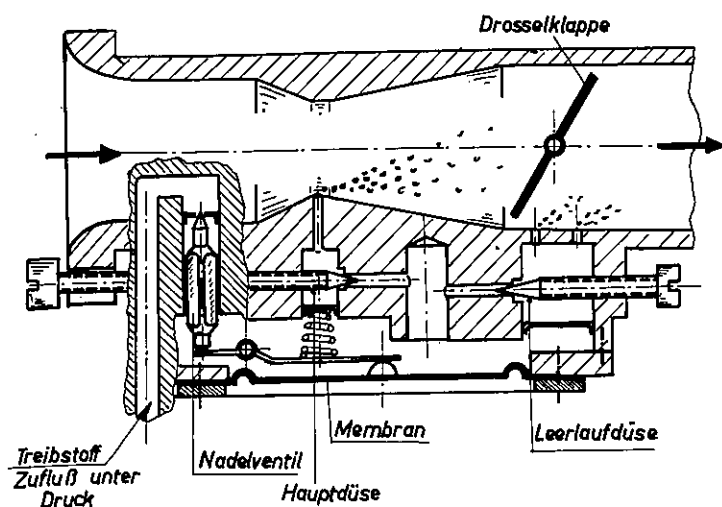
Das Kükens ist über eine schräge Kulisse axial verschiebbar. Eine Leerlaufdüsenadel taucht in den Hauptdüsenstock ein, und je nach Form der Leerlaufdüsenadel ergibt sich für jede Drosselstellung des Kükens eine optimale Zumischung von Kraftstoff. Für besonders zuverlässige Funktion dieses Vergasertyps sollte die Leerlaufdüsenadel durch eine Feder immer auf eine Seite des Hauptdüsenstockes gedrückt werden, so ergeben sich immer gleiche Spaltverhältnisse und gleiche Kapillarkräfte im Hauptdüsenpalt.



Regelbereich $1:10 - 1:12$

Abb. 142

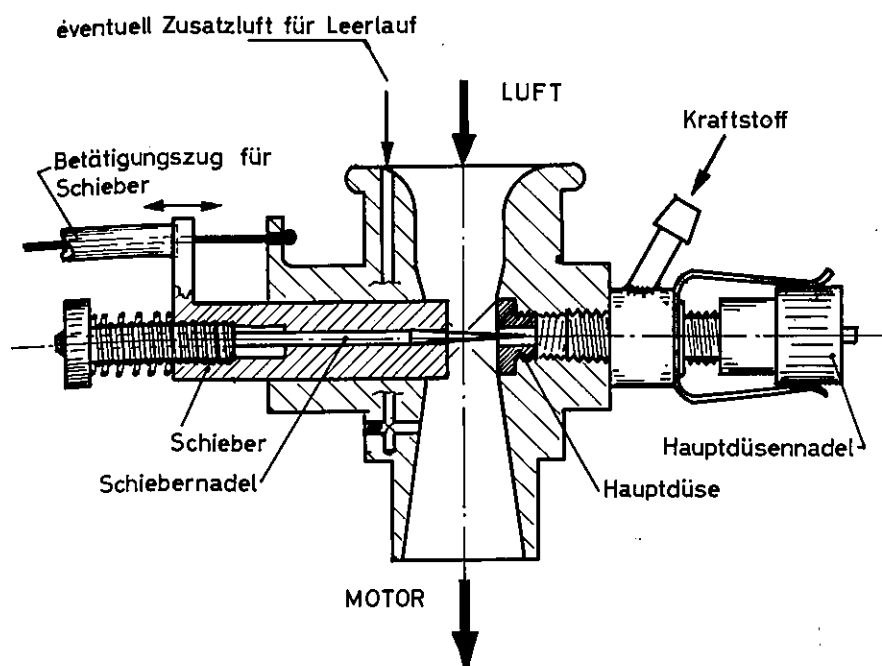
SCHWIMMERLOSER-VERGASER Bauart: TILLOTSON



Regelbereich 1:10 ÷ 1:12

Abb. 143

Schiebervergaser



Regelbereich besser als 1:12

Abb. 144

Aufwendiger ist ein Vergaser, wie er aus dem Automobilbau bekannt ist, mit Vormischdüse. In dieser Vormischdüse wird Druckluft und Kraftstoff vorgemischt und diese Emulsion dann aus der Hauptdüse ausgespritzt. Diese Vergaserbauart wird bei Modellmotoren nicht verwendet.

An einigen größeren Motoren wird ein schwimmerloser Vergaser der Bauart Tillotson verwendet. Wie die Abb. 143 zeigt, handelt es sich um einen Klappenvergaser, der über eine Membranpumpe Kraftstoff fördert und über ein Regelventil mit konstantem Druck an die Düse liefert. Das Kraftstoffluftgemisch kann für Vollgas und Leerlauf durch Nadelventile einjustiert werden, ebenso ist der Anschlag der Drosselklappe für die Leerlaufuftmenge einstellbar. Diese Vergaser sind primär für Zweitaktmotoren gedacht, da dabei der schwankende Druck im Kurbelkasten als Antriebsenergie für die Membranpumpe dient. Bei Einzylinderviertaktmotoren schwankt der Druck im Kurbelgehäuse auch. Es reicht die Druckschwankung aus, die Pumpe im Vergaser anzutreiben. Voraussetzung ist allerdings dabei, daß die Kurbelgehäuseentlüftung über eine kleine Drosselbohrung mit der Ansaugseite des Vergasers verbunden ist.

Am besten bewährt haben sich die Schiebervergaser an Viertaktmodellmotoren. Die Abb. 144 zeigt den prinzipiellen Aufbau. Über die Schiebernadel wird in allen Schieberstellungen das Gemisch optimal und korrekt zusammengemischt. Diese Nadel sollte zweckmäßigerweise über eine Feder immer definiert auf einer Seite in der Hauptdüse anliegen. Dadurch werden dann die Einflüsse unterschiedlicher Kraftstoffviskosität und Kapillarkräfte sowie Spiel in der Schieberführung eliminiert.

Als Ansaugquerschnitt wird nur 1/4 bis 1/3 der Fläche im engsten Vergaserquerschnitt benötigt, wie bei Zweitaktmodellmotoren gleicher Hubraumgröße. An einen 10-ccm-Viertaktmotor paßt ein Vergaser eines 3,5-ccm-Zweitaktmotors. Da der

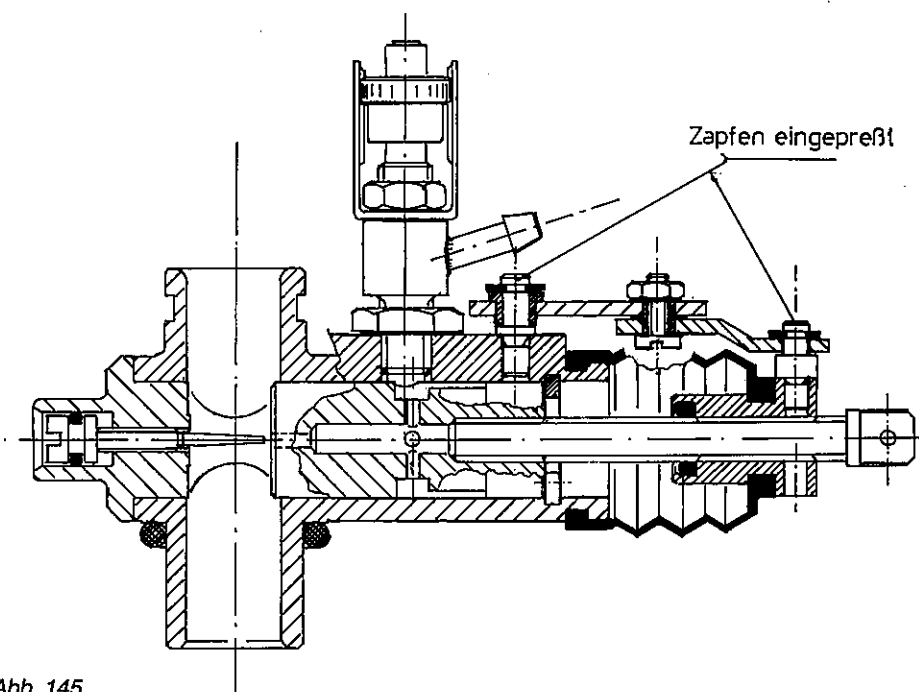


Abb. 145

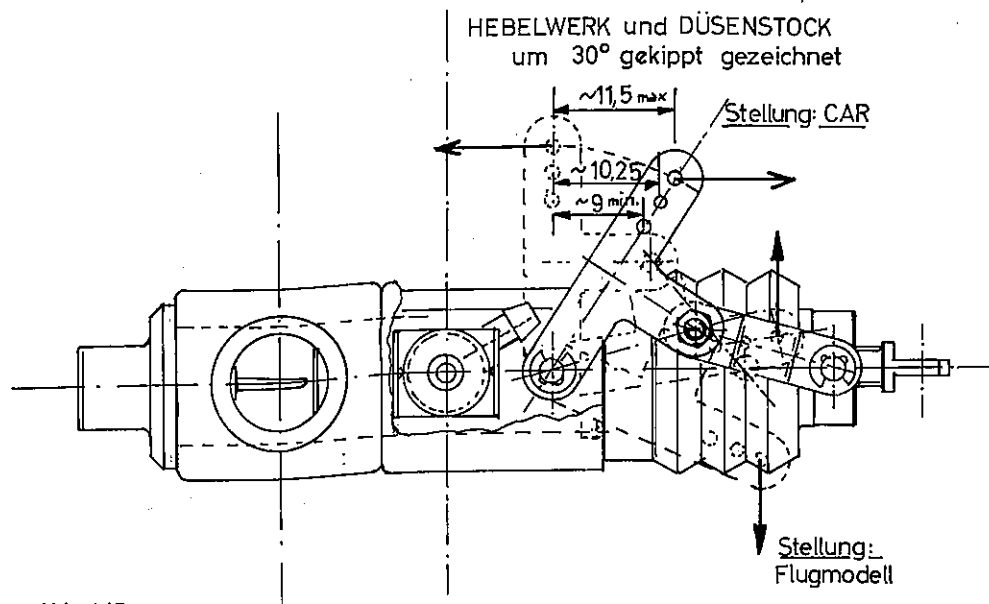


Abb. 145 a

Viertaktmotor eine viel längere Ansaugzeit hat und mehr Unterdruck aufbauen kann, sollten die Querschnitte im Düsenstockbereich kleiner sein als bei Zweitaktmotoren. Günstig sind Querschnittsflächen im Düsenstockbereich, die 70 ÷ 80 % der effektiven Ventilschaftfläche entsprechen.

Der Vergaser muß am offenen Ende des auf optimale Länge abgestimmten Ansaugrohres montiert sein, da sonst die im Ansaugrohr auftretenden Gassäulenschwingungen und Druckwellen den Kraftstoffaustritt an der Vergaserdüse behindern. Es ist auch darauf zu achten, daß ein breiter Ansaugtrichter sich auf der Saugseite des Vergasers befindet und daß Wände oder Flächen mindestens 5 mm Abstand von der Saugöffnung haben.

5.3. Zündungen

Bei Modellmotoren kann prinzipiell die Zündung auf mehrere Arten erfolgen. Es kann eine Selbstzündung wie im Dieselmotor durch hohe Verdichtung erfolgen, wobei diese Art der Zündung durch eine Variation des Verdichtungsverhältnisses an Viertaktmotoren schwer zu verwirklichen wäre. Es müßte die Kurbelwelle auf einer Exzenterbüchse anhebbar sein, so daß der Kolben eine höhere Stellung im OT bekommt. Als Zündbeschleuniger wäre einem Kraftstoff aus Petroleum und Öl, Äther und Kerobrisol (Zyklohexanolnitrat) zuzumischen. Ein Selbstzünderviertaktmotor in Modellmotorengröße wurde bisher nicht gebaut.

Üblich sind Fremdzündsysteme mit Zündkerze und Batteriezündanlagen oder Magnetzündanlagen. Diese Einrichtungen sind schwer und störanfällig, dazu kann durch den Zündfunken oder Funkenbildung an einem eventuell verwendeten Unterbrecher die Fernsteueranlage gestört werden und versagen. Problemloser sind Glühkerzen als Zündnest für eine ungesteuerte Fremdzündung. Diese Zündungsart wurde 1940 von Ray Arden in den USA für kleine Zweitaktmodellmotoren entwickelt und funktioniert auch bei Viertaktmotoren in Modellmotorengröße.

5.3.1. Die Glühkerze

Bei der Glühzündung wird das Gemisch aus Kraftstoff und Luft am Ende des Verdichtungstaktes an einer glühenden Platinspirale entzündet. Chemisch wirkt das Platinmetall dabei als ein sogenannter Katalysator, er tauscht also Sauerstoff reaktiv an den Kraftstoff aus. Durch die Verbrennungswärme wird die Platinspirale auf Glühtemperatur gehalten, so daß im nächsten Verdichtungstakt dann wieder eine Zündung erfolgen kann.

Bei Viertaktmodellmotoren können prinzipiell die gleichen Glühkerzen verwendet werden wie bei Zweitaktmodellmotoren. Den Aufbau einer solchen Kerze zeigt die Abb. 146.

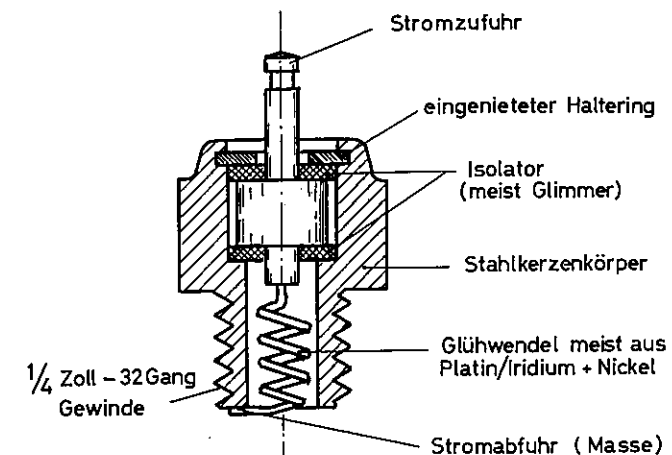


Abb. 146

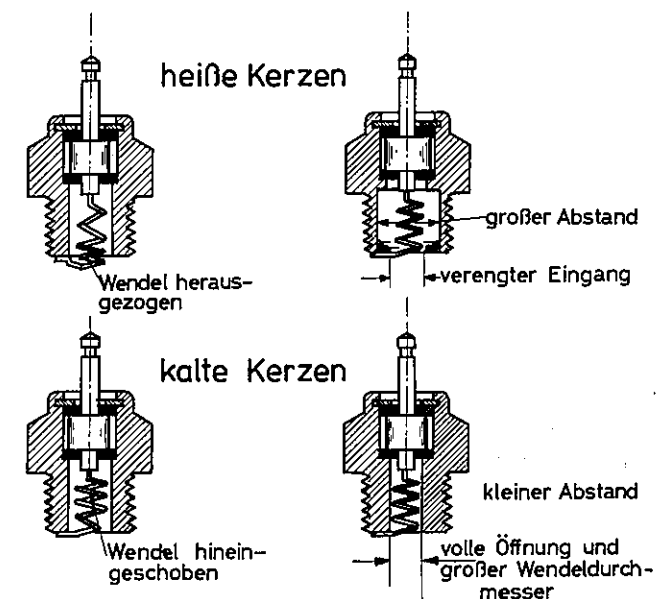


Abb. 147

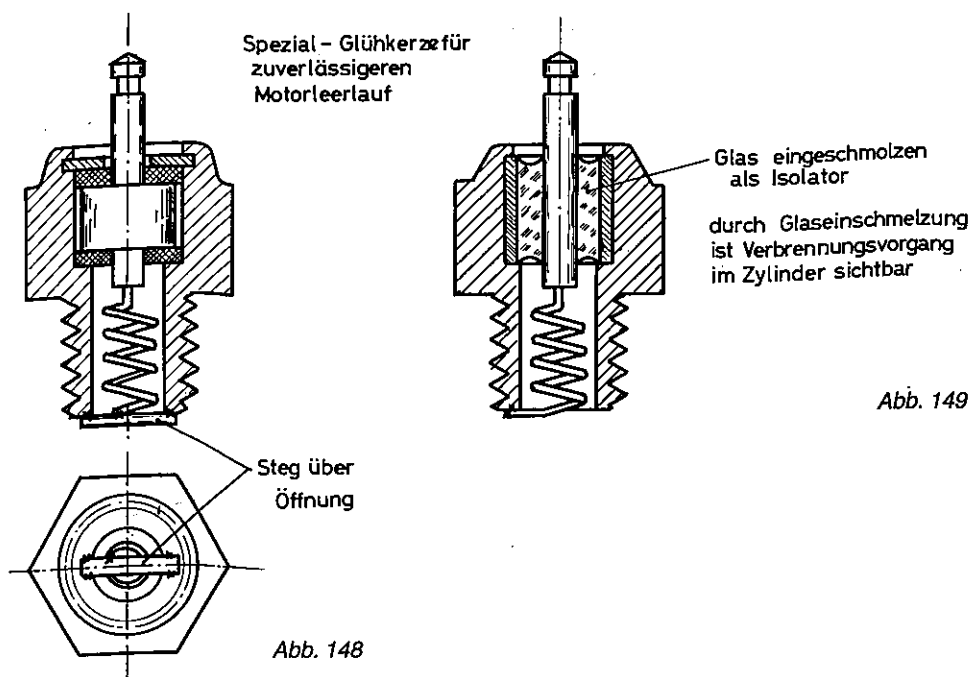


Abb. 149

Abb. 148

Als Gewinde für den Kerzenkörper wird ein amerikanisches Gewinde mit 1/4" Durchmesser und 32 Gängen je inch verwendet; es hat die Bezeichnung 1/4" - 32 G - UNEF - 2A für den Gewindebohrer und 1/4" - 32 G - UNEF - 2B für das Schneisen. Der Kerzenkörper ist meist aus Stahl, über eine Isolierung kann gasdicht an einer Mittelelektrode Strom zum Vorglühen der Platinspirale zugeführt werden. Die Isolierung besteht häufig aus Glimmerplättchen, die eingenietet werden. Diese Glimmerplättchen sind, auf Dauer gesehen, nicht gasdicht, es kann sich die Mittelelektrode lockern und bewegen. In der Folge bricht der Draht der Platinspirale. Besser sind Glühkerzen mit verschraubter Isolierung aus Glimmerplatten, falls regelmäßig die Verschraubung nachgezogen wird. Ideal wäre ein Isolator aus Glaseinschmelzung, wie es die Abb. 149 zeigt. Eine solche Kerze ist auf dem Markt, die einen optisch durchlässigen Glasisolator hat, durch den als gelb leuchtende Flamme die Verbrennung beobachtet werden kann. An der Farbe der Flamme und der Intensität des Leuchtens kann man die Zusammensetzung des Gemisches beurteilen. Blaues, flackerndes Flammenleuchten deutet auf zu mageres Gemisch hin, tief rotes Flammenleuchten mit gelegentlichem hellem Aufleuchten zeigt zu fettes Gemisch an. Diese Kerze ist für Viertaktmotoren sehr zu empfehlen und liefert auch gute Leistungswerte.

Der Zündzeitpunkt entscheidet über die Leistung des Motors. Zu frühes Zünden bremst den Kolben zu sehr vor OT ab und ergibt überlastete Lager und thermische Probleme am Motor mit erheblichem Leistungsverlust. Ein zu spätes Zünden nützt die Wärmeenergie im Kraftstoff erst im Auspuff voll aus. Der Zündzeitpunkt kann bei Glühzündung beeinflusst werden von der Verdichtung des Motors, von dem Gemisch und von der Glühkerze.

Hohe Verdichtung bringt zwar mehr Leistung und einen besseren Wirkungsgrad, aber über $\epsilon = 10$ ist bei Glühzündung mit Frühzündung zu rechnen. Eine weitere

Steigerung der Verdichtung bringt keinen Leistungsgewinn mehr, sondern überlastet die Mechanik des Motors. Die Verdichtung des Motors könnte durch eine dickere oder dünnere Dichtung unter dem Zylinderkopf eingestellt werden. Bei handelsüblichen Modellmotoren ist werkseitig die Verdichtung schon optimal eingestellt und sollte nicht verändert werden.

Ein mageres Gemisch ergibt frühere und raschere Zündung. Das schnellste Durchzünden des Gemisches erfolgt bei einem Luftverhältnis $\lambda = 0,9 \div 0,96$ (siehe Kapitel 2.2.). Über $\lambda = 1,05$ erfolgt eine Verbrennung mit Zündaussetzer. Langsamer wird ein fettes Gemisch gezündet und verbrennt auch langsamer, also bei einem Luftverhältnis λ unter 0,9. Bei λ unter 0,6 kühlt die Glühkerze durch Kraftstofftröpfchen zu sehr ab, und der Motor wird nicht mehr gezündet.

Der Einfluß der Glühkerze auf den Zündzeitpunkt ist gering. Es gibt sogenannte heiße Kerzen, das sind Kerzen, die eine hohe Temperatur (bis 1600°C!) an der Platinspirale aufweisen. Dies wird erreicht durch Herausziehen der Platinwendel aus der Kerze oder durch einen großen Abstand der Kerzenwendel zum Kerzenkörper, Abb. 147.

Diese heißen Kerzen zünden das Gemisch etwas früher als die kalten Kerzen. Bei kalten Kerzen ist der Abstand der Wendel zum Kerzenkörper klein, oder die Kerzenwendel liegt sehr tief in der Glühkerze. Bei Zweitaktmotoren wurde vor der Kerzenöffnung für eine bessere Gemischauflbereitung und Abschirmung der Glühwendel vor Kraftstofftröpfchen ein Steg angeschweißt. Diese Stegglühkerzen sind bei Viertaktmotoren meist unwirksam, da durch das Einströmen des Gemisches durch den Ventilsplatt schon ein vollständig verdampftes Gemisch vorliegt.

Für die Viertaktmotoren werden spezielle Glühkerzen angeboten. Diese Glühkerzen haben eine dickere Wendel aus Platindraht oder eine Platinlegierung mit Iridium, Rhutenium oder Wolfram. Sie sind meist nur an Viertaktmotoren notwendig, die eine ungünstige Brennraumform haben oder für die Drehzahl ungeeignete Ventilsteuerezeiten. Die Betriebsanleitung zu den Motoren gibt meist Auskunft, ob eine solche Kerze unbedingt notwendig ist. Sollte nach Abklemmen der Glühkerze vom Vorheizstrom der Motor deutlich in der Drehzahl und Leistung abfallen, so ist dies meist ein Hinweis auf die Notwendigkeit solcher Spezialkerzen oder auf einen ungeeigneten Kraftstoff.

5.3.2. Zündkerzen

Eine Zündkerze für Modellmotoren mit 1/4" - 32 G-Kerzengewinde wird derzeit nur von einem japanischen Hersteller erzeugt (NGK-8) und ist auf Grund der kleinen Stückzahlen sehr teuer. Billiger sind Zündkerzen mit M 10 x 1-Gewinde, doch reichen die Platzverhältnisse zwischen den Ventilen meist nicht aus, diese Kerzen einzubauen. Den Aufbau einer Zündkerze zeigt die Abb. 150.

Als Isolator wird ein Speckstein oder ein Porzellanisolator verwendet, der durch eine Dichtung gasdicht im Kerzenkörper aus Stahl steckt. Der Abstand zwischen Massebügel und Mittelelektrode liegt bei 0,4-0,6 mm und kann durch Nachbiegen der Massenelektrode justiert werden. Bei Modellmotoren gibt es bisher noch keine Zündkerzen mit länger freistehender Mittelelektrode oder seitlichen Massebügeln oder Ringseitenelektroden. Es scheint bei der Verwendung von Methanol als Kraftstoff auch nicht notwendig zu sein, da sich kaum Ablagerungen an dem Isolator der Kerze oder an den Elektroden bilden. Anders sieht die Sache aus, wenn als Kraftstoff Tankstellenbenzin verwendet wird, da sich daraus Ablagerungen bilden können. Diese Ablagerungen sind elektrisch leitend und schließen die Funkenstrecke kurz.

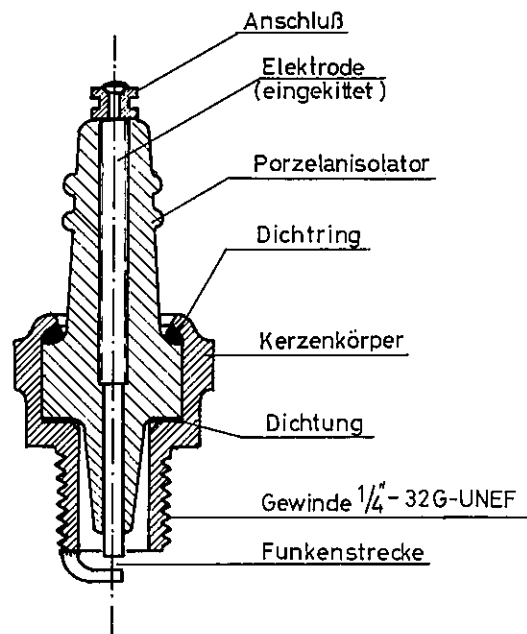


Abb. 150 Zündkerze für Modellmotoren zB. CHAMPION - VG 2-3

5.3.3. Zündung durch Funken

Für die Einleitung der Verbrennung reicht bei stöchiometrischem Gemisch des Kraftstoffes mit dem Luftsauerstoff eine Zündenergie unter 1 mWs, magere und fettere Gemische brauchen etwas mehr Energie. Damit das bewegte und meist inhomogene Gemisch im Brennraum durch einen Zündfunken an einer zündfähigen Gemischwolke erreicht wird, sollte der Funke an der Zündkerze ausreichende Brenndauer haben.

Als Zündspannung werden um 10000 Volt benötigt. Die meisten Zündanlagen für Modellmotoren liefern über 15000 Volt und haben eine Zündenergie je Funken um 10 mWs. Die Zündspannung, die nötig ist zum Überschlag eines Funkens an den Kerzenelektroden, sinkt mit steigender Temperatur des Gemisches und nimmt zu mit steigendem Verdichtungsdruck. Der Zündzeitpunkt muß der Motordrehzahl angepaßt werden. Im Leerlauf sollte die Zündung des Gemisches wenige Grad Kurbelwinkel vor dem Kolben OT erfolgen, dagegen kann bei 10000 U/min die Zündung bis 40° vor Kolben OT erfolgen. Das Luft-Kraftstoff-Gemisch braucht einige Zeit, bis es ganz entflammt ist und brennt. Diese Zeit entspricht etwa der Zeit, in der sich die Kurbelwelle um 40° $\nwarrow$ dreht bei 10000 U/min. Verstellkurven der Zündzeitpunkte für optimale Motorleistung zeigt Abb. 151.

Wird der Zündzeitpunkt zu früh gelegt, so tritt an Modellmotoren ein deutliches Klopfen und Klingeln auf. Das Gemisch verbrennt mit steilem Druckanstieg und starker Aufheizung von Kolben und Zylinderkopf. Eine klopfende Verbrennung führt zur Zerstörung am Kolben, Einschmelzen von Löchern im Kolbenboden, Kolben-

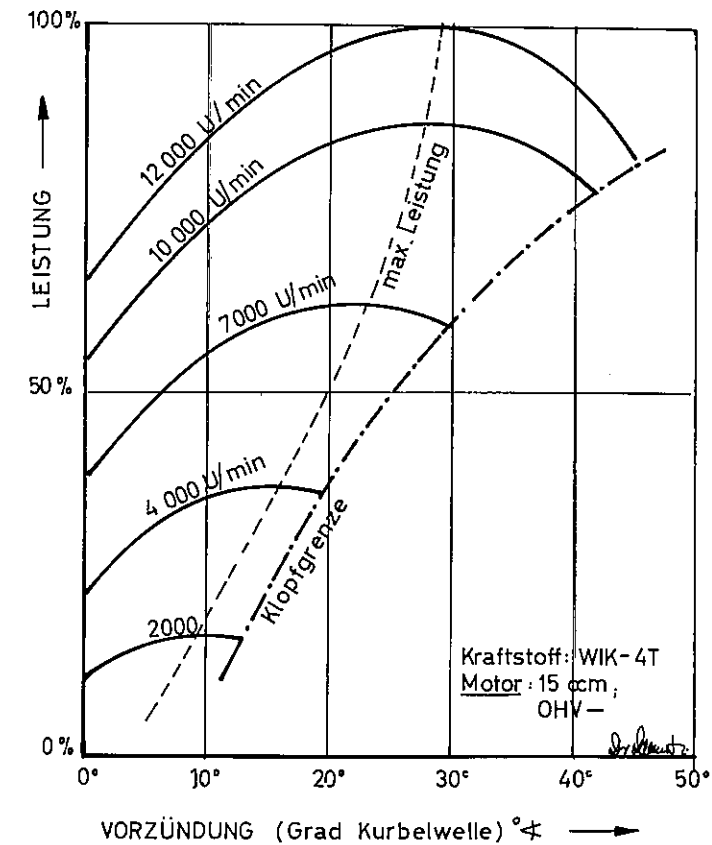


Abb. 151

ringbrüchen und Ventilschäden. Es muß unbedingt vermieden werden. An vielen Modellmotoren wird der Zündzeitpunkt nicht verstellt, und es wird, wie die Kurve zeigt, bis zu 35 % an Leistung verschenkt. Ebenso wird bei zu viel Frühzündung bis zu 15 % an Leistung vernichtet. Es sei darauf hingewiesen, daß man aus dem Diagramm der Abb. 151 nur für den genannten Kraftstoff (WiK-T4 ist eine Mischung aus 80 % (vol) Methanol, 5 % (vol) Nitromethan und 15 % (vol) Rizinusöl) und dem speziellen 15-ccm-Modellverbrennungsmotor (MAGNUM 91) die erforderliche Zündzeitpunktverstellung für optimale Leistung oder die Klopfgrenze entnehmen kann. Für jeden Motortyp und für jeden Kraftstoff, ja sogar für jede Vergasereinstellung und Luftdruck/Luftfeuchtigkeit, müßte so ein Zündkennfeld erstellt werden.

Der Modellbauer, der seinen Viertaktmotor mit Funkenzündung betreiben will und die beste Motorleistung anstrebt, muß dieses Kennfeld ausmessen. Tendenzmäßig ist zu sagen, daß Kraftstoffe mit über 12 % (vol) Nitromethan mehr Vorzündung benötigen, etwa bis zu 38° vor OT für 10000 U/min und beste Leistungsausbeute. Magerere Kraftstoff-Luftgemische brauchen weniger Vorzündung, die Klopfgrenze schiebt sich an die Punkte für die optimale Leistung heran oder sogar darüber hinaus. Es kann also sein, daß ein Motor am Boden im Modell einwandfrei läuft, das

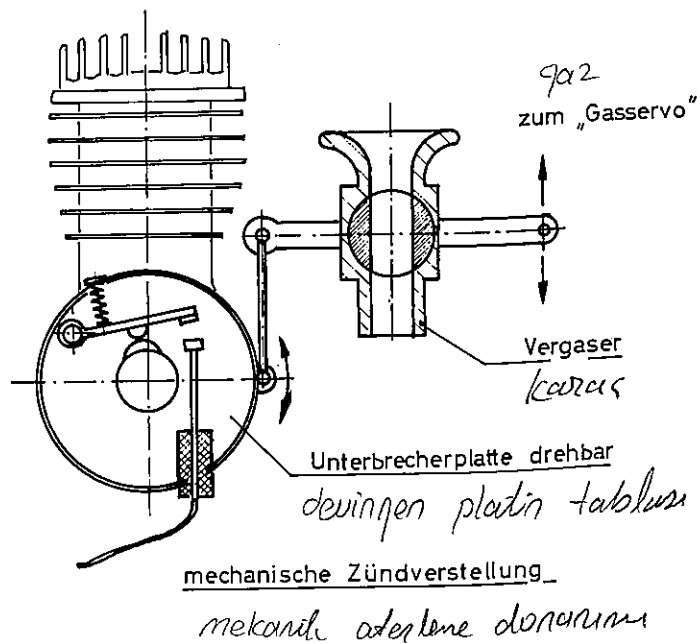


Abb. 152

Gemisch aber im Flug des Modelles oder in einzelnen Fluglagen (z.B. Steigflug) abmagert und der Motor klopft.

Klopfzerstörungen an einem Modellverbrennungsmotor sind Pleuellagerschäden, ausgeknickte Pleuelstange, gebrochene Kolbenringe, verschmorte Kolbenböden sowie daraus resultierende Kolbenfresser. Klopfen muß unter allen Umständen in allen Betriebssituationen des Motors vermieden werden. Der Zündzeitpunkt wird am einfachsten mechanisch verstellt. Die Abb. 152 zeigt einen Lösungsvorschlag dafür. Der Unterbrecher oder Zündzeitpunktgeber wird drehbar gelagert und mit der Drehbewegung des Drosselklappens mechanisch gekoppelt.

Eine elektronische Zündzeitpunktverstellung, abhängig von der Motordrehzahl, eventuell auch von der Drosselklappenstellung und der Abgastemperatur, wird durch die Verwendung von elektronischen Bauteilen (Zündzeitpunktrechner) aus der Automobilindustrie möglich. Die Notwendigkeit solcher komplexer Rechner wurde von einigen Herstellern von Zündanlagen für Modellmotoren erkannt, da es beim Anlassen der Motoren, vor allem bei den OS-Boxermotoren, immer wieder zu Pleuelschäden durch ein zu frühes Zünden, ein „Zurückschlagen“ des Motors mit gefährlichem Lösen des Propellers von der Abtriebsnabe des Motors, kam.

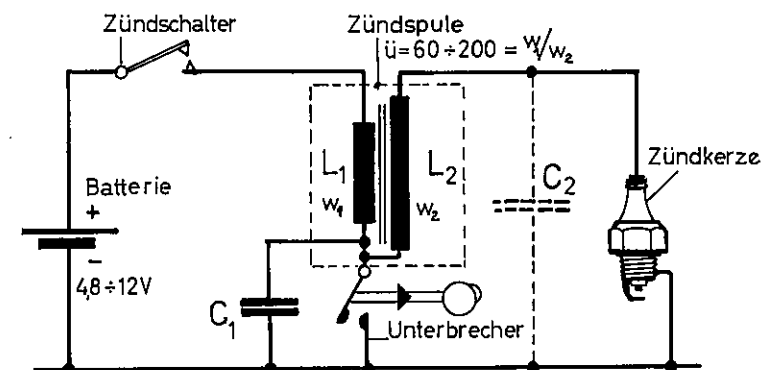
In der Praxis stellte sich bei den Viertakt-Modellmotoren mit Funkenzündung heraus, daß der Kraftstoff und das Schmieröl wichtige Kriterien für ein zuverlässiges Laufen der Motoren sind. Der Ölanteil im Kraftstoff sollte so gering wie möglich sein, keinesfalls über 15 % (vol). Das Zuviel an Öl führt zu Zündstörungen, zu einem Überbrücken der Specksteinisolatoren an den kleinen 1/4"-Zündkerzen. Rizinusöl leitet weniger gut als additivierte Öle auf Polyglykolbasis. Dafür bildet Rizinusöl Ölkohle, die wiederum Zündströme unzulässig stark ableitet; die Zündkerzen werden nach 5 bis 10 Betriebsstunden unzuverlässig und müssen ausgetauscht werden, nicht so bei den additivierten Polyglykölölen. Reines Methanol bildet bei

Betriebstemperaturen unter 10°C kein zündfähiges Gemisch mehr und es kann bei feuchter Ansaugluft leicht zu Vergaservereisung kommen. Das speziell für Automotoren entwickelte Methanol M 100 ist für den Betrieb solcher Motoren geeigneter. Die Zumischung von mindestens 5 % Nitromethan zu reinem Methanol ist notwendig, auch ist ein Zusatz von 5 % bleifreiem Benzin zu reinem Methanol empfehlenswert. Bei Methanol M 100 ist dies alles nicht notwendig.

5.3.4. Batteriezündanlagen

Bei den batteriezündanlagen unterscheidet man solche, bei denen die Energie für den Zündvorgang induktiv, also in einer Zündspule, gespeichert wird, und solche, bei denen ein Kondensator als Energiespeicher dient.

SCHEMA SPULENZÜNDUNG



$$W_1 = \frac{1}{2} L_1 i_1^2 = \frac{1}{2} (C_1 + \dot{u}^2 C_2) u_1^2$$

Spitzenwert der Zündspannung:

$$\hat{u}_2 = i_1 \dot{u} \sqrt{L_2/C}$$

Abb. 153

Die Abb. 153 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer Spulenzündanlage. In der Zündspule wird für den Zündvorgang die Energie gespeichert. Wenn der Unterbrecherkontakt geschlossen ist, fließt Strom aus der Batterie durch die Primärwicklung der Zündspule und baut ein starkes Magnetfeld auf. Im Zündzeitpunkt unterbricht der Unterbrecher den Strom, das Magnetfeld bricht zusammen und induziert dabei in der Sekundärwicklung der Zündspule eine Hochspannung, die zur Zündkerze gelangt. Problematisch ist bei dieser Zündungsanlage die Zündspule. Das Übersetzungsverhältnis, die Windungszahlen der Primärspule zu denen der Sekundärspule liegen zwischen 1:60 und 1:200, wobei die Primärspule so bemessen ist, daß auch bei hohen Motordrehzahlen und damit kurzen Schließzeiten am Unterbrecher sich ein ausreichend starkes Magnetfeld aufbaut. Die Zündspannung auf der Sekundärseite der Zündspule sinkt mit zunehmender Motordrehzahl ab. Ebenso sinkt die Zündspannung, wenn die sekundär wirksame Kapazität, zum Beispiel durch Abschirmen des Zuleitungskabels zur Zündkerze, vergrößert wird. Allgemein ergibt sich der Scheitelwert der Zündspannung aus der Gleichung:

$$U_2 = i_1 \cdot \ddot{u} \sqrt{\frac{L_1}{C}}$$

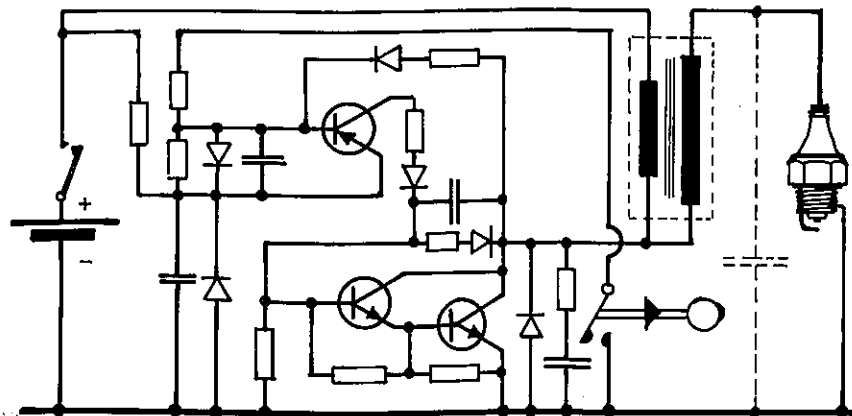
$$C = C_{\text{primär}} + \ddot{u}_2 \cdot C_{\text{sekundär}}$$

$\ddot{u}$ = Übersetzungsverhältnis der Zündspule

i_1 = Stromstärke in Primärspule.

Der Zündfunke an der Zündkerze setzt sich aus dem sogenannten Funkenkopf mit hoher und einer nachfolgenden Entladung geringer Stromstärke zusammen. Eine starke Gemischströmung um die Funkenstrecke der Zündkerze kann die Entladung über die Funkenstrecke der Kerze aufspalten in mehrere Folgefunken.

Eine modernere Form der Spulenzündung ist die transistorisierte Spulenzündung. Der Unterbrecher ist hier durch einen Schalttransistor ersetzt, der entweder mechanisch über einen Schalter oder kontaktlos über induktive oder optische Geber angesteuert wird. Diese Zündanlage arbeitet sehr zuverlässig, da kein Verzundern der Kontakte am Leistungsschalter des Unterbrechers auftreten kann. Bei optischen Gebern kann allerdings durch Öl und Staub die Signalabgabe unsicher sein. Die Abb. 154 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer solchen transistorisierten Spulenzündanlage mit induktivem Geber oder Kontaktsteuerung.



TRANSISTOR SPULENZÜNDUNG (mechanischer Unterbrecher)
(nach BOSCH)

Abb. 154

Bei der Kondensatorzündanlage wird ein Speicherkondensator mittels einer Ladevorrichtung auf einige 100 Volt aufgeladen und im Zündzeitpunkt durch einen Schalter an den Zündtransformator entladen. Als Schalter eignen sich besonders Thyristoren, die ebenso wie bei der transistorisierten Spulenzündanlage über mechanische Kontakte oder kontaktlose Geber angesteuert werden.

Abb. 156 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer solchen Zündanlage. Die Kondensatorzündanlage hat keinen so starken Zündspannungsabfall mit zunehmender Motordrehzahl wie die Spulenzündanlagen.

Abb. 157 zeigt den Zündspannungsverlauf über der Motordrehzahl aufgetragen.

Die besten Zündanlagen sind bis zu 40000 Funken pro Minute erzeugbar.

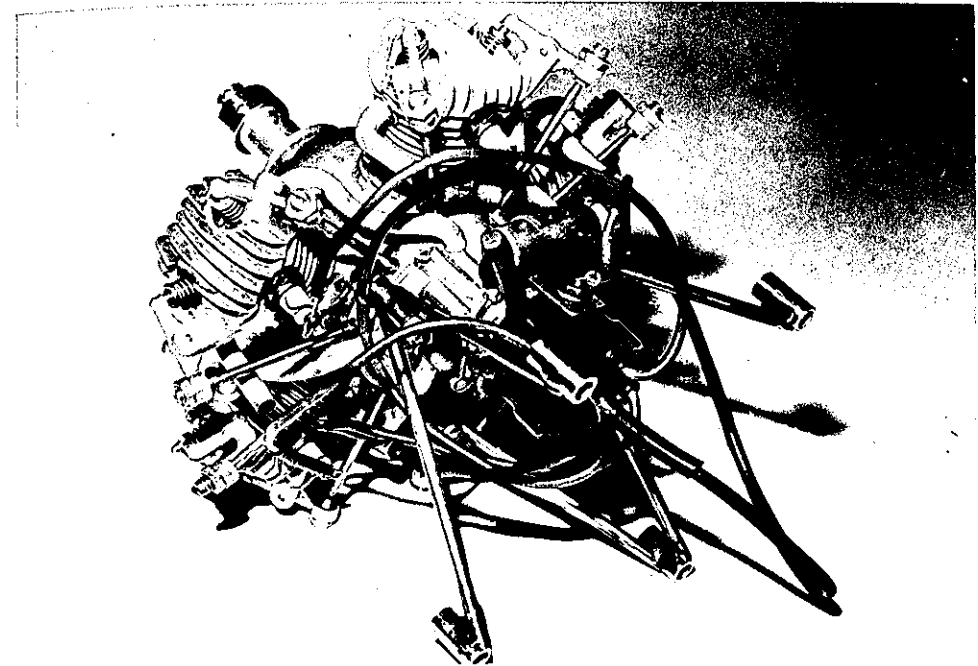


Abb. 155: Zündgeschirr an einem 5-Zylinder-Sternmotor MORTON M5 aus dem Jahr 1946/47. Der Motor hatte einen Zündverteiler, von dem aus die fünf Zündkerzen mit Zündspannung versorgt wurden. Über dem Zündverteiler ist der Primärkondensator zu erkennen, daneben kann der Zündzeitpunkt durch einen Hebel mechanisch verstellt werden. Foto: Dr. Sturm

5.3.5. Magnetzündanlage

Bei Modellmotoren immer noch beliebt ist die Magnetzündanlage. Die Zündanlage besteht aus einem fast ganz magnetisch geschlossenen Kreis, bestehend aus einem Permanentmagneten, einem Zündanker mit Primär- und Sekundärwicklung. Ferner ist ein Unterbrecher vorhanden, entweder mechanisch mit Kontakten oder kontaktlos. Den prinzipiellen Aufbau zeigt die Abb. 157.

Beim Umlauf des Magneten wird durch die Änderung des magnetischen Kraftflusses in der Primärwicklung des Zündankers ein Strom erzeugt und in dem daraus entstehenden elektromagnetischen Feld Energie gespeichert. Möglichst im Höchstwert wird der Strom in der Primärspule durch den Unterbrecher unterbrochen. Die Zündanlage arbeitet dann wie eine normale Spulenzündanlage weiter. Interessant ist, daß bei der Magnetzündung mit steigender Motordrehzahl eine höhere Zündenergie vorhanden ist. Diese Zündungen geben bei einem nur langsam angeworfenen Motor keinen Zündfunken. Zum Starten eines Motors mit Magnetzündanlage ist daher ein Starter mit hoher Anwerfdrehzahl notwendig. Empfindlich ist diese Zündanlage auf Nebenschlüsse an Zündkabeln, Zündkerzenisolatoren und Kerzensteckern. Zu einer ausreichenden Störfreiheit für eine Funkfernsteuerung muß der Zündanker mit der Spule magnetisch abgeschirmt werden, zum Beispiel durch einen Weicheisenmantel.

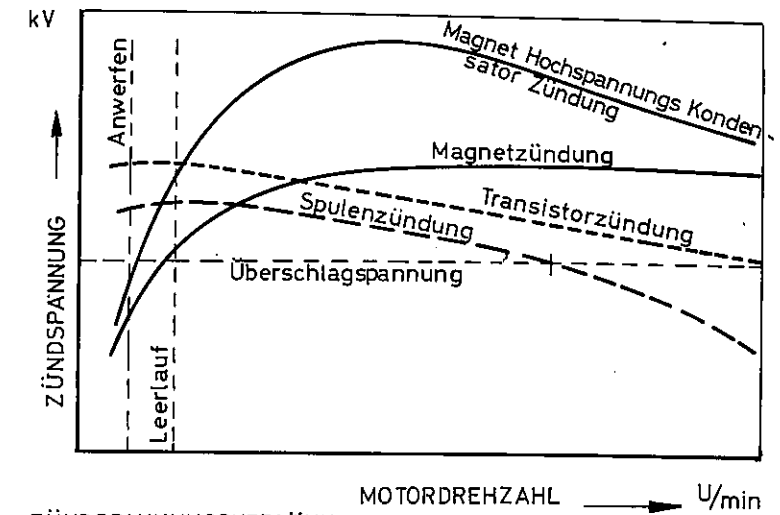
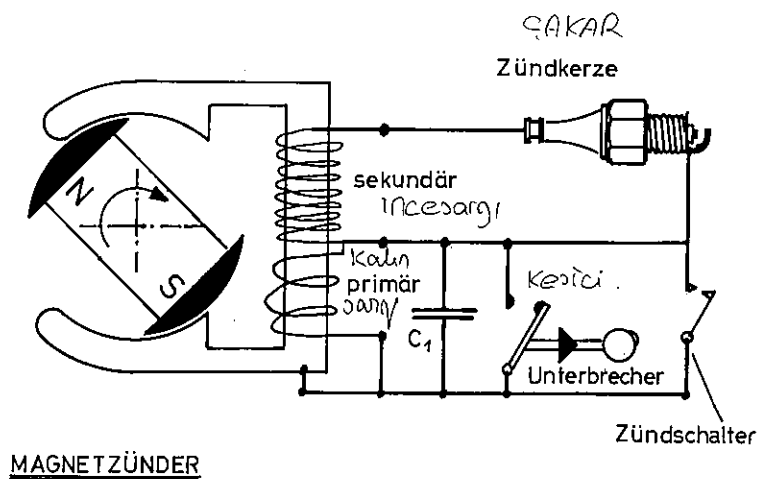
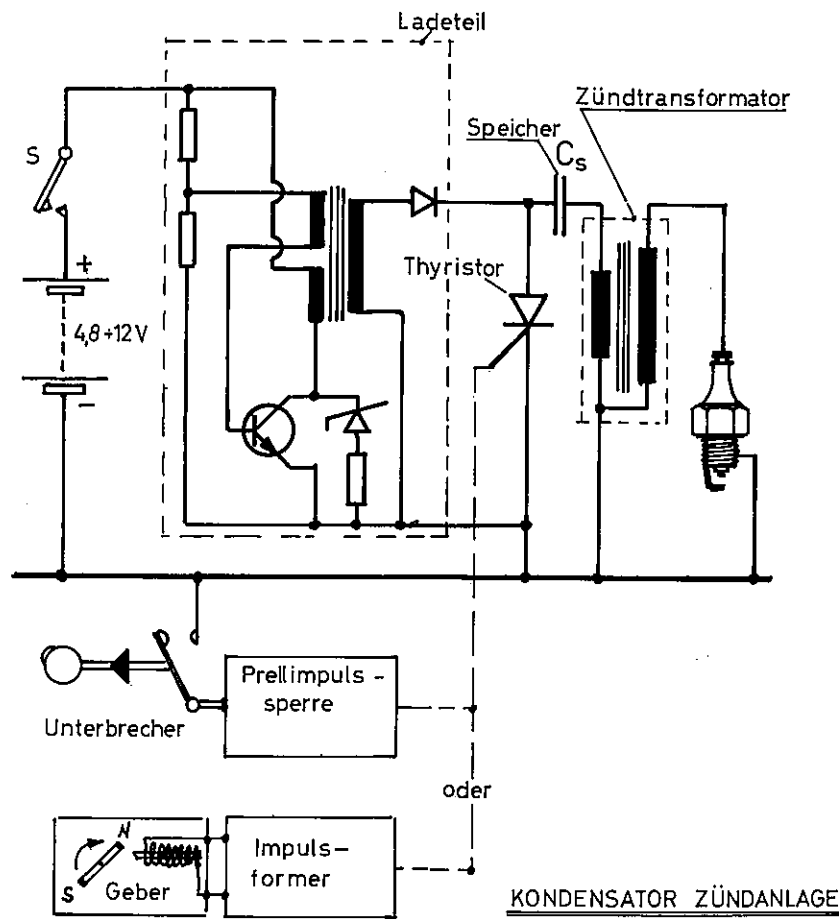


Abb. 158 ZÜNDSPANNUNGSVERLÄUFE

Für Modellmotoren eignen sich alle drei beschriebenen Zündanlagen. Es werden aber hauptsächlich Magnetzünder verwendet, wobei auf Teile aus Industriemotoren zurückgegriffen wird.

Leider sind die Magnete mindestens 70 mm im Durchmesser groß, so daß die Magnetzündanlage groß und schwer wird. Kleiner und leichter baut eine Spulen-

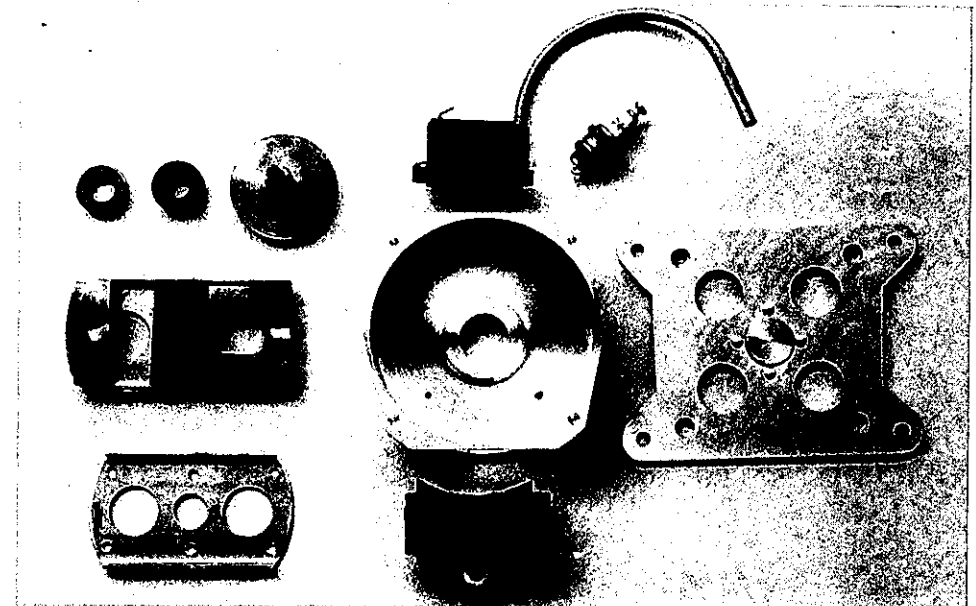


Abb. 159: Einzelteile einer Magnetzündanlage eines Modellmotors. Als Zündspule und elektronischer Unterbrecher wird ein Gerät der Firma Prüfrex verwendet. Zündfunkenfolge bis 12 000/Minute. Foto: E. Handt

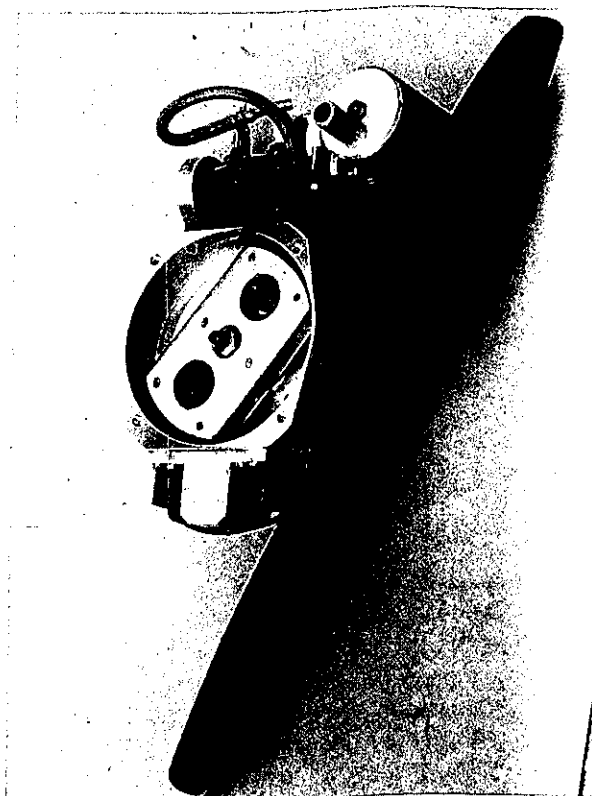


Abb. 160: Der Zündmagnet ist hinten an einen Motor angebaut. Die Zündspule ist unten angeflanscht. Als Magnet wird ein Hochleistungs-Permanentmagnet verwendet. Foto: E. Handt

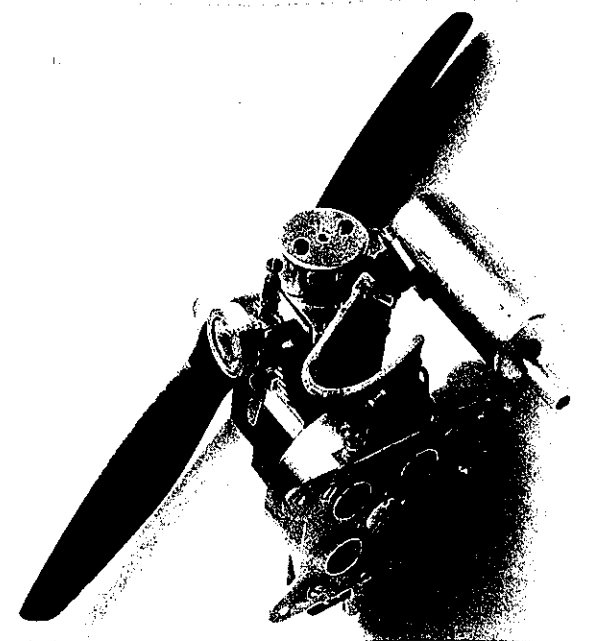


Abb. 161: Anbau eines Zündmagneten an einen EHMO-13-Modellmotor durch Herrn Ing. E. Handt. Foto: E. Handt

zündanlage. Die Kondensatorzündanlage wird als problemlose Zündung von einem Hersteller für Modellmotoren angeboten, doch ist die Baugröße für den Spannungswandler und den Zündtransformator noch recht groß und schwer. Der Energiespeicher Batterie, in der Form moderner Sinterzellen mit 1,2 Ah, reicht für einen Betrieb des Motors bis zu einer Stunde aus.

Die Fotos der Abb. 159 und Abb. 160 zeigen eine Entwicklung eines Magnetzünders speziell für Modellmotoren. Durch die Verwendung von Magnetwerkstoffen höchster Feldstärke ist die Anlage noch zu verkleinern und dürfte im Gewicht unter 300 g liegen. Damit würde der Magnetzünder konkurrenzfähig zu der Kondensatorzündanlage oder der transistorisierten Spulenzündanlage sein.

5.4. Tank

Als Tank wird bei Modellmotoren ein Behälter aus transparentem Kunststoff verwendet. Meist werden hierzu Flaschen aus Kunststoff umgebaut. Ein Tank aus dünnem Messingblech zusammengelötet oder aus einer Kondensmilchdose wird nicht mehr verwendet und eignet sich höchstes noch als Kraftstoffbehälter auf Prüfständen.

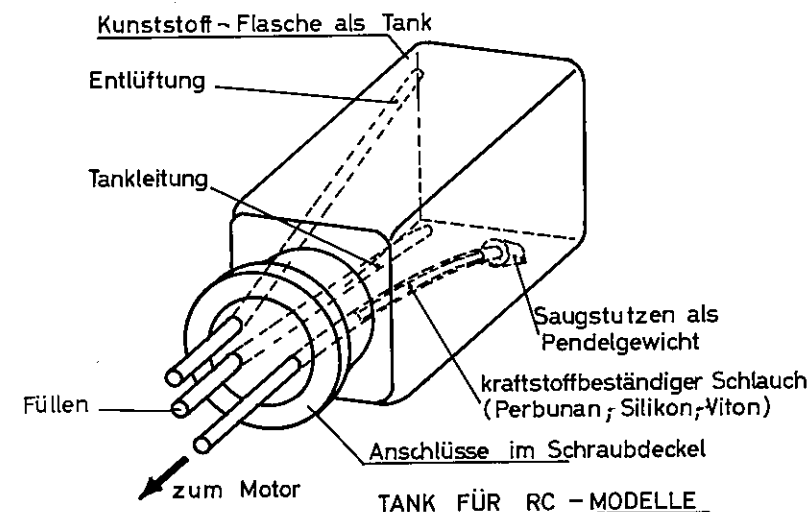


Abb. 162

Die Abb. 162 zeigt einen Tank aus einer Kunststoffflasche aufgebaut, wie er im Handel zu kaufen ist. Der Füllanschluß kann weggelassen werden, wenn man zum Betanken den Schlauch am Vergaser abziehen kann und über diesen den Tank füllt. Die Tankgröße bestimme man aus dem stündlichen Verbrauch des Motors, wie er in den Leistungsdiagrammen am Ende des Buches für den vorgesehenen Motor angegeben ist, und der gewünschten Laufdauer. In der Regel reicht ein 200-ml-Tank für einen 6,5-ccm-Motor und 300 ml bei einem 10-ccm-Motor.

Die Viertaktmotoren reagieren empfindlich auf eine Änderung des Gemisches aus Luft und Kraftstoff. Eine Änderung der Gemischzusammensetzung entsteht allein dadurch, daß der Kraftstoffzufluß zum Vergaser bei absinkendem Kraftstoffspiegel

relativ zur Lage der Düsennadel erschwert wird, der Vergaser muß Kraftstoff ansaugen. Eine Lösung für die Konstanzhaltung des Kraftstoffspiegels in einem Tankbehälter unmittelbar vor der Düse des Vergasers zeigt die Abb. 163.

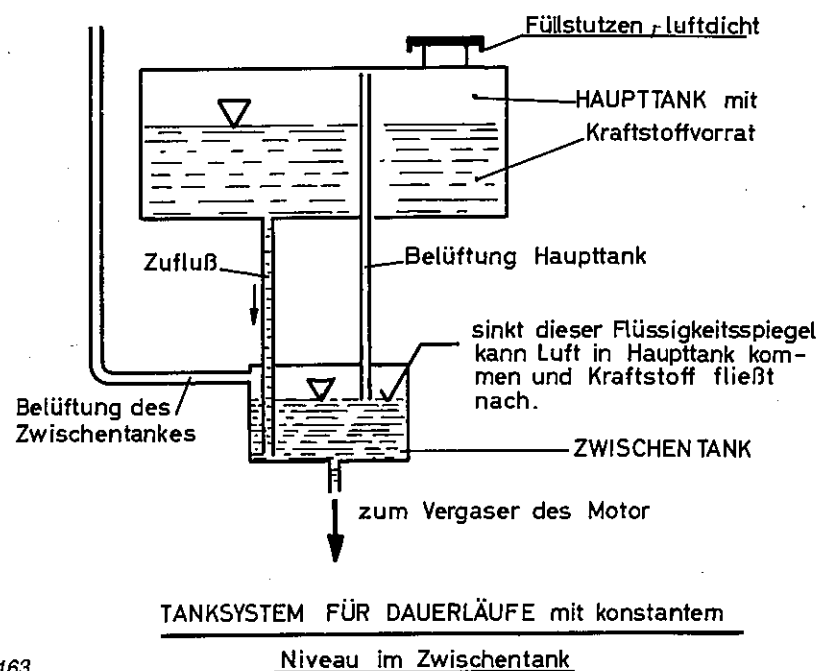


Abb. 163

Diese Anordnung, die nach dem Prinzip des „Vogel-Trink-Apparates“ aufgebaut ist, eignet sich für Schiffsmotoren und eventuell für Motoren in Hubschraubermodellen, sofern damit nicht Rückenflug geflogen werden soll.

Die üblichere Methode ist, aus dem Auspuffsystem des Motors Abgas unter Druck über die Entlüftungsleitung in den Tank zu leiten. Die meisten Motorenhersteller liefern Abgasrohre oder Adapterstücke für den Auspuff mit solchen Druckabnahmestutzen. Als Zuleitung zum Tank für die heißen Abgase eignet sich nur wärmebeständiger Gummi oder Silikonkautschukschlauch.

Als Zuleitung zum Vergaser ist ebenfalls ein wärmebeständiger und auch kraftstoffbeständiger Schlauch zu empfehlen. Plastikschläuche werden meist hart und sitzen nicht dicht auf den Anschlußnippeln von Tank und Vergaser. Die Verwendung von Kraftstoffpumpen, angetrieben vom schwankenden Druck im Schalldämpfer, ist möglich. Allerdings sind diese Pumpen selten wärmebeständig genug, um unmittelbar am Schalldämpfer montiert zu werden. Die Zuleitung des pulsierenden Abgasdruckes zur Steuermembran solcher Pumpen, wie sie die Firma Robart in den USA fertigt, sollte zweckmäßigerweise über ein gut gekühltes Aluminiumrohr erfolgen. Die Perry-Pumpe, die an Zweitaktmotoren durch den schwankenden Kurbelgehäusedruck angetrieben wird, eignet sich als Kraftstoffpumpe an Viertaktmotoren nicht, auch nicht bei Beaufschlagung mit pulsierendem Abgasdruck aus dem Schalldämpfer.

5.5. Kraftstoff

Bei den Viertaktmodellmotoren muß für die Motoren mit Glühzündung ein anderer Kraftstoff verwendet werden, als er bei Motoren mit Funkenzündung verwendet wird. Der Kraftstoff soll bei beiden Zündungsarten zündträge sein und ausreichend klopfest, ferner ist der Preis wichtig und die Toxizität zu beachten.

Die Klopfestigkeit einer Kraftstoffmischung wird ausgedrückt durch die Oktanzahl. Die Oktanzahl gibt das Mischungsverhältnis zwischen sehr klopfestem Isooktan und dem klopfreudigeren N-Heptan eines Vergleichskraftstoffes an, der im Motor die gleiche Klopfstärke bei der Verbrennung ergibt. Da die Viertaktmotoren eine Verdichtung von 1:6 bis 1:12 aufweisen, sollte aus Erfahrung für die niedrige Verdichtung 1:6 der Kraftstoff 90 Oktan haben (90 % Isooktan und 10 % N-Heptan im Vergleichskraftstoff), bei der Verdichtung von 1:12 sollte die Oktanzahl über 100 betragen, was nur mit reinen Alkoholen oder besonderen Zusätzen möglich ist.

5.5.1. Grundsubstanzen für Glühzündermotoren

a) *Methanol*, oder auch Methylalkohol genannt, ist derjenige Alkohol mit nur einem Kohlenstoffatom, drei Wasserstoffatomen und der Sauerstoff-Wasserstoff-Alkohol-Gruppe. Er hat als Kraftstoff den Vorteil einer hohen Verdunstungswärme. Dadurch wird der Motor von innen heraus quasi gekühlt. Die Energieausbeute, bezogen auf das Ansaugvolumen, ist die höchste von allen Kraftstoffen, auch die Oktanzahl ist mit 98 ROZ hoch. Der Preis ist recht günstig, darum ist Methanol die Grundsubstanz für alle Glühkerzenmotorenkraftstoffe schlechthin. Für Modelldieselmotoren ist Methanol wegen der hohen Oktanzahl ungeeignet.

Unangenehm auswirken kann sich, daß Methanol sehr leicht die Luftfeuchtigkeit aufnimmt. Beim Einkauf von Methanol ist darauf zu achten, daß es möglichst 99prozentig und wasserfrei ist. Wird Methanol längere Zeit in offenen oder halbgefüllten Behältern aufbewahrt, so wird Wasser aus der Luftfeuchtigkeit aufgenommen. Es kommt zu erheblichen Schwierigkeiten mit dem Schmieröl, dem Anspringen des Motors und zu geringerer Motorleistung mit höherem Verschleiß.

Methanol ist sehr giftig und führt beim Genuß als „Schnapsersatz“ zur Erblindung. Die Verbrennungsprodukte sind auch nicht harmlos, da sie die Schleimhäute reizen und zu Entzündungen führen.

b) *Äthanol* oder Äthylalkohol, bekannt auch als gemeiner Schnaps, wenn auf 30 %–40 % Konzentration mit Wasser eingestellt, ist ähnlich in seinem Verhalten wie Methanol. Auch hier ist nur ein Äthanol mit über 99 % Reinheit und Konzentration verwendbar. Der Preis ist höher, die Leistungsausbeute ist niedriger als bei Methanol. Die Handelsqualität ist meist vergällt, so daß ein Genuß, wenn überhaupt, nie mit über 40 % iger Konzentration in Wasser, schrecklich schmeckt. Die Gesundheitsschädlichkeit ist auch bei Äthanol gegeben, wenn auch kein Erblinden eintritt.

c) *Tankstellenbenzin bleifrei* hat einen hohen Heizwert und ist recht preisgünstig, zumal der Modellmotor nur ca. halb so viel Benzin verbraucht wie Methanol (Tank nur halb so groß). Verbleites Tankstellenbenzin ist allerdings ungeeignet, da sich durch das Blei im Kraftstoff Ablagerungen an der Glühkerze, auf der Zündkerze sowie an Kolbenboden und Brennraum ergeben. Die Leistungsausbeute des Motors ist mit Benzin geringer als mit Methanol oder Alkoholen. Schlecht für den Motor ist auch, daß Benzin eine geringere Verdampfungswärme hat als Alkohole.

Der Modellmotor wird durch diese fehlende Verdunstungskühlung bei der Gemischaufbereitung heißer, Ventile und Ventileführungen können schneller verbrennen und lose werden, und vor allem ist die Zylinderkopfdichtung gefährdet (z.B. KAVAN FK-50).

Tankstellenbenzin bleifrei ist vor allem für Modellverbrennungsmotoren mit Funkenzündung geeignet. Bei Motoren mit Glühzündung muß ein Zündbeschleuniger wie Propylenoxid zugemischt werden oder es ist eine Mischung aus Methanol, Nitromethan und Propylenoxid für einwandfreien und zuverlässigen Leerlauf notwendig. Da die Kraftstoffdurchflußmenge durch den Vergaser bei Benzin nur rund die Hälfte gegenüber Methanol beträgt, muß der Vergaser sich auch auf diese geringeren Kraftstoffmengen in allen Drosselkufenstellungen für optimales Gemisch einregulieren lassen, was meist nicht gegeben ist. Tankstellenbenzin bleifrei ist sehr gesundheitsschädlich, da es große Mengen an Benzol und andere Ringkohlenwasserstoffe enthält. Einatmen oder Hautkontakt ist unbedingt zu vermeiden. Tödlich ist auf alle Fälle, wenn Benzin in die Blutbahn gelangt, aber wer injiziert sich schon Benzin?

d) *Aceton* ist ein recht energiereicher Kraftstoff und kann Glühkerzen-Dieselmotoren zugemischt werden. Der Preis ist für hochprozentiges reines Aceton sehr hoch, so daß Alkohole preisgünstiger sind. Die Mischung mit anderen Mineralölprodukten kann Schwierigkeiten bereiten. Aceton löst viele Farben und Leime auf.

e) *Benzol* ist eine Substanz, die häufig für Modelldieselmotoren als Kraftstoffanteil beigemischt wurde. Es kann für einen besseren Leerlauf der Motoren mit Glühzündung oder, um den Motor heißer im Leerlauf werden zu lassen, dem Kraftstoff für Glühkerzenmotoren beigemischt werden. Übliche und erprobte Mengen sind 5 bis 10 (vol) %. Da aber Benzol stark krebserregend ist (siehe unter c, Tankstellenbenzin bleifrei), sollte man es tunlichst vermeiden, solch gefährliche Stoffe in den Kraftstoff zu mischen. Je nach Motortyp und Brennraumgestalt bilden sich bei der Verbrennung des Benzols im Modellmotor hochgiftige und stark Lungenkrebs erregende Verbrennungsprodukte, so daß auch die Abgase des Motors gefährlich sind.

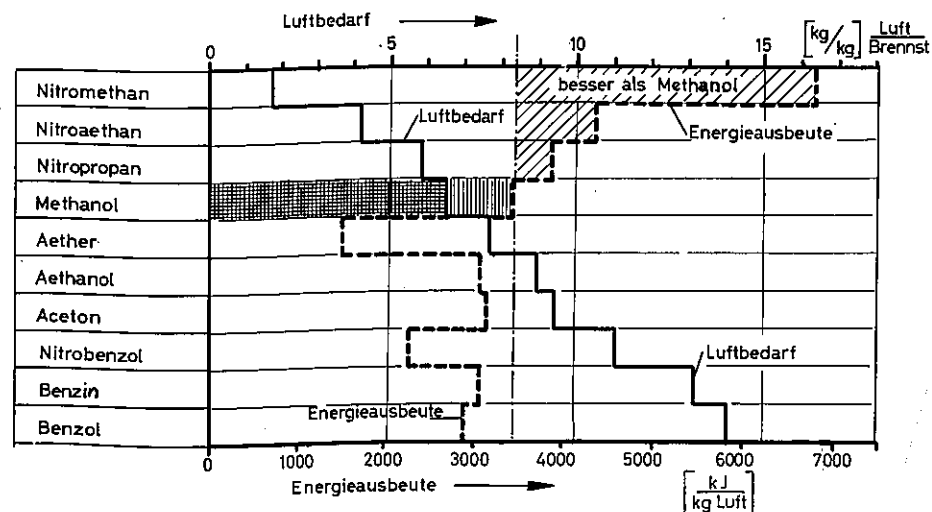


Abb. 164

f) *Isoktan* ist mit seiner hohen Klopfestigkeit eher eine geeignete Substanz um einem Kraftstoff mehr Heizwert zu geben. Kraftstoffe mit Isoktan (5 % bis 10 % vol) lassen den Motor im Leerlauf eher seine Betriebstemperatur behalten, so daß der Motor leichter Gas annimmt und schneller auf Vollast hochdreht. Andererseits ist bei Vollgas der Motor auch heißer, so daß man nur bei gut gekühlten Motoren diese Substanz zumischen sollte. Isoktan ist auch gesundheitsschädlich und wenige ml in der Blutbahn führen zum Tod.

5.5.2. Grundsubstanzen für Motoren mit Funkenzündung

Hier sind prinzipiell alle Substanzen geeignet, die schon bei Kraftstoffen für Glühkerzenmotoren aufgeführt sind.

Das *Tankstellenbenzin bleifrei* (Normal oder Super) ist hier gut verwendbar, da sich die Kerzen schnell erwärmen und vor allem beim Betrieb des Motors mit Automotorenschmierölen oder voll additierten Polyglykolölen im Kraftstoff und im Kurbelgehäuse sich wenig Ölkohleablagerungen ergeben. Da aber die Ventile heißer werden, ist auch mit einem höheren Verschleiß der Ventilsitze zu rechnen, und das Ventilspiel ist nach jedem Flugtag sorgfältig zu kontrollieren.

5.5.3. Mischungs- und Lösungsvermittler

Als häufigstes Mittel wird Amylacetat, oder auch Birnenäther genannt, verwendet. Das Amylacetat ermöglicht bei tiefen Temperaturen eine stabile Mischung von Alkoholen und Schmierölen. Dagegen bewirkt Amylacetat ein Ausflocken von Rizinusöl nach längeren Standzeiten des Kraftstoffes, vor allem bei Aufnahme von Luftfeuchtigkeit in die Kraftstoffkomponente Alkohol.

Amylacetat hat einen angenehmen Geruch, wirkt aber als Dampf berauschend. Es ist nicht giftig, sollte aber nicht mit höheren Anteilen als 3 % zugemischt werden. Die Verbrennungsprodukte des Amylacetates bilden mit Harzen aus anoxidiertem Rizinusöl unerwünschte Ölkohlebeläge.

5.5.4. Leistungssteigernde Mittel

Für Kraftstoffe von Glühzündermotoren sind einige Flüssigkeiten bekannt, die alle Sauerstoff enthalten und leicht zerfallen, wobei der Sauerstoff freigesetzt wird. Diese Substanzen sind daher eine Art „Kraftfutter“ für Motoren, die schlechten Füllungsgrad haben, aber gut gekühlt sind.

a) *Propylenoxid* oder, wie die Flüssigkeit auch noch genannt wird, 1,2-Epoxypropan ist eine farblose, schon bei 35 °C siedende Flüssigkeit, die sich kaum in Wasser löst, dafür aber gut in Alkoholen und Ölen.

Propylenoxid nimmt Säuren auf, neutralisiert Säuren ähnlich wie basische Substanzen. Es wirkt als Anti-Oxidans, als nicht ionisches Reinigungsmittel, und verbessert die Schmierwirkung von Ölen.

Im Modellmotor wirkt Propylenoxid vor allem als Zündbeschleuniger und Zündhilfe. Es wird zwischen 1 % und 15 % dem Kraftstoff beigemischt. Hohe Prozentanteile ergeben eine klopfende Verbrennung bei niedrigen Drehzahlen. 1 %–3 % ersetzen 5–10 % Nitromethan bezüglich der Leistung und des Leerlaufs des Motors. Vorsicht! Propylenoxid ist schon bei kleinsten Anteilen in Luft ein explosives Gemisch. Propylenoxid reduziert stark die Oktanzahl des Kraftstoffes. Bei 5 % Volumenzusatz zu Methylalkohol sinkt die Oktanzahl auf Werte unter 80 ROZ.

b) *Methylal* oder Formaldehyd-dimethyl-acetal ist eine bei 42 °C siedende Flüssigkeit, die sich im Wasser löst. Durch Säuren wird Methylal hydrolysiert in Methanol und Formaldehyd. Methylal ist weniger explosiv als Äther und weniger zündfreudig als Propylenoxid. Es verbessert die Zündfähigkeit von Kraftstoffen und verbessert die Schmierwirkung der Öle. Eine geringe reinigende Wirkung gegenüber Ölkohle ist gegeben. Methylal kann zwischen 1 % und 5 % dem Kraftstoff zugegeben werden. Die Oktanzahl sinkt dabei ab. Kraftstoffe mit Methylalanteilen lösen Lacke und Farben an!

c) *Nitromethan* ist das geeignetste Dopfmittel für Rennkraftstoffe. Es hat eine hohe Energieausbeute, bezogen auf die Ansaugluftmenge; der Energiegehalt je Liter Nitromethan ist gering. Nitromethan mit Methanol gemischt wird großtechnisch vor allem in den USA als Lösungsmittel in der Farbenindustrie verwendet. Bei uns in Europa sind preisgünstig Mischungen aus Nitromethan und Methanol im Handel erhältlich. Hochprozentiges Nitromethan ist teuer. Beim Einkauf sollte man auf wasserfreie Qualität achten, die farblos sein sollte. Gelbes oder gar braunes Nitromethan ist zersetzt und als Kraftstoffdopfmittel ungeeignet, da es den Motor korrosiv angreift. Der Anteil von Nitromethan kann bis 50 % im Kraftstoff betragen. Wasserzusatz zu Nitromethan kann Explosionen verursachen. Bei Nitromethan im Kraftstoff des Modellmotors bringt hohe Luftfeuchte Frühzündung und Nageln des Motors.

d) *Nitroäthan* ist weniger leistungssteigernd als Nitromethan. Es ist als reine Substanz etwas billiger. Die Klopfestigkeit und Oktanzahl ist höher als bei Nitromethan, es kann daher bei hochverdichteten Modellmotoren von Vorteil sein, vor allem in Verbindung mit Benzinanteilen im Kraftstoffgemisch.

e) *Dinitropropan* ist eine feste Substanz, die in Alkoholen löslich ist. Die Leistungssteigerung ist ähnlich der des Nitromethans. Die Beschaffung im Chemikalienhandel ist schwierig, da Dinitropropan als Sprengstoff gilt. Zusätze bis 10 % im Kraftstoff ergeben eine Leistungssteigerung von 4–5 %.

f) *Nitroglykol* ist eine sehr flüchtige Flüssigkeit. Sie braucht zum Verbrennen keinen Luftsauerstoff. Es ist ein hochexplosives Sprengöl. Zusatzmengen bis 5 % im Kraftstoff ergeben eine erhebliche Leistungssteigerung. Allerdings ist ein Motor mit einem Nitroglykol-gedopten Kraftstoff nicht mehr mit einem Drosselvergaser bis zum Leerlauf herab regelbar.

g) *Tetranitromethan* Eine noch höhere Leistungsausbeute bekommt man mit Tetranitromethan. Der Motor läuft, auch ohne daß er Luftsauerstoff ansaugt, denn Tetranitromethan enthält gleichviel reaktiven Sauerstoff, bezogen auf das Volumen, wie flüssiger Sauerstoff. Daß diese Flüssigkeit zusammen mit Benzin oder Petroleum das stärkste Sprengstoffgemisch ist, braucht nicht zu verwundern. Von Tetranitromethan als Leistungszusatz ist nur abzuraten. Der Preis ist sehr hoch (etwa 50,- DM für 10 ml), es ist hoch giftig, die Dämpfe führen beim Einatmen zum Verätzen der Lunge, und in der Folge tritt Lähmung des Herzens ein. Wer sich mit dem Zeug nicht in die Luft sprengt, stirbt dafür am Herztod! – Dennoch soll erwähnt sein, daß mit 5 % im Kraftstoff bis zu 500 % Leistungssteigerung erreicht wurde, allerdings an Großmotoren mit zusätzlicher Wassereinspritzung in den Verbrennungsraum.

h) *Nitrobenzol* wurde vor Jahren häufig wegen seines Vornamens „Nitro“ dem Kraftstoff zugesetzt. Es ist aber völlig wirkungslos auf die Leistung, im Gegenteil, eher leistungsbremsend. Dazu ist es äußerst giftig. Es wird gut durch die Haut aufgenommen und wirkt ähnlich auf das Blut wie Kohlenmonoxid. Selbst kleine Mengen vergiften das Blut so schwer, daß auch ein Arzt nicht mehr vor dem Erstickungstod bewahren kann. Wenn jemand unbedingt damit Sprit mischen möchte, dann nur mit Handschuhen. Putzlappen vernichten, und den Motor nach dem Laufenlassen gut auswaschen, da Rückstände im Motor das Kurbelgehäusemetall zersetzen.

5.5.5. Schmiermittel

Bei Viertaktmodellmotoren wird meistens ein Kraftstoff-Schmieröl-Gemisch verwendet. Das Schmieröl aus dem Kraftstoff gelangt aus dem Brennraum am Kolben vorbei in das Kurbelgehäuse des Motors. Das Öl wurde bei der Kraftstoffverbrennung im Brennraum heiß und hat, chemisch gesprochen, oxidiert. Die Sauerstoffaufnahme verwandelt das Öl in eine Säure, die nun im Kurbelgehäuse an Wälzlagern und Stahlteilen, aber auch am Metall des Gehäuses zu nagen und zu knappern beginnt. Wälzlager rosten und versagen; da die Schmierfähigkeit solcher oxidierten Öle eventuell schlechter wird, kommt es auch an den Nocken und Stößeln zu hohem Verschleiß.

Das Öl hat neben der Schmierung von Lagern, Pleuellagern und Kolben auch die Aufgabe, als Isolierschicht gegenüber dem heißen Verbrennungsgas zu dienen. Das Öl sollte neben seiner Eigenschaft zu schmieren auch noch schlecht die Wärme leiten und dicke Isolierschichten auf dem Kolbenboden, im Zylinderkopf und an den Zylinderwandungen bilden und viel Wärme beim Abdunsten binden.

Da die Modellmotoren mit dieser einfachen Mischungsschmierung aus dem Kraftstoff funktionieren, ähnlich wie die Zweitaktmotoren, sind prinzipiell nur Schmierstoffe geeignet, die sich im Kraftstoff lösen lassen. In Tankstellenbenzin bleifrei lösen sich Mineralöle, wie sie für Automotoren oder Zweitaktmotoren verwendet werden. Es lösen sich auch additivierte Polyglykole wie GLISSOL-R oder AEROSYNTH, so daß diese synthetischen Schmierstoffe auch verwendet werden können. Wenn aber dem Tankstellenbenzin Alkohole oder Nitromethan zugemischt werden, kommt es mit den Mineralölen zu Mischungsproblemen, nicht dagegen bei den oben genannten Polyglykolen GLISSOL-R und AEROSYNTH.

Es gibt auch Modellmotoren, die, wie ein Automotor, eine Ölwanne mit Ölfüllung haben, in die man frisches Schmieröl einfüllen kann. Diese Motoren haben einen zweiten Kolbenring, einen sogenannten Ölabstreifring, so daß für die Zylinder-schmierung nur wenig Öl aus dem Kurbelgehäuse verbraucht wird. Beim KAVAN-FK 50-Mark I und II wird vom Hersteller verlangt, daß man dem Kraftstoff ca. 2 bis 5 % Rizinusöl für die Ventilschmierung beimischt und in das Kurbelgehäuse Automotorenöl einfüllt. Nun, das ist schmiertechnischer Unsinn, denn Automotorenöl verträgt sich nicht mit Alkoholkraftstoffen und auch nicht immer mit Rizinusöl, das anoxidiert ins Kurbelgehäuse gelangt. Bei diesem Motor entsteht im Kurbelgehäuse eine undefinierte Schmiere, puddingartig, es rosten die Kugellager und es bilden sich aus dem Rizinusöl heraus Ölkohleablagerungen an den Ventilen. Bei der Verwendung von Benzin als Kraftstoff funktioniert dieses Schmiersystem solange, bis die Ölkohle an den Ventilen den Gaswechsel des Motors erheblich beeinträchtigt oder das Ventil nicht mehr auf seinen kühlenden Sitz kommen läßt.

Zu den einzelnen Ölsorten ist zu sagen:

a) *Automotorenöle, Mineralöle und synthetische Automotorenöle*: Diese Öle sind speziell für den Betrieb mit Benzin und Funkenzündung entwickelt. Sie sind weitgehend unmischbar mit Methanol oder alkoholhaltigen Kraftstoffen. Diese Öle haben Additive gegen die Säurebildung im Kurbelgehäuse, gegen Rosten der Wälzlager und Verschleiß an den Nocken oder Steuerrädern der Nockenwelle.

Die dickflüssigeren Sorten der SAE-Klasse 30 oder sogenannte Mehrbereichsöle der SAE-Klassen 15 W-40, 10 W-40 oder 20 W-50 sind brauchbar, sofern diese Öle sogenannte HD-Öle sind und der API-Spezifikation SF/MD entsprechen. Man sollte hier nicht sparen wollen und ein zu billiges „Namenlosöl“ im SB-Markt einkaufen. Das teuerste Mineralöl der besten Sorte ist gerade gut genug für unsere Höchstleistungsmotoren. Die synthetischen Automotorenöle sind brauchbar, sofern es

sogenannte „Leichtlauföle“ sind, bei Vollsynthölen gab es bei Modellmotoren teilweise Probleme mit Verschleiß, Rost und Lagerfresser am Pleuel.

b) *Rizinusöle* sind in der Humanmedizin als Abführmittel, als Schmiermittel für den menschlichen Darm bekannt. Dieses Rizinusöl von hoher Reinheit und nach dem Deutschen Apotheker Buch – DAB-7 – schmiert unsere Modellmotoren schlechter als billigstes, gelbes und harziges Rizinus letzter Dampfauspressung. Geeignete Handelsbezeichnung für Rizinusöle für Schmierölzwecke ist BRAZIL-I.

Rizinusöl mischt sich mit Alkoholen und auch mit Benzin. Es hat nur eine geringe Beständigkeit gegen Sauerstoff, oxidiert im Brennraum des Motors schnell und wandelt sich über Harz zu Ölkohle um. Das Harz klebt die Kolbenringe fest, und die Ölkohle bildet sich vor allem an den Ventilen, am Kolbenboden und am Kolbenhemd. Im Kurbelgehäuse klebt das Harz die Wälzlager fest und es schützt, da es ja durch Sauerstoffaufnahme selbst eine Ölsäure geworden ist, nicht gegen Korrosion. Rizinusöl hat eigentlich nur Nachteile, und bei seiner Verwendung als Schmiermittel ist ein großer Wartungsaufwand für den Motor nötig: Ventile reinigen und Ölkohle abkratzen, Motor nach jedem Flugtag auswaschen und mit speziellen Konservierungsölen einölen. An der Ölkohlebildung im Motor aus dem Rizinusöl heraus sind unreines Methanol oder Nitromethan nur insoweit beteiligt, als dadurch die Verbrennungstemperatur oder die Motorerwärmung beeinflusst wird. Ein gut abdichtender Kolbenring oder eine noch gute ABC-Zylinder/Kolbengarnitur halten die sauren Durchblasgase aus dem Kurbelgehäuse weitgehend fern, und es kann dann die Ölfilmdicke auf den Lagern ausreichen, daß sich kein Rost bildet.

c) *Synthetische Öle*. Hier wurde zunächst auf Mischbarkeit mit Methanol geachtet. Als mischbare Öle erwiesen sich Polyglykole und Fettsäureester. Die Fettsäureester sind meist recht teure Flüssigkeiten und werden vor allem wegen ihrer hohen thermischen Beständigkeit in der Schmierung von heißen Lagerstellen bei Turbinen in der Luftfahrt verwendet. Die Verdampfungstemperatur dieser Öle liegt bei über 280°C. Nachteilig ist, daß sich nur wenige Fettsäureester in Methanol lösen, und das sind meist nicht die besten Schmierstoffe, schützen also nicht gegen Verschleiß. Kommen diese Fettsäureester mit Wasser oder Ameisensäuren aus der Verbrennung von Methanol in Berührung, so zerfällt dieser Ester wieder in Säure und Wasser, und es kommt zu rascher Korrosion und Rostbildung an den Wälzlagern. Eine denkbare Additivierung dieser Fettsäureester gegen Verschleiß und Korrosion würde aber zu unzulässigen Ablagerungen an der Glühkerzenwendel oder zu Schäden an Gummidichtungen des Vergasers führen. Eine Ölkohlebildung wird mit diesen Ölen nicht ganz vermieden, meist bilden sich sehr harte Ablagerungen mit Ölkohle, die stark schmirgeln und verschleißfördernd sind. Da diese Öle erst in langwierigen Versuchen für Modellmotoren optimal additiviert werden müßten, werden sie sich kaum am Markt durchsetzen. Ein am Markt befindliches Esteröl für Modellmotoren befriedigt im Verschleißschutz und in der Motorsauberkeit nicht voll.

Preisgünstiger und gut mit Methanol mischbar sind Polyglykole. Je nach chemischem Aufbau sind solche Polyglykole in Wasser, Methanol oder Benzin löslich. Bei Polyglykolen liegt die Verdampfungstemperatur bei 230°C bis 245°C, Temperaturen, die durchaus an den Zylinderwandungen von Viertakt-Modellmotoren einmal vorkommen oder ständig an den Ventilen herrschen. Die Polyglykole haben meist die Eigenschaft die Reibungsverluste zu vermindern, sind also Leichtlauföle. Bei Raumtemperatur sind sie meist dünnflüssiger als Rizinusöle und bei Motorbetriebstemperatur dickflüssiger als alle anderen Schmieröle.

Das Polyglykol zersetzt sich bei der Verdampfungstemperatur zu gasförmigen Bruchstücken, die sich mit dem Wasser aus der Verbrennung des Methanols zu

$[\text{mm}^2/\text{s}] (\text{cSt})$

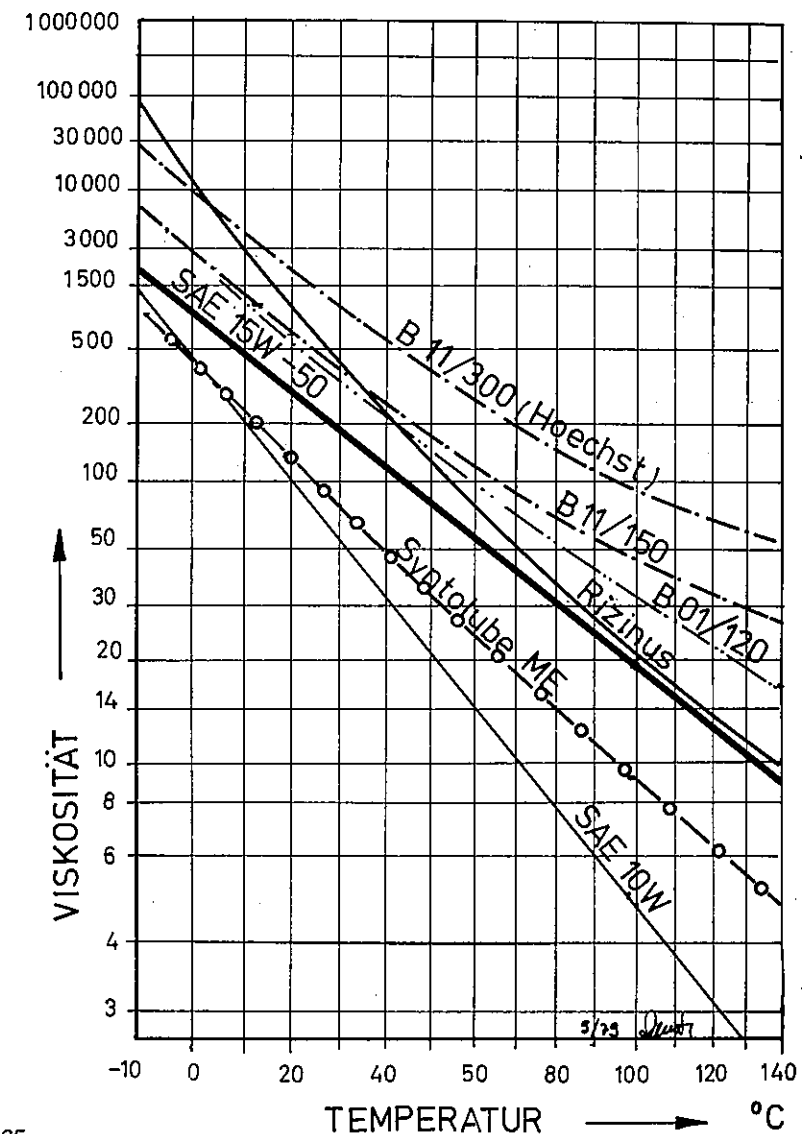


Abb. 165

aggressiven Säuren zusammenlagern. Es bilden sich im Motor überhaupt keine Ablagerungen oder Ölkohlen, dafür kommt es im Kurbelgehäuse zu Rost und Korrosion. Eine Additivierung dieser Grundöle, im Sinne eines Verschleißschutzes, besserer thermischer Beständigkeit und Neutralisierung der sich bildenden Säuren aus der Verbrennung und dem Brennraum, gelang nicht gleich, da sich alle bekannten Additive nicht mit den Glykolen mischen wollten oder mit Alkoholkraftstoffen sich wieder entmischten.

Zunächst wurde epoxidiertes Sojaöl als „Fettung“ zugemischt. Diese Öle sind unter dem Handelsnamen KLOTZ-2-cycle-Racing-Oil vertrieben worden. Bei Zweitaktmotoren liefen diese Öle bestens und die Motoren hatten, dank der Reibungsverminderung, eine höhere Motorleistung, vergleichbar einer Nitromethanzugabe von 5 %. Bei Viertakt-Modellmotoren versagten diese Öle weitgehend. Der Korrosionsschutz war im Kurbelgehäuse nicht gegeben und auch die Ölkohlebildung an den Ventilen war nicht beseitigt.

Eine Mischung aus Polyglykolen und Rizinusöl mit einem Antioxidantadditiv kam unter dem Namen CARBULIN-SPEED als Schmiermittel für Modellmotoren in den Handel. Auch dieses Öl konnte die Korrosion im Kurbelgehäuse bei den Viertaktmotoren nicht verhindern, und dazu bildete der Rizinuszusatz an den Ventilen und im Schalldämpfer Ölkohle.

Gelungen ist die Additivierung der Polyglykole hinsichtlich gezielten Verschleißschutzes und zuverlässigen Schutzes gegen Korrosion im Motorkurbelgehäuse einem Werk der UK. Dieses additivierte HD-Modellmotorenöl ist weitgehend patentrechtlich geschützt und unter den Handelsnamen GLISSOL-R und AEROSYNTH erhältlich. Nach den Erfahrungen mehrerer Jahre in der Modellmotorenpraxis bei Rennautomodellen, Hubschraubermodellen und Wettbewerbsflugmodellen sind diese beiden Öle ideal für die Viertakt-Modellmotoren mit Methanolkraftstoffen oder Benzin hinsichtlich Verschleiß, Korrosionsschutz und Motormehrleistung.

5.5.6. Kraftstoffmischungen

Für Viertaktmotoren mit Glühzündung und Gemischschmierung ist folgende Grundmischung zu empfehlen:

15 % (vol) Schmieröl (Rizinus; GLISSOL-R oder AEROSYNTH)
83 % (vol) Methanol (technisch rein 98 %ig, säurefrei)
2 % (vol) Propylenoxid

Wird bei der obigen Kraftstoffmischung Rizinusöl als Schmiermittel verwendet, so ist der Motor nach jedem Lauf mit Kraftstoff auszuwaschen.

Zur Konservierung für längere Stillstandzeiten, für die Schmierung während der ersten Laufminuten nach der Kurbelgehäuseaustauspülung und Reinigung mit Kraftstoff, wäre ca. halb soviel GLISSOL-R oder AEROSYNTH durch den Kurbelgehäuseentlüftungsnippel einzufüllen wie der Motor Hubraum hat. Man verwendet hierzu am besten eine Einwegspritze und ein Stück Kraftstoffschlauch zwischen Nippel und Spritzenkegel. Eine Konservierung mit speziellen Konservierungsölen ist auch denkbar, doch vertragen sich diese Konservierungsöle selten mit dem Kraftstoff oder dem Rizinusöl. Der Motor ist dann vor der erneuten Inbetriebnahme nochmals mit Kraftstoff auszuwaschen und sollte dann mit der oben genannten Menge an Öl befüllt werden.

Es sei besonders darauf hingewiesen, daß die oben genannte Kraftstoffmischung nur für eingelaufene Motoren gilt. Für den Einlauf kann für die erste Betriebsstunde der Ölanteil bis auf 20 % (vol) angehoben werden. Bei Boxermotoren der Firma OS wird vom Hersteller der Ölanteil mit mindestens 17 % (vol) gefordert. Man folge zumindest für die erste Betriebsstunde den Mischungsempfehlungen des Herstellers.

Für eine bessere Gemischaufbereitung, gleichmäßigeren Lauf im Zwischengasbereich und für zuverlässigen Leerlauf ist die Zumischung von Nitromethan zu empfehlen. Hier eine Mischungsempfehlung:

15 % (vol) Schmieröl (Rizinus, GLISSOL-R oder AEROSYNTH)
80 % (vol) Methanol (technisch rein, 98 %ig, säurefrei)
5 % (vol) Nitromethan (98 %ig)

Für diese Mischung gilt bei der Verwendung von Rizinusölen auch das Gesagte über Konservieren und Auswaschen. Bei GLISSOL-R oder AEROSYNTH als Schmieröl entfallen die umständliche Wartung, Reinigung und Konservierung des Motors.

Für höhere Motorleistung hier eine Kraftstoffmischung für „Normalwetter“ mit 75 % Luftfeuchtigkeit und 20°C Ansauglufttemperatur:

15 % (vol) Schmieröl (Rizinus, GLISSOL-R oder AEROSYNTH)
15 % (vol) Nitromethan (98 %ig)
70 % (vol) Methanol (technisch rein, 98 %ig, säurefrei)

Da Nitromethan die Verbrennung „langsamer“ macht, kann ein Zusatz von Propylenoxid hier etwas mehr „Motordrehzahl“ bringen. In der Regel sind 1 % Propylenoxid je 5 % Nitromethan zuzumischen. Der Grenzwert wäre eine Super-Rennmischung aus:

10 % (vol) GLISSOL-R oder AEROSYNTH
10 % (vol) Methanol (UK-Methanol mit Korrosionsschutz)
13 % (vol) Propylenoxid
67 % (vol) Nitromethan (98 %ig)

Rizinusöl löst sich nur bei bis zu 50 % Nitromethananteil im Kraftstoff. Bei GLISSOL-R muß 10 % Methanol als Lösungsvermittler dienen. Propylenoxid wird als Zündbeschleuniger benötigt. Mit dieser Super-Rennmischung drehen Zweitaktrennmotoren mit 3,5 ccm Hubraum bis knapp 40 000 U/min hoch. Ein Viertaktmotor sollte mit dieser Rennmischung auch bis an die Drehzahlgrenze für die Ventilsteuerung hochdrehen (ca. 15 000 U/min).

Testgerät zum Oxydationstest von Modellmotorenölen

Vorsicht: nur im Freien durchführen: Explosionsgefahr; Feuer !

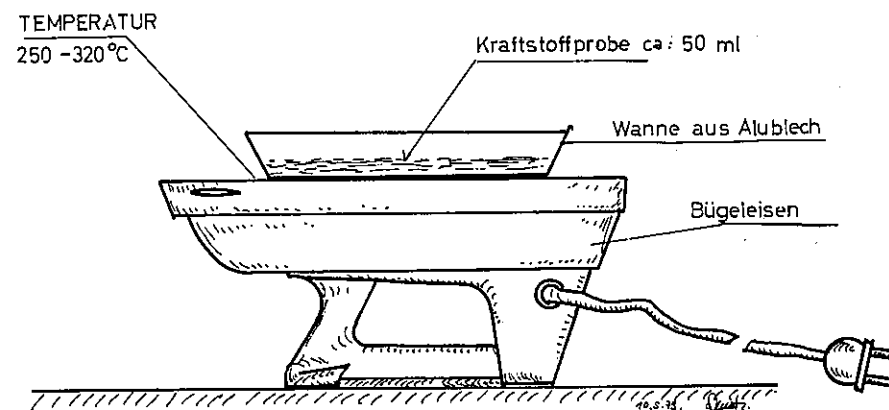


Abb. 166

Bei Motoren mit Funkenzündung und Tankstellenbenzin bleifrei als Kraftstoff achte man auf ausreichend Ölanteil. Man bedenke, daß ein Zuviel an Öl auch wieder zu Zündaussetzern führt. Bewährt hat sich die folgende Mischung:

10 % (vol) Automotorenschmieröl SAE 20W-50; SF/MD oder GLISSOL-R

90 % (vol) Tankstellenbenzin Super bleifrei.

Es kann auch für die Modellmotoren mit Mischungsschmierung handelsüblicher Zweitaktkraftstoff verwendet werden oder spezielle Mischungen für Viertaktmotoren, sofern diese Kraftstoffmischungen Rizinusöl oder AEROSYNTH als Schmierstoff enthalten. Kraftstoffmischungen mit synthetischen Schmierölen ohne eine ausgewogene Additivierung führen rasch zu Motorschäden.

Für die wenigen Modellmotoren mit Kurbelgehäuse-Ölumpfschmierung und geringen Ölbeimischungen im Kraftstoff halte man sich an die Mischungsempfehlungen des Motorherstellers, wobei man sowohl im Kurbelgehäuse als auch im Kraftstoff GLISSOL-R oder AEROSYNTH verwenden sollte.

Die Abb. 166 zeigt einen einfachen Oxydationstest für Kraftstoffe, der mit Hilfe eines Reglerbügeleisens durchgeführt werden kann. Dabei wird eine Kraftstoffprobe von ca. 50 ml in einer durch das Bügeleisen exakt temperierten Aluwanne oxydiert. Je weniger Ablagerungen oder Ölkohle sich auf der Aluwanne bilden, um so bessere Qualität hat das Schmieröl im Kraftstoff. Nicht getestet ist dabei der Verschleiß und der Korrosionsschutz durch das Öl, sondern nur die Neigung zur Ölkohlebildung. In meinem Buch „Modellmotoren“ (Neckar-Verlag) wird das Ergebnis dieses Oxydationstestes bei fast allen handelsüblichen Zweitakt-Modellmotoren-Kraftstoffen aufgeführt.

5.5.7. Lagerung von Kraftstoffen

Die Kraftstoffe für Modellmotoren sind nur in Blechkanistern, luftdicht verschlossen, längere Zeit lagerfähig. Bei Wasserezutritt oder Wasseraufnahme aus der feuchten Luft kommt es zur Bildung von Säuren und zum Ausflocken von Harzpartikeln aus dem Rizinusöl. Wasser wird auch durch die Wandung von Plastikbehältern aufgenommen. Daher sollte Kraftstoff, umgefüllt in Plastikkanistern, innerhalb von 1-2 Wochen verbraucht werden.

Kraftstoffe mit Nitromethananteilen, die sich gelbbraun verfärbt haben, führen zu Motorschäden und können unter Umständen explosiv werden. Sie sollten daher vernichtet werden (Abgabe bei Altölsammelstellen). Braun verfärbte Kraftstoffe für Modell-Dieselmotoren sind weiter uneingeschränkt verwendbar. Allerdings kann sich bei diesen Kraftstoffen in nicht dicht verschlossenen Gefäßen der Ätheranteil verflüchtigt haben. Bei Zündschwierigkeiten und schlechtem Motorstart kann Äther wieder zugemischt werden.

5.6. Kühlung der Viertaktmotoren

Die Kühlung der Motoren erfolgt meist mit Luft. Die Rippenhöhe, Anordnung der Rippen und die Rippenfläche ist von den Herstellern so groß gewählt, daß der Luftstrom hinter einer Luftschraube ausreichend Kühlung für den Motor erbringt. Schwierigkeiten treten unter Umständen beim Einbau des Motors in Hubschraubermodelle oder unter fast geschlossene Motorhauben bei vorbildgetreuen Motorflugzeugmodellen auf. Hier ist ein entsprechendes Kühlgebläse vorzusehen oder die Kühlfläche zu vergrößern. Bei Motorhauben ist die Zu- und Abluftöffnung ausreichend groß vorzusehen.

Einige Viertaktmotoren werden mit Wasserkühlmantel geliefert. Hier ist ein Einbau des Motors in ein Schiffsmodell vorgesehen, wobei das Kühlwasser durch die Schiffsschraube in ein Zulaufrohr zum Kühlmantel des Motors gefördert wird.

5.7. Propeller

Die Umsetzung der Motorleistung in Antriebsleistung erfolgt bei Flugmodellen meist mittels eines Propellers. Der Propeller ist im Prinzip ein rotierender Tragflügel, der gegenüber der anströmenden Luft einen Anstellwinkel haben muß. Da der Propeller ein rotierender Tragflügel ist, der sich gleichzeitig auch noch vorwärts schraubt, so ist das Propellerblatt schraubenförmig verwunden. Für eine Vorwärtsbewegungsstrecke pro Propellerumdrehung ist diese Verwindung des Propellerblattes genau bestimmt worden. Diese Strecke je Umdrehung, die sich der Propeller theoretisch in die Luft hineinschraubt, wird analog zum Gewinde einer Schraube „Steigung“ genannt. Es sollte nun bei einem Propeller so sein, daß bei der Bewegungsgeschwindigkeit des Modells das Propellerblatt immer noch einen Anstellwinkel gegenüber der Luft hat. Nur so kann der Propeller auch das Modell ziehen.

Für schnelle Modelle ist ein Propeller mit großer Steigung, also steil angestelltem Propellerblatt, richtig.

Für langsamere Modelle ist ein Propeller mit kleinerer Steigung, also flach eingestelltem Propellerblatt, richtig.

Da unsere Modellmotoren nicht bei einheitlichen Drehzahlen laufen, gibt das Diagramm die Propellersteigung an, die notwendig ist, um ein Modell mit einer bestimmten Geschwindigkeit vorwärts zu bewegen.

Die Umsetzung der Motorleistung in Geschwindigkeit des Modells über den Propeller erfolgt nicht verlustlos. Der Propeller hat einen sogenannten Schlupf. Dieser Schlupf kommt dadurch zustande, daß die Luft vom Propeller angesaugt wird und als Luftstrom mit beachtlicher Geschwindigkeit hinter dem Propeller abströmt. Die Bewegungsenergie dieses Luftstroms ist verloren und unnütz. Will man einen hohen Propellerschub haben, so sind große Propellerdurchmesser günstiger. Nur kann man einen Propeller nicht beliebig groß machen und ihn direkt mit der Motordrehzahl von 10 000 – 20 000 U/min antreiben, da mit zunehmender Umfangsgeschwindigkeit am Propellerblattende sich immer mehr die Luftreibung als Verlustfaktor bemerkbar macht. Daneben wird auch die Propellernabe durch die Fliehkraft des Blattes zunehmend beansprucht, so daß der Propeller zerspringt. Das Diagramm zeigt die Grenzwerte.

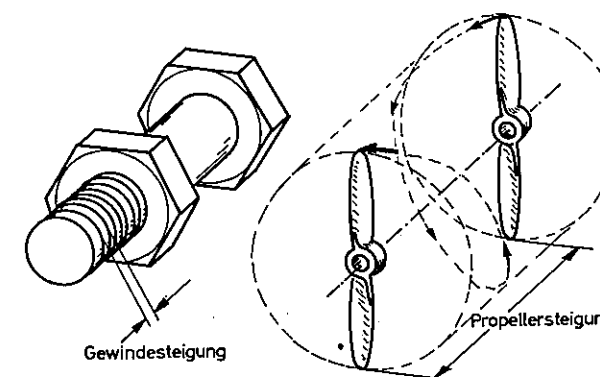


Abb. 167

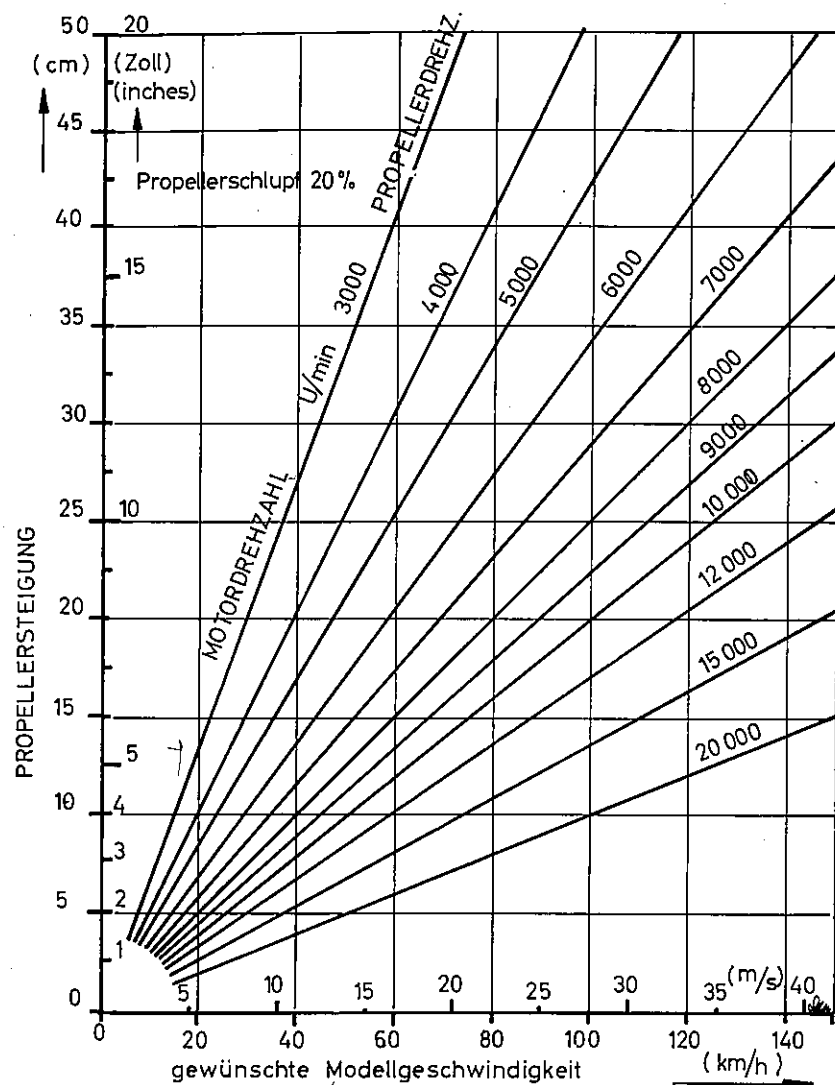


Abb. 168

Es ist äußerst gefährlich, einen Propeller mit einer höheren Drehzahl zu betreiben, als in dem Diagramm für die einzelnen Propellerdurchmesser angegeben ist. Von einem zerspringenden Propeller werden die Propellerblätter etwa mit der Umfangsgeschwindigkeit weggeschleudert und wirken ähnlich wie Geschosse. Darum sollte man:

Sich nie in der Drehebene des Propellers aufhalten!
Lebensgefahr!

Es ist ganz besonders wichtig, den Propeller auszuwuchten. Die meisten käuflichen Propeller sind nicht ausgewuchtet. Zum Auswuchten sollte man einen Balancierstand bauen.

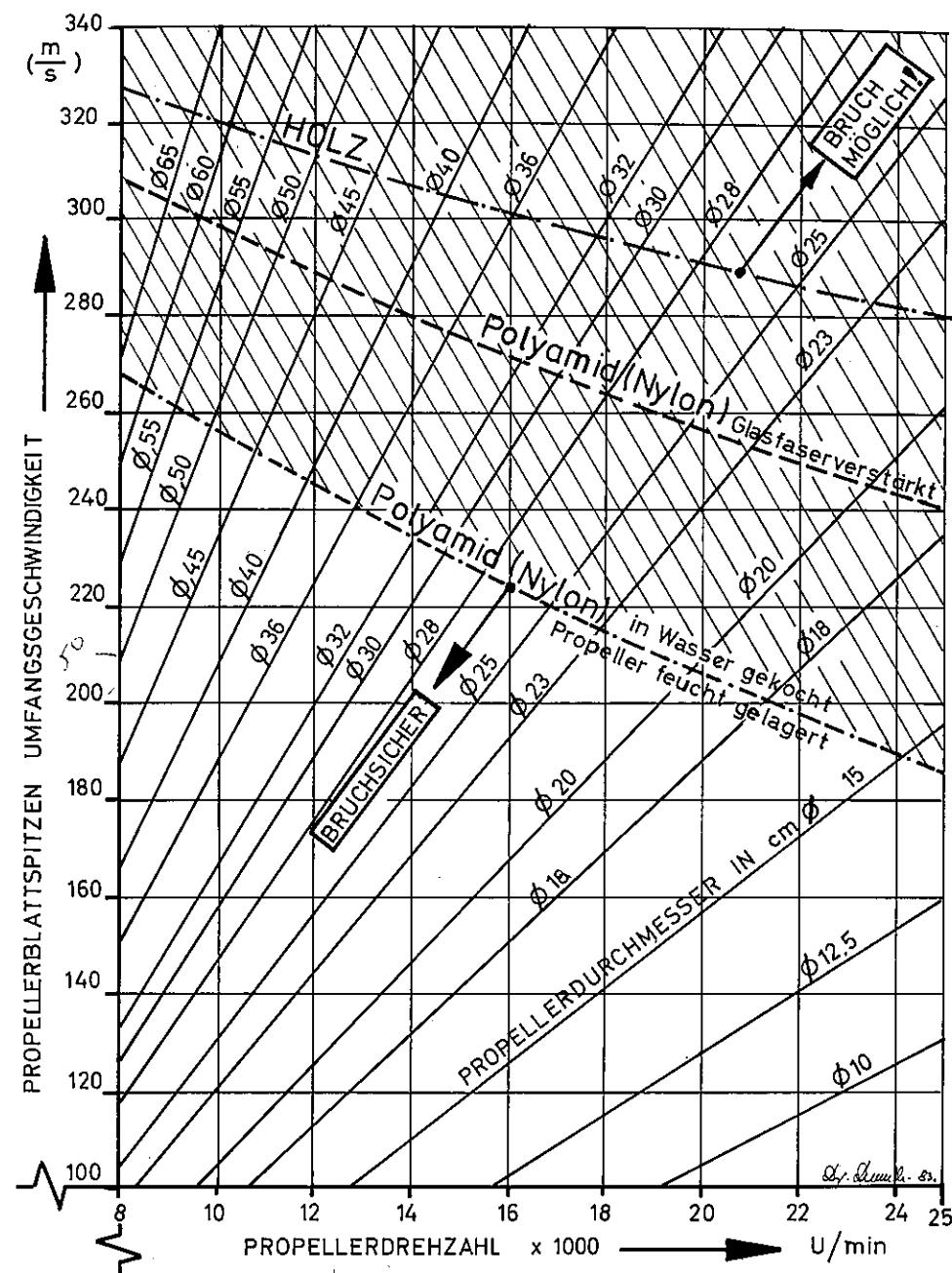


Abb. 169

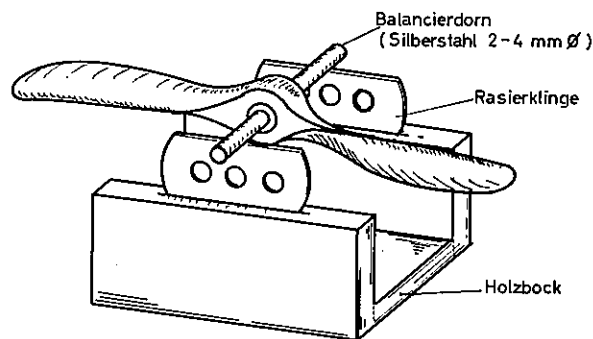


Abb. 170

Durch Abfeilen des zu schweren Propellerblattes wird der Propeller statisch ausgewuchtet. Ein dynamisches Auswuchten ist meist nicht notwendig und auch schwierig zu verwirklichen. Damit der Propeller aber auch unwuchtfrei auf der Motorkurbelwelle läuft, sollte das Loch im Propeller genau auf den Kurbelwellendurchmesser abgestimmt sein. Ein Spiel von mehr als 0,1 mm ist schon nicht mehr zulässig. Ein solcher Propeller ist zu verwerfen oder, falls möglich, an der Nabe auszubüchsen. Beim Ausbüchsen schwäche man aber die Nabe nicht zu sehr, da sonst die Fliehkräfte den Propeller zerreißen.

Bei Viertaktmodellmotoren benötigt man größere Propellerdurchmesser als bei Zweitaktmodellmotoren. Die Durchmesser liegen bei 300-500 mm Ø, wobei als Steigung des Propellers meist ein hoher Wert, so um 250 ÷ 300 mm, benötigt wird, je nach gewünschter Modellgeschwindigkeit. Diese Propeller sind im Handel schwer zu beschaffen und meist recht kostspielig. Es ist aber gar nicht schwer, sich solch einen Propeller selbst aus Holz anzufertigen. Die folgende Anleitung möge ermuntern, es einmal mit dem Selbstbau von Propellern zu versuchen. Von einigen Modellbaufirmen werden schichtweise verleimte Rohklötze angeboten, doch für einen Versuch eignet sich auch ein Rohblock aus astfreiem Buchenholz, Esche oder Ahorn.

Es geht nicht ohne etwas Theorie. In der Abb. 171 ist ein Propeller dargestellt, der sich bei einer Umdrehung genau um das Maß „H“ in die Luft schrauben würde. Dies nennt man die Steigung des Propellers. Verfolgt man in der Abbildung den äußersten Zipfel des Propellerblattes auf dieser einen Umdrehung, so sieht man, daß sich die Blattspitze auf einer schiefen Bahn bewegt. Würde sich der Propeller in einem Zylinder bewegen, so könnte man von der Zylinderwand die schraffierte Fläche abwickeln.

Bekanntlich errechnet sich der Umfang eines Kreises aus der Multiplikation des Radius mit 2π oder mit 6,2830. Bei einem Propeller mit 40 cm Durchmesser, also mit einem Radius von 20 cm, ergibt sich so eine abgewinkelte Länge der schiefen Ebene von 125,66 cm. Solch eine große Zeichnung kann man kaum auf einem üblichen Zeichenbrett anfertigen. Zeichnet man diese schiefe Ebene aber um 1/6,28 kleiner, so ist die Zeichnung, wie in Abb. 171 gezeichnet, nur gerade so groß wie der Radius des betrachteten Propellerblattes. Wie aus der Abb. 172 hervorgeht, kann man so den Verwindungswinkel durch einen einfachen Strich ermitteln. Damit wäre der theoretische Teil schon fast erledigt.

Zeichnet man in dieses Bild die Holzblockhöhe ein, in den vollen Millimetern, also nicht um 6,28 verkleinert, so werden alle die gezeichneten schiefen Strahlen

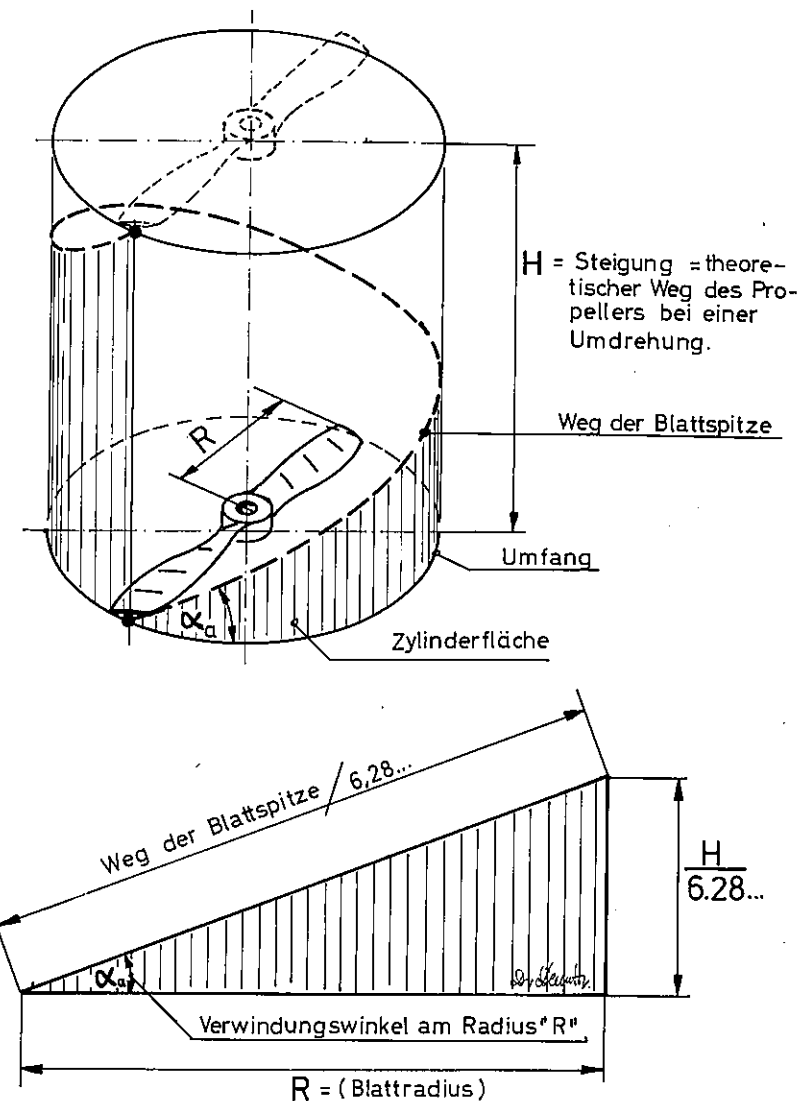


Abb. 171

Abgewinkelte Zylinderfläche im Maßstab $1:2\pi$; d.h. um den Faktor $1/6,28$ verkleinert. Dabei bleiben alle Winkel erhalten! Bild ist winkeltreu.

geschnitten. Die Abb. 172 sagt uns nun, was wir mit diesem Schnittpunkt alles gefunden haben. Es ergibt sich die maximale Blattbreite, die man aus diesem Holzblock bei der gewählten Steigung fertigen kann. Die Projektion dieser maximalen Blattbreite, über alle Radien aufgetragen, ergibt einen Propeller mit der Form wie in Abb. 173.

Würde man diesen Propeller herstellen, so ergibt sich die Verwindung des Propellerblattes, wenn man von der mit (1) bezeichneten Kante des Holzblockes zu der mit

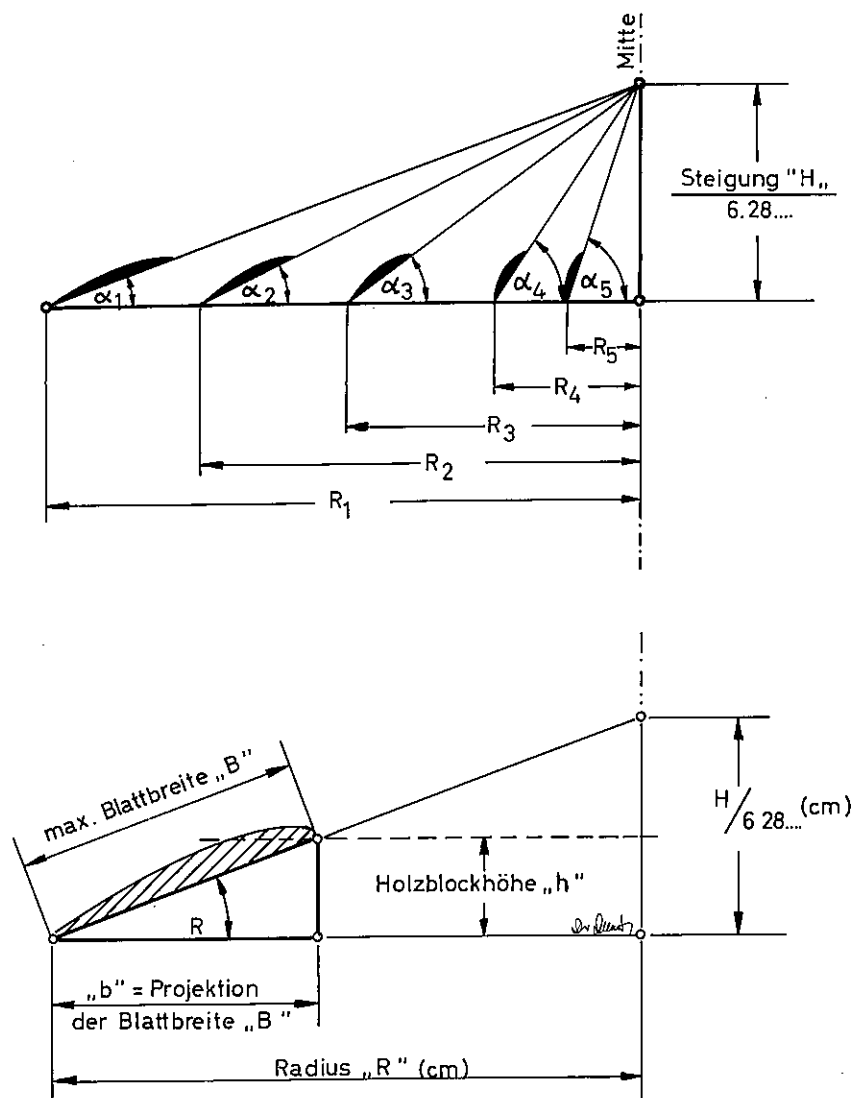
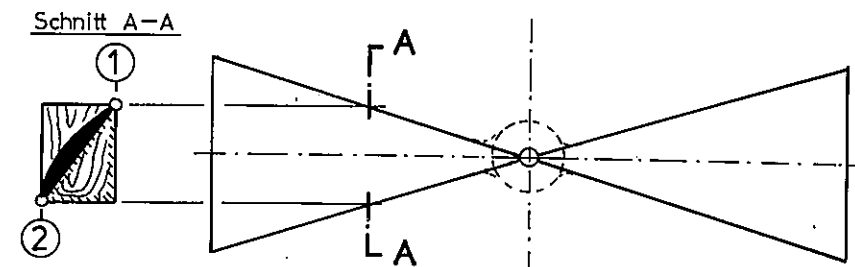


Abb. 172

(2) bezeichneten das Holz abspannt. Auf diese Weise entstünde die meist ebene Unterseite unseres Propellers. Wenn wir auf der noch flachen Oberseite die Umrisse des Propellers aufzeichnen und aussägen, so bekommen wir schon einen Rohpropeller. Die Oberseite des Propellers profilieren wir nun so, daß ein Profil ähnlich dem bekannten Clark Y oder Eppler 176 entsteht. Mit einer Schieblehre prüfen wir noch, ob beide Blätter an den gleichen Radien auch gleich dick sind.

Diese Arbeit des Profilierens kann man zu einer Wissenschaft machen und mit Schablonen die Profiltreue prüfen. Man mache das lieber etwas nach „Gefühl und Augenmaß“. Man zeichne zunächst eine Linie ca. 10-12 mm von der Eintrittskante



Holzblock, wenn man die Verwindung durch Abspannen von Kante ① nach ② erzeugt.

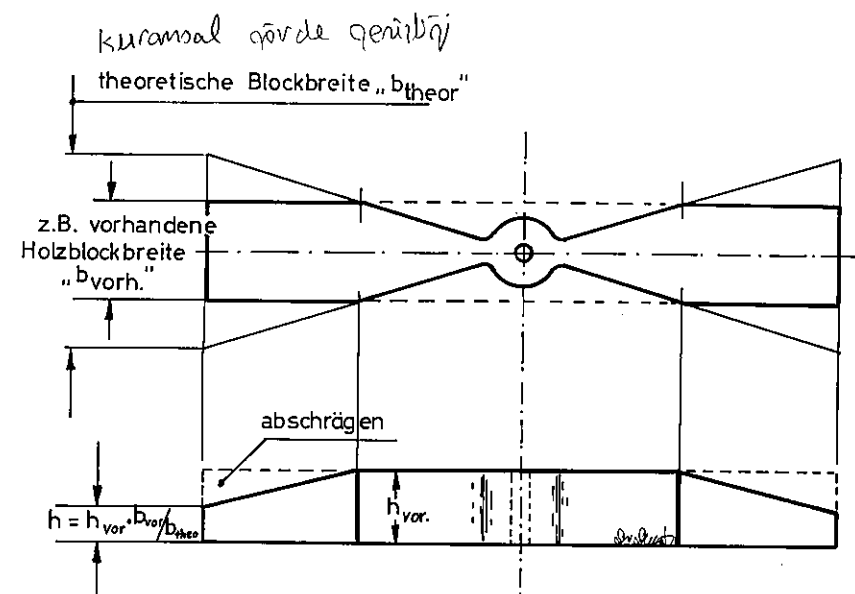
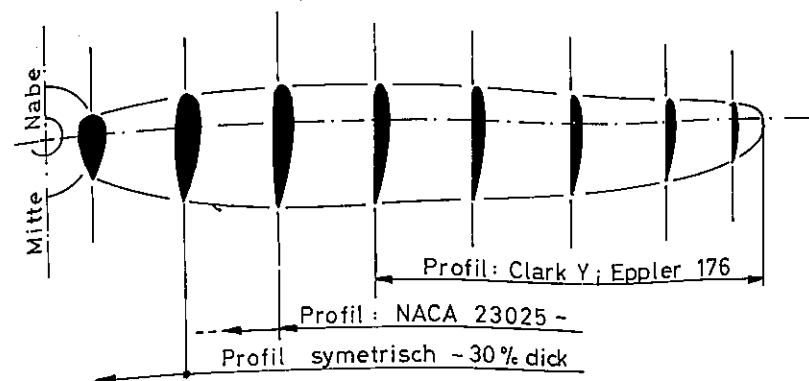
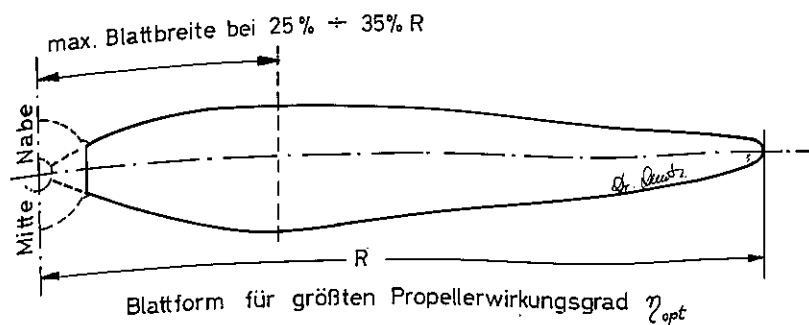


Abb. 173

weg und eine zweite Linie ca. 1-2 mm von der Austrittskante weg, aber innerhalb der Fläche des vorherigen Sägeschnittes. Das Holz zwischen den beiden Linien wird ebengeraspelt. Danach ist es einfach, das Blattprofil zu runden und zu egalisieren.

Immer wird man nicht einen so breiten Holzblock haben, und man wird auch nicht immer so viel Holz zu Spänen verarbeiten wollen. Bei einem schmalen Holzblock wenden wir das in Abb. 173 gezeigte Verfahren an. Damit reduziert man die Spanarbeit doch erheblich. Aus solch einem Block ist es möglich, innerhalb von 2 Stunden einen Propeller von 40 cm Ø zu fertigen.

Noch ein Wort zu der Form der Blätter. Nach Windkanalversuchen erbringen Propeller mit einer maximalen Dicke bei 1/4 bis 1/3 des Blattradius und schlank zulauf-



übliche Profile von Kleinpropellern

Abb. 174

fendem Blattende, wie in Abb. 174 gezeigt, die beste Energieumwandlung. Propeller mit breiterem Blattende kosten viel an Drehzahl und sind bis zu 20 % schlechter im Wirkungsgrad. Allerdings ergeben zu schmale Blätter bei langsam laufenden Propellern (bei unter 6000 U/min) wegen der kleineren Re-Zahl nicht den gewünschten Propellerzug. Man nehme also einen schmalen Propeller für extrem hohe Drehzahlen und breitere Blätter für Drehzahlen der großen Viertaktmotoren.

Im zweiten Teil der Abb. 174 ist die Profilierung des Propellers gezeigt. In der Nabe muß man dickere Profile wählen, da sonst der Propeller zu biegeweich wird. Nach meinen Erfahrungen sind Profile mit hohlgewölbter Unterseite im Flug nicht von Vorzügen, wenn auch ein größerer Standschub erzeugt wird. Für Propeller, die im schallnahen Bereich angeströmt werden – bei unseren Modellmotoren bei einem Propeller mit 25 cm $\varnothing$ und 25 000 U/min –, bringen Profile mit scharfer Eintrittskante geringeren Lärm und mehr Fluggeschwindigkeit. Für diese Propeller haben sich auch Profile mit Kreisabschnittform bewährt. Diese Bemerkungen mögen für den Start in die Propellerentwicklung dienen.

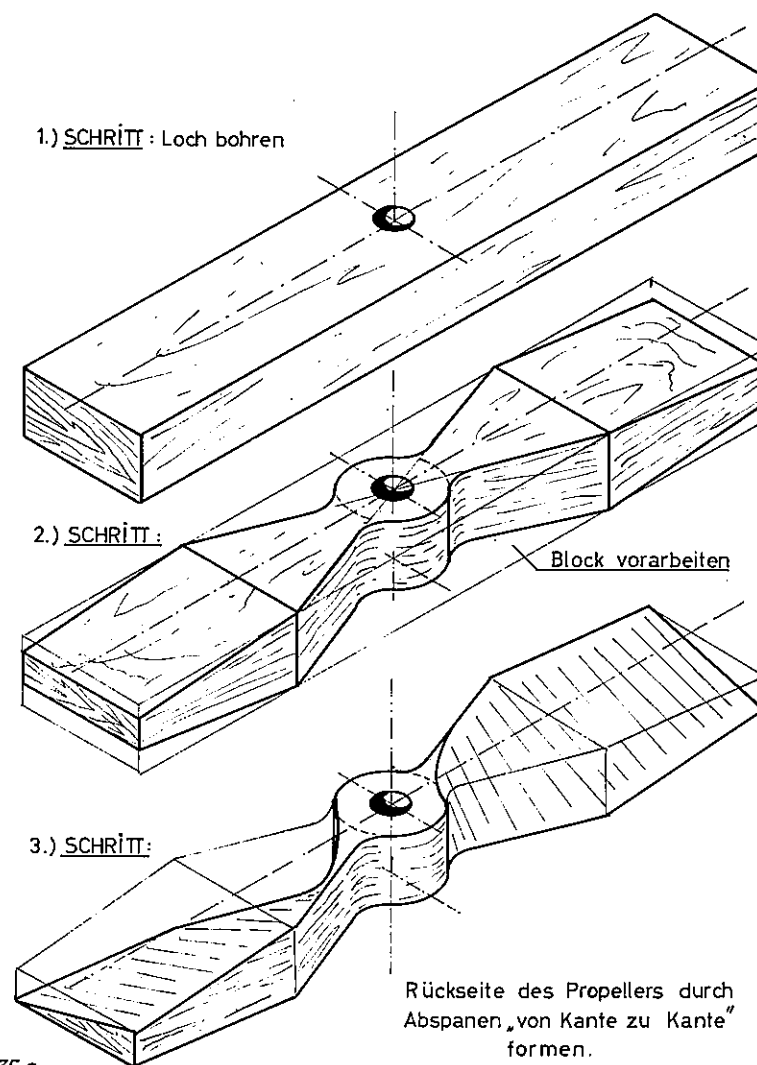
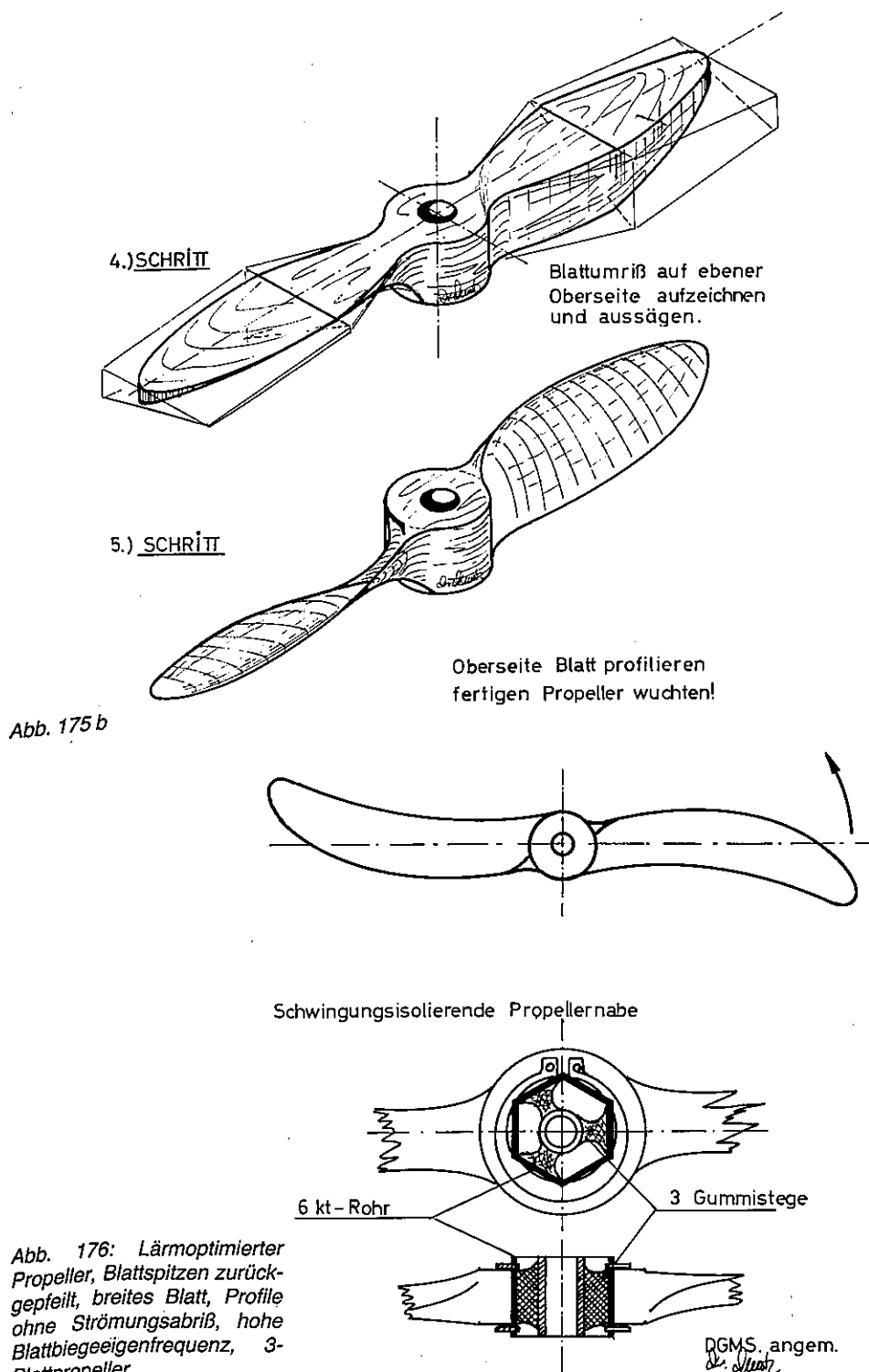


Abb. 175 a

Wenn Sie nun auf den Geschmack gekommen sind oder wenn Sie bei einem Viertaktmotor wirklich alle Leistung in Propellerzug umsetzen möchten, dann schauen Sie sich einmal die Abb. 175 an. Hier ist der Herstellvorgang für einen Propeller dargestellt.

Sie werden erstaunt sein, was sich alles mit einem selbstgestrickten Propeller machen läßt: einmal in der Leistungsumsetzung und dann im Lärm. Es sei noch erwähnt, daß sich auch so 3-Blatt-Propeller erzeugen lassen, von denen die Praktiker behaupten, sie machen weniger Lärm.



Die Abb. 176 zeigt die Blattform eines lärmoptimierten Propellers. Der Gedanke dabei ist, daß durch eine Rückwärtspfeilung an der Propellerspitze sich die relative Anströmgeschwindigkeit reduziert. Der Propellerlärm wächst etwa mit der 5. Potenz der Anströmgeschwindigkeit, so daß sich schon eine leichte Rückwärtspfeilung angenehm bemerkbar macht. Eine weitere Methode für einen lärmarmen Propeller ist die Anordnung eines Gummischwingeles in der Nabenmitte, das etwas die momentane Blattbeschleunigung nach der Zündung im Motor glättet.

6. Die Praxis

6.1. Motoreneinkauf

Die Größe und Bauart des Motors kann man meist aus der Modellart und der Einbaulage des Motors ermitteln. Ein Motor mit geschlossenem Ventilantrieb eignet sich auch für eine Einbaulage mit liegendem Zylinder bei einem Flugmodell, ein schiebergesteuerter Motor sollte möglichst hochtourig eingesetzt werden, ein Boxermotor oder ein Sternmotor ist für bestimmte vorbildähnliche Flugmodelle vorzusehen. Im Anhang sind die Leistungsdaten der handelsüblichen Viertaktmodellmotoren und deren technische Daten aufgeführt.

Den Motor sollte man im Modellbaugeschäft möglichst mit einem montierten Propeller und eingesetzter Glühkerze durchdrehen. Hat man mehrere Motoren gleicher Art zur Auswahl, so ist bei dieser Prüfung der leichtgängigste und der Motor mit der besten Kolbenabdichtung oder Kompression zu wählen. Allerdings ändert sich bei Viertaktmotoren durch das Einbetten der Ventile auf den Sitzen und der Kolbenringe im Zylinder während des Einlaufens viel in der Kompressionshöhe. Ob der Einkauf eines gebrauchten Motors preisgünstiger ist, zeigt sich erst nach einer Zerlegung des Motors und gründlicher Inspektion aller Teile. Verschleiß zeigt sich im Pleuellagerspiel, im Spiel der Kolbenringe in den Kolbennuten, am Ventilsitz und im Zylinderabrieb. Auf diese Stellen im Motor ist speziell zu achten. Der Ventilantrieb, die Zahnräder und die Nockenwelle mit Stößeln neigen bei einigen Motoren ebenfalls zu deutlichem Verschleiß schon nach wenigen Laufstunden.

6.2. Einlaufen

Alle Viertaktmodellmotoren müssen ca. 1 Stunde einlaufen. Die meisten Motoren sind beim Hersteller nur von Hand einmal durchgedreht worden und noch nie mit Zündung gelaufen. Den Einlaufvorgang nehme man am besten auf einem geeigneten Prüfstand vor, meist ist das Einlaufen des Motors im Modell nicht zweckmäßig und nicht ratsam. Den Motor montiert man auf einem mindestens 12 mm dicken Sperrholzbrett.

Als Halteschrauben sind nur hochwertige Stahlschrauben mit Gewinde M 3 oder M 3,5 für Motoren bis 10 ccm Hubraum zu verwenden, bei größeren Motoren sind Schrauben M 4 oder M 5 vorzusehen.

Vor dem Startversuch sollte man die Gebrauchsanleitung genau durchlesen. Dort steht, welche Glühkerze, welche Kraftstoffmischung und welche Luftschraubengröße für das Einlaufen verwendet werden sollte. Nicht alle Motoren springen an,

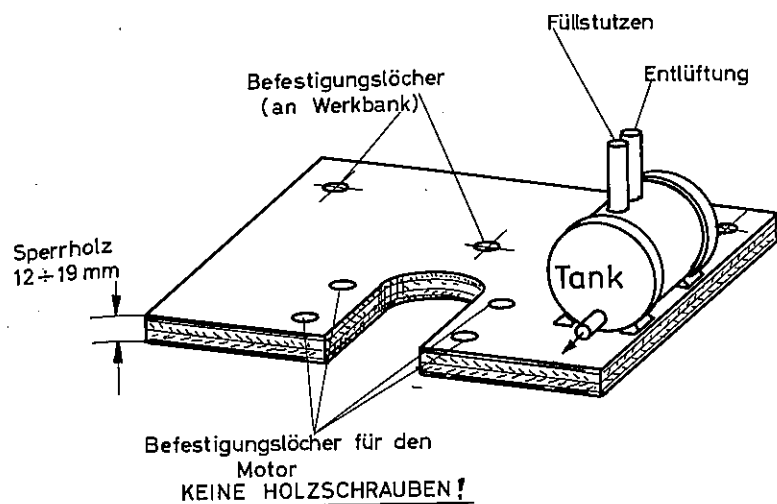


Abb. 177

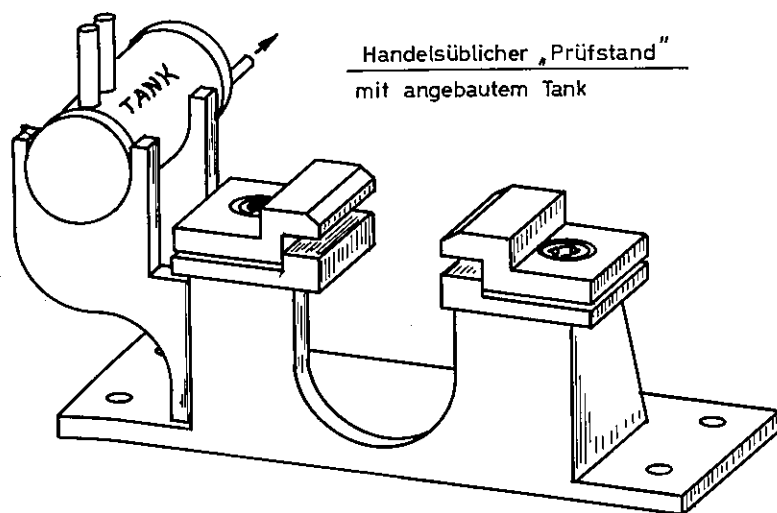


Abb. 178

wenn sie von Hand angeworfen werden, hier ist ein Elektrostarter mit einem geeigneten Gummimitnehmer und Spinner auf der Kurbelwelle zu verwenden.

Bevor der Motor nun seine ersten Zündungen macht, ist das Kurbelgehäuse über den Entlüftungsstutzen oder Entlüftungsnippel mit Automotorenöl etwas aufzufüllen, keinesfalls ganz mit Öl zu befüllen. Als Ölmenge im Kurbelgehäuse sollte bei dieser Erstbefüllung höchstens eine Menge eingefüllt werden, die der Hälfte des Motorhubraums entspricht. Das Einfüllen geht mit sogenannten Einwegspritzen aus der Apotheke am leichtesten. Statt der Injektionsnadel wird ein Stück Kraftstoff-

schlauch auf den Spritzenzylinder geschoben und über den Entlüftungsnippel des Motors dann das Öl in das Kurbelgehäuse eingefüllt. Aus meiner Erfahrung heraus ist diese Ölbefüllung vor dem ersten Lauf jedes Viertaktmotors unbedingt vorzunehmen. Vom Motorenhersteller sind die Kurbelgehäuse weitgehend ölfrei, und erst nach 5-10 Minuten Motorlaufzeit hat sich aus dem Brennraum am Kolben vorbei genügend Altöl aus dem Kraftstoff im Motorkurbelgehäuse angesammelt, daß die Schmierung der Pleuellager und des Nockenanstriebs gewährleistet wird.

Bevor man nun das Ventilspiel kontrolliert und sicherheitshalber etwas weiter einstellt, als der Hersteller für einen eingelaufenen Motor empfiehlt, sollten auch an die Kipphebel oder an die sonstigen Steuerungsteile wie Stoßstangen und Ventilschäfte einige Tropfen Öl gegeben werden.

Ist der Motor angesprungen, so ist er höchstens 3 Minuten lang mit maximal 3/4 Last und Höchstdrehzahl ebenfalls nur 75 % der höchsten zulässigen Motordrehzahl zu betreiben. Danach ist der Motor zu drosseln und sollte sich noch während 2 Minuten mit Leerlaufdrehzahl abkühlen. Danach ist der Motor abzustellen und bis auf „handwarm“ abzukühlen, bevor ein erneuter Kurzlauf nach obigem Programm vorgenommen wird.

Diese Kurzläufe sind bis zu einer Gesamtlaufzeit von 1 Std. zu wiederholen. Nach dieser Zeit ist das Ventilspiel zu kontrollieren und auf den Wert einzustellen, der in der Betriebsanleitung angegeben ist. Das Altöl aus dem Kurbelgehäuse ist abzulassen und das Kurbelgehäuse auszuwaschen. Meist muß dazu das Kurbelwellenlagergehäuse abgenommen werden oder der Gehäusedeckel. Vor einem neuen Start ist das Kurbelgehäuse wieder mit Öl zu befüllen. Der Motor sollte danach für Vollgas ausreichend eingelaufen sein. Falls nach kurzem Lauf mit Vollgas die Drehzahl stetig abnimmt, ist der Motor noch nicht vollständig eingelaufen, oder es liegt ein mechanischer Mangel vor. Falls der Motor nach einer weiteren Laufstunde mit Kurzläufen von 5 Minuten Dauer immer noch in der Drehzahl bei Vollgas abfällt, liegt ein mechanischer Mangel am Motor vor.

Zum Einlaufen der Motoren eignen sich alle Kraftstoffe ohne leistungssteigernde Beimischungen wie Nitromethan. Als Schmieröl kann Rizinusöl oder Polyglykol bei Glühzündern verwendet werden, hochlegierte synthetische Öle verlängern die Einlaufzeit erheblich, da durch die Additive im Öl der Einlaufverschleiß verhindert wird.

Gefährlich ist, in den ersten Laufstunden den Motor mit magerem Gemisch längere Zeit zu betreiben. Bei Vollgasstellung sollte das Gemisch immer auf der fetten Seite gehalten werden, also mit einer Stellung der Düsennadel am Vergaser kurz vor der höchsten Drehzahl und Leistung des Motors. Bei einem zu langen Betrieb des Motors mit magerem Gemisch werden die Temperaturgrenzen am Auslaßventil überschritten, das Ventil kann festbrennen oder brechen. Eine Einstellhilfe ist die Glasglühkerze (Graupner), die eine direkte Beobachtung der Verbrennung erlaubt.

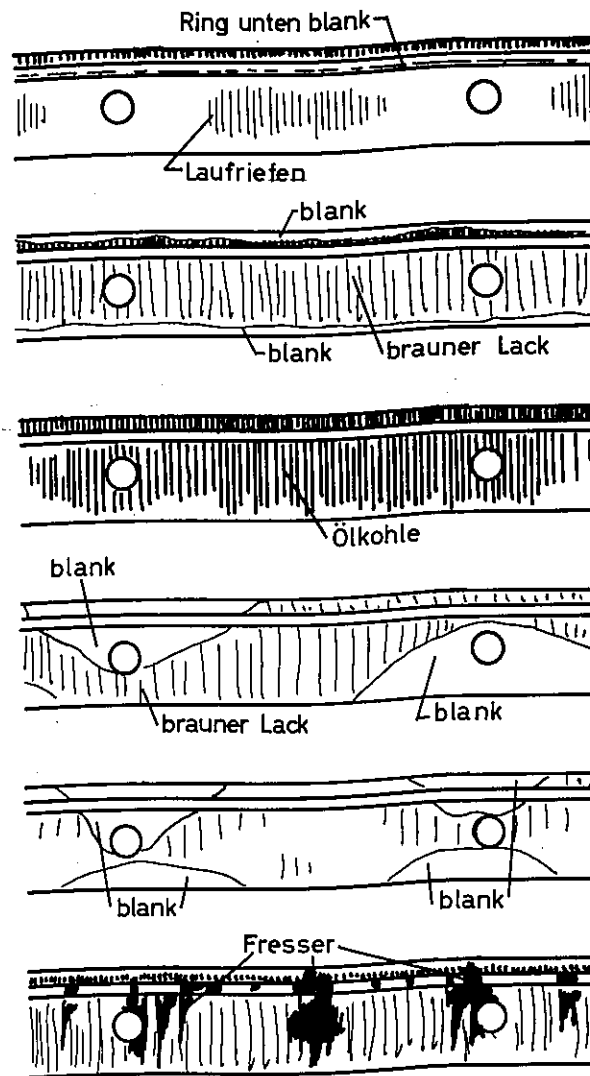
Erwähnt sei noch, daß der Motor zum Einlaufen und auch später im Betrieb möglichst mit stehenden Zylindern (bei Einzylindermotoren) betrieben werden soll. Ein hängender Zylinder führt bei einigen Motortypen zu verölten Kerzen und zur Mangelschmierung am Pleuellager, vor allem in der Warmlaufphase. Auch eine seitliche Lage des Zylinders ist nicht zu empfehlen, da dadurch über die Kurbelgehäuseentlüftung zu viel oder zu wenig Öl ausgeworfen wird.

6.3. Motorenwartung

Auch ein Viertaktmodellmotor braucht wie ein Automobilmotor von Zeit zu Zeit eine Wartung und Inspektion. Spätestens, wenn die Motorleistung abfällt oder wenn irgendwie der Lauf des Motors unzuverlässig wird, ist eine Wartung notwendig.

Kolbenbilder

(Kolbenmantel abgewickelt)



guter Kolben

zu viel
Einbauspiel

Kolbenring
undicht.

Schiefeläufer

Kolben klemmt
meist
am Bolzen

Kolbenfresser

Druckseite

Abb. 179 (im allgemeinen Auspuffseite)

Das Ventilspiel sollte vor jedem Flugtag kontrolliert werden oder spätestens nach 5 Laufstunden. Alarmierend ist, wenn das Ventilspiel größer wird und nicht, wie üblich, kleiner und enger. In diesem Fall ist der gesamte Nockentrieb und der Zylinderkopf zu zerlegen und nach der Ursache zu forschen. Es könnte sein, daß die Nockenwelle am Nocken sich stark abgenutzt hat oder daß sich die Stoßstangen am Kipphebel oder die Stößel am Nocken eingearbeitet haben.

Verschleiß am Nockentrieb hat seine Ursache im ungenügenden Druckaufnahmevermögen des Schmieröls oder in einer zu weichen Nockenwelle. Falls am Ventil eine zu harte Feder eingebaut oder die Feder verstärkt wurde, kann auch hier die Ursache des Nockenverschleißes liegen. Falls die Kompression im kalten Zustand des Motors merklich nachläßt gegenüber dem Wert kurz nach dem Einlaufen, so muß der Kolben ausgebaut werden.

Die Abb. 179 zeigt typische Kolbenbilder. Ein guter Kolben und ein guter Kolbenring sollten bis knapp an den Kolbenring von oben herab leichten Ölkohlebelag aufweisen. Unterhalb des Kolbenringes am Kolbenhemd sollte keine Braunfärbung oder kein Ölkohleansatz sein. Leichte Laufriefen sind zulässig und haben keinen Einfluß auf die Abdichtung des Kolbens. Das axiale Spiel des Kolbenringes in der Kolbenringnut soll zwischen 0,05 mm und 0,08 mm betragen. Ist dieses Spiel zu groß, so ist der Kolben mit dem Ring auszutauschen. Ebenso ist der Kolben mit dem Ring zu tauschen, wenn das Laufbild zu viel Einbauspiel oder einen undichten Kolbenring anzeigt. Ist der Zylinder nicht verschlissen, das heißt, ist keine Stufe zwischen höchster Stellung des Kolbenringes im Zylinder und dem darüber befindlichen Zylinder teil zu sehen, so kann der Zylinder noch einmal verwendet werden. Günstiger ist meistens, einen neuen Kolben und Kolbenring in einem neuen Zylinder einzulaufen.

Etwas anders sind die Verhältnisse bei sogenannten ABC- oder AAC-Zylinder-Kolben-Kombinationen. Hierbei hat der Kolben keinen Kolbenring zur Abdichtung, sondern der Kolben aus Silumin läuft direkt in einem Bronze- oder Aluminiumzylinder, der innen hartverchromt wurde. Bei diesen Motoren sollte der Kolben nach Abnahme des Zylinderkopfes im oberen Totpunkt leicht klemmen oder schwergängig sein. Riefen oder ein zerhämmerter Kolbenboden (von einem Fremdkörper im Brennraum oder der Glühkerzenwendel) zeigen einen Tausch des Kolbens zusammen mit dem Zylinder an. Diese Motoren mit ABC-Aluminiumkolben, Bronzeyylinder, innen hartverchromter Zylinder oder AAC (Aluminiumkolben, Aluminiumzylinder, innen hartverchromter Zylinder) dürfen nie ohne ausreichend Öl im Zylinder durchgedreht werden, und auch ein häufiges Durchdrehen ohne Zylinderkopf ist verschleißfördernd. Bei der Neumontage dieser Motoren sind die Zylinderkopfschrauben sorgfältig anzuziehen. Ein Anziehen in Stufen über Eck und eine Kontrolle der Leichtgängigkeit des Kolbens ist notwendig. Eigentlich müßte nach jedem Lockern oder Nachziehen der Zylinderkopfschrauben bei diesen Motoren ein erneuter Einlauf gefahren werden. Im Betrieb reagieren diese Motoren empfindlich auf Staub, der sich im Kolben einbettet und den Zylinderhartchrom abschabt.

Sollten sich am Zylinderkopf bei der Inspektion undichte Ventilsitze herausstellen, die sich durch matte Stellen und Ölkohle auf dem Ventilsitzkegel zeigen, so sind die Ventile mit Läpppaste einzuschleifen. Das Ventil wird dabei mit Öl in die Ventilführung eingeschoben, und hinten am Ventilschaft wird ein Stück Kraftstoffschlauch aufgepreßt. Über diesen Kraftstoffschlauch kann das Ventil gedreht werden und gleichzeitig leicht auf dem Sitz aufliegen. Das Ventil ist so lange einzuschleifen, bis Sitz und Ventil gleichmäßig matt auf dem ganzen Sitzkegel aussehen. Ganz sorgfältig ist die Läpppaste zu entfernen. Möglichst das Ventil und den Sitz mehrmals abreiben und mit Lösungsmittel säubern. Eine Ultraschallreinigung im Brillenbad eines Optikers wäre vorteilhaft.

Ein Problem stellt sich häufig bei Viertaktmotoren, an denen der Nockenwellenantrieb zerlegt wurde, wie die Nockenwelle richtig zur Kolbenstellung einzustellen ist. Alle Viertaktmotoren mit Zahnradantrieb der Nockenwelle haben eine Markierung der Zahnräder, die für eine Endlage des Kolbens die richtige Stellung der Nockenwelle angibt. Die Betriebsanleitung gibt darüber Auskunft. Falls die Betriebsanleitung verloren ging oder der Motor einen Antrieb der Nockenwelle über Zahnriemen

hat, ist folgende Methode anzuwenden: Der Kolben wird in den oberen Totpunkt gebracht. Die Nockenwelle ist dann so mit der Kurbelwelle zu kuppeln, daß in dieser Kolbenstellung beide Ventile (Einlaß und Auslaß) etwa gleichweit geöffnet sind. Die Nockenwelle wird somit auf gleiche Ventilüberschneidung im OT des Kolbens eingestellt. So läßt sich auch auf dem Fluggelände, falls eine Meßuhr durch das Glühkerzenloch geschoben wird und den Kolbentotpunkt anzeigt, die Steuerzeiteinstellung der Nockenwelle prüfen.

Bei Viertaktmotoren treten häufig Lagerschäden an den Pleuellagern auf. Davon betroffen sind vor allem Boxermotoren oder Motoren, die nach einer Reinigung des Kurbelgehäuses nicht mit Öl befüllt wurden. Bei einem braun-blau verfärbten Kurbelzapfen und einer losen Pleuellagerbüchse sind die Kurbelwelle und der Pleuel auszutauschen. Bei nur leicht braun gefärbtem Kurbelzapfen kann die Kurbelwelle durch Abziehen des Pleuellagerzapfens mit eingeölter Schmirgelleinwand 320 ÷ 400er Körnung gerettet werden, ein neuer Pleuel ist auf alle Fälle zu montieren. Wird der Kurbelzapfen nicht mit Schmirgelleinwand abgezogen, sondern der neue Pleuel auf dem angefressenen Kurbelzapfen montiert, so braucht man sich nicht zu wundern, wenn hier sofort wieder ein Lagerfresser entsteht.

Zeigt das Kolbenbild einen schief laufenden Kolben, so sollte die Pleuelstange angewinkelt werden. Dazu werden genau passende Stangen in die beiden Pleuelaugen gesteckt und deren parallele Lage geprüft und durch Biegen des Pleuelschaftes angestrebt. Die Richtstangen im Pleuel dürfen auf 100 mm nicht mehr als 0,5 mm von der parallelen Lage zueinander abweichen. Man prüfe dies auf beiden Seiten der Pleuelstange sorgfältig nach. Die Ursache für eine ausgeknickte Pleuelstange liegt meist an einem kräftigen Elektroanlasser, der beim Startversuch eines „versoffenen“ Motors mit Gewalt den Kolben gegen die Kraftstoffmasse im Brennraum rammt.

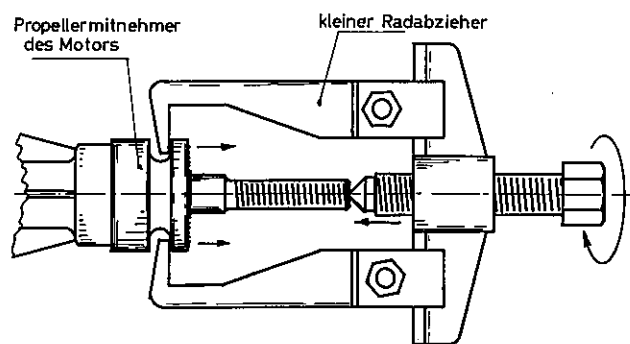


Abb. 180

Falls ein Viertaktmotor mit schwankender Drehzahl läuft und sich nicht richtig am Vergaser auf optimales Gemisch und Leistung regulieren läßt, so könnte die Ursache auch in einem defekten Wälzlager der Kurbelwellenlagerung liegen. Mit einem Abzieher, wie in Abb. 180 gezeigt, kann der Propellermitnehmer abgezogen werden. Mit der in der Abb. 181 gezeigten Werkstattpresse oder auch zur Not in einem entsprechend verwendeten Schraubstock kann die Kurbelwelle aus den Lagern gepreßt werden.

Läuft das Wälzlager laut und rau oder hat der Innenring merklich axial Lagerluft, so ist das Wälzlager gegen ein neues gleicher Baugröße und mit gleicher Käfigausfüh-

rung zu tauschen. Das Wälzlager sollte fest mit dem Innenring auf der Kurbelwelle sitzen und nur mäßig fest mit dem Außenring im Lagergehäuse. Ist hier durch Wandern des Lagerinnenringes die Kurbelwelle am Lagersitz abgenutzt oder ist der Sitz des Lagers im Gehäuse zu locker, so sind die Lagerringe bei der Wiedermontage der Kurbelwelle mit Einkomponentenkleber, wie LOC-Tite grün oder rot, festzukleben. Bei der Montage ist darauf zu achten, daß die Kurbelwange oder der Propellermitnehmer nicht am Außenring der Lager anstreifen. Ebenso ist darauf zu achten, daß die beiden Wälzlager der Kurbelwellenlagerung nicht gegeneinander verspannt sind. Bei richtiger Montage sollte die Kurbelwelle $0,1 \div 0,2$ mm axiales Spiel haben.

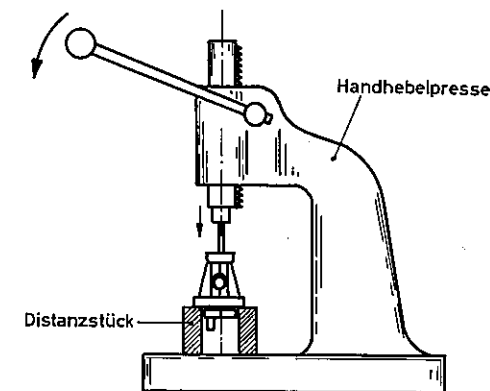


Abb. 181

Ganz wichtig ist es, daß bei einer Wiedermontage eines inspizierten Motors auch alle Dichtungen erneuert werden. Alte Papierdichtungen dichten nicht mehr, da sie schon undefiniert gepreßt wurden. Ebenso sind eventuell unter dem Zylinderkopf liegende Dichtungen aus Weichaluminium oder Kupfer zu erneuern. Bei einigen Motoren wird mit solchen Metalledichtungen die Verdichtungshöhe des Motors eingestellt. Es müssen dann die gleiche Anzahl Scheiben oder gleichstarke Scheiben eingesetzt werden. Auf alle Fälle sollte der Abstand der Ventile zum Kolben nie kleiner als 0,3 mm werden, was man durch Niederdrücken der Ventile in der Nähe vom oberen Kolbentotpunkt überprüfen kann.

Ölkohleansatz auf dem Kolbenboden entfernt man mit einer Rasierklinge durch Abschaben oder durch Polierschmirgel der Körnung 400. Ölkohle am Kolbenhemd kann man vorsichtig ebenfalls mit Polierschmirgel Körnung 400 entfernen, doch sollte zuerst die Ursache für den Ölkohleansatz beseitigt werden. Die Ursache könnte in einem verzogenen Zylinder, nicht gleichmäßig im Zylinder anliegenden Kolbenring oder zu viel Spiel axial zwischen Kolbenring und Nut im Kolben liegen. Natürlich „beseitigt“ man einen erneuten Ölkohleansatz, wenn als Schmiermittel Polyglykol verwendet wird, da dieses Schmiermittel keine Ablagerungen bildet. Ölkohle am Ventilteller und an der Ventiltulpe entfernt man ebenfalls mit der Rasierklinge und glättet mit Polierschmirgel nach.

Als Wartungsarbeit sollte man nach jedem Betriebstag des Motors das Altöl aus dem Kurbelgehäuse ablassen, das Kurbelgehäuse mit HD-Automotorenöl ausspülen und die früher schon erwähnte 1/2 Hubraummenge an Öl einfüllen. Beläßt man das Altöl im Motor, so können sowohl bei Rizinusöl als auch bei synthetischem Öl ohne spezielle Additive Korrosionsschäden an den Wälzlager und am Metall des Kurbelgehäuses und Kolbens entstehen. Leider ist bei vielen heute handelsübli-

chen Viertaktmodellmotoren dieser Ölwechsel nur schwer vornehmbar, oder es muß vom Besitzer des Motors eine Ablaßschraube eingebaut werden. Will man den Viertaktmotor aber längere Zeit, das kann schon ein Zeitraum von 3 ÷ 4 Wochen sein, stehen lassen, so ist auf alle Fälle ein Ausspülen des Kurbelgehäuses und des Nockentriebs mit Automotorenöl notwendig.

Die Glühkerzen haben in Viertaktmotoren auch keine unbegrenzte Lebensdauer. Nach 5 ÷ 10 Laufstunden kann solch eine Kerze so weit an der Glühwendel aus einer Platinlegierung geschwächt sein, daß der Glühwendeldraht bricht oder aus dem Kerzenkörper herausfällt. Eine lose im Brennraum liegende Kerzenwendel kann erhebliche Schäden am Kolben und an den Ventilen verursachen, daher ist zu empfehlen, nach je 5 Laufstunden des Motors eine neue Kerze in den Motor einzusetzen.

Ein richtig gewarteter und gepflegter Viertaktmodellmotor läuft, bis er eine Grundüberholung mit Tausch von Kolben, Zylinder und Lagern benötigt, über 50 Laufstunden. Vor dieser Laufzeit können höchstens Wälzlager als Ersatzteil anfallen, da diese Lager nur eine statistisch gesicherte Lebensdauer haben. Wenn vor dieser Laufzeit andere Teile am Motor ausgewechselt werden müssen, so ist die Ursache dafür sorgfältig zu erkunden und eventuell das Betriebsmittel Kraftstoff/Schmiermittel auf eine andere Sorte umzustellen.

6.4. Leistungsmessung

Die Hersteller von Modellmotoren geben die Leistung ihrer Produkte an. Aus werbetechnischen Gründen wird dazu die Leistung eines besonders gut gelungenen Stückes angegeben. In der Regel liegt die Leistung eines Serienmotors unter den Prospektangaben der Hersteller. Die im Anhang angegebenen Leistungen erreichten einzelne Serienexemplare auf dem Prüfstand. Es ist somit nur ein relativer Vergleich gegeben, und es kann das eigene Exemplar mehr oder weniger Leistung abgeben. Eine Streuung der Leistungswerte um + 20 % sind möglich, das bedeutet Drehzahlabweichungen bei gleichem Propeller von ± 10 %. Es interessiert nun den stolzen Besitzer eines solchen Viertaktmotors, dessen Leistung zu ermitteln. Dazu kann er die in den Leistungsdiagrammen gemachten Drehzahlangaben für bestimmte Propeller mit der Drehzahl seines Motors vergleichen.

In den Abb. 182 und 183 sind Leistungsdiagramme für zwei handelsübliche Kunststoffpropellerfamilien zusammengestellt. Meist sind die Propeller so genau gefertigt, daß die Leistung aus einer einfachen Drehzahlmessung mit diesen Propellern kaum mehr als 10 % streut. Zu beachten ist hierbei, daß der Propeller die Luft frei ansaugen kann und auch frei abbläst. Jedes Hindernis in der Luftströmung 1 m vor oder hinter dem Propeller wirkt sich verfälschend aus.

Sicherer ist die Methode über die Messung des Fundamentmomentes, wie es in meinem Buch „Modellmotoren“ beschrieben ist. Der Motor wird dazu drehbar gelagert, und über eine Waage wird das Moment gemessen. Die Abb. 184 zeigt den Motorenprüfstand des Autors, wobei eine Ladenwaage als Momentenanzeige verwendet wird. Die Leistung errechnet sich aus der Zahlenwertgleichung

$$P = M_d \cdot n \cdot \frac{1}{9550} \quad [\text{kW}]$$

M_d = Drehmoment in Nm.

n = Drehzahl in U/min.

Graupner: SUPER NYLON

(glasfaserverstärkt-grau)

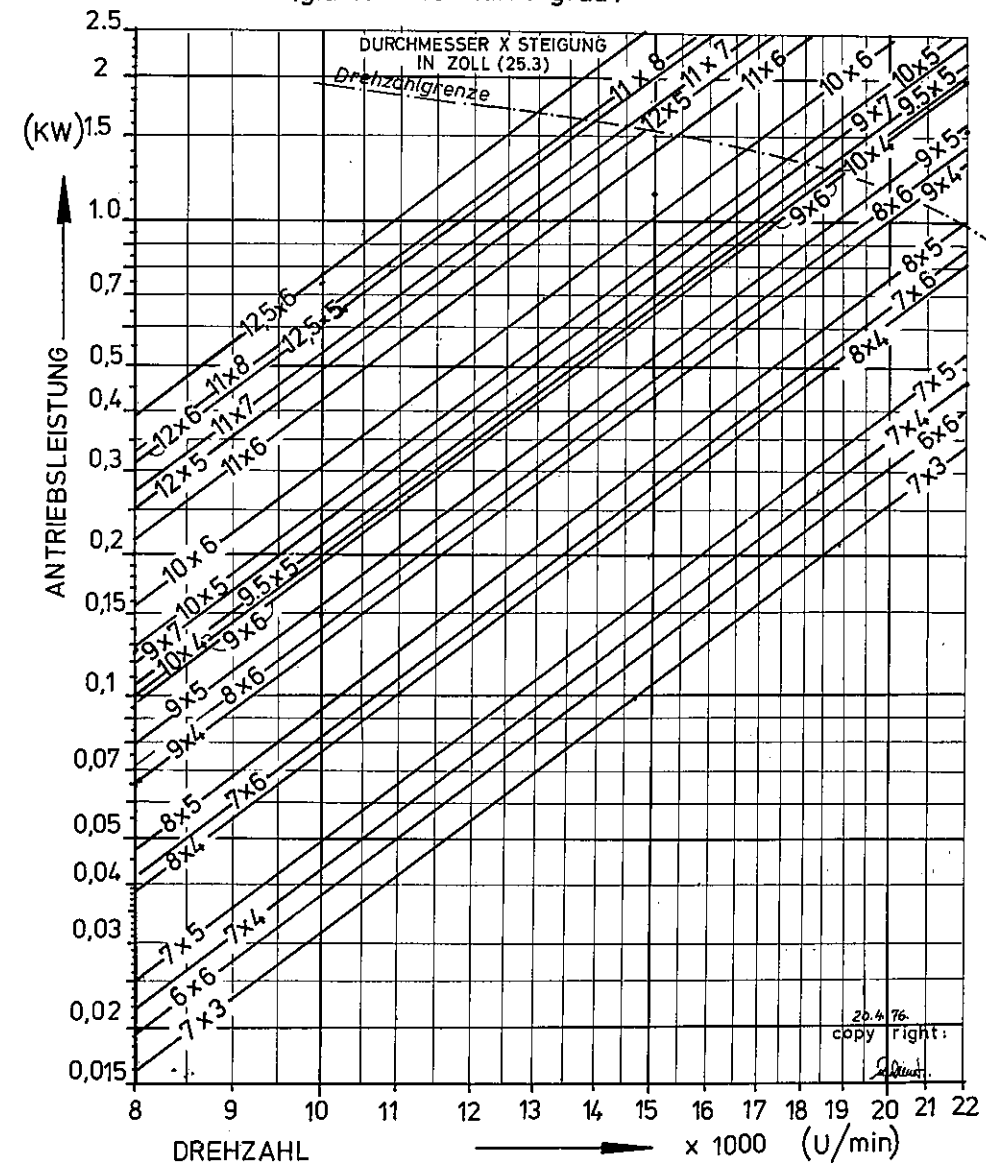


Abb. 182

Robbe: DYNAMIK -rot

(NYLON, glasfaserverstärkt)

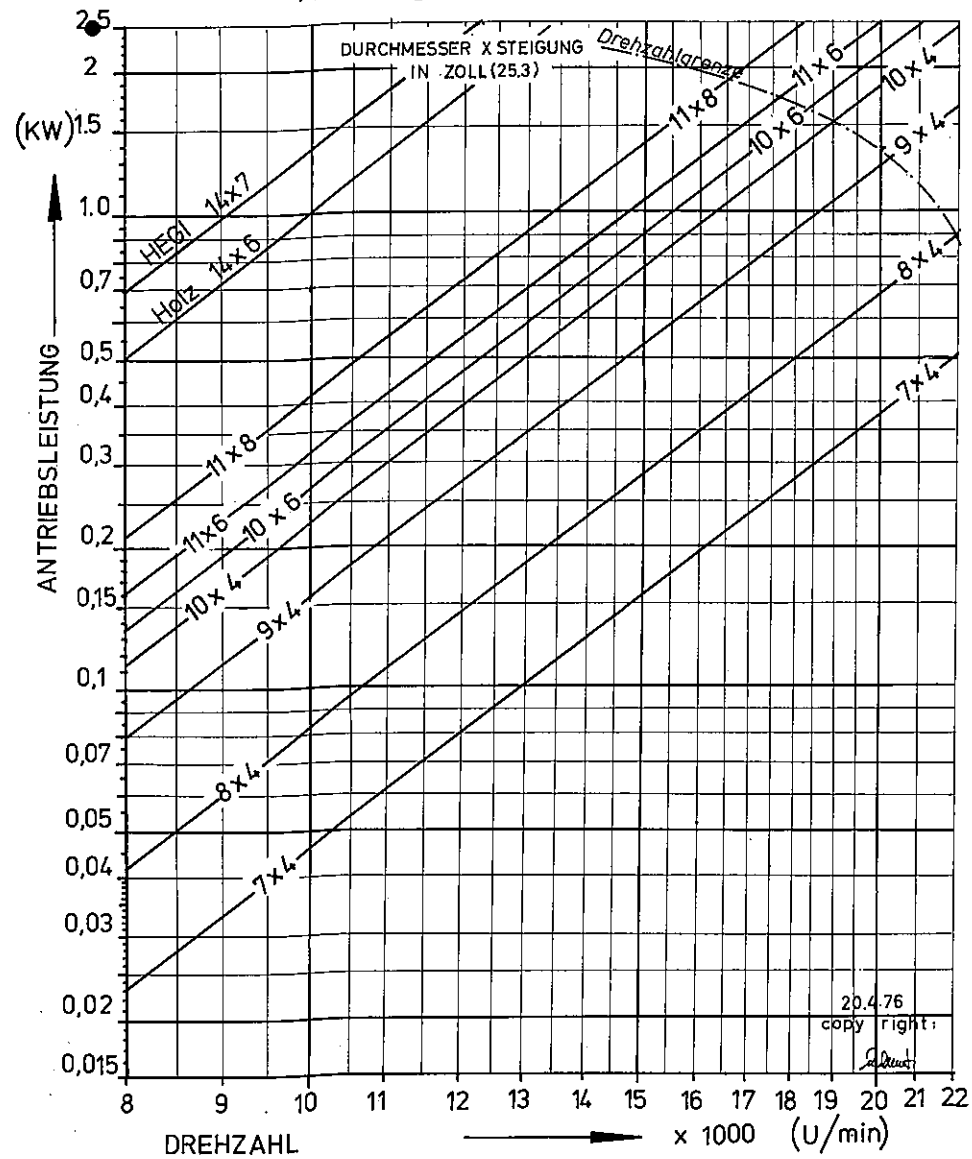
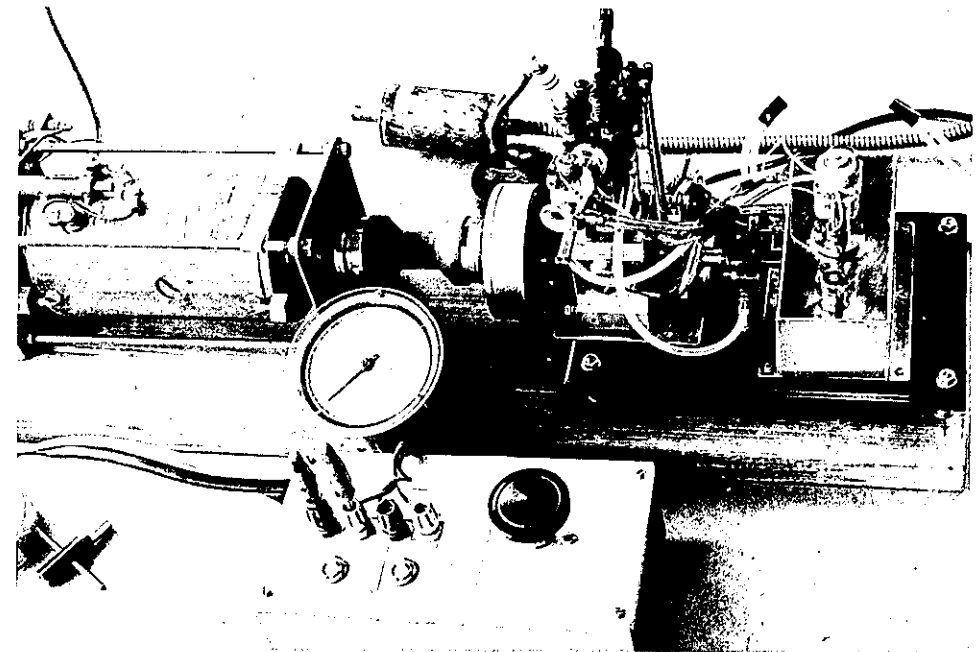
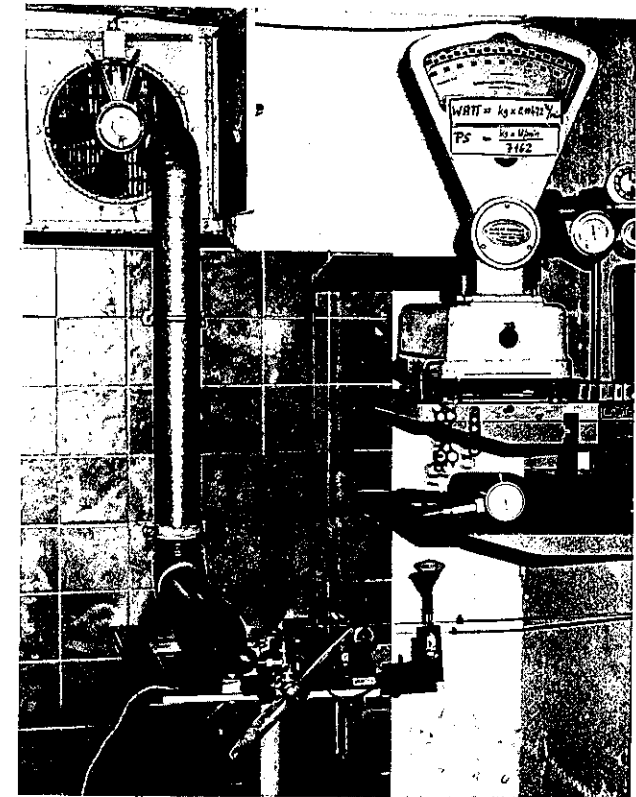


Abb. 183

Siehe rechte Seite:

Abb. 185: Prüfstand zur Leistungsermittlung an einem wassergekühlten Bootsmotor. Der Motor treibt eine Lichtmaschine aus einem Automobilmotor an. Die Lichtmaschine ist pendelnd gelagert, so daß das Motorabtriebsmoment gemessen werden kann. Leistungsvernichtung der Lichtmaschine in zuschaltbaren Regelwiderständen.

Abb. 184: Prüfstand zur Leistungsermittlung von Flugmotoren. Die Motoren werden durch unterschiedliche Propeller belastet und gebremst. Über die drehbare Aufhängung des Motors kann an der Waage das Drehmoment abgelesen werden. Die Leistung errechnet sich aus Drehzahl und Drehmoment.



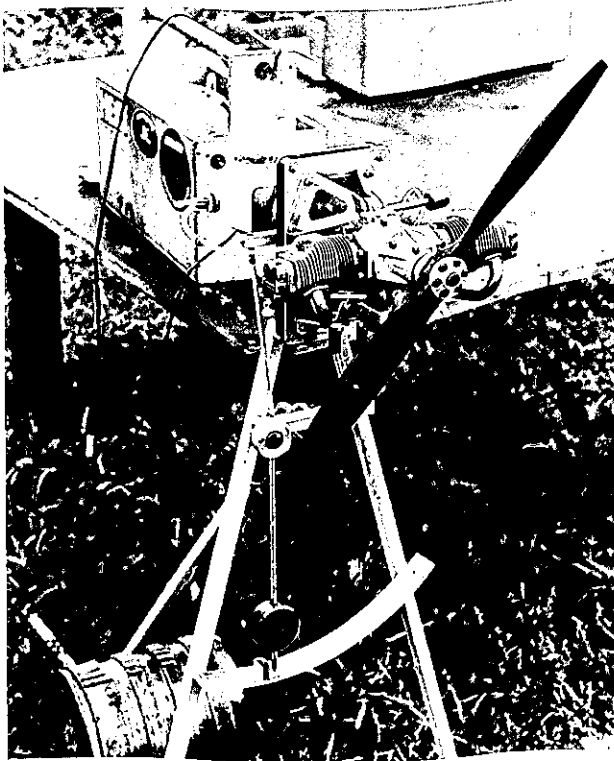


Abb. 186: Prüfstand zum Einlaufenlassen der Modellmotoren im Gelände. Über eine drehbare Aufhängung des Motors kann an einem Neigungsgewicht das Drehmoment abgelesen werden. Aus Drehmoment und Drehzahl kann die Leistung errechnet werden. Der gezeigte Prüfstand erlaubt ferner noch, den Propellerzug zu messen. Der montierte FK 50 Mark I zieht mit einem 20x8"-Propeller etwas über 100 N (~ 10 kp).

Das Drehmoment ist aus der Stützkraft $\times$ Hebelarm am drehbar gelagerten Motorfundament zu ermitteln. Die Stützkraft wird von der Waage angezeigt. Eine etwas andere Anordnung der Fundamentmomentmessung zeigt die Abb. 186. Hierbei wird als Kraftwaage ein Gewicht verwendet, das von dem drehbar gelagerten Motor über eine Hebelübersetzung und Ketten ausgelenkt wird. Diese Art des Prüfstandes ist für Prüfläufe im Freien durch die leichte Demontierbarkeit und einfachen Transport geeignet, allerdings ist die Momentenanzeige sehr grob und daher das Meßergebnis mit größeren Fehlern behaftet. In der Industrie wird ein Verbrennungsmotor auf dem Prüfstand durch eine Wasserwirbelbremse oder durch einen Pendelgenerator abgebremst. Diese Art einer Prüfeinrichtung für Modellmotoren zeigt die Abb. 185.

Als Bremsgenerator ist eine Lichtmaschine aus einem Volkswagen-Käfer verwendet worden, die über Widerstände in Laststufen belastet werden kann. Der Einfachheit halber wird die Leistung des Motors aus Stromstärke mal Volt unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades der Lichtmaschine errechnet. Genauer wäre eine pendelnde Lagerung der Lichtmaschine in zwei Kugellagern und die Messung des Lastmoments über eine Waage. Die Leistung eines Motors ist abhängig von Luftdruck, Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit. Im Großmotorenbau rechnet man die gemessene Leistung eines Motors auf eine Leistung bei 750 mm Hg Luftdruck, 15 °C Lufttemperatur und 65 % relative Luftfeuchtigkeit, um. Eine ähnliche Umrechnung ist bei Modellmotoren nicht ohne weiteres möglich. Hier wird einmal der Zündzeitpunkt durch Luftfeuchte und Lufttemperatur beeinflusst, ebenfalls spielt

die Luftdichte für das Bremsmoment der Luftschraube eine Rolle. Die nachstehenden Diagramme Abb. 187, 188 und 189 wurden speziell für Modellmotoren errechnet. Die Korrekturfaktoren zur Propellerdrehzahl stimmen gut überein mit Messungen an Motoren unter unterschiedlichen klimatischen Laufbedingungen. Wie man einfach mit Hilfe der Diagramme nachprüfen kann, zeigt an einem heißen Sommertag mit hoher Luftfeuchtigkeit an einem hochgelegenen Ort mit niedrigem Luftdruck der Motor mit Glühkerzenzündung tatsächlich eine beachtliche Minderleistung. Für Modelldieselmotoren sind nur die Temperatur und der Luftdruck von wesentlichem

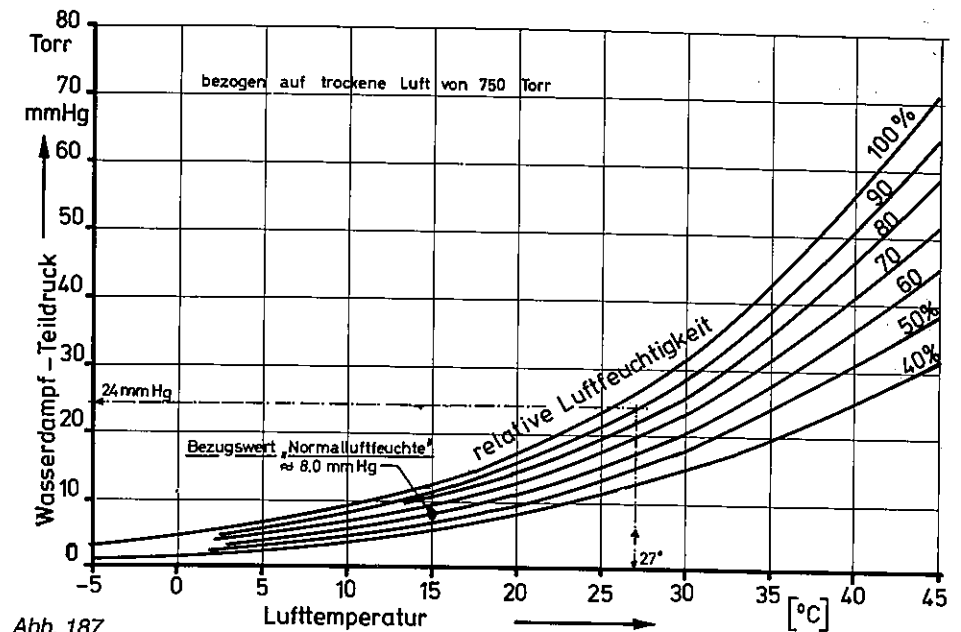


Abb. 187

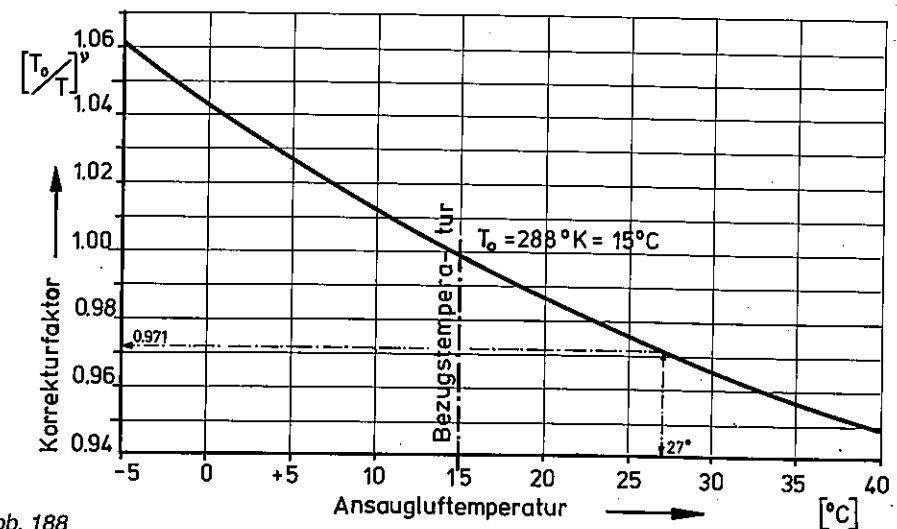


Abb. 188

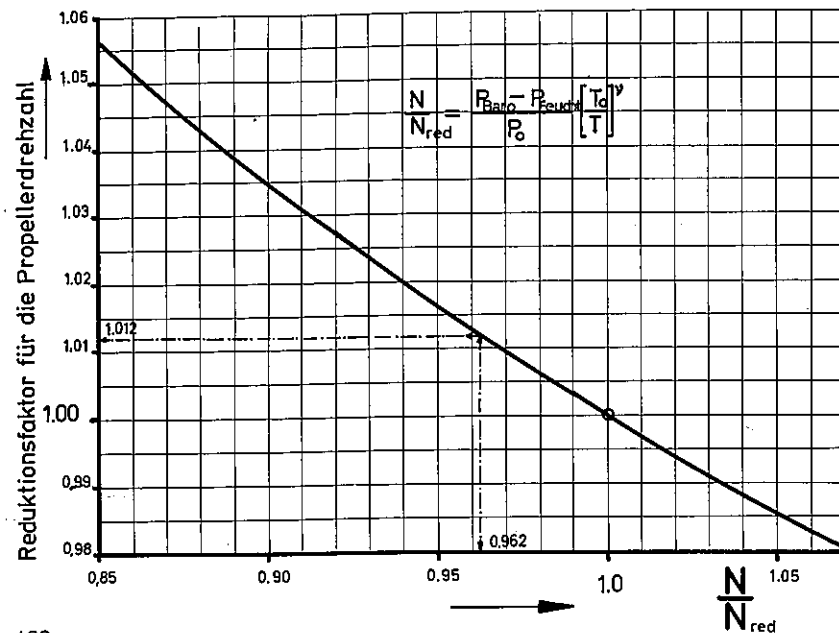


Abb. 189

Einfluß. Die Luftfeuchtigkeit hat bei Modelldieselmotoren erstaunlicherweise einen geringen Leistungseinfluß.

Anwendungsbeispiel der Diagramme Abb. 187, Abb. 188 und Abb. 189.

Ein Modellmotor wird getestet. Mit Propeller wird eine Drehzahl von 12000 U/min gemessen bei folgenden Testbedingungen:

Lufttemperatur 27 °C
Luftdruck 758 mm Hg
Luftfeuchte 90 %.

Gesucht wird die Vergleichsdrehzahl der gleichen Luftschraube mit dem Testmotor bei „Normal-Prüfbedingungen“, also bei 750 mm Hg und 15 °C mit 50 % Luftfeuchtigkeit.

1.) Aus Diagramm Abb. 187 folgt für 27 °C und 90 % Luftfeuchte ein Wasserdampfdruck von 24 mm Hg. Normalluftfeuchtigkeit wäre 8 mm Hg, so daß $24 - 8 = 16$ mm Hg Wasserdampfdruck als P_{Feuchte} abzuziehen wäre.

2.) Aus Diagramm Abb. 188 ergibt sich für den Temperaturkorrekturfaktor für 27 °C: 0,971.

3.) Aus diesen Werten errechnet sich die reduzierte Leistung, also die Leistung des Motors, bezogen auf die „Normalbedingungen“ zu:

$$\frac{N}{N_{\text{red}}} = \frac{P_{\text{Baro}} - P_{\text{Feuchte}}}{P_0} \cdot \left(\frac{T_0}{T} \right)^\gamma$$

$$= \frac{758 - 16}{750} \cdot 0,971 = 0,962$$

Dieses Ergebnis sagt schon aus, daß der Motor unter den Laufbedingungen mit 27 °C Lufttemperatur, 758 mm Hg Luftdruck und bei 80 % Luftfeuchtigkeit nur eine Leistung von

96,2 %,

bezogen auf die Leistung bei 750 mm Hg, 50 % Luftfeuchte und 15 °C, erreicht.

4.) Aus Diagramm Abb. 189 ergibt sich für diese Minderleistung ein Drehzahlfaktor von 1,012. Die Propellerdrehzahl bei „Normal-Prüfbedingungen“ wäre damit:

$$12000 \cdot 1,012 = 12144 \text{ U/min.}$$

6.5. Frisieren

Besitzt man einen Viertaktmodellmotor und treibt damit auch Modelle an, so kommt irgendwann der Wunsch, aus dem Motor noch mehr Leistung herauszuholen. An Zweitaktmotoren ist es mit den normalen Mitteln eines Modellbauers immer möglich, noch etwas an Leistung oder ein Mehr an Drehzahl durch Nacharbeiten an den Steuerschlitzten, Ansaugwegen, Vergasern und Resonanzschalldämpfern zu erreichen. An Viertaktmotoren ist dies dem Modellbauer nicht mehr so leicht möglich. Was kann man an dem Viertaktmotor verbessern?

Verbessern kann man die Frischgasfüllung im Ansaugtakt des Motors. Die Vergaser an den Viertaktmodellmotoren sind im Ansaugquerschnitt schon optimal vom Hersteller ausgewählt. Eine Vergrößerung des Ansaugtrichters im Vergaser, wie bei Zweitaktmotoren üblich, bringt keinen Zugewinn an Leistung aus einer besseren Zylinderfüllung mit Frischgas. Meist wird das Laufverhalten der Motoren sogar schlechter, da der große Vergaserquerschnitt in Vollgasstellung zu einem stark abgemagerten Gemisch führt.

Verbessernd wirkt sich aus, wenn der Ansaugkanal in der Länge abgestimmt wird. Man nutzt dabei einen dynamischen Aufladeeffekt aus, der durch die Massenträgheit des einmal im Ansaugkanal bewegten Gasgemisches entsteht. Diese Abstimmung kann man zweckmäßigerweise mit einem Schlauch als Ansaugrohr vornehmen, wobei man für eine Motordrehzahl von 10000 U/min zunächst eine Schlauchlänge von 200 mm zwischen Zylinderkopf und Vergaseraustritt einschaltet. Der Schlauch wird dann in Schnitten von jeweils 5 mm gekürzt, bis der Motor, immer mit gleichem Propeller und Kraftstoff betrieben, seine Höchstdrehzahl erbringt. Aus Erfahrung liegt die optimale Saugrohrlänge für 10000 U/min bei den meisten Viertaktmodellmotoren bei 80–90 mm, also meist länger, als vom Motorenhersteller die Saugrohrlänge vorgesehen wurde.

Die so ermittelte Ansaugrohrlänge, abgestimmt auf den dynamischen Ladeeffekt, kann dann als Metallrohr gleicher Länge montiert werden. Der Querschnitt des Rohres darf höchstens doppelt so groß sein wie der größte Ventilringspalt bei ganz geöffnetem Einlaßventil.

Um eine Kondensation des Kraftstoffes im Saugrohr zu vermeiden oder eine Eisbildung aus der Luftfeuchtigkeit heraus, ist das Saugrohr zu beheizen. Dazu kann man einmal die Ansaugluft aus der erwärmten Abluft hinter den Kühlrippen entnommen werden, oder es wird die Ansaugluft über dem heißen Abgaskrümmers angesaugt. Leider verliert man bei dieser einfachen Methode etwas wieder an Füllmenge, da das erwärmte Gemisch weniger Sauerstoff in der Raumeinheit beinhaltet. Günstiger ist, das Ansaugrohr direkt zu beheizen. Hierzu kann eine Abzweigung vom Abgaskrümmers, über die ein Teil des heißen Abgases geleitet wird, an das Saugrohr wärmeleitend hart angelötet werden, oder das Saugrohr wird an die Kühlrippen des

Motors wärmeleitend angeschlossen. Wie viel das Saugrohr zu heizen ist, muß ausprobiert werden. Ein Zuviel vermindert die Motorleistung, ein Zuwenig bringt nicht den erwünschten Effekt. Zum Trost sei gesagt, auch die Automobilindustrie hat wegen der notwendigen Saugrohrbeheizung viel Entwicklungsarbeit und Prüfelei zu leisten, bevor ein Automotor alltagstauglich wird. Bei einigen Automotoren wird neben der Abgasbeheizung des Saugrohres oder Beheizung aus dem Kühlwasser heraus noch die Ansaugluft, gesteuert durch Klappen, entweder über dem Abgaskrümmer erwärmt, oder frei, nicht vorgewärmt, angesaugt. Bei Modellmotoren ist auch solch ein Klappenmechanismus, gekoppelt mit dem Drosselkükken oder thermostatisch, denkbar.

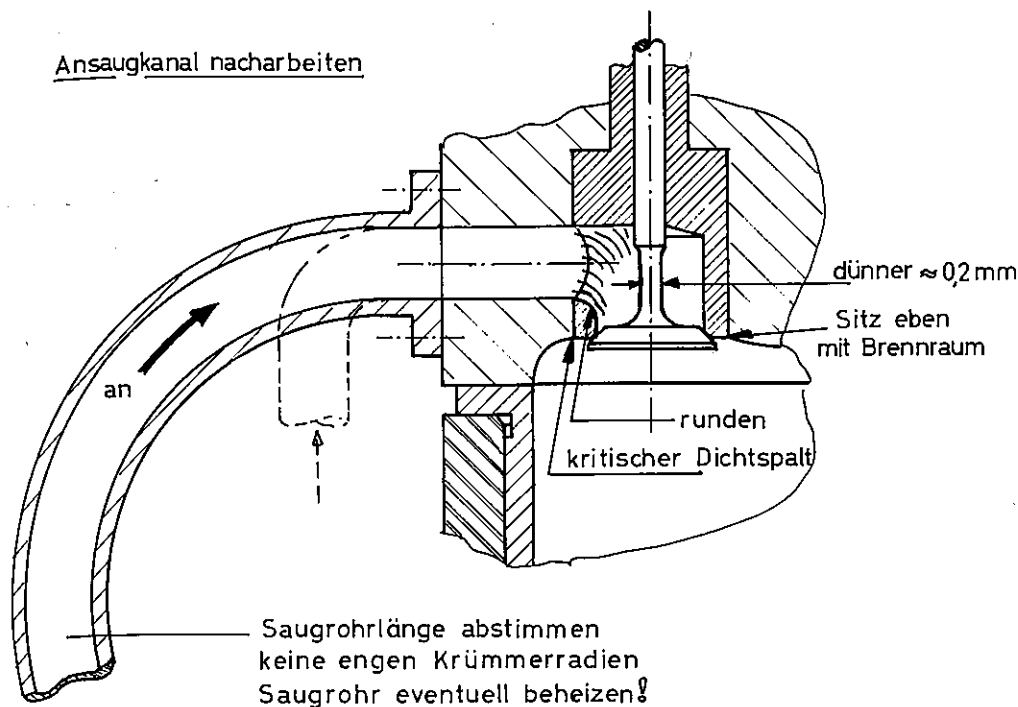


Abb. 190

Eine weitere Verbesserung bringt eine Abrundung der Ecken und Kanten des gebohrten Ansaugkanales im Zylinderkopf, wie es die Abb. 190 zeigt. Diese Arbeit ist mit kleinen Fräsern im Zahnarztformat sorgfältig durchzuführen. Sicherheitshalber ist danach das Ventil auf dem Sitz neu einzuschleifen.

Am Ventil sollte man den Ventilschaft außerhalb der Führung um 0,2 mm dünner schleifen. Wichtig ist hierbei, daß eine scharfe Kante entsteht zu dem Schaftteil, der noch in der Führung läuft. Ebenfalls sollte eventuell über den Ventilsitz vorstehendes Material des Zylinderkopfes oder der Ventiltasse abgeschabt werden. Zu prüfen ist die Lage der Glühkerze. Die Glühkerze sollte möglichst eben mit dem Zylinderkopf auf der Brennraumseite abschließen. Eine zu tief im Zylinderkopf liegende Kerze kostet etwas Spitzenleistung, bringt aber zuverlässigeren Leerlauf. Eine in den Brennraum vorstehende Glühkerze ist meist nachteilig in allen Drehzahlbereichen.

An der Steuerung des Motors kann man nichts verbessern, außer, daß die bewegten Massen an Kipphebeln, Stoßstangen und Stößeln so leicht wie möglich gemacht werden. So kann man an einigen Motorenfabrikaten die Kipphebel durch seitliches Befestigen erleichtern oder Rohrstoßstangen einbauen. Diese Maßnahmen machen aber nur den Ventiltrieb mit der gegebenen Ventildfeder für höhere Drehzahlen geeigneter, das sind dann Drehzahlen über 12000 U/min.

Eine Änderung der Nockenwelle oder der Ventildfeder bringt keine Mehrleistung. Durch geänderte Steuerzeiten der Nocken kann die Charakteristik der Motorleistung, also das Leistungsmaximum, um einige Umdrehungen pro Minute höher oder tiefer verlegt werden. Erheblich ändern sich bei einer Steuerzeitenänderung, vor allem einer Änderung der Ventilüberschneidung, der Kraftstoffverbrauch und die Leerlaufdrehzahl. Kleine Ventilüberschneidung bringt einen besseren Leerlauf, große Ventilüberschneidung einen höheren Kraftstoffverbrauch.

Die Reibungsverluste im Motor sollten so klein wie möglich sein. Dazu ist die Leichtigkeit der Pleuellagerung und des Pleuentriebes zu prüfen.

Eine Drehzahlsteigerung und damit Leistungssteigerung eines Viertaktmotors über die Drehzahlgrenze des Serienmotors hinaus würde eine völlige Umgestaltung des Zylinderkopfes, der Pleuellagerung und des Pleuentriebes, der Ventilanordnung und Ventilgröße bedingen. Dies übersteigt meist die Möglichkeiten eines Bastlers und Mechanikers. Aber vielleicht bieten in nicht allzu ferner Zukunft Tuningfirmen für Modellmotoren mit Viertaktsteuerung ihre Dienste an, wie es sie für Zweitaktmodellmotoren schon gibt. Jeder Motorenbesitzer, der seinen Motor verbessern will, sollte sich überlegen, ob er genügend handwerkliches Geschick hat, bevor er zerspannend an Motorenteile geht. Meist wird bei diesen Arbeiten die Leistung des Motors nicht verbessert, sondern verbösert, und der Motor ist nach solchen Arbeiten Schrott. Diese Warnung sei am Schluß dieses Kapitels ausgesprochen. Was und wie man vorgeht und mit welchen Risiken, dürfte klar sein.

Viel Freude wünsche ich allen Meistern des Modellmotorentunings mit den hoffentlich verbesserten Viertaktmodellmotoren.

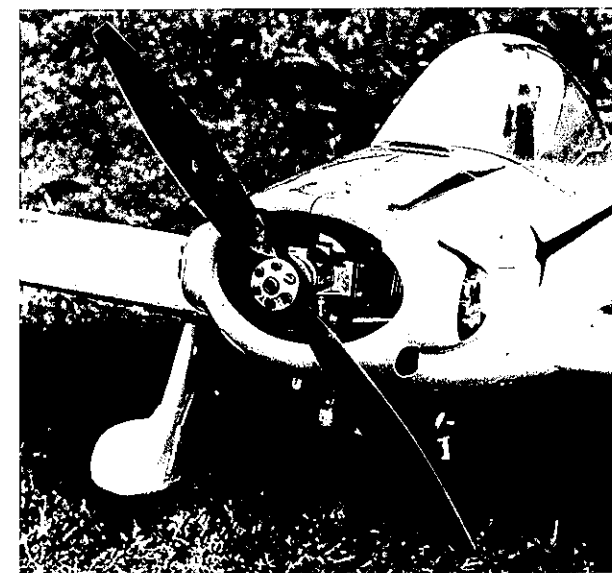
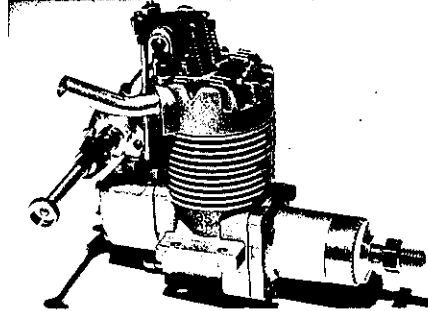


Abb. 191: Ein für den Start vorbereitetes Flugmodell. Motor-aufhängung, Befestigung von Tragflügel und Fahrwerk sowie Funkfernsteuerung sind überprüft.

7. Leistungsdiagramme und Kurzbeschreibungen

ENYA 35-4C

Viertaktmotor



Hersteller: ENYA Metal Products Co. Ltd, Tokyo/Japan

Vertrieb: Robbe-Modellbau, Grebenhain

Service: Robbe-Modellbau, Grebenhain

Allgemeines: Der Motor ist der erste Viertaktmotor des Herstellers. Dieser Motor baut niedrig und stellt mit seinen beiden Nockenwellen eine unübliche Bauart dar.

Kurbelgehäuse: Zentrales Kurbelgehäuse aus Aludruckguß. Das Lagergehäuse für die Kurbelwelle sowie das Gehäuse für den Nockentrieb werden angeflanscht.

Kurbelwelle: Stahl gehärtet und geschliffen, gut gewuchtet.

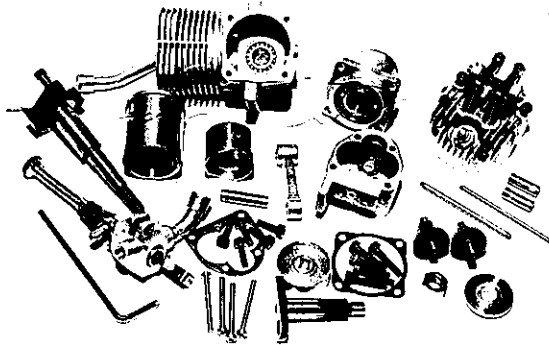
Nockenwelle: Zwei einzelne Nockenwellen aus Stahl gehärtet und kopiergefräst. Nockenwellen in Bronzelagern gelagert.

Lagerung: Kurbelwelle in zwei Rillenkugellagern, Antriebsritzel für die Nockenwelle ebenfalls in zwei Rillenkugellagern.

Pleuel: Geschmiedet und zerspanend nachgefräst. Bronzebüchse an den Lagerstellen.

Kolben: Leichtmetallkolben aus übereutektischem Silumin ganzzerspanend hergestellt.

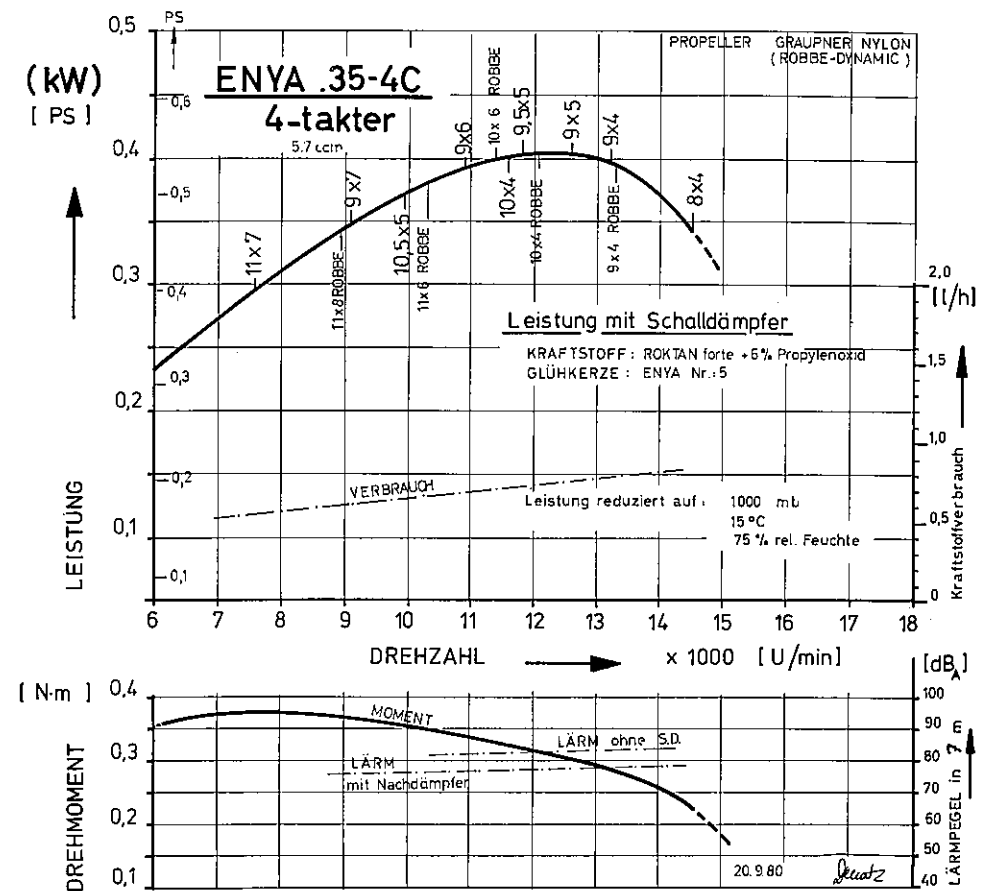
Zylinder: Aluminiumzylinder mit innen Hartchrom



- Zylinderkopf: Leichtmetalldruckguß und aufgeschraubte Kipphebelbrücke. Ventile nach hinten geneigt.
- Ventile: Warmfester Stahl, gedreht. 45° Sitzwinkel. Kegelsicherungsring zum Halten der Federplatte.
- Vergaser: Drosselvergaser mit Zusatzluftöffnung für das Leerlaufgemisch. Vergaser unten am Gehäuse angeflanscht.
- Laufverhalten: Motor springt mäßig gut von Hand an. Zuverlässiger Lauf, wenig Vibrationen. Nockentrieb ist drehzahlfest bis 15000 U/min. Es werden heiße Glühkerzen benötigt.

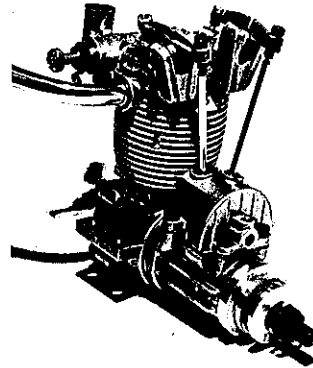
Technische Daten:

Bohrung:	20,80 mm Ø
Hub:	17,12 mm
Hubraum:	5,817 ccm
Leistung:	406 Watt bei 12400 U/min
Hubraumleistung:	69,75 kW/Liter
Ventilüberschneidung:	40° KW
Ventildurchmesser:	8,2 mm Ø
Gewicht:	339 g
Drehzahlbereich:	1900-15 000 U/min



SAITO FA-30; SAITO FA-40

Viertaktmotoren



Hersteller: Saito Seisakusho Ltd, Ichikawa-Shi, Japan

Vertrieb: Simprop Electronic, Harsewinkel

Service: Aeronaut Eggenweiler, Reutlingen
Simprop Electronic, Harsewinkel

Allgemeines: Als erster Motor wurde von dem Hersteller, bis dahin als Hersteller von Dampfmaschinen bekannt, der Saito FA 30 mit 5,0 ccm Hubraum gebaut. Kurz darauf wurde der Saito FA 40 vorgestellt, der eine etwas andere Konzeption hatte.

Kurbelgehäuse: Beim FA 30 ein einteiliges Kurbelgehäuse aus Aluminiumdruckguß. Nockenwellengehäuse über der Kurbelwelle aufgesetzt. Beim FA 40 ist der Zylinder auf das Grundgehäuse aufgeflanscht.

Kurbelwelle: Stahl gehärtet und geschliffen. Nockenwellenantrieb als Zahnradritzel aufgestiftet.

Nockenwelle: Nockenwelle aus Einzelnocken eines Profils auf Lagerrohr aus Bronze aufgeschoben und verstiftet. Nocken sind nitriergehärtet.

Lagerung: Kurbelwelle in Rillenkugellager genormter Größe. Nockenwelle und Pleuel mit Gleitlagern.

Pleuel: Geschmiedeter Leichtmetallpleuel mit zwei Bronzelagerbüchsen.

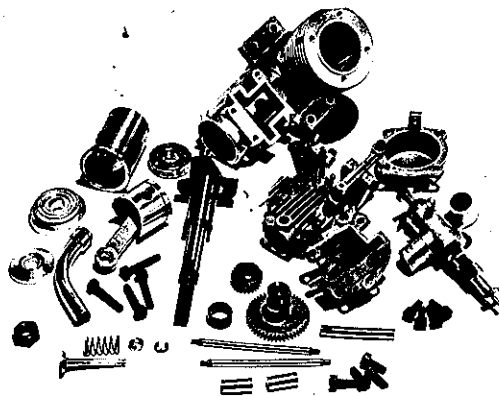
Kolben: Siluminkolben gegossen und mit Nickel vergütet. Geschliffen und mit Ölhalterille am Feuersteg.

Zylinder: Beim FA 30-Motor ein Bronzestrom mit innen Hartchrom, beim FA 40 ist der Druckgußzylinder aus Aluminium innen direkt hart verchromt.

Ventile: Schräg hängende Ventile über Kipphebel und Stoßstangen angetrieben. Ventile aus warmfestem Stahl.

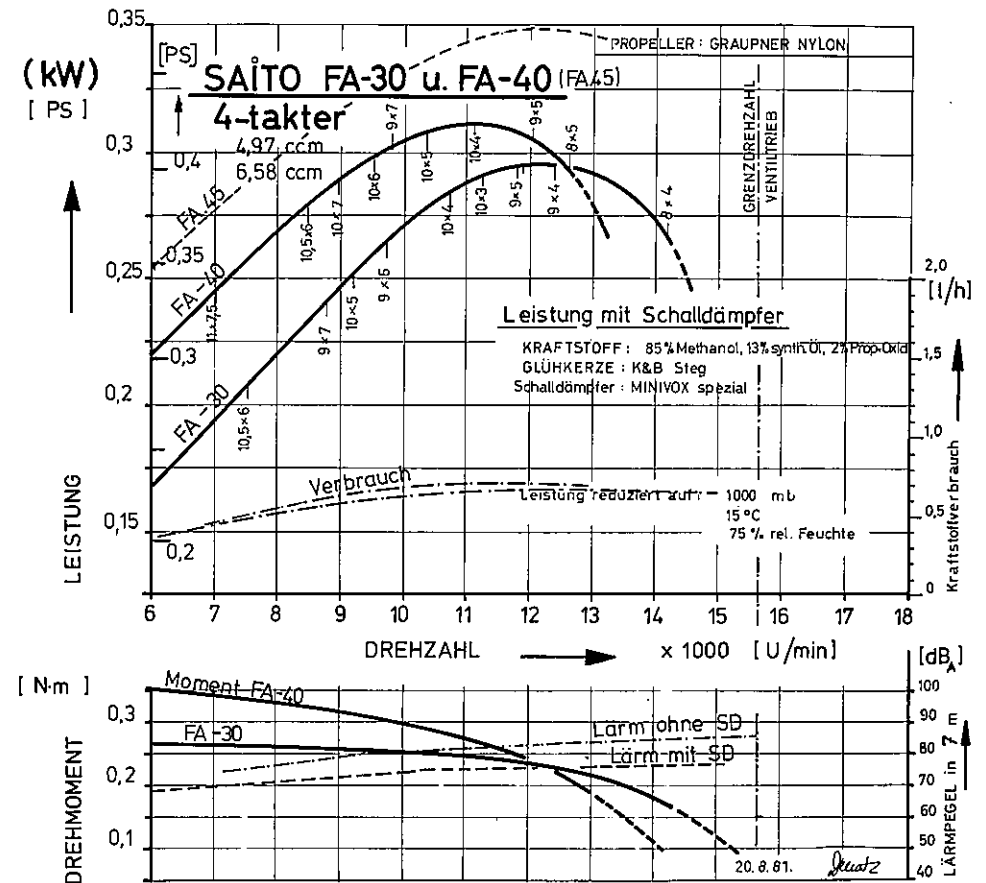
Vergaser: Drosselvergaser beim FA 30 oben am Zylinderkopf liegend, beim FA 40 mit Saugrohr unten am Gehäuse angeschraubt. Zweinadelvergaser mit axial schiebenden Drehküken.

Laufverhalten: Motor springt etwas schwer von Hand an. Vergaser ist empfindlich in der Einstellung. Richtig eingestellter Motor läuft sehr zuverlässig und kraftvoll. Geringer Kraftstoffverbrauch.



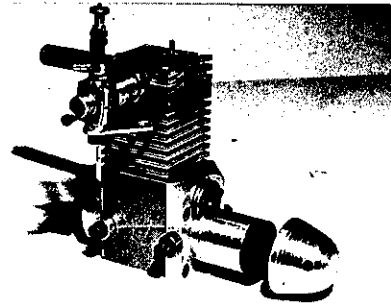
Technische Daten:

	FA-30	FA-40
Bohrung:	19,3 mm Ø	21,0 mm Ø
Hub:	17,00 mm	19,0 mm
Hubraum:	4,97 ccm	6,58 ccm
Leistung:	292 Watt	315 Watt
Hubraumleistung:	58,75 kW/l	47,7 kW/l
Ventilüberschneidung:	98° KW	85° KW
Ventildurchmesser:	7,0 mm Ø	7,0 mm Ø
Gewicht:	324 g	354 g
Drehzahlbereich:	2300-13 000 U/min	



DYLLA-4-Takt

Viertaktmotor



Hersteller: Dylla u. Rosner, Feldkirchen

Vertrieb: Dylla, Feldkirchen

Service: Dylla, Feldkirchen

Allgemeines: Der Motor wurde von einem jungen Ingenieur entwickelt. Er ist mit dem rotierenden Zylinder eine ungewöhnliche Lösung für einen Viertaktmotor mit Schiebersteuerung. Der Motor wird in Kleinserie gebaut.

Kurbelgehäuse: Ganz zerspanend aus Aluminium hergestellt. Kühlrippen und Lagergehäuse, ebenfalls ganz zerspanend hergestellt, angeflanscht.

Kurbelwelle: Stahlkurbelwelle vergütet, mit eingesetztem Kurbelzapfen.

Schieber: Zylinder mit flachem Boden als Schieber rotierend im Kühlrippenteil. Steuerbohrung im flachen Boden des Zylinders.

Lagerung: Kurbelwelle zweifach in Rillenkugellagern gelagert. Sonst alle Lager als Gleitlager.

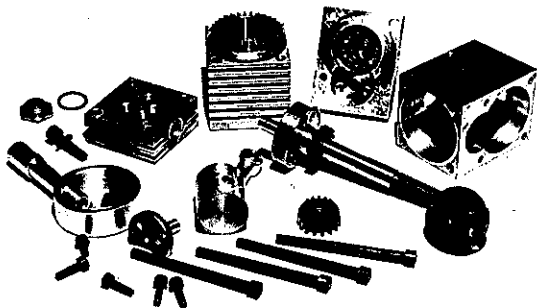
Pleuel: Gedrehtes Leichtmetallpleuel mit Lagerbuchsen aus Bronze.

Kolben: Kolben und L-Kolbenring von HB-Zweitaktmotor aus Aluminium-Silizium-Werkstoff.

Zylinder: Stahlzylinder vergütet, gedreht und geläppt.

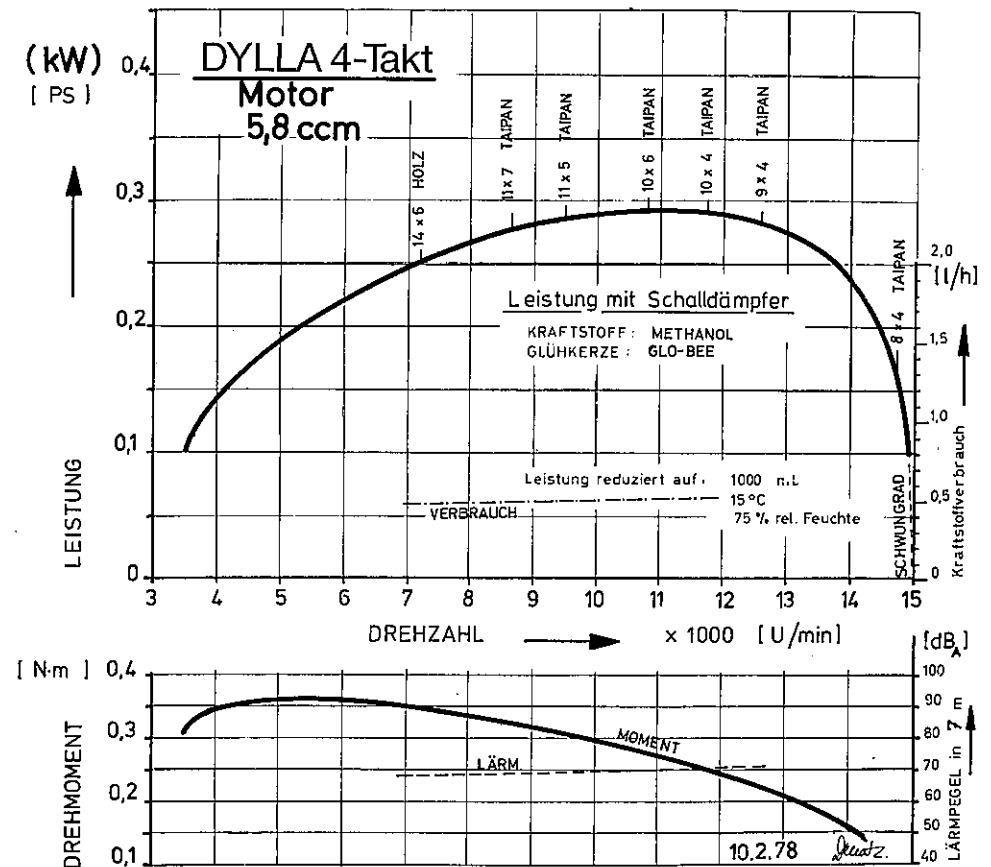
Vergaser: Perryvergaser oder OS-Vergaser eines 3,2-ccm-Zweitaktmotors.

Laufverhalten: Motor springt gut von Hand an. Gleichmäßiger Lauf. Um Ölkohleablagerungen zu vermeiden, muß der Motor mit synthetischem Schmierölanteil im Kraftstoff betrieben werden. Als Glühkerze kann jede Glühkerze verwendet werden.



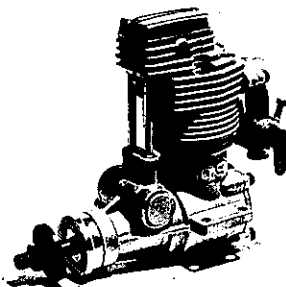
Technische Daten:

Bohrung:	20,00 mm Ø
Hub:	18,70 mm
Hubraum:	5,874 ccm
Leistung:	290 Watt
Hubraumleistung:	49,37 kW/Liter
Gewicht:	506 g
Drehzahlbereich:	3000-15 000 U/min



OS-Max-FS 40

Viertaktmotor



Hersteller: Ogawa Model Mfg. Co. Ltd, Osaka/Japan

Vertrieb: Graupner, Kirchheim

Service: Graupner, Kirchheim

Allgemeines: Der Motor ist der zweite Viertaktmotor des Herstellers und berücksichtigt die neuesten Erkenntnisse der Motorentechnik und der Fertigung. Der Ventiltrieb ist vollständig gekapselt. Ventilspiel-einstellung über Feingewindeschraube mit Kontermutter.

Kurbelgehäuse: Einteiliges Kurbelgehäuse aus Aluminiumdruckguß. Das Nockenwellengetriebe ist angegossen.

Kurbelwelle: Stahl gehärtet und geschliffen.

Nockenwelle: Stahl gehärtet und kopiergefräst. Antrieb über Schraubenradtrieb. Nockenwelle auch für Linkslauf lieferbar sowie für Rechtslauf.

Lagerung: Kurbelwelle in zwei Rillenkugellagern. Nockenwelle ebenfalls in zwei Normrillenkugellagern.

Pleuel: Vorgeschmiedetes Leichtmetall, allseitig zerspanend bearbeitet.

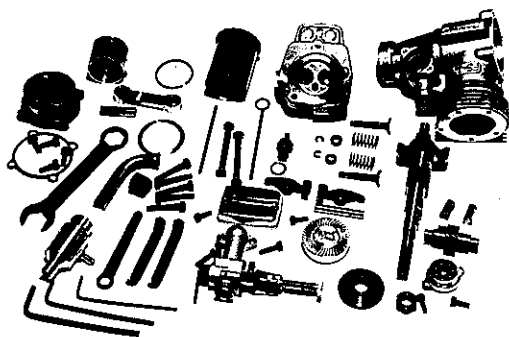
Kolben: Leichtmetallkolben aus Silumin geschmiedet. Ein Rechteckkolbenring.

Zylinder: Stahl gehärtet und gehont. Hartnickelbeschichtung.

Ventile: Kegelventile mit 45° Sitzwinkel aus wärmebeständigem Stahl. Ventilführung in Bronzetassen. Sondersicherungsring für Ventilsicherungsplatte.

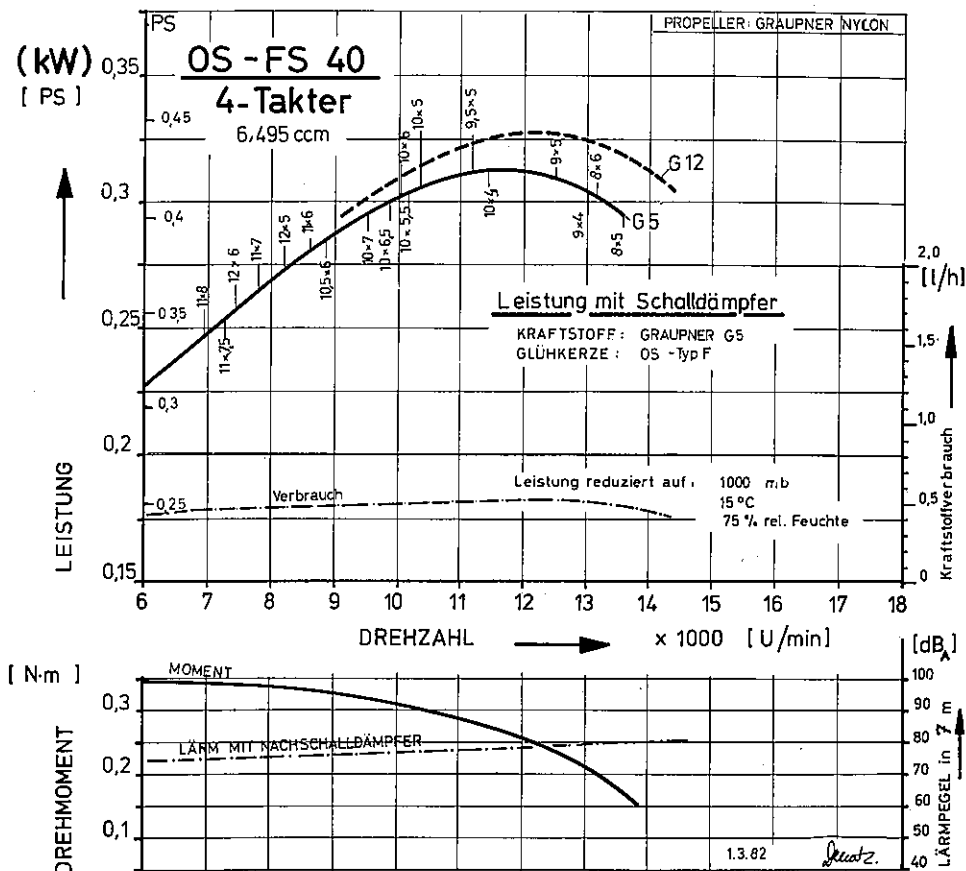
Vergaser: Drosselvergaser mit Zusatzluftöffnung für Leerlaufmischgemisch. Vergaser liegt frei hinter dem Motor. Keine Gemisch- und Vergaservorwärmung.

Laufverhalten: Motor springt von Hand an. Läuft sehr zuverlässig ohne Absteller auch bei Gemischabmagerung. Der Motor benötigt eine Sonderglühkerze und möglichst über 12 % Nitromethan im Kraftstoff.



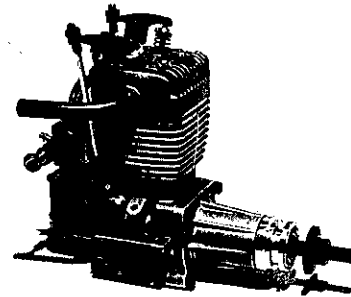
Technische Daten:

Bohrung:	21,20 mm Ø
Hub:	18,40 mm
Hubraum:	6,495 ccm
Leistung:	326 Watt bei 12200 U/min
Hubraumleistung:	50,15 kW/Liter
Ventilüberschneidung:	106° KW
Ventildurchmesser:	7,2 mm Ø
Gewicht:	342 g
Drehzahlbereich:	2000-14 000 U/min

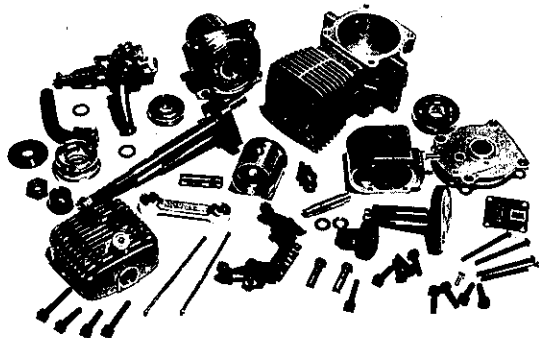


KALT FC-1

Viertaktmotor

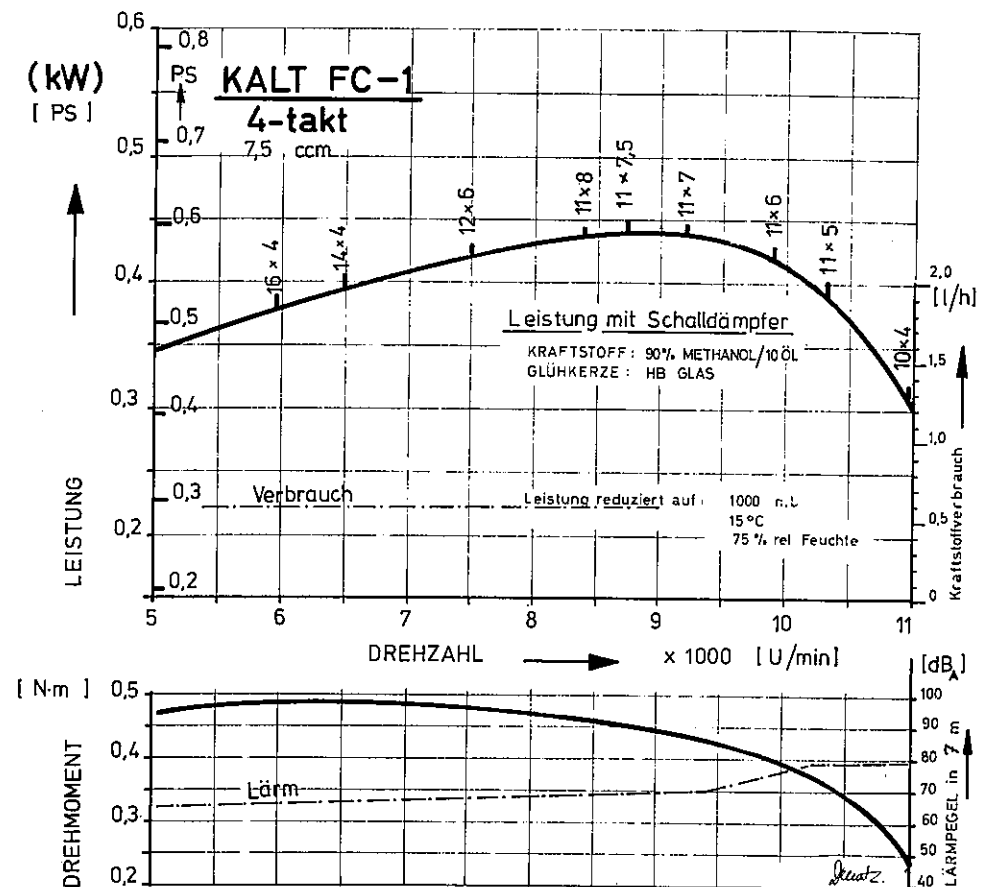


Hersteller:	Kalt Sangyo Co. Ltd, Japan
Vertrieb:	Multiplex, Niefern
Service:	Multiplex, Niefern
Allgemeines:	Der Motor ist der erste Motor des Herstellers. Für kleinere Flugmodelle gedacht als Ersatz der Elektromotoren. Sehr geringes Laufgeräusch.
Kurbelgehäuse:	Zweiteiliges Kurbelgehäuse mit angeflanschem Lagerteil und aufgesetztem Gehäuse für den Nockentrieb.
Kurbelwelle:	Stahl gehärtet und geschliffen.
Nockenwelle:	Stahl gehärtet und kopiergefräst, mit Zahnrad vernietet.
Lagerung:	Kurbelwelle in zwei Rillenkugellagern, ein Kugellager zur Lagerung des Antriebsritzel der Nockenwelle. Gleitlager an Nockenwelle und Pleuel in Bronzebüchsen.
Pleuel:	Aluminium geschmiedet und an beiden Enden mit Bronze ausgebüchst.
Kolben:	Leichtmetallkolben aus Silumin. Ein Kolbenring mit Rechteckquerschnitt.
Zylinder:	Stahl gehärtet, geschliffen und gehont. Im Kurbelgehäuse warm eingepreßt.
Zylinderkopf:	Aluminiumdruckguß mit eingesetzten Ventiltassen aus Bronze.
Ventile:	Warmfester Stahl mit Sitzwinkel 45°. Kipphebel geschmiedet und in Brücke aufgeschraubt.
Vergaser:	Einfacher Drosselvergaser mit Zusatzluftöffnung für den Leerlauf.
Laufverhalten:	Sehr leicht von Hand anspringender Motor mit guten Laufeigenschaften. Geringer Kraftstoffverbrauch und angenehmes Geräusch. Als Glühkerze sollte eine Viertakt-Glühkerze verwendet werden. Nitromethan bis 20 % im Kraftstoff ist zu empfehlen, ebenso 3-5 % Propylenoxid.



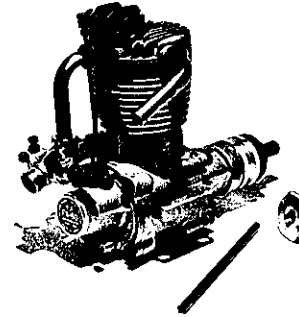
Technische Daten:

Bohrung:	22,00 mmØ
Hub:	19,00 mm
Hubraum:	7,48 ccm
Leistung:	440 Watt bei 9000 U/min
Hubraumleistung:	59,0 kW/Liter
Gewicht:	527 g
Drehzahlbereich:	1500-11 000 U/min



OS-Max-FS 60

Viertaktmotor



Hersteller: Ogawa Model Mfg. Co. Ltd, Osaka/Japan

Vertrieb: Graupner, Kirchheim

Service: Graupner, Kirchheim

Allgemeines: Der Motor ist der erste Viertaktmotor des Herstellers. Er hat obenliegende, hängende Ventile, die leicht nach hinten geneigt sind. Antrieb der Ventile über massive Stoßstangen und Kipphebel. Ventilspiel-einstellung am Kipphebel über Feingewindeschrauben mit Kontermutter.

Kurbelgehäuse: Zentrales Kurbelgehäuse aus Aluminium-Druckguß. Das Kurbelwellenlagergehäuse ist angeflanscht.

Kurbelwelle: Stahl gehärtet und geschliffen.

Nockenwelle: Stahl gehärtet und geschliffen.

Lagerung: Kurbelwelle in zwei Rillenkugellagern. Nockenwelle und Ritzelwelle ebenfalls in je zwei Rillenkugellagern in Sonderabmessung.

Pleuel: Aluminium vorgeschmiedet und zerspanend nachgearbeitet. Bronzelager an beiden Pleuellaugen.

Kolben: Leichtmetallkolben aus Silumin geschmiedet. Ein Rechteckkolbenring.

Zylinder: Gehärteter Stahl, gehont und innen mit Hartnickel beschichtet.

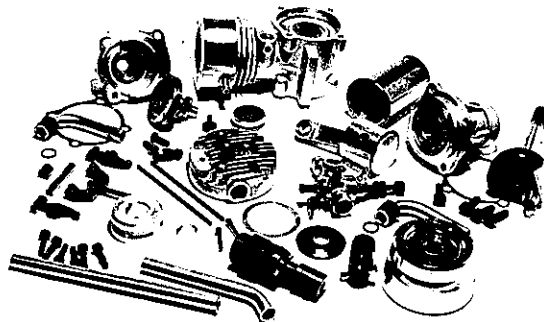
Zylinderkopf: Leichtmetalldruckguß. Ventilassen aus Bronze in den Kopf eingepreßt. Gaskanäle gebohrt.

Ventile: Kegelventile mit 45° Sitzwinkel aus wärmebeständigem Vergütungsstahl. Ventilführung in Bronze-ventilassen. Sondersicherungsring für Ventilsicherungsplatte.

Vergaser: Drosselvergaser mit Zusatzluftöffnung für Leerlaufmischgemisch. Vergaser ist in Sackloch im Kurbelgehäuse. Kaum Gemisch und Vergaservorwärmung.

Laufverhalten: Motor springt von Hand an. Läuft sehr zuverlässig, wenn auch ab und zu unergründliche Absteller auftreten. Als Glühkerze muß eine Sondertypen verwendet werden. Motor benötigt mindestens 12 % Nitromethan im Kraftstoff. 5 % Propylenoxid für Leerlauf ist empfehlenswert.

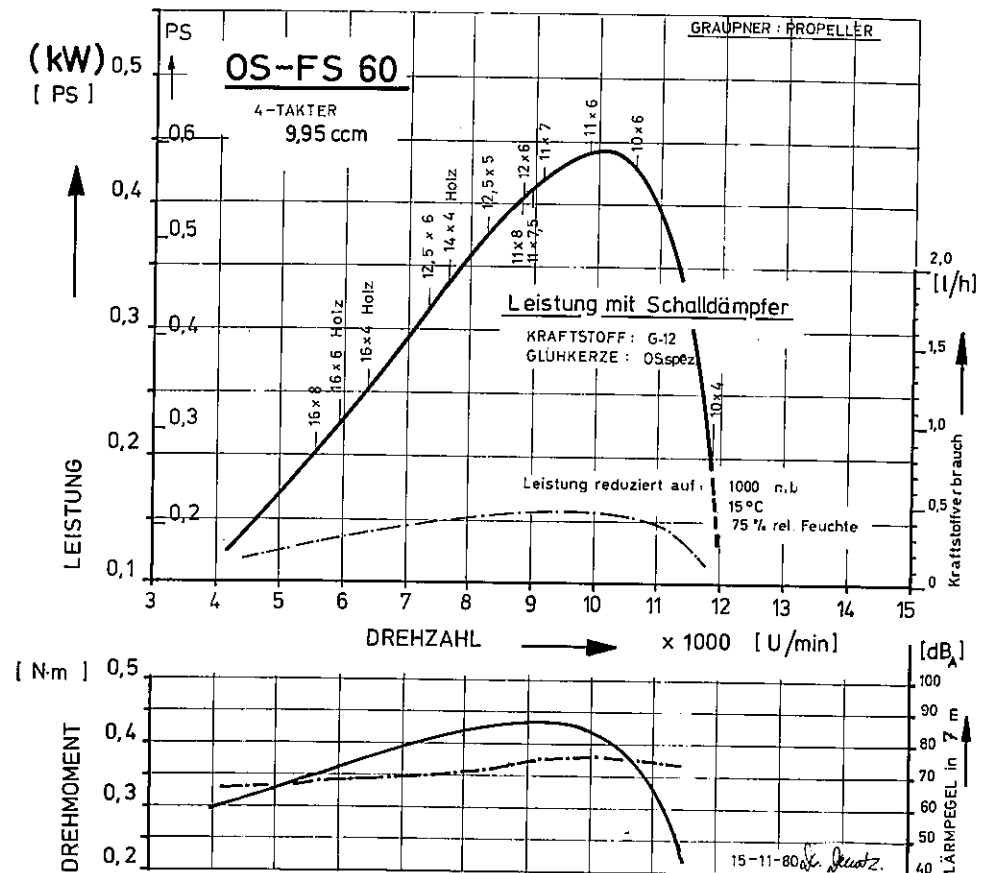
Oben: Ansicht des OS-FS-60-Viertaktmodellmotors in der Bauausführung von 1980.



Einzelteile des OS-FS-60-Viertaktmotors. Hier als Bootsmotor mit Wasserkühlmantel.

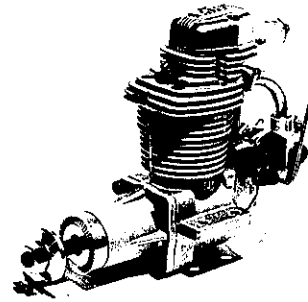
Technische Daten:

Bohrung:	24,00 mm Ø
Hub:	22,00 mm
Hubraum:	9,95 ccm
Leistung:	440 Watt bei 10 200 U/min
Hubraumleistung:	44,22 kW/Liter
Ventilüberschneidung:	16° KW
Ventildurchmesser:	9,0 mm Ø
Gewicht:	595 g
Drehzahlbereich:	2500–12 000 U/min



ENYA 60-4C

Viertaktmotor



Hersteller: ENYA Metal Products Co. Ltd, Tokyo/Japan

Vertrieb: Robbe-Modellbau, Grebenhain

Service: Robbe-Modellbau, Grebenhain

Allgemeines: Der Motor ist der dritte Viertaktmotor des Herstellers. Dieser Motor ist mit ganz geschlossenem Ventiltrieb und optimiertem Brennraum eine der modernsten Viertakt-Modellmotorenkonstruktionen.

Kurbelgehäuse: Zentrales Kurbelgehäuse aus Aluminiumdruckguß. Das Lagergehäuse für die Kurbelwelle sowie das Gehäuse für die beiden Nockenwellen wird angeflanscht.

Kurbelwelle: Stahl gehärtet und geschliffen, optimal gewuchtet.

Nockenwelle: Zwei Nockenwellen aus Stahl gehärtet und kopiergefräst. Nockenwelle in Bronzelagern gelagert.

Lagerung: Kurbelwelle und Antriebsritzel der Nockenwelle je in zwei Rillenkugellagern.

Pleuel: Aluminium geschmiedet und an beiden Lagerstellen mit Bronzebüchsen versehen.

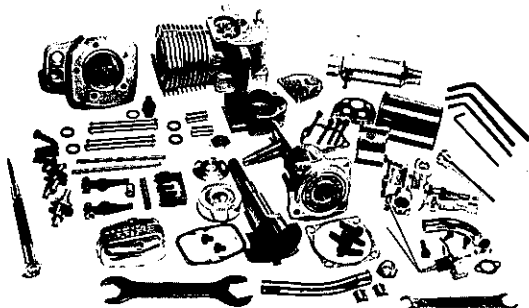
Kolben: Leichtmetallkolben ganzzerspanend aus übereutektischem Silumin gefertigt. Ein Rechteckkolbenring.

Zylinder: Stahlzylinder gehärtet und vergütet, innen geschliffen und gehont.

Zylinderkopf: Leichtmetalldruckguß mit großer Kühlrippenfläche. Ventiltassen aus Bronze eingepreßt, Gaskanäle gebohrt.

Ventile: Kegelveile mit 45°Sitzwinkel. Hochwarmfester Stahl. Federplatte mit Kegelsicherungselementen gehalten.

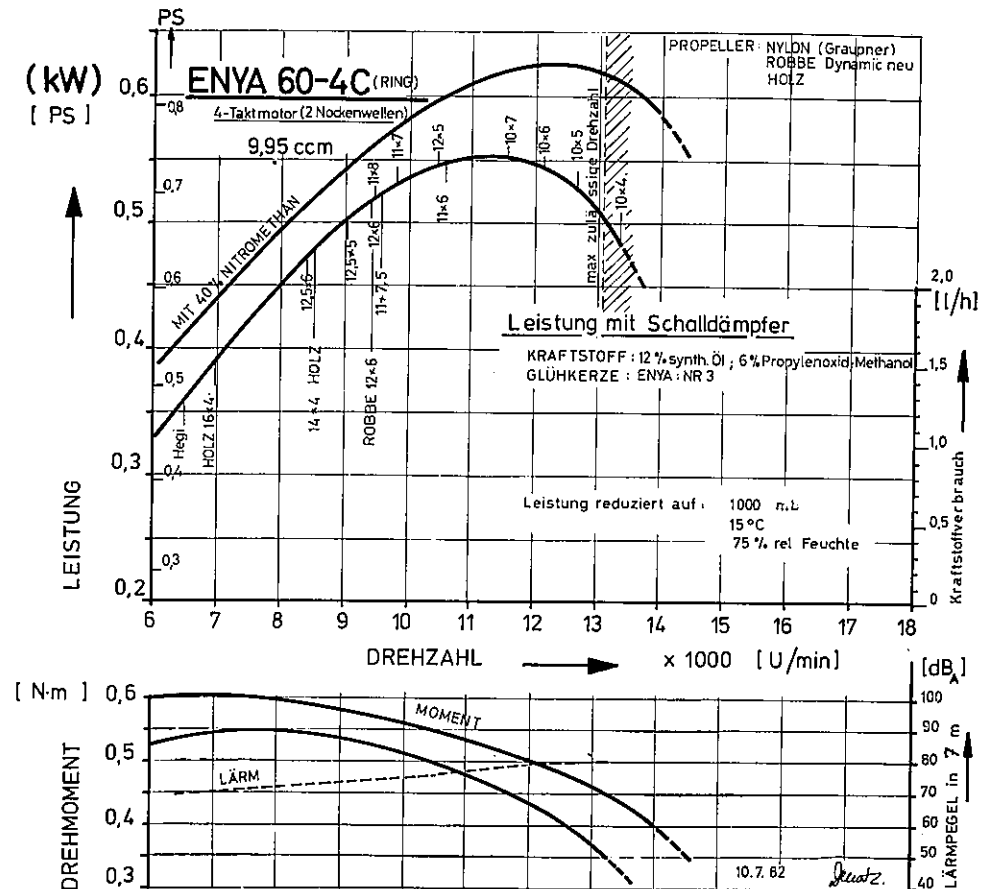
Vergaser: Drosselvergaser mit Gemischregelung über Zuflußregelung im Drosselkäuen. Zusatzluftöffnung für Leerlaufgemischbildung.



Laufverhalten: Motor springt sehr leicht von Hand an. Zuverlässiger, kräftiger Lauf, wenig Vibrationen. Als Glühkerze kann jede heiße Glühkerze verwendet werden. Motor braucht für hohe Leistung und guten Lauf kein Nitromethananteil im Kraftstoff.

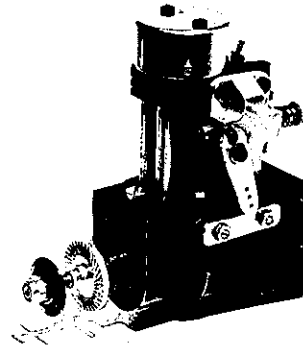
Technische Daten:

Bohrung:	24,00 mmØ
Hub:	22,00 mm
Hubraum:	9,95 ccm
Leistung:	625 Watt bei 12 300 U/min
Hubraumleistung:	62,61 kW/Liter
Ventilüberschneidung:	40°KW
Ventildurchmesser:	8,85 mmØ
Gewicht:	605 g
Drehzahlbereich:	1800–13 000 U/min



EHMO-13

Viertaktmotor



Hersteller: Ing. Erich Handt, Uhlidingen, Poststr. 16

Service und Vertrieb: Ing. Erich Handt, Waldingen, Poststraße 16

Allgemeines: Der Motor ist der vorläufig letzte Motor des ältesten Herstellers für Viertakt-Modellmotoren. Der Motor wird in kleiner Serie gebaut und ist ganzzerspanend erzeugt.

Kurbelgehäuse: Kurbelgehäuse aus dem Vollen gefräst, Aluminium. Das Lagergehäuse mit Nockentrieb ist angeflanscht, ebenso der Zylinder.

Kurbelwelle: Ventilstahl vergütet. Kurbelzapfen eingesetzt.

Nockenwelle: Eine Nockenwelle aus Stahl gehärtet und mit dem Antriebszahnrad als Integralbauteil gestaltet. Nur ein Nocken. Ventilantrieb über zwei Schleppebel.

Lagerung: Kurbelwelle auf zwei leichte Rillenkugellager gelagert. Pleuelzapfen und Nockenwelle als Gleitlager.

Pleuel: Ganzzerspanend hergestellt, Bronzelagerbüchsen an beiden Lagerstellen.

Kolben: Leichtmetallkolben ganz zerspanend hergestellt. Zwei Rechteckkolbenringe.

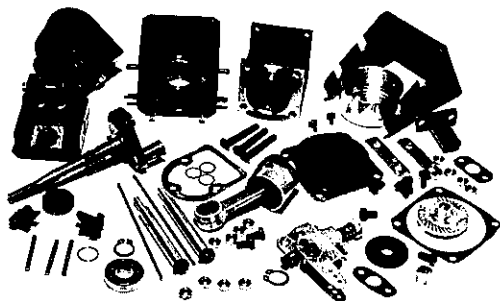
Zylinder: Integralbauteil mit den Kühlrippen aus vergütetem Stahl. Zylinderfläche feinstgedreht.

Zylinderkopf: Ganzzerspanend aus hochfestem Leichtmetall. Keine Ventileführungen oder Sitzringe.

Ventile: Aus hochwarmfestem Ventilstahl gedreht. Sicherungsring für den Federteller.

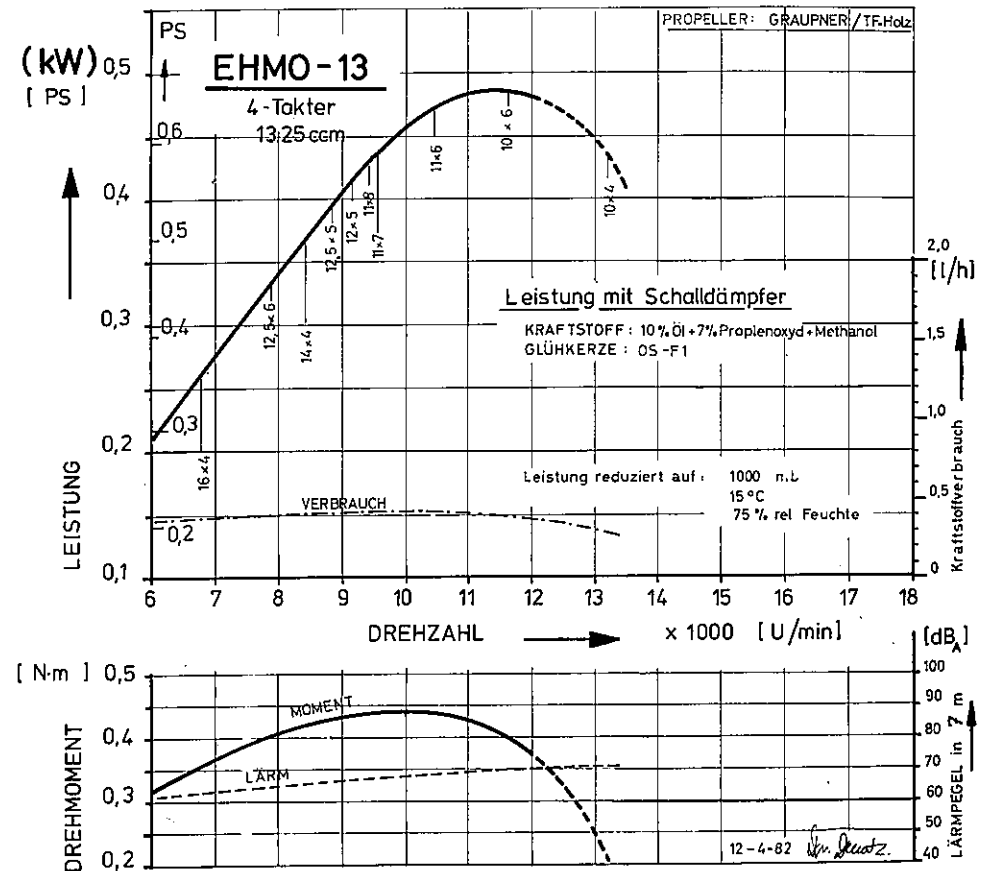
Vergaser: Schiebervergaser mit Hebelanlenkung. Eine Düsenadel für Gemischregelung für alle Schieberstellungen.

Laufverhalten: Motor springt etwas schwer von Hand an. Der Motor braucht keine Nitromethanzusätze oder Propylenoxid im Kraftstoff. Als Glühkerzen sind spezielle Viertaktmotorenkerzen oder die HB-Glaskerzen vorzusehen.



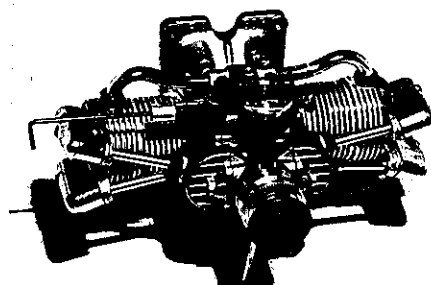
Technische Daten:

Bohrung:	25 mmØ
Hub:	27,0 mm
Hubraum:	13,25 ccm
Leistung:	485 Watt bei 11 000 U/min
Hubraumleistung:	36,6 kW/Liter
Ventilüberschneidung:	92°KW
Ventildurchmesser:	10,0 mmØ
Gewicht:	655 g
Drehzahlbereich:	2500–12 000 U/min

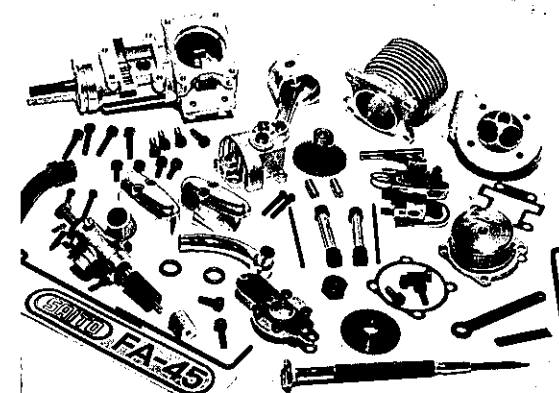
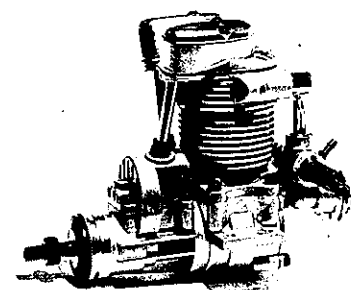
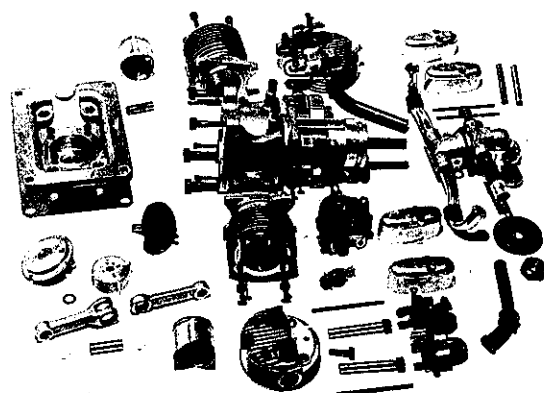


SAITO FA 80 T

Viertaktboxermotor



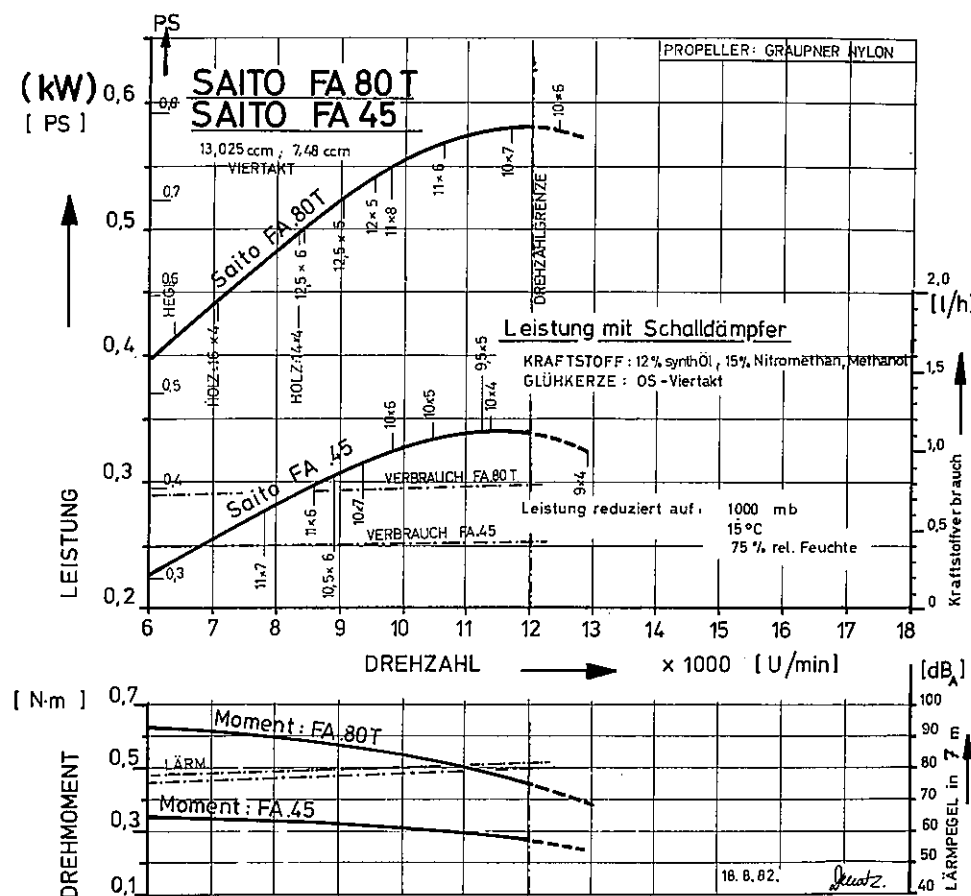
- Hersteller:** Saito Seisakusho Ltd, Ichikawa-Shi/Japan
- Vertrieb:** Simprop Electronic, Harsewinkel; Aeronaut Eggenweiler, Reutlingen
- Service:** Simprop Electronic, Harsewinkel
- Allgemeines:** Der Motor ist eigentlich kein Boxermotor, sondern ein Doppelmotor mit gegenüberliegenden Zylindern. Die Pleuellagerung hat nur eine Kröpfung und nur einen Pleuelzapfen, auf den beide Pleuellager wirken. Der halbe Motor ist identisch mit dem Saito FA 45.
- Kurbelgehäuse:** Ein Lagergehäuse für die Pleuellager mit seitlich aufgeflanschten Zylindern aus Leichtmetall-druckguß. Zwei Pleuellagergehäuse sind auf das Gehäuse aufgeschraubt.
- Kurbelwelle:** Stahlkurbelwelle, gehärtet und geschliffen. Nur ein Pleuelzapfen. Im Pleuellagerdeckel eine Ölpumpe zur Drainage des Pleuellagergehäuses.
- Nockenwelle:** Zwei Pleuellager vorne über der Pleuellager. Pleuellager aus Stahl gehärtet und kopiergeschliffen.
- Lagerung:** Zwei Pleuellager zur Lagerung der Pleuellager. Pleuellager auf Gleitlagern.
- Kolben:** Gegossene Siluminkolben, vergütet und durch Nickel gehärtet.
- Zylinder:** Silumindruckguß als integrales Bauteil mit den Kühlrippen. Innen hartverchromt. Geschliffen und gehont.
- Zylinderkopf:** Druckgußteil aus Aluminium. Ventiltassen aus Bronze eingepreßt. Gaskanäle gebohrt.
- Ventile:** Ventile aus warmfestem Stahl gedreht. Ventilsitzwinkel 45°.
- Vergaser:** Einfachvergaser mit Chokeschieber. Er kann gegen einen Doppelvergaser ausgetauscht werden. Probleme der Gemischverteilung bestehen nicht, dennoch ist der Doppelvergaser zuverlässiger.
- Laufverhalten:** Motor springt gut von Hand an. Lauf ist etwas rau und nicht ganz vibrationsfrei. Leerlauf recht zuverlässig, rasches Auftouren des Motors. Als Pleuellager sind heiße Pleuellager zu empfehlen.



Einzelteile SAITO 45

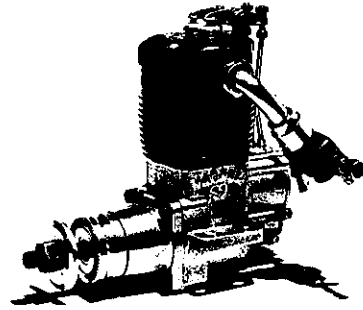
Technische Daten:

Bohrung:	21,00 mmØ
Hub:	18,80 mm
Hubraum:	13,023 ccm
Leistung:	580 Watt
Hubraumleistung:	44,55 kW/Liter
Ventilüberschneidung:	72°KW
Ventildurchmesser:	8,4 mmØ
Gewicht:	762 g
Drehzahlbereich:	2500–12 000 U/min

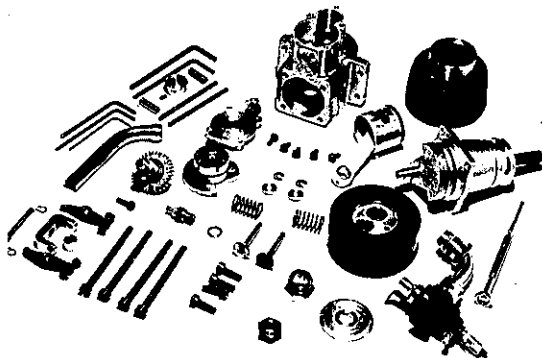


MAGNUM 91 S

Viertaktmotor

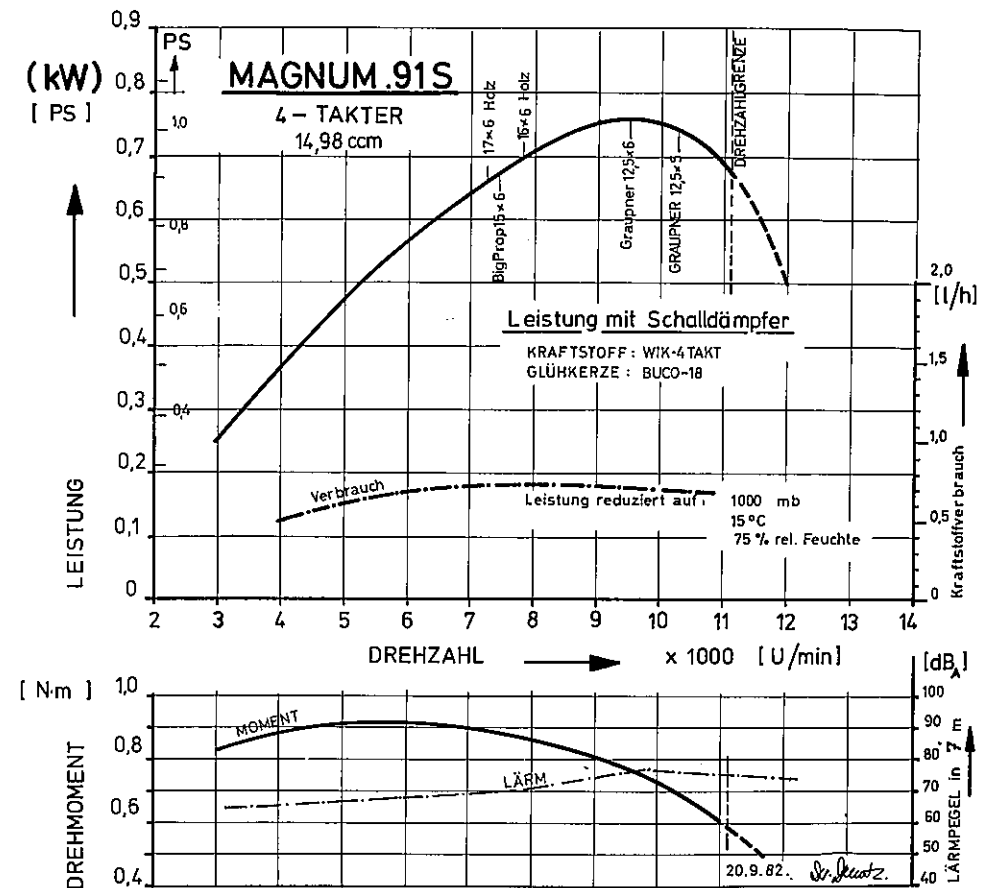


- Hersteller:** Magnum Modelengines Ltd, England
- Vertrieb:** WiK-Modellbau, Knittlingen
- Service:** WiK-Modellbau, Knittlingen
- Allgemeines:** Ein großvolumiger Viertaktmotor in Kleinserie gefertigt nach bester englischer Motorenbautradition. Der Motor ist besonders robust und erstaunlich leistungsfähig.
- Kurbelgehäuse:** Ein zentrales Gehäuse für den Kurbeltrieb und den Nockenwellenantrieb aus Leichtmetall-Kokillenguß. Das Lagergehäuse für die Kurbelwellenlagerung wird angeflanscht, ebenso wird der Zylinder mit Kühlrippen aufgeflanscht.
- Kurbelwelle:** Stahl gehärtet und geschliffen. Metrisches Gewinde zur Propellerbefestigung.
- Nockenwelle:** Stahl gehärtet und kopiergefräste Nockenwelle mit Antriebszahnrad verstiftet. Ruckfreier Nocken (harmonischer Nocken).
- Lagerung:** Kurbelwelle und Antriebswelle für Nockenritzel je in zwei Rillenkugellagern.
- Kolben:** Ganzspannend hergestellter Kolben aus Silumin. L-Kolbenring.
- Zylinder:** Integrales Bauteil mit den Kühlrippen. Stahl brüniert und innen gehont.
- Zylinderkopf:** Ganz zerspanend aus Aluminium hergestellt. Ventiltassen eingeschrumpft (Bronze). Flacher Brennraum, Gaskanäle gebohrt.
- Ventile:** Warmfester Stahl gedreht, 10,8 mmØ
- Vergaser:** Vergaser von Irvine von einem 6,5-ccm-Zweitakter. Vergaser nach dem Zweinadeltyp.
- Laufverhalten:** Motor springt gut von Hand an und läuft gleichmäßig auf Vollgas und Leerlauf durch. In Zwischengasstellungen neigt der Motor zum Abmagern des Gemisches. Ölanteil im Kraftstoff nicht über 10 %, alle Ölsorten zugelassen. Nitromethan oder andere Zusätze sind nicht erforderlich. Als Glühkerzen sind heiße Kerzen zu empfehlen.



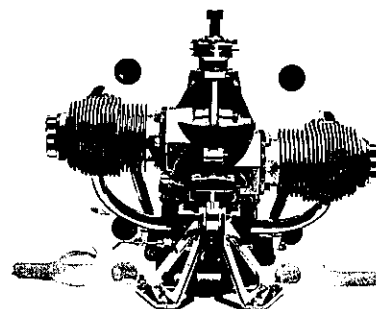
Technische Daten:

Bohrung:	27,00 mmØ
Hub:	26,00 mm
Hubraum:	14,88 ccm
Leistung:	760 Watt bei 9500 U/min
Hubraumleistung:	51,14 kW/Liter
Gewicht:	858 g
Drehzahlbereich:	1800–11 200 U/min



KAVAN-FK 50-Mark I

Viertaktboxermotor



Hersteller: F. Kavan, Nürnberg

Vertrieb: F. Kavan, Nürnberg

Service: F. Kavan, Nürnberg

Allgemeines: Der FK 50-Boxermotor mit 50 ccm Hubraum wurde von Leopold Köppel, Hallein, für Kavan entwickelt. Er zeichnet sich nicht nur durch hohe Modelltreue zu einem Continental-Flugmotor aus, sondern hat als erster Modellmotor eine Ölfüllung im Kurbelgehäuse und eine Ölpumpe zur Lager-schmierung. Der Motor stellt alle Ansprüche an Leistung und Laufverhalten zufrieden.

Kurbelgehäuse: In Längsachse geteiltes Aludruckgußgehäuse, verschraubt. Angeschraubt sind Ölwanne und Räderdeckel. Dreipunktaufhängung über Gummielemente.

Kurbelwelle: Geschmiedete und zweifach gekröpfte Welle. Einsatzgehärtet und geschliffen.

Nockenwelle: Stahl gehärtet und geschliffen. Nocken für den Ölpumpenantrieb. Die Nockenform ist einem harmonischen Nocken angenähert.

Lagerung: Kurbelwelle in drei kräftigen Normrillenkugellagern. Nockenwelle in zwei Rillenkugellagern. Pleuel sind am unteren Auge geteilt und mit geteilten Bronzelagerbüchsen versehen. Pleueilhälften verschraubt.

Kolben: Gegossener Kolben der Firma Mahle. Ein Kompressionsring und ein Nasenring als Ölabbstreifring.

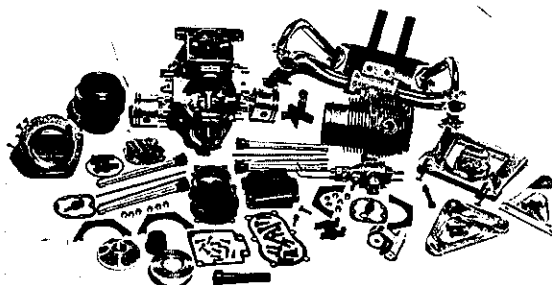
Zylinder: Stahlzylinder gedreht als integrales Bauteil mit den Kühlrippen. Zylinder badnitriert, gehont.

Zylinderkopf: Im Wachsaußschmelzverfahren einzeln gegossener Zylinderkopf. Auf Zylinder aufgeschraubt und mit stirnseitigem Gummiring abgedichtet. Ventile laufen in Ventiltassen aus Messing.

Ventile: Ventile aus warmfestem Stahl gedreht und vergütet. Wirksamer Durchmesser 11,3 mm. Sitzwinkel 45°.

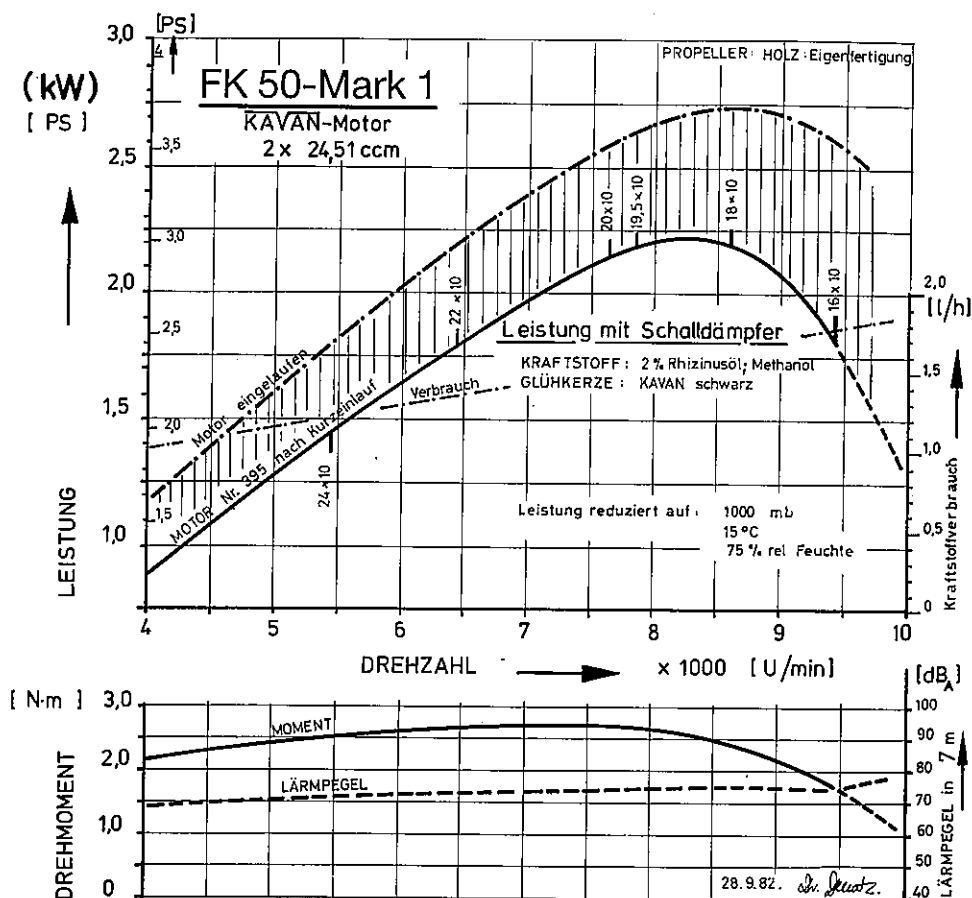
Vergaser: FK-Vergaser mit Kulissensteuerung einer Nadel für korrektes Gemisch in allen Stellungen. Etwas aufwendig zum Justieren, aber danach zuverlässig wirkend und unempfindlich.

Laufverhalten: Motor läuft nach längerer Einlaufzeit, und wenn kein mechanischer Fehler vorliegt, wie das oft zitierte Uhrwerk. Problemloses Anwerfen von Hand. An Glühkerzen sind alle Typen verwendbar, heiße Kerzen sind zu empfehlen.

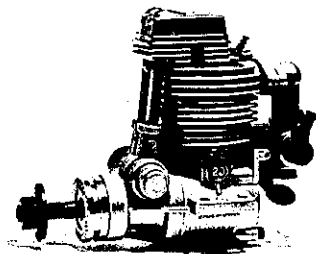


Technische Daten:

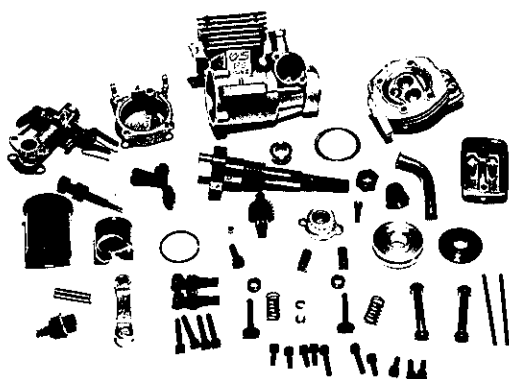
Bohrung:	34,00 mm Ø
Hub:	28,00 mm
Hubraum:	2 x 25,42 = 50,85 ccm
Leistung:	2,74 kW bei 8500 U/min
Hubraumleistung:	53,86 kW
Ventilüberschneidung:	85°KW
Ventildurchmesser:	11,3 mm Ø(wirk)
Gewicht komplett:	2724 g
Drehzahlbereich:	1500–8700 U/min



OS-FS 20

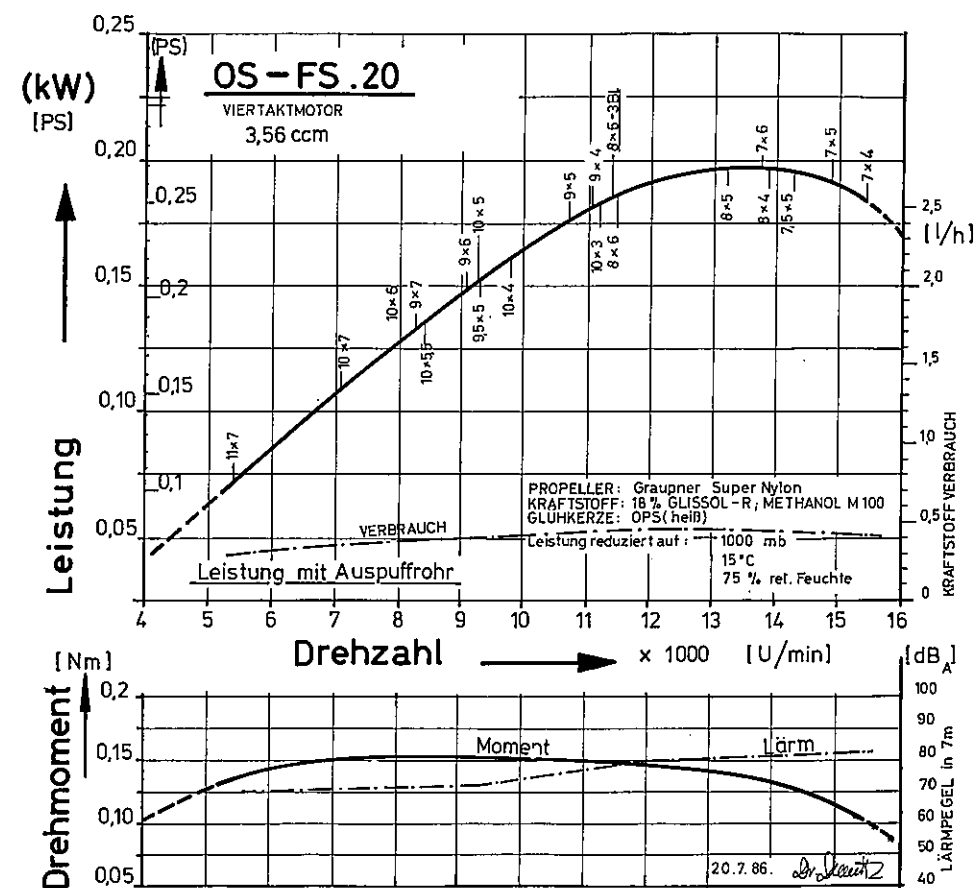


- Hersteller:** Ogawa Model Mfg. Co. Ltd, Osaka/Japan
- Vertrieb:** Graupner, Kirchheim
- Service:** Graupner, Kirchheim
- Allgemeines:** Der Motor ist der derzeit (1988) kleinste Viertaktmotor mit Ventilsteuerung. Der Motor ist vor allem für kleinere funkferngesteuerte Modelle vorgesehen, wenn aus Gründen des geringeren Lärmes kein Zweitaktmotor verwendet werden kann.
- Kurbelgehäuse:** Monoblockgehäuse aus Aludruckguß. Nockenwellengetriebe angegossen.
- Nockenwelle:** Stahl gehärtet, kopiergefräst. Antrieb über Schraubenradtrieb.
- Lagerung:** Kurbelwelle in zwei Rillenkugellagern. Nockenwelle in Sintergleitlagern. Pleuellager Bronze-lagerbuchse.
- Pleuel:** Vorgeschmiedetes Dural, allseitig bearbeitet.
- Kolben:** Ganzzerspanend aus Silumin hergestellt. Rechteckkolbenring.
- Zylinder:** Stahl gehärtet und geschliffen. Hartnickelbeschichtung.
- Ventile:** Kegellventile mit 45° Sitzwinkel. Hitzebeständiger Stahl. Ventillführungen in Bronze. Sondersicherungsring für Ventillfederplatte.
- Vergaser:** Drosselvergaser mit integriertem Saugrohr. Leerlaufzusatzluftbohrung.
- Laufverhalten:** Motor sollte mit einem Kraftstoff mit mindestens 5 % Nitromethananteil und GLISSOL-R oder AEROSYNTH als Schmierstoff betrieben werden. Leichtes Anspringen von Hand und gleichmäßiger Lauf mit dem genannten Kraftstoff. Nach längerer Laufzeit Probleme mit den Sicherungsringen am Ventillfedersteller. Sehr geringes Motorgeräusch bei Verwendung eines Nachschalldämpfers. Motorleistung vergleichbar mit 2,5-ccm-Zweitaktmotor.

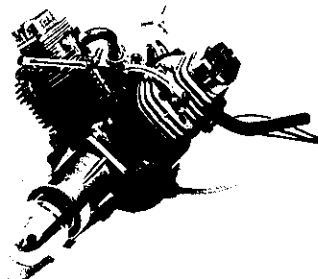


Technische Daten:

Bohrung:	18,00 mm Ø
Hub:	14,00 mm
Hubraum:	3,562 ccm
Leistung:	200 Watt bei 13 500 U/min
Hubraumleistung:	56,1 kW/Liter
Ventilüberschneidung:	114°
Ventildurchmesser:	6,0 mm Ø
Gewicht:	276 g
Drehzahlbereich:	3000-15 500 U/min



ENYA 240-VT 82° V-Motor



Hersteller: ENYA Metal Products Co. Ltd, Tokyo/Japan

Vertrieb: Robbe-Modellbau, Grebenhain

Service: Robbe-Modellbau, Grebenhain

Allgemeines: Der ENYA 82° V-Modellmotor ist aufgrund der einfacheren Kurbelwelle und der Doppelvergaseranlage der stärkste Zweizylinder-Modellmotor seiner Hubraumklasse, ja er reicht sogar an Triebwerke mit 50 ccm Hubraum heran. Trotz des nicht vollständigen Massenausgleiches läuft der Motor durch die Zündfolge weich.

Kurbelgehäuse: Dichtes Gußgehäuse aus Alukokillenguß, Kurbelwellenlagergehäuse aus Druckguß angeflanscht.

Kurbelwelle: Stahl gehärtet und geschliffen.

Nockenwelle: Zwei Nockenwellen übereinander. Nockenwellen gehärtet und überschliffen.

Lagerung: Kurbelwelle in zwei robusten Normrillenkugellagern. Das Antriebsritzel für die Nockenwellen ist in zwei Rillenkugellagern gelagert. Nockenwellen in Gleitlagern.

Pleuel: Ganzzerspanend hergestellte Pleuel aus hochfestem Aluminium. Bronzelagerbuchsen an beiden Lagerstellen. Schmale untere Lager.

Kolben: Vollschaftkolben aus übereutektischem Silumin, ganzzerspanend hergestellt. Ein Rechteckkolbenring aus hartem Sondergußeisen.

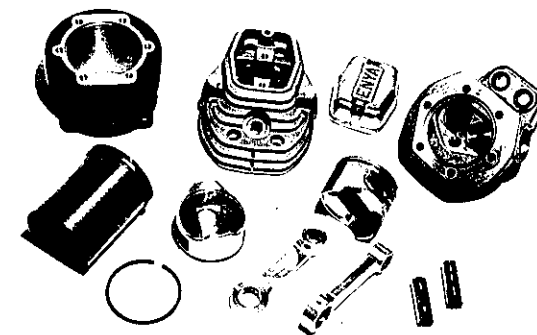
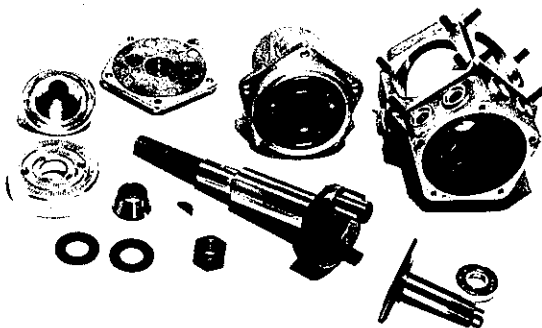
Zylinder: Gehärteter, geschliffener und gehonter Stahlzylinder.

Zylinderkopf: Aludruckguß mit eingeschrumpften Ventiltassen. Wannenbrennraum.

Ventile: Ventile als 45°-Kegelventile aus hochwarmfestem Chrommolybdänstahl. Halbkegel als Halter für den Federteller. Beide Ventile gleicher Durchmesser, 10,5 mm Ø (effektiv 10,2 mm Ø).

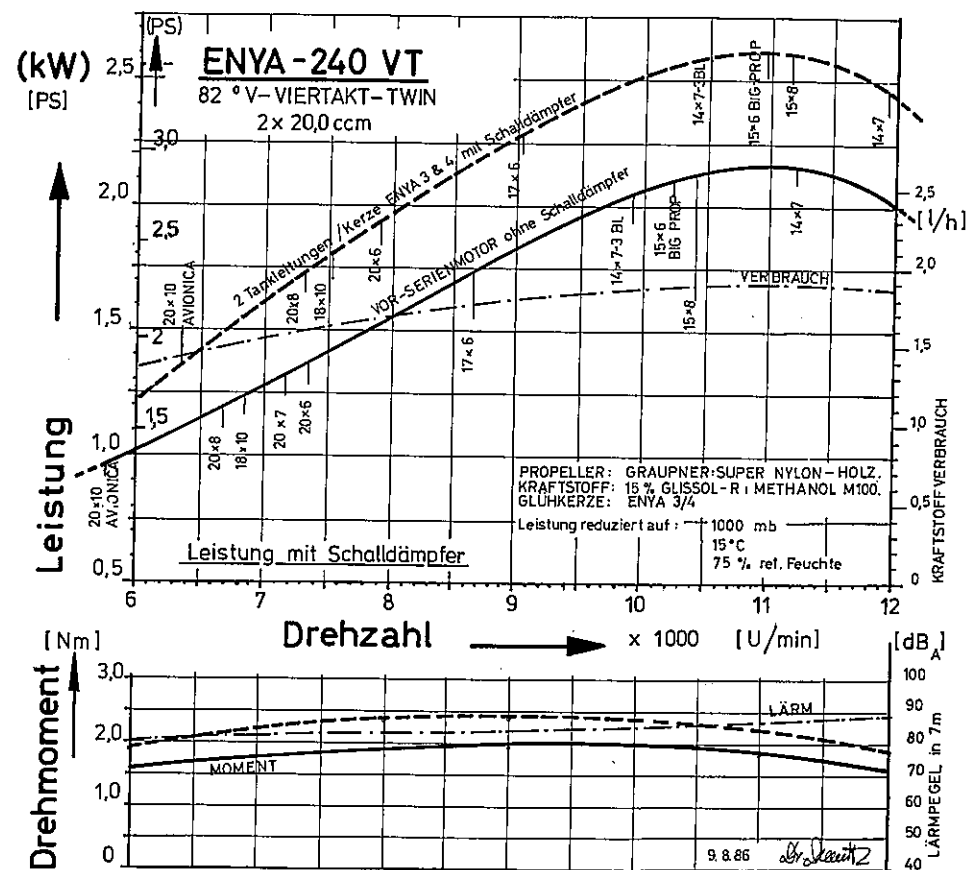
Vergaser: Doppelvergaseranlage. Jeder Vergaser mit Düsenadel für Vollgas und Zusatzluftöffnung für Leerlaufgemischbildung.

Laufverhalten: Gutes Anspringen und Durchlaufen in allen Fluglagen. Da die Vergaser über ein Y-Stück an die Tankzuleitung angeschlossen werden, beeinflussen die Vergaser sich etwas bei der Einstellung. Motor ist ungewöhnlich laut im Auspuffen und muß mit Schalldämpfern betrieben werden. Etwas hoher Kraftstoffverbrauch.



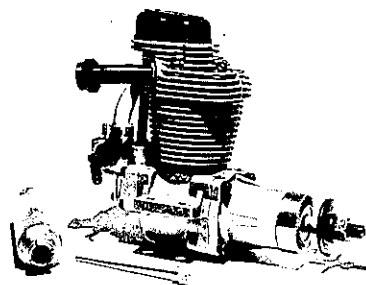
Technische Daten:

Bohrung:	31,00 mm Ø
Hub:	26,50 mm
Hubraum:	$2 \times 20,0013 = 40,0026 \text{ ccm}$
Leistung:	2,63 kW
Hubraumleistung:	65,75 kW/Liter
Ventilüberschneidung:	58° und 62°
Ventildurchmesser:	10,5 mm Ø, effektiv 10,2 mm
Gewicht:	1730 g mit Motorträger/o. SD
Drehzahlbereich:	2000–12 000 U/min



ENYA 120R-4C

Viertakt-Rennmotor



Hersteller: ENYA Metal Products Co. Ltd, Tokyo/Japan

Vertrieb: Robbe-Modellbau, Grebenhain

Service: Robbe-Modellbau, Grebenhain

Allgemeines: Der 120R ist der erste Hochleistungsmotor mit 20 ccm Hubraum. Er ist speziell für Wettbewerbe gedacht. Durch ein größeres Einlaßventil und durch eine gute Brennraumgestaltung erzielt der Motor seine hohe spezifische Leistung.

Kurbelgehäuse: Zentrales Gehäuse für den Zylinder. Angeflanshtes Lagergehäuse für die Kurbelwellenlagerung und ein Gehäuse für die zwei Nockenwellen. Alle Gehäuse aus Aludruckguß.

Kurbelwelle: Stahl gehärtet und geschliffen.

Nockenwelle: Zwei Nockenwellen aus Stahl gehärtet und kopiergefräst. Nockenwellen in Bronzegleitlagern gelagert.

Lagerung: Kurbelwelle in zwei robusten Normkugellagern. Antrieb für Nockenwellengetriebe in zwei Instrumentenrillenkugellagern.

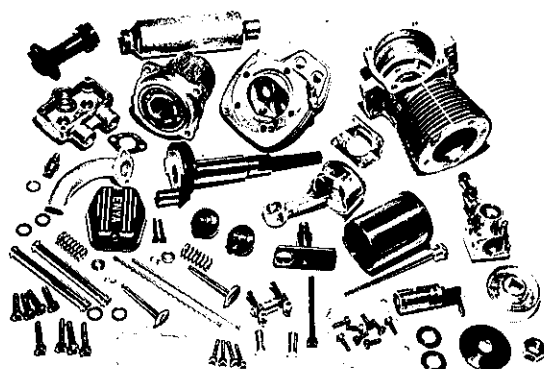
Pleuel: Aluminium geschmiedet und allseitig zerspanend bearbeitet. An beiden Lagerstellen mit Lagerbronze ausgebücht.

Kolben: Kolben ganzzerspanend aus übereutektischem Silumin gefertigt. Vollschaftkolben mit freige-
frästem Kolbenbolzenauge. Ein Rechteckkolbenring aus hartem Sondergußeisen (GGG 60).

Zylinder: Stahl gehärtet und geschliffen. Innen durch Honen aufgeraut.

Zylinderkopf: Leichtmetalldruckguß mit eingeschrumpften Ventiltassen aus Bronze. Gaskanäle zerspanend bearbeitet.

Ventile: Ventile aus hochwarmfestem Ventilstahl. Einlaßventil 14,5 mm Ø, Auslaßventil 12,0 mm Ø. Kegelventile mit 45° Sitzwinkel. Saugkanal und Auspuffkanal 10,5 mm Ø.

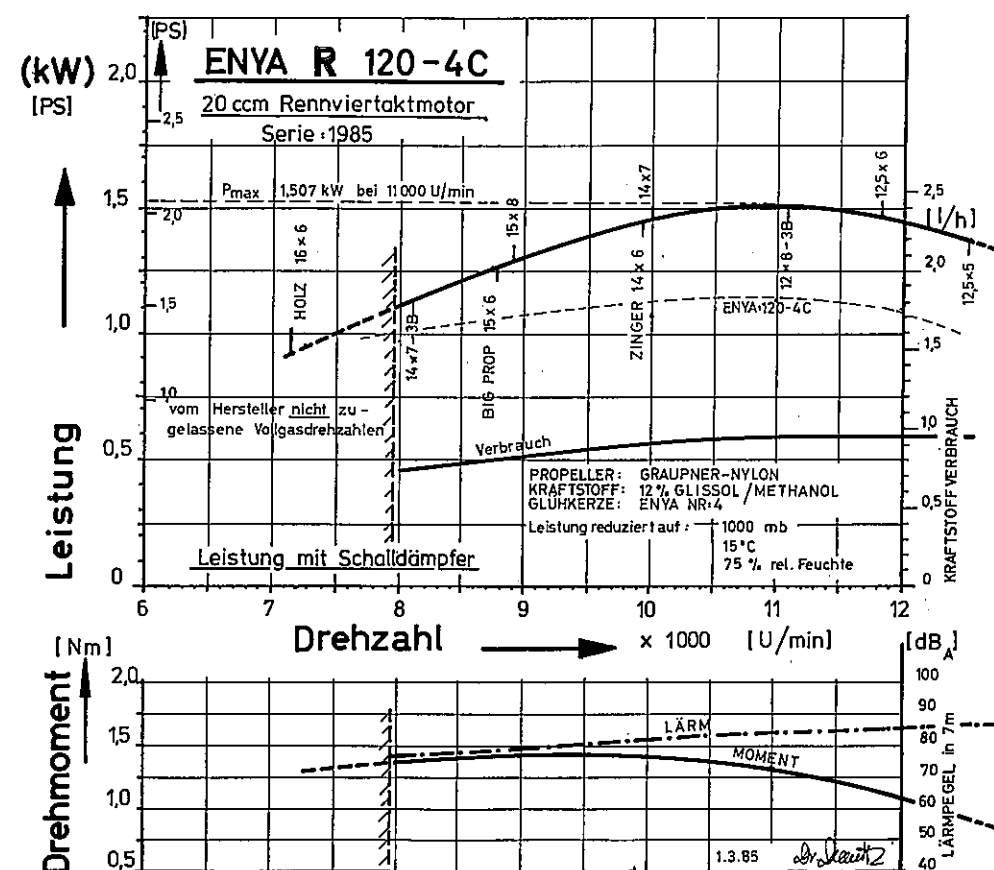


Vergaser: Drosselklappenvergaser mit Gemischregelung über V-Schlitz. Zusatzluftöffnung für Leerlaufgemischeinstellung.

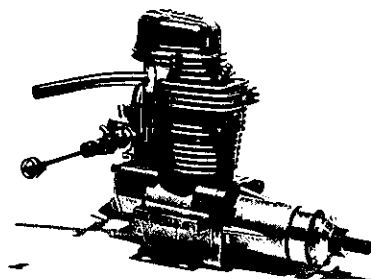
Laufverhalten: Relativ hart zündender Viertaktmotor. Gute Drossel Eigenschaften. Mit hohem Nitromethananteil im Kraftstoff weichere Verbrennung. Bei hochtourigem Betrieb kommen häufig Schäden an Ventilsfeder und Konushälften des Ventilsfedertellers vor. Motor ist mit Serienschalldämpfer recht laut!

Technische Daten:

Bohrung:	31,00 mm Ø
Hub:	26,40 mm
Hubraum:	19,93 ccm
Leistung:	1,507 kW
Hubraumleistung:	75,72 kW/Liter
Ventilüberschneidung:	69°
Ventildurchmesser:	Einlaß: 14,5 mm Ø Auslaß: 12,0 mm Ø
Gewicht m. SD:	908 g
Drehzahlbereich:	2100-12 000 U/min



ENYA 80-4C



Hersteller: ENYA Metal Products Co. Ltd, Tokyo/Japan

Vertrieb: Robbe-Modellbau, Grebenhain

Service: Robbe-Modellbau, Grebenhain

Allgemeines: Der Motor ist eine im Hubraum vergrößerte Version des ENYA 60-4C. Der Motor läuft eher weicher und zuverlässiger als der kleinere Brudermotor. Durch die beiden Nockenwellen ist der Motor auch auf „Links/Rechtslauf“ umrüstbar.

Kurbelgehäuse: Zentrales Kurbelgehäuse aus Aludruckguß. Das Lagergehäuse für die Kurbelwelle und das Nockenwellengehäuse werden angeflanscht.

Kurbelwelle: Stahl gehärtet und geschliffen. Vergrößertes Gegengewicht (für 50 % Massenausgleichskompromiß).

Nockenwelle: Zwei Nockenwellen aus Stahl gehärtet und kopiergefräst. Nockenwelle in Bronzelagern gelagert.

Lagerung: Kurbelwelle in zwei Normrillenkugellagern. Antriebsritzel für die Nockenwelle in zwei Miniaturrillenkugellagern.

Pleuel: Gepreßt und an beiden Lagerstellen mit Bronzebüchsen versehen.

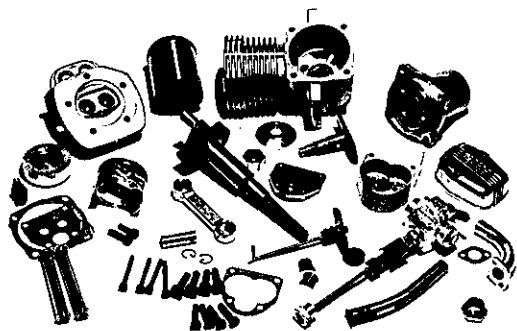
Kolben: Übereutektisches Silumin, ganzerspanend hergestellt. Ein Rechteckkolbenring aus hartem Sondergußeisen (GGG 60).

Zylinder: Stahlzylinder gehärtet und vergütet, innen geschliffen und Ölhalteriefen eingehont.

Ventile: Kegelventile mit 45° Sitzwinkel. Hochwarmfester Stahl. Ventildfederteller mit Kegelhäften gehalten, Rohrstoßstangen.

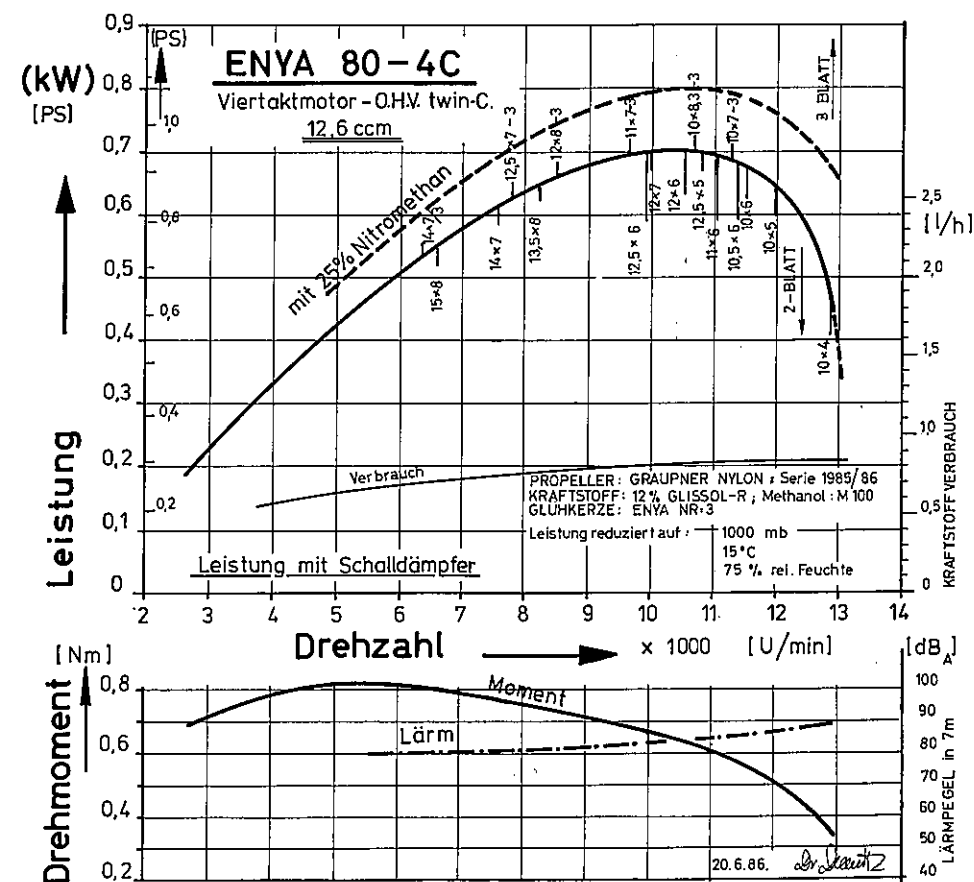
Vergaser: Drosselkufenvergaser mit Zusatzluftöffnung für das Leerlaufgemisch.

Laufverhalten: Der Motor springt von Hand sehr gut an und läuft erstaunlich weich und ohne Nageln oder Klopfen bei Drehzahlen über 7000 U/min. Geringere Drehzahlen sollten mit großen Propellern nicht versucht werden. Motor spricht gut auf Nitromethan im Kraftstoff an.

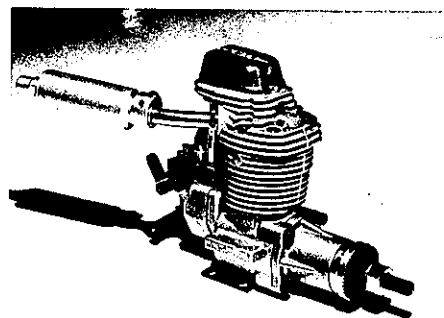


Technische Daten:

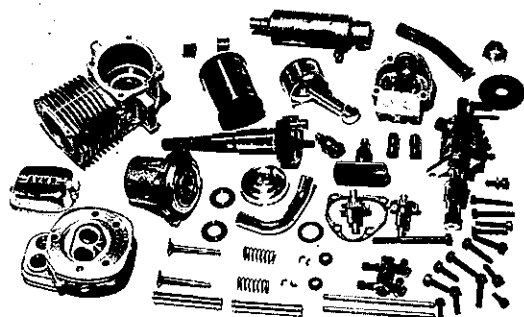
Bohrung:	27,00 mm Ø
Hub:	22,00 mm
Hubraum:	12,596 ccm
Leistung:	702 Watt (800 Watt mit 25 % Nitromethan)
Hubraumleistung:	55,73 kW (63,51 kW)
Ventilüberschneidung:	53°
Ventildurchmesser:	9,50 mm Ø
Gewicht:	578 g
Drehzahlbereich:	1800–13 000 U/min



ENYA 46-4C

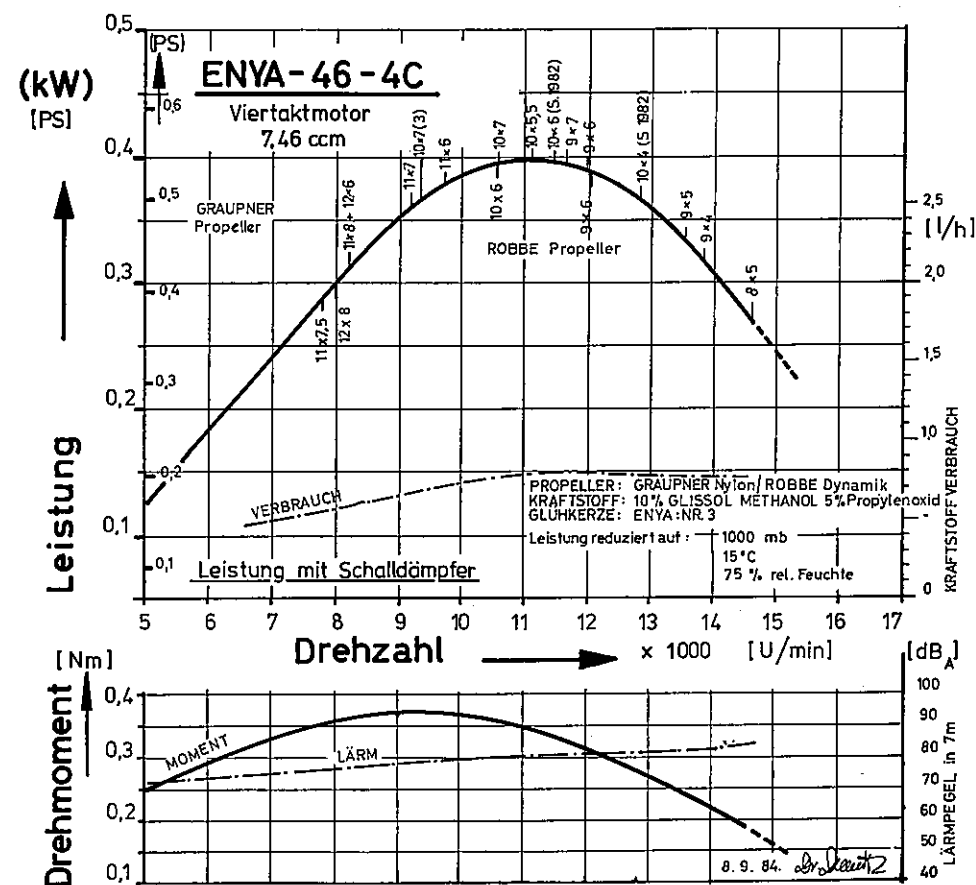


- Hersteller:** ENYA Metal Products Co. Ltd, Tokyo/Japan
- Vertrieb:** Robbe-Modellbau, Grebenhain
- Service:** Robbe-Modellbau, Grebenhain
- Allgemeines:** Der Motor ist eine verkleinerte Version des 60-4C. Ab der 2. ausgelieferten Serie wurden Kurbelwelle und Kurbelwellenlagerung verstärkt.
- Kurbelgehäuse:** Zentrales Gehäuse mit angeflanschem Kurbelwellenlager- und Nockenwellengehäuse. Aludruckguß.
- Kurbelwelle:** Stahl gehärtet und geschliffen. Guter Auswuchtungsgrad der rotierenden Massen +0,5 der oszillierenden Massen.
- Lagerung:** Kurbelwelle in robusten Normrillenkugellagern. Nockenwellenantrieb in zwei Instrumentenrillenkugellagern.
- Pleuel:** Aluminium geschmiedet und an beiden Lagerstellen mit Bronze ausgebücht.
- Kolben:** Leichtmetallkolben ganzspannend aus übereutektischem Silumin gefertigt. Vollschaftkolben mit Freiräusung am Kolbenbolzen. Ein Rechteckkolbenring aus GGG 60.
- Zylinder:** Stahlzylinder gehärtet und geschliffen. Innen noch durch Honen aufgeraut.
- Zylinderkopf:** Aludruckguß mit eingeschrumpften Ventiltassen aus Bronze.
- Ventile:** Kegelfventile mit 45° Sitzwinkel. Hochwarmfester Stahl. Ventildfederteller mit Halbkugeln aus Stahl gehärtet.
- Vergaser:** Drosselvergaser mit Zusatzluftöffnung für Leerlaufgemischbildung.
- Laufverhalten:** Motor springt sehr gut an und läuft exzellent in allen Drehzahlbereichen. Kann hochtourig betrieben werden! Schalldämpfung durch Serienschalldämpfer noch unbefriedigend.



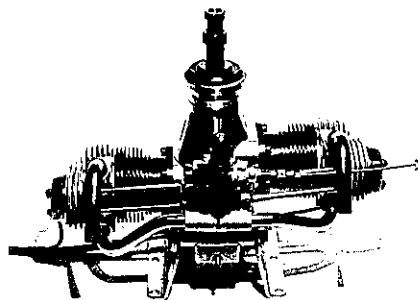
Technische Daten:

Bohrung:	22,30 mm Ø
Hub:	19,20 mm
Hubraum:	7,498 ccm
Leistung:	400 Watt
Hubraumleistung:	53,35 kW/Liter
Ventilüberschneidung:	52°
Ventildurchmesser:	je 8,0 mm Ø
Gewicht:	387 g
Drehzahlbereich:	2000-14 500 U/min



OS-FT 300

Boxermotor



Hersteller: Ogawa Model Mfg. Co. Ltd, Osaka/Japan

Vertrieb: Johannes Graupner, Kirchheim

Service: Johannes Graupner, Kirchheim

Allgemeines: Der Motor wurde zunächst als 240er = 40 ccm gebaut. Die Version 300 = 50 ccm unterscheidet sich nur durch die Zylinderbohrung. Der Motor kann auch mit einer Funkenzündanlage geliefert werden. Boxertypisch ist die Laufruhe des Motors.

Kurbelgehäuse: Zentralgehäuse aus dichtet Alukokillenguß. Stahlblechmotorträger.

Kurbelwelle: 2fach gekröpfte geschmiedete Stahlkurbelwelle, vergütet.

Nockenwelle: Nockenwelle aus Stahl gefräst und vergütet. Nocken überschleift.

Lagerung: Kurbelwelle in 3 Rillenkugellagern, Nockenwelle in zwei Rillenkugellagern. Pleuellager = Gleitlager.

Kolben: Gepreßter Siluminkolben mit 4 Fenstern am Kolbenhemd, Rechteckkolbenring aus hartem Sondergußeisen (GGG 60).

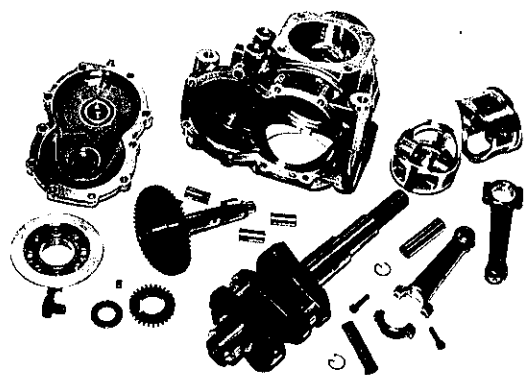
Zylinder: Stahlzylinder innen mit Hartnickel beschichtet. Integralteil mit den Zylinderkühlrippen.

Zylinderkopf: Aludruckgußteil mit eingeschrumpften Ventiltassen aus Bronze.

Pleuel: relativ weicher Bronzeschleuderguß. Am unteren Pleuellager geteilt.

Ventile: FT 300 : je 11,4 mm Ø; FT 240 : je 10,3 mm Ø

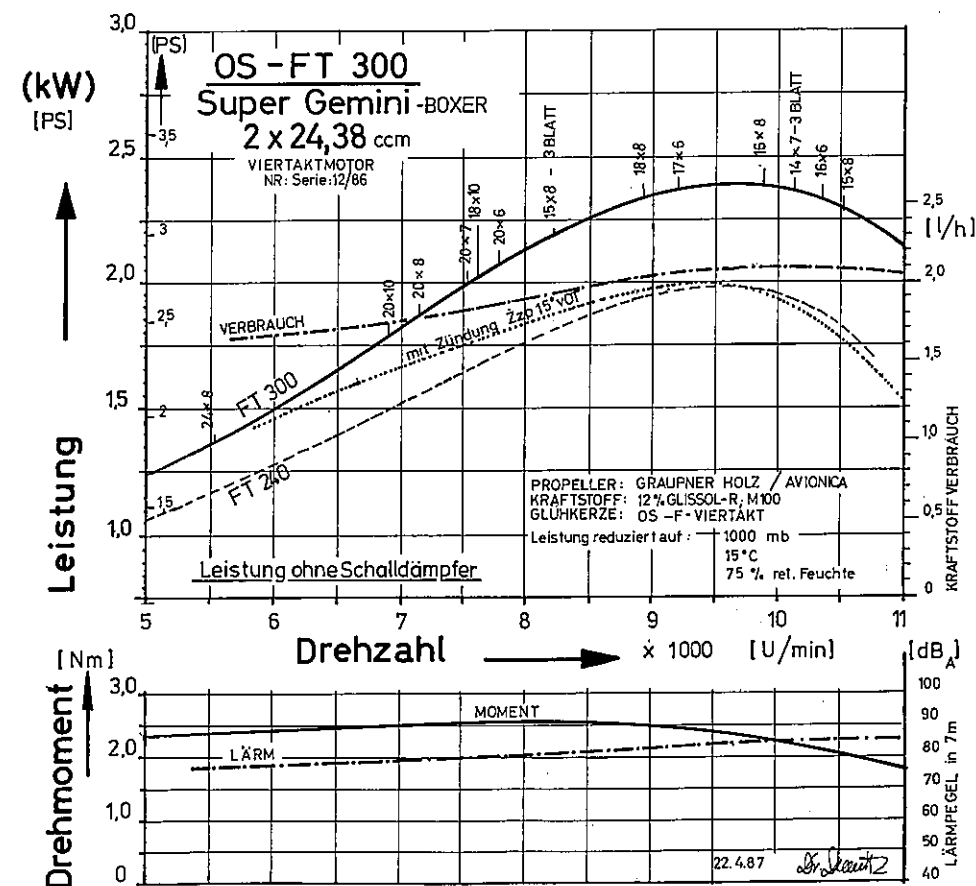
Vergaser: Drosselvergaser mit Gemischregelung. Verteilerstück nach Vergaser mit Wärmekontakt zum Kurbelgehäuse. Sonst keine Gemischvorwärmung.



Laufverhalten: Motor springt leicht von Hand an. Bei Frühzündung oder Gewaltanwendung kann Pleuel ausknicken! Motor sollte mindestens 5 % Nitromethan im Kraftstoff und über 17 % Ölanteil haben. Sonderglühkerzen von OS sind bis 8000 U/min vorgeschrieben, für höhere Drehzahlen sind „heiße“ Kerzen ebenfalls brauchbar.

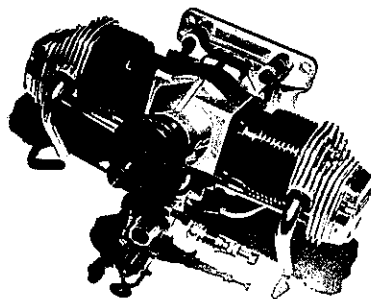
Technische Daten:

	FT-240	FT-300
Bohrung:	30,40 mm Ø	33,60 mm Ø
Hub:	27,50 mm	27,50 mm
Hubraum:	2x19,960 ccm	2x24,38 ccm
Leistung:	1,95 kW	2,40 kW
Hubraumleistung:	48,75 kW/Liter	49,23 kW/Liter
Ventilüberschneidung:	88°	88°
Ventildurchmesser:	je 10,30 mm Ø	je 11,40 mm Ø
Gewicht:	1685 g	1835 g
Drehzahlbereich:	1800-10 700 U/min	1700-11 200 U/min



OS-Max-FT 120 II und FT 160

Boxermotoren



Hersteller: Ogawa Model Mfg. Co. Ltd, Osaka/Japan

Vertrieb: Johannes Graupner, Kirchheim

Service: Johannes Graupner, Kirchheim

Allgemeines: Der FT 120 der Serie I hatte zunächst die Zylinderköpfe des OS-FS 61 mit kleineren Ventilen. Im Laufe der Entwicklung wurden an dem Motor das Triebwerk, speziell die Pleuelstange, verstärkt, der Vergaser und die Saugrohre geändert und vor allem die Steuerzeiten verändert. Der FT-120-II ist wesentlich leistungsfähiger und erreicht 975 Watt gegenüber 850 Watt der Serie I.

Kurbelgehäuse: Zentralgehäuse aus dichtem Alukokillenguß. Alugußmotorträger.

Kurbelwelle: 2fach gekröpfte, geschmiedete Stahlkurbelwelle, vergütet.

Nockenwelle: Nockenwelle aus Stahl kopiergefräst und vergütet.

Lagerungen: Kurbelwelle in 3 Rillenkugellagern; Nockenwelle in zwei Rillenkugellagern. Pleuellager = Gleitlager.

Kolben: Gepreßter Siluminkolben mit Fenster am Kolbenhemd. Rechteckkolbenring aus hartem Sondergußeisen (GGG 60).

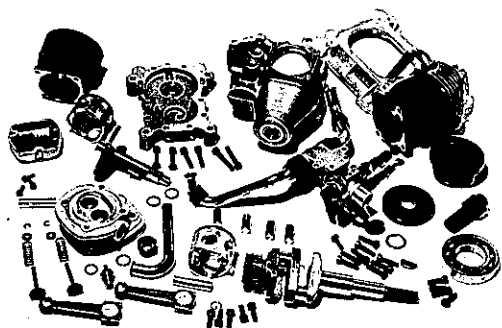
Zylinder: Stahlzylinder innen Hartnickelbeschichtung, Integralteil mit Kühlrippen.

Zylinderkopf: Aludruckgußteil mit eingeschrumpften Bronzeventiltassen.

Pleuel: Relativ weicher Bronzeschleuderguß. Im Austausch auch gefräste Pleuel aus harter Bronze lieferbar.

Ventile: Hochwarmfester Chrommolybdänstahl, Hufeisenhalterung am Ventildfederteller.

Vergaser: Drosselklappenvergaser mit Zusatzluftöffnung für den Leerlauf. Gemischverteilerstück vom Kurbelgehäuse aus beheizt.

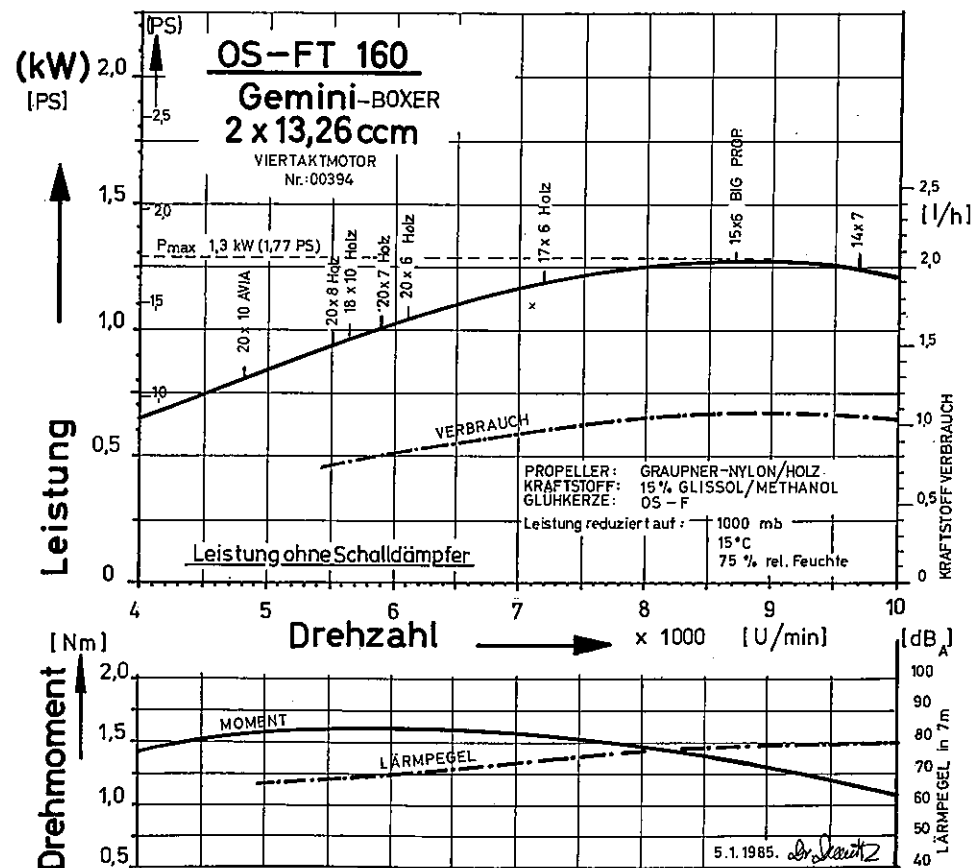


Einzelteile des OS-Max-FT-120 I
Das Bild zeigt die Teile der ersten
Produktionsserie

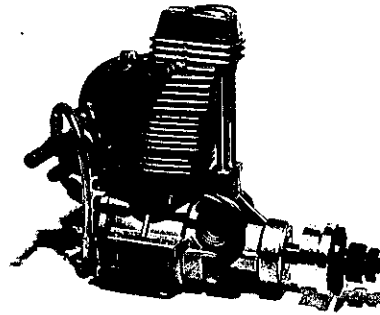
Laufverhalten: Verbessertes Leerlaufverhalten ohne Aussetzen eines Zylinders. Kraftstoff mit 5 bis 10 % Nitromethanzusatz und mindestens 17 % Ölanteil erforderlich. Anspringen leicht von Hand möglich. Vorsicht: Pleuel knicken aus bei Gewaltanwendung oder starker Frühzündung.

Technische Daten:

	FT 120-II	FT 160
Bohrung:	24,00 mm Ø	27,7 mm Ø
Hub:	22,00 mm	22,00 mm
Hubraum:	2x9,95 ccm	2x13,26 ccm
Leistung:	975 Watt	1300 Watt
Hubraumleistung:	48,99 kW/Liter	49,0 kW/Liter
Ventilüberschneidung:	82° (war ca. 12° Serie I)	82°
Ventildurchmesser:	10,00 mm Ø	10,00 mm Ø
Gewicht:	1093 g	1124 g
Drehzahlbereich:	2000–10 500 U/min	2000–10 300 U/min



OS-FS 120 Surpass



Hersteller: Ogawa Model Mfg. Co. Ltd, Osaka/Japan.

Vertrieb: Johannes Graupner, Kirchheim

Service: Johannes Graupner, Kirchheim

Allgemeines: Der Motor wurde speziell für die Wettbewerbsklassen, in denen statt 10-ccm-Zweitaktmotoren auch 20-ccm-Viertaktmotoren zugelassen sind, entwickelt. Der Motor hat eine integrierte Zahnradpumpe für die Kraftstoffförderung und einen vom Hersteller justierten Kraftstoffdruckregler. Der Motor ist speziell für eine hohe Leistung unter 10 000 U/min ausgelegt, wodurch sich die Lärmauflagen an manchen Modellflugplätzen leichter erfüllen lassen.

Kurbelgehäuse: Einteiliges Gehäuse aus Aluminiumdruckguß. Nockenwellengetriebegehäuse ist angegossen. Im Gehäusedeckel sind die Kraftstoffpumpe und der Druckregler integriert.

Nockenwelle: Stahl gehärtet, kopiergefräst. Antrieb über Schraubenrädergetriebe.

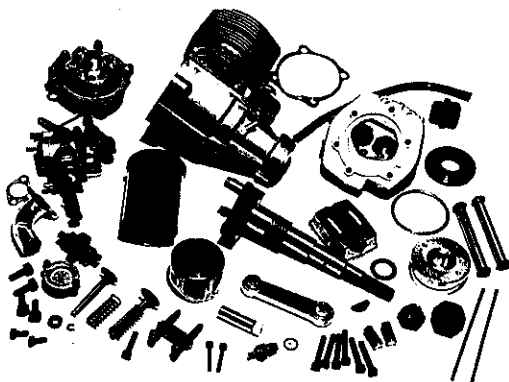
Lagerung: Kurbelwelle in zwei genormten Rillenkugellagern. Nockenwelle ebenfalls zweifach kugelgelagert.

Pleuel: Geschmiedetes, hochfestes Leichtmetall. An beiden Pleuellagerstellen mit Lagerbronze ausgebuchtet. Ölschmierbohrungen an den Lagerstellen.

Kolben: Leichtmetallkolben aus Silumin gepreßt und überschliffen. Kolbenhemd mit Fensteröffnungen. Rechteckkolbenring aus Sondergußstahl (etwa GGG 60).

Zylinder: Messing mit Hartnickelbeschichtung, geschliffen und gehont.

Ventile: Hochwarmfester Ventilstahl. Sitzwinkel 45°, Ventillführungen und Ventilsitz in Hartbronzetasche. Sondersicherungsring (Hufeisenring) an Ventilsicherungsplatte.

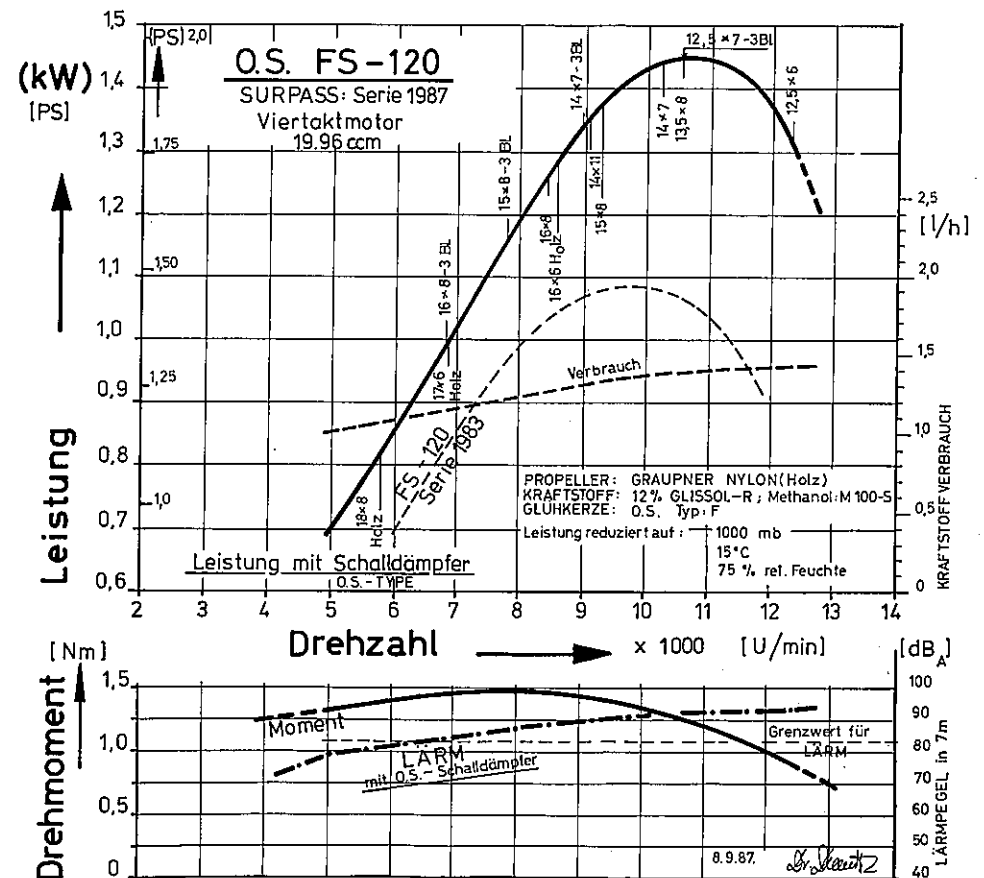


Vergaser: Spezieller Vergaser für die Kraftstoffördereinrichtung. Gemisch für Vollgasstellung und Leerlaufstellung justierbar. Vergaservorwärmung über Wärmefluß vom Zylinderkopf zum Saugrohr und über Gehäuseflansch.

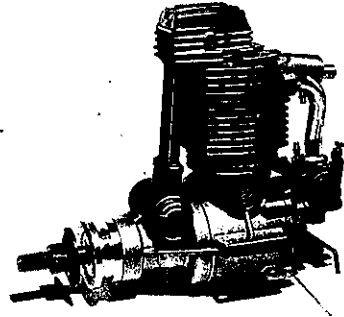
Laufverhalten: Motor läuft sehr kraftvoll und erstaunlich vibrationsfrei. Die Lärmentwicklung am Auspuff ist trotz des OS-Dämpfers unzumutbar hoch. Der Kraftstoffdruckregler muß häufig beim Einlauf des Motors nachjustiert werden. Kraftstoff unbedingt vor dem Auftanken mehrfach filtern. Der Motor sollte nicht über 11 000 U/min im Flug drehen. Standdrehzahl für Vollgas um 9000 U/min. Motor ist nur mit großem Wartungsaufwand mit Rizinusöl zu betreiben, additierte Synthetiköle sind zu bevorzugen.

Technische Daten:

Bohrung:	30,40 mm Ø
Hub:	27,50 mm
Hubraum:	19,96 ccm
Leistung:	1,450 kW
Hubraumleistung:	72,64 kW/Liter
Ventilüberschneidung:	90°
Auslaßzeit:	301°
Einlaßzeit:	302°
Einlaßventil:	13,5 mm Ø
Auslaßventil:	11,5 mm Ø
Gewicht:	948 g mit OS-Expansionsdämpfer
Drehzahlbereich:	1900-12 400 U/min



OS-Max-FS61



Hersteller: Ogawa Model Mfg. Co. Ltd, Osaka/Japan

Vertrieb: Johannes Graupner, Kirchheim

Service: Johannes Graupner, Kirchheim

Allgemeines: Der Motor ist eine Weiterentwicklung des FS 60. Der Ventiltrieb hat keine offenliegenden Kipphebel mehr. Erstmals wurde bei diesem Motor die Nockenwelle quer über der Pleuellagerung angeordnet und über ein Schraubenradgetriebe angetrieben. Die Leistung des Motors wurde deutlich gesteigert.

Kurbelgehäuse: Monoblockgehäuse mit angegossenem Nockenwellengehäuse. Kühlrippen vergrößert.

Kurbelwelle: Stahl gehärtet und eingeprägtes Nockenwellen-Schraubenrad. Lagersitze geschliffen, Zahnrad nach dem Härten unbehandelt.

Nockenwelle: Stahl gehärtet mit Schraubenradritzel. Nocken kopiergefräst.

Lagerung: Kurbelwelle in zwei Normrollenkugellagern und Nockenwelle in ebenfalls zwei Normrollenkugellagern.

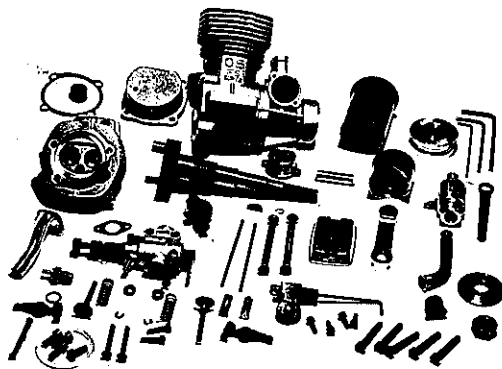
Pleuel: Aluminium hochfest, allseitig spanend bearbeitet. Bronzelagerbuchsen an beiden Lagerstellen.

Kolben: Leichtmetallkolben aus Silumin gepreßt. Vollschaftkolben mit einem Rechteckkolbenring aus hartem Sondergußeisen (GGG 50).

Zylinder: Messing allseitig mit Hartnickel beschichtet. Innen nachgeschliffen.

Zylinderkopf: Aludruckguß mit eingepreßten Bronzeventiltassen. Gaskanäle gebohrt.

Ventile: Kegellventile mit 45° Sitzwinkel. Ventile von jeweils 9,0 auf 10,4 mm Ø vergrößert. Ventilhub 2,80 mm. Ansaugkanaldurchmesser 7,25 mm Ø im Zylinderkopf.

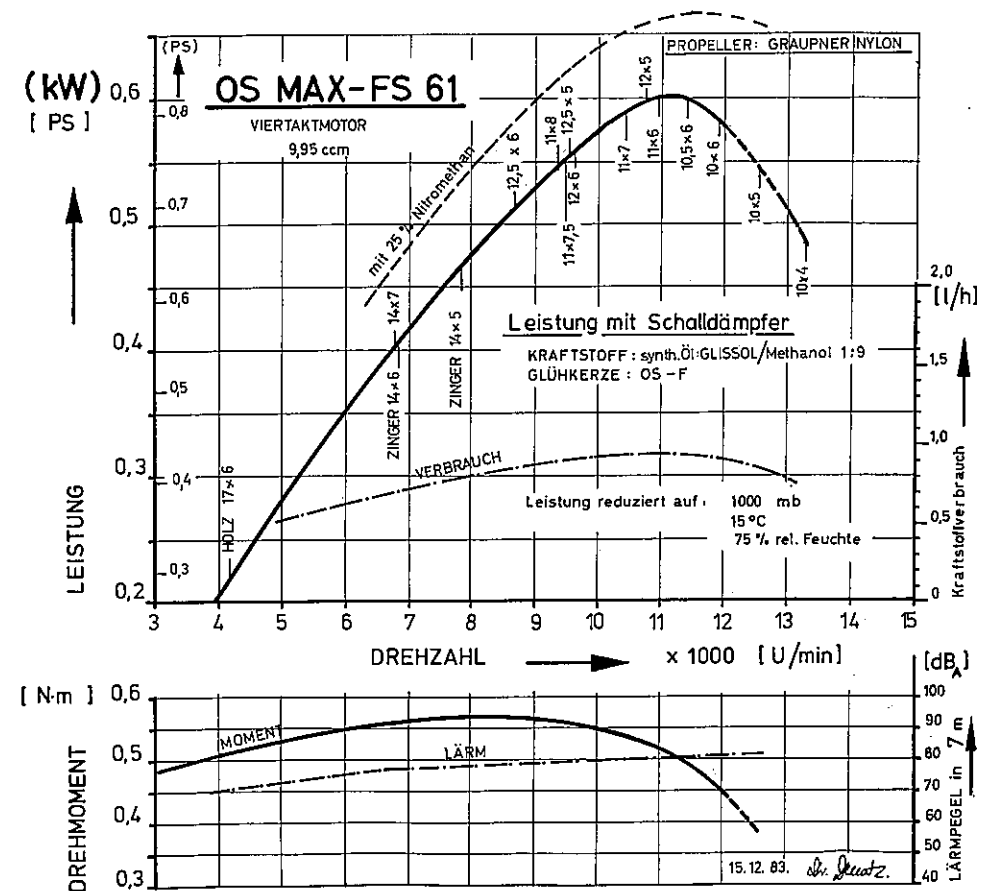


Vergaser: Drosselküktenvergaser mit Zusatzluftöffnung für den Leerlauf.

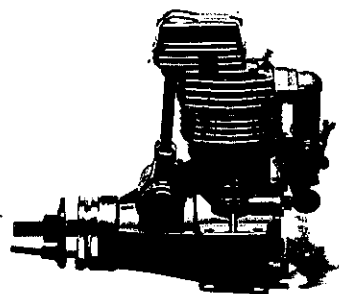
Laufverhalten: Dank des gut gestalteten Brennraumes rasches Anspringen und weicher Verbrennungsverlauf in allen Drehzahlbereichen. Motor sollte nicht über 11 000 U/min betrieben werden. Mit Serienschalldämpfer leider nur unbefriedigendes Dämpfen des Auspufflärms.

Technische Daten:

Bohrung:	24,00 mm Ø
Hub:	22,00 mm
Hubraum:	9,95 ccm
Leistung:	602 Watt (670 W mit 25 % Nitromethan)
Hubraumleistung:	60,5 kW/Liter (66,5 kW/Liter)
Ventilüberschneidung:	89°
Ventildurchmesser:	je 10,4 mm Ø
Gewicht mit SD:	561 g
Drehzahlbereich:	2000-12 200 U/min



OS-Max-FS 40 Surpass OS-Max-FS 48 Surpass



Hersteller: Ogawa Model Mfg. Co. Ltd, Osaka/Japan

Vertrieb: Graupner, Kirchheim

Service: Graupner, Kirchheim

Allgemeines: Der Motor hat ein einteiliges Kurbelgehäuse; die neuesten Erkenntnisse über Steuerzeiten, Nockenformen und Brennraumgestaltung sind eingearbeitet. Der Ventiltrieb ist vollständig gekapselt. Beide Motoren haben identische Grundgehäuse und Nockenwellen.

Kurbelgehäuse: Einteiliger Aluminiumdruckguß. Nockenwellengetriebegehäuse angegossen.

Kurbelwelle: Stahl gehärtet und geschliffen.

Nockenwelle: Stahl gehärtet und kopiergefräst. Antrieb über Schraubenräder. Nockenwelle auch für Links- und Rechtslauf lieferbar.

Lagerung: Kurbelwelle in zwei Riillenkugellagern, Nockenwelle ebenfalls in zwei Kugellagern mit Normabmessungen gelagert.

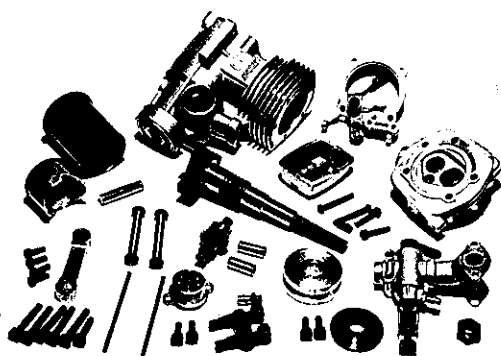
Pleuel: Hochfestes Aluminium, vorgepreßt und zerspanend bearbeitet. Lagerbronzebuchse an beiden Pleuellagerstellen.

Kolben: Silumin fließgepreßt und überschliffen. Siliziumkristalle freigelegt. Rechteckkolbenring aus perlitischem Sonderguß.

Zylinder: Messing mit Hartnickel beschichtet und überschliffen.

Ventile: Kegelventil mit 45° Sitzwinkel aus hochwarmfestem Ventilstahl. Ventilführungen in Bronzetaschen. Sondersicherungsring (Hufeisenring) für Ventildfederplatte.

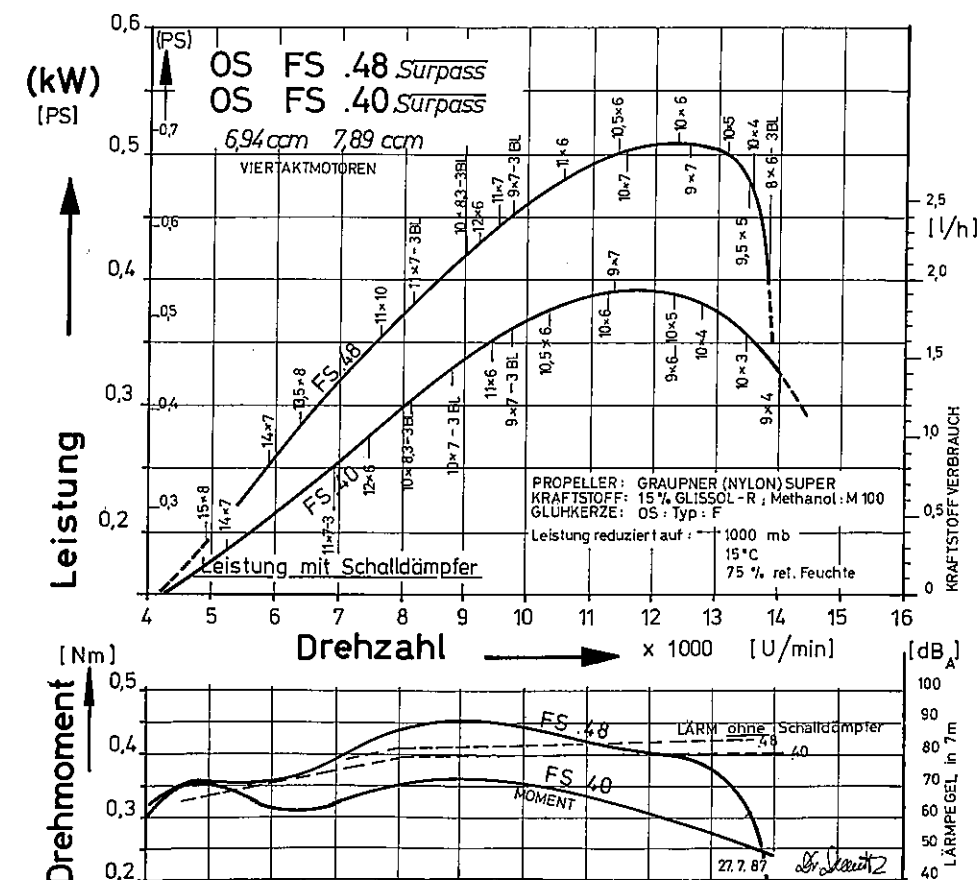
Vergaser: Drosselkufenvergaser mit Zusatzluftöffnung, integriert im Saugrohr. Federbelastete Chokeklappe. Gemischvorwärmung über Zylinderkopfflansch und Gehäusehalterung.



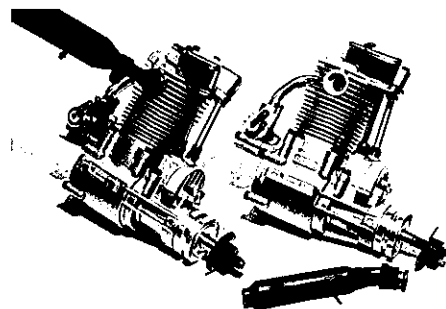
Laufverhalten: Beide Motoren springen sehr leicht an und laufen vor allem im Drehzahlbereich über 8000 U/min ohne merkliches Klopfen oder Schütteln. Motoren sollten hochtourig über 10 000 U/min im Stand betrieben werden. Leistungssteigerung durch Nitromethananteil im Kraftstoff möglich. Schalldämpfung des Auspuffärmes durch Seriendämpfer nicht optimal und verbesserungsfähig. Sehr zuverlässiger Lauf.

Technische Daten:

	FS 40 Surpass	FS 48 Surpass
Bohrung:	21,20 mm Ø	23,00 mm Ø
Hub:	18,40 mm	19,00 mm
Hubraum:	6,495 ccm	7,894 ccm
Leistung:	396 Watt	507 Watt
Hubraumleistung:	60,97 kW/Liter	64,22 kW/Liter
Ventilüberschneidung:	90°	90°
Ventildurchmesser:	8,25/8,25 mm Ø	8,25 / 10,0 mm Ø
Gewicht:	342 g m. Schalld.	410 g m. Schalld.
Drehzahlbereich:	2500-14 000 U/min	2300-13 800 U/min



SAITO FA 65-II und FA 80-I



Hersteller: Saito Seisakusho Ltd, Ichikawa-Shi, Japan

Vertrieb: Aeronaut-Modellbau, 7410 Reutlingen

Service: Aeronaut-Modellbau, 7410 Reutlingen

Allgemeines: Die beiden Saitomotoren sind eine Weiterentwicklung des Types 45. Die Motoren haben einen auf den Zylinder integrierten Zylinderkopf und schräg hängende Ventile. Der Saito 65 wird auch als 5x10,627-ccm-Sternmotor geliefert (5 Nockenwellen!). Ähnlich aufgebaut ist ein Motor FA 50 mit 8,2 ccm Hubraum und ein FA 120 AAC-Spezial mit 20 ccm Hubraum. Alle Motoren sind sehr leistungsstark und hochtourig.

Kurbelgehäuse: Einteiliges Gehäuse mit angeflanschem Zylinder und Nockenwellengehäuse.

Kurbelwelle: Stahl gehärtet und überschleift. Integrierte Nockenwellenverzahnung.

Nockenwelle: Einzelnocken auf Bronzerohr aufgezogen und mit Zahnrad aus Stahl über Stifte verbunden. Nocken gehärtet.

Lagerung: Kurbelwelle auf Normkugellagern, Nockenwelle in Gleitlagern.

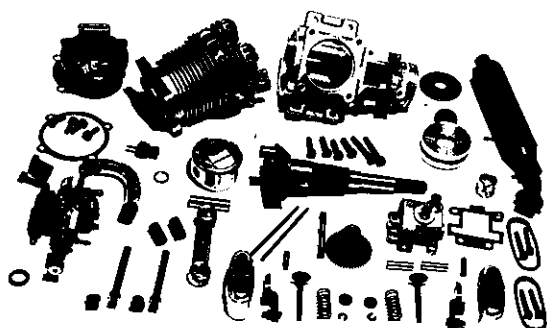
Pleuel: Geschmiedeter Leichtmetallpleuel. An beiden Lagerstellen mit Lagerbronze ausgebuchst.

Kolben: Siluminguß, überschleift. Ventiltaschen im Kolbenboden. Ein Kolbenring (Rechteck) aus Sondergußeisen (GGG 50).

Zylinder: Zylinder und Zylinderkopf integral aus hochfestem Aludruckguß. Zylinder innen hartverchromt.

Ventile: Schräg hängende Ventile, Bronzeventiltasse. Werkstoff: Warmfester Chromnickelstahl

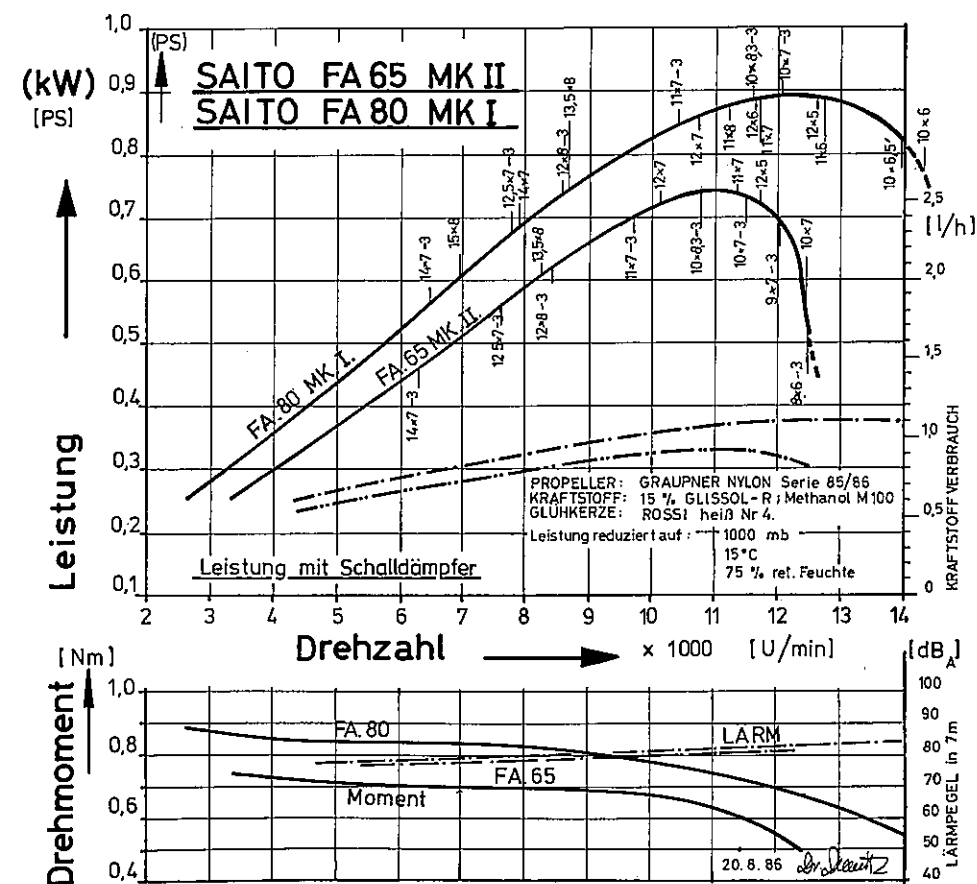
Vergaser: Drosselkükengasergas mit axial schiebendem Kük und Leerlaufdüsenadel. Schieber als Choke.



Laufverhalten: Motor springt gut an und läuft auch im Leerlauf zuverlässig durch. Motor sollte bei Drehzahlen über 8000 U/min betrieben werden, darunter ist die Verbrennung hart und klopfend. Geringer Kraftstoffverbrauch.

Technische Daten:

	FA 65-II	FA 80-I
Bohrung:	24,80 mm Ø	27,00 mm Ø
Hub:	22,00 mm	22,80 mm
Hubraum:	10,627 ccm	13,054 ccm
Leistung:	740 Watt	890 Watt
Hubraumleistung:	69,63 kW/Liter	68,77 kW/Liter
Ventilüberschneidung:	82°	82°
Ventildurchmesser:	10,00 mm Ø je	10,00 mm Ø je
Gewicht:	512 g o.SD.	485 g o.SD.
Drehzahlbereich:	2300–12 500 U/min	2200–14 400 U/min

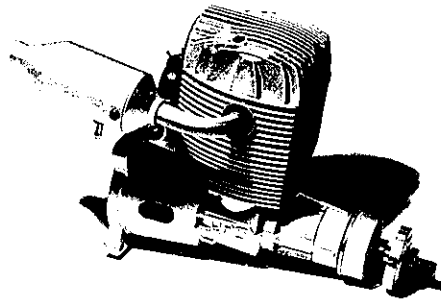


OPS 20-4 OHC

Hersteller: OPS, Postfach 129,
I-20052 Monza/Italien

Vertrieb: Klaus Krick Modellbau,
7134 Knittlingen, Postfach 24

Service: Klaus Krick Modellbau,
7134 Knittlingen, Postfach 24



Allgemeines: Der Motor ist der erste 20-ccm-Viertaktmotor mit obenliegender Nockenwelle und Ventiltrieb über Kipphebel, schräg hängende Ventile. Durch die Verwendung von symmetrischen Nocken ergibt sich mit den ebenen Flächen am Schlepphebel eine asymmetrische Ventilhubkurve, die den Vorteil der direkten Ventilsteuerung wieder aufhebt. Der Motor ist daher eher für Drehzahlen bis 9000 U/min geeignet, bei abgestimmtem Auspuffsystem auch bis 12000 U/min. Motor ist äußerlich groß und auch schwer.

Kurbelgehäuse: Einteiliges Kurbelgehäuse mit integriertem Befestigungsflansch. Große Kühlfläche durch ausladende Verrippung am Zylinder. Zylinderkopf mit aufgeschraubtem, verripptem Zusatzkühlkopf.

Kurbelwelle: Stahl gehärtet, einteilige Bauweise. Abtrieb für Zahnriemen über Bundbolzen im Kurbelzapfen. Antrieb gelagert in zwei Nadellagern.

Nockenwelle: Stahl gehärtet. Nocken und Antriebszahnrad fliegend angeordnet. Nocken geschliffen, symmetrisch. Lagerung in zwei Nadellagern.

Lagerung: Kurbelwelle in zwei Normkugellagern mit Stahlkäfig. Pleuel ist am Kurbelzapfen in einem Nadellager gelagert.

Pleuel: Aluminium gepreßt und spanend bearbeitet. Nadellager am Pleuelzapfen und Bronzelagerbuchse am Pleuelbolzen.

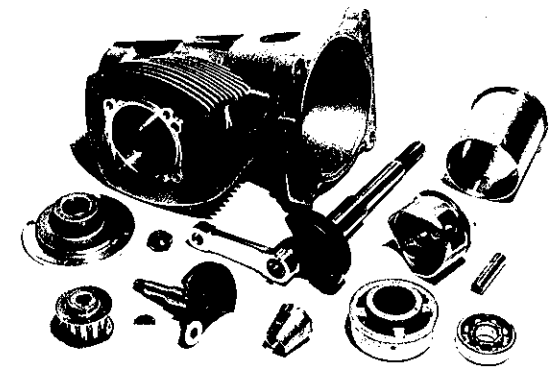
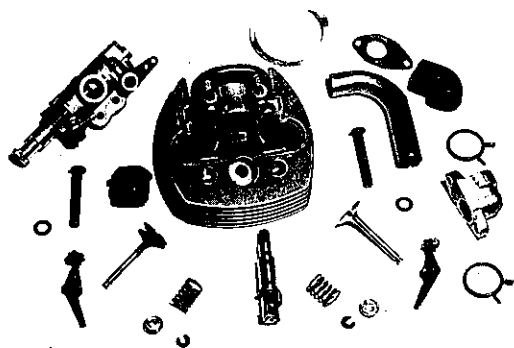
Kolben: Leichtmetallkolben aus Silumin gegossen, ein Rechteckkolbenring. Vollschaftkolben mit freigeprägtem Pleuelbolzenauge.

Zylinder: Messing innen hartverchromt und überschliffen.

Ventile: Hochwarmfester Chrommolybdänstahl. Hufeisensicherungsring am Federteller. Ventileinstellschraube direkt auf Ventilschaft wirkend, kurze Ventilsfeder aus Federdraht VD.

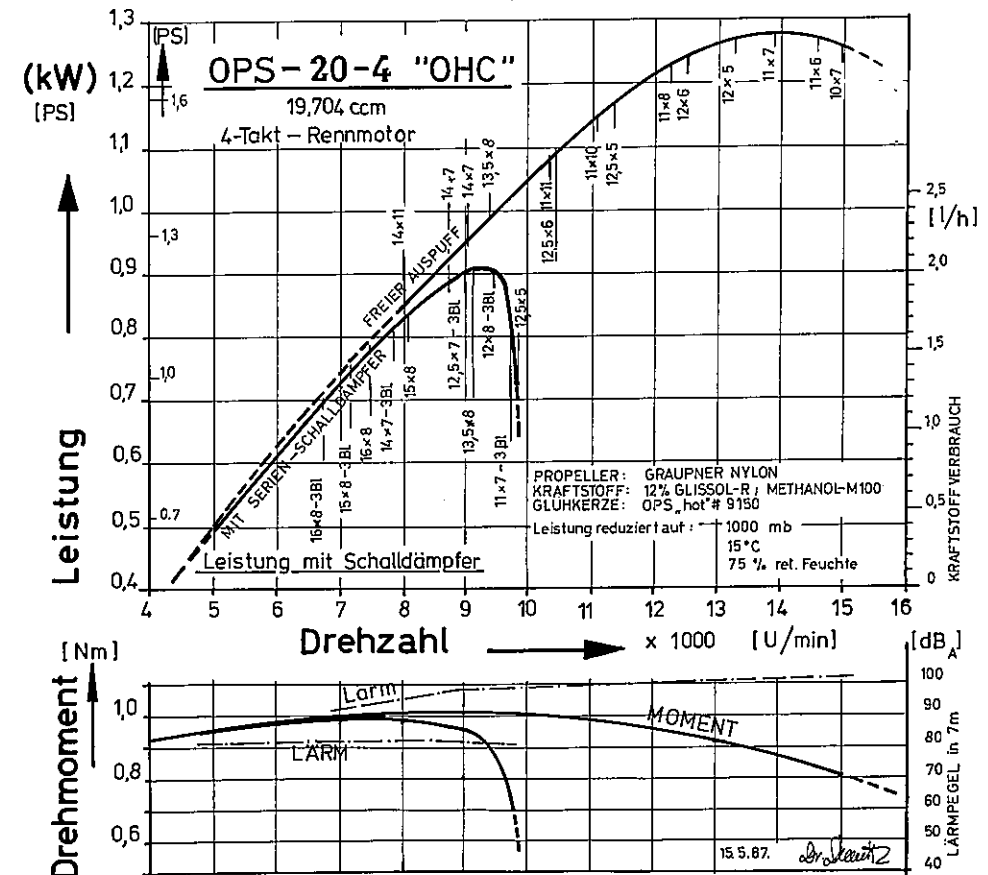
Vergaser: OPS-Schiebervergaser mit einstellbarer konischer Düsennadel und Anschlagsschraube für Leerlauf. Für Vollgas vorgeschaltetes Nadelventil für Vollgasgemischeinstellung. Keine Chokeklappe.

Laufverhalten: Zuverlässiger Lauf ohne Klopfen oder Nageln mit großen Propellern. Für Drehzahlen über 9000 U/min ist ein geänderter Auspuff zu verwenden. Große Kühlfläche, ausreichend auch bei Motoreinbau im Rumpf eines Modells. Bei freistehendem Zylinder eher zu stark gekühlt, vor allem im Leerlauf.



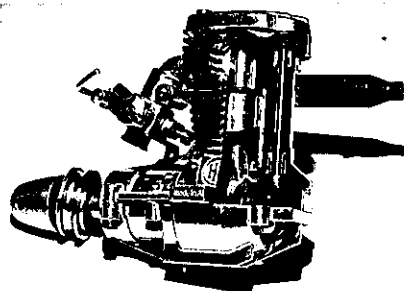
Technische Daten:

Bohrung:	32,00 mm Ø
Hub:	24,40 mm
Hubraum:	19,704 ccm
Leistung:	903 Watt mit Schalldämpfer 1,27 kW ohne Schalldämpfer
Hubraumleistung:	45,82 / 64,45 kW / Liter
Ventilüberschneidung:	44°
Ventildurchmesser:	14,00 mm je
Gewicht m. SD und Integralmotorträger:	1109 g
Drehzahlbereich:	1800-9000 (15 000) U/min



HP 21 VT und HP 25 V

Viertaktmotoren mit Schiebersteuerung.



Hersteller: HP-Patronenfabrik, Hirtenberg/Österreich

Vertrieb: Diverse Händler.

Service: Hersteller anfragen.

Allgemeines: Dieser Motor wurde von Ing. grad. Leopold von Habsburg-Lothringen konstruiert und von HP in Österreich gebaut. Der Motor ist sehr leise, wenn auch nur mäßig in der Leistung. Motor kann nur mit GLISSOL-R oder AEROSYNTH als Schmierstoff betrieben werden. Motoren ohne Axialnadellager am Steuerschieber fressen am Schieber zum Zylinderkopf fest. Umbausätze erhältlich!

Kurbelgehäuse: Einteiliges Gehäuse mit Teilung in der Kurbelwellenebene. Gutes Styling.

Kurbelwelle: Stahl gehärtet und an den Lagersitzen geschliffen.

Steuerung: Messingschieber mit Hartchrombeschichtung in Bronzebuchse. Zylinderschieber mit unter 1/100 mm Einpassung in Schieberbuchse. Keine Nachstellmöglichkeit.

Lagerung: Kurbelwelle in zwei Normrillenkugellagern. Steuerschieber mit Axialnadellager abgestützt. Königswelle und Kegelrad in Gleitlagern.

Pleuel: Aluminium gepreßt und am großen Pleuelauge mit Bronze ausgebucht. Auffallend kurze Pleuelstange.

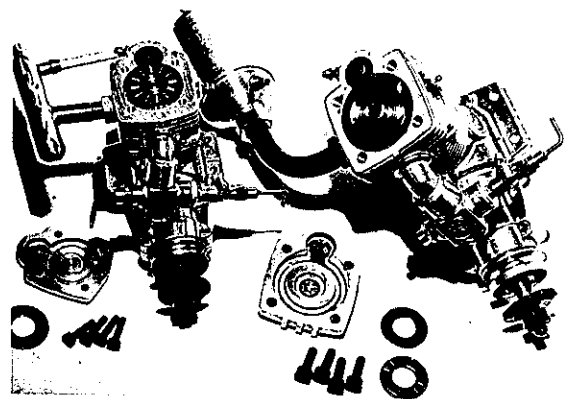
Kolben: Silumin gegossen und geschliffen, Rechteck- oder L-Kolbenring, je nach Serie. Sehr kurzer Kolben!

Zylinder: Stahl gehärtet, innen konisch geschliffen und von unten in Gehäuse eingesetzt. Sicherungsring unten.

Zylinderkopf: Leichtmetalldruckguß.

Vergaser: Über Alukrümmer vorne liegender Drosselvergaser in Zweinadelbauart. Schlecht zugänglich.

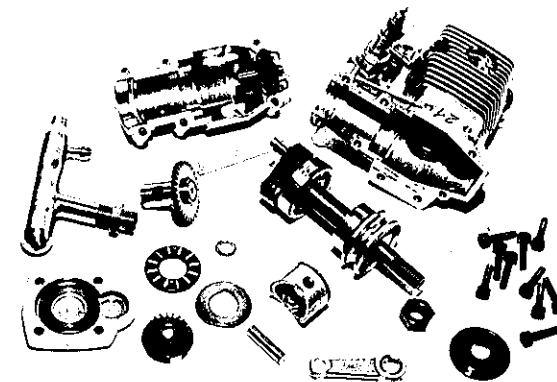
Laufverhalten: Motor springt nur schwer an, läuft aber dann in Vollgasstellung zuverlässig durch. Leerlaufdrehzahl nicht unter 3500 U/min. Geringes Auspuffgeräusch. Motor scheuert sich bei Rizinusöl im Kraftstoff auf der Ölkohle am Steuerschieber rasch aus.



HP 21 VT. Aufgeschnitten – noch ohne Nadellagerung des Drehschiebers im Zylinderkopf. Motor aus erster Serie 1985

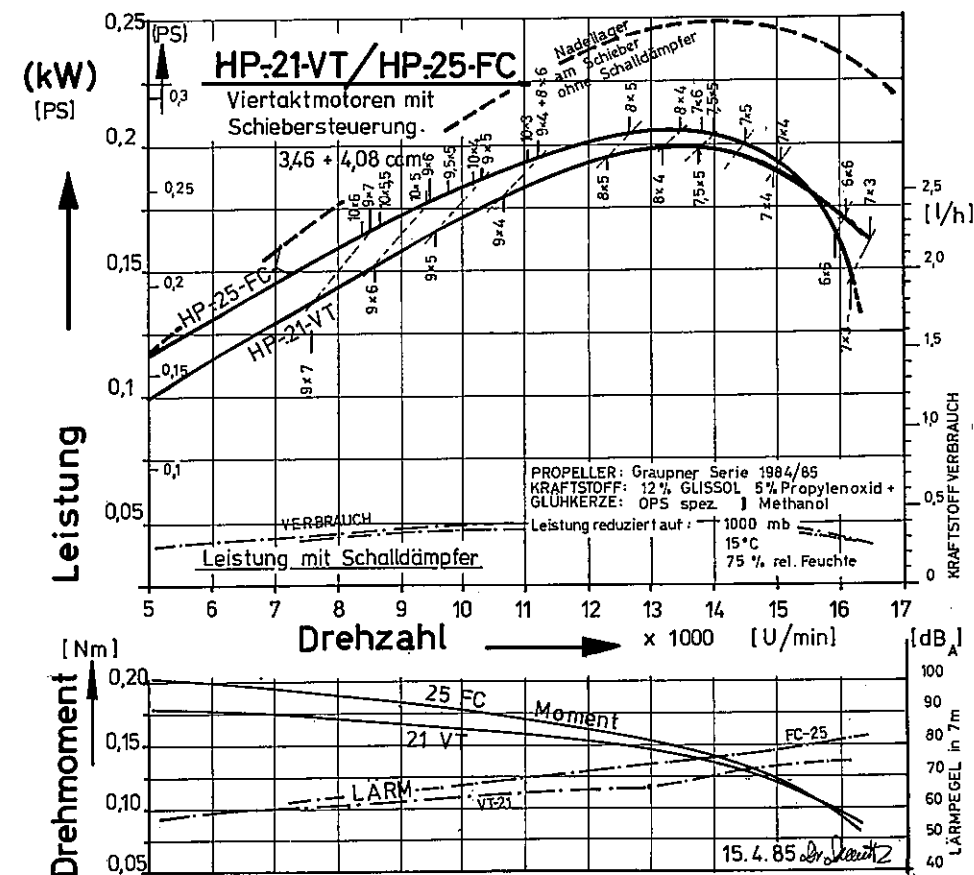
HP 21/25 VT. Motoren mit Nadellagerung im Zylinderkopf. Serie 1986

HP 21/25-VT. Einzelteile. Vorserie von 1986



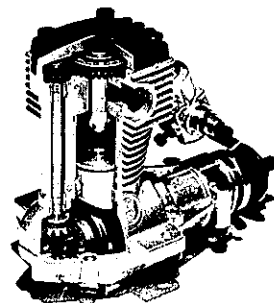
Technische Daten:

	HP 21 VT	HP 25 VT
Bohrung:	16,00 mm Ø	17,80 mm Ø
Hub:	16,00 mm	16,00 mm
Hubraum:	3,217 ccm	3,982 ccm
Leistung:	205 Watt	248 Watt
Hubraumleistung:	63,72 kW/Liter	64,53 kW/Liter
Gewicht mit SD:	329 g	338 g
Drehzahlbereich:	3500–16 500 U/min	

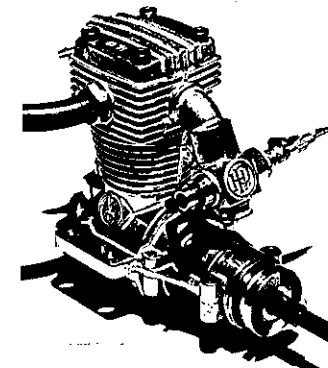
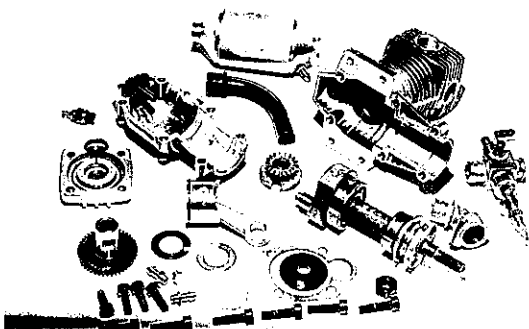


HP 49-VT (HP 60 VT)

Viertaktmotor mit Schiebersteuerung.

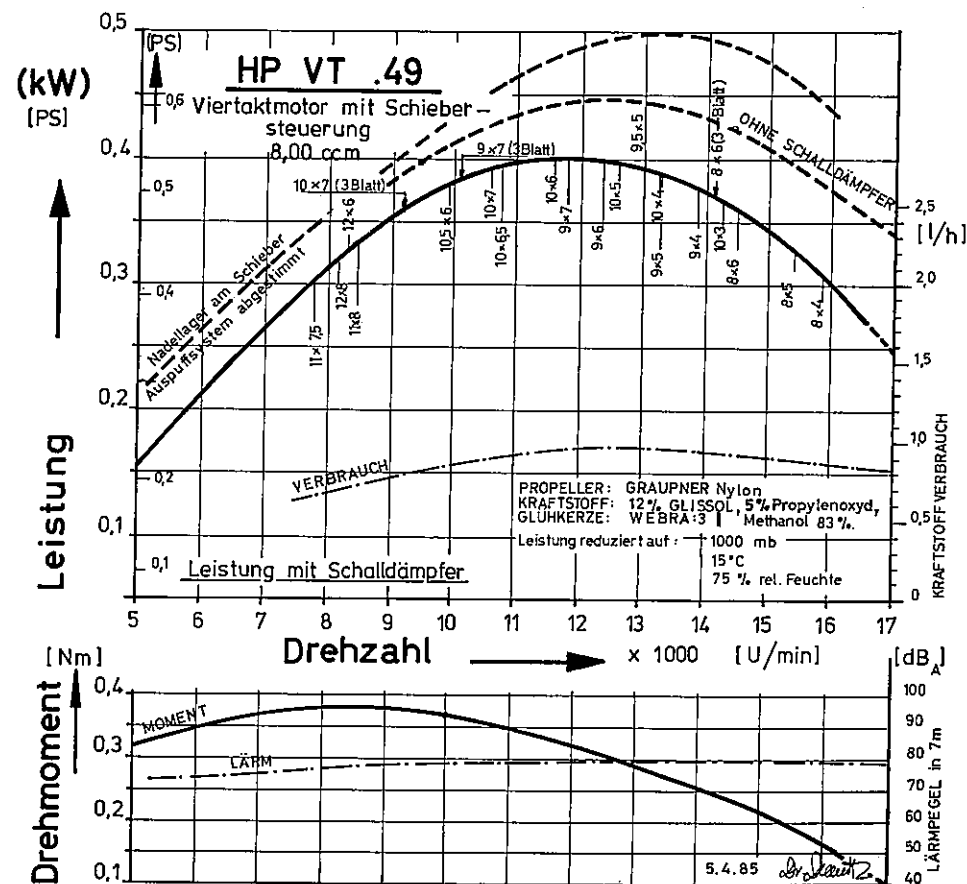


- Hersteller:** HP-Patronenfabrik, Hirtenberg/Österreich
- Vertrieb:** Diverse Händler.
- Service:** Hersteller anfragen.
- Allgemeines:** Diese Motoren wurden aus den beiden kleineren Typen heraus entwickelt. Die Motoren sollten durch die drehzahlteste Schiebersteuerung den kegelventilgesteuerten Viertaktmotoren überlegen sein. Die Motoren konnten sich aber nicht durchsetzen.
- Kurbelgehäuse:** Einteiliges Gehäuse mit Teilung in der Kurbelwellenebene. Gutes Styling.
- Kurbelwelle:** Stahl gehärtet und geschliffen an den Lagerstellen.
- Steuerung:** Zylindrischer Messingschieber mit Hartchromauflage. Geschliffen. Enge Passung zum Bronzeschiebergehäuse. Keine Nachstellmöglichkeit.
- Lagerung:** Kurbelwelle in zwei Normrollenkugellagern. Schieber axial in einem Nadelaxiallager abgestützt.
- Pleuel:** Aluminium gepreßt und am großen Pleuelauge mit Bronze ausgebuchst. Auffallend kurze Pleuelstange.
- Kolben:** Silumin gegossen. Rechteckkolbenring. Kurzes Kolbenhemd.
- Zylinder:** Stahl gehärtet und von unten in Gehäuse eingeschoben. Axial durch Drahttring gesichert.
- Zylinderkopf:** Aludruckguß.
- Vergaser:** Über Alukrümmern vorne liegender Drosselvergaser in Zweinadelausführung. Schlecht zugänglich und häufig undichtes Ansaugrohr.
- Laufverhalten:** Zufriedenstellendes Anspringen mit Starter. Motor kann längere Zeit nur mit GLISSOL-R oder AEROSYNTH im Kraftstoff betrieben werden. Leerlauf etwas hoch.



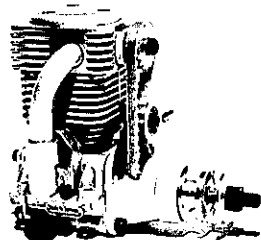
Technische Daten:

	HP 49VT	HP 60VT
Bohrung:	22,80 mm Ø	25,45 mm Ø
Hub:	19,50 mm	19,60 mm
Hubraum:	7,962 ccm	9,97 ccm
Leistung:	500 Watt	630,5 Watt
Hubraumleistung:	62,79 kW/Liter	63,24 kW/Liter
Gewicht mit SD:	600 g	645 g
Drehzahlbereich:	3000–17 000 U/min	



WEBRA-T 4

Viertaktmotor



Hersteller: Webra, Berlin

Vertrieb: Webra, Weidenberg

Service: Webra, Weidenberg

Allgemeines: Der Motor ist der erste schiebergesteuerte in Serie gebaute Modellmotor. Der Motor wurde zunächst mit Vergaser unten geliefert, neuere Motoren haben den Vergaser direkt am Zylinderkopf.

Kurbelgehäuse: Einteiliges Zentralgehäuse mit angeflanschem Lagergehäuse für die Kurbelwellenlagerung aus Aludruckguß.

Kurbelwelle: Stahl gehärtet und geschliffen. Ritzel für Zahnriemen mit Paßfeder aufgesetzt.

Drehschieber: Dünnere Kegelschieber über Kegelräder und Zahnriemen angetrieben. Gasdruck mit Drucklager im Kopf abgestützt.

Lagerung: Kurbelwelle in zwei Rillenkugellagern. Pleuellager als Gleitlager. Kugellager im Zylinderkopf beim Zahnriemenrad.

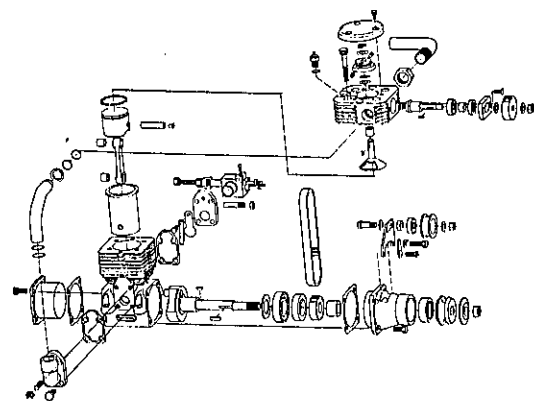
Kolben: Leichtmetallkolben geschmiedet. Ein Rechteckkolbenring.

Zylinder: Gehärteter Stahlzylinder im Kurbelgehäuse eingepreßt. Geschliffen und gehont.

Zylinderkopf: Ganzspannend hergestellter Zylinderkopf mit Aspin-Kegelschieber.

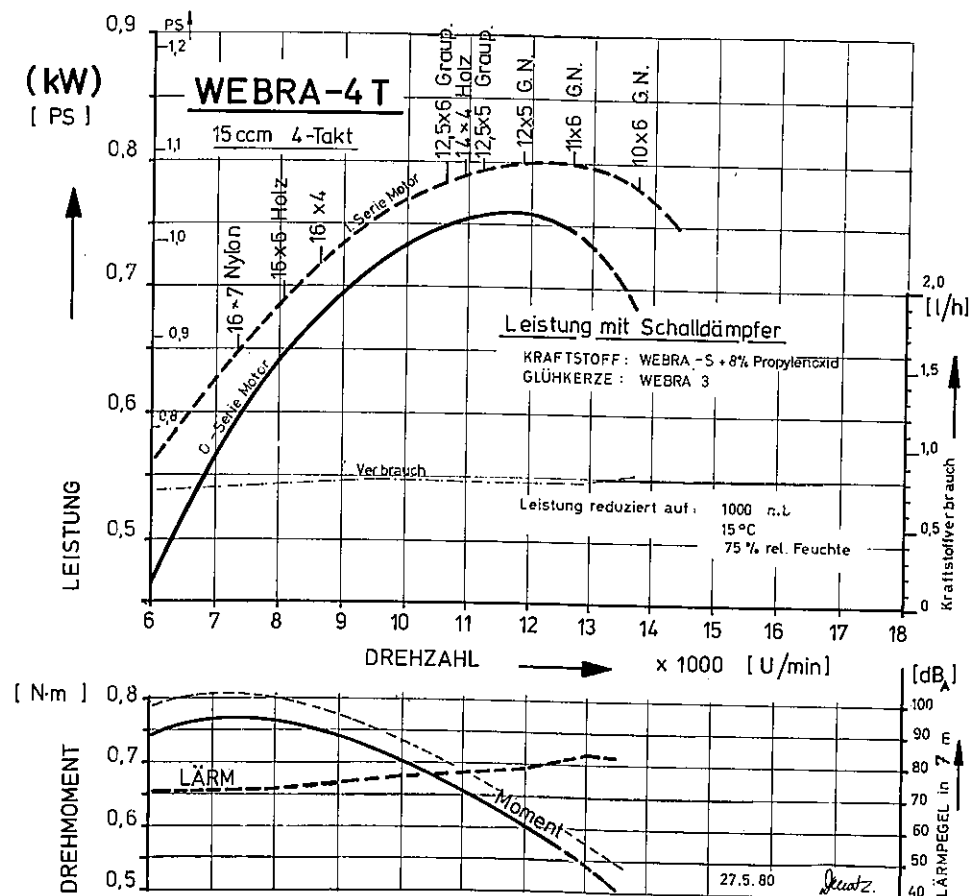
Vergaser: Webra-Schiebervergaser mit Flachschieber bei den ersten Motoren unten am Kurbelgehäuse vor einem Flatterventil. Saugrohr außen am Motor. Neuere Motoren haben den Vergaser direkt am Zylinderkopf.

Laufverhalten: Motor springt nur widerwillig von Hand an. Er läuft etwas rau und schüttelt mäßig. Der Drehschieber ist empfindlich auf Staub und Schmutz. Der Motor sollte mit einem Sonderkraftstoff von Webra betrieben werden. Normale Glühkerzen.



Technische Daten:

Bohrung:	27,00 mmØ
Hub:	25,00 mm
Hubraum:	14,32 ccm
Leistung:	800 Watt bei 12 000 U/min
Hubraumleistung:	55,86 kW/Liter
Gewicht:	995 g
Drehzahlbereich:	2000 U/min – 14 000 U/min



WEBRA T4 40
WEBRA T4 60
WEBRA T4 80

Schiebergesteuerter Viertaktmotor.

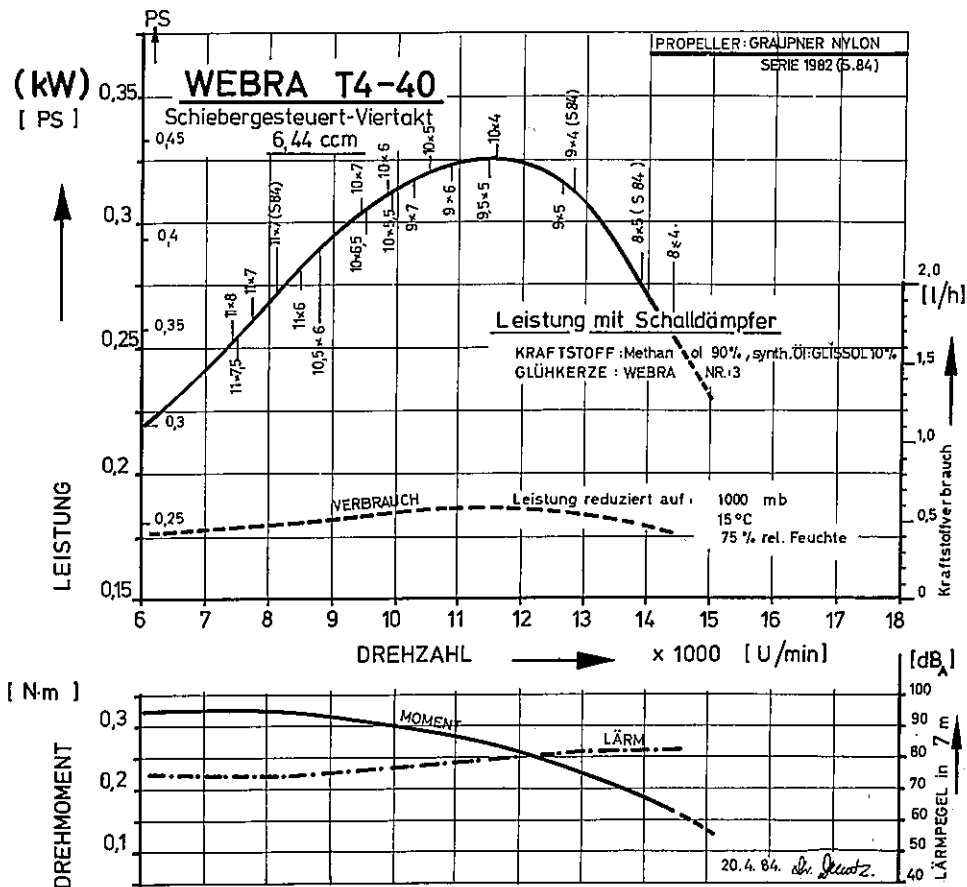
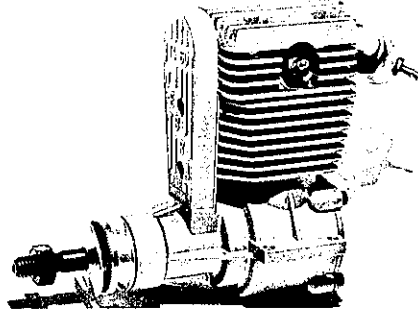
Hersteller: WEBRA, Enzesfeld/Österreich
 Vertrieb: WEBRA-Modellbau, Weidenberg
 Service: WEBRA-Modellbau, Weidenberg

Allgemeines: Der Motor ist der einzige Modellmotor mit einem Cross-Walzenschieber. Die Abdichtung erfolgt hierbei über einen Gegenkolben, der durch den Gasdruck an den Walzenschieber angepreßt wird. Abdichtung dieses Gegenkolbens durch einen Silikongummiring.

Kurbelgehäuse: Monoblockgehäuse mit Fenster für den Zahnriemenantrieb des im Zylinderkopf liegenden Walzenschiebers.

Kurbelwelle: Stahl gehärtet und mit eingefrästen Zähnen für den Zahnriementrieb.

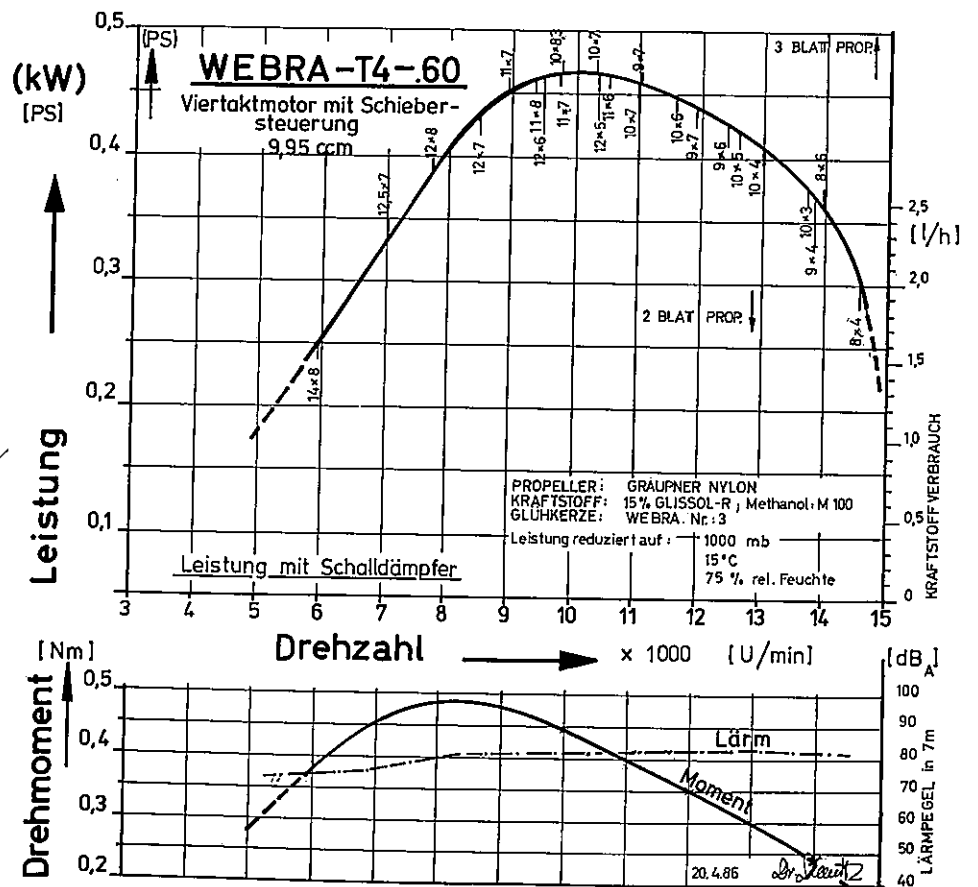
Drehschieber: Messingwalzenschieber mit Hartchrombeschichtung, direkt im Aluzylinderkopf laufend. Abdichtung zum Brennraum über Gegenkolben. Ansaugen axial von vorne; Auspuff axial nach hinten.

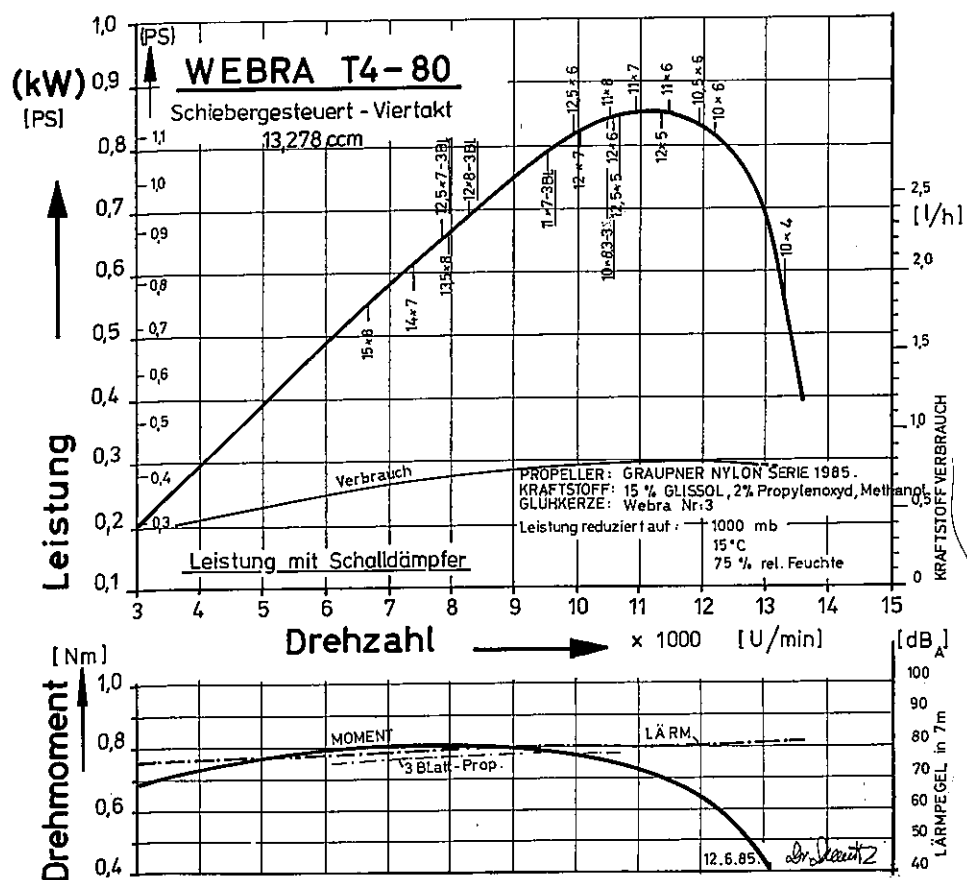
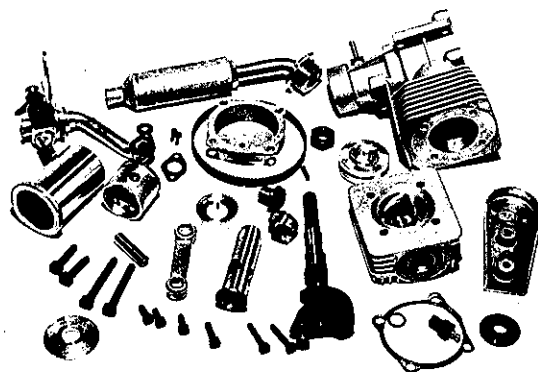


Lagerung: Kurbelwelle in zwei Rillenkugellagern. Walzenschieber in einem Sinterbronzelager vorne.
 Kolben: Siluminguß mit einem Rechteckkolbenring.
 Pleuel: Aluminium geschmiedet und an beiden Lagerstellen ausgebücht.
 Zylinder: Stahl gehärtet und geschliffen. Innen durch Honen aufgeraut.
 Zylinderkopf: Aluminium ganzzerspanend bearbeitet.
 Vergaser: Webra-TN-Vergaser mit zwei Nadeln. Teilweise Saugrohr.
 Laufverhalten: Motor ist robust und liefert eine erstaunliche Leistung. Der Leerlauf ist teilweise kritisch einzustellen. Für einen zuverlässigen Lauf empfiehlt sich, 5 bis 10 % Nitromethan zuzumischen. Bei Betrieb des Motors mit Rizinusölen ist mit starker Ölkohleablagerung im Zylinderkopf und Drehschieber zu rechnen. An synthetischen Ölen können nur GLISSOL-R oder AEROSYNTH empfohlen werden, andere synthetische Öle führen zu Lagerrost.

Technische Daten:

	T4 40	T4 60	T4 80
Bohrung:	21,00 mm Ø	24,00 mm Ø	25,5 mm Ø
Hub:	18,6 mm	22,00 mm	26,00 mm
Hubraum:	6,442 ccm	9,95 ccm	13,278 ccm
Leistung:	326 Watt	470 Watt	850 Watt
Hubraumleistung:	50,5 kW/Liter	47,23 kW/Liter	64,2 kW/Liter
Gewicht m. SD:	373 g	648 g	642 g
Drehzahlbereich:	2500-14 500 U/min	2200-14 500 U/min	2000-13 600 U/min





Modell und SchiffsModell

sind monatlich erscheinende Fachpublikationen für den funktionalen Modellbau. Alle Themen des ferngesteuerten Flug- bzw. Schiffsmodellbaus werden angesprochen, fachlich fundiertes Wissen wird vermittelt, Testberichte über diverse Bausatzmodelle, ausführliche Berichterstattung von größeren Veranstaltungen und die Vorstellung von Markneuheiten halten den Leser auf dem Stand der Technik.

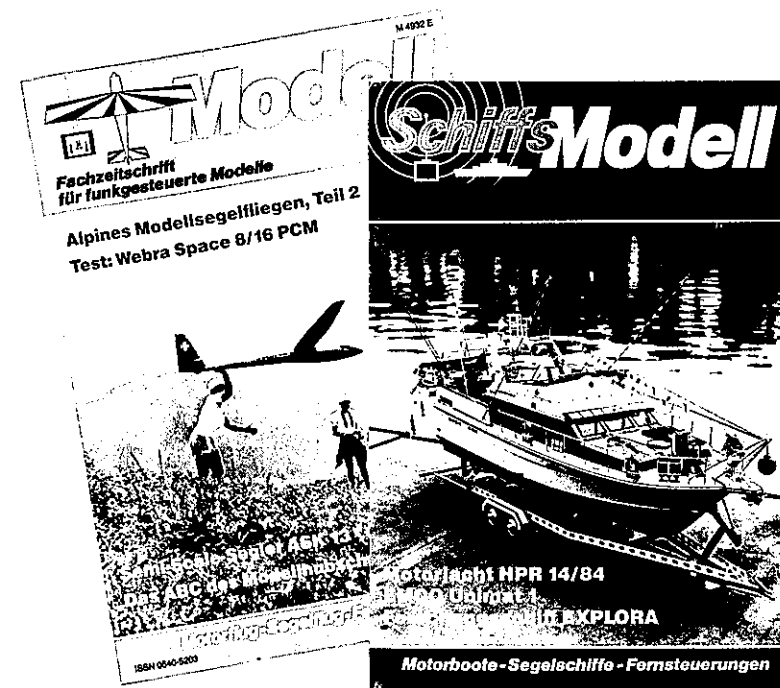
12 x im Jahr: Praxis und Information über den Modellbau

12 x im Jahr: Freude für jeden Modellflugbegeisterten und Schiffsmodellbaufan

12 x im Jahr: Fachlich fundierte Unterhaltung

Jeder ernsthafte Modellbauer wird auf Dauer an dieser Fachlektüre nicht vorbei können. Beide Zeitschriften gibt es im Modellbaufachhandel, am Kiosk und an Bahnhofsbuchhandlungen oder direkt im Abonnement durch den Verlag.

Fordern Sie ein kostenloses Probeexemplar an.

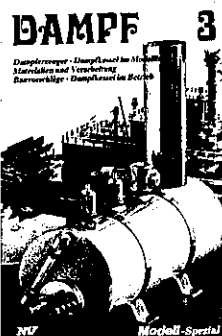


Die **Modell-Fachbuchreihe** ist die umfangreichste der deutschsprachigen Fachliteratur auf dem Gebiet des Flug- und Schiffsmodellbaus. Bitte bestellen Sie unseren vierfarbigen kostenlosen Buchprospekt.

NV Neckar-Verlag GmbH, 7730 Villingen-Schwenningen
Postfach 1820, Tel. (0 77 21) 5 10 21

DAMPF – eine besondere Alternative im Modellbau

– jede Broschüre 64 Seiten, nur DM 13,80 –



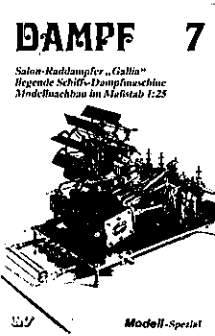
Dampf 3
Dampfkessel im
Modellbau
Best.-Nr. 172



Dampf 4
Dampfturbinen
Best.-Nr. 173



Dampf 6
Zweizylinder-Expan-
sionsmaschinen
Best.-Nr. 191



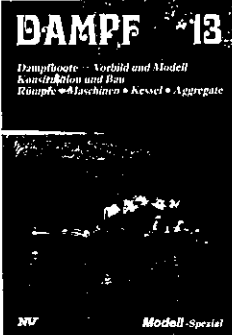
Dampf 7
Salon-Raddampfer
„Gallia“
Best.-Nr. 198



Dampf 9
Modell-Dampfturbine
„Maracaibo“
Best.-Nr. 146



Dampf 12
Zweizylinder-
Schiffsmaschinen
Best.-Nr. 601



Dampf 13
Dampfpfannen
Best.-Nr. 602

*Diese Reihe
wird
fortgesetzt
und kann
abonniert
werden*

Weiterhin lieferbar sind:

- Dampf 1** – Mehrfach-Expansionsmaschinen
Best.-Nr. 170
- Dampf 2** – Stationäre Gleichstrom-
Dampfmaschinen
Best.-Nr. 171
- Dampf 5** – Dampfgetriebene Straßenfahrzeuge
Best.-Nr. 190
- Dampf 8** – Modell dampflokomotiven
Best.-Nr. 143

- Dampf 10** – Taylor's Under type
Compound
Best.-Nr. 148
- Dampf 11** – Modell-Durchlaufkessel
Best.-Nr. 149
- Dampf 14** – Balancier-
Dampfmaschinen
Best.-Nr. 603



**NECKAR-VERLAG GmbH, Postfach 1820
7730 Villingen-Schwenningen**

GRAUPNER JR

Führendes Fernlenksystem
in **EUROPA**

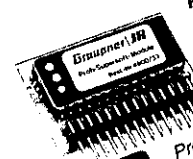
mc-18 das »wachsende«
System

- unbegrenzte Möglichkeiten
durch auswechselbare SOFT-Module
- einfache Handhabung mit
übersichtlichem Multidata-Terminal

Auswechselbare **PROFI-SOFT-Module**

mc-18
Mikrocomputer
Fernlenksystem
für max. 18 Kanäle
Best.-Nr. 4835
für das 35 MHz-Band
Best.-Nr. 4840
für das 40 MHz-Band

PROFI-Helisoft ROM 256K
36 verschiedene Programme
mit allen zur Zeit
denkbaren Funktionen
auch aufwendiger
Hubschrauber-Modelle.
Best.-Nr. 4800/32



PROFI-SUPERSOFT ROM 256K
für das F3B-Programm
neuester Fassung und
Großmodelle.
Best.-Nr. 4800/33

Programmier-Handbücher
für MC-16, MC-18 und
Helisoft ROM im Fachhandel
JOHANNES GRAUPNER
D-7312 KIRCHHEIM-TECK

AZ 68/1

Abbildung
Sender
ausgebaut
Versi

